

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TİCARİ TİP SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN SOĞUTUCU
AKIŞKANLARIN TERMAL GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ İLE
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Zafer CİNGİZ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yusuf ÇAY

Ortak Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ferzan KATIRCIOĞLU

Temmuz 2020

T.C
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TİCARİ TİP SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN SOĞUTUCU
AKIŞKANLARIN TERMAL GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ İLE
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Zafer CİNGİZ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Bu tez 23/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Yusuf ÇAY	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Ahmet KOLİP	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Durmuş KARAYEL	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Uğur GÜVENÇ	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Ali Etem GÜREL	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Zafer CİNGİZ

23/07/2020

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, tüm süreçlerde yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Yusuf ÇAY'a, tez çalışmam süresince termal görüntü işleme analizi alanına girmeme öncülük eden, çalışmalarım boyunca yardım ve desteğini eksik etmeyen, ortak danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ferzan KATIRCIOĞLU'na teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmalarım esnasında deneyimlerinden ve bilgilerinden yararlandığım, değerli görüş ve önerileri ile beni yönlendiren, tez izleme jürimde bulunan Doç. Dr. Ali Etem GÜREL'e, teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi aşamasında laboratuvar olanakları konusunda yardımlarını esirgemeyen Düzce Üniversitesi Düzce Meslek Yüksekokulu Müdürü Doç. Dr. Yunus BİÇEN'e, tekniker Muhyeddin DALMIŞ'a ve Makine Mühendisi Ali Rıza ALTUNSOY'a ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve her zaman yanımda hissettiğim başta (rahmetli) babam, annem ve eşim Gülhan, çocuklarım Ahmet Selim ve Alper'e, ayrıca kardeşim Serdar olmak üzere aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan TÜBİTAK'a (Proje No: 2018M936) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

LİRETATÜR ARAŞTIRMASI	10
-----------------------------	----

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE METOT	31
3.1. Materyal	31
3.1.1. Deney Düzenegi Kurulumu	31
3.1.2. Çalışmada kullanılan soğutucu akışkanlar	38
3.2. Metot	46
3.2.1. Yerçekimi Kuvveti ve Yanal Kısıtlama Ağlarına Dayalı Hesaplama.....	47
3.2.2. Chemours refrigerant expert akışkan yazılımı ile hesaplama	54
3.2.3. Matematiksel Yöntem ile hesaplama	56
3.2.4. Pearson Korelasyon Benzerlik Analizi (PCSA) yöntemi ile hesaplama..	57
3.2.4.1. Standart sapma	57
3.2.4.2. Entropi.....	58
3.2.4.3. Kontrast	58
3.2.4.4. Çarpıklık.....	59
3.2.4.5. Maksimum ve minimum yüzey sıcaklığı	59

3.2.4.6. Ortalama yüzey sıcaklık değeri	59
3.2.4.7. En yoğun yüzey sıcaklık değeri	60
3.2.5. Yüzey sıcaklığına bağlı COP _{YS} yöntemi ile hesaplama.....	61
3.2.5.1. Önerilen çalışmanın akış şeması ve Matlab GUI arayüzü tanıtımı... 62	

BÖLÜM 4.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	66
4.1. Yerçekimi Kuvveti ve Yanal Kısıtlama Ağlarına Dayalı Hesaplama Sonuçları	66
4.2. “Chemours refrigerant expert” akışkan yazılımı ile hesaplama sonuçları	72
4.3. Matematiksel Yötem ile Hesaplama Sonuçları	73
4.4. Pearson Korelasyon Benzerlik Analizi ile hesaplama sonuçları.....	84
4.5. COP _{YS} ile hesaplama sonuçları	89

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR	93
-----------------------	-----------

KAYNAKLAR	96
------------------------	-----------

ÖZGEÇMİŞ.....	105
----------------------	------------

KISALTMALAR

ABY	: Alkali Benzen Yağ
CFC	: Kloroflorokarbon
COP	: Soğutma Performans Katsayısı
CO₂	: Karbondioksit
EER	: Enerji Verimliliği Oranı
EEV	: Elektronik Genleşme Valfi
GF	: Yerçekimi Kuvveti
GF	: Gravitational Force
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
HC	: Hidrokarbon
HCFC	: Hidrokloroflorokarbon
HFO	: Hidrofloroolefin
HE	: Histogram Eşitleme
HVAC	: Heating Ventilating and Air Conditioning
İİD	: İç Isı Değiştirici
LCCP	: Yaşam Süreci İklim Performansı
LIN	: Lateral Inhibition Networks
LIN	: Yanal Kısıtlama Ağları
MO	: Mineral Yağ
ODP	: Ozon Tükenme Potansiyeli
ODS	: Ozon Tabakasını İncelten Maddeler
OTİM	: Ozon Tabakasını İncelten Maddeler
PCSA	: Pearson Korelasyon Benzerlik Analizi
POE	: Polyol Ester
SMQT	: Ardışık Ortalama Niceleme
TEWI	: Toplam Eşdeğer Isınma Etkisi

TGV : Termostatik Genleşme Valfi
UNEP : BM Çevre Programı
VCC : Hacimsel Soğutma Etkisi
YSA : Yapay Sinir Ağları
WMO : Dünya Meteoroloji Örgütü



SİMGELER

h	: Entalpi (kJ/kg)
P	: Basınç (bar)
\dot{Q}_L	: Çekilen Isı (kW)
\dot{Q}_H	: Atılan Isı (kW)
s	: Entropi (kJ/kg.K)
T	: Sıcaklık (°C)
\dot{W}	: İş (kW)
η	: Verim (%)
\dot{m}	: Kütleli Debi (kg/s)
$\eta_{el.}$: Elektrik Verimi (%)
$\eta_{mek.}$: Mekanik Verim (%)

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Deney düzeneğinde kullanılan ekipman ve sensörlerin özellikleri.	37
Tablo 3.2. Test edilen soğutucu akışkanların fiziksel ve çevresel özellikleri	45
Tablo 3.3. Analiz İçin Yapılan Kabuller.	55
Tablo 3.4. Pearson Korelasyon Benzerlik Analizine girecek her soğutucu akışkan için elde edilen öznitelik matrisi örneği (Değerler R22 soğutucu akışkanı için).	60
Tablo 4.1. Genel görüntü için değerlendirme parametrelerinin sonuçları.	69
Tablo 4.2. Yapay hasar görmüş görüntüler için değerlendirme parametrelerinin sonuçları.	70
Tablo 4.3. Kullanılan Soğutucu Akışkanların Özellik Verileri.	85
Tablo 4.4. Kullanılan soğutucu akışkanların PCSA sonuçları.	89
Tablo 4.5. Kullanılan soğutucu akışkanların COPYS sonuçları.	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi.	32
Şekil 3.2. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrime ait p-h grafiği.	32
Şekil 3.3. Deneş düzeneği genel görünüş.	34
Şekil 3.4. Deneş sistemindeki komponentler ve ölçüm ekipmanlarının pozisyonu.	35
Şekil 3.5. Deneş düzeneğinden termal kamera ile görüntü alınma işlemi.	36
Şekil 3.6. Deneş düzeneği soğutucu akışkan vakum ve şarj işlem düzeneği.	36
Şekil 3.7. Soğutucu akışkan şarj istasyonu.	36
Şekil 3.8. Inp-h diyagramları.	46
Şekil 3. 9. Newton yerçekimi kanununun şekilsel gösterimi.	47
Şekil 3.10. 3x3 maskedeki toplam yerçekimi kuvveti	50
Şekil 3.11. Yerçekimi kuvveti hattının iki eşik ile ayrılması.	50
Şekil 3.12. GF&LIN akış şeması.	52
Şekil 3.13. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi.	55
Şekil 3.14. Soğutma sistemi üzerinden kızılötesi görüntü alınan bölgeler.	61
Şekil 3.15. Önerilen çalışmanın akış şeması.	63
Şekil 3.16. Çalışmada kullanılan Matlab GUI arayüzü.	65
Şekil 4.1. Soğutma sisteminden kompresör görüntüsü için iyileştirme sonuçları	66
Şekil 4.2. Soğutma sisteminden genel görüntü için iyileştirme sonuçları	67
Şekil 4.3. Kompresör görüntüsü için RGB Histogramı.	68
Şekil 4.4. Genel görüntü için RGB histogramı.	70
Şekil 4.5. Yapay hasarlı görüntüler üzerinde GF ve LIN'in etkisinin araştırılması.	71
Şekil 4.6. Akışkanlara ait soğutma performans katsayısı (COP) değerleri.	72
Şekil 4.7. Sistemlere ait kompresör elektriksel güçleri.	73
Şekil 4.8. Basınç-entalpi değişim grafiği.	74
Şekil 4.9. Soğutma kapasitesi- enerji tüketimi.	75
Şekil 4.10. COP- enerji tüketimi.	75
Şekil 4.11. Ortalama soğutma performans katsayısı (COP) değişimi.	76
Şekil 4.12. Çalışma süresince soğutma performans katsayısı (COP) değişimi.	76
Şekil 4.13. Sistemin farklı noktalarındaki basınç değişimleri (R22).	77
Şekil 4.14. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimleri (R22).	77
Şekil 4.15. Sistemin farklı noktalarındaki basınç değişimleri (R438A).	78
Şekil 4.16. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimleri (R438A).	78
Şekil 4.17. Sistemin farklı noktalarındaki basınç değişimleri (R417A).	79
Şekil 4.18. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimleri (R417A).	79
Şekil 4.19. Sistemin farklı noktalarındaki basınç değişimleri (R422A).	80
Şekil 4.20. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimleri (R422A).	80
Şekil 4.21. Sistemin farklı noktalarındaki basınç değişimleri (R422D).	81
Şekil 4.22. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimleri (R422D).	81
Şekil 4.23. Sistemin farklı noktalarındaki soğutucu akışkan sıcaklık değişimleri.	82

Şekil 4.24. Emme ve basma hattı basınç değişimleri.....	83
Şekil 4.25. Soğutucu akışkanların entalpi değişimleri.....	83
Şekil 4.26. R22, R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarının öznelik verileri yönünden karşılaştırmalı kutu grafikleri.....	86
Şekil 4.27. R22, R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarının seçilen 10 bölge yönünden karşılaştırmalı kutu grafikleri.....	88
Şekil 4.28. R22 soğutucu akışkanının PCSA yöntemi kullanılarak diğer R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarıyla karşılaştırılması.....	89
Şekil 4.29. R22, R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarının COP _{YS} yöntemi kullanılarak karşılaştırılması.....	90
Şekil 4.30. R22-R438A karşılaştırma arayüzü.....	91
Şekil 4.31. R22-R417A karşılaştırma arayüzü.....	91
Şekil 4.32. R22-R422D karşılaştırma arayüzü.....	91
Şekil 4.33. R22-R422A karşılaştırma arayüzü.....	92

TİCARİ TIP SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN TERMAL GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ İLE PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, R22 soğutucu akışkanı ile çalışan ticari tip bir soğutma sisteminde, onun alternatifi olan ozon dostu R417A, R422A, R422D ve R438A soğutucu akışkanlarının incelenmesidir. Bu incelemede, yapılan ölçümler ile sistemden kızılötesi görüntüler alınarak, soğutma kapasitesi ve soğutma tesir katsayısı (COP) gibi enerji parametrelerinin tespiti için deneysel ve termal görüntü işleme yöntemleri kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasının literatürdeki çalışmalardan farkı, ticari tip soğutma sistemlerinde, sistem üzerinden alınacak ölçüm değerleri yerine termal görüntü analizi işleme tekniği kullanılarak soğutucu akışkanların performanslarının belirlenmesi, tez çalışmasının özgün yönü olarak görülmektedir.

Sistemde, sıcaklık ve basınç değerlerini ölçmek için, K tipi termokupl ile basınç transmitteri kullanılmıştır. Kompresörün elektrik tüketimini ölçmek için enerji analizörü kullanılmıştır. Bu veriler, tarayıcı ve alarm cihazı, dönüştürücü, proses izleme kayıt ve kontrol programı kullanılarak data logger cihazı ile bilgisayara istenilen zaman dilimlerine göre aktarılmıştır.

Yerçekimi kuvveti ve yanal kısıtlama ağlarına dayalı kızılötesi görüntü iyileştirme modeli ile hesaplama çalışmasında elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın yalnızca kontrast ve ayrıntı bilgilerini arttırmanın yanında, aynı zamanda bulanıklık giderimi sağlayarak net bir görüntü elde ederek, kenarları ortaya çıkartmıştır. R22 soğutucu akışkanı ve alternatifleri, teorik olarak Chemours refrigerant expert akışkan yazılımı kullanılarak, COP değeri referans kabul edilerek performansları karşılaştırılmıştır. R22 kullanılarak elde edilen COP değerlerine en yakın sonuç veren soğutucu akışkanlarının sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A olduğu görülmüştür. Matematiksel yöntem ile hesaplama sonuçlarına göre, ticari tip soğutma sisteminde R22 soğutucu akışkanı ile alternatifleri R422A, R422D, R417A ve R438A'nın COP değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. R22 ile elde edilen COP değerine sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarının yakın olduğu görülmüştür. R22 soğutucu akışkanı ve alternatiflerinin performanslarını, kızılötesi görüntü analizi ile gerçekleştirmek için PCSA ve yüzey sıcaklık bilgi esaslı COP_{YS} olmak üzere, iki yöntem önerilmiştir. Sayısal ve görsel uygulama sonuçlarına göre, R22 soğutucu akışkanına en yakın performansı sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Alternatif soğutucu akışkan, R422D, R417A, R438A, R422A, R22, buhar sıkıştırımlı soğutma, ticari tip soğutma, termal görüntü işleme, COP

THE INVESTIGATION OF THE PERFORMANCES OF THE REFRIGERANTS USED IN COMMERCIAL REFRIGERATION SYSTEMS WITH THERMAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

SUMMARY

The aim of this study is to examine the ozone friendly R417A, R422A, R422D and R438A refrigerants, which are alternatives to the R22 refrigerant in a commercial type refrigeration system. In this study, experimental and thermal image processing methods were used to determine energy parameters such as refrigeration capacity and coefficient of performance (COP) by taking infrared images from the system through measurements. The original aspect of this thesis study is that the performance of the refrigerants in commercial type refrigeration systems was determined using the thermal image analysis processing technique instead of the measurement values to be taken from the system.

In the system, K-type thermocouple and pressure transmitter were used to measure the temperature and pressure values. An energy analyzer was used to measure the electricity consumption of the compressor. These data were transferred to the computer with a data logger device and according to the desired time periods using a scanner, alarm device, converter, process monitoring record and control program.

The results obtained in the calculation study with the infrared image enhancement model based on the gravitational force and lateral limitation networks revealed the edges not only by increasing the contrast and detail information of the proposed algorithm, but also by providing a clear image through blur removal. The performances of the R22 refrigerant and its alternatives were compared by theoretically using the Chemours refrigerant expert fluid software and by accepting the COP value as the reference value. It was observed that the refrigerants that produce the closest results to the COP values obtained using R22 were R438A, R417A, R422D and R422A, respectively. According to the mathematical method calculation results, the COP values of the R22 refrigerant and its alternatives R422A, R422D, R417A and R438A were compared in the commercial type refrigeration system. R438A, R417A, R422D and R422A refrigerants were found to be close to the COP value obtained with R22, respectively. Two methods, namely, the PCSA and surface temperature information based COP_{ST} were proposed to analyze the performances of R22 refrigerant and its alternatives with infrared image analysis method. According to the numerical and visual application results, R438A, R417A, R422D and R422A showed the closest performance to R22 refrigerant, respectively.

Keywords: Alternative refrigerant, R422D, R417A, R438A, R422A, R22, vapor compression cooling, commercial-type cooling, thermal image processing, COP

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Soğutma, başlangıcı çok eski olan bir teknolojidir. Soğutma, çevreden daha düşük bir sıcaklığın muhafaza edilmesi için ısının kapalı bir alandan veya bir maddeden uzaklaştırılması işlemidir. 1830'dan önce, tuzlama, baharatlama, tütsüleme, turşu yapma ve kurutma gibi gıda muhafaza yöntemleri vardı. Evaporatif soğutma, Hindistan ve Mısır'da uygulanmıştır. Suyu sodyum nitrat veya potasyum nitrat gibi kimyasalların eklenmesinin sıcaklığın düşmesine neden olduğu keşfedilmiştir. Mekanik soğutma sistemleri piyasaya sürülmeden önce, insanlar yiyeceklerini dağlardan taşınan buzlarla soğutuyorlardı. Bu buzlar, kar mahzenleri ve toprağın kazılarak tahta ya da samanla izole edildiği çukurlar kullanılarak depolanıyordu (Emani, Roy, & Mandal, 2017).

İnsanoğlu günlük yaşantısının devamı için hem ısıtma teknolojilerine hemde soğutma teknolojilerine her zaman ihtiyaç duymuştur. Bundan dolayı, insanoğlu yaşadığı ortamlardaki rahat ve konforlu bir şekilde yaşamını devam ettirebilmesi için, bu mekanların ısıtılması, soğutulması ve aynı zamanda iklimlendirilmesi gerekmektedir. Soğutma teknolojileri; rahat yaşam alanlarının oluşturulmasında, gıda maddelerinin muhafazalarında ve yaşamın ihtiyaç duyulan diğer alanlarında kullanılan teknolojilerin başında gelmektedir. Bu durum soğutma teknolojilerinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmaları her geçen gün biraz daha arttırmıştır.

Son yüzyılda, ilk olarak yapay soğutucu akışkanlar olan kloroflorokarbon (CFC) 'ler devreye girmiştir. Daha sonra bu soğutucu akışkanların yüksek ozon delme potansiyeli (ODP) değerine sahip olmalarından dolayı yerlerine hidrokloroflorokarbon (HCFC)'ler ve en bilineni R22 soğutucu akışkanı geçmiştir. R22'nin ozon tabakasına verilen zararı azaltmış olmasına rağmen klor nedeni ile gerçekleşen yıpranmadan ötürü 1996 yılında tamamen kullanılmasına yasak getirilmiştir. Bundan sonra, sıfır ODP değerine sahip olan hidroflorokarbon (HFC)'ler ve en bilineni R134a olan soğutucu akışkan kullanılmaya başlanmıştır. Montreal ve Kyoto Protokolleriyle çevresel sorunlar nedeni

ile sadece ODP değerinin sıfır olmasının yeterli olmadığı küresel ısınma potansiyeli (GWP) değerinde dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

CFC kullanımının sona ermesiyle birlikte, HCFC'ler ve HFC'ler gibi kimyasal maddeler geçici alternatifler olarak kullanılmıştır. HFC'ler ozon tabakasını tüketmemekle birlikte, CFC'lerin ve HCFC'lerin istenen özelliklerinin çoğuna sahiptir. CFC'ler ve HCFC'ler için alternatif soğutucu akışkan olarak yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. HFC soğutucu akışkanlar, büyük ölçekli uygulamalar için uygun olan güvenlik, stabilite ve düşük zehirlilik açısından önemli avantajlara sahiptir (Sarbu I. , 2014).

Ayrıca, HC ve HFC soğutucu karışmalarının düşük evre etkilerine sahip karışmaları, mevcut halojenli soğutucu akışkanları değiştirmek için potansiyel alternatifler olarak kabul edilmektedirler. HC bazlı karışmalar, mevcut sistemlerde değişiklik yapılmadan alternatif olarak kullanılabilen evre dostu soğutucu akışkanlardır. Fakat, hidrokarbon (HC) soğutucu akışkan karışmaları oldukça yanıcıdır ve bu da büyük kapasiteli sistemlerde kullanımını sınırlamaktadır (Palm, 2008).

HFC karışmaları ozon dostudur, ancak yüksek GWP değerine sahiptir. HFC karışmaları sentetik yağlayıcılar gerektiren (polyolester gibi) mineral yağ ile karışmamaktadır. Daha nceki araştırmalar, HFC/HC karışmalarının mineral yağ ile karışabileceğini göstermiştir (Fermiglia, Bertucco, & Bruni, 1998).

Çevresel olarak tercih edilen soğutucu akışkanlar: Düşük veya sıfır ODP, nispeten kısa atmosferik ömür, düşük GWP, iyi sistem verimliliği sağlama yeteneği, uygun güvenlik özellikleri, sistem uygulamalarında düşük bir toplam eşdeğer ısınma etkisi (TEWI) veya yaşam süreci iklim performansı (LCCP) verebilme özelliklerine sahip olmalıdır (Sarbu & Bancea, 2009).

Soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde soğutucu olarak yaygın kullanılan bir HCFC olan R22, ODP nedeniyle Montreal Protokolü uyarınca kontrollü bir maddedir. Bu protokolün amaçladığı gibi, gelişmiş ülkeler zaten R22'nin yeni ekipmanlarda kullanılmasını yasaklamışken, diğer taraftan aşamalı olarak ayrılma sürecini başlatmışlardır. Tüketimdeki hızlı düşüşün ardından, gelişmiş ülkeler için R22'nin tamamlanma aşamasının 2020 yılı için planlanması beklenmektedir. Benzer şekilde, gelişmekte olan ülkeler 2030 yılına kadar üretimini ve tüketimini durdurmaya tabi tutulmaktadır (UN Environment, OzonAction UN ENVIRONMENT, 2020).

Sanayi üretiminde enerji tüketiminin artması, fosil yakıtların kullanılması, karbondioksit emisyonunun gerçekleşmesi ve atmosferdeki sera gazı seviyesi, gün geçtikçe artmaktadır. Bunlar, küresel ısınmaya sebep olan etkenlerdir. Küresel ısınma; artan sıcaklık, iklimde oluşan değişiklik, buzulların erimesi, su kaynaklarının azalması, doğal afetler ve sonrasında dünyanın çölleşmesine neden olmaktadır

Küresel ısınma, sera gazı etkilerinin insan faaliyetlerine dayalı sera gazı konsantrasyonlarının artmasından kaynaklandığından dolayı endişe oluşturmaktadır. Bu nedenle, kullanılan soğutucu akışkanlarının olumsuz çevresel etkisi, ozon tabakasının incilmesi ve sera etkisi ile dünya yüzeyinde küresel ısınmaya katkısı olarak açıklanabilir (ASHRAE, 2013).

Normal çalışma (şarj veya deşarj) sırasında veya kazalardan sonra (hasarlar) soğutma ekipmanlarından sızıntı yapan soğutucu akışkanlar, atmosferin yüksek seviyelerinde yani stratosferde büyük ölçüde toplanır. Stratosferde, katalitik olarak ayrışarak, kullanılan soğutucu akışkan sızıntısından kaynaklanan kirlilik, normalde güneşten gelen ultraviyole radyasyonu filtreleyen ozon tabakasını tüketir, bu da dünyadaki canlılar ve bitkiler için bir tehdittir. Soğutucu akışkanlar küresel ısınmaya katkıda bulunur, çünkü atmosferde sera etkisi gösteren gazlardır (Sarbu I. , 2014).

Soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin küresel ısınmaya katkısı iki şekilde olmaktadır. Birincisi, soğutucu akışkanların emisyonu ve ısı radyasyonu ile etkileşimleri nedeniyle Doğrudan Küresel Isınma Potansiyeli (DGWP). İkincisi, fosil yakıtların yanmasıyla üretilen enerjiyi tüketerek Karbon dioksit (CO₂) emisyonu nedeniyle Dolaylı Küresel Isınma Potansiyeli (IDGWP). Buhar sıkıştırma soğutma sisteminde kullanılan soğutucu akışkanların çoğu, klor içeren CFC'ler ve HCFC'ler, sistemde herhangi bir sızıntı varsa, bu soğutucu akışkanlar atmosfere çıkacak ve stratosfere ulaşacaktır. Soğutucu akışkanlardaki klor atomları, ozon tabakasını incelterek katalizör görevi görecek ve bunun neticesinde sağlık tehlikelerine, küresel ısınmaya, kutup buz tabakalarının erimesine ve kuraklığa yol açan ozon tükenmesine neden olacaktır. Bu nedenle, küresel ısınmayı ve ozon tükenmesini en aza indirmek gerekmektedir. Klimalarda yaygın olarak kullanılan R22 soğutucu akışkanı, ozon tabakasında onarılamaz bir kayba neden olan ve değiştirilmesi gereken önemli bir CFC maddesidir (Chinnaraj, Vijayan, & Govindarajan, 2011).

Sistemlerden soğutucu akışkan salınımlarının en aza indirilmesi, yalnızca çevresel etkiler nedeniyle değil, aynı zamanda soğutucu akışkanın sisteme şarjı sırasında yeterli derecede akışkan şarjının yapılmaması ile de kayıplar oluşturacaktır. Bu, sistemlerin yetersiz soğutucu akışkan ile çalışmasına yol açarak, düşük işletme kalitesi ile düşük verimliliğe neden olacaktır. Ortalama küresel sıcaklık, güneşten dünyaya ve atmosfere gelen enerji ile dünyadan ve atmosferden uzaya yayılan enerjinin dengesi ile belirlenir. CO₂ ve su buharı gibi sera gazları ile küçük parçacıklar, yüzeyde ve yakınlarında ısıyı hapsederek, dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığını arttırarak sera etkisine neden olurlar (Sarbu I. , 2014).

Son yıllarda küresel ısınma seviyesi tehlikeli seviyelere ulaştığı için bazı soğutucu akışkanların kullanımı sınırlandırılmış yada tamamen kaldırılmıştır. Avrupa Birliği F-Gaz Yönetmeliği ile GWP değeri 150'den büyük olan soğutucu akışkanların kullanımları ile ilgili kota uygulaması getirilmiştir. Bu sınırlandırmaya tabi olan soğutucu akışkanlardan HFC'ler soğutma sistemlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu soğutucu akışkanların çevresel etkileri dikkate alındığında F-gaz yönetmeliğine uyum sağlamak için uzun vadeli alternatifler aramak gerekli hale gelmiştir.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı çerçevesinde, CFC ve HCFC'lerin ozon tüketme gücü belirlenerek, yürürlükten kaldırılması amacıyla gerekli şartlar oluşturulmuştur. Bu şartlar gelişmekteki ülkelerde CFC'lerin komple yürürlükten kaldırılması için son tarih 2010 olarak belirlenmiş, HCFC'lerin tamamı ile yürürlükten kaldırılması için son tarih 2040 olarak belirlenmiştir. CFC ve HCFC'lerin yerine ozona zarar vermeyen HFC kullanımı yaygınlaşmış olmasına rağmen saf HFC'lerin güçlü küresel ısınma potansiyelleri Kyoto Protokolünde tespit edilmiş olup, HFC üretimi ile kullanım miktarının azaltılması için müşterek karar alınmıştır (Bilir, Ersoy, & Hepbaşı, 2011).

İklimlendirme ve soğutma endüstrisi, ozon tabakasına zarar veren maddelerin (ODS) yaygın olarak kullanıldığı soğutucu akışkanların yerini yeni alternatifleri alınmaya devam ettiği için önemli değişiklikler geçirmektedir. Montreal Protokolü ve müteakip değişiklikler ile bölgesel düzenlemelere göre, CFC'ler 1996'dan beri yasaklanmış ve HCFC'ler için ise son kullanım tarihlerine yaklaşmaktadır. Sonuç olarak, HFC'ler ve doğal soğutucu akışkanlar gibi sıfır ODP'ye sahip yeni akışkanlar, ODS'lerin yerine kullanılmaktadır (Fernandez-Seara, Uhia, Diz, & Dopazo, 2010).

Klima ve soğutma endüstrisi, yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanların ODS'nin yerini almak için alternatif arayışları devam ettiği için önemli değişiklikler geçirmektedir. Montreal Protokolü ve müteakip değişiklikleri, CFC'ler ve HCFC'ler akışkanlarının kaldırılması programını belirlemektedir. Sonuç olarak, sıfır ODP'e sahip yeni akışkanlar ODS'lerin yerine geçmektedir. (U.S. Department of State, 2020)

Soğutma ve iklimlendirme sektöründe küresel talebi karşılayarak uluslararası anlaşmaların gerekliliklerini yerine getirmek için uzun vadede alternatif soğutucu akışkan çözümlerinin bulunması gerekmektedir. Çevresel, ekoloji ve sağlık açısından HFC soğutucu akışkanlar için daha iyi alternatifler bulunmalıdır. Düşük çevresel etkiye sahip HC ve HFC soğutucu akışkan karışımlar, mevcut halojen soğutucu akışkanları aşamalı olarak kaldırabilmek için en iyi çözüm olarak kabul edilmektedir (Johnson, 1998).

Montreal Protokolü, gelişmiş ülkelerde kullanım sınırlandırması 2030 olan HCFC soğutucu akışkanlarının ortadan kaldırma programını belirledi (U.S. Department of State, 2020).

Ancak, Avrupa'da CE-2037/2000 Yönetmeliği HCFC geri dönüştürülmemiş ürünlerin ticarileştirilmesinin son tarihini 31 Aralık 2009 ve 1 Ocak 2015 son kullanım tarihini belirleyerek daha fazla sınırlama getirmiştir (EUR-Lex, Access to European Union law, 2020).

Bu durumda, birkaç soğutucu akışkan HCFC'ye, özellikle tesisatlarda ve sistemlerde yaygın olarak kullanılan HCFC-22'ye alternatif olarak düşünülmektedir (Calm & Domanski, 2004).

Dünya devletleri için, ozon tabakasını şekillendirme ve koruma problemleri, en önemli öncelik haline gelmiştir. Bu bağlamda, son 30 yıl boyunca, Avrupa Birliği, oluşan kirlilik etkilerini düzeltmek için, çeşitli talimatlarla, sanayi ve üretim faaliyetlerinin düzenlenmesi için hükümetlerinin iş birliği yaparak, programlarını ve projelerini isteyerek izin verilen konsantrasyon seviyelerinin uygulanmasında ısrarcı davranarak, çevre koruma ile ilgili çok sayıda yasa ve yönetmelik kabul etmiştir. Atmosferik Politikalardan sorumlu anlaşma, bazı ülkelerle ilgili düzenlemelerin kısa bir özetini tutan ozon koruma ve iklim değişikliği politikaları için bir endüstri işbirliği olmuştur (ARAP web site, 2020).

Ozon tabakasının incelenmesi konusu ilk kez 1976 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)'nin Yönetim Konseyi'nde tartışılmıştır. UNEP ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nün ozon incelenmesini periyodik olarak değerlendirmek için kurdukları Ozon Tabakası Koordinasyon Komitesi (CCOL) sonrası, ozon tabakası konusundaki uzmanlar 1977 yılında bir toplantıda bir araya gelmişlerdir. ODS'nin azaltılmasına ilişkin olarak ilk hükümetler arası temaslar ise 1981 yılında başlamış ve bu girişim Mart 1985'de **Ozon Tabakasının Korunması için Viyana Sözleşmesi**'nin kabulü ile neticelenmiştir. Viyana Sözleşmesi, araştırma, ozon tabakasının sistematik gözlenmesi, CFC üretiminin izlenmesi ve bilgi paylaşımı hususlarında hükümetler arası işbirliğinin sağlanmasını teşvik etmiştir. Sözleşme tarafları, ozon tabakasının yapısını değiştiren insan kaynaklı faaliyetlere karşı ve çevre ve insan sağlığını korumaya yönelik olarak genel önlemler almakla görevlendirmektedir. Yasal bağlayıcılığı olan kontrolleri veya hedefleri içermeyen bir çerçeve sözleşmedir. Sözleşme üzerindeki anlaşmayı takiben, vakit kaybedilmeden ozon tabakasını incelten maddelerin kullanımının ve üretiminin kontrol altına alınmasını sağlayacak olan bir protokol üzerinde çalışmalar başlatılmıştır. Eylül 1987'de **Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü** kabul edilmiştir. 1985 yılında Antartika üzerindeki ozon deliğinin tespit edilmesi ile hükümetler, birçok CFC'nin ve bazı halonların üretimini ve tüketimini azaltacak katı önlemlere ihtiyaç olduğu yargısına varmışlardır. Montreal Protokolü, periyodik olarak yapılan bilimsel ve teknolojik değerlendirmeleri temel alarak azaltma takviminin revize edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Bu teknik ve bilimsel değerlendirmeleri takiben, söz konusu Protokole ait takvimdeki azaltma işleminin hızlandırılması için **1990'da (Londra), 1992'de (Kopenhag), 1995'de (Viyana), 1997'de (Montreal), 1999'da (Pekin) ve 2007'de (Montreal)** tekrar düzenlenmiştir. Ayrıca bu düzenlemeler, yeni kontrol maddelerinin ve yeni önlemlerin de anlaşmaya dahil edilmesine neden olmuştur. 196 ülkenin taraf olduğu Montreal Protokolü, çevre konusunda oluşturulmuş en başarılı çok taraflı anlaşma olarak tanımlanmaktadır. Haziran 1990 yılında, Londra'da protokolün büyük bir başarısı olarak görülen ve gelişmiş ülkelerin katkıları ile oluşturulan bir "**Çok Taraflı Fon (MLF)**" kurulmuştur. Bu fon, gelişmekte olan ülkelerin endüstrisine; OTİM'lerin giderilmesine yönelik projelerde teknik uzmanlaşma, yeni teknolojiler ve ekipmanlar için kullanılmaktadır. **Türkiye;** protokole 19 Aralık 1991 tarihinde taraf olmuştur ve tüm değişikliklerini kabul etmiştir.

Protokole ilişkin ulusal ve uluslararası çalışmaların izlenmesi Ulusal Odak Noktası görevini yürüten Çevre ve Orman Bakanlığı'nın koordinasyonunda gerçekleştirilmektedir. Ülkemiz Montreal Protokolünün uygulanmasında en başarılı ülkeler arasında yer almaktadır. 12 Kasım 2008 tarih ve 27052 sayılı Resmi Gazete'de "Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik" yayımlanmıştır. Günümüze kadar yayımlanan Yönetmelikler ile; **CFC Gazları için;** CFC kullanımı 2006 itibarı ile sınırlanmış ve 01.01.2008 tarihinden itibaren zorunlu kullanım alanları da dahil olmak üzere tüm ithalatı yasaklanmıştır. Tarım alanlarında yaygın olarak kullanılan geniş etkili bir pestisit olan metil bromür (CH_3Br) maddesinin kontrolü Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığınca yapılmaktadır. **Halonlar için;** Halon gazlarının ithalatı 01.01.2008 tarihinden itibaren yasaklanmıştır. İç piyasadaki talebin karşılanması için Türkiye Halon Gazı Bankası (TÜHAB) Rehabilite edilmiş halonlar konusunda faaliyet göstermiştir. 01.01.2012 tarihinden itibaren 01.01.2016 tarihine kadar sadece **zorunlu kullanımı** serbesttir. **HCFC Gazları için;** HCFC grubu gazların da kullanımına son verilmesi çalışmaları devam etmektedir. HCFC grubu gazların ithalatı 2007 yılı ithalat miktarları baz alınarak 01.01.2009 tarihinden itibaren kotaya tabi olmuştur. Bu maddeler, bir takvim çerçevesinde azaltılarak 01.01.2015 tarihinde servis amaçlı kullanımları hariç ithalatlarına son verilmiştir. **Ayrıca;** Bahse konu Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihten itibaren OTİM'lerden herhangi birini üretmek, bunları kullanarak üretim yapan yeni tesis kurmak ve kapasite arttırmak üzere tesis veya ünite kurmak yasaktır. Ozon tabakasını incelten maddelerin ithalatının düzenlenmesi için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından Kontrol Belgesi hazırlanmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020).

Türkiye farklı iklim yapılarını içinde barındırdığından dolayı, küresel ısınma ile bağlantılı olarak, oluşabilecek iklimdeki olası değişikliklerden negatif yönde etkilenecek ülkelerin başında gelmektedir.

Florlu sera gazlarının neden olduğu emisyonları düzenlemek ve Türkiye'nin de yer aldığı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolünde ürün veya ekipmanlardan florlu sera gazları ile florlu sera gazı içeren ekipmanın kullanımına dair usul ve esasları tanzim etmek amacı taşıyan yönetmelik 4 Ocak Perşembe itibarı ile 30291 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmıştır.

Bu yönetmeliğe göre, ticari kullanım amaçlı (alışveriş merkezleri, süpermarketler, her türlü perakende alışveriş mağazaları vb.) bağımsız, paket dondurucular ve buzdolapları yalnızca GWP'si 2500 değerinin altında olan bir soğutucu akışkan içeriyorsa satışı yapılabilecektir. Harici bir kondenser ünitesi olan çoklu paket sistemler veya split tip sistemler için geçerli değildir. -50°C'nin altında çalışan derin soğutma sistemleri gibi ultra düşük sıcaklık sistemleri bu yasağın kapsamının dışındadır. Son kullanıcı tarafından yer değiştirilebilecek şekilde tasarlanmış, tek bir gövde halindeki, taşınabilir klima üniteleri yalnızca GWP değeri 150'nin altında olan soğutucu akışkan içeriyorsa satılabilir. 1 Ocak 2020 tarihinden itibaren, şarj miktarı 40 ton CO₂ eşdeğeri veya üzerinde olan soğutma ekipmanlarının bakım veya servis işlemlerinde GWP değeri 2500 veya üzerinde olan saf florlu sera gazı kullanımı yasaktır. 1 Ocak 2020 tarihinden sonra saf soğutucu akışkanların kullanımının yasaklanması dışında bu sistemlerin servisi veya uzun vadede kullanımıyla ilgili kısıtlama yoktur. Bu sistemlerin gelecekte kullanımlarının yasaklanmasıyla ilgili mevcut durumda herhangi bir plan yoktur. Askeri ekipmanlar ve ürünleri -50°C'nin altına soğutmak için tasarlanmış sistemlerde kullanılması planlanan soğutma sistemleri bu servis kısıtlamasından muaftır (AREA, 2019).

Ülkemizde ve Dünya'da iklim değişikliğinin etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Sistemlerin verimlilik değerleri ve doğaya verdikleri zarar artık tartışma konusu olmaktadır. Sivil toplum örgütleri ile hükümetler işbirliği yaparak, bu sorunun çözümü için çalışmalar yapmaktadır. Avrupa Birliği tarafından 30 Kasım 2016'da yayınlanan 2016/2281 numaralı ekotasarım gereklilikleri regülasyonu bu konuda atılan ilk adımdır. Burada enerji verimlilik kriterleri belirtilerek birçok ürün grubu için minimum zorunlu gereklilikler belirtilmiştir. Bunları yerine getirmeyen ürünlerin belirli bir takvim içerisinde Avrupa'ya girişleri yasak hale getirilmiştir.

Isıtma ve soğutma ürünleri için 1 Ocak 2018 tarihinde ilk hedef verimlilik değeri yürürlüğe girmiş olmakla birlikte belirtilen ikinci zorunlu hedef verimlilik değeri 1 Ocak 2021 tarihinde geçerli olacaktır (Okudan, 2020).

Soğutma ve iklimlendirme sistemlerine olan ihtiyaç küresel ısınmanın gittikçe artması ile artacaktır. Sınırlı miktarda enerji kaynaklarına sahip olunması, toplam enerji tüketiminde kullanılan yenilenebilir enerji miktarının payının az olması ile bu sistemlerin performanslarının artırılmasının gerekliliğini ortaya çıkartacaktır. Enerji kaynaklarının

giderek azalması, yenilenebilir enerji miktarı kullanım oranının çok az olması insanları varolan enerji kaynaklarını dikkatli biçimde kullanmaya zorlamaktadır. İşletme ve enerji maliyetlerinin artması, çevre korumaya önem verilmesi ve iç ortam hava kalitesinin istenilen şartlarda korunması gibi durumlar neticesinde, iklimlendirme ve soğutma sistemlerinin tasarım ve seçimini önemli hale getirmektedir.

Günümüzde, iklimlendirme ve soğutma sistemlerinden, ofis ve ev uygulamalarından, endüstriyel ve ticari uygulamalara kadar farklı alanlarda ve kapasitelerde yararlanılmaktadır. Elektrik enerjisinin dünyadaki tüketiminin %25'e ulaşan kısmı evsel, ticari ve endüstriyel soğutma sistemlerince kullanılmaktadır. Kimya, gıda sanayi gibi çok farklı alanlarda, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin kullanımı ile bu değer %50-80'lere çıkmaktadır. İklimlendirme ve soğutma sistemlerinde, enerji verimliliği ile ilgili yapılacak iyileştirmeler, ekonomik ve çevresel etki açısından çok önemli yer etmektedir.

BÖLÜM 2. LİRETATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür araştırmasında farklı özelliklerdeki soğutucu akışkanların performans ve ekserji analizlerinin yanında görüntü işleme ile ilgili çalışmalarında olduğu görülmüştür. Araştırma sonucunda elde edilen bilgilerden bu tezde yapılan çalışma ile ilgili olan çalışmalara ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Torella ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, R22 soğutucu akışkanı kullanılan merkezi HVAC sisteminin chiller grubunda, enerji performansı çalışması R417A ve R422D kullanılarak gerçek şartları altında deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, her iki soğutucu akışkan için evaporasyon ve kondenzasyon sıcaklıklarının farklı olduğunu, bu farklılığın da farklı basınç ve kompresör sıcaklıklarını oluşturduğunu, soğutma kapasitesinde, kompresör gücünde azalma olduğunu, R22'nin R422D ile yenilenmesiyle enerji performanslarında küçük bir iyileşmenin olabileceğini göstermiştir (Torrella, Cabello, Sanchez, Larumbe, & Llopis, 2010).

