

**OTOMOBİL KLİMA SİSTEMLERİ İÇİN
ALTERNATİF R152a GAZ KULLANIMI
VE ANFİS MODELLEMESİ**

Ahmet Tahir KALKIŞIM

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Termodinamik Bilim Dalı
Prof. Dr. Kadir BİLEN
2015
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OTOMOBİL KLİMA SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF R152a
GAZ KULLANIMI VE ANFİS MODELLEMESİ**

Ahmet Tahir KALKIŞIM

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Termodinamik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2015**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



TEZ ONAY FORMU

OTOMOBİL KLİMA SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF R152a GAZ KULLANIMI
VE ANFİS MODELLEMESİ

Prof.Dr.Kadir BİLEN danışmanlığında, Ahmet Tahir KALKIŞIM tarafından hazırlanan bu çalışma, 09/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Termodinamik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (3./3.)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr.Kadir BİLEN

Üye : Doç.Dr. A.Samet HAŞİLOĞLU

Üye : Yrd.Doç.Dr.Birol ŞAHİN

İmza :

İmza :

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 15.07/2015 tarih ve 281.961... nolu kararı ile onaylanmıştır.


Prof. Dr. Ertan YILDIRIM
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOBİL KLİMA SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF R152a GAZ KULLANIMI VE ANFİS MODELLEMESİ

Ahmet Tahir KALKIŞIM

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Termodinamik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kadir BİLEN

Dünya üzerindeki ülkeler, gezegen üzerindeki iklim değişiklikleri sebebiyle bazı önlemler almaktadır. Son yıllarda ozon tabakasının deformasyonunun ve küresel iklim değişikliklerinin önüne geçmek için bu ülkeler gayret göstermektedir. Otomobil endüstrisinde Küresel Isınma Etkisi (GWP) yüksek olmasına karşın, Ozon İnceltme Etkisi (ODP) sıfır olan R-134a gazı otomobil klima sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenden ötürü, son yıllarda R-134a soğutucu akışkanının yerini alacak alternatif akışkanlar üzerine araştırma ve geliştirmeler yapılmaktadır. R-152a akışkanı ODP'si sıfır ve GWP'si istenen seviyede olması sebebiyle bu dönemde alternatif bir soğutkan olabileceği göz önüne alınmaktadır.

Bu çalışmada otomobil klima sisteminde R-134a soğutucu akışkanının yerine kullanılabilecek olan R-152a akışkanının uygunluk ve kullanılabilirlik durumu incelendi. R-152a özellikleri (yanıcılığı, termodinamik özellikleri ve uyumluluğu v.s.) ve performansı hakkında bilgi verildi ve R134a gazı ile karşılaştırılarak uygun bir alternatif akışkan olduğu tespit edildi. R-152a gazının soğutma ve yoğuşma kapasiteleri, soğutma tesir katsayısı (COP) ve güç tüketim karakteristikleri ANFİS üzerinden öngörülecek bir model gelişimi yapıldı ve diğer öngörü metodları ile karşılaştırılarak en uygun modelleme olduğu gösterildi.

2015, 92 sayfa

Anahtar Kelimeler: Alternatif Soğutkan, R152a, R134a, Otomobil klima sistemi, AC, ANFİS, Sinir Ağ, Bulanık Mantık

ABSTRACT

MS Thesis

ALTERNATIVE REFRIGERANT R152a FOR AUTOMOTIVE AIR CONDITIONING SYTEM AND ANFIS MODEL

Ahmet Tahir KALKIŞIM

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Thermodynamics Department

Supervisor: Prof. Dr. Kadir BİLEN

Recently, due to the climate change all over the world, all the countries put their efforts to prevent climate change and ozone depletion. R-134a has been widely used as an AC (air conditioning) refrigerant in the automobile industry. Although R-134a has a small effect on the ozone depletion, it has a great influence on the global warming. Thus, the researchers are trying to find alternative refrigerants in replace with the R-134a. In these days, R-152a has been considered as an alternative refrigerant because of its having a zero ODS and little GWD.

In this study, the possible usage of the R-152a in replace with R-134a in the AC system of an automobile and the properties of the R-152a will be investigated theoretically. The studies have been conducted in this field so far and the results of these studies will be presented and compared with the R-134a still used. Also, the effect of the R-152a on the performance of the AC system of an automobile has been examined analytically. As a result of this study, it has been observed that R-152a and R-134a do not lead to any significant difference on the performance of the cooling system. On compare of the refrigerants performance, R152a system's outputs predicted with a ANFIS system model which the outputs are COP, P_r and W_k . Determined that the best result was given by ANFIS predictions when compared with the other intelligent systems like Multi-Regression and Noural-Networks with an example.

2015, 92 pages

Keywords: Alternative refrigerant, R152a, R134a, Automotive air Conditionin System, AC, ANFIS, Neural Network, Fuzzy Logic

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendirerek yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve önerileriyle her zaman destek olan ve akademik olarak gelişmemde ve ilerlememde çok büyük bir paya sahip olan çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kadir BİLEN'e (Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik ABD) teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezin oluşmasında verdikleri öneriler ile eksiklerimin tamamlanmasında payı olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. A. Samet HAŞİLOĞLU (Atatürk Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü)'na teşekkür ederim.