Özcan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, halen halojenli soğutucu akışkanların (CFC, HCFC), termodinamik ve termofiziksel özellikleri, düşük maliyetleri ve uzun bakım aralıkları nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde soğutma sisteminin bir bileşeni olarak yaygın olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Halojenli soğutucu akışkanların klor atomları içerdiğinden, ozon tabakasına zarar vererek, kimyasal yapıları küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu çalışmada, halojenli soğutucu akışkanlara alternatif olarak çevre dostu saf HC soğutucu akışkanları, HC ile HFC/HC karışımları sunan çalışmalar incelenmiştir. HC'leri ve bunların karışımlarını soğutucu madde olarak kullanırken kısa ve uzun vadede ortaya çıkabilecek güvenlik faktörleri ve uyumluluk konuları hakkında bir tartışma yapılmıştır. Karışım oranları farklı HC'lerin, CFC ve HFC ile çalışan sistemlere adaptasyonları, hali hazırdaki yağlama yağları ile entegrasyonu ve güvenliği ile ilgili alınacak önlemlere ek çalışmalarla bu soğutucu akışkanların kullanıldığında, sorunsuz bir şekilde soğutma sistemlerinin çalışabileceği belirtilmiştir (Özcan & Arcaklıoğlu, 2011).

Aprea ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, soğutma sisteminin kompresör hızının değiştirilerek kontrol edilmesi durumunda, buhar soğutmalı sistemin ekserji analizini yapmıştır. Çalışmanın ana hedefi; hem sistemin hem de bireysel bileşenlerinin performansının değerlendirilmesidir. Kompresörün hızı değiştirildiğinde, kompresör kapasitesinin kontrolü, termostatik kontrole göre enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ekserji analizinde, en iyi sonuçları R22 kullanılarak ve ardından R407C olarak tasarlanan karışımın sağladığı, R407C'nin kompresörün değişik hız değerlerinde daha iyi bir performans sergilediği gösterilmiştir (Aprea, de Rossi, Greco, & Renno, 2003).

Aprea ve arkadaşları, buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde, R22'nin yerine R417A kullanarak deneysel bir araştırma yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar, R417A'nın COP'sinin R22'den %14 daha düşük olduğunu ve ekserji yıkımının R22'den %14 daha yüksek olduğunu göstermiştir (Aprea & Renno, 2004).

Bulgurcu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, soğutucu akışkanların anlaşmalar neticesindeki kısıtlanma ve kaldırılma sürecine değinilmiş, alternatif soğutucu akışkanlar hakkında bilgiler verilmiş, bu akışkanların ODP ile GWP bağlantılı olarak TEWI'nin nasıl hesaplanacağı açıklanmıştır. Bunun yanında evsel, ticari ve endüstriyel soğutma çalışmalarında; tasarlanmasında, imalatında, servis ve bakımlarının yapılması sırasında alınacak önlemler ifade edilmiştir (Bulgurcu, Kon, & İlten, 2007).

Akhilesh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, R422 serisi soğutucu akışkanları (R422A, R422B, R422C ve R422D) birinci ve ikinci yasa analizi ile R22'ye alternatif olarak sunmuşlardır. Refprop 7.0 denklem çözücü yazılımında geliştirilen bir hesaplama modeli, soğutucu akışkanların buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimindeki performansını karşılaştırmak için kullanılmıştır. Hesaplanan parametreler, hacimsel soğutma kapasitesi (VCC), kompresör çıkış sıcaklığı, COP, sistem bileşenlerindeki ekserji verimliliği ve verimlilikteki hatalarıdır. Sonuçlar, R22 için VCC, COP ve ekserji verimliliğinin R422A, R422B, R422C ve R422D ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğunu göstermektedir. Kondanserdeki verimlilik hataları en çok genişleme valfi, kompresör ve evaporatörde olmaktadır. Bu nedenle, kondenserin tasarım iyileştirmesi ve sistem performansının iyileştirilmesi açısından son derece önemli olduğu vurgulanmıştır (Arora & Sachdev, 2009).

Aprea ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, soğuk hava deposunda R22 ve yerine kullanılan R422D soğutucu akışkanları deneysel olarak incelenmiştir. R22 ve R422D'nin performans özellikleri üzerinde tam bir karşılaştırma yapılabilmesi için hem enerji hem de ekserji analizlerinin yapılması önerilmiştir. Deneysel araştırma, dört soğutma kapasitesi (920, 1340, 1925 ve 2250 W) dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel analiz, COP, ekserji verimliliği, her bileşendeki ekserji yıkımı ve tesisin çalışmasını sağlayan diğer değişkenlerin belirlenmesine izin vermiştir. Sonuçlar, R422D'nin COP değerinin ortalama olarak R22'ninkinden % 20 daha düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca, hava soğutmalı kondenserli sistemler için, R422D fan hızının artırılması veya daha büyük fanlar kullanılması gerektiği bildirilmiştir (Aprea, Maiorino, & Mastrullo, 2014).

Bhatkar ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin, dünyadaki soğutma endüstrilerinin neredeyse % 80'inde soğutma, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme için kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu cihazların enerji tüketimi çok yüksektir ve çalışma akışkanı, HFC, HCFC ve HFC gibi çevre dostu olmayan akışkanlar nedeniyle çevresel sorunlar oluşturmaktadır. Isıtma, havalandırma, iklimlendirme ve soğutma endüstrileri, üretim maliyetini düşürürken, performansını, ekipmanların dayanıklılığını ve enerji verimliliğini sürdürülebilir bir şekilde artırmanın yollarını aramaktadır. Mevcut soğutucu akışkanlar ile ozon tabakasının incelenmesi, küresel ısınma potansiyeli, sera gazları ve karbon emisyonu gibi çevre sorunları her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada, popüler soğutucu akışkanlardan hidrofloroolefin 1234yf (HFO) deneysel olarak kapsamlı bir şekilde incelenmiş, karbon dioksit, amonyak, hidrokarbonlardan oluşturulan, DuPont ve Honeywell'in iyi termo-fiziksel ve çevresel özellikler sergileyen yeni soğutucu akışkanı HydroFluoro-Olefin 1234yf'ye alternatif olarak önerilmiştir (Bhatkar, Kriplani, & Awari, 2013).

Mohanraj ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, buhar sıkıştırımlı soğutma, iklimlendirme ve ısı pompası sistemlerinde kullanılmakta olan yeni soğutucu akışkan karışımlarının performansının gözden geçirilmesi için bir girişimde bulunulmuştur. Ayrıca, yeni soğutucu akışkan karışımları, bu alanda daha fazla araştırma ihtiyacı ve yeni gelecek sistemler için gelecekteki soğutucu akışkan seçenekleri ile karşılaşılan teknik zorluklar ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Bunun yanında, HC bazlı soğutucu akışkan karışımlarının, buhar sıkıştırımlı sistemlerinde mevcut halojenli soğutucu akışkanların yerine

kullanılmak üzere uzun vadeli bir alternatif olarak tanımlandığı sonucuna varılmıştır (Mohanraj, Muraleedharan, & Jayaraj, 2011).

Cabello ve arkadaşları, çalışmalarında kademeli olarak kaldırılan R22'nin yerine kullanılabilir düşük buharlaşma sıcaklıkları için drop-in (soğutma sisteminde kullanılan cihazlara müdahale edilmeden yalnızca araştırma konusu soğutucu akışkanın yer değiştirmesi sonucu sistem performansının incelenmesi) veya uzun süreli soğutucu akışkanların araştırılmasına odaklanmaktadır. Bu çalışmada, iç ısı değiştiricisinin yeni değişim akışkanları üzerindeki enerji etkisi deneysel bir yaklaşımla ele alınmıştır. Çalışma, bir iç ısı değiştirici (İİD) ile bu olmadan çalışan aynı dış koşullarda test edilmiş tek kademeli buhar sıkıştırma soğutma sisteminde yapılmış deneysel ölçümlere dayanmaktadır. R22 ile çalışan İİD'in enerji etkisi ve düşük sıcaklık uygulamaları için üç alternatif, klor içermeyen R417B, R422A ve R404A analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlardan, R22 yerine drop-in soğutucu akışkanları verildiğinde soğutma kapasitesinde ve COP'de düşüşler gözlemlenmiştir, ancak bir İİD'in olması bu düşüşleri engel olmaya yardımcı olabilmektedir. Ayrıca, İİD'in yeni soğutucu akışkanlarla kullanımının enerji açısından, avantaj ve dezavantajının belirlenebilmesi için kullanılan kriterler test edilmiş ve sonuçlar doğrulanmıştır (Cabello, Torrella, Llopis, Sánchez, & Larumbe, 2013).

Torella ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 160 kW'lık su soğutucusu üzerinde, R22'nin, R417A ve R422D ile değiştirildiğinde enerji performansı çalışması yapmışlardır. Sonuçlar, her iki soğutucu akışkan için evaporatör ve kondenser sıcaklıklarının farklı olduğu, diğer soğutucu akışkanlarla çalışıldığında soğutma kapasitesinde, kompresör gücü ve deşarj sıcaklığında düşüş meydana geldiğini ifade etmişlerdir (Torrella, Cabello, Sanchez, Larumbe, & Llopis, 2010).

Llopis ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, düşük sıcaklıktaki uygulamalar için R422A ve R417B olmak üzere iki R22 drop-in çözümünün, buharlaşma sıcaklığı aralığında bir kompresör tarafından çalıştırılan çift kademeli bir buhar sıkıştırma soğutma sisteminde, deneysel olarak değerlendirilmesine odaklanmışlardır. Buharlaşma sıcaklığı -31/-17 °C, yoğuşma sıcaklığı 30/48 °C arasındadır. Deneysel sonuçlar, HCFC22 kullanımı ile ilgili olarak, analizde tartışılan soğutma kapasitesinde ve COP'de bir azalma olduğunu göstermektedir (Llopis, ve diğerleri, 2011).

Chinnaraj ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, enerjiyi korumak ve küresel ısınmayı en aza indirmek için, sistemlerin daha enerji tasarruflu olarak tasarlanmasını ve aynı zamanda ozon tükenmesini en aza indirmek için, R22'ye alternatif çevre dostu soğutucuların seçilmesi gerektiğini bildirmiştir. Bu nedenle, genişleme cihazı olarak kılcal boru yerine Elektronik Genleşme Valfi (EEV) ile güçlendirilmiş 3,5 kW kapasiteli bir pencere tipi klima, sabit iç mekan şartları altında R22'ye alternatif olarak seçilen R407C ve R290 soğutucu akışkanları ile performans açısından test edilmiştir. Deneysel çalışmalardan, EEV'li daha küçük kapasiteli R22 pencere tipi klimanın R407C ve R290 ile retrofit edildiğinde, R22'nin performansına kıyasla, R407C ve R290 soğutucu akışkanlarının kullanılması ile COP aralığında iyileşme gözlemlenmiştir (Chinnaraj, Vijayan, & Govindarajan, 2011).

Menlik ve arkadaşları çalışmalarında, buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde R22 ve alternatifleri R407C ile R410A'nın enerji ve ekserji analizlerini, performans karşılaştırmalarını sunmuşlardır. Bu üç soğutucu akışkanın birinci yasa (enerji) ve ikinci yasa (ekserji) analizi yapılmıştır. Analizler farklı buharlaştırıcı sıcaklıkları (5 °C aralıklarla -40 °C ila 0 °C aralığı), kondenser (5 °C aralıklarla 40 °C ila 55 °C aralığı), aşırı soğutma/aşırı kızdırma sıcaklıkları (0 aralığı °C ila 10 °C, 2 °C aralıklarla) ve ölü durum sıcaklıkları (5 °C aralıklarla 20 °C ila 30 °C aralığı) için yapılmıştır. Sonuçlardan R407C'nin R22'ye R410A'dan daha iyi bir alternatif olduğu görülmüştür. Analizlerden en kötü sistem bileşeninin kondenser olduğu bildirilmiştir (Menlik, Demircioğlu, & Özkaya, 2013).

Aprea ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, TEWI açısından R422D ile R22 kullanılan sistemlerinin küresel çevresel etkilerini tanımlamayı amaçlayan deneysel bir analiz sunmuşlardır. Bu amaçla, ticari uygulamalar için doğrudan genişlemeli bir soğutucu düşünülmüş ve soğuk deponun sıcaklığı -5, 0, 5, 10 °C'ye ayarlanarak enerji tüketimi araştırılmıştır. Deneysel araştırma, sistemin R422D ile retrofit (iyileştirildiğinde) edildiğinde TEWI'nin artmasına yol açtığı görülmüştür. Bu nedenle çevre dostu senaryolara yönelik bir optimizasyon analizi yapılmıştır (Aprea & Maiorino, 2011).

Kalaiselvam ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, scroll kompresörlerde çalışan üç soğutucu akışkanın ekserji analizi ve çalışma özellikleri açıklanmaktadır. R22, R417A ve R407C soğutucu akışkanları, üç adet aynı özellikteki scroll kompresörlü klima

sisteminde, termodinamik davranışlar, tersinmezlik, sistem ile soğutucu akışkan arasındaki basınç düşüşü, ısı transferi açısından etkileşim ve ekserji hesaplamaları yönünden analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, R407C'nin COP değeri, minimum ekserji kaybı olan R22 kullanılan scroll kompresörde R22'den 2,41 daha düşük olmuştur. R22'de elde edilen %50-55'lik ikinci kanun verimi, R407C ve R417A'ya göre %48-52 daha düşük elde edilmiştir. Sonuçlar, R417A soğutucu akışkanının R22'nin yerine kullanılmasını önermektedir (Kalaiselvam & Saravanan, 2009).

La Rocca ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, buhar sıkıştırmalı bir soğutma sisteminin performansını belirlemek için R22, R417A, R422A ve R422D soğutucu akışkanlarını karşılaştırmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada elde edilen sonuçlara göre, en yüksek TEWI değerlerine sırasıyla R422A, R422D, R417A ve R22 soğutucu akışkanlarında ulaşılmıştır. Bu netice, R22'ye göre ODP değeri düşük olan soğutucu akışkanların, çevresel olarak bakıldığında daha zararlı olabileceğini belirtmektedir. Bunun yanında, büyük sistem modifikasyonun gerekli olmadığı, ancak enerji verimliliğinde iyileşmenin olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, yerine kullanma durumuna ve kompresörde yağlayıcı olarak mineral yağ kullanılmaya devam edilebilme avantajına rağmen, test edilen soğutucu akışkanlarda elde edilen performansın R22 kadar etkili olmadığını sonucunu göstermiştir. R22 ile alternatif akışkanlar (R417A, R422A ve R422D) üzerinde birkaç seri test yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, R22'nin diğer akışkanlardan enerji açısından daha verimli olduğunu ortaya koymuştur. R417A, R422A ve R422D, ODP = 0 ile karakterize edilir ve mevcut sistemlerde, yağlayıcıyı değiştirmek zorunda kalmadan veya soğutma devrelerini ve ekipmanlarını yenilemek zorunda kalmadan kolayca R22'yi değiştirebilmektedirler. Bu, değiştirme işlemi herhangi özel teknik ekipman olmadan ve çok düşük bir maliyetle gerçekleştirilebilecek çok kolay bir işlem gerektirmektedir (La Rocca & Panno, 2011).

Şencan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, soğutucu akışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesinin, buhar sıkıştırmalı soğutma sistemlerinin termodinamik analizi için çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada, farklı beş alternatif soğutucu akışkanın, ısı iletim katsayısı, dinamik viskozite, kinematik viskozite, termal iletkenlik, yoğunluk ve soğutucu akışkanların özgül ısı kapasitesi gibi özelliklerinin belirlenmesi için yapay bir sinir ağı (YSA) önerilmiştir. Beş alternatif soğutucu akışkan olarak; R413A, R417A, R422A, R422D ve R423A seçilmiştir. YSA'dan elde edilen yeni

formülasyon ile soğutucu akışkanların sıvı ve buhar termodinamik özellikleri kolaylıkla tahmin edilebilmektedir. Önerilen yöntem daha fazla esneklik sunduğundan, buhar sıkıştırma soğutma sistemlerinin termodinamik analizinin oldukça basitleştirilmiş olacağı iddia edilmiştir (Şencan, Köse, & Selbaş, 2011).

Oruç ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada R22 yerine kullanılabilen R417A ve R424A soğutucu akışkanlarının enerji ve ekserji analizini, split tip bir klima için deneysel olarak araştırmışlardır. Mevcut alternatif soğutucu akışkanların GWP miktarları R22'ye kıyasla daha yüksek olsa da, ODP değerleri sıfırdır. Deneyler, 25 °C, 30 °C ve 35 °C'lik üç farklı ortam sıcaklığı değeri için gerçekleştirilmiştir. Kapalı test koşulları altında, iç ortam sıcaklığı 22 °C' de sabit sıcaklıkta tutularak kararlı durum için gerçekleştirilmiştir. Sistemdeki bileşenlerin soğutma kapasitesi, COP, bileşenlerin ekserji yıkımı, ekserji verimliliği parametreleri belirlenmiştir. R417A ve R424A soğutucu akışkanları için COP değerlerinin R22 ile karşılaştırıldığında daha küçük olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, hem kompresörün izentropik verimi hem de sistemin ekserji verimi R22 için daha yüksek çıkmaktadır. R424A'nın kullanımı, R417A'dan daha uygun olacaktır, çünkü R417A'nın COP değerleri R424A'ya kıyasla yaklaşık %5-16 daha düşüktür. R22'nin COP değeri, sırasıyla %17-23 ve %4-18 miktarlarında R417A ve R424A'dan daha yüksektir. Daha yüksek buharlaşma sıcaklıklarında (klimalardaki gibi 0 °C ila +5 °C) R424A'nın R22'ye alternatif bir soğutucu olarak R417A'dan daha fazla tercih edilebilir olduğu bildirilmiştir (Oruç & Devecioğlu, 2015).

Oruç ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, R22'ye alternatif olarak kullanılacak R417A, R422A, R422D ve R424A'nın tüketilen enerji miktarını, soğutma kapasitesi ve COP değerleri, 35, 38, ve 41 °C'lik ortam sıcaklıklarında split tip bir klima cihazı için deneysel olarak belirlemişlerdir. Tüm HFC soğutucu akışkanlarının COP değerlerinin R22'den daha küçük olduğu bulunmuştur. R22 yerine kullanılabilen en uygun soğutucu akışkanın, R424A olduğu belirlenmiştir, çünkü R424A'nın COP'sinin, 41 °C'lik bir ortam sıcaklığında R22'den sadece %2.5 daha küçük olduğu belirtilmiştir. Bildirilen sonuçlar, R417A'nın sıcak iklim bölgelerinde R22 nin yerine tavsiye edilen soğutucu akışkan olduğunu göstermiştir (Oruç, Devecioğlu, Berk, & Vural, 2016).

Smolka ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, kızılötesi kameralarla elde edilen kızılötesi görüntü içeren uygulamalarda, gürültü, düşük kontrast, bulanık görüntü, ya da sıkıştırma

bozukluklarını ele almışlardır. İstenmeyen durumlar askeri, bilimsel, tıbbi ve diğer alanlarda kızılötesi görüntüleme uygulamalarını etkilemektedir. Bu nedenle, kızılötesi görüntülerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu tür sorunları çözmek için görüntü iyileştirme tekniği geliştirmişlerdir. Görüntü iyileştirme problemine olasılıksal bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşım, görüntü kafesinde rastgele yürüyüş gerçekleştiren sanal bir parçacığın modeline dayanmaktadır (Smolka & Wojciechowski, 2001).

Wang ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada Plateau histogram eşitlemesine dayanan, kendiliğinden uyarlamalı kontrast geliştirme algoritması sunmuşlardır. Görüntü histogramının analiz edilmesi ile eşik değeri hesaplaması gerçekleştirilmiştir (Wang, Liu, Li, & Zhou, 2006).

Holland ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada termal görüntülerin fizik bilgisini, mekansal ve zamansal çözünürlüğünü arttırmak için kullanılmışlardır. Isı iletim denkleminin dayandığı bu yöntemin en önemli özelliği basit yapıda olmasıdır (Holland & Renshaw, 2010).

Bai ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, çok ölçekli bilgilerin önemini göz önünde bulundurarak, kızılötesi görüntüleri geliştirmek için çok ölçekli üst düzey yeni bir dönüştürme yöntemi önermişlerdir (Bai, Zhou, & Xue, 2011).

Liu ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, yüksek dinamik aralıklı kızılötesi görüntüler için ilk olarak giriş görüntüsünü ana ve detay bileşenine ayıran, yönlendirilmiş bir görüntü filtresi kullanmışlardır. Filtreleme işleminden sonra, modifiye histogram izdüşümüyle temel bileşen ekran aralığına sıkıştırılmıştır. Kazanç maskesi kullanarak da detay bileşenini geliştirilmiştir (Liu & Zhao, 2014).

Zhang ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, kızılötesi görüntü için yeni bir gradyan alanına dayalı görüntüleme yöntemi sunmuşlardır. Önerilen yöntem, veri ve gradyan kısıtlama terimi içeren enerji fonksiyonunu benimsemektedir. Dinamik aralık sıkıştırması açısından iyi performans gösterirken, ayrıntıları zenginleştirmede zayıf kalmıştır (Zhang, Xie, Ma, & Qin, 2014).

Yun ve arkadaşları, son yıllarda yaptıkları çalışmada, yanal kısıtlama ağının matematiksel bir modelini oluşturmuşlardır. Uyarlamalı yanal kısıtlama katsayısının üstel bir dağılıma sahip olmasından dolayı, model daha esnek ve evrensel hale getirilmiştir (Yun, Wu, Wang, Tong, & Yang, 2016).

Voronin ve arkadaşları, yaptığı çalışmada, çalışma frekans döneminde yapılan bir çalışma olup, yerel ve global görüntü işlemeyle dayalı bir metottur. Temel fikir, farklı görüntü bloklarına mekansal eşitleme yaklaşımı ile logaritmik dönüşüm histogramı uydurma işlemi uygulanmıştır (Voronin, Tokareva, Semenishchev, & Agaian, 2018).

Katırcıoğlu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, soğutma sistemlerinde termal görüntü analizi ile farklı soğutucu akışkanların uzaktan sensörsüz olarak performanslarının karşılaştırılması için, elde edilen termal görüntülerin iyileştirilmesi önerilmiştir. İyileştirme yapılırken termal görüntülerin renk bilgilerinde orijinalinden uzaklaşma en büyük dezavantaj olarak gerçekleşmiştir (Katırcıoğlu, Çay, & Cingiz, 2019).

Cingiz ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, soğutma sistemlerinde geniş kullanım alanı olan R22 soğutucu akışkanına iyi bir seçenek ve ozon tabakasına dost R417A, R438A, R422A ve R422D soğutucu akışkanlarının performansları termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre değerlendirilmiştir. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistem tasarımı için Chemours Refrigerant Expert 1.0 programından yararlanılmıştır. Analizler sırasında yoğuşma sıcaklığı sabit (50 °C) kabul edilirken, evaporasyon sıcaklıkları EUROVENT şartlarına göre (0 °C, -8 °C, -25 °C, -31 °C) tespit edilmiştir. Değişik evaporasyon sıcaklıklarına göre hesaplanan değişkenler, kompresör gücü, COP ve ihtiyaç duyulan soğutucu akışkan kütle akış oranıdır. Neticeler, R438A ve R417A soğutucu akışkanlarının COP değerlerinin R22'ye çok yakın olduğunu ortaya koymuştur. R22 soğutucu akışkanına göre COP değerleri, R438A'da %5, R417A'da %6, R422A'da %15 ve R422D'de %10 düşük olmuştur. Elde edilen sonuçlar, R422D için %13 ve R422A için ise %17 olarak hesaplanmıştır. Analiz edilen sistemlere ait en yüksek ekserji verimi, -25 °C evaporasyon sıcaklığında R438A için %31.74, R417A için %31 ve R422A için %27.46 ve R422D için ise %29.24 olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonunda, R22 soğutucu akışkanına alternatif olarak ortaya çıkan R417A, R438A, R422A ve R422D akışkanlarından, R438A akışkanının daha yüksek COP değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca kondenser ve kompresör yükleri ele alındığında en iyi sonuçları sırası ile R438A, R417A, R422D ve R422A akışkanları göstermiştir. İncelenen dört alternatif soğutucu akışkandan R438A ve R417A'nın, COP, ekserji verimliliği, ekserji yıkımları bakımından R22 için daha iyi bir seçenek olacağı tespit edilmiştir (Cingiz, Katırcıoğlu, Çay, & Kolip, 2019).

Freund ve arkadaşları, yerel ısı geçiş katsayılarını ölçmek için kızılötesi termografi yönteminin bir sprey soğutma sistemine uygulanmasını gerçekleştirmişlerdir. Kızılötesi sıcaklık ölçümleri ve duvarın sonlu fark modeline dayanan bu teknik, bir ısı transfer duvarının arka tarafındaki ısı transfer katsayısının hızlı ve akışkandan bağımsız olarak değerlendirilmesini sağlamıştır (Freund, Pautsch, Shedd, & Kabelac, 2007).

Righetti ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, ev tipi buzdolapları için roll-bond evaporatörlerinin içinde yer alan HFO1234yf, HFO1234xe ve HC600a düşük GWP soğutucu akışkanların karşılaştırmalı performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Analizleri gerçekleştirmek için, roll-bond evaporatörün arka tarafına yerleştirilen iki termokupul ve termal kameradan faydalanılmıştır. Termal kamera ile elde edilen kızılötesi görüntüler deneysel test süresi boyunca roll-bond evaporatörün yüzey sıcaklığını görüntülemek ve termokupul ölçümlerini doğrulamak için kullanılmıştır. Kızılötesi görüntülerin analiz aşamasında sadece doğrulama amacıyla kullanılmış olması ve görüntülerin herhangi bir görüntü işleme alanında işlenmemesi eleştiri olarak belirtilmiştir (Righetti, Zilio, & Longo, 2015).

Taheri-Garavand ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, kızılötesi termal görüntüler kullanılarak, radyatörlerin farklı durumlarının sınıflandırılması amacıyla, görüntüleme sistemi ile radyatörlerde akıllı arıza teşhisi önerilmiştir. Önerilen çalışma, termal görüntü elde etme, görüntü işleme, iki boyutlu ayırık dalgacık dönüşümü (2D-DWT), özellik çıkartımı, genetik algoritma kullanılarak özellik seçimi ve son olarak yapay sinir ağları kullanılarak sınıflandırmayı içeren bir dizi prosedürden meydana gelmektedir (Taheri-Garavand, ve diğerleri, 2015).

Bir klima sisteminin hem mikrokanal kondanseri hem de plaka ve kanatçıklı evaporatöründe soğutucu ve yağlayıcı envanterini tahmin etmek için yarı deneysel bir model sunulmuştur. Bu modeli desteklemek amacıyla sistemi geniş açıyla gören kızılötesi görüntü işleme sistemi kullanılmıştır. Çalışmanın eleştirisel tarafı, görüntü işleme çerçevesi sadece sıcaklık profilini izleme olarak gerçekleşmesidir (Jin & Hrnjak, 2016).

Kim tarafından yapılan çalışmada, termal kameranın gerçek zamanlı uygulamasına örnek olarak görünmez metan gaz kaçağının tespit çalışması yapılmıştır. Görüntünün arka kısmının uyarlamalı histogram eşitleme ve uyarlamalı ortalama işlemleri ile çıkartılması ile görünmeyen gaz kaçağının tespiti için gerekli bilgi sağlanmaktadır. Sistemin en büyük

sakıncası çok sayıdaki görüntülerin sıra ile işleme tabii tutularak, gerçekleştirilmesidir (Kim, 2019).

Allgood ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, R22 ve R438A soğutucu akışkanları kullanılan bir soğutma sisteminde, üç farklı buharlaşma sıcaklığı için sistem performansını doğrulamayı amaçladılar. Enerji verimliliği oranı (EER) ve deşarj basıncı her iki soğutucu akışkan içinde benzerdir. Ancak, soğutma kapasitesi (%5-10 arasında) R438A için düşük çıkmıştır. Yenileme sırasında yağ değişiminde herhangi bir değişiklik olmadan düşük deşarj sıcaklığı, benzeri evaporatör ve kondenser basıncı gözlenmiştir. Bunun yanında, basınç ve sıcaklık set noktaları aynı olsa da, aşırı kızdırma ayarına ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. R438A'nın R22 için alternatif olarak kullanıldığında, COP'nin R22'den %5 ila %10 daha düşük olduğunu ve her ikisinin de benzer enerji verimliliği oranlarına sahip olduğunu bildirmiştir. Mevcut soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde R438A ile deney yapmışlardır. R22 ile karşılaştırıldığında benzer soğutma performansı ve enerji verimliliğinin elde edildiğini belirtmişlerdir. Yenileme sırasında yağlama maddesi değişikliği olmadan düşük deşarj sıcaklığı, benzer buharlaştırıcı ve kondenser basıncının olduğu gözlemlenmiştir (Allgood & Lawson, 2010).

Bolaji ve arkadaşları, çalışmalarında, R413A, R417A ve R422A soğutucu akışkanları teorik olarak R22 soğutucu akışkanına alternatif olarak araştırılmıştır. Bu soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri, REFPROP yazılımı ve buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada, ozon dostu hidroflorokarbon ve hidrokarbon soğutucu akışkan karışımlarının (R413A, R417A ve R422A) performansları teorik olarak ozon tüketen R22 soğutucu akışkanına alternatif olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, üç soğutucu akışkan karışımının buhar basıncının ve spesifik hacminin R22'ninkine çok yakın olduğunu göstermiştir. İncelenen tüm soğutucu akışkanlar, soğutma etkisi, kondanser ve COP açısından benzer performansa sahiptir. R413A, R417A ve R422A için elde edilen ortalama COP'lar R22'ninkinden % 4.2, % 9.0 ve % 12.6 daha azdır. Üç soğutucu akışkanın tümü R22'den daha iyi kompresör iş girişi ve deşarj sıcaklığı sergilemiştir. R422A daha düşük deşarj sıcaklığı ve kompresör iş girişi açısından daha iyi performans göstermiştir (Bolaji, Komolafe, & Ajayi, 2015).

Bolaji, çalışmasında, R22'ye alternatif olarak R410A ve R417A ile çalışan split klima cihazının performansını (2 °C ile 12°C arasındaki evaporatör sıcaklıklarında) deneysel

olarak değerlendirmiştir. Sonuçlar, R417A ve R410A ile ortalama COP'un, R22'ye göre sırasıyla % 2.9 daha yüksek ve % 8.4 daha düşük olduğunu bildirmiştir (Bolaji, 2012).

Saeed ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, sıfır ozon tüketme potansiyeli olan soğutucu akışkanların performansı, R407C, R417A, R422D, R427A ve R438A kullanılarak, enerji ve ekserji analizi ile belirlenmiştir. COP ve ekserji verimliliği, seçilen soğutucu akışkandan hiçbirinin R22 kadar verimli olmadığını; ancak değerlerinin, her birinin güçlendirme için potansiyel bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Diğerleri ile karşılaştırılabilir COP'a sahip olmakla birlikte, R417A'nın düşük soğutma kapasitesi onu daha az çekici hale getirmektedir. Nispeten düşük COP ile en düşük ekserji verimliliği ve en yüksek kütle akış hızı, R422D'yi en az arzu edilen seçenek haline getirmektedir. Enerji ve ekserji performansına dayanarak R407C, R427A ve R438A yenileme için en uygun alternatifler olarak ortaya çıkmıştır. Düşük deşarj sıcaklıkları kompresör ömrünü uzatacaktır. Ayrıca, yenilemeler için genleşme vanasında olası bir değişiklik olması gerekmektedir (Saeed, Qureshi, Hashmi, Khan, & Danish, 2018).

Şimşek ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada hava–su–hava kaynaklı bir ısı pompasını incelemiştir. Çalışmada ulaşılmak istenen havadan suya ve fanlı serpantin ünitesinde sudan tekrar havaya ısı geçişi sağlayan ısı pompasının enerji (termodinamik) analizini gerçekleştirmektedir. Çalışmalarında, çevrimde R134a, R422D ve R417A soğutucu akışkanları ele alınmış, yüksek, orta ve alçak basınç değerleri için çeşitli soğutma suyu debileri için ölçümler yapılmıştır (Şimşek, Karaçaylı, & Mutlu, 2018).

Llopis ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, iki “drop-in” soğutucu akışkanı (R422A, R417B) ile “retrofit” soğutucu akışkanını (R404A) ve R22 soğutucu akışkanının performansının teorik ve deneysel bir analizini sunarak, R22'nin yerine geçme sürecinin, değişiklik veya uyarlama işlemleriyle ilgili sonuçlarının anlaşılmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Deneysel, 40 °C sabit yoğuşma sıcaklığı için geniş bir buharlaşma sıcaklığı aralığında iki kademeli bir buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde gerçekleştirilmiştir. R22'ye göre alternatifi olarak kullanılan drop-in soğutucu akışkanlar (R422A ve R417B) kullanılırken enerji performansı ile ilgili olarak kapasitede önemli bir azalma görülürken, retrofit soğutucu akışkan (R404A) kullanılırken ise kapasitede önemli oranda bir artış olduğu görülmüştür. Sistemin COP'sine ilişkin olarak, test edilen soğutucu akışkanların herhangi birindeki COP'taki azalma önemlidir ve teorik bir analizle

öngörülen değerlerden daha büyüktür. R22'nin yerini alacaksa, bu gerçek ciddiye alınmalıdır. Çalışmada, analiz edilen soğutucu akışkanların karşılaştırmasının bir termodinamik çevrim analizi altında gerçekleştirildiğine dikkat edilmelidir, bu nedenle eğer performans dışı yükler kullanılarak analiz yapılırsa, davranış değişebilmektedir (Llopis, Torrella, Cabello, & Sánchez, 2012).

Oruç ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, R22 yerine kullanılabilen ve ozon tabakasına zarar vermeyen R422D soğutucu akışkanının TEWI değerleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu iki soğutucu akışkanın enerji tüketimi, 30 °C ve 35 °C ortalama ortam sıcaklıklarında bir split tip klima için deneysel olarak belirlenmiştir. Soğutma ihtiyacı için yıllık enerji tüketimi, Mayıs-Eylül dönemlerinde belirli çalışma saatleri için incelenmiştir. Sonuçlar, GWP değeri yüksek olan R422D'nin direkt etkisinin de yüksek olduğunu göstermiştir. R422D'nin R22'ye göre enerji tüketimi %1.2 daha düşük olmasına rağmen, R422D'nin TEWI değerinin GWP değerlerinden dolayı yaklaşık %21 daha büyük olduğu belirlenmiştir (Oruç & Devecioğlu, 2015).

Devecioğlu ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, R417A ve R424A soğutucu akışkanlarını, R22 yerine inceleyerek TEWI değerlerini, karşılaştırmışlardır. Split klima için, yaklaşık 38°C çevre sıcaklığında, üç soğutucu akışkanın enerji tüketim miktarlarının deneysel değerlendirmesi yapılmıştır. Mayıs-eylül periyodu ele alınmıştır. Çünkü bu aylarda soğutma gereksinimi fazla olmaktadır. Belirli çalışma saatleri için enerji tüketimi yıllık olarak hesaplanmıştır. İnceleme neticesinde, GWP değeri yüksek olan R424A'nın direkt katkısı da yüksek olmuştur. Enerji tüketimleri bakımından, R424A ve R417A'nın R22'den %10 düşük olmasına karşın, yüksek GWP değerlerinden dolayı, %2 -%4 oranında TEWI değerleri yüksek çıkmıştır. COP değeri bakımından bakıldığında, R424A soğutucu akışkanından, R417A'dan daha büyük sonuç elde edildiği görülmüştür. Soğutma etkisi ve enerji tüketimi ile birlikte COP değeride yükselmiştir. Yüksek COP değeri olan sistemin, yüksek soğutma tesiri ve yüksek elektrik tüketim değeri olduğu belirtilmiştir (Devecioğlu & Oruç, 2016).

Panato ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, R22 ile çalışan bir soğutma sisteminin alternatif soğutucu akışkanlar ile değiştirilmesi olarak değerlendirilmiştir. Test edilen sistem, değişken hızlı scroll kompresör, elektronik genleşme valfi, sıcak ve soğuk su devresi ile bunlara ait ısı eşanjörlerinden oluşmaktadır. Soğutucu akışkanlar arasında

doğru bir karşılaştırma yapmak ve iyi bir sistem işlevselliği sağlamak için sadece yağlayıcı tipi ve soğutucu akışkanlar değiştirilmiştir. Sistem performansı, -5 °C, -10 °C ve -15 °C buharlaşma sıcaklıklarını elde etmek için genleşme valfi açıklığı değiştirilerek incelenmiştir. Bir invertör sőrücü kullanılarak çeşitli frekanslar için aynı yöntem uygulanmıştır. 200'den fazla deney gerçekleştirilmiş ve sonuçları analiz etmek için tepki yūzeyi yōntemi kullanılmıştır. Test edilen tūm koşullar için, R438A, sistem daha geniş bir değer aralığında çalıştığından, bir scroll kompresōr ile alışan R22 soğutucu akışkanının deneye tabi tutulan soğutucu akışkanlar arasında en esnek alternatif olduğu gōrūlmūřtur (Panato, Porto, & Bandarra Filho, 2017).

Elgendy ve arkadařları yaptıkları çalıřmada, hermetik bir pistonlu kompresōre sahip R22 sođutucu akıřkanı kullanılan bir sistemde R438A sođutucu akıřkanı ile deđiřim testi gerçekleřtirmiřlerdir. Sistem performansı, kūtle akıřı ve farklı yođuřma sıcaklık kořulları altında deđerlendirilmiř olup, R438A sođutucu akıřkanı kullanılmıř sistemin daha dūřuk bir sođutma kapasitesi sergilediđi ve kompresōrūn daha yūksək gū tūketimine sahip olduđu sonucuna varılmıřtır. R22 sođutucu akıřkanı kullanılan sistem için, sođutma sisteminden 1.63 ila 1.93 arasında bir COP elde edilirken, R438A sođutucu akıřkanı ile deđiřtirildiđinde ise COP deđerleri 1.46 ve 1.66 arasında bulunmuřtur. Dūřuk performansa rađmen yazarlar, her iki sođutucu akıřkan için de benzer yođuřma ve buharlařma basıncı nedeniyle R438A'nın umut verici bir seçenek olduđuna dūřūnmektedirler. Ayrıca, aynı yađlama yađı da kullanılabilir (Elgendy, Hassanain, & Fatouh, 2015).

Apra ve arkadařlarının yaptıkları çalıřmada, R22 ve onun yerine kullanılan R422D ile çalıřan bir kabin sođutma sisteminin enerji performansı deneysel olarak incelenmiřtir. Deneysel arařtırma, ū farklı çalıřma kořulu dikkate alınarak gerçekleřtirilmiřtir; Őzellikle, AHRI standardı çalıřma kořulları referans olarak kullanılmıřtır. Tūm testler sabit řartlarda yapılmıř ve dıř hava sıcaklıđı 35 °C'de tutulmuřtur. Deneysel analiz, sođutma kapasitesinin, harcanan elektrik gūcūnūn, COP'nin ve sistemin çalıřmasını karakterize eden diđer deđiřkenlerin belirlenmesine izin vermiřtir. Sonuçlar, R422D'nin sođutma kapasitesinin R22'den daha dūřuk olduđunu, R422D ile harcanan elektrik gūcūnūn R22'den daha yūksək olduđunu gōstermiřtir. Sonuç olarak, R422D'nin COP'si R22'den ortalama olarak % 20 daha dūřuktur. R422D, R22'ninkinden %15 daha yūksək bir deřarj basıncı gōstermiřtir, ancak basıncı seviyeleri kompresōrūn maksimum çalıřma

basıncından daha düşük olduğu için teknik bir problem oluşturmamıştır. R422D, R22'den 20 °C daha düşük bir deşarj sıcaklığı göstermiştir, bu nedenle R422D'nin daha uzun kompresör ömrü sunduğunu belirtmek mümkündür. R422D, buharlaşma aşaması sırasında çok düşük (2.6 °C) kayma sıcaklığı farkı göstermiştir. Ayrıca, R422D ile değiştirilecek bu sistemin genel performanslarının iyileştirilmesi amacıyla teknik öneriler yapılmıştır. (Aprea, Maiorino, & Mastrullo, 2011)

Tillner ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, uyarlama prosedürünü sunmakta ve R422D ile uyarlama öncesi ve sonrası çalışma koşullarını özetlemektedirler. ISCEON MO29 ile DuPont, mevcut R22 ticari soğutma sistemlerinde kolay ve hızlı bir iyileştirmeye olanak tanıyan alternatifini geliştirmiştir. Burada tarif edilen uyarlama yönteminin temel avantajı, müşteri işini etkileyen sistem faaliyetlerinde herhangi bir rahatsızlık olmamasıdır. Ayrıca, uyarlama faaliyetleri ve yatırımları en aza indirgenebilmektedir (Tillner-Roth, 2008).

Aprea ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, R22 için alternatif soğutucu akışkanların (örneğin, R417A, R424A, R422A, R422D) split tip klimalar, soğuk hava depoları, soğuk hava taşımacılığı, soğuk dolaplar ve süt soğutucular olarak verilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, R22 ile çalışan sistemlerde bulunan mineral yağ, söz konusu soğutucu akışkanlar için doğrudan (cihaz üzerinde herhangi bir bileşen değişikliği yapmadan) kompresör yağı olarak kullanılabilir (Aprea, Mastrullo, & Renno, 2004).