Çalışmam esnasında sabır ile beni destekleyen başta babam Prof. Dr. M.Muhsin KALKIŞIM (Gümüşhane Üniversitesi Edebiyat Fakültesi), annem, eşim ve oğlum olmak üzere aile ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında benden yardımlarını esirgemeyen, Sayın Soner GÖK (Atatürk üniversitesi MYO Makine bölümü) hocama, yaptığı katkı ve yardımlardan dolayı teşekkür ederim.

Ahmet Tahir KALKIŞIM

Temmuz, 2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Soğutma Kavramı.....	4
1.2. Soğutma Çevrimleri	5
1.2.1. Ters carnot çevrimi.....	5
1.2.2. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi	6
1.2.3. Gerçek buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi.....	10
1.3. Soğutma Sistem Elemanları	11
1.3.1. Ekovat (kompresör, sıkıştırıcı).....	11
1.3.2. Kondenser (yoğusturucu)	12
1.3.3. Kılcal boru	13
1.3.4. Evaporatör	14
1.4. Soğutucu Akışkanlar ile İlgili Yasal Düzenlemeler	15
1.4.1. Avrupa birliğinin düzenlemeleri	16
1.4.2. Dünyadaki yasal düzenlemeler.....	17
1.4.3. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi (EC) 842/2006 No’lu yönetmeliği (F-Gaz).....	19
1.4.4. Küresel ısınma ve iklim değişimi ile ilgili Kyoto Protokolü.....	19
1.4.5. Türkiye’deki yasal düzenlemeler	20
1.5. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri	20
1.5.1. Sera etkisi	20
1.5.2. Ozon etkisi.....	21
2. KAYNAK ÖZETLERİ	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	27

3.1. Soğutucu Akışkanlar	28
3.1.1. Soğutucu akışkanların tarihi gelişimi	28
3.1.2. Soğutucu akışkanlarda aranılan özellikler	29
3.1.3. Soğutucu akışkan türleri	30
3.1.4. Klima sistemleri için kullanılan başlıca soğutkanlar	31
3.2. Otomobil Klima Sistemi İçin Mevcut diğer Alternatif Akışkanlar	33
3.2.1. Karbondioksit (CO ₂)	33
3.2.2. R-1234YF (HFO-1234yf)	35
3.3. R152a Soğutucu Akışkanının Kimyasal Özellikleri ve Karşılaştırılması	37
3.3.1. Yanıcılık	38
3.3.2. Zehirlilik özelliği	40
3.3.3. Yağlayıcılarla karışabilirlik	42
3.3.4. Isıl kararlılık	42
3.3.5. Diğer materyallerle uyumluluk	42
3.4. Cool Pack	43
3.5. Akıllı Sistemler	44
3.5.1. Sinir ağları	44
3.5.2. Bulanık mantık	47
3.5.3. ANFIS (uyarlanabilir bulanık-sinir sonuç çıkarım sistemi)	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	52
4.1. Cool Pack Uygulaması	53
4.2. ANFIS Uygulaması	62
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	93

SİMGELER DİZİNİ

COP	Soğutma tesir katsayısı
h	Entalpi (kJ/kg)
$\dot{m}$	Kütleli debi
n	Devir sayısı
O_3	Ozon
$^{\circ}C$	Santigrat derece
P_{dis}	Kompresör basma hattı basıncı
P_r	Kompresör sıkıştırma oranı
P_{suc}	Kompresör emiş hattı basıncı
Q_e	Evaporatör ısı yükü
Q_k	Kondenser ısı yükü
R	Düzeltilme katsayısı
R^2	Absolute fraction of variance
S_c	Aşırı soğutma
S_h	Aşırı kızdırma
T_e	Evaporatör sıcaklığı
T_k	Soğutuc akışkanın kondenserdeki sıcaklığı
V	Hacim
v	Hacimsel debi
W_k	Kompresör gücü

Kısaltmalar

AC	Klima
ANFIS	Uyarlanabilir bulanık-sinir çıkarım sistemi
CFC	Kloroflorokarbon
CP	Cool Pack
EI	Hata endeksi
GWD	Küresel ısınma etkisi

HCFC	Hidrokloroflorokarbon
HFC	Hidroflorokarbon
MAC	Avrupa Birliği Mobil İklimlendirme
MR	Multi-Regression
MRE	Mean Relative Error
ODW	Ozon İnceltme etkisi
OKS	Otomobil klima sistemi
RMSE	Root Mean Square Error
YSA	Yapay sinir ağ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistem şeması.....	5
Şekil 1.2. Buhar sıkıştırırmalı çevrim P-h diagramı.....	7
Şekil 3.1. HFO-1234yf'nin kimyasal formülü.....	35
Şekil 3.2. Yanmanın oluşturduğu etki	39
Şekil 3.3. Yanma olayının meydana gelme ihtimali	39
Şekil 3.4. Cool Pack programı ekran görüntüsü	43
Şekil 4.1. Kondenser de atılan ısı yükünün evaporatör buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $Q_e=1,5\text{ kW}$)	55
Şekil 4.2. Kondenser de atılan ısı yükünün kompresör devir sayısı ile değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $Q_e=1,5\text{ kW}$)	55
Şekil 4.3. Kompresör işinin evaporatör buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $Q_e=1,5\text{ kW}$)	56
Şekil 4.4. Kompresör işinin kompresör devir sayısı ile değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $Q_e=1,5\text{ kW}$).....	56
Şekil 4.5. Kompresör devir sayısının evaporatör buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $Q_e=1,5\text{ kW}$)	57
Şekil 4.6. Kompresör basınç oranının evaporatör buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $Q_e=1,5\text{ kW}$)	57
Şekil 4.7. Sistemin soğutma performansı COP'nin evaporatör buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $Q_e=1,5\text{ kW}$).....	58
Şekil 4.8. Sistemin soğutma performansı COP'nin kompresör devir sayısı ile değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $Q_e=1,5\text{ kW}$)	59
Şekil 4.9. Soğutucu gaz kütle debisinin evaporatör buharlaşma sıcaklığı ile değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $Q_e=1,5\text{ kW}$)	60
Şekil 4.10. Soğutucu gaz kütle debisinin kompresör devir sayısı ile değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $Q_e=1,5\text{ kW}$).....	60
Şekil 4.11. Farklı evaporatör buharlaşma sıcaklıklarında COP değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $n=1200\text{ dev/dak}$)	61