Ramu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Birçok hidrokarbon türevinin, son on yılda soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde çalışma akışkanı olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Kloroflorokarbonların ve hidrokloroflorokarbonların aşamalı olarak kaldırılması, var olan sistemler için alternatif bir soğutucu akışkan bulma araştırması başlamıştır. Çalışmada, sıfır ozon tüketme potansiyeline sahip bazı soğutucu akışkanlar, R22'ye alternatif olarak uygunlukları açısından değerlendirilmiştir. Bu soğutucu akışkanlar arasında, R22, R422A, R422B, R422C, R422D ve üçlü karışımın RM20 olarak belirtilen R32, R125 ve 600 (kütle olarak 0.4: 0.4: 0.2) içerdiği akışkanların performansları incelenmiştir. Ayrıca buhar basıncı, gizli ısı, sıvı yoğunluğu, buhar yoğunluğu, buhar özgül ısısı, sıvı özgül ısısı, sıvı ve buhar viskozitesi, moleküler ağırlık, kaynama noktası, kritik sıcaklık, kritik basınç, ODP ve GWP değerleri açısından RM20 ve R422 serisi soğutucu akışkanlar ile RM20'nin termodinamik performans açısından kıyaslanmıştır ve sonuçlar sunulmuştur. RM20'nin daha yüksek buhar basıncı, gizli ısı ve

sıvı yoğunluğu, kritik sıcaklık, kritik basınç, moleküler ağırlık ve kaynama noktası için daha düşük değerlere sahip olduğu bulunmuştur (Ramu & Kumar, 2014).

Ergün ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, R22 soğutucu akışkanının soğuk depolama ve iklimlendirme sistemlerinde geniş kullanım alanı olduğunu belirterek, alternatif olarak R417A ve R438A soğutucu akışkanlarını termodinamik açıdan değerlendirmişlerdir. Değişken yük koşulları altında (0°C, -8°C, -25°C ve -31°C) toplam üç soğutucu akışkan için bir simülasyon yapılmıştır. Çalışmanın sonunda, R417A ve R438A soğutucu akışkanlarından, R438A'nın daha yüksek COP_h ve COP_c değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bunun yanında, yük açısından kondenser ve kompresör ekipmanları ele alındığında yine R438A soğutucu akışkanının, R417A'dan daha olumlu değerlerde olduğu belirlenmiştir. Neticede, ele alınan üç soğutucu akışkan için sırasıyla R438A ve R417A'nın R22'ye en iyi alternatifin olduğu sonucuna varılmıştır (Ergün, Gürel, & Ceylan, 2018).

Tarlea ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, R22 soğutucu akışkanının yerini alabilen ve klima ekipmanında kullanılabilecek üç tip soğutucu akışkanın (R417A, R422A, R422D) avantajlarını ve dezavantajlarını göstermişlerdir. R22, R422D, R417A ve R422A soğutucu akışkanlarıyla çalışan bu soğutma sisteminin toplam eşdeğer ısıtma etkisi hesaplanmıştır. Eko-verimli alternatif R417A'dır. R417A soğutucu akışkanının TEWI etkisinin en düşük ve R422A TEWI'nin en yüksek olduğu soğutucu akışkan olmuştur (Tarlea, Ardelean, & Vinceriuc, 2017).

Fang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, buhar enjeksiyonlu hava kaynaklı ısı pompasında R417A'nın kullanılabilirliğini incelemiş, temel olarak düşük sıcaklık koşullarında R22 yerine R417A'nın fizibilitesini deneysel performans testi ile analiz etmiştir. Soğutucu akışkan hacmini düzenlemek için elektronik genleşme vanasının açıklığını ayarlayarak, kış koşullarında (7 °C, 6 °C) ve düşük sıcaklık koşullarında (-7 °C, -8 °C) R22 ve R417A sisteminin optimum açıklığını bulmuşlardır. Sonuçlar, doğrudan ısıtmalı ısıtma sistemi için, daha düşük ortam sıcaklığının, R22 yerine R417A'nın daha fazla uygulanabilirliğinin olduğunu göstermektedir (Fang, ve diğerleri, 2016).

Deng ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, düşük sıcaklık koşullarında R22 ve R417A ile hava kaynaklı ısı pompası su ısıtıcısının performansını, performans katsayısı, deşarj basıncı, ısı kapasitesi, kompresör gücü ve su sıcaklığı ile suyun ısıtma süresi arasındaki

ilişkiyi karşılaştırarak incelemişlerdir. R417A'nın R22 yerine kullanılabilme avantajına sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Deng, Jin, & Zheng, 2014).

Kalla ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, R438A ve M1 (R32/R125/R600a) arasındaki hangi soğutucu akışkanın R22'ye daha iyi bir alternatif olduğunu belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla, buhar sıkıştırma soğutma çevrimi tasarımı için NIST Cycle-D programı kullanılarak hem enerji hem de ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, R438A'nın enerji ve ekserji verimliliğinin M1'den daha yüksek olduğunu ve bu nedenle R22'nin yerine daha iyi bir seçenek olduğunu göstermektedir (Kalla, Arora, & Usmani, 2015).

La rocca ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, R22 ile çalışan düşük sıcaklıklı bir soğutma ünitesinin performansının HFC akışkanları ile çalışırken Avrupa CE-1005/2009 Yönetmeliğine uygun olarak performansının karşılaştırılmasıyla ilgili deneysel bir araştırma sunmuşlardır. Sistemin çalışma verimliliği, temel olarak R22 ile test edilmiş ve daha sonra dört farklı HFC soğutucu akışkanı (R413A, R417A, R422A ve R422D) ile karşılaştırılmıştır. R22'nin değiştirilmesi soğutma tesisinin düşük performans göstermesine neden olmuştur. COP, düşük enerji verimliliği ve daha yüksek enerji tüketimi gösteren tüm değiştirme akışkanları için daha düşüktür. TEWI parametresi de, mevcut araştırmada test edilen tüm akışkanlar için değerlendirilmiş ve karşılaştırılmış; orijinal akışkanın yerini alan alternatif akışkanlarda TEWI artışları olduğu tespit edilmiştir (La Rocca, La Rocca, Messineo, & Panno, 2014).

Elgendy ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde R22 alternatiflerinin terk edilmesi, alternatif soğutucu akışkanlarla sistem performansı ve güvenilirliğini geliştirmek için sistem bileşenlerinin yeniden tasarlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışma, R417A, R422D ve R438A gibi R22 alternatifleri için adyabatik kılcal boruları tasarlamayı amaçlamaktadır. R22 için literatürden elde edilen deneysel verilerle hem çalışma hem de geometrik parametreler üzerine teorik bir model geliştirilmiş ve doğrulanmıştır. Tahmin edilen adyabatik kılcal boru uzunlukları, benzer deneysel koşullar altında ihtiyaç duyulan kılcal boru uzunluklarıyla karşılaştırılmış ve tahminlerin çoğunda, deney verilerinin % 4.4'ünde olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, model R417A, R422D ve R438A için uygulanmış ve kılcal boru seçim tabloları ve korelasyonları hesaplanmıştır. Son olarak, seçilen soğutucu akışkanlar ile R22 arasında

bir karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar, R438A'nın R22'ye en yakın olduğunu göstermiştir (Elgendy & Schmidt, 2013).

Apra ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, R507C, R407C ve R417A'nın sistemde kullanılmasını araştırmışlardır. Değerlendirme yöntemi, kompresör hızını değiştirerek soğutma kapasitesini düzenlemeye dayanmaktadır. Yazarlar, R22 performansının en iyi şekilde R407C ile elde edildiği sonucuna varmışlardır. Değişken hız kontrolü ile R407C kullanılarak enerji tüketiminde %12'lik bir düşüşün mümkün olduğu iddia edilmiştir (Apra, Mastrullo, Renno, & Vanoli, 2004).

Messino ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada tüm HCFC'ler arasında R22'nin, özellikle klimada olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılan en yaygın soğutucu akışkan olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma, R22 ile çalışan bir buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin performansını ve bazı HFC akışkanlarına kıyasla performansını, alternatifi olarak düşünülen soğutucu akışkan ile karşılaştırmasının deneysel analiz sonuçlarını sunmaktadır. Özellikle, sistem çalışma verimliliği önce R22 ve daha sonra üç HFC akışkan ile test edilmiştir: R417A, R407C ve R404A. Araştırma, HFC soğutucu akışkanları ile performansın R22 kullanırken olduğu kadar verimli sonuçlanmadığını doğrulamıştır (Messino, La Rocca, & Panno, 2012).

Bukaç yaptığı çalışmada, R22 yerine alternatif soğutucu akışkanlardan R134a, R407C, R410A, R417A, R422D, R290, R600a ve R717A dahil olmak üzere hidrokarbonlar kullanmıştır. R134a ve R410A, değişim için kullanılıyorsa sistem modifikasyonları gerektirmektedir. R407C, R417A ve R422D, değişim için uygun olarak kabul edilir, ancak enerji verimliliklerinin ele alınması gerekir. Verimlilik açısından, R290, R600a ve R717A değişim için daha iyi seçeneklerdir, ancak güvenlik kaygıları kullanımlarını daha az çekici hale getirmektedir. Soğutucu akışkanın performansının, çalışma koşulları ve bunun için kullanıldığı uygulamalarla ilgili olduğu görülmektedir. Bu nedenle, her sistemde aynı performansı aynı soğutucu akışkandan beklemek doğru değildir (Bukaç, 2012).

Elgendy ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, farklı iç ve dış çalışma koşulları altında R417A ile çalışan split bir klimanın performans özelliklerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Test ünitesi kurulmuş ve araştırma hedeflerine ulaşmak için deneyler yapılmıştır. İç ortam koşulları, geniş bir sıcaklık aralığında (21–31.4 °C), hava bağıl

neminde (%40.3 -%61.9) ve hava hızında (2.8–4.7 ms⁻¹) değişirken, dış ortam koşulları ise hava sıcaklığı (35–51.2 °C) ve hava bağıl nemi (%40.8-%81.2) aralığında değişmiştir. Deneysel sonuçlar, iç hava sıcaklığındaki artışın, sistem performans katsayısında yaklaşık %59.7'lik bir artışa neden olduğunu, dış hava sıcaklığının artırılmasının, sistem performans katsayısını yaklaşık %51.6 oranında azalttığını göstermiştir. R417A kullanarak sistem soğutma kapasitesi, 24.5 °C iç hava sıcaklığında R22'ninkinden yaklaşık %33.2 daha düşük olduğu grlmştir (Elgendy, Melike, & Fatouh, 2018).

Kasaeian ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, çoğu pencere klimasında R22 kullanıldığı belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bu soğutucu akışkanı daha evre dostu bir seçenekle değiştirme potansiyelini araştırmış ve R507'nin (her biri kütle olarak %50 olan R125 ve R143a karışımı) veya R417A'nın (R134a, R125 ve R600'n bir karışımı) Kütle olarak sırasıyla %50, %46.6 ve %3.4), R22'yi kullanmak üzere tasarlanan mevcut pencere klimalarında alternatif bir soğutucu akışan olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. R507, orta ve düşük sıcaklıklı soğutma uygulamaları için yaygın olarak kullanılır ve R417A, ticari soğutma dolapları gibi uygulamalar için alternatif bir soğutucu akışkandır (Kasaeian, Hosseini, Sheikhpour, Mahian, & Yan, 2018).

Kalla ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, R22 için uygun bir alternatif soğutucu akışkan bulmak amacıyla sırasıyla R22, R407C, R432A, R438A ile NM1 (R32/R125/R600a) soğutucu akışkanlarının performansını değerlendirmişlerdir. Bu amaçla enerji ve ekserji analizi buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi tasarımı için NIST Cycle-D programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu soğutucu akışkanlar için TEWI'de hesaplanmıştır. Analizden, COP değerlerinin R22 değerlerine, 25, 45 ve 55 °C yoğunlaşma sıcaklığında, R432a'nın COP değeri sırasıyla R22'ninkinden yaklaşık %5.5, %4 ve %4.38 daha düşüktür. Sonuçlar, enerji verimliliği, ekserji verimliliği, TEWI ve yanıcılık aynı anda dikkate alındığında, R438A'nın R22'nin yerini almak için daha iyi bir seçenek olduğunu kanıtlamıştır (Kalla, Arora, & Usmani, 2018).

Sarbu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde soğutucu akışkan kullanmanın çevresel etki açısından TEWI olarak bilinen bir gösterge ile değerlendirildiğini belirtmişlerdir. TEWI hesaplama yöntemi, dizin varyasyonuna dayanılarak, soğutucu R22'nin yerine kullanılabilecek alternatifleri üç kategoriye ayrılmıştır: a) %2'lik sapmalarla (R417A, R407C, R427A ve R424A); b) %30 45'lik

sapmalarla (R134A, R410A, R290, R600A ve R152A); ve c) %50-70'lik sapmalarla (R507, R404A, R428A ve R422A)'dır. b) ve c) gruplarında yer alan alternatifler ve çözümler için, sistemlerin soğutma gücünde önemli bir azalma olacağından kullanımları önerilmemektedir. Bu tür akışkanların kullanımı, ancak sistemin bileşenlerinde bazı değişiklikler yapılması durumunda mümkündür (Sarbu I. , 2014).

Mishra ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, HFC'nin, CFC ve HCFC'nin yerine geçtiğini bildirmişlerdir. HFC'nin ozon tabakasının incelenmesi ve küresel ısınma endişesi nedeniyle kaldırılması düşünülmektedir. Yirmi bir soğutucu akışkan ile (R32, R22, R290, R502, R407C, R410A ve R417a vb.), çeşitli soğutucu akışkan alternatifleri öneren çok sayıda araştırma yapılmıştır. 40°C kondenser sıcaklığı ve -40°C evaporatör sıcaklığı için 3.5167 kW soğutma kapasitesi ile test yapılmıştır. Çevre dostu soğutucu akışkan, sıfır ODP nedeniyle de dikkate alınmıştır. R22, ODP'si ozon tabakası üzerinde zararlı etkileri olan (0.055) bir akışkandır. Bu nedenle, R22 gelişmiş duruma gelen ülkelerde 2030 yılına kadar ve gelişme aşamasında olan ülkelerde ise 2040 yılına kadar dünyadan kademeli olarak kaldırılacaktır. Alternatif soğutucu akışkan kullanan buhar sıkıştırma soğutma sisteminin değiştirilmesi veya R22 ile alternatif olanların özelliklerinde (fiziksel ve kimyasal) değişiklik olması gerekmektedir. Soğutucu akışkanlar da 40 °C referans sıcaklığında sayısal hesaplama değerleri kabul edilmiştir. Mevcut çalışmada, CFC soğutucu akışkanları (R12, R22, R502) ve 18 alternatif soğutucu akışkanları (yani R407C, R410A ve R417A vb.) için buhar sıkıştırma soğutma sisteminde, akışkan çevriminin enerji ve ekserji analizi, -40 °C arasındaki evaporatör ile 40 °C kondenser sıcaklığı için gerçekleştirilmiştir. Yukarıdaki soğutucu akışkanlar için sistemin bileşenlerinde performans katsayısı, kayıp iş açısından ekserji yıkımı, ekserji verimlilik ve verimlilik hatası gibi parametrik araştırmalar teorik olarak yapılmış ve mevcut verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuç, buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığının, kompresör, kondenser ve genişleme valfi gibi bileşenlerde ekserji yıkımı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Döngünün ekserji verimliliği ve COP'u, evaporatör ve kondenser sıcaklıklarındaki değişimle büyük ölçüde değiştiği, çevre dostu soğutucu R152A'nın birinci ve ikinci yasa performansına sahip olduğu gözlemlenmiştir (Mishra, 2018).

Literatür araştırmasının neticesinde, soğutma sistemlerinde ozona zarar vermeyen alternatif soğutucu akışkanlarla ilgili araştırmaların mevcut olduğu ve bu tür soğutucu akışkanların kullanımı ile ilgili önem vurgulanmıştır. Ticari soğutma sistemlerinde R22

soğutucu akışkanına alternatif olabilecek soğutucu akışkanların termodinamik analizleri üzerine detaylı çalışmaların tam olarak yapılmadığı görülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde bu konudaki çalışma eksikliğinin giderilmesi amacıyla, ticari tip bir soğutma deney seti kurularak, R22, R417A, R438A, R422A ve R422D soğutucu akışkanları kullanılmıştır. Kullanılan soğutucu akışkanlar için sistemin temel enerji parametreleri araştırılmış ve termodinamik analizi yapılmıştır. Hazırlanan deney düzeneğinde, sıcaklık, basınç, debi ve elektrik tüketim değerleri ölçülerek kullanılan bütün soğutucu akışkanlar için soğutma kapasitesi, enerji tüketimi ve COP değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra R22 ve alternatifleri olarak ele alınan soğutucu akışkanların performansları, kızılötesi görüntü analizi ile gerçekleştirmek için Pearson korelasyon benzerlik analizi (PCSA) ve yüzey sıcaklık esaslı COP (COP_{YS}) olmak üzere, iki yöntem önerilmiştir. Geleneksel sensörlü COP hesaplama sistemine göre, termal görüntü işleme sistemlerinin kullanım kolaylığı, izleme ve eş zamanlı kayıt alma noktasında daha avantajlı olduğu gösterilmiştir. Böylece, mevcut literatürde önemli bir açıklık sayılabilecek alana bu tez çalışmasının katkı sağlaması hedeflenmektedir.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOT

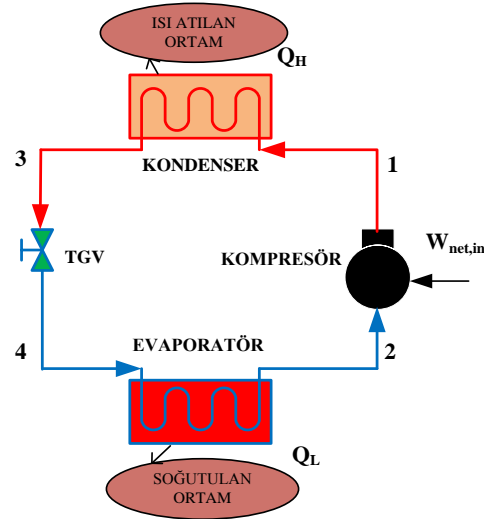
Bu çalışmada, R22 soğutucu akışkanının alternatifleri, termal görüntüleme ve görüntü işleme tekniği gibi hususlar teorik ve deneysel açıdan incelenmiştir. R22, R417A, R422D, R422A ve R438A soğutucu akışkanları ele alınarak, kurulmuş olan ticari tip soğutma deney düzeneğinde deneyler yapılarak ölçüm değerleri alınmış ve teorik hesaplamalar yapılmış, farklı olarak termal görüntü işleme analizi hususu da ele alınmıştır. Her üç yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar, performans açısından değerlendirilmiştir.

3.1. Materyal

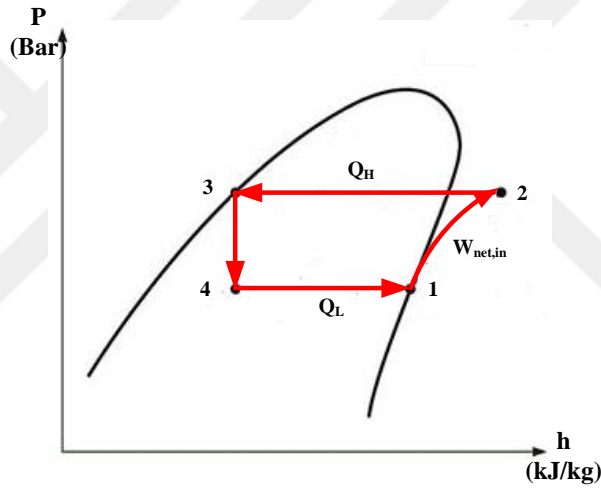
Bu bölümde, yapılan deney düzeneği hazırlıkları, kullanılan malzemeler ve özellikleri, deney düzeneği tasarımı ile deneysel çalışmada incelenen soğutucu akışkanların özellikleri yer almaktadır.

3.1.1. Deney Düzeneği Kurulumu

Oluşturulan deneysel sistem, buhar sıkıştırımalı soğutma çevrimi esasına göre tasarlanarak imal edilmiştir. Şekil 3.1'deki çevrim, ısı pompaları ile iklimlendirme sistemlerinde ve soğutma makinelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompresör, kondenser, evaporatör ve genişleme valfinden oluşan çevrime ait p-h grafiği Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi.



Şekil 3.2. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrime ait p-h grafiği.

Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi dört hal değişiminden oluşmaktadır. Bunlar;

1-2: Kompresörde izantropik sıkıştırmanın olması

2-3: Yoğuşturucudan ısının çevreye geçişi

3-4: Genleşme valfinden kısılmanın gerçekleşerek basıncın düşürülmesi

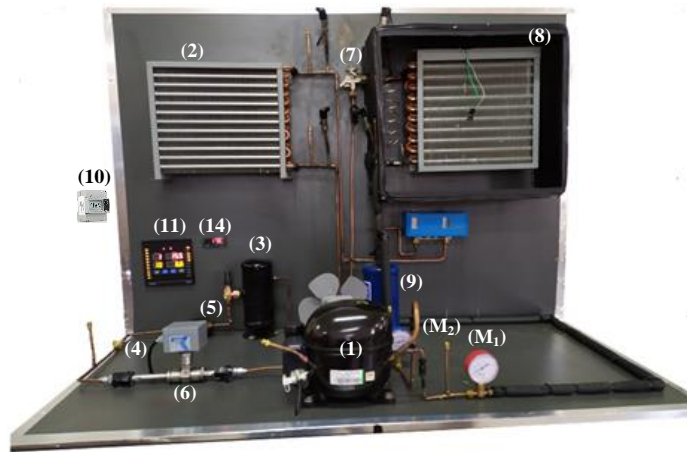
4-1: Buharlaştırıcıda ısı alınmasının gerçekleşmesi

Deney sisteminde R22 ve alternatifleri olarak incelenen R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanları ile çalışmakta olan ticari tip bir soğutma sistemi imal edilmiştir. Deney düzeneğine ilişkin genel görünüş Şekil 3.3’de verilmiştir. Beş soğutucu

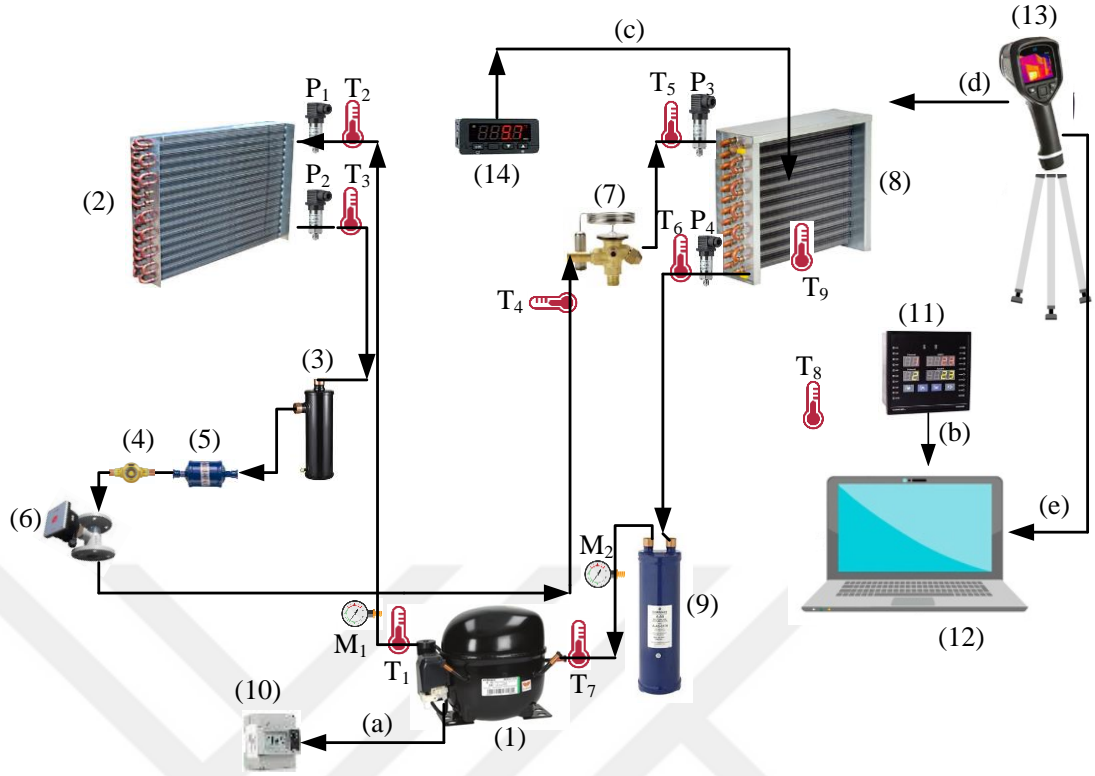
akışkanın enerji değerlendirmesi için kullanılan deneysel sistem, başlangıçta R22 ile çalışmak üzere tasarlanmış buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimidir. Deney sisteminde hermetik pistonlu tip kompresör kullanılmıştır. Sistemdeki genleşme vanası dıştan dengelemeli termostatik tiptir. Evaporatör ve kondenser hava soğutmalı tercih edilmiştir. Evaporatör muhafaza kabini (kontrol hacmi); kalınlığı 6 cm olan elastomerik kauçuk bant ile yalıtılmıştır. Test edilecek her soğutucu akışkan, 900 g olarak şarj edilmiş, şarj öncesinde kompresör azot ile temizlenmiş ve vakumlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylein stabil bir ortamda gerçekleştirilebilmesi, farklı soğutucu akışkanların performanslarının daha gerçekçi şekilde incelenebilmesi için deneyler kapalı bir ortamda, dış sıcaklık sabit olacak bir şekilde yürütülmüştür. Tiç: 21 °C (ortam sıcaklığı) olarak kabul edilmiştir. Tüm sistem, sıcaklıklar, basınç ve hacimsel debi gibi ana parametreleri ölçmek ve kaydetmek üzere çevrimiçi bir sistemle donatılmıştır. Sistemde sıcaklıkların ölçümü için, sistemin her ana elemanının (kompresörün giriş ve çıkışına, kondenser giriş ve çıkışına, termostatik genleşme valfi girişine, evaporatör giriş ve çıkışına, soğutma kabini içine ve çevre sıcaklığını ölçmek üzere yerleştirilmiş) giriş ve çıkışlarına bağlanan K tipi termokupllar kullanılmış ve sıcaklıklar bu şekilde anlık olarak ölçülmüştür. Basınç ölçümleri ise, basınç transmitterleri ile gerçekleştirilmiştir. Dört basınç transmitteri, kondenser ile evaporatörün giriş ve çıkışlarına bağlanmıştır. Çalışılan soğutucu akışkanların hacimsel akış debilerini ölçmek için ise türbin tipi akış ölçer kondenserden sonraki sıvı deposunun çıkışına yerleştirilerek hacimsel akış ölçülüp kaydedilmiştir. Kompresörün ve diğer elektriksel elemanların güç tüketimini ölçmek için sisteme enerji analizörü monte edilmiştir. Farklı parametrelerin değerleri, üniversal girişli tarayıcı ve alarm cihazı, USB-RS485 dönüştürücü, proses izleme kayıt ve kontrol programı ile bilgisayara aktarılmıştır. Veri toplama kartı (data logger) ile termokupl ve ölçüm sensörlerinden gelen veriler, kırk kanallı bir veri kaydedici ile kişisel bir bilgisayara kurulmuş olan veri toplama sistemi ile kaydedilmiş ve işlenmiştir. Soğutma kapasitesini belirlemek için soğutucu akışkanların hacimsel akış hızı, kompresörün sıcaklık, basınç ve elektrik tüketimi ölçülmüştür. Bunun yanında soğutma sisteminin ve kullanılan beş farklı akışkanın performansını görüntü işleme yöntemiyle değerlendirmek amacıyla, termal kamera ile tekrarlı şekilde her soğutucu akışkan için sistemden üç kez görüntü alınmıştır. Deneylein, Eurovent tasarım şartlarına göre, SC2 (Oda sıcaklığı 0 °C, evaporasyon

sıcaklığı $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$) yapılmış olup, farklı zamanlarda en az üç kez tekrarlanmak suretiyle hatalı sonuçlar gözden geçirilerek gerçeğe en yakın veriler elde edilmiştir.

Testlerin amacı, farklı tipte soğutucu akışkanlar kullanıldığında buhar sıkıştırma soğutma sisteminin gerçekte nasıl davrandığını belirlemektir. Bu şekilde, farklı koşullar altında çalışırken, R22 dışında alternatif soğutucu akışkanları kullanan sistem hakkında yeterli bilgi elde etmek mümkün olmuştur. Testler, sabit çalışma koşullarına ulaşıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Yukarıdaki koşullara ulaşıldığını gösteren kontrol parametreleri, evaporatör giriş ve çıkışı ile kompresör bölümlerindeki basınç ve sıcaklıktır. Sistemin temel noktalarındaki basınç ve sıcaklık değerleri deneysel olarak alınmış ve test edilen her soğutucu akışkan için okunmuştur. Daha sonra, test edilen soğutucu akışkanların her birinin termodinamik özellikleri EES kullanılarak çözümlenmiştir. Soğutma sisteminden kızılötesi görüntülerin alınma prosesi Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Her soğutucu akışkan ile sistem çalışırken termal kamera ile görüntüler, sistem bir saat çalışarak kararlı hale geldikten sonra alınmıştır. Çalışılan akışkanların performanslarını değerlendirebilmek için, sistemin her ana eleman giriş ve çıkışları (kompresörün giriş-çıkışı, kondenser giriş-çıkışı, termostatik genişleme valfi girişi, evaporatör giriş-çıkışı) ile kompresör, kondenser ve evaporatör yüzeyindeki sıcaklıklar, sistem üzerinde belirtilen noktalardan termal kamera ile elde edilerek karşılaştırılmıştır. Tasarlanan deney sisteminde kullanılan tüm komponent ve ölçüm ekipmanlarının teknik özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Tasarlanan deney sisteminde kullanılan tüm komponentler ve ölçüm ekipmanlarının pozisyonları Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Deney düzeneği genel görünüşü.



1	Kompresör	P ₁	Kondenser girişi basınç sensörü
2	Kondenser	P ₂	Kondenser çıkışı basınç sensörü
3	Sıvı deposu (receiver)	P ₃	Evaporatör girişi basınç sensörü
4	Gözetleme camı	P ₄	Evaporatör girişi basınç sensörü
5	Drayer-kurutucu	T ₁	Termokupl (Kompresör çıkış sıcaklığı)
6	Debimetre	T ₂	Termokupl (Kondenser giriş sıcaklığı)
7	Termostatik genişleme valfi	T ₃	Termokupl (Kondenser çıkış sıcaklığı)
8	Evaporatör	T ₄	Termokupl (TGV giriş sıcaklığı)
9	Likit tutucu	T ₅	Termokupl (Evaporatör giriş sıcaklığı)
10	Enerji analizörü	T ₆	Termokupl (Evaporatör çıkış sıcaklığı)
11	Tarayıcı ve alarm cihazı	T ₇	Termokupl (Kompresör giriş sıcaklığı)
12	PC	T ₈	Termokupl (Ortam sıcaklığı)
13	Termal kamera	T ₉	Termokupl (Soğutma kabin iç sıcaklığı)
14	Dijital termostat	M ₁	Manometre (Yüksek basınç)
a	Enerji ölçüm girişi	M ₂	Manometre (Alçak basınç)
b	Tarayıcı veri aktarımı	d	Termal kamera ile görüntü alınması
c	Termostat evaporator bağlantısı	e	Veri aktarımı

Şekil 3.4. Deney sistemindeki komponentler ve ölçüm ekipmanlarının pozisyonu.



Şekil 3.5. Deney düzeneğinden termal kamera ile görüntü alınma işlemi.



Şekil 3.6. Deney düzeneği soğutucu akışkan vakum ve şarj işlem düzeneği.



Şekil 3.7. Soğutucu akışkan şarj istasyonu.

Tablo 3.1. Deney düzeneğinde kullanılan ekipman ve sensörlerin özellikleri.

Ekipman ve Sensörler	Voltaj	Akım	Güç	Teknik Özellikler
Kompresör	220-240V		1/2 Hp	Embraco NEU 6215 GK - Hermetik pistonlu, Akışkan: R22
Kondenser	220-240V		3/4 Hp	Karyer KT- hava akışlı
Evaporatör	220-240V		1/2 Hp	Karyer KT- hava akışlı
Genleşme Valfi				DuNan TGV TIS dıştan dengeli rakorlu, Tek yönlü PS 46 bar, Akışkan: R22, Çalışma aralığı: -40/+10 °C
Sıvı Deposu				ESS-LRY
Likit Tutucu				Basınç: 32 bar, Çalışma aralığı: 0/+70 °C, Hacim: 1.1 L
Drayer				SAN XIN SX-204
Gözetleme camı				Sanhua DTG, Kaynaklı, Çalışma aralığı: -40/+120 °C
Dönüştürücü				SARCOOL kaynaklı
Proses İzleme Kayıt ve Kontrol Programı				Ordal- SBA200- USB-RS485 USB 1.1 ve 2.0 uyumlu PC Bağlantı 300...3M Baud İletişim hızları desteği Ordal OPİK16
Üniversel Girişli Tarayıcı ve Alarm Cihazı	100-240V AC/DC			Bilgisayarda değişkenler izlenebilir, değişim yapılabilir ve kayıt edilebilir, 128 adet kanal her biri bir parametreye tanımlanabilir, Her kanal digital, analog ve grafik olarak izlenebilir, Microsoft Data Base (mdb) formatında kayıtların tutulması sağlanabilir, Microsoft ACCESS veya Microsoft EXCEL programları ile bunlar açılabilir Ordal SCN100-03/0/2/0/11
Gaz Dolu Cihazı	220V			Giriş sayısı: 20, 2 Adet 4 Digit Nümerik ve 2 Adet 2 Digit Nümerik Gösterge, 22 Adet LED Gösterge Üniversel Sensör Girişi (TC, RT, mA, mV, V) Doğruluğu : ±%0,2 C.E.S. Dijital terazili gaz şarj istasyonu Vakum pompalı (3 m ³ /h), Terazi hassasiyeti: ±5 gram Çalışma sıcaklığı: 8- 49 °C arası, Basınç gösterge: 15- 30 bar FLIR E8-XT
Termal kamera	AC adaptör 90-260V AC giriş Kameraya 5V DC çıkış			Kızılötesi çözünürlük (IR): 320x240 (76800 piksel) Termal hassasiyet: <0.05 °C/<50 mK Minimum odak uzaklığı: 0.5 m Termal duyarlılık: <0.06 °C, Nesne sıcaklık aralığı: -20/+550 °C Doğruluk: +10 °C ile +35 °C arasındaki ortam sıcaklığı ve +0 °C üzerindeki nesne sıcaklığı için ±2 °C veya okumanın ±2 %'si
Akış ölçer	12-24V DC	4-20 mA		Bass- TDSS.004.015.D.A.10.S.S.N.N Ölçme Aralığı : 0,6... 4,5 l/dk, Hassasiyet : % 1 T.S. Sıcaklık : -40...120°C, Basınç : 63 bar max.
Basınç transmitteri	8-28V	4-20 mA		Keller PA-21 Y, soğutma grupları için Basınç aralığı: 0-30 Bar Hassasiyet: %1, Çalışma sıcaklığı: -20...+85°C
Termokupl				Ordal KTTE2x0,5T 2K- K Tipi Kesit: 2 x 0,5 mm ² Tek telli, ucu kaynaklı İzolasyon: Teflon + Teflon, Kablo boyu: 2 m CET PMC-220 Tek fazlı süzme sayaç
Enerji Analizörü	220V	20 mA		1 faz 63A'e kadar direkt bağlantı 20 mA ölçüme başlama akımı
Termostat	230V AC			RS485 Modbus RTU iletişim, -25...+60 C çalışma aralığı EVCO- EVKB 21-Dijital Bekletme defrostlu NTC: -40/+105 °C, Röle Çıkışı: 1 Adet 16 A, Dijital Giriş: 1

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de görüldüğü gibi öncelikli olarak borular içerisinde bulunan soğutucu akışkan tamamen boşaltılarak, daha sonra şarj istasyonu ve hassas terazi kullanılarak 900 g kütleli soğutucu akışkan yüklenmiştir.

3.1.2. Çalışmada kullanılan soğutucu akışkanlar

Soğutucu akışkan, soğutulacak olan maddelerden sahip oldukları ısılarını alarak onları soğutan maddelere denir. Basınca göre buharlaşma veya sıvılaşma özelliğine sahip olmalıdır. Her soğutucu akışkanın kullanım alanı kendisine özel olmaktadır.

R22'nin aşamalı olarak kaldırılması, onun yerini etkili bir şekilde alabilecek çevre dostu alternatifler aramaya yol açan yasal bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, R22'nin yerini alabilecek sıfır ODP'li soğutucu akışkanlar üzerinde çalışmalar yürütülmektedir ve R22 için umut verici alternatifleri keşfetmek için araştırmalar hızla devam etmektedir. Alternatifin değerlendirilmesinde ele alınması gereken önemli husus, R22'ye göre performansdır. Çevresel ve güvenlik uyumluluğu çok karmaşık olmasa da, tamamen soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerine bağlı olarak verimlilik performansı dikkat gerektirir ve aynı zamanda sistem kullanıcısı için de önemlidir (Saeed, Qureshi, Hashmi, Khan, & Danish, 2018).

R22, iklimlendirme, ticari ve endüstriyel soğutma içindeki orta ve düşük sıcaklık uygulamalarında bir çalışma akışkanı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde, R22'nin mevcut ve yeni sistemlerde ekipman veya yağlayıcılarda önemli değişiklikler yapılmadan başka soğutucu akışkanlar ile değiştirilmesi, soğutma endüstrisi için önemli sorun teşkil etmektedir. R22'nin çok yönlülüğü, tüm uygulama alanı için tek bir alternatif bulmayı zorlaştırmaktadır. Birkaç yenileme alternatifi test edilmiştir, ancak mükemmel bir alternatif bulunamamıştır. R22'nin yerini almak için en büyük potansiyeli gösteren çalışma akışkanları, klor içermedikleri için yanıcı ve toksik olmayan, ozon tabakasına tamamen zararsız oldukları için HFC'lerdir. Başlangıçta, saf HFC olarak bilinen R134a, R125, R32 vey R143a gibi soğutucu akışkanlar incelenmiştir. Bununla birlikte, bu saf maddelerin hiçbiri, R22'nin uygun bir alternatifi olmak için termodinamik ve güvenlik özelliklerine uymamaktadır. Daha sonra saf HFC'lerin ikili (R410A, R507) ve üçlü (R407C, R404A) karışımları üzerinde çalışılmıştır. Bu HFC karışımlarının hiçbiri, R22'nin tüm uygulama aralığında yerini almaya uygun bulunmamıştır. R407C ile

R410A, iklimlendirme ve orta sıcaklık uygulamalarında alternatif olarak kullanılırken, R404A ve R507 düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu HFC karışımlarının mineral yağlar (MO) veya alkilbenzen yağları (ABY) ile uyumlu olmaması, onların olumsuz yönünü göstermektedir. Bu, alternatif polyolester (POE) yağlarının gelişmesine yol açmıştır, ancak bunlar hem neme karşı daha duyarlı hem de geleneksel yağlardan daha pahalı olma dezavantajına sahiptir (Uhía, Fernández-Seara, Dopazo, & Diz, 2012).

R22 soğutucu akışkanı birçok klima ve soğutma sisteminde kullanılmaktadır. Küresel ısınma etkileri, bu soğutucu akışkanın arıza veya yer değiştirmeden dolayı mevcut cihazlardan salınması sonucunda büyük oranda artmaktadır. AB ve bazı gelişmiş ülkeler R22 soğutucu akışkanını kullanımını yasaklamış olmalarına rağmen, bu soğutucu akışkanın gelişmekte olan ülkelerde uzun bir süre daha kullanılması beklenmektedir. Bu nedenle, küresel ısınma potansiyeli düşük olan ozon dostu alternatif soğutucu akışkanlar, R22 ile çalışan klimalarda kullanılmalıdır. R22 yerine alternatif soğutucu akışkan seçerken en uygun maliyetli seçenek, soğutma sisteminde herhangi bir değişiklik yapılmadan yeni soğutucu akışkanı kullanılabilir olmasıdır (Llopis, ve diğerleri, 2011).

R22 soğutucu akışkanının kullanımdan kaldırılması durumunda veya aşamalı olarak kullanım dışı bırakılması ve sonrası durumda olası R22 sıkıntısı göz önüne alındığında, düşük buharlaşma sıcaklıklarında çalışan ticari soğutma sektörü, bu soğutucu akışkanı kullanım dışı bırakmak için üç türlü çözüme sahiptir. İlk olarak, özellikle ömrünün sonuna yaklaşan eski sistemler için, bir daha kullanılmama işlemi önerilir. Bu çözüm, soğutma sisteminde herhangi bir değişiklik yapılmadan ve mevcut yağlama yağını koruyarak soğutucu akışkanın direkt değişimini içermektedir. İkinci seçenek, bir uyarılama (retrofit) işlemi yapmaktır. Bu, soğutma sisteminin, yağlama yağının, genleşme vanalarının ve sistemin diğer elemanlarının değiştirilmesini de içerebilen yeni soğutucu akışkana aktif bir uyum olarak anlaşılmaktadır. Son olarak, sadece yeni ekipmanlar için mümkün olması durumunda, hidrokarbonlar, amonyak veya karbon dioksit gibi uzun vadeli soğutucu akışkanların kullanıldığı yeni sistemler tasarlamaktır.