Şekil 4.12. Farklı evaporatör sıcaklıklarında basınç oranları değişimi ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $n=1200$ dev/dak).....	61
Şekil 4.13. ANFIS modeli diagramı	69
Şekil 4.14. P_r tahmini için ortalama girdi ve çıktılar (R152a)	69
Şekil 4.15. P_r çıktısı için uygulanan ANFIS yapısı (R152a).....	69
Şekil 4.16. COP tahmini için ortalama girdi ve çıktılar(R152a).....	72
Şekil 4.17. W_k tahmini için ortalama girdi ve çıktılar(R152a)	75
Şekil 4.18. P_r tahmini için ortalama girdi ve çıktılar (R134a)	78
Şekil 4.19. W_k tahmini için ortalama girdi ve çıktılar(R134a)	80
Şekil 4.20. COP tahmini için ortalama girdi ve çıktılar(R134a).....	82
Şekil 4.21. COP çıktısı için uygulanan ANFIS yapısı (R134a).....	82
Şekil 4.22. T_e Sıcaklığına göre COP değerinin CP, ANFIS ve MR karşılaştırılması.....	84
Şekil 4.23 T_e Sıcaklığına göre P_r değerinin CP, ANFIS ve MR karşılaştırılması	84
Şekil 4.24. T_e Sıcaklığına göre W_k değerinin CP, ANFIS ve MR karşılaştırılması	85
Şekil 4.25. T_e sıcaklığına göre P_r değerinin CP, ANFIS ve MR karşılaştırılması	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. R-1234yf'nin temel özellikleri	36
Çizelge 3.2. R152a soğutucu akışkanın yapısal özellikleri.....	37
Çizelge 3.3. Bazı soğutucu akışkan gazların fiziksel özellikleri.	38
Çizelge 3.4. Soğutucu akışkanların zehirlenme etkisi.	41
Çizelge 3.5. Yanıcılık sınıflandırması	41
Çizelge 4.1. Coolpack programında kullanılan sistem için sabit değerler.....	53
Çizelge 4.2. Soğutucu gaz R134a, R152a ve R22 için bulunan değerler	54
Çizelge 4.3. Çeşitli gazlar için COP ve P_r değerleri ($n=1200$ dev/d, $T_k=40^{\circ}\text{C}$)	61
Çizelge 4.4. R152a ANFIS uygulaması için hazırlanan eğitim dataları	64
Çizelge 4.5. ANFIS modeli için kullanılan test dataları	66
Çizelge 4.6. P_r çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R152a)	67
Çizelge 4.7. Multi-Regression P_r tahmin uygulama özeti.....	70
Çizelge 4.8. COP çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R152a).....	71
Çizelge 4.9. Multi-Regression COP tahmin uygulama özeti	73
Çizelge 4.10. W_k çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R152a)	74
Çizelge 4.11. Multi-Regression W_k tahmin uygulama özeti	76
Çizelge 4.12. P_r çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R134a)	77
Çizelge 4.13. Multi-Regression P_r tahmin uygulama özeti	78
Çizelge 4.14. W_k çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R134a)	79
Çizelge 4.15. Multi-Regression P_r tahmin uygulama özeti	80
Çizelge 4.16. COP çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R134a)...	81
Çizelge 4.17. Multi-Regression COP tahmin uygulama özeti	83
Çizelge 4.18. Error index tablosu	86

1. GİRİŞ

İnsanoğlu için günlük yaşamın ihtiyaçları, karşılanması gereken bir probleme dönüştüğünde ilk olarak bu sorunun giderilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu doğrultuda soğutma sistemlerine olan ihtiyaç, insanoğlunun yaşadığı ortamların konforunu artırma isteği ile belirginleşmiştir. Mekanların ısı konfor koşullarında tutulabilmesi için iklimlendirme sistemleri geliştirilmiş ve daha konforlu ortamlar oluşturma hayali ile sistemler, ilerleyen teknolojinin gelişmesi ile bir çok yeniliği de beraberinde getirmiştir (Çomaklı vd. 2008).

İklimlendirme arzusu ile belli bir sıcaklığın altında bozulmadan uzun süre ürünlerin saklanması sağlanarak, günlerce soğutularak saklanan ve bozulmayan gıdaların da kalitesini arttırmış ve en ideal sıcaklıklarda saklanması için çalışmalar yapılmıştır, bu sayede kullanıcı ve müşteri sayısı da arttırılmıştır.

Bir çok uygulamada kullanılan iklimlendirmenin bir kolu olan soğutma sistemleri, gıdaların soğutulması dışında , otomobiller için sürücü ve yolcu konforunu sağlamak için de kullanılmaktadır. Konforlu bir sürüş için araç kliması önemli etkenlerin başında gelmektedir.