Öte yandan, soğutucu akışkan değişimine bakmanın iki yolu olduğu bilinmelidir. Birincisi, sistemi özel olarak tasarlanmış yeni bir başka soğutucu akışkan ile tamamen değiştirmek, ikincisi ise, küçük düzenlemeler (retrofit - uyarılama) ile adapte etmek veya

doğrudan soğutucu akışkanını sistem üzerindeki minimum ayarlamalar ile değiştirerek (drop in- değişiklik) ile sistemi korumaktır (Flohr & Meurer, 2009).

R22'ye alternatif soğutucu akışkanlara son eklenenler R422A, R422B, R422C ve R422D'dir. ABD çevre koruma ajansı, bu soğutucu akışkanların ev ve hafif ticari klima uygulamaları için kullanılabilceğini bildirdi. Ayrıca, düşük bir hidrokarbon mevcudiyeti (ağırlığın %3-3.4'ü) bu karışımları düşük bir yanıcılık seviyesi içinde tutar, mineral ve alkilbenzen yağlarıyla uyumlu hale getirir. Ayrıca yeni yağlayıcı polyesterlerle de uyumludurlar (Aprea, Maiorino, & Mastrullo, 2011).

R22, günümüzde ticari, evsel ve endüstriyel uygulamalar için kullanılan en yaygın soğutucu akışkan olduğundan, aşamalı olarak kaldırılması dünyada çok sayıda sistemi doğrudan etkileyecektir. Bu nedenle, bu sistemlerin R22'nin alternatifleri ile değiştirilmesi, ortaya çıkacak kullanım sorununu en aza indirecektir. Bu değişim, özellikle süpermarketler, veri merkezleri, fabrikalar ve hastaneler için yeni sistemlerin kurulumundan daha ekonomik olabilecektir. Soğutucu akışkan değiştirme seçenekleri, çevre ve güvenlik gereksinimleri ile yağlama yağı, filtreler ve sızdırmazlığa uyumluluk açısından değerlendirilmiştir. Herhangi bir sistemde en iyi alternatifi kullanabilmek için, soğutucu akışkan değişiminden sonra enerji performansını belirlemek gerekir. Son yıllarda, birçok araştırma ekibi enerji verimliliği daha yüksek olan soğutucu akışkanların geliştirilmesi üzerinde çalışarak, R22'nin yerine geçebilecek soğutucu akışkanların enerji performansını özellikle araştırmıştır (Jabaraj, Narendran, Lal, & Renganarayanan, 2007).

R22, farklı sıcaklıklarda çok çeşitli soğutma ve klima uygulamaları için uygundur. Bu nedenle CFC'lerin kullanımdan kaldırılmasından sonra birçok uygulamada en yaygın soğutucu akışkan haline gelmiştir. MO ve AB yağları ile uyumludur. Çevresel etki bakımından bakıldığında, ODP değeri 0.055 olup, GWP değeri ise 1810'dur (Linde, 2020).

Bu geçiş süresince, birçok endüstriyel ve ticari uygulama R22'ye uyarlamak için R407C'yi kullanmıştır. R407C, R22'ninkine benzer termofiziksel özelliklere sahip, yanmaz ve toksik olmasa bile, mineral veya alkilbenzen yağı ile uyumlu değildir. Sonuç olarak, R407C ile yenilenen bir R22'li sistemi, zor ve pahalı bir dönüşüm olan polyester yağının kullanılmasını gerektirmektedir. Ayrıca R407C ile yapılan deneysel testler,

R22'ye oranla enerji performanslarında bir azalma göstermiştir (Aprea, Mastrullo, Renno, & Vanoli, 2004).

Şu anda, 2010'dan sonra R22'li sistemleri kullanmaya devam edebilmek için üç seçenek bulunmaktadır. Bunlar, geri dönüştürülmüş R22 kullanmak, yeni alternatif soğutucu akışkanlarla değiştirmek veya uzun vadede R22 yerine geçen soğutucu akışkanlar ile yenileme ve uyarlama işlemini uygulamaktır. Tüm seçeneklerin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. En iyi çözüm, incelenen sisteme uyum sağlayabilecek, R22 ile olumlu özellikler sergileyebilen bir kombinasyon belirlemektir (Flohr & Meurer, 2009).

Geri dönüştürülmüş R22, daha kısa süreli kullanım ömrüne sahip sistemler için en iyi alternatif olarak ciddiye alınmalıdır, çünkü daha sonraki geçici çalışma sırasında en az soruna neden olacaktır. Bununla birlikte, Drop-in (değişiklik), soğutma çevriminde herhangi bir büyük iyileştirme çalışmalarına gerek kalmadan soğutucu akışkanın saf değişimi olarak anlaşılmaktadır, özellikle mevcut yağlayıcı yağ, soğutma çevriminde kalabilir ve yeni değişim soğutucu ile birlikte rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca, değişiklikte kullanılan soğutucu akışkanların kullanılmasının en büyük dezavantajı, soğutma kapasitesinde ve sistemin COP'de azalma olmasıdır.

Yenileme ve uyarlama işlemi, soğutma sisteminin uzun vadede R22 yerine kullanılacak soğutucu akışkan için bir uyum olarak anlaşılmaktadır. Bu genellikle kompresör yağının tamamen değiştirilmesi ve tüm sistemin revizyonu ile yapılmaktadır. Uyarlama, sadece daha uzun sistem ömrü öngörüldüğünde ve çalışması önemliyse, değişim ve işletme maliyetleri uygun olduğunda makul olmaktadır. Ek bir çözüm olarak, sistemin verimlilik ve güvenlik açısından daha büyük avantajlar sağlayabilecek yeni bir soğutucu akışkan ile değiştirerek tamamen yenilenmesi ile olabilecektir. Bununla birlikte, yatırım maliyeti önceki olasılıklardan daha yüksektir, ayrıca mekan veya prosedür açısından genellikle zor bir çözümdür (Cabello, Torrella, Llopis, Sánchez, & Larumbe, 2013).

Soğutucu akışkan olarak R22 kullanılan sistemler, arıza veya yer değişikliği sebebiyle akışkanlarını kaybetmektedirler. Bundan dolayı, bu sistemlerin bakımı esnasında yeni soğutucu akışkan şarjı ile R22 yerine ona alternatif olabilecek sıfır ODP değerine sahip soğutucu akışkanlar tercih edilmelidir. Varolan sistemde, yapılan birçok çalışma sistemde

hiçbir değişiklik yapmadan R22 soğutucu akışkanına seçenek olarak HFC içeriğine sahip soğutucu akışkanların tercih edilebileceğini göstermiştir (Devecioğlu & Oruç, 2016).

Son zamanlarda, iki saf HFC (R134a ve R125) ve düşük oranda bir hidrokarbon (bütan veya izobütan) içeren üçlü karışım (R417A, R422A ve R422D) R22 için uzun vadede değişim akışkanı olarak araştırılmıştır. Düşük hidrokarbon içermesi (ağırlık olarak %3.4) bu karışımları düşük bir yanıcılık seviyesinde tutmakta, MO ve ABY ile uyumlu hale getirmektedir. Sonuç olarak, bu karışımlar R22 için R407C, R410A, R404A veya R507'den daha kolay bir iyileştirme sağlamaktadır. Ayrıca, bu soğutucu akışkanların R22'ye benzer bir güvenlik seviyesi bulunmaktadır (Fernandez-Seara, Uhia, Diz, & Dopazo, 2010).

Bununla birlikte, düşük sıcaklıklarda soğutmada, en sık tavsiye edilen drop-in akışkanlarından ikisi R422A ve R417B'dir. MO yağlayıcılarla, yağ karışım davranışını iyileştirme bakımından R134a, R125 ve farklı hidrokarbonların (R422A ve R417B) üçlü karışımlarına benzemektedir. Bu soğutucu akışkanların, R22'nin özelliklerine mümkün olduğunca uyması düşünülerek tasarlanmıştır. Bununla birlikte, üreticilere göre, soğutma sistemine bağlı olarak kapasitede ve COP' de azalma beklenebilmektedir. Bu iddia teorik bir yaklaşımla doğrulanmıştır (Arora & Sachdev, 2009).

Mevcut soğutma sistemlerinde, yeni soğutucu akışkan karışımlarının uygunluğu, bazı alanlarda daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir. Bunlar sırasıyla, çevre dostu alternatiflerle çalışan soğutma kompresörlerin güvenilirliğinin sağlanması, mevcut sentetik yağlayıcıyı değiştirmek için yeni bir yağlayıcının geliştirilmesi, faz değişimi sırasında yeni soğutucu akışkan karışımlarının doğrusal olmayan varyasyonunu sağlamak için ısı değiştirici tasarımında yeni bir yöntemin geliştirilmesi, yeni soğutucu akışkan karışımlarının çevresel özellikleri, yanıcılıkları ve güvenlik sorunlarının giderilmesinin sağlanması, yeni soğutucu akışkan karışımları ile çalışan buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin termo-ekonomik optimizasyonunun yapılması gerekmektedir (Sarbu I. , 2014).

Sistem için uygun soğutucu akışkan seçiminde birçok parametre bulunmaktadır. En önemlisi, kullanılacak soğutucu akışkanların ozon ve çevre dostu olmasının yanında, sistemlerin enerji tüketim miktarlarının karşılaştırmasının da yapılması gereklidir. Soğutma kapasitesi, COP, termodinamiğin birinci yasası ile ifade edilebilecek enerji tüketimi ve termodinamiğin ikinci yasasına göre geri döndürülemez etkilerden

kaynaklanan kayıplar da ele alınarak değerlendirilmesi yapılmalıdır. Ayrıca, gerektiğinde kullanılacak soğutucu akışkanların ekserji analizleri dikkate alınmalıdır.

R422D, doğrudan buharlaşmalı ekipmanlarda çok yönlü R22 değişimi (normal ve düşük sıcaklıkta çalışma için klima sistemleri, soğutulmuş su ve soğutma sistemleri) uygulamalarında kullanılmaktadır. Çoğu sistemde, R22 ile benzer performans ve verimlilik göstermektedir. R22'ye kıyasla daha düşük basınçlı soğutucu akışkan sıcaklıkları sağlamakta, bazı sistemlerde de kompresörün kullanım ömrünü uzatabilmektedir (Bock Compressor, 2020). MO, ABY, POE yağları ile uyumludur. Çevresel etki bakımından bakıldığında, ODP değeri 0 olup, GWP değeri ise 2729'dur (Linde, 2020).

R417A, R125, R134a ve R600 içeren HFC karışımıdır. R22 soğutucu akışkanına benzer fiziksel özelliklere sahiptir. Direkt genişlemeli sabit iklimlendirme ve orta sıcaklıkta soğutma sistemlerinde R22'nin yerine kullanılır. R417A, kompresörün ömrünü uzatabilen, R22'den büyük ölçüde daha düşük deşarj sıcaklığına sahiptir. Çoğu sistemde bu soğutucu akışkan gerekli soğutma kapasitesini ve enerji tasarrufu sağlar, ancak bazı sistemler daha düşük kapasitede çalışabilir. R417A bir karışım olduğundan, sisteme şarj ederken doğru performansı sağlamak için soğutucu akışkan sıvı fazda şarj edilmelidir. MO, ABY, POE yağları ile uyumludur. Çevresel etki bakımından bakıldığında, ODP değeri 0 olup, GWP değeri ise 2346'dır (climalife IDS Refrigeration Limited, 2020).

R417A daha yüksek bir GWP'ye sahip olsa da, bazı avantajları vardır. Bunlardan ilki, düşük GWP'li ticari soğutma akışkanlar üretilene kadar R22 yerine orta vadede kullanılabilmesidir. İkincisi, yanıcı ve toksik olmayan özelliklerinin olmasıdır. Üçüncüsü, R417A'nın değiştirilmesi sırasında kompresör yağının değiştirilmesine gerek olmamasıdır. Dördüncüsü, sistem modifikasyonunun maliyeti düşürmesidir. Beşincisi, aşırı kızdırma miktarını sistem bileşenlerinde herhangi bir değişiklik yapmadan, ayarlanabilir bir genişleme cihazı kullanılarak R22 yerine doğrudan kullanılabilmesidir. Her ne kadar alternatif soğutucu akışkanlar R22'den daha pahalı olsa da, bu tür soğutucu akışkanlar ozon dostu oldukları için orta vadede klima sistemlerinde kullanılmalıdır. Bahsedilen alternatif soğutucu akışkanların seçilmesiyle, sistem parçalarında herhangi bir değişikliğe gerek olmadığı da açıktır. Bununla birlikte, klima uygulamalarında kılcal boru

genleşme valfi yerine elektronik genleşme valfi kullanılmasının etkisi araştırılmalıdır (Oruç, Devocioğlu, Berk, & Vural, 2016).

R422A, R502, R402, R403, R408 soğutucu akışkanlarını karışımıdır ve bazı düşük sıcaklıklı ticari soğutma uygulamalarında R22'ye alternatif olarak kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklı soğutma uygulamalarında %15'e varan iyileştirmelerle çeşitli çalışma koşullarında soğutucu akışkan olarak R22'den daha iyi performans göstermektedir. R404A ve R507 ile karşılaştırıldığında daha iyi performansla sahiptir. Saha denemeleri, enerji verimliliğinin R22 ile çalışırkenkinden daha iyi olabileceğini göstermiştir. R22'ye kıyasla daha düşük basınçlı soğutucu akışkan sıcaklıkları sağlamakta, kompresörün servis ömrünü uzatabilmektedir (Bock Compressor, 2020). MO, ABY, POE yağları ile uyumludur. Çevresel etki bakımından bakıldığında, ODP 0 olup, GWP değeri ise 3143'dür (Linde, 2020).

R438A, doğrudan buharlaşmalı ekipmanlarında çok yönlü R22 değişimi (normal ve düşük sıcaklıkta çalışma için klima sistemleri, soğutulmuş su ve soğutma sistemleri) için kullanılmaktadır. Çoğu sistemde, performans ve verimlilik açısından R22'ye benzer özellikler göstermektedir. R22'ye kıyasla daha düşük basınçlı soğutucu akışkan sıcaklıkları sağlamakta, bazı sistemlerde kompresörün hizmet ömrünü uzatabilmektedir (Bock Compressor, 2020). Düşük, orta ve yüksek sıcaklıkta soğutma, konut, ticari ve endüstriyel klima gibi geniş bir uygulama yelpazesinde R22 için bir "drop-in" olarak tasarlanmış HFC karışımıdır (Linde, 2020).

R438A, MO, ABY ve POE yağlayıcıları ile uyumludur, bu nedenle çoğu durumda bir değişim sırasında yağlama maddesi değişikliği gerektirmez. R438A, daha düşük bir kompresör deşarj sıcaklığında, benzer evaporatör ve kondenser basınçlarında çalışırken, R22'ye benzer soğutma performansı ve enerji verimliliği sağlamaktadır. Direkt genleşmeli soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde R22 yerine R438A kullanılarak başarılı bir şekilde yenilenme gerçekleştirilmiştir. Saha tecrübesi, R438A'nın süpermarket raf sistemleri, kondenser üniteleri ve klima sistemleri dahil olmak üzere çeşitli ekipmanlarda R22'ye benzer soğutma ve benzer enerji verimliliği sağladığını göstermiştir (Allgood & Lawson, 2010).

HCFC kaynaklı bir soğutucu akışkan olan R22, ozon tabakası delme ve yok etme özelliğine sahiptir. R22, R417A, R422A, R422D ve R438A soğutucu akışkanları için ODP ve GWP değerleri Tablo 3.2' de verilmiştir (eThermo Calculation Platform, 2020).

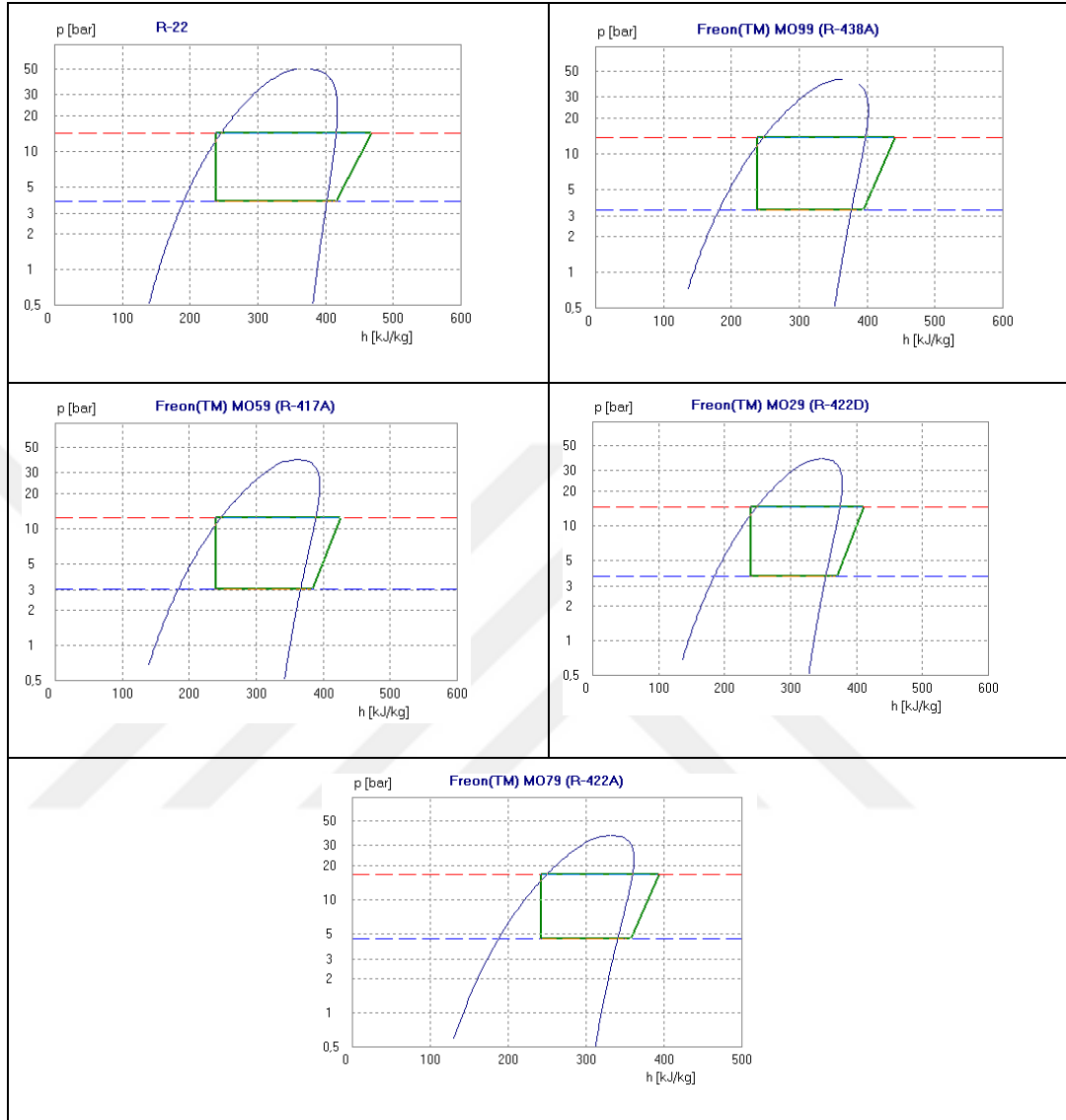
Tablo 3.2. Test edilen soğutucu akışkanların fiziksel ve çevresel özellikleri (Cingiz, Katırcıoğlu, Çay, & Kolip, 2019).

Özellik	R22	R438A	R417A	R422D	R422A
Soğutucu Akışkan	R22	R125 45%	R125 46.60%	R125 65.1%	R125 85.1%
Bileşimi (Kütle %)		R134a 44.2%	R134a 50%	R134a 31.5%	R134a 11.5%
		R600 1.7%	R600 3.4%	R600a 3.4%	R600a 3.4%
		R601a 0.6%			
		R32 8.5%			
Moleküler kütle (kg/kmol)	86.5	99.1	106.8	109.9	116
Kritik sıcaklık (°C)	96.2	85.3	87.1	79.6	71.7
Kritik basınç (bar)	49.9	43	40.45	39.18	37.54
Yağlayıcı madde	MO	MO/ABY/POE	MO/ABY/POE	MO/ABY/POE	MO/ABY/POE
ODP	0.05	0	0	0	0
GWP	1810	2264	2346	2730	3140

MO: Mineral yağ ABY: Alkali benzen POE: Polyol ester

R22 yerine alternatif olarak düşünülen ve kullanılan soğutucu akışkanların tabloda görüldüğü üzere GWP değerleri yüksek olmaktadır, ancak daha düşük GWP'li ticari soğutucu akışkanlar elde edilinceye kadar R22'nin yerine orta vadede tercih edilebilirler. Bu alternatif soğutucu akışkanların en önemli özelliği yanıcı ve toksik olmamalarıdır. R22 için iyi bir seçenek sayılabilirler. Soğutucu akışkanın değişimi sırasında kompresör yağının değişimine gerek olmaması, sistem kurulum ve işletme maliyetini azaltmaktadır. Ayrıca, sistem elemanlarında herhangi bir değişiklik yapmadan sadece genleşme valfi olarak TGV'nin kullanılması yeterli gelmektedir. Sistemde MO tipi kompresör yağı kullanılmıştır. Aynı yağ, alternatifler içinde değişimler sırasında rahatlıkla kullanılabilir. Drop-in soğutucu akışkanlar, yerine geçecekleri soğutucu akışkanın performans özelliklerine mümkün olduğunca yakın olacak şekilde tasarlanmıştır ve mevcut sistemlerde çalışabilir. Bileşimleri ve temel termodinamik özellikleri Tablo 3.2'de görülmektedir. Test edilen soğutucu akışkanlar için p-h diyagramları Chemours Refrigerant Expert Software'den temin edilerek, Şekil 3.8'de gösterilmiştir. R22'nin diğer soğutucu akışkanlara kıyasla en yüksek kritik noktaya ve farklı bir dağılıma sahip olduğu açıktır. Bununla birlikte, R417A ile R438A ve R422A ile R422D benzer davranış göstermektedir. Evaporatör çıkışı ile giriş arasındaki entalpi farkı olarak tanımlanan

soğutma etkisi, belirli bir basınç büyüklüğünde R22 kullanılması durumunda en büyük değere sahiptir.



Şekil 3.8. Inp-h diyagramları (Chemours Refrigerant Expert Software, 2016).

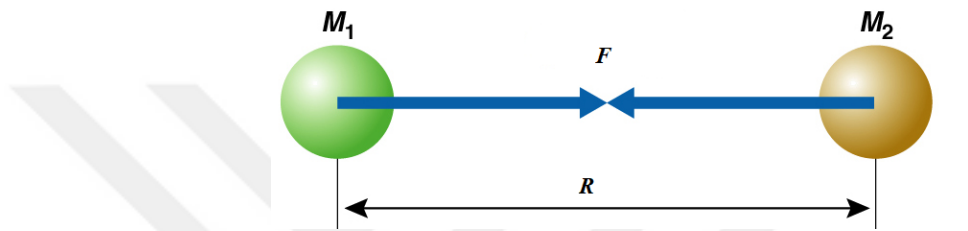
3.2. Metot

Bu bölümde, hesaplama yöntemleri ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Bu hesaplama yöntemleri; 3.2.1.'de Yerçekimi Kuvveti ve Yanal Kısıtlama Ağlarına Dayalı Kızılötesi Görüntü İyileştirme Modeli, 3.2.2.'de Chemours refrigerant expert akışkan yazılımı ile hesaplama, 3.2.3.'de Matematiksel Yöntem ile Hesaplama, 3.2.4.'de Pearson Korelasyon Benzerlik Analizi (PCSA) yöntemi ile hesaplama, 3.2.5.'de COP_{YS} (Soğutma Etkinlik

Katsayısı) yöntemi ile hesaplama şeklinde beş adet hesaplama yönteminden oluşmaktadır.

3.2.1. Yerçekimi Kuvveti ve Yanal Kısıtlama Ağlarına Dayalı Hesaplama

Newton'un yerçekimi kanununa göre, her parçacık diğer parçacıkları yerçekimi kuvveti ile birlikte çeker. Şekil 3.9'da sembolik olarak gösterildiği gibi, iki parçacık arasındaki yerçekimi kuvveti onların kütleleri ile doğru orantılı, aralarındaki mesafenin karesi ile ters orantılıdır.



Şekil 3. 9. Newton yerçekimi kanununun şekilsel gösterimi (Katırcıoğlu, Çay, & Cingiz, 2019).

$$F = G \frac{M_1 \cdot M_2}{R^2} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1'deki F yerçekimi kuvvetinin büyüklüğü ve birimi Newton (N), G yerçekimi sabiti ve yaklaşık olarak $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ 'a eşittir. M_1 ve M_2 birimleri kilogram (kg) olup, sırasıyla birinci ve ikinci parçacıkların kütleleridir. R , birimi Metre (m) iki parçacık arasındaki mesafedir. Yerçekimi kuvvetini, 1687 yılında Isaac Newton Principia kitabında yayınlamıştır (Newton, Cohen, & Whitman, 1999).

Yanal kısıtlama ağı Limulus görsel fizyolojik elektrik deneyleri esnasında bulunmuştur ve her Limulus gözü tek bir alıcı (receptor) olarak kabul edilir. İlgili reseptör güçlü ışık uyarısı aldığı anda, çevresindeki reseptörlerin uyarılabilirliği kısıtlanmaktadır. Bu olaya yanal kısıtlama olgusu denir (Liu, Yao, & Chang, 2007).

A ve B iki reseptör olduğunu ve sırasıyla aydınlatıldıklarını varsayarsak, bu durumda ışık yayma güçleri g_A ve g_B iken; A ve B aynı anda aydınlatıldıklarında, ışık yayma güçlerinin sırasıyla f_A ve f_B 'ye düşmektedir. Bu değişim, reseptör A 'nın reseptör B tarafından, reseptör B 'nin de reseptör A tarafından kısıtlanmasından kaynaklanmaktadır. Eşitlik 3.2 ve 3.3'de yanal kısıtlama etkisi matematiksel olarak tanımlanmıştır.

$$g_A = f_A - k_{BA}(f_B - f_{AB}) \quad (3.2)$$

$$g_B = f_B - k_{AB}(f_A - f_{BA}) \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.2 ve 3.3'de g_A ve g_B iki reseptörün ışık yayma güçlerini tek ışık ile temsil ederken f_A ve f_B yanal kısıtlama etkisine sahip iki reseptörün ışık yayan güçlerini temsil etmektedir. Sırasıyla k_{AB} ve k_{BA} iki reseptör arasındaki yanal kısıtlama katsayılarını, f_{AB} ve f_{BA} yanal kısıtlamanın eşik değerini göstermektedir.

Görüntü işlemeye uygulanabilmesi için yanal kısıtlama ağı iki boyuta genişletilmelidir. Geleneksel yanal kısıtlama algoritması, eşik değerini göz ardı ederek tekrarlamayan bir yanal kısıtlama ağı modelini benimsemektedir.

$$G(m,n) = F(m,n) - \sum_{i=-l}^l \sum_{j=-l}^l k(i,j).F(m+i,n+j) \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.4 'deki $F(m,n)$ giriş görüntüsünü, $G(m,n)$ çıkış görüntüsünü, $k(i,j)$ kısıtlama katsayı matrisini ve l kısıtlama alanı temsil etmektedir.

Geleneksel yanal kısıtlama ağı gürültüye duyarlıdır. Görüntü üzerindeki gürültüleri ortadan kaldırmak ve daha net bir görüntü elde etmek için genellikle medyan filtreleme ile beraber kullanılmaktadır (Yun, Wu, Wang, Tong, & Yang, 2016).

$$G(m,n) = \overline{F(m,n)} - \sum_{i=-l}^l \sum_{j=-l}^l k(i,j).F(m+i,n+j) \quad (3.5)$$

$$\overline{F(m,n)} = \underset{(r,s) \in (-l',l')}{median} [F(k_1+r, k_2+s)] \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.5 'deki $\overline{F(m,n)}$, $F(m,n)$ 'nin medyan değerini ve l' medyan filtreleme penceresinin boyutunu temsil etmektedir.

Önerilen çalışmanın temel amacı, renkli termal görüntünün her bir boyutunda var olan gürültüleri bastırmak, kontrast ve parlaklık ayarını yapmaktır. Ayrıca görüntü içerisindeki kenar ve bölge bilgilerini etkin bir şekilde ortaya çıkarmaktır. GF&LIN yönteminde ilk olarak, renkli görüntü içerisindeki her bir Red, Green ve Blue boyutlarının toplam yerçekimi kuvveti yöntemi ile her bir boyut için bilgi matrisleri oluşturulmaktadır. Oluşturulan bilgi matrisleri iki eşik değere tabi tutularak, gürültü azaltma, kenar

belirginleştirme ve kontrast ayarı yapılmaktadır. GF&LIN modelinin prosedürleri aşağıda adımlar halinde verilmiştir.

Adım 1.

RGB renkli termal görüntü Red, Green ve Blue iki boyutlu görüntülere ayrıştırılır. Şekil 3.10' da sembolik gösterimde görüldüğü gibi, 3x3 maske içerisinde merkez piksel için komşu pikseller ile olan yerçekimi kuvveti hesaplanmaktadır. Bunun için ilk olarak maske içerisindeki merkezi pikselin komşu pikseller ile olan mesafeleri bulunmalıdır. Maske içerisinde i . piksel merkez pikselini ve j . piksel de çevresindeki herhangi bir komşu piksel olarak alınmıştır.

$$dR_{i,j} = R_i - R_j \quad (3.7)$$

$$dG_{i,j} = G_i - G_j \quad (3.8)$$

$$dB_{i,j} = B_i - B_j \quad (3.9)$$

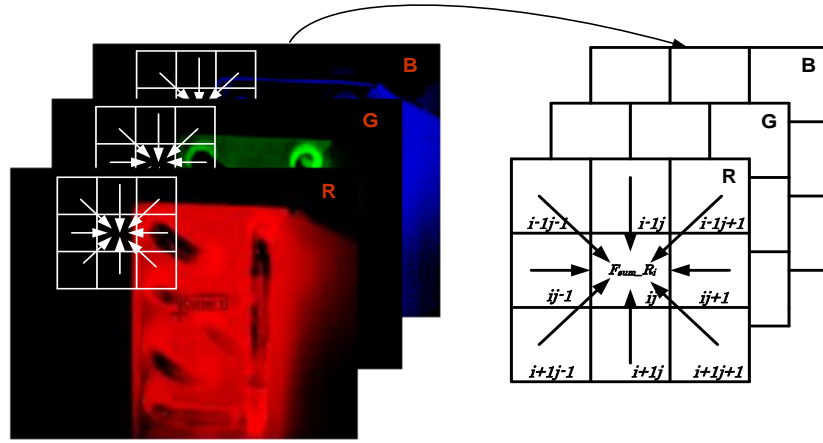
Eşitlik 3.7, 3.8 ve 3.9'daki dR_{ij} , dG_{ij} ve dB_{ij} her bir boyutta ki pikseller arasındaki uzaklık olmak üzere R_i , G_i ve B_i i . pikseline ait RGB değerlerini ve R_j , G_j ve B_j ise j . pikseline ait RGB değerlerini ifade etmektedir. Maske içerisinde iki piksel arasındaki yerçekimi kuvveti Eşitlik 3.10, 3.11 ve 3.12' de yer almaktadır.

$$FR_{i,j} = G \frac{R_i * R_j}{dR_{i,j} + \varepsilon} \quad (3.10)$$

$$FG_{i,j} = G \frac{G_i * G_j}{dG_{i,j} + \varepsilon} \quad (3.11)$$

$$FB_{i,j} = G \frac{B_i * B_j}{dB_{i,j} + \varepsilon} \quad (3.12)$$

Eşitlik 3.10, 3.11 ve 3.12' deki G yerçekimi ivmesi olup, çalışmada 10 olarak alınmıştır. ε iki piksel arasındaki mesafenin sıfır çıkması durumunda çok küçük bir sayıyı temsil etmektedir. Uygulama içerisinde 0.01 olarak alınmıştır.



Şekil 3.10. 3x3 maskedeki toplam yerçekimi kuvveti (Katırcıoğlu, Çay, & Cingiz, 2019)

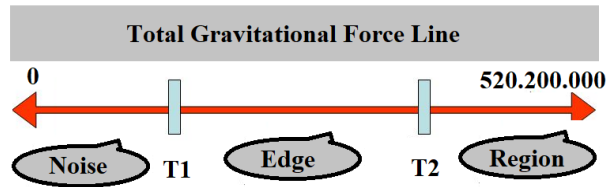
Maske içerisindeki merkez piksel komşularıyla 8 yerçekimi kuvvetine sahiptir. Şekil 3.10'da maske içerisindeki toplam yerçekimi kuvvetinin bulunması sembolik olarak gösterilmiştir. Merkez piksel için toplam yerçekimi kuvveti Eşitlik 3.13'e göre hesaplanmaktadır.

$$f_sum_ (R, G, B)_i = \sum_{j=1}^j F(R, G, B)_{i,j} \quad (3.13)$$

Elde edilen bu üç değer, merkez pikselin gerçek görüntüdeki adresi dikkate alınarak yeni oluşturulan üç yerçekimi kuvveti görüntülerine atanmakta ve bir sonraki işlem için maske hareket etmektedir.

Adım 2.

İkinci aşama olarak, elde edilen üç ayrı Red, Green ve Blue toplam yerçekimi kuvvet matrisleri iki eşik değere tabi tutulmaktadır.



Şekil 3.11. Yerçekimi kuvveti hattının iki eşik ile ayrılması (Katırcıoğlu, Çay, & Cingiz, 2019).

Şekil 3.11'de görüldüğü gibi, her bir yerçekimi kuvvet matris değerlerinin çok küçük çıkması, çevresi ile ilişkisinin olmadığını göstermektedir. Bu tür piksellerin görüntü olma

ihtimalini artırmaktadır. Aynı şekilde ikinci eşikten büyük olan matris değerleri de bir bölgenin elamanı olduğu bilgisini vermektedir.

Şekil 3.12'deki akış şeması GF&LIN yöntemini görsel olarak özetlemektedir. Giriş görüntüsüne göre gürültüler ortadan kaldırılmış, yeni kenarlar ve var olan kenarlarda netlik artırılması sağlanmıştır. Görüntü içerisindeki bölgelerde yerel çevre pikseller ile olan ilişkisine göre kontrast ve parlaklık ayarı yapılmıştır.

Adım 3.

Üç yerçekimi kuvvet verileri T_1 değerinden küçük ise Eşitlik 3.14' deki eşitlik uygulanmaktadır.

$$G(m, n)_{R,G,B} = \frac{1}{9} \sum_{j=-1}^1 \sum_{i=-1}^1 1 * F(m + i, n + j)_{R,G,B} \quad (3.14)$$

Eşitlik 3.14' deki $G(m, n)_{R,G,B}$ her bir RGB boyutunda ki çıkış görüntüsünü, $F(m, n)_{R,G,B}$ ise orijinal görüntüyü temsil etmektedir. Böylece T_1 den küçük olma durumunda çevre pikseller ile ilişkisinin çok küçük olmasından dolayı gürültü yumuşatma işlemi uygulanmıştır.

Yerçekimi kuvvet verileri T_1 ve T_2 aralığında olması durumunda, Lateral Inhibition Networks'u esas alan Eşitlik 3.15 kullanılarak, işlem yapılmaktadır.

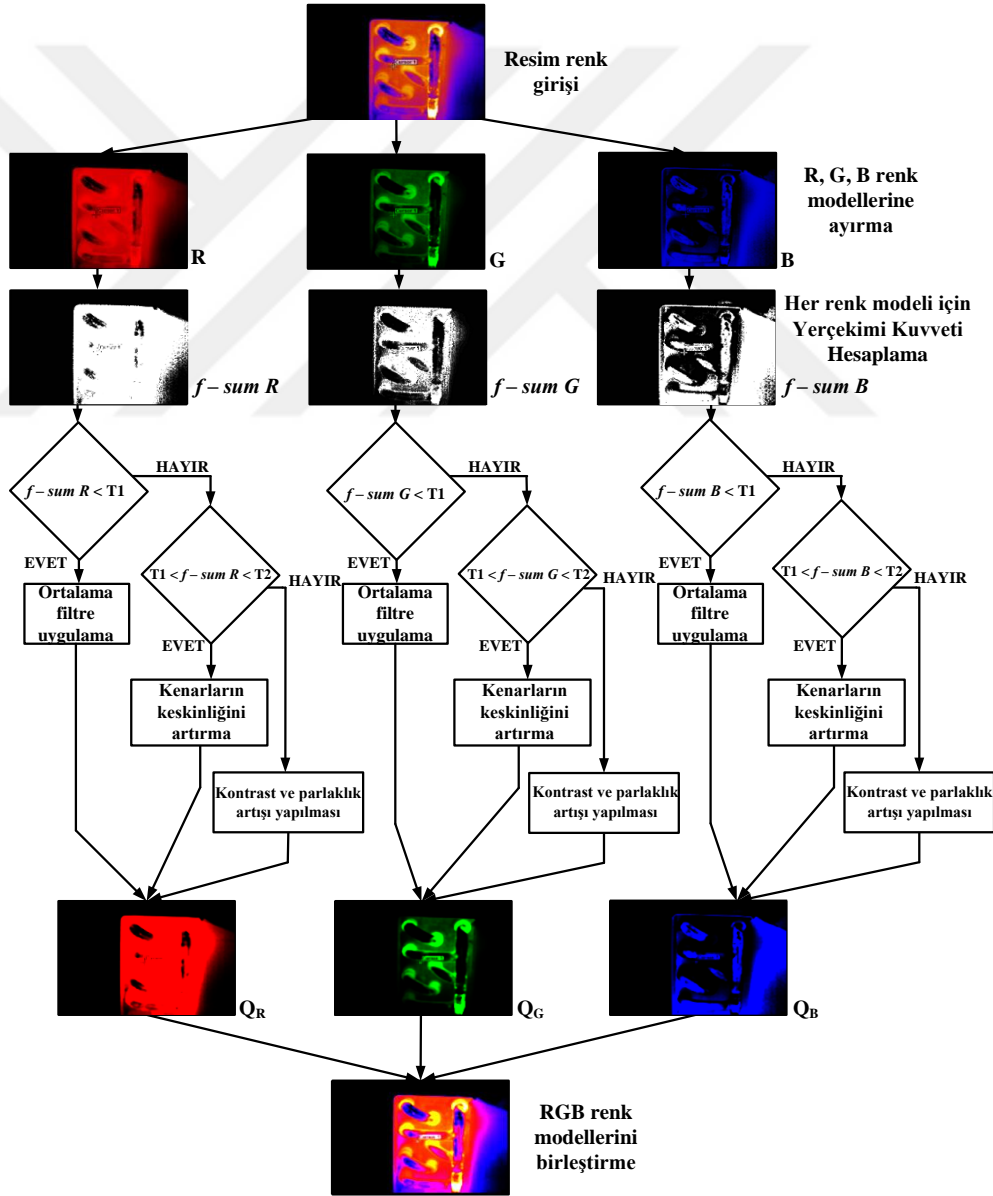
$$G(m, n)_{R,G,B} = \overline{F(m, n)}_{R,G,B} - \sum_{i=-l}^l \sum_{j=-l}^l k(i, j). f_sum(m + i, n + j)_{R,G,B} \quad (3.15)$$

Eşitlikteki $\overline{F(m, n)}$ ifadesi median filtre işlemi temsil ederken, $k(i, j)$ kısıtlama katsayı değeridir ve çalışmamızda 1.425 olarak alınmıştır. Pencere içerisindeki $f_sum(m + i, n + j)_{R,G,B}$ her bir pikselin elde edilen merkez yerçekimi kuvvet toplamlarını vermektedir. Bu süreç de ki piksellerin kenar olma özelliği yüksektir.

Üç yerçekimi kuvvet verilerinin T_2 değerinden büyük olma durumunda ise Eşitlik 3.16' daki eşitlik kullanılarak bölge içerisinde kontrast ve parlaklık ayarlarının yapılması amaçlanmaktadır.

$$G(m,n)_{R,G,B} = \overline{F(m,n)}_{R,G,B} * c \sum_{i=-l}^l \sum_{j=-l}^l F(m+i,n+j)_{R,G,B} \quad (3.16)$$

Eşitlikteki c kontrast katsayısı olup, deney süresince 0.35 olarak alınmıştır. $F(m,n)$ giriş görüntüsünü, $G(m,n)$ çıkış görüntüsünü temsil etmektedir. Bölge içerisindeki kontrast miktarı, pencere içerisindeki pikseller ile olan ilişkisine göre gerçekleşmektedir. Örneğin birbirlerine yakın ve büyük renk seviyelerinde kontrast ve parlaklık artışı fazla olurken, çevresindeki piksellerin renk seviyeleri düşük olması durumunda ise kontrast ve parlaklık artışı az bir oranda gerçekleşmektedir.



Şekil 3.12. GF&LIN akış şeması (Katircioğlu, Çay, & Cingiz, 2019).

Adım 4.