Özetle kapalı tüm mekânlar için soğutma sistemi tasarımları geliştirilmiştir. Sistemlerde soğutmanın sağlanması için kullanılan ilk sistem, buhar sıkıştırırmalı çevrim kullanılarak yapılmış ve soğutucu akışkan olarak ise “eter” ile bu yolculuk başlamıştır. En başlıca bilinen doğal soğutkanlar su, hava, amonyak, CO₂, eter, SO₂ gibi maddeler sırası ile soğutkan olarak da kullanılarak doğal gazlar ile soğutma sistemleri üretilmiştir. Teknolojik gelişmeler ışığında daha etkin soğutkanlar arayışları da hız kazanmıştır (Thevenot 1979).

Soğutma ve klima sistemleri için ilk tercih edilen ürünler Karbondioksit, Amonyak, Metil Klorid ve Sülfürdioksit olmuştur. (McMullan 2002). İlk kullanılan soğutucu

akışkanlar yanıcı ve zehirli özelliktedirler. İlerleyen süreçte 1931 yılı itibari ile hidroflorokarbon ve kloroflorokarbon soğutucu akışkanlar daha güvenli alternatifler olarak tercih edilmişlerdir. (Bolaji 2005).

Sistemlerde meydana gelen sızıntılar sonucunda ya da doldur-boşalt işlemi sırasında atmosfere karışan ve üst katmanlarından stratosfer tabakasında biriken HCFC ve CFC soğutucu akışkanların, ozon tabakasını tahrip ettikleri ve küresel ısınmaya neden oldukları tespit edilmiştir (Ataer vd. 1999). CFC soğutucu akışkanların, 1974 yılında Rowland tarafından yapılan bir çalışmaya göre, uygun şartlar oluştuğunda ozonu katalitik etki göstererek ayrıştırdığı ve bu kabiliyete sahip olduğu gösterildi. Bu çalışmaya göre; CFC soğutkanları 60 yıl süre zarfında ozon tabakasını %7 oranında aşındırabilecektir (Çomaklı vd. 2008). HCFC ve CFC gazları ile birlikte hidroflorokarbon soğutkanların buna ek olarak sera gazı etkisine yol açarak küresel ısınmayı arttırmaktadır. Soğutma sistemlerinde ihtiyaç ve konfora dayalı kullanım sonucunda atmosfere karışan soğutucu akışkanların meydana getirdiği bu zararlar dolayısıyla, dünya ülkeleri toplanarak yasal düzenlemeler hazırlamış ve soğutucu akışkanların üretim ve kullanımını düzenleyip belli bir sınır içine almışlardır (Talley 2010).

Bu süreç zarfında Kloroflorokarbon, Hidroflorokarbon gibi yapay olarak geliştirilen soğutkanlar sürecin ivmesini de hızlandırmış oldular. Geliştirilen soğutkanların ticari olarak üretilip satılmaya başlanması, sürecin hızla gelişmesi ve yapay soğutkanların çeşitlenmesi sonucu çok sayıda Ozon tabakasında çözünerek tahribe yol açan ve çevresel atık olarak zehirli yapıya sahip soğutkanlar üretilmiş ve kullanılmıştır (Çomaklı vd. 2008).

19. yüzyılın son yıllarında yeryüzü sıcaklığı belli bir oranda artış göstermiştir. 20.yıyın son 15 yılı yüzyılın en sıcak yılları olarak belirlenmiştir. Kuzey Kutbundaki kar örtüsü azalmış, buzullar erimeye başlamıştır. Tüm dünyada deniz seviyesi 10 ila 20 cm arasında yükselmiş, aşırı yağışlar baş göstermiştir. Tüm bu olağanüstü durumlar insanoglu için, “sera gazlarının etkisi” ve “Ozon tabakası” adında iki önemli terimi

hayatımıza sokmaya vesile olmuştur. Bu vesile ile önce verimlilik esas alınan soğutma sistemleri için artık çevresel faktörleri göz önüne alma gereksinimi ve bilinci oluştu.

İlk olarak CFC ler yasaklanarak kullanımdan kaldırıldı. Daha sonra ise Montreal Antlaşmaları ile kademeli olarak HCFC soğutkanlar üretimden ve kullanımdan kaldırılmışlardır. Avrupa Birliği ve Uzak doğunun önemli bir etkeni olduğu 161 ülkenin imzaladığı Kyoto sözleşmesi de sera gazlarının kısıtlanması ve kullanımının sınırlandırılması amacı ile zehirli soğutkanların kullanımına sınırlandırma getirmiştir. Otomobil sektöründe tıpkı mekanlarda olduğu gibi konforlu bir sürüş ve yolculuk için en önemli sistemlerin başında klima sistemi gelmektedir (UNFCCC 1997).

Günümüzde, çok noktadan soğutmalı sistemlerin geliştirilmesi ile, konforlu bir yolculuk ve sürücünün daha da rahat olması göz önünde tutulmakta ve kullanıcı ihtiyaçların karşılamak daha da önemli olmaktadır.

Otomobil klima sistemlerinde ve ev tipi soğutucularda kullanımı yaygın olan R134a gazının yüksek küresel ısınma etkisinden dolayı, yasal bir düzenleme ile 2011 tarihinde kullanımını yasaklanmıştır. R134a gazı ozon tabakası ile tepkimeye girmediğinden ODP değeri sıfırdır. Ancak atmosferde uzun yıllar bozunmadan durması sebebiyle, atmosfer ve dünya arasında ısının tutulmasını sağlayarak sera etkisi oluşturmaktadır. Çıkarılan yasaya göre bir soğutma sisteminde kullanılacak soğutucu akışkanın GWP değerinin 150 den az olması gerekmektedir. 2017 tarihi ile birlikte araçlarda kullanımı kısıtlanan R134a gazı yerine alternatif bir soğutkan ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Dünya üzerinde kullanımda bulunan bir çok otomobil ve ev tipi soğutucu olduğu düşünülürse bu ihtiyacın karşılanması ancak ve ancak yasal düzenleme ile belirlenen değerler içerisinde kalan, aynı sistemde çalışabilen ve performans olarak yüksek bir soğutkanın seçilmesi ile mümkün olabilir. Bu yeni alternatif akışkan arayışında başta kimya ve otomotiv endüstrisi bir çok alternatif üzerinde çalışmaya başlamıştır. Sistem üzerinde kullanılacak olan soğutma elemanlarının ve emniyet şartlarının değiştirilmeden bulunacak alternatifin sistemde kullanılabilmesi gerekmektedir. Çevresel faktörler dikkate alındığında ilk akla gelen alternatif karbondioksit gazıdır. Ancak bu gazın

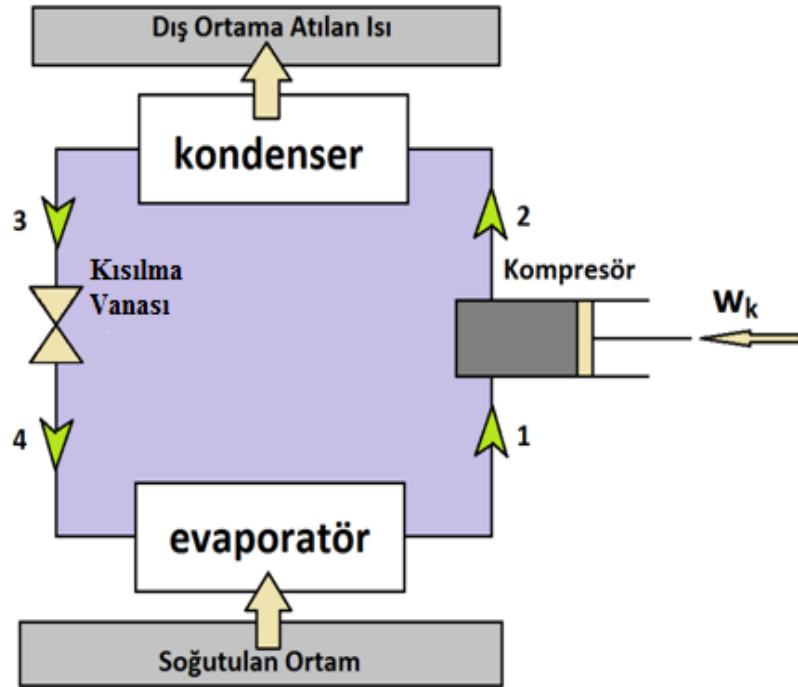
Çevresel faktörlere uygun olmasına mukabil çalışma basıncının yüksekliği sebebiyle, sistemde yapısal değişiklik olmadan kullanılamaması araştırmaları sentetik soğutucu akışkanlara yöneltmektedir. (Bryson et al. 2011). Yapılan  alışmada R152a soğutucu akışkanı, yapısal değişikliğe gidilmeden aynı sistemde kullanılabilecek R134a alternatifi olarak araştırıldı ve incelendi.

1.1. Soğutma Kavramı

Soğutma işlemi, sistemde kullanılan soğutucu akışkanın bir yerden bir yere hal değişimini kullanarak iletilmesidir. Bu iletim sistem ile ortam arasındaki sıcaklık farkı kullanılarak yapılır. Bunun için sıcak ortamdaki ısı, soğuk bir akışkan tarafından soğurulması yada sıcak akışkanın ortama ısı vermesi şeklinde gerçekleştirilebilir. Bu sistem içerisinde soğutucu akışkanın hal değişimi kullanılmaktadır. Belli bir çevrim kuralı içerisinde, uygun ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilen soğutmaya mekanik soğutma denir. Bir konumdan diğer bir konuma ısı iletimi için gerekli şartların kullanılmasına “soğumalı soğutma” denir. Mekanik soğutma sistemi prensibine uygun olarak ısı enerjisi, iş enerjisine çevrilir (MEB 2012).

Soğutma sistemleri genelde buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimini temel alarak tasarlanmaktadır. Temel olarak soğutma çevriminde kompresör yönünde düşük basınçtaki soğutkanın basıncının yüksek değere çıkarılarak kondensere gönderilir. Kondenserde yoğuşan akışkan genleşme valfinde basıncı ve sıcaklığı düşürülerek evaporatöre yollanır ve soğutma gerçekleştirilir (Söğüt vd. 2012).

1.2. Soğutma Çevrimleri



Şekil 1.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistem şeması

Şekil 1.1’de gösterildiği gibi buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi buharlaştırıcı (evaporatör), kompresör, yoğuşturucu (kondenser) ve kısılma vanasından oluşmaktadır. Kondenserde yoğuşturulan ve ısı atmaya zorlanan akışkan, evaporatörde ortam sıcaklığından düşük buharlaşma sıcaklığında olduğu için ısı çekmekte ve ortamı soğutmaktadır.