Red, Green ve Blue boyutlarında ki ayrı yapılan çalışmalar son olarak birleştirilerek RGB çıkış termal görüntüsü elde edilir. Şekil 3.12' deki akış şeması GF&LIN yöntemini görsel olarak özetlemektedir. Giriş görüntüsüne göre gürültüler ortadan kaldırılmış, yeni kenarlar ve var olan kenarlarda netlik artırılması sağlanmıştır. Görüntü içerisindeki bölgelerde yerel çevre pikseller ile olan ilişkisine göre kontrast ve parlaklık ayarı yapılmıştır.

GF&LIN'nın performansını farklı açılardan değerlendirebilmek için tercih edilen kondenser, kompresör ve evaporatör görüntüleri yakın çekim, genel soğutma sistem görüntüsü uzak çekim olarak gerçekleştirilmiştir. Uzak çekim kızıl ötesi görüntülerde kenar özellik kayıpları daha fazla yaşanmaktadır. Yakın çekim gerçekleştirilen görüntülerde ise aynı bölge içerisinde renk farklılıklarının yoğunluğundan dolayı gürültü oranının fazla olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen görüntülerin ortak özellikleri boyutları büyük, piksel yoğunluk değerleri sınırlı ve kontrast aralığı orta şeklinde ifade edilebilir. Görüntülerin satır ve sütun sayıları farklı olup, 417x311 boyutlarında bmp formatındadır. Önerilen GF&LIN yönteminin içerisinde yer alan G yerçekimi sabiti 10, elde edilen yerçekimi kuvvet verilerini sınıflandırmakta kullanılan T_1 ve T_2 eşik değerleri sırasıyla 0.01 ve 7 olarak alınmıştır. Yanal kısıtlama ağı içerisinde kullanılan k kısıtlama katsayısı 1.425 yerel kontrast ayarında kullanılan kontrast katsayısı ise 0.35 olarak alınmıştır. Bu iki katsayı değeri, bütün renk uzayları için aynı değerde tutulmuştur. Uygulamalar Intel (R) Core (TM) i5-4200U CPU 2.30 GHz işlemci ve 6 GB Ram ile MATLAB R2012b'de gerçekleştirilmiştir.

Sunulan yöntemin iyileştirme performansını değerlendirmek için, Histogram Eşitleme (HE), Ardışık Ortalama Niceleme Dönüşümü (SMQT) ve V dönüşüm yöntemleri yaygın olarak kullanılan yöntemler olarak tercih edilmiştir (Nilsson, Dahl, & Claesson, 2005) (Salazar & Gonzalez, 2015).

Soğutma sisteminin uzaktan uygun şekilde izlenebilmesi için deney düzeneği tasarlanmış ve bu düzeneğin farklı bölümlerinden kızılötesi görüntüler elde edilmiştir. Deneysel kurulumun donanımı, buhar sıkıştırımlı soğutma deney düzeneği, Kızılötesi termal kamera, bilgisayar ve kablolardan oluşmaktadır. Kızılötesi görüntüler üç farklı bölge için

termal kamera ile elde edilmiştir. Her elemandan görüntüler dik olacak şekilde alınmıştır ve ortam sıcaklığı 20°C'dir.

Soğutma sisteminde termal görüntü analizi ile farklı soğutucu akışkanların uzaktan sensörsüz olarak performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır. Görüntü analizi yapılmadan önce, elde edilen termal görüntülerin iyileştirilmesi sistemin yüksek performansta çalışması açısından zorunluluk arz etmektedir. Bu yüzden çalışmada kullanılan görüntüler, soğutma sistemine ait olan kompresör, kondenser ve evaporatör elemanlarından oluşmaktadır.

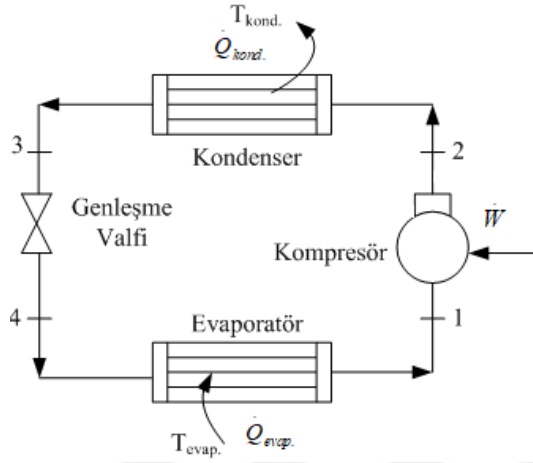
Bu çalışmanın entellektüel faydaları iki maddede tanımlanabilir. Birincisi, gürültü, düşük kontrast ve bulanıklık giderme işlemlerinin yanında kenar ve ayrıntıları iyileştirmek için Yerçekimi kuvvetine dayalı renkli termal görüntü geliştirme modeli ve yanal kısıtlama ağırları (GF&LIN) yöntemi sunulmaktadır. İkincisi ise, sunulan GF&LIN yönteminin etkinliği sırasıyla görsel analiz, nicel değerlendirme ve deneysel verilerin hata sınıflandırması ile doğrulanmıştır.

3.2.2. Chemours refrigerant expert akışkan yazılımı ile hesaplama

Yapılan bu çalışmada, R22'ye alternatif olabilecek R417A, R422A, R422D ve R438A akışkanları incelenmiştir. Bu soğutucu akışkanların; sistem boyutlandırmasında bir değişiklik yapılmaması, yalnız drayer değişimi ile uyumunun sağlanması avantajlı yönleri olarak ortaya çıkmaktadır. İncelenen soğutma sistemi, Chemours Refrigerant Expert programı ile analiz edilmiştir. Bu program, yenileme veya yeni sistem ele alındığında farklı çalışma koşulları için hızlı ve kolay seçim yapılmasını sağlar. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin şema şeklinde gösterimi ve sisteme ait çevrim noktaları Şekil 3.13'de verilmiştir.

Çalışmada tek kademeli, buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma çevrimi incelenmiştir. Termodinamik ve çevresel analizde R22, R417A, R422A, R422D ve R438A soğutucu akışkanları kullanılmıştır. Kompresör, kondenser, genleşme valfi ve evaporatör sistemi meydana getiren ana elemanlarıdır. Sistemin çözülme aşamasında bazı kabuller yapılmıştır; sürekli rejim şartları altında sistemin çalıştığı, soğutma sistemini oluşturan elemanlarda, borularda, ısı ve basınç kayıplarının yok sayıldığı, evaporatör ve kondenser fanlarında enerji tüketim miktarının ihmal edildiği kabul edilmiştir. Çevrim

elemanlarında sürekli rejim çalışma şartları geçerlidir. Teorik analiz için sistemde kullanılan değerler Tablo 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.13. İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi

Tablo 3.3. Analiz İçin Yapılan Kabuller.

Soğutma Kapasitesi, \dot{Q}_e (kW)	5
Evaporasyon Sıcaklığı, T_{evap} (°C)	0, -8, -25, -31
Kondenser Sıcaklığı, T_{kond} (°C)	50
Aşırı Kızdırma, (°C)	8
Aşırı Soğutma (°C)	6
Kompresör Mekanik Verimi (%)	88
Kompresör Elektrik Verimi (%)	98

Sistemin performans analizi termodinamiğin birinci kanununa dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Soğutma sistemine ait birinci kanun analizinde, kondenser, evaporatör ve kompresör kapasite değerleri, çevrim noktaları ele alınarak, aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Cingiz, Katırcıoğlu, Çay, & Kolip, 2019).

Kompresör kapasitesi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\dot{W}_{komp.} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (3.17)$$

Kompresöre uygulanan elektrik gücü ise kompresör gücünün, elektrik ve mekanik verimlere bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{W}_{komp,el} = \frac{\dot{W}_{komp}}{\eta_{el} \cdot \eta_{mek}} \quad (3.18)$$

Kondenserde, soğutucu akışkandan çevreye olan birim zamandaki ısı geçişi şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{kond.} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \quad (3.19)$$

Soğutulan ortamdan birim zamanda çekilen ısı şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{evap.} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (3.20)$$

Soğutma çevriminin etkinlik katsayısı (COP) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap.}}{\dot{W}_{komp.el.}} \quad (3.21)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde, (h) entalpi değerini (kJ/kg), $\dot{Q}_{evap.}$ soğutma kapasitesini (kW), $\dot{W}_{komp.el.}$ kompresör elektrik gücünü (kW), \dot{m} soğutucu akışkan debisini (kg/s) belirtmektedir. COP, soğutma sistemindeki çevrimin etkinliğinin, sıkıştırma sırasında harcanan enerjinin, buharlaşma sırasında absorbe edilen enerjiye oranı ile tespit edilen miktarı ya da ölçüsüdür. Sıkıştırma sırasında enerji ne kadar az harcanırsa, COP'de büyük olur. Bu nedenle, diğer özellikleri ve etkenleri eşit olan soğutucular içinden, COP değeri büyük olan soğutucu seçilmelidir.

3.2.3. Matematiksel Yöntem ile hesaplama

Deney sisteminde R22 ve alternatifleri olarak incelenen R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanları ile çalışmakta olan ticari tip bir soğutma sistemi imal edilmiştir. Deney setine ilişkin genel görünüş Şekil 3.9'da verilmiştir. Beş soğutucu akışkanın enerji değerlendirmesi için kullanılan deneysel sistem, başlangıçta R22 ile çalışmak üzere tasarlanmış buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimidir.

Bölüm 3.2.2.1.'deki enerji analizi kısmındaki eşitlikler yardımıyla soğutma sistemine ait kompresör, kondenser, evaporatör ve COP değerleri hesaplanmıştır.

3.2.4. Pearson Korelasyon Benzerlik Analizi (PCSA) yöntemi ile hesaplama

Benzerlik ölçüleri nesnelere arasındaki benzerlik derecesini hesaplamada kullanılan fonksiyonlardır. Benzerlik derecesi (0,1) veya (-1,1) aralığında yer alır. Benzerlik derecesinin 1 olması iki nesne arasında tam benzerliğin olduğunu, 0 (0,1) veya -1 (-1,1) ise tam benzeşmezlik durumunu ifade etmektedir (Akpınar, 2014).

Korelasyon iki nesnenin öznitelik değerleri arasındaki lineer ilişkinin yönünün ve gücünün belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan benzerlik ölçüsüdür (Ahlgren, Jarneving, & Rousseau, 2003). x ve y veri dizileri arasındaki Pearson korelasyonu, n toplam nesne sayısı ve σ_x ve σ_y dizilerin standart sapması, \bar{x} ve \bar{y} dizilerin aritmetik ortalaması olmak üzere, Eşitlik 3.22 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Pearson\ Kor_{.xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n - 1)\sigma_x\sigma_y} \quad (3.22)$$

Önerilen çalışmada, referans ve karşılaştırma yapılacak soğutucu akışkan içeren sistemlerden alınan termal görüntülerden her bir kesilmiş görüntü parçası için iki adet öznitelik matrisleri Pearson korelasyonuna sokulmaktadır. Her bir parça için, standart sapma, entropi, kontrast, çarpıklık, maksimum, minimum, ortalama ve en yoğun yüzey sıcaklığı değeri olmak üzere 8 adet öznitelik değeri kullanılmıştır.

Üzerinde çalışılan görüntüden öznitelik çıkarma, görüntü analizi ve karar işlemleri için önemli bir adımdır. Görüntülerde öznitelik çıkarım yöntemlerini, renk, doku ve şekil olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkündür. Önerilen çalışmada kızılötesi görüntü kullanılmasından dolayı renk ve doku üzerine daha fazla yoğunlaşmıştır. Kızıl ötesi görüntü üzerinde istenilen bölgelerin seçimi yapıldıktan sonra aşağıda sırası ile verilen öznitelikler elde edilmektedir.

3.2.4.1. Standart sapma

Dijital görüntü işleme uygulamalarında histogram, görüntü seviyesi ile istatistiksel olasılığı arasındaki ilişkiyi göstermek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Jiang, Zeng, & Bi, 2013). Görüntüdeki her bir pikselin, ortalamadan ne kadar uzakta ya da yakında toplandığı bilgisini veren değere standart sapma denir. Küçük bir standart sapma değerinin olması birbirine yakın görüntü değerlerinin olduğunu gösterir, büyük olması ise

değerlerin birbirinden uzak olduğunu göstermektedir. Bu sapma değeri ifadesi Eşitlik 3.23’de tanımlanmıştır.

$$\sigma_g = \sqrt{\sum_{g=0}^{L-1} (g - \bar{g})^2 P(g)} \quad (3.23)$$

Eşitlik 3.24’deki $P(g)$ görüntünün birinci dereceden histogram olasılığı olup, şu şekilde tanımlanır:

$$P(g) = \frac{N(g)}{M} \quad (3.24)$$

Burada M görüntüdeki toplam piksel sayısını, $N(g)$ g renk tonunda ki piksel sayısını ifade etmektedir. Eşitlik 3.23’deki \bar{g} görüntünün ortalama değeri olup Eşitlik 3.25’deki gibi bulunur (Duan, Yao, Wang, Bai, & Zhang, 2016).

$$\bar{g} = \sum_{g=0}^{L-1} gP(g) \quad (3.25)$$

3.2.4.2. Entropi

Entropi bir değişkendeki belirsizliği ölçmek için kullanılır. Değişkenin bütün değerleri birbirine eşit olduğunda belirsizlik yoktur ve entropi değeri sıfır olur. Ancak değişken tamamen birbirinden farklı değerler alıyorsa entropi maksimum değerine ulaşır (Barbieri, De Arruda, Rodrigues, Bruno, & da Fontoura Costa, 2011). Entropi, Eşitlik 3.26’deki gibi bulunur.

$$Entropi = - \sum_{g=0}^{L-1} P(g) \log_2(P(g)) \quad (3.26)$$

3.2.4.3. Kontrast

Görüntünün en açık ve en koyu bölgeleri arasındaki farktır. Yüksek kontrastlı görüntü hem ışığın çok güçlü olduğu bölgelere hem de çok koyu gölgelik alanlara sahiptir. Global kontrast ölçüsü olarak Michelson eşitliği kullanılmış olup Eşitlik 3.27’deki gibi ifade edilmektedir (Simone, Pedersen, & Hardeberg, 2012).

$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} \quad (3.27)$$

Eşitlikteki C, global kontrast değerini temsil ederken maksimum parlaklık L_{max} ve minimum parlaklık L_{min} ile gösterilmiştir.

3.2.4.4. Çarpıklık

Renk bilgisi kızılötesi görüntülerinin en önemli özelliklerinden biridir. Seçilen bölgenin alanı belirlendikten sonra çarpıklık değeri Eşitlik 3.28'deki gibi bulunmaktadır. Seçilen bölge içerisinde piksel renk değerleri simetrik değildirler. Bundan dolayı, çarpıklık, kullanılan ortalamanın simetrik özelliğinden ne kadar uzak olabileceğini göstermektedir.

$$\gamma_i = \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (f_{ij} - \mu_i)^3 \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.28)$$

Eşitlik 3.28'deki f_{ij} değeri j. görüntü pikselinin i. kanaldaki renk değerini, μ_i i. kanalın renk ortalama değerini, N ise görüntüdeki toplam piksel sayısını temsil etmektedir. γ_i ise her bir kanaldaki çarpıklık değeridir.

3.2.4.5. Maksimum ve minimum yüzey sıcaklığı

Üzerinde çalışılmak için kesilen bölgenin maksimum ve minimum sıcaklık değerleri analiz için gerekli öznelik verilerini oluşturmaktadır. Bunun için Eşitlik 3.29'de maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin elde edilme yöntemleri sunulmuştur.

$$\begin{aligned} T_{max} &= \max(T_{low} + (T_{high} - T_{low}) * T_I) \\ T_{min} &= \min(T_{low} + (T_{high} - T_{low}) * T_I) \end{aligned} \quad (3.29)$$

Eşitlik 3.29'daki T_I , renkli kızılötesi görüntünün gri termal görüntüye dönüştürülerek elde edilen giriş görüntüsünü, T_{low} ve T_{high} sıcaklık barının alt ve üst değerlerini göstermektedir.

3.2.4.6. Ortalama yüzey sıcaklık değeri

Belirlenen bölgenin kızılötesi görüntüsünde yer alan sıcaklık değerlerinin ortalama değeri Eşitlik 3.30'da verilmiştir.

$$T_{av} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N T_{low} + (T_{high} - T_{low}) * T_I}{M * N} \quad (3.30)$$

Eşitlik 3.30'daki M ve N kesilen bölgenin boyut bilgileridir.

3.2.4.7. En yoğun yüzey sıcaklık değeri

Belirlenen bölgenin kızılötesi görüntüsünde en yoğun sıcaklık değerini tespit etmek için Algoritma 1. kullanılmıştır.

Algoritma 1. En yoğun yüzey sıcaklık değeri belirleme sözel kodu.

Adım 1. Her bir piksele karşılık gelen sıcaklık değerini bul.

Adım 2. En yoğun yüzey sıcaklık değerini bulma

```

for i=1:satir
    for j=1:sütun
        değer=T_I(i,j);
        frekans(değer)=frekans(değer)+1;
    end
end

```

Adım 3. En yoğun sıcaklık değerini göster

Tyoğun =Max(frekans(değer));

Tablo 3.4. Pearson Korelasyon Benzerlik Analizine girecek her soğutucu akışkan için elde edilen öznelik matrisi örneği (Değerler R22 soğutucu akışkanı için).

Bölge	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
1	33,068	5,723	0,506	1,189	35,375	28,669	31,982	29
2	19,907	5,554	0,588	0,157	10,389	-7,951	3,779	4
3	29,834	6,345	0,478	0,120	22,677	21,686	22,580	23
4	69,246	6,265	0,827	0,600	19,932	-12,700	15,248	20
5	56,886	5,819	0,835	1,802	6,161	-7,445	-0,096	6
6	29,895	5,999	0,686	0,288	34,468	28,515	30,421	31
7	42,132	6,221	0,824	0,993	8,307	-2,496	6,131	8
8	48,019	6,252	0,784	0,305	21,266	16,656	19,777	21
9	13,507	5,224	0,357	-0,332	68,297	61,734	63,989	62
10	46,691	6,662	0,694	0,288	35,974	35,974	35,974	36

X1: Standart sapma (SD)

X2: Entropi (E)

X3: Kontrast (C)

X4: Çarpıklık (S)

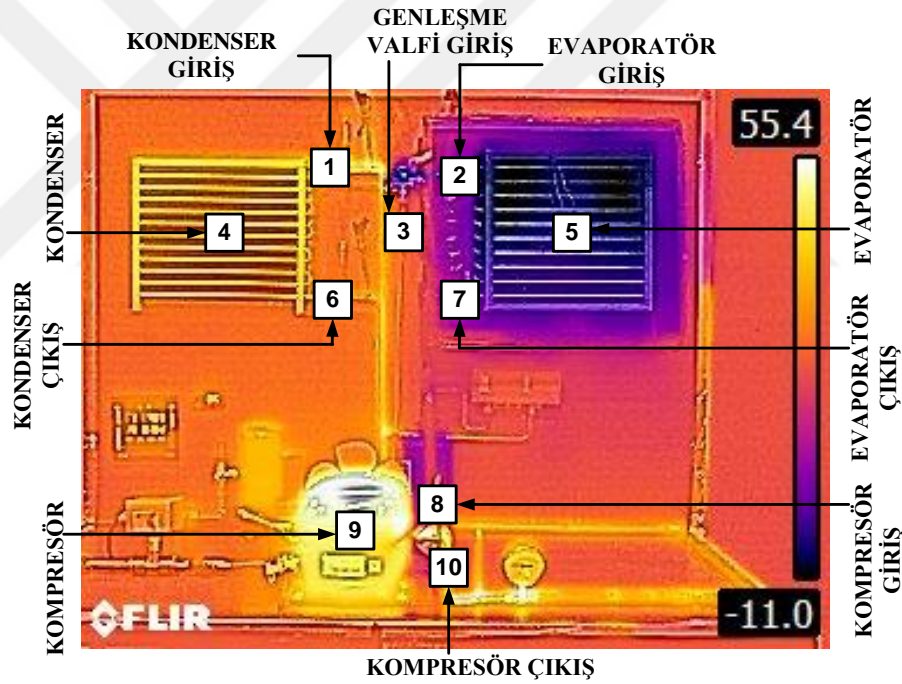
X5: Maksimum Yüzey Sıcaklığı (MaxT)

X6: Minimum Yüzey Sıcaklığı (MinT)

X7: Ortalama Yüzey Sıcaklığı (AT)

X8: En Yoğun Yüzey Sıcaklığı (IT)

Tablo 3.4’de R22 referans soğutucu akışkan için alınan termal görüntüdeki 10 alt bölgesi için elde edilmiş öznitelik matrisi verilmiştir. Çalışılan akışkanların performanslarını değerlendirebilmek için, sistemin her ana eleman giriş ve çıkışları (kompresörün giriş-çıkışı, kondenser giriş-çıkışı, termostatik genişleme valfi girişi, evaporatör giriş-çıkışı) ile kompresör, kondenser ve evaporatör yüzeyindeki sıcaklıklar, sistem üzerinde belirtilen noktalardan termal kamera ile elde edilerek karşılaştırılmıştır. Soğutma sisteminden kızılötesi görüntülerin alınma prosesi Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Önerilen yöntemde kullanılacak bölgeler, numaralandırılmış ve bölge isimleri de yine şekil üzerinde verilmiştir Yukarıda örneği verilen her iki soğutucu akışkanda elde edilen öznitelik matrisleri Eşitlik 3.22’ye sokularak, her seçilen alt bölgenin benzerlik değeri bulunur. On alt bölge için elde edilen benzerlik değerleri toplanarak, ortalama benzerlik değeri bulunur.



Şekil 3.14. Soğutma sistemi üzerinden kızılötesi görüntü alınan bölgeler.

3.2.5. Yüzey sıcaklığına bağlı COP_{YS} yöntemi ile hesaplama

Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri, düşük sıcaklığa sahip bir ortamdan ısıyı çekip sıcaklığın yüksek olduğu ortama aktaran ve neticede içinde yer aldığı ortamı soğutmaya sağlayan sistemlerdir. Sistemde, çevrim esnasında soğutucu akışkan çeşitli termodinamik işlemler geçirerek soğutma işini gerçekleştirilmektedir. Sistemin performans analizi

termodinamiğin birinci kanununa göre gerçekleştirilmektedir. Soğutma sistemine ait birinci kanun analizinde, kondenser, kompresör ve evaporatör kapasiteleri ile COP değerleri sırasıyla Bölüm 3.2.2.'deki Enerji analizi kısmındaki eşitlikler aracılığı ile hesaplanmaktadır.

Eşitlik 3.18, 3.20 ve 3.21'deki termodinamik denklemlerinden faydalanılarak kızıl ötesi görüntü işleme yöntemleri ve yüzey sıcaklık bilgileri kullanılarak, COP önerilmiştir. Önerilen yöntemde COP_{YS} adı verilmiş olup, Yüzey Sıcaklığı (YS) kısaltması kullanılmıştır.

$$COP_{YS} = \frac{(T_{komp.çıkış} - T_{komp.giriş})}{(T_{evap.çıkış} - T_{evap.giriş})} \quad (3.31)$$

Eşitlik 3.31'de yer alan $T_{komp.çıkış}$ ve $T_{komp.giriş}$ kompresörün giriş ve çıkış yüzeysel sıcaklık değerlerini, $T_{evap.çıkış}$ ve $T_{evap.giriş}$ ise evaporatörün giriş ve çıkış yüzey sıcaklık değerlerinin temsil etmektedir. Önerilen çalışmada, soğutucu akışkanların kızılötesi görüntüleri üzerinde yukarıda ki dört bölge seçimi yapıldıktan sonra, elde edilen değerler Eşitlik 3.31'e uygulanmaktadır. Seçilen bölgelerde ortalama sıcaklık değeri esas alınmıştır.

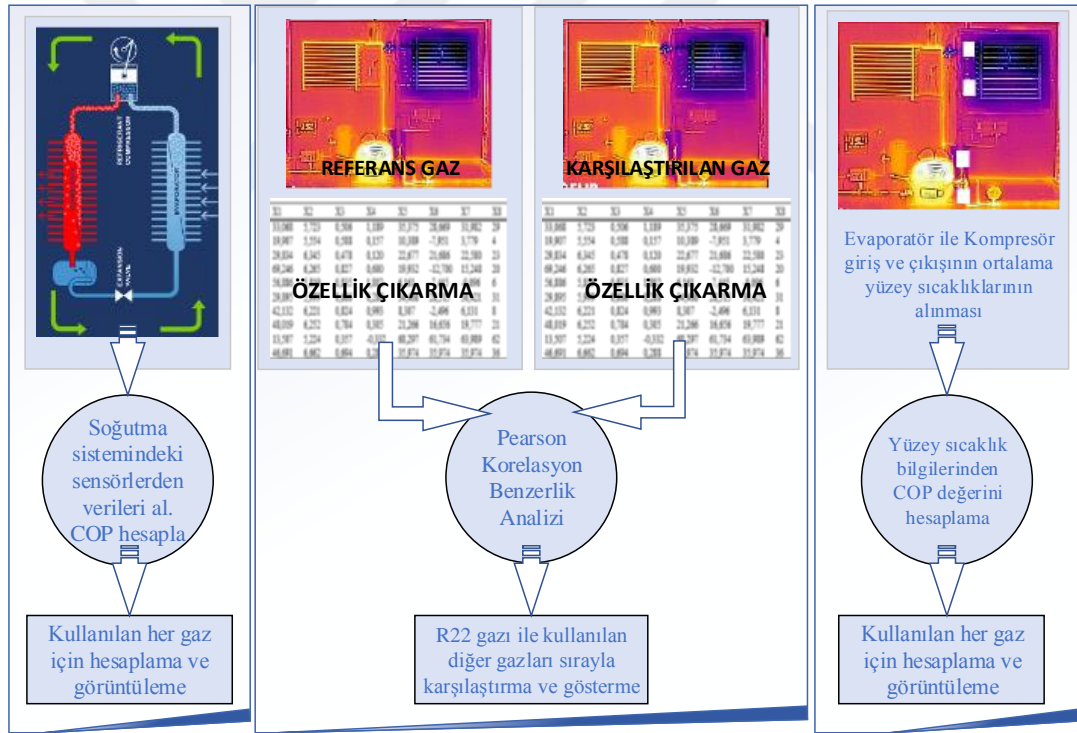
3.2.5.1. Önerilen çalışmanın akış şeması ve Matlab GUI arayüzü tanıtımı

Önerilen sisteminin akış şeması Şekil 3.15'de yer almaktadır. Şekilde görüldüğü gibi önerilen çalışma üç alt bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm, literatürde yaygın olarak tercih edilen matematiksel hesaplama kısmıdır. Sıcaklık, basınç ve hacimsel debi gibi temel parametreleri ölçmek, kaydetmek ve değerlendirmek üzere çevrimiçi bir sistem kullanılmıştır. İncelenen akışkanların sıcaklıkları kurulan deney düzeneğinin kompresör, kondenser, evaporatör ve genişleme valfinin giriş ve çıkışlarına bağlı termokupllar ile ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Basınçlar ise, kondenser ile evaporatörün giriş ve çıkış hatlarına monte edilen basınç transmitterleri ile ölçülmüştür. Sistemin temel noktalarındaki basınç, sıcaklık değerleri deneysel olarak alınmış ve test edilen her soğutucu akışkan için kayıt altına alınmıştır. İncelenen soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri tablolar kullanılarak, entalpi değerleri bulunarak, kompresör, kondenser, evaporatör ve COP değerleri hesaplanmıştır. Bölüm 3.2.3.'deki matematiksel

hesaplama ile elde edilen soğutucu akışkanların performans sıralaması sonraki iki bölüm için referans kabul edilmiştir.

İkinci bölümde, R22 soğutucu akışkanı ve diğer soğutucu akışkanların kızılötesi görüntüleri termal kamera ile alınmaktadır. İkinci aşamada bu kızılötesi görüntüler R22 ve diğer soğutucu akışkanlardan bir tanesi olmak şartıyla ikili olarak sisteme sokulmaktadır. Kızılötesi görüntülerden öznelik verileri çıkartılarak her bir soğutucu akışkan için özellik matrisi oluşturulmaktadır. İki özellik matrisi PCSA işlemine sokularak R22 soğutucu akışkanına ne kadar benzer olduğu sonucu elde edilmektedir.

Son bölümde ikinci bölüm gibi, kızılötesi görüntü işleme içermektedir. Her bir soğutucu akışkan için elde edilen kızılötesi görüntü üzerinde evaporatör ile kompresör giriş ve çıkışlarının ortalama sıcaklık verileri elde edildikten sonra, COP_{YS} işlemine sokulmaktadır.

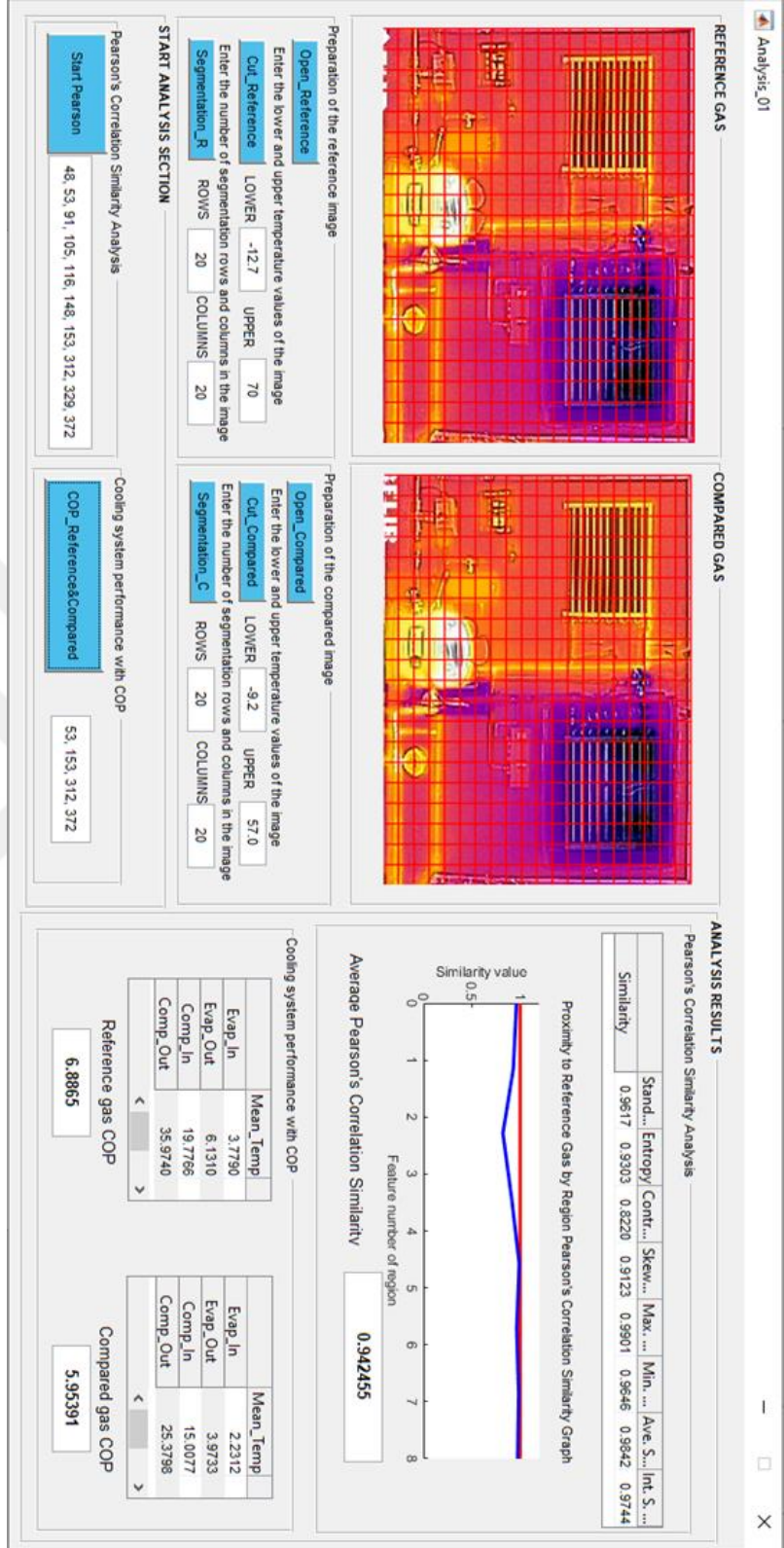


Şekil 3.15. Önerilen çalışmanın akış şeması.

Matlab (Matrix Laboratory) 1985 yılında C.B Moler tarafından matematik ortamında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Sayısal hesaplama, veri çözümleri ve grafik işlemlerinde kullanılabilecek genel amaçlı olmakla beraber, özel amaçlı modüler paketlere de sahip etkileşimli bir paket programlama dilidir (Haigh & Moler, 2008).

Matlab’da problemler, komut satırında çalışan programlar yazarak çözülebileceği gibi, Matlab GUI (Graphical User Interfaces) geliştirme aracını kullanarak, formlar ve butonlar gibi nesnelere oluşan görsel yazılımlar da oluşturulabilmektedir (The MathWorks, Inc., 2002). Önerilen çalışmanın PCSA ve COP_{YS} yöntemi ile soğutma sistem performans bölümleri Şekil 3.16’da verilen Matlab GUI ara yüz ile gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, referans soğutucu akışkan ile karşılaştırılacak olan soğutucu akışkanın kızılötesi görüntüsü yüklenerek, başlanmaktadır. Her iki kızılötesi görüntüsünde yer alan sıcaklık bar göstergelerinin alt ve üst sıcaklık değerleri girildikten sonra, “Cut_Reference” and “Cut_Compared” butonlarına basılır. Görüntülerin sol üst köşesi ve sağ alt köşesinden istenilen koordinat noktaları girilerek, kesme işlemi yapılmaktadır. Böylece deney setinin arka plan kısımları, sıcaklık bar göstergesi gibi istenilmeyen bölgeler kesilerek atılmaktadır. Ayrıca sözde renkli kızılötesi görüntü üzerinden her bir piksel için sıcaklık atama hesaplamaları bu bölümde yapılmaktadır. Bu işlemden sonra, kullanıcıdan kesilen görüntüyü kaç alt bölgeye ayırması gerektiği sorulur ve bunun için satır ve sütun bilgileri girilmektedir. Çalışma da bütün görüntüler 20x20 olmak üzere 400 alt bölge oluşturularak analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. “Segmentation_R” and “Segmentation_C” butonlarına basılmasıyla, görüntü alt bölgeleri kırmızı çizgi ile belirlenmiş olarak ara yüzde, güncellenmiş olarak görünürler.

Soğutma sisteminde, PCSA işlemi için 10 alt bölge, COP_{YS} yöntemi ile soğutma sistem performans için ise 4 alt bölge tercih edilmiştir. Bu tercih edilen bölgeler Şekil 3.14’de verilmiş olup, soğutma sistem elemanlarının giriş, çıkış ve yüzey bölgelerini kapsamaktadır. Görüntünün tamamını almayıp, sadece bazı bölgeler üzerinde çalışmanın temel amacı, işlem hızını artırmak ve analiz işlemlerine doğru yoğunlaşmayı gerçekleştirmek için yapılmıştır. Kullanıcı bölge numaralarını girdikten sonra isteğine göre, “Start Pearson” butonuna basarak PCSA veya “COP_Reference&Compared” butonuna basarak COP_{YS} yöntemi ile karşılaştırma yapılmaktadır. Her iki yöntemin analiz sonuçları ara yüzün sol tarafında üst ve alt olmak üzere iki bölümde sunulmuştur. PCSA karşılaştırma sonuçları her öznitelik için ve ortalama olarak verildiği gibi grafik olarak da görselleştirilmiştir. COP_{YS} yöntemi ile soğutma sistem performans sonuçlarında referans soğutucu akışkan ve karşılaştırılan soğutucu akışkanın COP_{YS} değerleri kullanılan bölge sıcaklıkları ile beraber sunulmuştur. Şekil 3.16’da kullanılan arayüz gösterilmektedir.

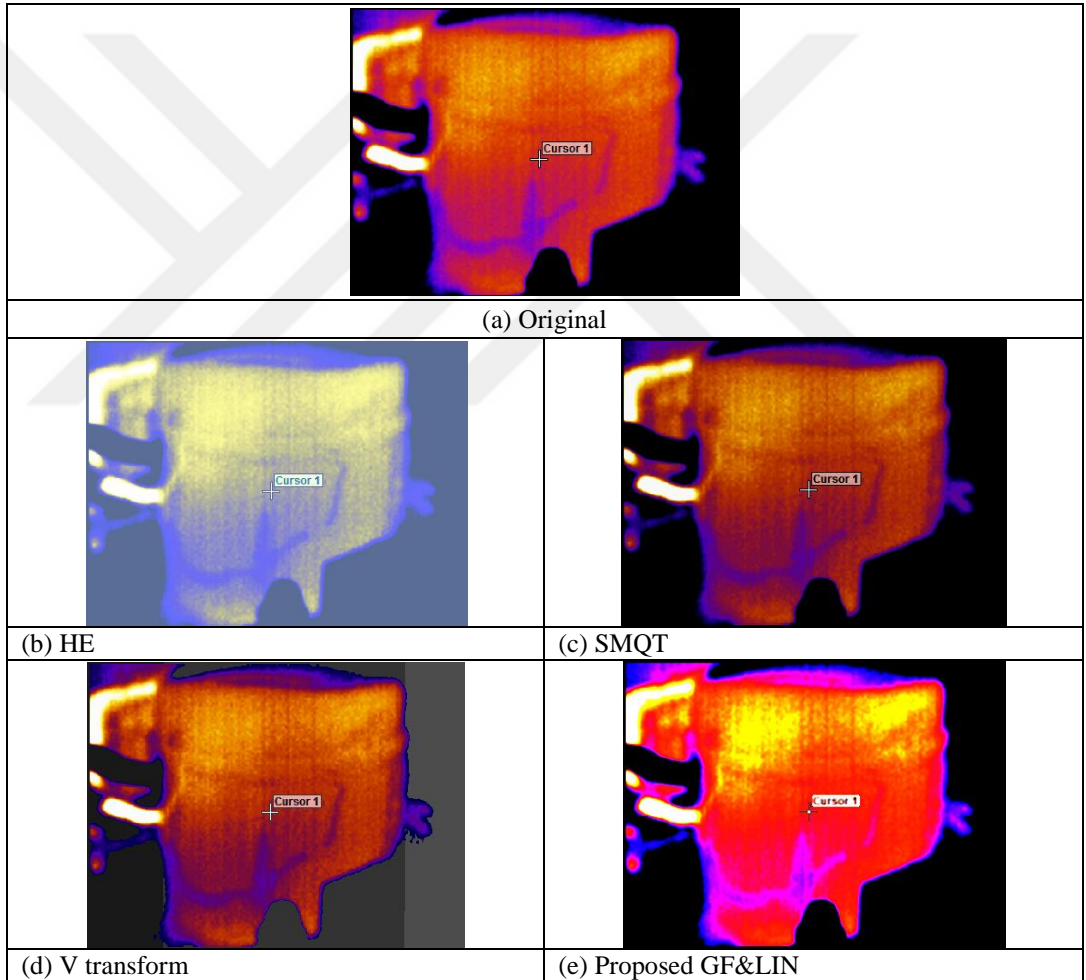


Şekil 3.16. Çalışmada kullanılan Matlab GUI arayüzü.

BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Yerçekimi Kuvveti ve Yanal Kısıtlama Ağlarına Dayalı Hesaplama Sonuçları

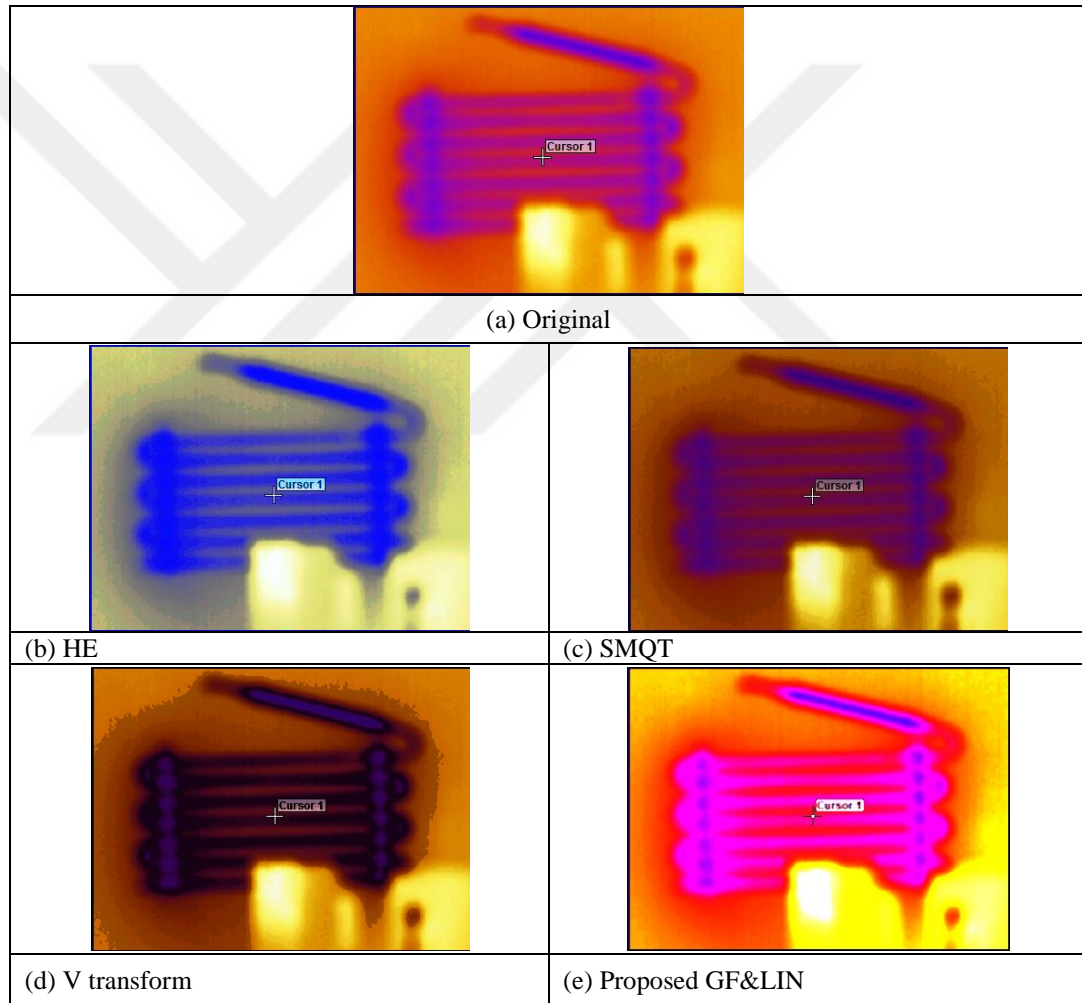
Biri genel diğer üçü yerel bölge olmak üzere elde edilen dört kızılötesi görüntüler Şekil 4.1 ve 4.2'de gösterildiği gibi, önerilen yöntem ve literatürdeki yöntemlerle işlenmiştir.