1.2.1. Ters Carnot çevrimi

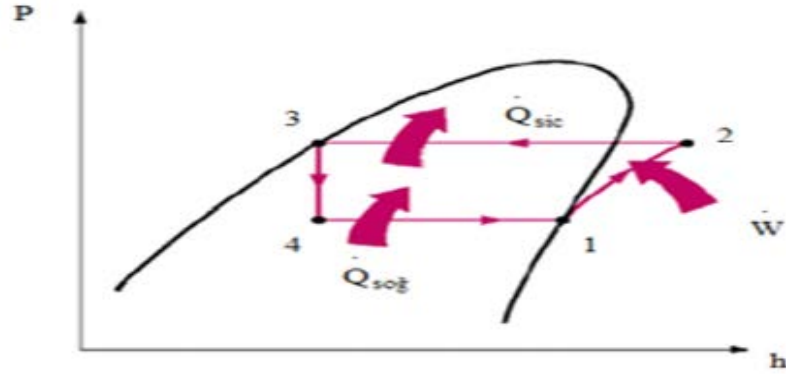
Verilen sıcaklık aralıklarında en yüksek ısıl verime sahip çevrim Carnot çevrimidir. Carnot çevrimi tersinir bir çevrim olmasından ötürü, bir yöne gerçekleşen hal değişimleri ters yönde de gerçekleşebilir. İş ve ısı etkileşim yönlerinin değişmesi ile hal değişimleri ters yönde gerçekleşir. Bu tersinir çevrim Ters Carnot çevrimi olarak adlandırılır. Bu çevrime göre çalışan bir ısı pompası ya da soğutma makinesi, Carnot ısı

pompası veya Carnot soğutma makinesi diye isimlendirilir. Doyma bölgesi içinde bir soğutucu akışkan için ters Carnot çevrimini inceleyelim. Soğutucu akışkanın hal değişimi esnasında , T_L sıcaklığına sahip soğuk ortamdan soğutucu akışkana, sabit sıcaklıkta Q_L miktarı kadar ısı geçişi olur. Soğutucu akışkan izotropik hal değişimi ile 2 haline sıkıştırılır ve sıcaklığı T_H 'a yükselir. Soğutkandan 2–3 hal değişimi esnasında, T_H sıcaklığındaki dış ortama, ısı geçişi sabit basınçta gerçekleşir ve soğutucu akışkan izantropik olarak 4 haline genişleyerek çevrimi tamamlar. Akışkanın sıcaklığı 3–4 hal değişimi sonunda T_L değerini alır. Soğutucu akışkan 2–3 hal değişimi sırasında, doymuş buhardan doymuş sıvıya yoğuşturucu vasıtasıyla dönüşür (İlkan 2012).

Sıcaklıkları belli iki ısı deposu arasında çalışan en etkili soğutma çevrimi ters Carnot çevrimidir. Ancak aşağıda açıklanan sebeplerden ötürü ters carnot çevriminin uygulamaya geçirilmesi olanaksızdır. İzotermal hal değişimleri ısı geçişi olduğu sürece gerçekleşebilir, çünkü sıcaklığın doyma sıcaklığında sabit kalmasını, doyma bölgesinde basıncın sabit kalması sağlar. Bu nedenden 3–4 ve 1–2 hal değişimlerinin uygulama safhası zordur. 1–2 hal değişimi esnasında sıvı-buhar karışımının iki fazlı akışkanla çalışan kompresör yardımı ile sıkıştırılması gerekir. Sıvı oranı yüksek bir karışımın genişlemesi ise 3–4 hal değişimidir. Doyma bölgeleri dışında bu sorunların çözülebileceği düşünülse de ısı geçişi esnasında sıcaklık değerinin korunması gerekmektedir. Bu nedenlerden ötürü ters Carnot çevriminin uygulamadaki zorluklar sebebi ile ideal çevrim modeli olmadığı sonucuna varıldı (İlkan 2012).

1.2.2. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi

Buhar sıkıştırırmalı çevrim soğutma makinelerinde, iklimlendirme ve ısı pompalarında en çok kullanılan çevrimdir.



Şekil 1.2. Buhar sıkıştırmalı çevrim P-h diagramı

Bu çevrimi oluşturan hal değişimleri şöyledir.

- 1-2 Kompresörde izantropik sıkıştırma
- 2-3 Yoğuşturucudan ortama sabit basınçta ısı geçişi
- 3-4 Kısılma vanası ile basıncın düşmesi
- 4-1 Evaporatörde soğutucu akışkana sabit basınçta ısı geçişi

İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde, soğutucu akışkan doymuş buhar halinde (1) kompresöre emiş hattından girer ve izantropik olarak kondenser basıncına sıkıştırılarak yükseltilir. Bu sıkıştırma işlemi esnasında, soğutucu akışkanın sıcaklığı çevre ortam sıcaklığının üzerine çıkar. Soğutucu akışkan kızgın buhar olarak 2 halinde kondensere (yoğuşturucuya) girer ve kondenserden 3 halinde doymuş sıvı olarak çıkar. Kondenserdeki yoğuşma esnasında soğutucu akışkandan daha düşük sıcaklıktaki ortama ısı akışı olur. Kondenserden çıktığı 3 halinde de soğutucu akışkanın sıcaklığı ortam sıcaklığından yüksektir. Doymuş sıvı halinde yoğuşturucudan çıkan soğutucu akışkan genleşme vanası veya kılcal borulardan geçirilerek buharlaştırıcı basıncına düşürülmüş olur. Basınç düşümü ile birlikte soğutucu akışkanın sıcaklığı ortam sıcaklığının altına düşer (Formtek 2015).

Soğutucu akışkan 4 halinde evaporatöre kuruluk derecesi düşük doymuş sıvı-buhar karışımı olarak girer. Evaporatöre giren akışkan ortam sıcaklığından düşük olduğu için

soğutulmak istenen ortamdan ısı çekerek tamamen buharlaşır ve doymuş buhar halinde kompresöre girerek çevrimi tamamlar (Formtek 2015).

İdeal buhar çevriminde kullanılan kompresörde aşağıdaki özellikler aranır.

- a) Kapasite kontrolüne sahip, geniş bir yük çalışma değişimine uygun olmalıdır.
- b) Harekete başlama anında dönme momenti mümkün olduğunca az olmalıdır.
- c) Kısmi yüklemelerde de yüksek verim sağlaması.
- d) Güvenilirlik ve emniyetini çeşitli çalışma şartlarında muhafaza etmesi.
- e) Kısmi ve tam yüklemelerde gürültü ve titreşim seviyesini koruyabilmesi.
- f) Uzun ömürlü ve dayanıklı olması.
- g) Birim soğutma yükünde daha az enerji kullanması.
- h) Ekonomik olarak düşük maliyetli olması (Birkan 2012).

İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi için ilgili matematiksel denklemler aşağıda belirtildiği gibidir.

İzotropik kompresör işi aşağıdaki denklem ile açıklanmaktadır (W_{cs} , kW)

$$W_{cs} = m_r(h_2 - h_1) , \quad (1.1)$$

m_r : soğutucu akışkan kütleli debisi

h_1 : kompresör soğutucu akışkan giriş entalpisi (kJ/kg)

h_2 : kompresör soğutucu akışkan çıkış entalpisi (kJ/kg)

Gerçek kompresör iş denklemi (W_{ca} , kW)

$$W_{ca} = W_{cs} / \eta_s , \quad (1.2)$$

Kondenserden ortalama atılan ısı miktarı (kW)

$$Q_c = m_r (h_2 - h_3) , \quad (1.3)$$

h_2 : kondenser soğutucu akışkan giriş entalpisi (kJ/kg).

h_3 : kondenser soğutucu akışkan çıkış entalpisi (kJ/kg)

Soğutma Tesir Katsayısı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$COP = Q_e / W_{ca} , \quad (1.4)$$

Hacimsel soğutma katsayısı aşağıdaki denklem ile vermektedir. (VCC , kJ/m³) ;

$$VCC = Q_e / m_r v_s , \quad (1.5)$$

v_s : kompresör girişindeki soğutucu akışkanın özgül hacmi (m³/kg)

Kompresör sıkıştırma oranı (P_r);

$$P_r = P_{dis} / P_{suc} , \quad (1.6)$$

P_{dis} : Kompresör basma hattı basınç değeri (kN/m²)

P_{suc} : Kompresör emiş hattı basınç değeri (kN/m²) (Boalaji 2011).

1.2.3. Gerçek buhar sıkıştırma soğutma çevrimi

İdeal çevrim ile gerçek buhar sıkıştırma soğutma çevrim arasında az bir fark bulunmaktadır. Gerçek çevrimi oluşturan ekipmanların tersinmez olmasından bu farklılık meydana gelmiştir. Çevreyle olan ısı alışverişi ve basıncın düşmesi tersinmezliğin ana sebepleridir (İlkan 2012).

Evaporatörden çıkan soğutucu ideal çevrimde kompresöre doymuş buhar olarak girer. Uygulamada bu durum gerçekleştirilemez. Soğutucunun hal durumunu hassas bir biçimde ayarlamak imkansızdır. Uygulamada sistemde soğutucu akışkanın kompresör girişinde doymuş buhar olarak değilde kızgın buhar olarak girmesi sağlanır. Amaç akışkanın kompresör girişinde tümüyle buhar olmasını güvenceye almaktır. Bununla birlikte, evaporatör ile kompresör arasındaki bağlantı hattının uzun olması ile akışın oluşturduğu sürtünmeden dolayı meydana gelen basınç kaybı giderilmiş olur ve ortamdan yoğunlaştırıcıda akışkana geçebilecek ısı geçişi yükseltilir. Kompresör işinin artması soğutucu akışkanın özgül hacminin artmasına bağlıdır (İlkan 2012).

İdeal çevrimde kompresörde gerçekleşen sıkıştırma işlemi içten tersinir ve adyabatiktir, başka bir ifade ile izantropiktir. Gerçek sıkıştırma işleminde ise entropiyi etkileyen akış sürtünmesi ve ısı geçişi vardır. Sürtünme entropiyi artırır, ısı geçişi ise hangi yöne olduğuna bağlı olarak entropiyi artırır veya azaltır. Bu iki etkiye bağlı olarak, soğutucu akışkanın entropisi sıkıştırma işlemi sırasında artabilir (1–2 hal değişimi) veya azalabilir (3–4 hal değişimi). Sıkıştırmanın izantropik olmaktansa, 1–2 hal değişimine göre olması tercih edilir, çünkü kompresör işi bu durumda daha az olacaktır. Bu bakımdan soğutucu akışkanın sıkıştırma işlemi sırasında soğutulması, ekonomik ve uygulanabilir olduğu sürece yararlıdır (İlkan 2012).