Şekil 4.1. Soğutma sisteminden kompresör görüntüsü için iyileştirme sonuçları (Katircioğlu, Çay, & Cingiz, 2019).

Şekil 4.1 (a), soğutma sisteminde yer alan kompresörün kızılötesi görüntü üzerinde bir karşılaştırma örneğidir. Bütün görüntü çok karanlık ve kompresörün parlaklığı azdır.

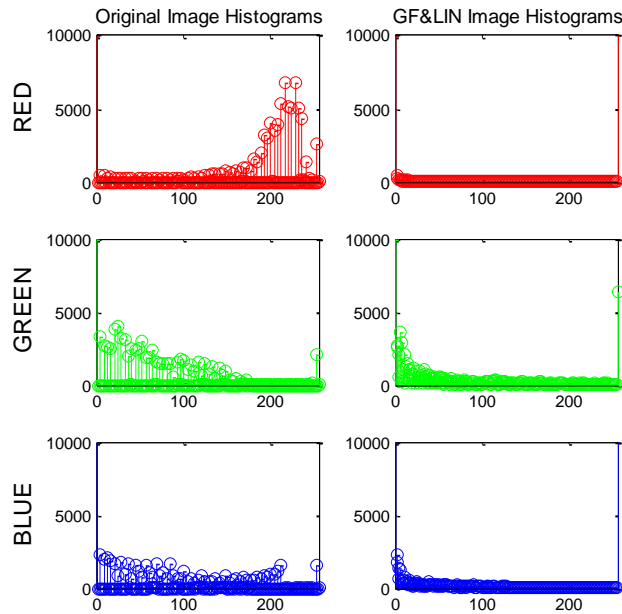
Şekil 4.1 (b) 'nin sonucu HE yöntemi ile oluşturulmuştur. Görüntünün çok parlak olmadığını, fakat kompresörün sıcak ve soğuk bölge bilgilerini koruduğunu gözlemliyoruz. Şekil 4.1 (c) SMQT ve Şekil 4.1 (d) V transform yöntemleri, HE yöntemine kıyasla iyi bir sonuç üretmiştir, ancak V transform da arka plan bozulması gerçekleşmiştir. Şekil 4.1 (e) 'nin sonucu, yaklaşımımız tarafından üretilmiş olup, orijinal görüntünün kontrastını etkili bir şekilde arttırmıştır. Bu özelliklerinin yanında kompresörün yan bölgelerindeki parlaklık artırılarak sıcaklık bilgisi vurgulanırken, çevresindeki mavi soğuk bölgelerin korunması sağlanmıştır. Görüntünün içinde yer alan kompresör elamanının kenar bilgileri vurgulanmıştır.



Şekil 4.2. Soğutma sisteminden genel görüntü için iyileştirme sonuçları (Katircioğlu, Çay, & Cingiz, 2019).

Şekil 4.2 (a)'de elde edilen görüntü diğer görüntülere göre daha uzak bir çekim olmasından dolayı bulanıklık içermekte ve düşük kontrasta sahip olmaktadır. Şekil 4.2 (d) V transform geliştirme yöntemi dokuyu kolayca zayıflatmakta ve kenar bulanıklığı

üretmektedir. Soğuk bölgelerde karartma oluşarak doğal yapıdan uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.2 (c) SMQT yönteminde G ve B kontrast darlığı R de ise kontrast genişliği gerçekleştirilmiştir, kontrast geliştirme etkisi yetersizdir. Kenar ve bölge bilgilerinin orijinal görüntüye göre daha da bozulduğu tespit edilmiştir. Önerilen yöntemde elde edilen, Şekil 4.2 (e) 'de gösterilen görüntümüz, görüntü kontrastı ve gürültü açısından diğer yöntemlerden daha iyi ve canlılık izlenimi vermektedir. RGB renk bilgileri korunarak kenar belirleme işlemi başarı ile sağlanmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak, önerilen yöntemin diğerlerinden üstün olduğu tespit edilmiştir. Birçok görüntü işleme uygulaması için görüntü kalitesinin ölçülmesi önemlidir. Bu bölüm içerisinde GF&LIN ile elde edilen görüntülerin objektif değerlendirme yöntemleri kullanarak performans incelemesi yapılmıştır. İlk olarak orijinal ve iyileştirilmiş kızılotesi görüntülerin Kontrast, Keskinlik, Kenar Piksel ve Kenar Yoğunluğu özellikleri değerlendirme kriterleri olarak seçilmiştir. İkinci durumda her iyileştirilen görüntüler ile orijinal görüntü arasında Normalleştirilmiş Çapraz Korelasyon (NCC), Yapısal Benzerlik Analizi (SSIM) ve Görüntü Geliştirme Faktörü (IEF) yöntemleri kullanılmıştır. Üzerinde çalışılan görüntülerin renkli görüntü olmasından dolayı bu yöntemler her renk uzayı için yapılmamış, gri seviye görüntüsüne dönüştürülerek ölçümler alınmıştır.



Şekil 4.3. Kompresör görüntüsü için RGB Histogramı.

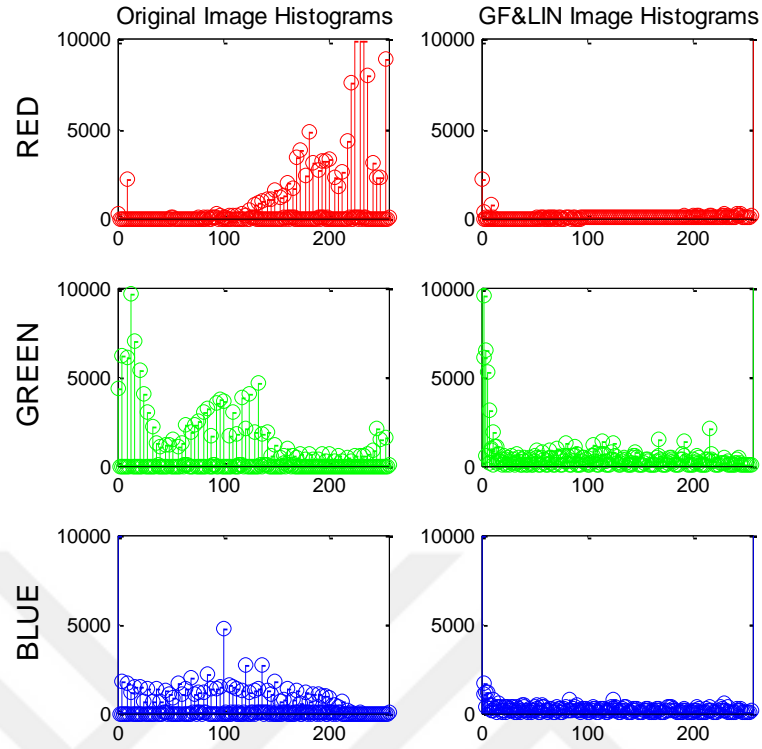
Geliştirme efektini ve görüntü kalitesini değerlendirmek için, her test görüntüsünde hesaplanan sekiz değerlendirme değeri üzerinden önerilen yöntemimizin üstünlüğünü daha iyi açıklamaktadır. Kompresör görüntüsü için ESSIM 0.9887 ile orijinal görüntüye yakınlığı, NCC 1.7175 değerinin yüksek çıkması ile karşılaştırılan iki görüntüde aydınlatma genliğindeki lineer değişikliklere daha az duyarlı olduğunu göstermektedir. Şekil 4.3’de özellikle G ve B boyutlarında koyu değerlerdeki yoğunlaşmayı yöntemimiz kontrast işlemini düzgün yaparak 0-255 renk seviyelerinde homojenlik miktarını artırmıştır.

Genel adlı görüntünün değerleri Tablo 4.1’de ve histogram eğrisi ise Şekil 4.4’de yer almaktadır. Tablo 4.1’deki veriler önerilen algoritmanın işlevsel bir yöntem olduğunu göstermektedir. Özellikle red ve green boyutlarında kontrast artışının memnun edici seviyeye ulaştığı Şekil 4.4’de görülmektedir.

Tablo 4.1. Genel görüntü için değerlendirme parametrelerinin sonuçları.

Değerlendirme göstergeleri	Orijinal görüntü	HE	SMQT	V transform	Önerilen GF&LIN
Kontrast	0.9314	0.8979	0.9471	0.9626	1.0000
Keskinlik	0.0136	0.0186	0.0120	0.0156	0.0202
Kenar piksel	1506	1536	1679	1712	1726
Kenar yoğunluğu	13870	19128	12157	15726	20601
ESSIM		0.9885	0.9953	0.9859	0.9968
NCC		1.1505	0.7662	0.7639	1.6116
Geçen zaman		1.31	1.32	1.35	9.38
IEF		0.0453	0.0757	0.1130	0.5356

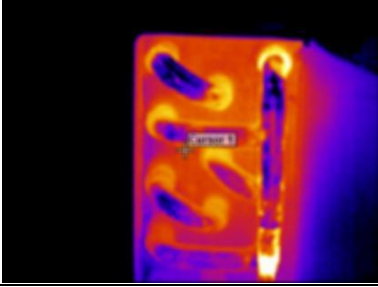
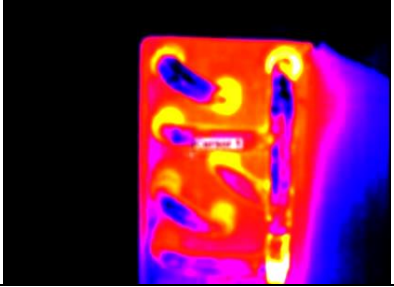
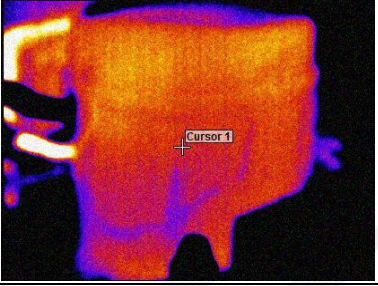
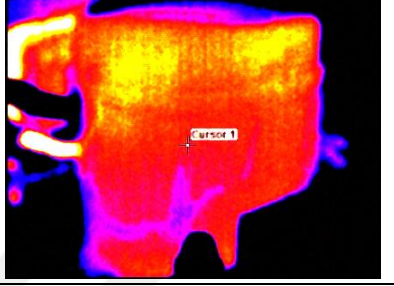
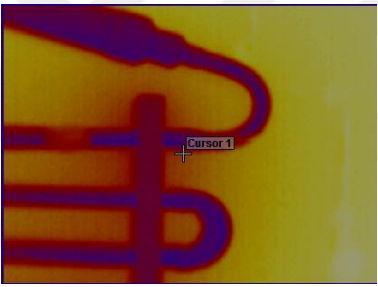
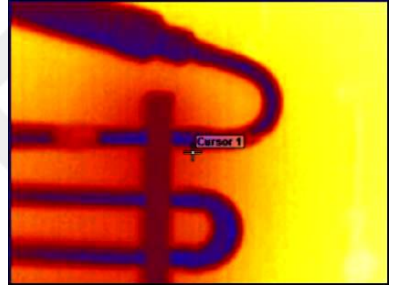
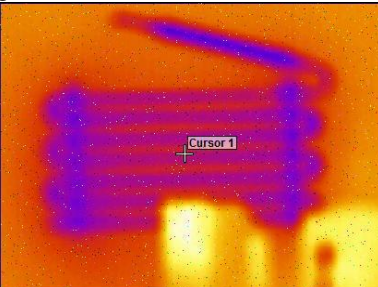
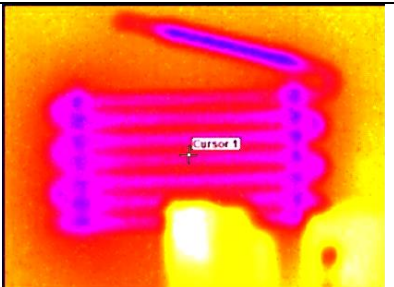
Çalışmada kullanılan görüntüler üzerinde son olarak yapay bozulmalar gerçekleştirilerek, önerilen yöntemimiz GF&LIN performansı, kontrast ve parlaklığı düşük, gürültülü ve kenarları bozulmuş görüntüler için test edilmiştir. Kondenser görüntüsü Blurring filtresinden geçirilerek, kenar özelliklerin kaybolması sağlanmıştır.



Şekil 4.4. Genel görüntü için RGB histogramı.

Tablo 4.2. Yapay hasar görmüş görüntüler için değerlendirme parametrelerinin sonuçları.

Resim adı	Değerlendirme göstergesi	Orijinal görüntü	Yapay hasar görmüş görüntü	Önerilen GF&LIN
Kondenser görüntüsü	Kontrast	0.9964	Bulanık görüntü	0.9988
	Keskinlik	0.01307		0.0089
	Kenar piksel	2405		2353
	Kenar yoğunluğu	12961		9286
Kompresör görüntüsü	Kontrast	1.0000	Gauss gürültüsüne bağlı görüntü	1.0000
	Keskinlik	0.0149		0.04530
	Kenar piksel	1669		1789
	Kenar yoğunluğu	14774		33041
Evaporatör görüntüsü	Kontrast	0.8535	Kontrast ve Parlaklık azaltılmış görüntü	0.6994
	Keskinlik	0.0163		0.0101
	Kenar piksel	1627		1853
	Kenar yoğunluğu	17729		10722
Genel görüntü	Kontrast	0.9314	Tuz ve Biber gürültüsü ekli görüntü	0.9841
	Keskinlik	0.0136		0.0288
	Kenar piksel	1506		2983
	Kenar yoğunluğu	13870		23073

Kondenser görüntüsü		
	(a) Bulanık görüntü	(b) Bulanıklık GF ve LIN ile giderilir
Kompresör görüntüsü		
	(c) Gauss gürültüsüne bağlı görüntü	(d) GF&LIN ile temizlenen Gauss gürültüsü
Evaporator görüntüsü		
	(e) Kontrast ve Parlaklık azaltılmış görüntü	(f) GF & LIN ile geliştirilmiştir
Genel görüntü		
	(g) Tuz ve Biber gürültüsü ekli görüntü	(h) Tuz ve Biber, GF & LIN ile temizlenir

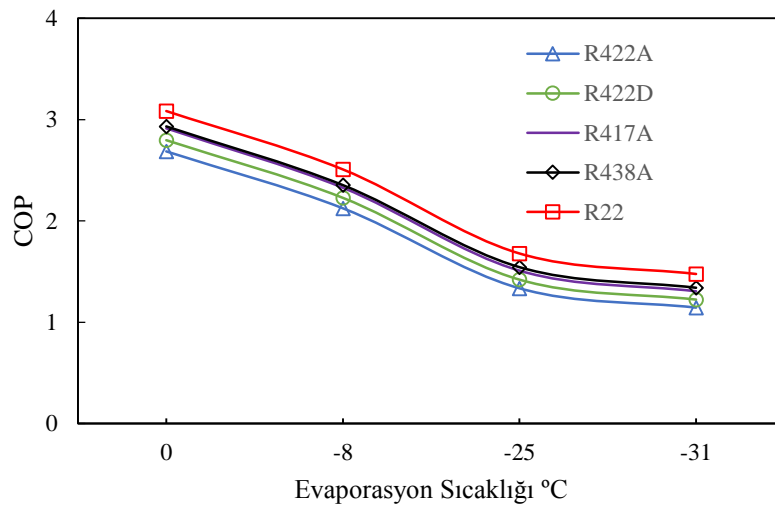
Şekil 4.5. Yapay hasarlı görüntüler üzerinde GF ve LIN'in etkisinin araştırılması.

Yapay olarak kenarları bozulmuş kondenser görüntüsü GF&LIN metodumuzdan geçirildiğinde, Şekil 4.5 (b)'de görüldüğü gibi kenarların kazanımı sağlanmıştır. Bu durumu, Tablo 4.2'de yer alan edge pixel sayısı 2472 ve yoğunluğu 15051 verileri doğrulamaktadır.

Gauss gürültü, doğal gürültü sürecini modellemek için kullanılan en genel yöntemdir. Gauss eğrisi ile verilen rastgele değişkenin olası yoğunluğu hesaplanarak meydana getirilmektedir. Kompresör görüntüsüne Gauss gürültüsü eklenerek, görüntü kalitesi bozulmuştur. Şekil 4.5 (d)'de bu gürültünün ortadan kaldırıldığı görülmektedir. Tablo 4.2'de gürültü eklenmiş keskinlik değeri 0.04530 değerinden 0.02713 değerine çekilmiştir. Orijinal görüntüde bu değer 0.0149 olmasından dolayı iyileşme sağlanmıştır. Şekil 4.5 (e)'de evaporatör görüntüsünde kontrast ve parlaklık büyük oranda düşürülmüştür. Önerilen GF&LIN yöntemi Şekil 4.5 (f) parlaklık ve kontrast artışı sağlamıştır. Tablo 4.2'de 0.69994 den 1.0000 kontrast artışı yöntemin güçlülüğünü vurgulamaktadır. Son olarak Şekil 4.5 (g)'de genel görüntüye tuz ve biber gürültüsü eklenmiştir. Görüntünün açık renk tonlu bölgelerinde temizleme yapılırken bazı bölgelerde arzulan gürültü giderme sağlanamamıştır. Ancak kontrast ayarı ve belirginleştirme özelliğinin memnun edici olduğu Şekil 4.5 (h)'de görülmektedir.

4.2. “Chemours refrigerant expert” akışkan yazılımı ile hesaplama sonuçları

Yapılan çalışmada ticari soğutma sistemlerinde, R22 akışkanına alternatif olarak piyasaya sürülen R417A, R422A, R422D ve R438A akışkanlarının performans analizi, termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa göre yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen değerler grafikler halinde sunulmuştur.

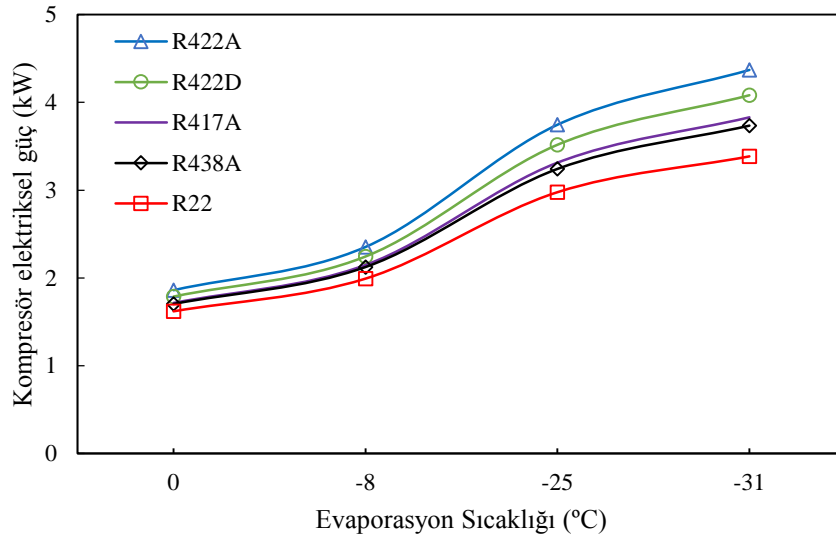


Şekil 4.6. Akışkanlara ait soğutma performans katsayısı (COP) değerleri (Cingiz, Katircioğlu, Çay, & Kolip, 2019).

Şekil 4.6’da analiz edilen akışkanların COP değerlerindeki değişim farklı evaporasyon sıcaklığına göre karşılaştırmalı olarak görülmektedir. COP değerlerine bakıldığında zaman R22 akışkanının yüksek bir değere sahip olduğu, onu takiben R438A, R417A, R422D ve R422A akışkanlarının geldiği görülmektedir.

R22 akışkanında COP değerleri 1.4-3.1 arasında, R438A akışkanında COP değerleri 1.4-3 arasında, R417A’da COP, 1.3-2.9, R422A akışkanında 1.2-2.7 arasında değişirken, R422D akışkanında ise COP, 1.2 ile 2.8 arasında değişmektedir. R22’nin COP değerlerinin, tüm uygulama aralıkları için diğer alternatif akışkan COP değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, R422A soğutucu akışkanının COP değeri açısından R22 için en kötü yenileme akışkanı olduğu söylenebilir.

Şekil 4.7’de sistemin kompresör elektriksel gücü görülmektedir. Şekil 4.6 ve 4.7 beraber değerlendirildiğinde, R22 akışkanı için daha az kompresör gücü gerektiği görülmektedir. Bu akışkanı baz alarak, R22 akışkanına en yakın performans R438A’da daha sonra sırası ile R417A, R422D ve R422A akışkanlarında gözlemlenmiştir.

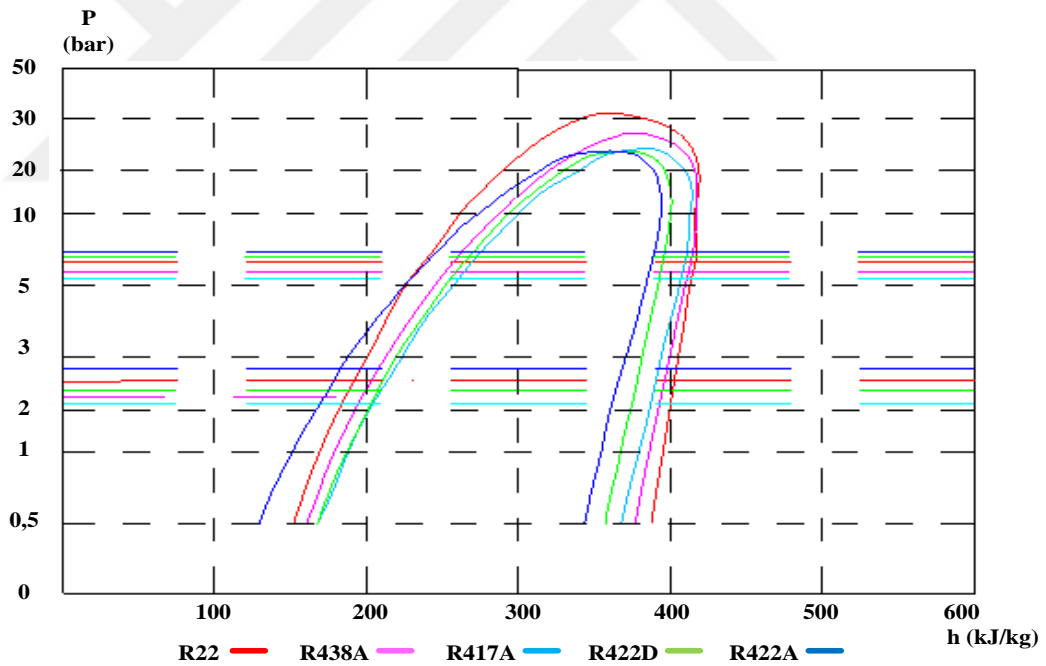


Şekil 4.7. Sistemlere ait kompresör elektriksel güçleri (Cingiz, Katırcıoğlu, Çay, & Kolip, 2019).

4.3. Matematiksel Yötem ile Hesaplama Sonuçları

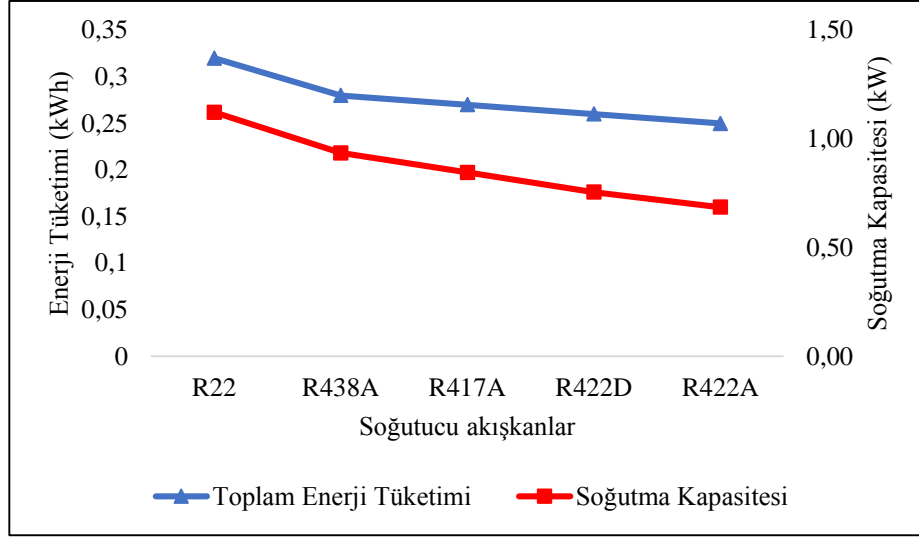
Deneysel sistemdeki toplam tüketim miktarı; düzenekte kullanılan bütün fanların, devre kartlarının ve kompresörün elektriksel harcamalarını içermektedir. R22, R438A, R417A,

R422D ve R422A soğutucu akışkanları kullanılan bu çalışmada, 20°C ile 21°C arasında değişen ortam sıcaklıklarında buhar sıkıştırma soğutma sistemi ile deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak, gerekli sıcaklık, basınç ve debi ölçüm değerleri kullanılarak, kompresör, kondenser, evaporatör ve COP gibi parametreler hesaplanmıştır. Çalışılan soğutucu akışkanların, akışkanın türüne bağlı olarak basınç-entalpi diyagramları üzerinde oluşan farklılıklar ve benzerlikler Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Burada, buharlaşma, yoğuşma basınçları ile entalpi değerleri bakımından, R22 soğutucu akışkanına en yakın performansın sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A şeklinde olduğu görülmektedir. R22'nin diğer soğutucu akışkanlara kıyasla en yüksek kritik noktaya ve farklı bir dağılıma sahip olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca, R417A ve R438A hemen hemen benzer davranış göstermektedir. Evaporatör çıkışı ile giriş arasındaki entalpi farkı olarak tanımlanan spesifik soğutma etkisi, belirli bir basınç büyüklüğünde R22 kullanılması durumunda en büyük değere sahiptir.



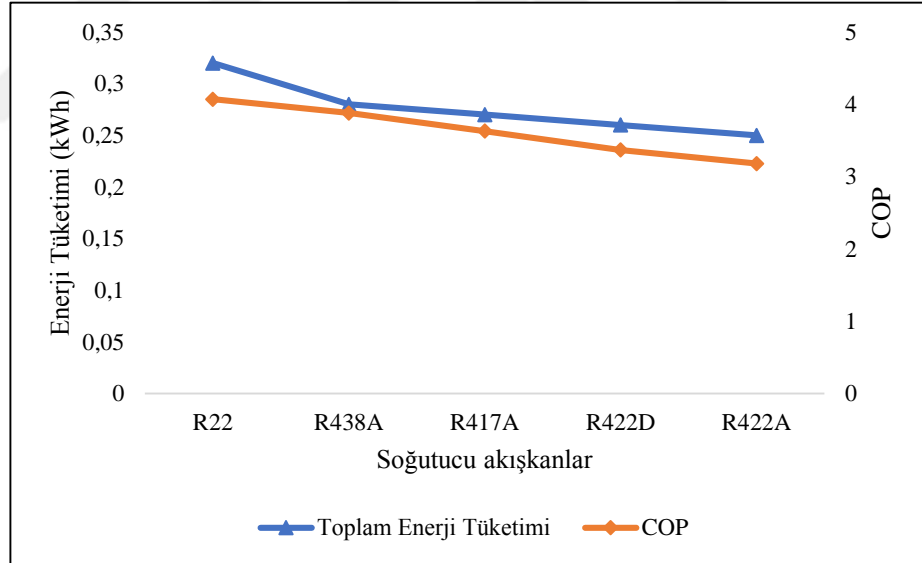
Şekil 4.8. Basınç-entalpi değişim grafiği.

Enerji analizörü ile yapılan ölçümler neticesinde, birim saat başına soğutma kapasitesine göre R22 soğutucu akışkanının en yüksek soğutma kapasitesine ve aynı zamanda en yüksek enerji tüketimine sahip olduğu Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

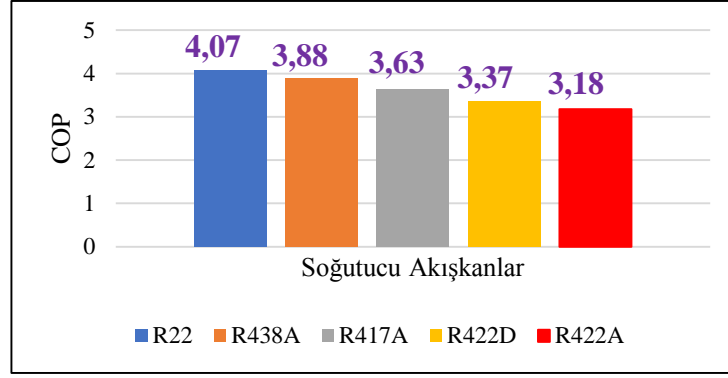


Şekil 4.9. Soğutma kapasitesi- enerji tüketimi.

Soğutma kapasitesine göre en yüksek COP değerine sahip R22 soğutucu akışkanının en yüksek elektrik tüketimine sahip olduğu Şekil 4.10’da gösterilmiştir.

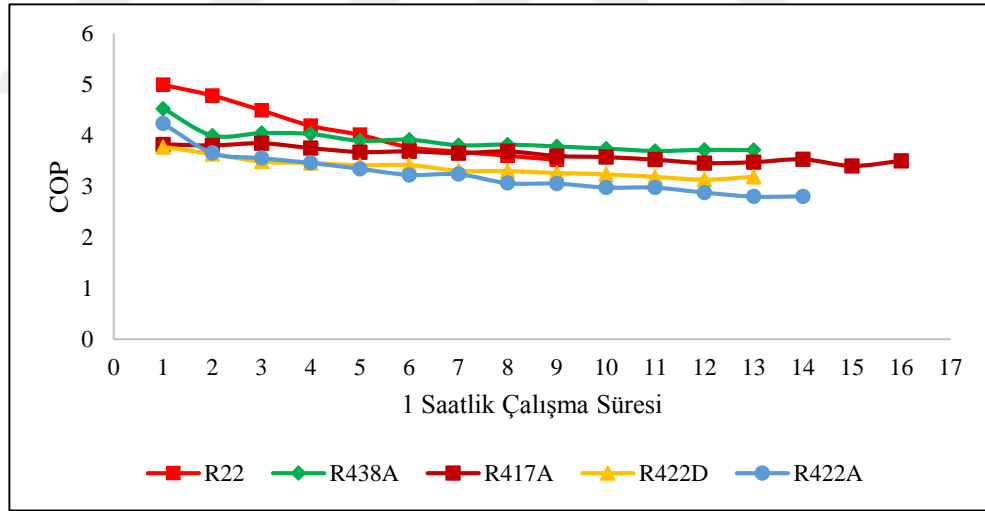


Şekil 4.10. COP- enerji tüketimi.



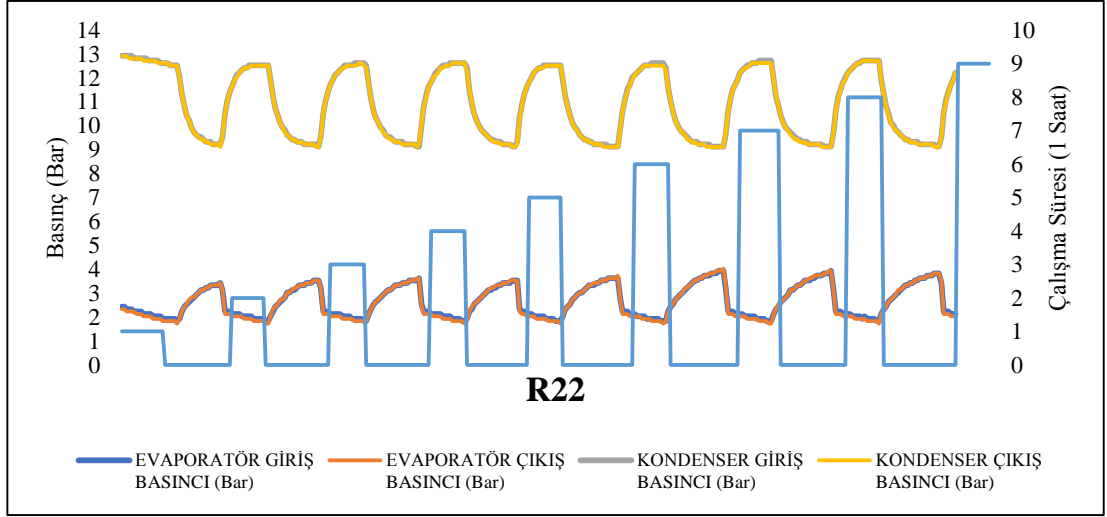
Şekil 4.11. Ortalama soğutma performans katsayısı (COP) değişimi.

Yapılan hesaplama sonuçlarına göre incelenen R22 ve alternatifi soğutucu akışkanların COP değişimi Şekil 4.11’de görülmektedir. Kompresör tarafından tüketilen elektrik gücü R22 soğutucu akışkanı için daha büyük olsa da, bu durumda soğutma kapasitesi daha yüksek COP değerlerine yol açmaktadır. COP değerlerine bakıldığında, R22 soğutucu akışkanının alternatifi olarak kullanılan R438A’dan %5, R417A’dan %12, R422D’den %17 ve R422A’dan ise %22 daha yüksek olmaktadır.



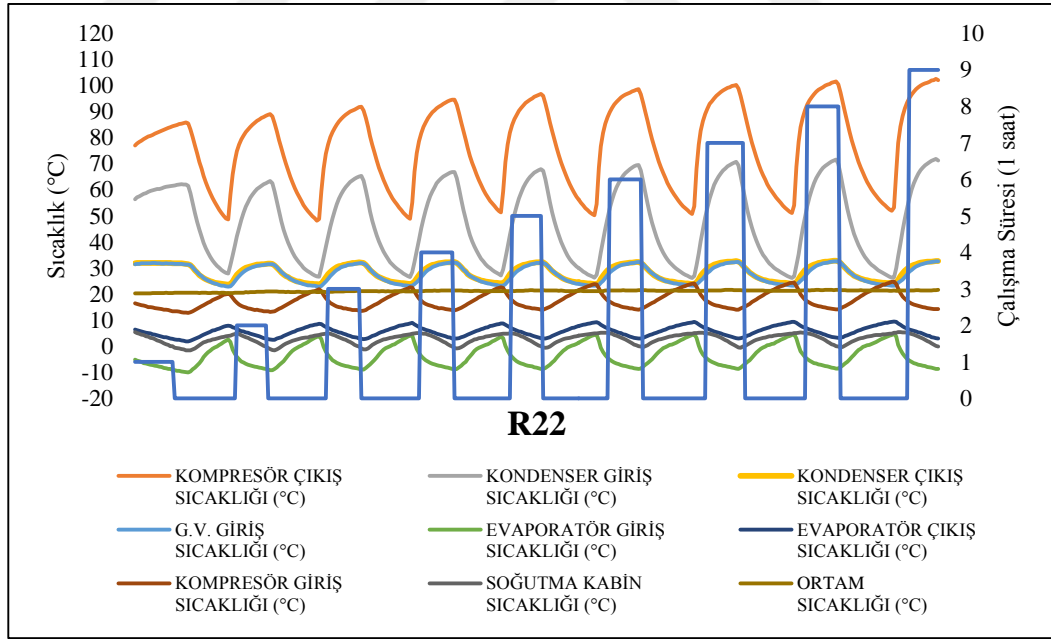
Şekil 4.12. Çalışma süresince soğutma performans katsayısı (COP) değişimi.

İncelenen R22 ve alternatifi soğutucu akışkanların bir saatlik çalışma aralığı boyunca ortalama COP değişimi değerleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Grafiğe göre en yüksek COP değişim değerinin R22’de olduğu, onu sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarının izlediği görülmüştür.



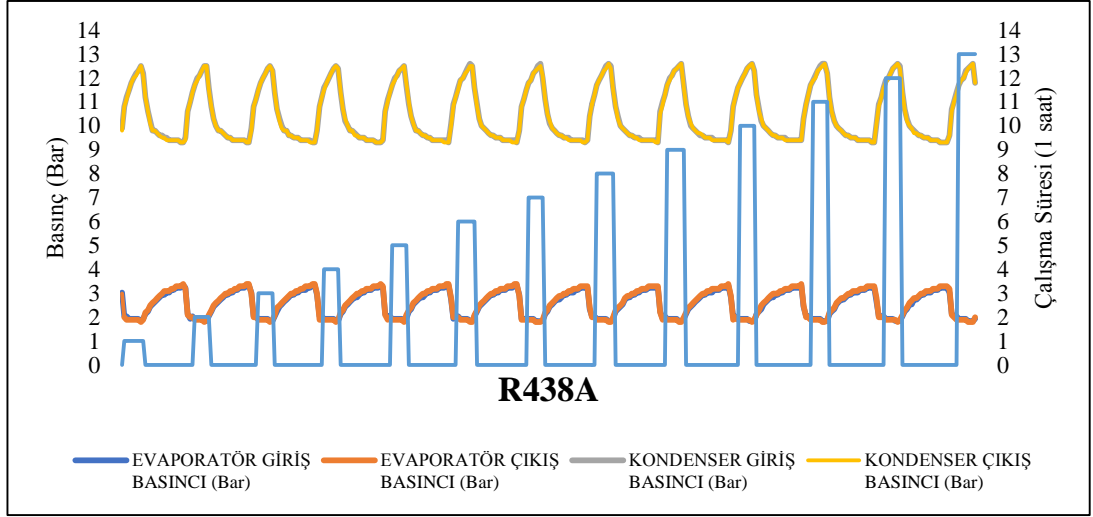
Şekil 4.13. Sistemin farklı noktalarındaki basınç değişimleri (R22).

R22 soğutucu akışkanı ile soğutma sisteminde yapılan deneylerde, bir saatlik çalışma süresi boyunca yaklaşık dokuz kez kompresörün dur-kalk yaptığı belirlenmiştir. Bu çalışma aralığı içerisinde sistem üzerinden ölçülen basınç değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.13’de verilmiştir.

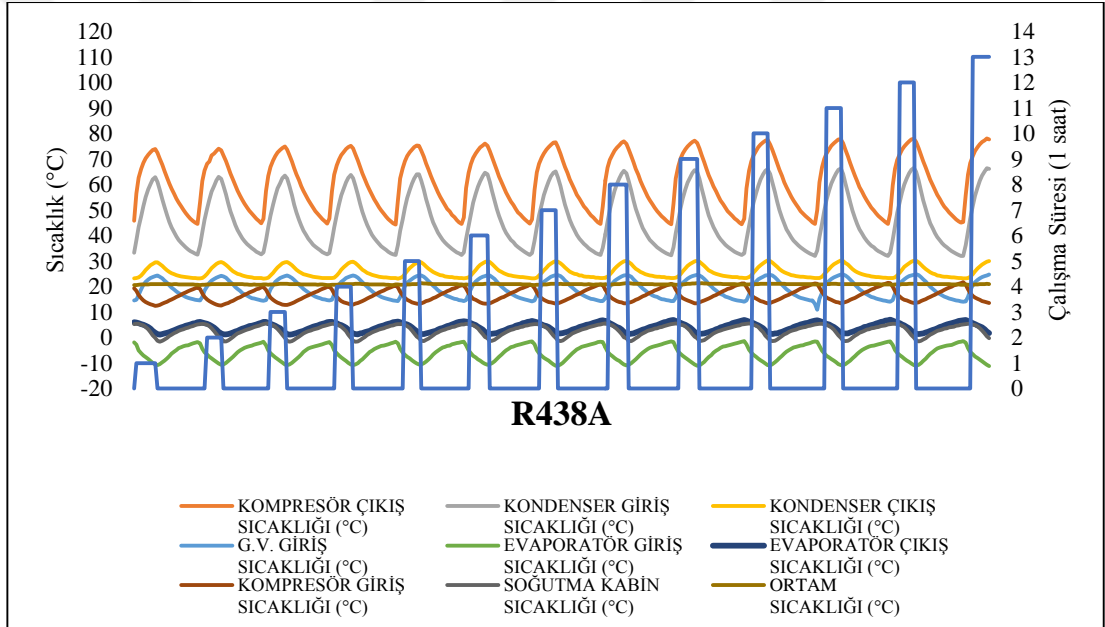


Şekil 4.14. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimleri (R22).

R22 soğutucu akışkanı ile soğutma sisteminde yapılan deneylerde, bir saatlik çalışma aralığı içerisinde sistemin farklı noktalarından ölçülen sıcaklık değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.14’de verilmiştir.



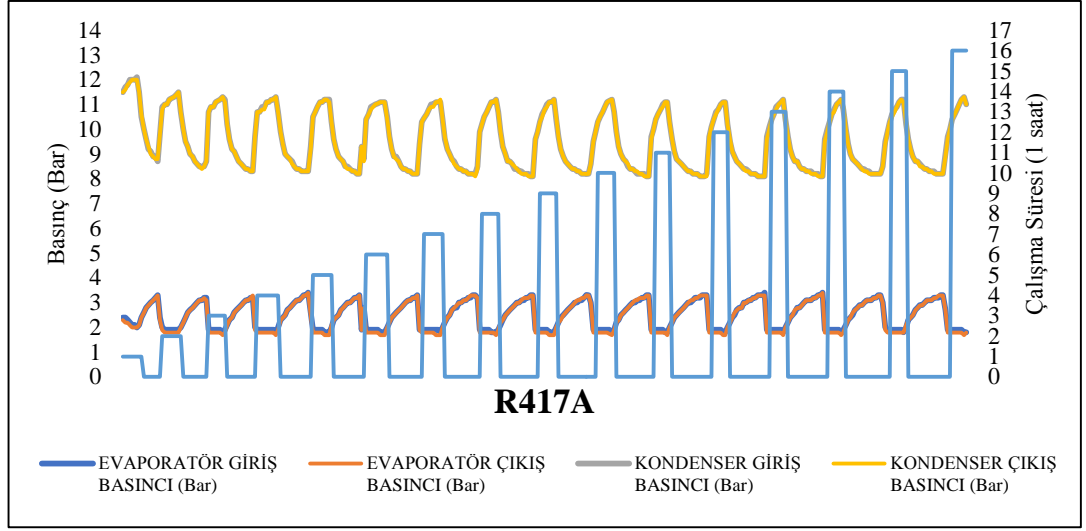
Şekil 4.15. Sistemin farklı noktalarındaki basınç değişimleri (R438A).



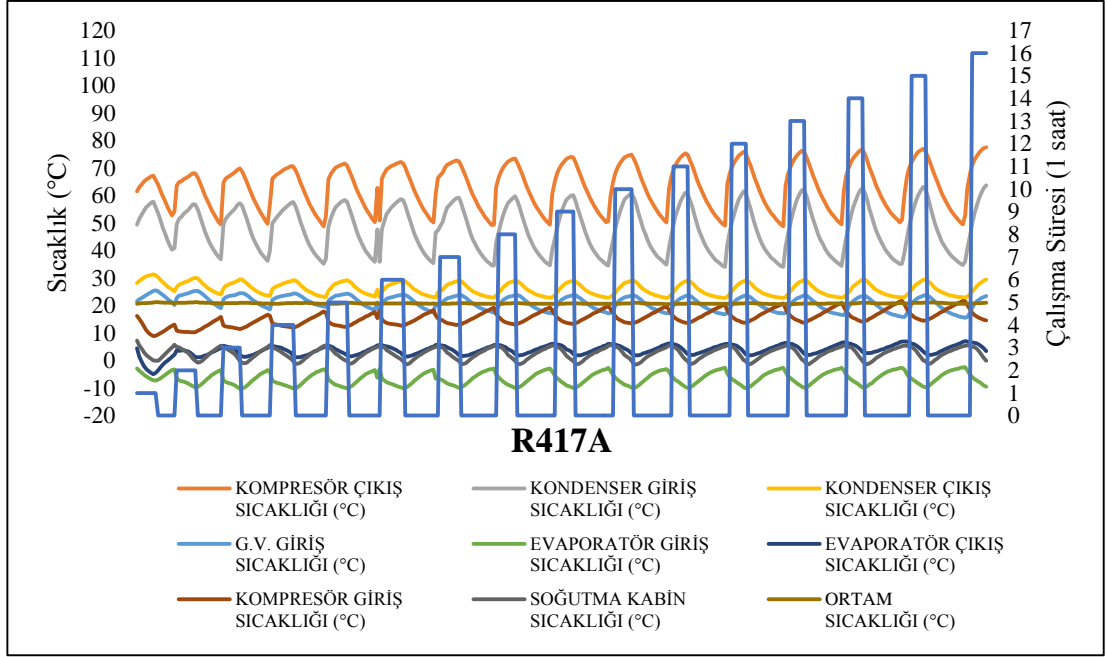
Şekil 4.16. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimleri (R438A).

R438A soğutucu akışkanı ile soğutma sisteminde yapılan deneylerde, bir saatlik çalışma süresi boyunca yaklaşık onüç kez kompresörün dur-kalk yaptığı belirlenmiştir. Bu çalışma aralığı içerisinde sistem üzerinden ölçülen basınç değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.15’de verilmiştir.

R438A soğutucu akışkanı ile soğutma sisteminde yapılan deneylerde, bir saatlik çalışma aralığı içerisinde sistemin farklı noktalarından ölçülen sıcaklık değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.16’da verilmiştir.



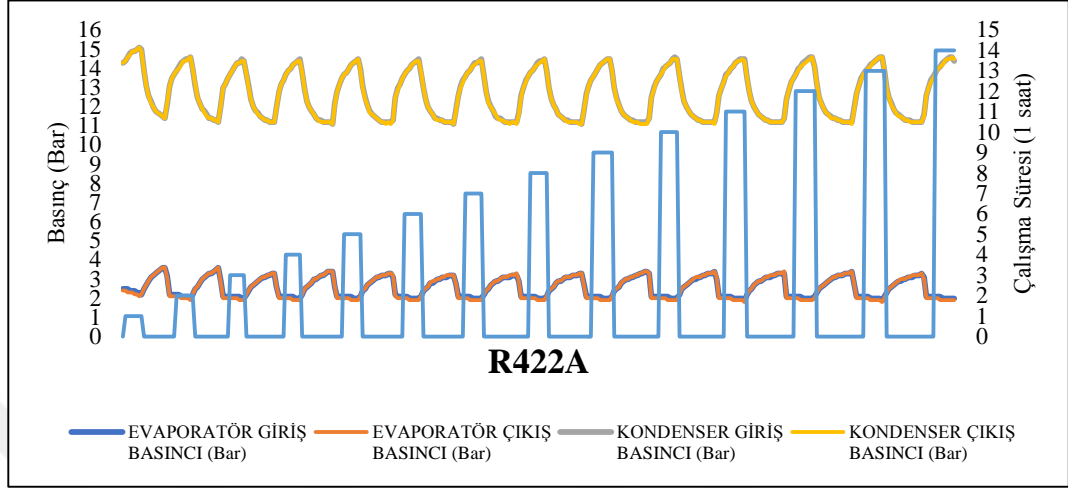
Şekil 4.17. Sistemin farklı noktalarındaki basınç değişimleri (R417A).



Şekil 4.18. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimleri (R417A).

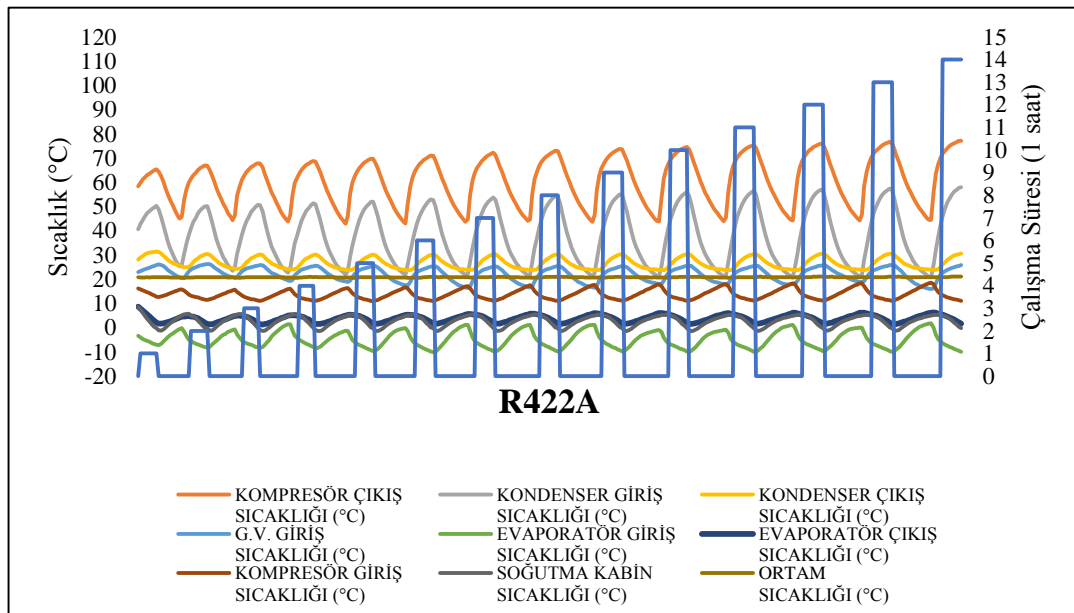
R417A soğutucu akışkanı ile soğutma sisteminde yapılan deneylerde, bir saatlik çalışma süresi boyunca yaklaşık onaltı kez kompresörün dur-kalk yaptığı belirlenmiştir. Bu çalışma aralığı içerisinde sistem üzerinden ölçülen basınç değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.17’de verilmiştir.

R417A soğutucu akışkanı ile soğutma sisteminde yapılan deneylerde, bir saatlik çalışma aralığı içerisinde sistemin farklı noktalarından ölçülen sıcaklık değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.18’de verilmiştir.



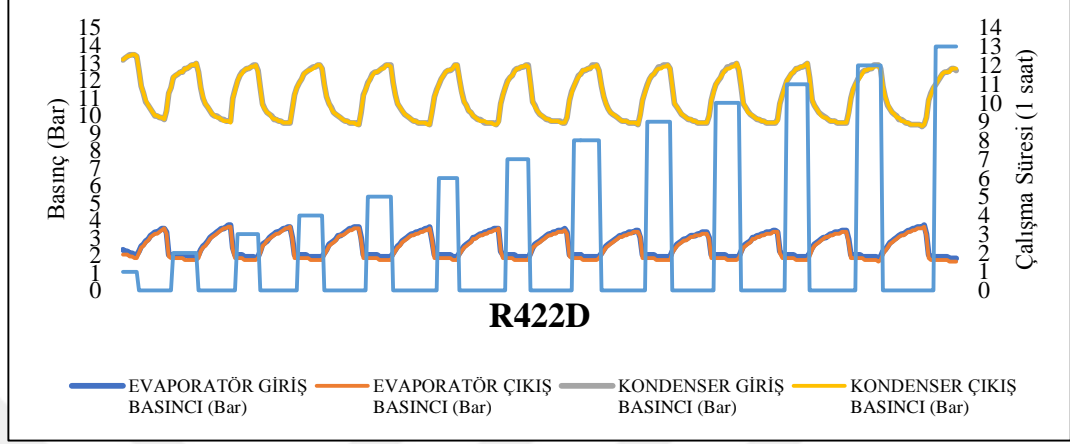
Şekil 4.19. Sistemin farklı noktalarındaki basınç değişimleri (R422A).

R422A soğutucu akışkanı ile soğutma sisteminde yapılan deneylerde, bir saatlik çalışma süresi boyunca yaklaşık ondört kez kompresörün dur-kalk yaptığı belirlenmiştir. Bu çalışma aralığı içerisinde sistem üzerinden ölçülen basınç değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.19’da verilmiştir.



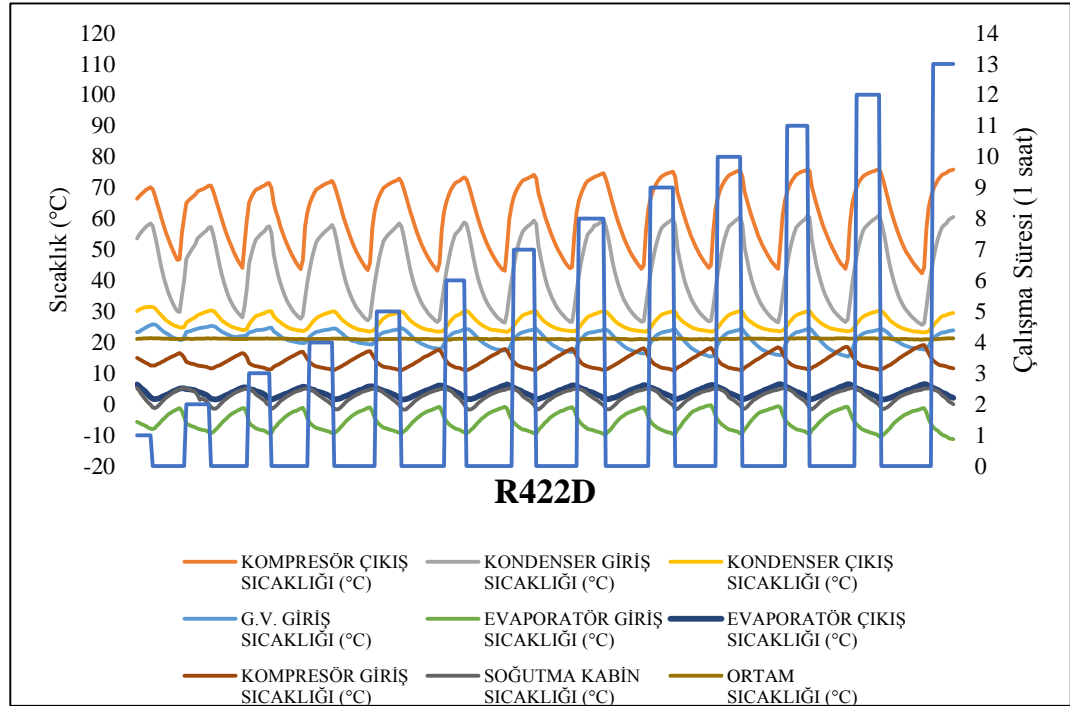
Şekil 4.20. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimleri (R422A).

R422A soğutucu akışkanı ile soğutma sisteminde yapılan deneylerde, bir saatlik çalışma aralığı içerisinde sistemin farklı noktalarından ölçülen sıcaklık değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Sistemin farklı noktalarındaki basınç değişimleri (R422D).

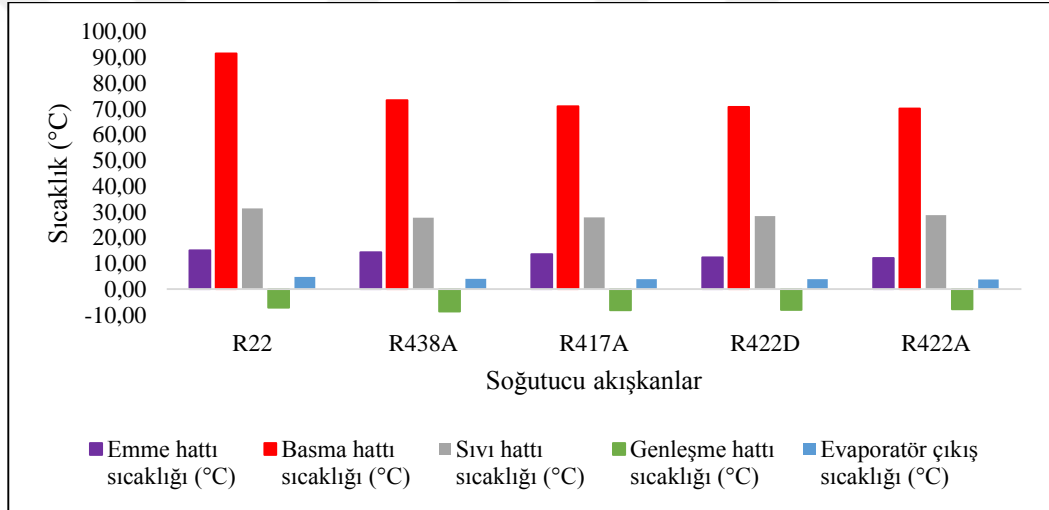
R422D soğutucu akışkanı ile soğutma sisteminde yapılan deneylerde, bir saatlik çalışma süresi boyunca yaklaşık ondört kez kompresörün dur-kalk yaptığı belirlenmiştir. Bu çalışma aralığı içerisinde sistem üzerinden ölçülen basınç değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklık değişimleri (R422D).

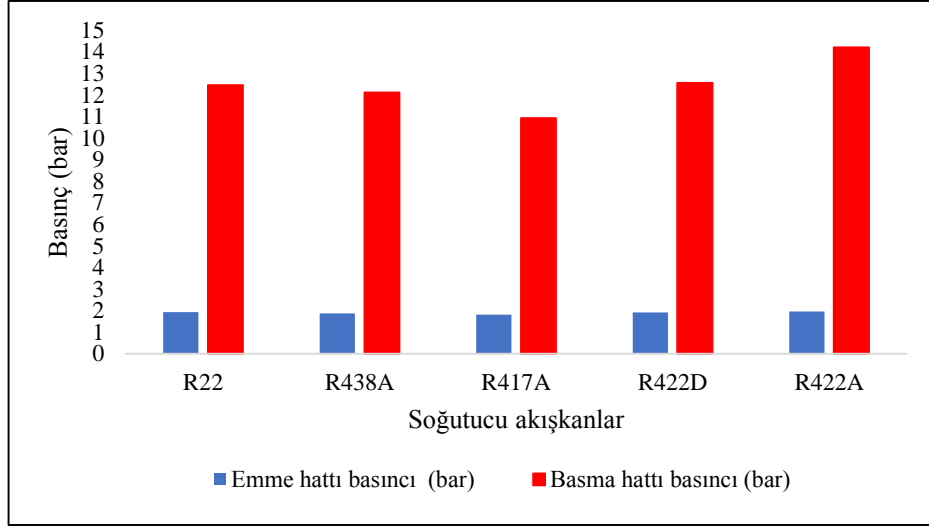
R422D soğutucu akışkanı ile soğutma sisteminde yapılan deneylerde, bir saatlik çalışma aralığı içerisinde sistemin farklı noktalarından ölçülen sıcaklık değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir.

Şekil 4.13-4.15-4.17-4.19 ve 4.21’de görüldüğü üzere, R22’nin kondenser ve evaporatör basınç değeri R422A ve R422D’den düşük, R417A ve R438A’dan yüksek olmasına rağmen soğutma etkisi ve COP değeri açısından en yüksek değere sahiptir. Şekil 4.14-4.16-4.18-4.20 ve 4.22’de görüldüğü üzere R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanları için kompresörün çıkış sıcaklığı değerleri, sırasıyla R22’den %20, %22, %23 ve %24 daha düşüktür. Düşük kompresör çıkış sıcaklığı daha uzun kompresör ömrüne karşılık geldiği için istenilen bir durumdur. Bu açıdan bakıldığında, belirtilen soğutucu akışkanlar R22 kullanılan sistemlerde onun yerini alma potansiyeline sahiptir.



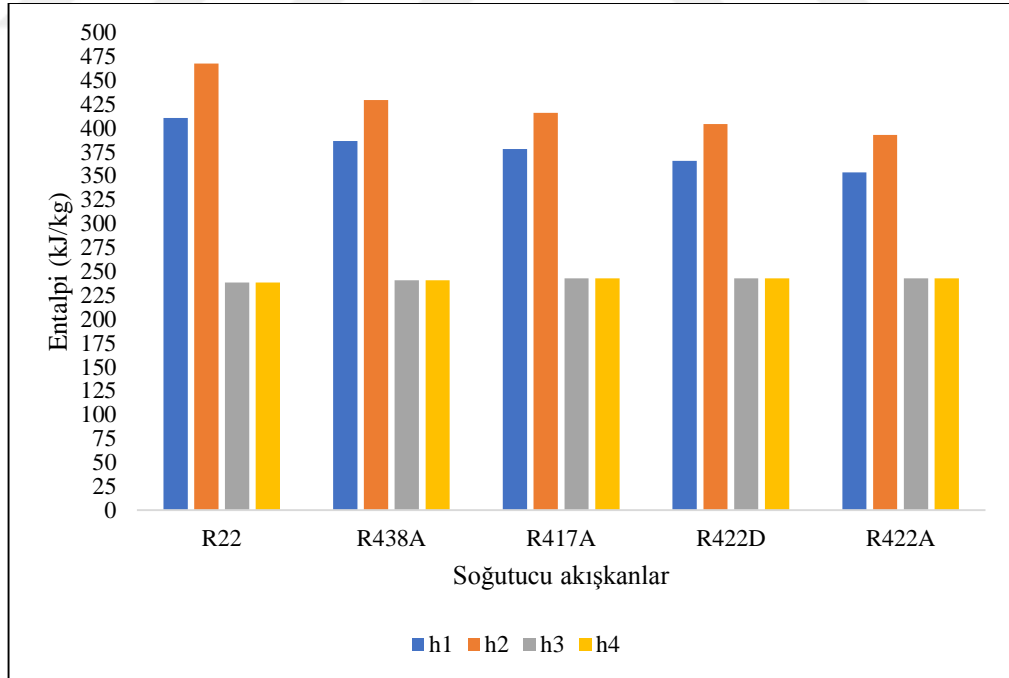
Şekil 4.23. Sistemin farklı noktalarındaki soğutucu akışkan sıcaklık değişimleri.

Yapılan deneylerde; emme, basma, sıvı, genleşme hattı ve evaporatör çıkış sıcaklık değerleri Şekil 4.23’de verilmiştir. Emme hattı sıcaklığının beş soğutucu akışkan için yaklaşık aynı değeri aldığı, basma hattı sıcaklığında R22’ye göre R438A, R417A, R422D ve R422A’nın daha düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, R22 dışındaki diğer dört soğutucu akışkanın basma hattı sıcaklığı yakın değerler almaktadır. Sıvı hattı sıcaklığında R22, daha yüksek bir değer alırken alternatifleri dört soğutucu akışkan ise birbirine yakın bir değer aldığı görülmektedir. Genleşme hattı sıcaklığında ise R22 dışındaki diğer dört soğutucu akışkan birbirine yakın bir değer almaktadır.



Şekil 4.24. Emme ve basma hattı basınç değişimleri.

Emme ve basma hattı basınç değişimleri Şekil 4.24’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, emme ve basma hattı basınç değerlerinde R417A ve R422A soğutucu akışkanlarının basma hattı basınçlarında yaklaşık iki barlık bir farklılık görülmekte olup, diğer basınç değerleri bakımından ele alınan soğutucu akışkanların birbirine yakın değerler aldığı görülmüştür.



Şekil 4.25. Soğutucu akışkanların entalpi değişimleri.

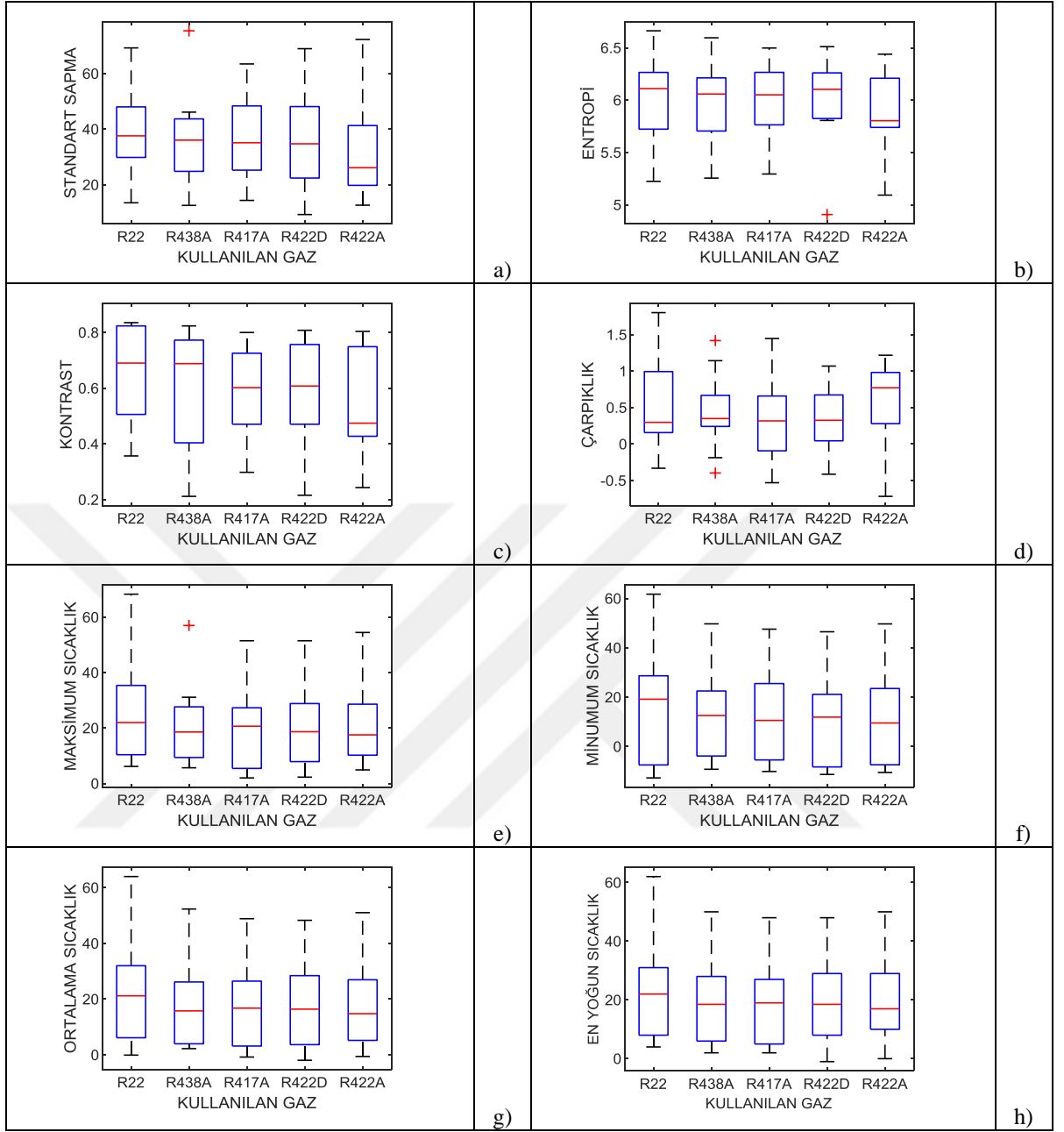
Şekil 4.25 incelendiğinde, (h1) ve (h2) entalpi değerlerinin büyükten küçüğe R22, R438A, R417A, R422D ve R422A şeklinde sıralandığı görülmektedir. (h3) ve (h4) entalpi değerlerinin birbirine yakın değerler aldığı belirlenmiştir. (h1) ve (h2) entalpi değerlerindeki sıralamaya bakıldığında en yüksek değere sahip olan soğutucu akışkanların sırasıyla en yüksek kompresör, kondenser, evaporatör kapasiteleri ile COP değerini elde ettikleri görülmüştür.

4.4. Pearson Korelasyon Benzerlik Analizi ile hesaplama sonuçları

PCSA analizinde, R22, R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanları için alınan beş adet test görüntüsü üzerinde çalışılmıştır. Her bir test görüntüsü için 10 bölge belirlenerek 8 öznitelik elde edildikten sonra, PCSA işlemine sokulmuştur. Tablo 4.3, PCSA işlemine sokulmadan önce kullanılan soğutucu akışkanların seçilen 10 bölge için öznitelik değerlerini vermektedir. Sayısal sonuçlara bakıldığında, soğutucu akışkanların performans sonuçları için kesin bir sonuç cümlesi söylemek veya karşılaştırma yapmak zordur. Bunun için PCSA sonuçlarını vermeden önce, Tablo 4.3’de yer alan beş soğutucu akışkanın öznitelik verileri ve belirlenen bölgeler için karşılaştırmalı kutu grafik çalışması yapılmıştır.

Tablo 4.3. Kullanılan Soğutucu Akışkanların Özellik Verileri.

Soğutucu akışkan	SD	E	C	S	T _{Max}	T _{Min}	AT	IT
R22	33,068	5,723	0,506	1,189	35,375	28,669	31,982	29
	19,907	5,554	0,588	0,157	10,389	-7,951	3,779	4
	29,834	6,345	0,478	0,120	22,677	21,686	22,580	23
	69,246	6,265	0,827	0,600	19,932	-12,700	15,248	20
	56,886	5,819	0,835	1,802	6,161	-7,445	-0,096	6
	29,895	5,999	0,686	0,288	34,468	28,515	30,421	31
	42,132	6,221	0,824	0,993	8,307	-2,496	6,131	8
	48,019	6,252	0,784	0,305	21,266	16,656	19,777	21
	13,507	5,224	0,357	-0,332	68,297	61,734	63,989	62
	46,691	6,662	0,694	0,288	35,974	35,974	35,974	36
R438A	32,877	6,061	0,714	0,667	31,125	27,516	30,518	31
	18,656	5,572	0,369	-0,187	9,373	-6,308	2,231	2
	24,819	6,056	0,404	0,372	16,193	14,506	15,404	15
	75,394	6,283	0,824	0,309	20,969	-9,200	16,163	21
	43,693	5,705	0,675	1,419	5,672	-3,830	2,270	6
	25,959	6,042	0,663	0,242	26,797	22,512	26,154	27
	39,228	6,213	0,773	1,143	6,438	-3,328	3,973	6
	43,307	6,183	0,780	0,333	15,990	10,653	15,008	16
	12,569	5,255	0,212	-0,397	57,000	49,712	52,336	50
	46,129	6,595	0,702	0,366	27,651	14,553	25,380	28
R417A	33,609	6,135	0,471	0,658	32,214	25,510	30,873	32
	25,250	5,884	0,553	-0,093	2,021	-5,416	0,672	2
	27,026	6,265	0,486	-0,061	20,442	12,594	16,310	17
	63,468	6,420	0,800	0,319	20,896	-10,100	17,214	21
	50,964	5,494	0,784	1,447	3,474	-7,130	-0,783	3
	19,265	5,764	0,439	0,405	26,828	25,544	26,458	27
	36,591	6,076	0,725	1,320	5,448	-2,271	3,166	5
	38,197	6,026	0,651	0,316	14,318	8,550	12,979	14
	14,365	5,294	0,298	-0,530	51,494	47,562	48,861	48
	48,366	6,498	0,718	-0,116	27,307	19,517	26,264	27
R422D	35,006	6,232	0,533	0,501	41,408	21,144	29,776	31
	22,410	5,824	0,471	0,186	2,292	-9,484	-1,947	-1
	26,612	6,127	0,392	0,044	15,232	12,086	13,770	15
	68,953	6,368	0,808	0,235	21,089	-11,300	17,938	21
	60,441	5,891	0,776	1,069	7,901	-8,257	0,994	8
	19,645	5,806	0,471	-0,414	26,362	20,899	24,798	25
	34,452	6,080	0,757	0,951	5,703	-5,444	3,662	6
	37,565	6,260	0,682	0,673	16,286	11,742	14,875	16
	9,280	4,907	0,216	0,035	51,488	46,506	48,285	48
	48,121	6,511	0,686	0,416	28,839	24,693	28,422	29
R422A	27,640	5,740	0,427	1,215	29,557	26,534	29,012	30
	19,063	5,791	0,412	-0,026	8,312	-10,250	-0,584	0
	24,107	5,963	0,478	0,333	14,498	10,565	12,800	13
	72,274	6,209	0,804	0,279	20,583	-10,500	16,760	21
	63,205	5,763	0,788	1,217	10,219	-5,347	5,195	10
	19,778	5,537	0,451	0,915	27,498	23,517	25,536	26
	38,324	6,229	0,749	0,982	4,911	-7,385	2,953	5
	24,612	5,816	0,471	0,628	14,495	8,549	11,713	12
	12,643	5,093	0,243	-0,717	54,480	49,686	51,029	50
	41,296	6,439	0,694	0,928	28,609	20,503	26,944	29



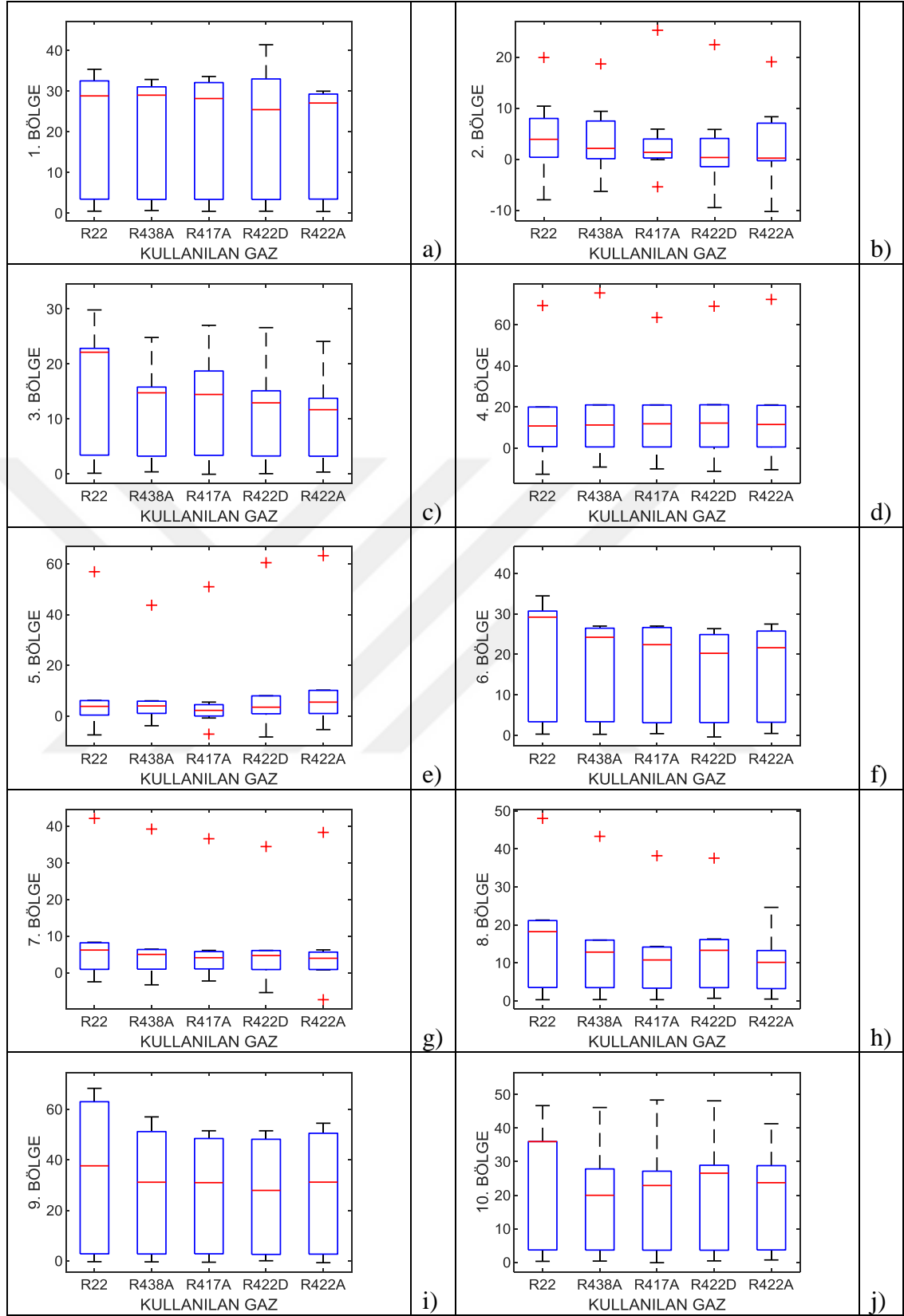
Şekil 4.26. R22, R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarının öznelik verileri yönünden karşılaştırmalı kutu grafikleri.

Şekil 4.26'da kullanılan beş soğutucu akışkanın 8 öznelik değeri yönünden karşılaştırmalı kutu grafiklerine yer verilmiştir. Şekil 4.26 a, b, d ve e ortalama yönünden R22, R438A, R417A ve R422D soğutucu akışkanları, Şekil 4.26 b and c üst limit yönünden bütün soğutucu akışkanlar, Şekil 4.26 e ve f alt limit ve alt çeyrek bakımından bütün soğutucu akışkanlar, Şekil 4.26 g ve h üst çeyrek, ortalama, alt çeyrek ve alt limit yönünden beş soğutucu akışkan birbirine yakın değerler almışlardır. Özellikle entropi, minimum sıcaklık, ortalama ve en yoğun sıcaklık öznelik verilerinin birbirine benzerlik sıralaması

R22, R438A, R417A, R422D ve R422A şeklinde gerçekleşmiştir. Ayrıca, kontrast, çarpıklık ve maksimum sıcaklık öznitelik değerleri bakımından R417A ile R422D birbirine benzer, standart sapma öznitelik karşılaştırmasında R22, R417A ve R422D birbirine benzer çıkmıştır. Sonuç olarak, öznitelik veri karşılaştırmasında R22 soğutucu akışkan performansı sonuçlarına R438A ve R417A daha yakındır.

PCSA'nın uygunluğunu ve performansını daha iyi test etmek amacıyla bölgelerin beş soğutucu akışkan için karşılaştırılması Şekil 4.27'de yapılmıştır. Grafikler incelendiğinde R22 soğutucu akışkan sonuçlarının Şekil 4.27 b, d ve i bölgelerinde daha normal bir dağılıma sahip olduğu, buna karşın Şekil 4.27 a, c, f ve h bölgelerinde öznitelik değerlerinin daha yüksek rakamlarda toplandığı tespit edilmiştir. R22, R438A, R417A, R422D ve R422A performans sıralamasını Şekil 4.27 a, b, c, d ve g ortalama yönünden, Şekil 4.27 a, f, h, i ve j alt çeyrek ve alt limit yönünden doğrulamıştır.

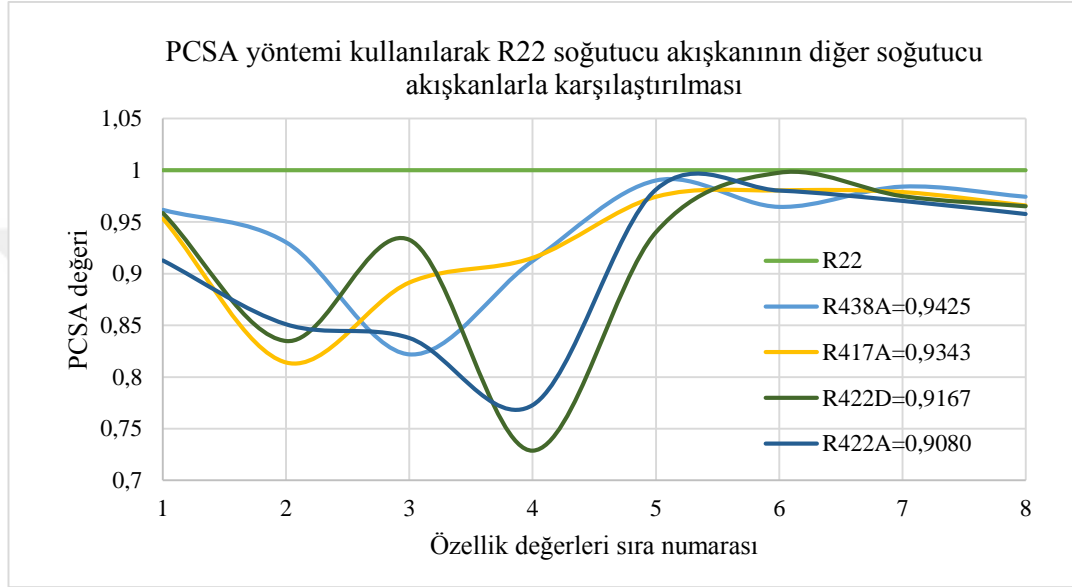
Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'deki kutu grafiklerden alınan görsel sıralama sonuçları, Tablo 4.4'deki PCSA işleminden sonra alınan sonuçlar ile örtüşmektedir. İki analiz sonucu yapılan sıralamanın doğruluğunu kanıtlamıştır. Tablo 4.4'deki R438A ile R417A soğutucu akışkanlarının R22 soğutucu akışkanına yakınlıkları ortalama PCSA değerlerinin (0,9425 ve 0,9343) çıkması ile doğrulanmıştır. R422D ve R422A soğutucu akışkanlarının Şekil 4.28'de görüldüğü gibi hedefe ulaşamama özellikleri büyüktür. Bundan dolayı, R22 soğutucu akışkanından performans olarak diğer R438A ve R417A soğutucu akışkanlara göre daha çok uzaklaşmışlardır. Soğutma sisteminde kullanılan soğutucu akışkanların yüzey sıcaklık özellikleri birbirlerine çok yakın değerlerde olduğunu Şekil 4.28 ve Tablo 4.4'de açık bir şekilde göstermiştir. Bu durumu, Tablo 4.4'deki T_{Max} , T_{Min} , AT ve IT sütun verileri ve Şekil 4.28'de 5, 6, 7 ve 8. kısımlardaki grafiklerin yakınlıkları doğrulamaktadır.



Şekil 4.27. R22, R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarının seçilen 10 bölge yönünden karşılaştırmalı kutu grafikleri.

Tablo 4.4. Kullanılan soğutucu akışkanların PCSA sonuçları.

Soğutucu akışkan	Kullanılan özelliklere göre PCSA sonuçları								Ortalama PCSA değeri
	SD	E	C	S	T _{Max}	T _{Min}	AT	IT	
R22-R438A	0,9617	0,9303	0,8220	0,9123	0,9901	0,9646	0,9842	0,9744	0,9425
R22-R417A	0,9533	0,8140	0,8915	0,9154	0,9745	0,9807	0,9791	0,9661	0,9343
R22-R422D	0,9587	0,8348	0,9328	0,7286	0,9401	0,9978	0,9751	0,9653	0,9167
R22-R422A	0,9127	0,8509	0,8376	0,7727	0,9813	0,9804	0,9704	0,9577	0,9080



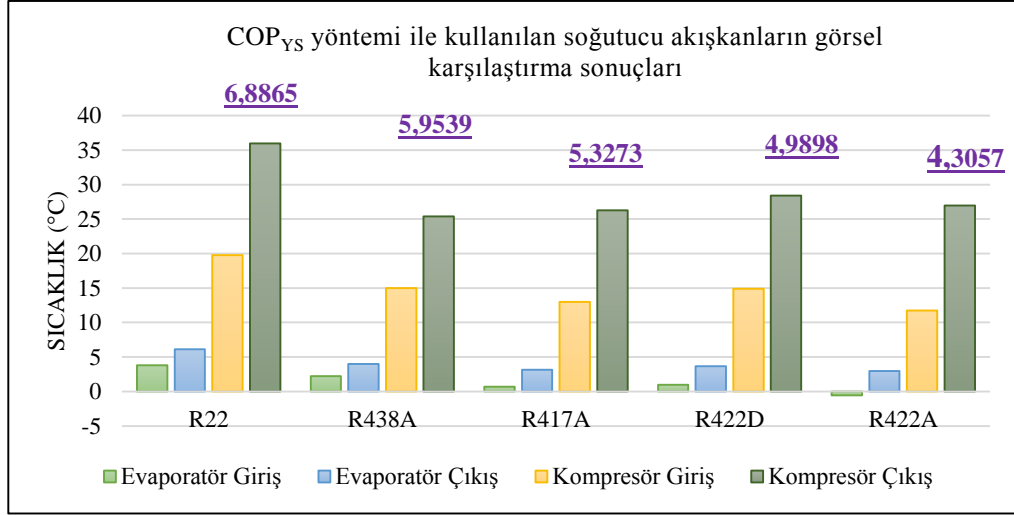
Şekil 4.28. R22 soğutucu akışkanının PCSA yöntemi kullanılarak diğer R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarıyla karşılaştırılması.

4.5. COP_{YS} ile hesaplama sonuçları

COP_{YS} yöntemi ile soğutma sistem performansı evaporatör giriş ve çıkış ile kompresör giriş ve çıkış bölgelerinin yüzey sıcaklık değerleri kullanılmaktadır. Bunun için Tablo 4.5'de her bir soğutucu akışkanın COP_{YS} değerinin yanında bu bölgelerin ortalama sıcaklık değerleri verilmiştir.

Tablo 4.5. Kullanılan soğutucu akışkanların COPYS sonuçları.

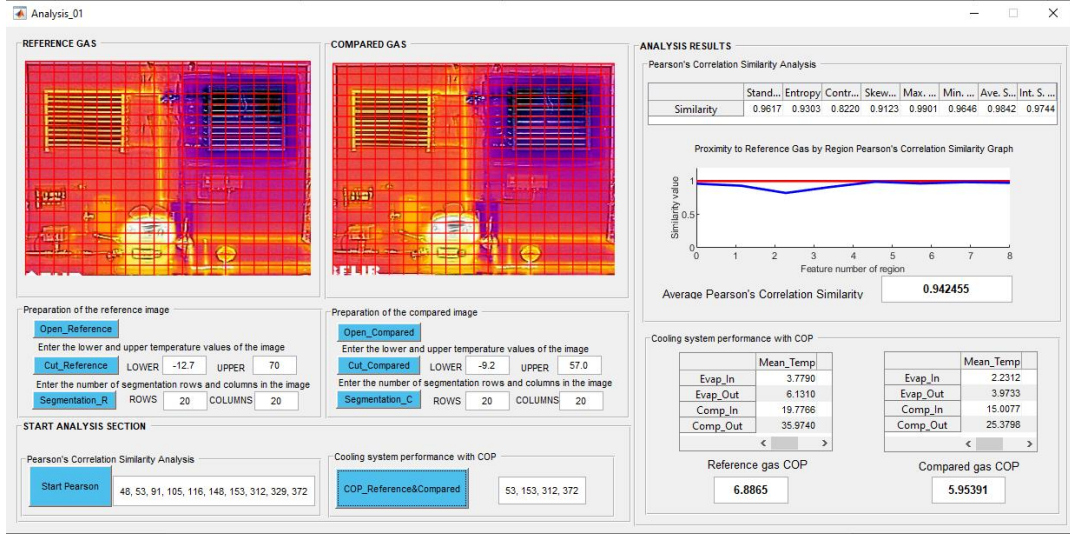
Soğutucu akışkan	Evaporatör Giriş (°C)	Evaporatör Çıkış (°C)	Kompresör Giriş (°C)	Kompresör Çıkış (°C)	COP _{YS}
R22	3,778	6,131	19,776	35,973	6,8865
R438A	2,231	3,973	15,007	25,379	5,9539
R417A	0,671	3,165	12,978	26,263	5,3273
R422D	0,946	3,661	14,875	28,421	4,9898
R422A	-0,584	2,953	11,713	26,944	4,3057



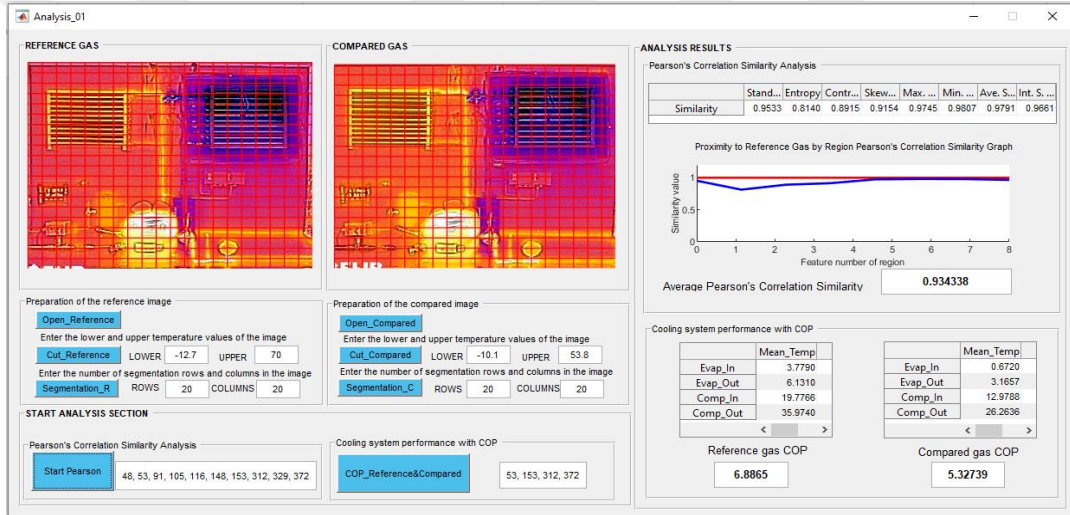
Şekil 4.29. R22, R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarının COP_{YS} yöntemi kullanılarak karşılaştırılması.

Tablo 4.5' in sayısal sonuçlarına bakıldığında, kullanılan beş soğutucu akışkanında birbirine yakın performans gösterdiği görülmüştür. COP_{YS}'un sayısal sonuçlarına göre, sırasıyla R22, R438A, R417A, R422D ve R422A performans sıralaması yapılmıştır. Bu sıralama sonucu, 4.3.'de yer alan hesaplama sonuçlarına ve 4.4.'de yer alan PCSA sonuçlarına benzer ve çelişmeyen bir özelliğe sahiptir. COP_{YS} için kullanılan dört bölgede Şekil 4.29'da görüldüğü gibi evaporatör giriş sıcaklıkları (3,778, 2,231, 0,671, 0,946 ve -0,584) şeklinde gerçekleşmiştir. Sıralama R417A ve R422D evaporatör çıkış sıcaklıklarında (3,165 ve 3,661) değerleri ile bozulmaya devam etmiştir. R417A'nın kompresör giriş sıcaklığı 12,978 gibi düşük bir değer ile gerçekleştiğinden sıralamada bu soğutucu akışkanı üçüncü sıraya sokmuştur.

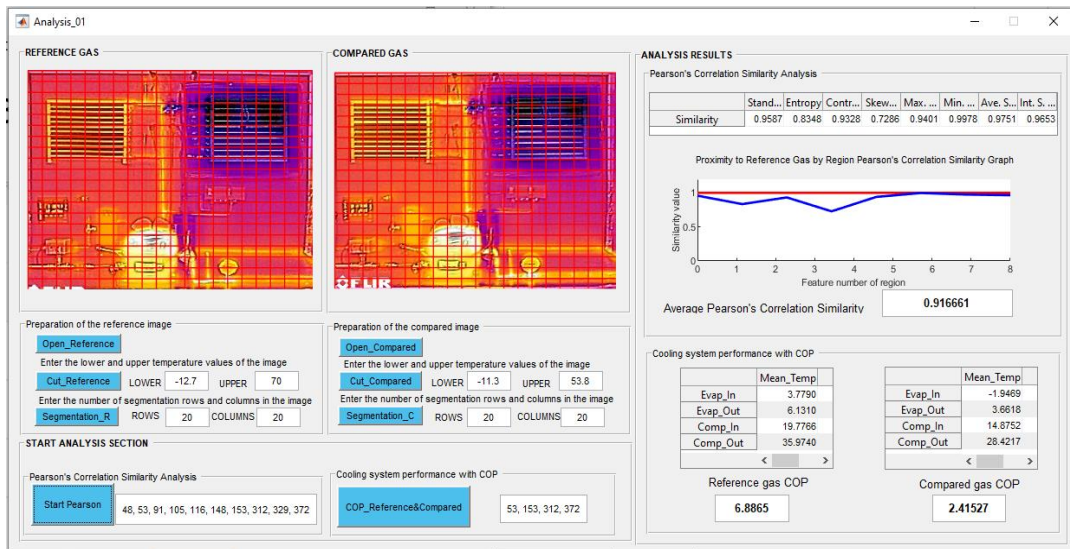
PCSA ve COP_{YS} yöntemleri ile soğutma sistem performans sonuçlarında referans soğutucu akışkan ve karşılaştırılan R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanlarının sırasıyla COP_{YS} değerleri kullanılan bölge sıcaklıkları ile beraber Şekil 4.30, 4.31, 4.32 ve 4.33'de kullanılan arayüz ile gösterilmektedir.



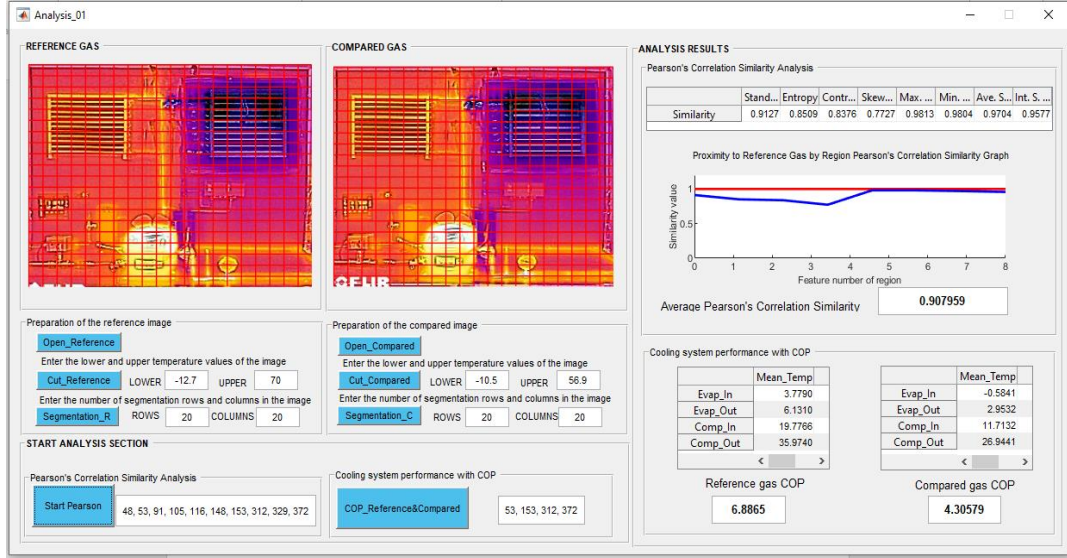
Şekil 4.30. R22-R438A karşılaştırma arayüzü.



Şekil 4.31. R22-R417A karşılaştırma arayüzü.



Şekil 4.32. R22-R422D karşılaştırma arayüzü.



Şekil 4.33. R22-R422A karşılaştırma arayüzü.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Yerçekimi Kuvveti ve Yanal Kısıtlama Ağlarına Dayalı Kızılötesi Görüntü İyileştirme Modeli ile Hesaplama çalışmasında, görüntü kontrastını etkili bir şekilde artırabilen, gürültü giderici ve kenar belirleyici yerçekimi kuvveti ve yanal kısıtlama ağına dayanan renkli kızılötesi görüntü iyileştirme algoritması sunulmuştur. Renkli görüntünün her bir boyutu için hesaplanan yerçekimi kuvvet bilgileri iki eşik değerine sokularak ortalama, yanal kısıtlama ve ortanca filtre işlemlerine sokularak, nihai görüntü elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın yalnızca kontrast ve ayrıntı bilgilerini arttırmanın yanında, aynı zamanda bulanıklık giderimi sağlayarak net bir görüntü elde ederek, kenarları ortaya çıkartmıştır. Yaklaşımımız, diğer yaklaşımlarla karşılaştırıldığında yüksek kalitede kızılötesi görüntüler ile aralarında en iyi performansa sahip olmuştur.

Chemours refrigerant expert akışkan yazılımı ile yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen birinci kanun analizlerine göre önerilerde bulunulmuştur. Soğutucu akışkan olarak R22 kullanan buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin performans katsayısı (COP) referans kabul edilerek R422A, R422D, R417A ve R438A kullanılan sistemin COP değerleri karşılaştırılmıştır. R22 kullanılarak elde edilen COP değerlerine en yakın sonuç veren soğutucu akışkanlarının sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A olduğu görülmüştür. Düşük COP değerine sahip akışkanlar daha fazla enerji tüketecek ve bu da çevre üzerinde olumsuz etki yaratacaktır. Enerji analizi, değerlendirilen alternatif akışkanların her birinin, R22 için potansiyel bir yenileme akışkanı olduğunu, ancak R22'ye göre en cazip olanların R417A ve R438A olduğunu göstermektedir. Yüksek kompresör gücü gerektiren alternatif soğutucu akışkan R422A, düşük kompresör gücü gerektiren alternatif akışkan ise R22'den sonra sırası ile R438A, R417A ve R422D'dir. Performans açısından sırasıyla R422A, R422D, R417A ve R438A soğutucu akışkanlarının iyi bir alternatif olamamasının en büyük nedenlerinden biri de düşük sıcaklıklarda harcadığı fazla güçtür. Bu analizlerin sonucunda performans

olarak akışkanları karşılaştırdığımızda R422A, R422D, R438A ve R417A akışkanları arasında R22 soğutucu akışkanına alternatif olabilecek en iyi akışkanın sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A olduğu tespit edilmiştir. R22 soğutucu akışkanının ODP potansiyeli olması ve artık hiçbir yeni sistemde kullanılmıyor olması sebebiyle ODP potansiyeli olmayan ve R22 akışkanına direkt alternatif görünen R438A, R417A, R422D ve R422A akışkanlarının özellikle ticari ve büyük sistemlerde kullanılması uygundur.

Matematiksel Yöntem ile Hesaplama sonuçlarına göre, ticari tip soğutma sisteminde soğutucu akışkan olarak R22 kullanan buhar sıkıştırma soğutma sisteminin performans katsayısı (COP) referans kabul edilerek R422A, R422D, R417A ve R438A kullanılan sistemin COP değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. R22 soğutucu akışkanı ile elde edilen COP değerine sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanları olduğu görülmüştür. COP değeri düşük olan soğutucu akışkanlar fazla enerji tüketeceğinden çevre üzerinde olumsuz etki ortaya çıkmasına sebep olacaklardır. Enerji analizi, deney düzeneğinde incelenen alternatif akışkanların her birinin, R22 için iyi bir değişim ve yenileme akışkanı olduğunu, ancak R22'ye göre en uygun olanların R417A ve R438A olduğunu göstermektedir. Performans açısından sırasıyla R422A, R422D, R417A ve R438A soğutucu akışkanlarının iyi bir alternatif olamamasının en büyük sebeplerinden biri de düşük sıcaklıklarda fazla güç harcamasıdır. Bu deneysel çalışma sonucunda performans olarak akışkanları karşılaştırdığımızda, R22 soğutucu akışkanına alternatif olabilecek en iyi akışkanın sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A olduğu görülmüştür. R22 soğutucu akışkanının ODP potansiyelinin olması ve yeni sistemlerde kullanımının yasaklanması sebebiyle ODP potansiyeli olmayan ve R22 akışkanına doğrudan alternatif görünen R438A, R417A, R422D ve R422A akışkanlarının özellikle ticari ve büyük sistemlerde kullanılmasının uygun olacağı tespit edilmiştir.

Önerilen çalışmada, ticari soğutma sistemlerinde yaygın şekilde kullanılmakta olan R22 soğutucu akışkanına alternatif olarak ele alınan R438A, R417A, R422D ve R422A akışkanlarının performans analizi üç farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler, sensörlerden alınan verilerin kullanılarak COP değerinin matematiksel hesaplama işlemine sokulması, kızılötesi görüntüleme kullanılarak PCSA ve kızılötesi

yüzev sıcaklık esaslı COP_{YS} soğutma etkinlik katsayısı olarak gösterilmiştir. COP değerinin matematiksel hesaplama yöntemi ile PCSA ve COP_{YS} yöntemlerinden elde edilen deneysel sonuçlarının sıralama uyumluluğu, kızılötesi görüntüleme sayesinde soğutma sisteminin başarılı bir şekilde uzaktan performans analizinin gerçekleştirilebileceği ispatlanmıştır. PCSA değerleri R438A (0,9425), R417A (0,9343), R422D (0,9167) ve R422A (0,9080) değerleri ile R22 soğutucu akışkanına yakınlıklarını göstermektedir. Aynı şekilde COP_{YS} yöntemi ile R22 (6,8865), R438A (5,9539), R417A (5,3273), R422D (4,9898) ve R422A (4,3057) verileri elde edilmiş olup, diğer iki yöntem ile aynı sıralamaya sahip olması geliştirilen kızılötesi görüntü işleme ile performans testi uygulamasında çalıştırılabilirliği ortaya konmuştur. Yapılan çalışmada kullanılan kızılötesi görüntüleme ile sensör montajı, maliyeti ve kablolama problemi ortadan kaldırılmış, ara yüz özelliği ile daha görsel hale getirilmiştir. Sistem için geliştirilen yazılım, kullanıcı için kolay programlanabilir özellikte olup, eş zamanlı kayıt ve grafik çizebilme özelliklerine sahiptir. Çalışma neticesinde, R22 soğutucu akışkanına seçenek olarak ortaya çıkan akışkanlardan, R438A'nın en iyi alternatif olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A soğutucu akışkanları R22'ye yakın COP değerleri nedeniyle ticari tip soğutma uygulamaları için alternatif bir soğutucu akışkanı olarak kolayca tercih edilebilirler. Bu tercih, ozon tabakasının korunmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahlgren, P., Jarrneving, B., & Rousseau, R. (2003). Requirements for a cocitation similarity measure, with special reference to Pearson's correlation coefficient. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 54(6), 550-560.
- Akpınar, H. (2014). *Data*. Istanbul: Papatya.
- Allgood, C. C., & Lawson, C. C. (2010). Performance of R-438A in R-22 refrigeration and air conditioning systems. I. R. Purdue (Dü.), (s. 2325-2333). Indiana, USA: International Refrigeration and Air Conditioning Conference.
- Apra, C., & Maiorino, A. (2011). An experimental investigation of the global environmental impact of the R22 retrofit with R422D. *Energy*, 36(2), 1161-1170.
- Apra, C., & Renno, C. (2004). Experimental comparison of R22 with R417A performance in a vapour compression refrigeration plant subjected to a cold store. *Energy conversion and management*, 45(11-12), 1807-1819.
- Apra, C., de Rossi, F., Greco, A., & Renno, C. (2003). Refrigeration plant exergetic analysis varying the compressor capacity. *International Journal of Energy Research*, 27(7), 653-669.
- Apra, C., Maiorino, A., & Mastrullo, R. (2011). Change in energy performance as a result of a R422D retrofit: An experimental analysis for a vapor compression refrigeration plant for a walk-in cooler. *Applied energy*, 88(12), 4742-4748.
- Apra, C., Maiorino, A., & Mastrullo, R. (2014). Exergy analysis of a cooling system: experimental investigation on the consequences of the retrofit of R22 with R422D. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(1), 71-79.
- Apra, C., Mastrullo, R., & Renno, C. (2004). An analysis of the performances of a vapour compression plant working both as a water chiller and a heat pump using R22 and R417A. *Applied thermal engineering*, 24(4), 487-499.
- Apra, C., Mastrullo, R., Renno, C., & Vanoli, G. P. (2004). An evaluation of R22 substitutes performances regulating continuously the compressor refrigeration capacity. *Applied Thermal Engineering*, 24(1), 127-139.
- AREA. (2019). Nisan 19, 2020 tarihinde <http://www.area-eur.be/>: http://area-eur.be/sites/default/files/2020-01/AREA%20Technical%20Bulletin%20Bans%202020_TR.pdf adresinden alındı

- Arora, A., & Sachdev, H. L. (2009). Thermodynamic analysis of R422 series refrigerants as alternative refrigerants to HCFC22 in a vapour compression refrigeration system. *International journal of energy research*, 33(8), 753-765.
- ASHRAE. (2013). *Fundamentals Handbook*. Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- Bai, X., Zhou, F., & Xue, B. (2011). Infrared image enhancement through contrast enhancement by using multiscale new top-hat transform. *Infrared Physics & Technology*, 54(2), 61-69.
- Barbieri, A. L., De Arruda, G. F., Rodrigues, F. A., Bruno, O. M., & da Fontoura Costa, C. (2011). An entropy-based approach to automatic image segmentation of satellite images. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(3), 512-518.
- Bhatkar, V. W., Kriplani, V. M., & Awari, G. K. (2013). Alternative refrigerants in vapour compression refrigeration cycle for sustainable environment: a review of recent research. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10(4), 871-880.
- Bilir, N., Ersoy, H. K., & Hepbaşı, A. (2011). Farklı soğutucu akışkanlar için genleştirici olarak ejektör kullanan kompresörlü soğutucunun performans analizi. X. U. Kongresi (Dü.), (s. 1317-1325). İzmir.
- Bock Compressor. (2020). *Bock Compressor, Alternative Refrigerants Information on use of R22*. Nisan 16, 2020 tarihinde <http://www.bock.de>: http://www.bock.de/media/files/PDF/Produktinformationen/96151_Alternative-refrigerants_R22_Gb.pdf adresinden alındı
- Bolaji, B. O. (2012). Performance of A R22 split-air-conditioner when retrofitted with ozone friendly refrigerants (R410A and R417A). *Journal of Energy in Southern Africa*, 23(3), 16-22.
- Bolaji, B. O., Komolafe, O. D., & Ajayi, F. O. (2015). Performance Assessment of three Eco-Friendly Hydro-fluorocarbon and Hydrocarbon refrigerant mixtures as R22 alternatives in Refrigeration Systems. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 23(8), 1677-1684.
- Bukac, H. (2012). Properties of Refrigerant Affect Compressor. I. C. Purdue (Dü.), *Properties of Refrigerant Affect Compressor*. içinde (s. 1563-1564). Indiana: International Compressor Engineering Conference at Purdue.
- Bulgurcu, H., Kon, O., & İlten, N. (2007). Soğutucu akışkanların çevresel etkileri ile ilgili yeni yasal düzenlemeler ve hedefler V. U. Kongresi, (s. 915-928). İzmir: MMO.

- Cabello, R., Torrella, E., Llopis, R., Sánchez, D., & Larumbe, J. A. (2013). Energy influence of the IHX with R22 drop-in and long-term substitutes in refrigeration plants. *Applied thermal engineering*, 50(1), 260-267.
- Calm, J. M., & Domanski, P. (2004). R-22 replacement status. *ASHRAE journal*, 46(8), s. 29-39.
- Chemours Refrigerant Expert Software. (2016). Chemours Refrigerant Expert.
- Chinnaraj, C., Vijayan, R., & Govindarajan, P. (2011). Analysis of eco friendly refrigerants usage in air-conditioner. *American Journal of Environmental Sciences*, 7(6), 510.
- Cingiz, Z., Katircioğlu, F., Çay, Y., & Kolip, A. (2019). Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminde R22 Alternatifi Soğutucu Akışkanların Termodinamik Analizi. *Politeknik Dergisi*. doi:<https://doi.org/10.2339/politeknik.548115>
- climalife IDS Refrigeration Limited. (2020). *climalife IDS Refrigeration Limited*. Nisan 15, 2020 tarihinde <https://www.climalife.co.uk/>: <https://www.climalife.co.uk/docs/ISCEON-MO29-Retrofit-Guidelines-V2.pdf> adresinden alındı
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2020). Nisan 23, 2020 tarihinde <https://iklim.csb.gov.tr>: <https://iklim.csb.gov.tr/montreal-protokolu-i-4364> adresinden alındı
- Deng, Z., Jin, N., & Zheng, J. (2014). Performance comparison of R22 and R417A air source heat pump water heater. *Refrigeration and air conditioning*, 24(1), 64-69.
- Devecioğlu, A. G., & Oruç, V. (2016). HCFC-22 Yerine Kullanılan Bazı HFC'lerin Çevresel Etkilerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 36(1), 99-105.
- Duan, L., Yao, M., Wang, J., Bai, T., & Zhang, L. (2016). Segmented infrared image analysis for rotating machinery fault diagnosis. *Infrared Physics & Technology*(77), 267-276.
- Elgendy, E., & Schmidt, J. (2013). Rating Charts of R-22 Alternatives Flow through Adiabatic Capillary Tubes. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 7(8), 1632-1639.
- Elgendy, E., Hassanain, M., & Fatouh, M. (2015). Assessment of R-438A as a retrofit refrigerant for R-22 in direct expansion water chiller. *International Journal of Refrigeration*, 50, 127-136.

- Elgendy, E., Melike, M., & Fatouh, M. (2018). Experimental assessment of a split air conditioner working with R-417A under different indoor and outdoor conditions. *International Journal of Refrigeration*, 85, 268-281.
- Emani, M. S., Roy, R., & Mandal, B. K. (2017). Development of refrigerants: A brief review. *Indian J. Sci. Res*, 14(2), 175-181.
- Ergün, A., Gürel, A. E., & Ceylan, İ. (2018). Ticari soğutma sistemlerinde R22 akışkanının alternatifi olarak R438A ve R417A akışkanlarının performansının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(4), 824-833.
- eThermo Calculation Platform. (2020). <http://www.ethermo.us>. Haziran 10, 2020 tarihinde eThermo Calculation Platform: <http://www.ethermo.us/UserLogin.aspx> adresinden alındı
- EUR-Lex, Access to European Union law. (2020). *EUR-Lex, Access to European Union law*. Nisan 1, 2020 tarihinde <https://eur-lex.europa.eu/>: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000R2037> adresinden alındı
- Fang, L. I., Fang, W., Zhou, C. D., Xin, W. U., LI, S. Y., & Ying, W. (2016). Research on Environmental Friendly Refrigerant Heat Pump Water Heater Based on Enhanced Vapor Injection. C. C. International Conference on Environment, (s. 1-5). International Conference on Environment, Climate Change and Sustainable Development (ECCSD 2016) .
- Fermeglia, M., Bertucco, A., & Bruni, S. (1998). A perturbed hard sphere chain equation of state for applications to hydrofluorocarbons, hydrocarbons and their mixtures. 53(17), 3117-3128.
- Fernandez-Seara, J., Uhiá, F. J., Diz, R., & Dopazo, J. A. (2010). Vapour condensation of R22 retrofit substitutes R417A, R422A and R422D on CuNi turbo C tubes. *International journal of refrigeration*, 33(1), 148-157.
- Flohr, F., & Meurer, C. (2009). HCFC phaseout-how to find the best solution. C. V Spanish and III Iberian Congress of Refrigeration, Castellon, SPAIN.
- Freund, S., Pautsch, A. G., Shedd, T. A., & Kabelac, S. (2007). Local heat transfer coefficients in spray cooling systems measured with temperature oscillation IR thermography. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50(9-10), 1953-1962.
- Haigh, T., & Moler, C. (2008). Mathematical software pioneer and creator of Matlab. *IEEE Annals of the History of Computing*, 30(1), 87-91.

- Holland, S. D., & Renshaw, J. (2010). Physics-based image enhancement for infrared thermography. *Ndt & E International*, 43(5), 440-445.
- Jabaraj, D. B., Narendran, A., Lal, D. M., & Renganarayanan, S. (2007). Evolving an optimal composition of HFC407C/HC290/HC600a mixture as an alternative to HCFC22 in window air conditioners. . *International Journal of Thermal Sciences*, 46(3), 276-283.
- Jiang, H., Zeng, L., & Bi, B. (2013). A comprehensive method of contour extraction for industrial computed tomography images. *Optics and Lasers in Engineering*, 51(3), 286-293.
- Jin, S., & Hrnjak, P. (2016). Refrigerant and lubricant charge in air condition heat exchangers: Experimentally validated model. *International journal of refrigeration*, 67, 395-407.
- Johnson, E. (1998). Global warming from HFC. *Environmental Impact Assessment Review*, 18(6), 485-492.
- Kalaiselvam, S., & Saravanan, R. (2009). Exergy Analysis of scroll compressors working with R22, R407C, and R417A as refrigerant for HVAC system. *Thermal Science*, 13(1), 175-184.
- Kalla, S. K., Arora, B. B., & Usmani, J. A. (2015). Comparative Energetic and Exergetic Analysis of R22, R438A and M1. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(94), 118-121.
- Kalla, S. K., Arora, B. B., & Usmani, J. A. (2018). Performance analysis of R22 and its substitutes in air conditioners. *Journal of Thermal Engineering, Yildiz Technical University*, 4(1), 1724-1736.
- Kasaeian, A., Hosseini, S. M., Sheikhpour, M., Mahian, O., & Yan, W. M. (2018). Applications of eco-friendly refrigerants and nanorefrigerants: A review. . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 91-99.
- Katırcıoğlu, F., Çay, Y., & Cingiz, Z. (2019). Infrared image enhancement model based on gravitational force and lateral inhibition networks. *Infrared Physics & Technology*, 100, 15-27.
- Kim, H. (2019). A knowledge based infrared camera system for invisible gas detection utilizing image processing techniques. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-11.
- La Rocca, A., La Rocca, V., Messineo, A., & Panno, D. (2014). Use of HFC fluids as suitable replacements in low-temperature refrigeration plants. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(1), 74-79.

- La Rocca, V., & Panno, G. (2011). Experimental performance evaluation of a vapour compression refrigerating plant when replacing R22 with alternative refrigerants. *Applied energy*, 88(8), 2809-2815.
- Linde. (2020). *Linde gas*. Mayıs 26, 2020 tarihinde www.linde-gas.com: https://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/refrigerants/hcfc_refrigerants/r22/index.html adresinden alındı
- Liu, H. X., Yao, X. D., & Chang, Q. (2007). Application of lateral inhibition network in image enhancement. *Huadong Ligong Daxue Xuebao/J. East China Univ. Sci. Technol.*, 33(1), 120-123.
- Liu, N., & Zhao, D. (2014). Detail enhancement for high-dynamic-range infrared images based on guided image filter. *Infrared Physics & Technology*, 67, 138-147.
- Llopis, R., Cabello, R., Sánchez, D., Torrella, E., Patiño, J., & Sánchez, J. G. (2011). Experimental evaluation of HCFC-22 replacement by the drop-in fluids HFC-422A and HFC-417B for low temperature refrigeration applications. *Applied Thermal Engineering*, 31(6-7), 1323-1331.
- Llopis, R., Torrella, E., Cabello, R., & Sánchez, D. (2012). HCFC-22 replacement with drop-in and retrofit HFC refrigerants in a two-stage refrigeration plant for low temperature. *International journal of refrigeration*, 35(4), 810-816.
- Menlik, T., Demircioğlu, A., & Özkaya, M. G. (2013). Energy and exergy analysis of R22 and its alternatives in a vapour compression refrigeration system. *International Journal of Exergy*, 12(1), 11-30.
- Messino, A., La Rocca, V., & Panno, G. (2012). On-site Experimental Study of HCFC-22 Substitution with HFCs Refrigerants. *Energy Procedia*, 14, 32-38.
- Mishra, R. S. (2018). Performance analysis of vapour compression refrigeration systems using eighteen ecofriendly and other CFC refrigerants. *International Journal of Research in Engineering and Innovation*, 2(4), 349-359.
- Mohanraj, M., Muraleedharan, C., & Jayaraj, S. (2011). A review on recent developments in new refrigerant mixtures for vapour compression- based refrigeration, air-conditioning and heat pump units. *International journal of energy research*, 35(8), 647-669.
- Newton, I., Cohen, B. I., & Whitman, A. (1999). *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. I. C. Newton içinde, *Newtob, I. Cohen, B. I., Whitman, A.* (s. 974). Univ of California Press.

- Nilsson, M., Dahl, M., & Claesson, I. (2005). The successive mean quantization transform. S. a. In *Acoustics*, (s. 429). IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005.
- Okudan, M. O. (2020). Çatı tipi klimalarda R-410A alternatifi soğutucu akışkanların kullanımının analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Oruç, V., & Devecioğlu, A. G. (2015). The environmental effects of using HFC-422D as a substitute for HCFC-22 in air conditioners. *Journal of Advances in Clean Energy*, 2, 35-43.
- Oruç, V., & Devecioğlu, A. G. (2015). Thermodynamic performance of air conditioners working with R417A and R424A as alternatives to R22. *International journal of refrigeration*, 55, 120-128.
- Oruç, V., Devecioğlu, A. G., Berk, U., & Vural, İ. (2016). Experimental comparison of the energy parameters of HFCs used as alternatives to HCFC-22 in split type air conditioners. *International Journal of Refrigeration*, 63, 125-132.
- Özcan, H., & Arcaklıoğlu, E. (2011). Alternatif Soğutucu Akışkanlar Olarak Çevre Dostu Hidrokarbonların Kullanılması Üzerine Bir Değerlendirme. (6. International Advanced Technologies Symposium, (s. 66-71). Elazığ: 6. Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu.
- Palm, B. (2008). Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems—a review. *31(4)*, 552-563.
- Panato, V. H., Porto, M. P., & Bandarra Filho, E. P. (2017). Experimental performance of an R-22-based refrigeration system for use with R-1270, R-438A, R-404A and R-134a. *International Journal of Refrigeration*, 83, 108-117.
- Ramu, N. S., & Kumar, P. S. (2014). Theoretical Assessment of R32/R125/R600a as a Potential Replacement for R-22. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(8), 508-512.
- Righetti, G., Zilio, C., & Longo, G. A. (2015). Comparative performance analysis of the low GWP refrigerants HFO1234yf, HFO1234ze (E) and HC600a inside a roll-bond evaporator. *International Journal of Refrigeration*, 54, 1-9.
- Saeed, M. U., Qureshi, S. R., Hashmi, K. J., Khan, M. A., & Danish, S. N. (2018). Performance assessment of alternate refrigerants for retrofitting R22 based air conditioning system. *Thermal Science*, 22(2), 931-941.
- Salazar, C. O., & Gonzalez, C. J. (2015). Image enhancement with Matlab algorithms (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

- Sarbu, I. (2014). A review on substitution strategy of non-ecological refrigerants from vapour compression-based refrigeration, air-conditioning and heat pump systems. *International Journal of Refrigeration*, 46, 123-141.
- Sarbu, I. O., & Bancea, O. L. (2009). Environment global protection to the polluting action of refrigerants. *Int. Journal WSEAS Transactions on Environment and Development*, 5(6), 425-434.
- Simone, G., Pedersen, M., & Hardeberg, J. Y. (2012). Measuring perceptual contrast in digital images. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 23(3), 491-506.
- site, A. w. (2020, Nisan 8). *ARAP web site*. The alliance for responsible atmospheric policy: <http://www.alliancepolicy.org/> adresinden alındı
- Smolka, B., & Wojciechowski, K. W. (2001). Random walk approach to image enhancement. *Signal Processing*, 81(3), 465-482.
- Şencan, A., Köse, İ. İ., & Selbaş, R. (2011). Prediction of thermophysical properties of mixed refrigerants using artificial neural network. *Energy conversion and management*, 52(2), 958-974.
- Şimşek, E., Karaçaylı, İ., & Mutlu, İ. (2018). Farklı koşullardaki hava–su–hava kaynaklı ısı pompasının farklı soğutucu akışkanlarla termodinamik analizi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 174-185.
- Taheri-Garavand, A., Ahmadi, H., Omid, M., Mohtasebi, S. S., Mollazade, K., Smith, A. R., & Carlomagno, G. M. (2015). An intelligent approach for cooling radiator fault diagnosis based on infrared thermal image processing technique. *Applied Thermal Engineering*, 87, 434-443.
- Tarlea, G., Ardelean, F., & Vinceriu, M. (2017). Refrigeration and AC global warming impact on theoretical Air conditioning retrofit–R22 system case study. *Zbornik Meğunarodnog kongresa o KGH*, 44(1), 1-8.
- The MathWorks, Inc. (2002). *Creating graphical user inter-faces*, . The MathWorks, Nantick, MA.
- Tillner-Roth, R. (2008). *R22 retrofit with R422D in German Supermarkets*. In *International technical meeting on HCFC phase-out*. Montreal, KANADA: EUROPA.
- Torrella, E., Cabello, R., Sanchez, D., Larumbe, J. A., & Llopis, R. (2010). On-site study of HCFC-22 substitution for HFC non-azeotropic blends (R417A, R422D) on a water chiller of a centralized HVAC system. *Energy and Buildings*, 42(9), 1561-1566.

- U.S. Department of State. (2020). *U.S. Department of State*. Nisan 12, 2020 tarihinde <https://www.state.gov/>: <https://www.state.gov/key-topics-office-of-environmental-quality-and-transboundary-issues/the-montreal-protocol-on-substances-that-deplete-the-ozone-layer/> adresinden alındı
- Uhía, F. J., Fernández-Seara, J., Dopazo, J. A., & Diz, R. (2012). Condensation of R22 Retrofit Substitutes R417A, R422A, and R422D on Horizontal Smooth Tubes. *Heat transfer engineering*, 33(14), 1188-1195.
- UN Environment, OzonAction UN ENVIRONMENT. (2020). *UN Environment, OzonAction UN ENVIRONMENT*. Nisan 12, 2020 tarihinde <https://www.unenvironment.org/>: <https://www.unenvironment.org/ozonaction/> adresinden alındı
- Voronin, V., Tokareva, S., Semenishchev, E., & Aгаian, S. (2018). Thermal image enhancement algorithm using local and global logarithmic transform histogram matching with spatial equalization. I. 2. (SSIAI), (s. 5-8). In 2018 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation (SSIAI).
- Wang, B. J., Liu, S. Q., Li, Q., & Zhou, H. X. (2006). A real-time contrast enhancement algorithm for infrared images based on plateau histogram. *Infrared Physics & Technology*, 48(1), 77-82.
- Yun, H., Wu, Z., Wang, G., Tong, G., & Yang, H. (2016). Image enhancement algorithm based on improved lateral inhibition network. *Infrared Physics & Technology*, 76, 308-314.
- Zhang, F., Xie, W., Ma, G., & Qin, Q. (2014). High dynamic range compression and detail enhancement of infrared images in the gradient domain. *Infrared Physics & Technology*, 67, 441-454.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Zafer CİNGİZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 1975- Düzce
E-posta : zafercingiz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2000, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Enerji Öğretmenliği
- **Yükseklisans** : 2007, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2001-2006 yılları arasında Abant İzzet Baysal Üniversitesi Düzce Meslek Yüksekokulu İklimlendirme-Soğutma Programında Öğretim Görevlisi olarak çalıştı.
- 2006-2020 yılları arasında Düzce Üniversitesi Düzce Meslek Yüksekokulu İklimlendirme-Soğutma Programında Öğretim Görevlisi olarak çalıştı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Katırcıoğlu, F., Çay, Y., Cingiz, Z.** 2019. Infrared image enhancement model based on gravitational force and lateral inhibition networks, *Infrared Physics & Technology*, 100, 15-27.
- **Cingiz, Z., Katırcıoğlu, F., Çay, Y., Kolip, A.** Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminde R22 Alternatifi Soğutucu Akışkanların Termodinamik Analizi, *Politeknik Dergisi*, DOI: 10.2339/politeknik.548115.