İdeal çevrimde, soğutucu akışkan kondenserde kompresörden çıktığı basınca sahip ve doymuş sıvı halindedir. Gerçek çevrimde ise kondenser çıkışı ile kompresör basma hattı arasında basınç farkı bulunmaktadır. Soğutucunun kısılma vanasına girmeden önce tamamiyle sıvı halde olması istenir. Tam olarak doymuş sıvı hali sağlanamayacağından

kısma vanasına girişte soğutucu akışkan sıkıştırılmış sıvı bölgesinde olur. Bu soğutucu akışkanın doyma sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa düşürülmesi ile olur (İlkan 2012).

Evaporatöre sıkıştırılmış sıvı olarak giren akışkanın entalpisi daha düşük olur ve bu sebeple ısı geçişi daha yüksek meydana gelebilir. Evaporatörle kısma vanası arası mesafe kısa olacağından bu bölgede basınç kaybı düşük olur (İlkan 2012).

1.3. Soğutma Sistem Elemanları

1.3.1. Ekovat (kompresör, sıkıştırıcı)

Kompresör buharlaştırıcıdan ısı ile yüklenen soğutucu akışkanı bu bölgeden uzaklaştırarak, ısı yüklenmemiş akışkanın buharlaştırıcıya ulaşmasını ve akışın devamlılığını sağlar. Devamında buhar formundaki soğutucu akışkanı kondenser buhar basıncına kadar yükseltir. Temel olarak iki görevi bulunan kompresör, evaporatörden ısı çekmiş olan soğutucu akışkanı sıkıştırır ve akışkanın sistem içerisinde dolaşımını sağlar. Kompresörün oluşturduğu bu çevrim bir soğutma döngüsünü oluşturmaktadır. Kompresör çalıştığı sürece çevrim işlevini yerine getirir. Kompresörün gazı sıkıştırarak basınçlandırmasının sebebi hem biraz daha ısı yüklemek hem de gazın buhar formuna geçişini sağlamaktır. Pistonlu bir kompresörde yapısal olarak, yukarı ve aşağı yönlü hareket eden piston ya da pistonlar bulunur. Pistonun aşağı yönlü hareket gerçekleştirdiğinde buhar fazındaki akışkan silindir içine alınır. Yukarı yönlü hareket gerçekleştiğinde bu gaz silindir içine sıkıştırılır. Gazın sıkıştırılması esnasında emiş hattına dönmemesi için çek valf sistemi kullanılır. Aynı zamanda bu valfler akışkanın istenen basınçta sıkıştırılmasını da sağlarlar. Kompresörde silindir içinde sıkıştırılan gaz, boşaltma kanalı vasıtası ile basma hattından çıkış yapar ve kondensere doğru devam eder (İlkan 2012).

1.3.2. Kondenser (yoğuşturucu)

Soğutma sisteminde, akışkanın sistemin evaporatörden aldığı ısı ve kompresördeki sıkıştırma işlemi sırasında aldığı ısıdan sistemden atılması kondenserde gerçekleşir. Böylece soğutucu akışkan sıvı hale yoğuşturulur ve basınçlandırılır. Tekrar kısma vanasından genişletilerek evaporatörden ısı çekecek duruma getirilir (Birkan 2012).

Buhar ve gazların bir yüzeyde yoğuşması, yüzeyin vasıflarına bağlı olarak “Damla veya film teşekkülü” tarzlarında oluşur. Damla teşekkülü ile yoğuşma (Dropwise condensation) film teşekkülü durumunda 4-8 kat daha yüksek ısı geçirgenlik katsayıları sağladığından tercih edilmektedir. Ekonomik faktörler ve akışkan özelliklerinden ötürü film tarzı yoğuşma ile birlikte, küçük ölçülerde damla teşekkülü ile yoğuşmalı kondenserler imal edilebilmektedir. Kondenserdeki ısı alış veriş 3 aşamada gerçekleşir, bunlar;

- a) Kızgınlığın alınması
- b) Akışkanın yoğuşması
- c) Aşırı soğutma

Aşırı soğutma kondenser dizaynına bağlı olarak, kondenser alanının %0-10’unu kullanacaktır. Kondenser alanının %5’i ise kızgınlığın alınması için kullanılmaktadır. Kondenserde gerçekleşen 3 tip ısı transferinde de sıcaklık değerleri ve ısı geçirme katsayıları farklıdır. Bununla beraber kızgınlığın alınması safhasında düşük ısı transferi yüksek sıcaklık farkında gerçekleşmektedir. Aşırı soğutma evresinde kızgınlığın alınması safhasının tersine sıcaklık aralığı düşük, ısı geçirme katsayısı yüksektir (Birkan 2012).

Yoğuşma evresinde ise hem aşırı soğutma evresinin hem de kızgınlığın alınması evresinin en üst ve en alt değerleri arasında sıcaklık farkı ve ısı geçirgenlik katsayısı değerleri olmaktadır. Sıcaklık farkının az olması ile ısı geçirme katsayısının artması ya da tersi durumda da yaklaşık olarak aynı çarpan değeri elde edilmektedir. Dolayısı ile

bu çarpımın ortalaması kullanılabilir. Yapılan deneylerde kondensere ait ısı geçiş katsayısı ve sıcaklık farkı için ayrı ayrı tek değer kullanılmaktadır. Üç farklı tipte kondenser bulunmaktadır;

- I. Su soğutmalı kondenserler
- II. Hava soğutmalı kondenserler
- III. Evaporatif (Hava-Su) kondenserler.

Sistem içerisinde kullanılacak kondenser tipi ekonomik açıdan yapılacak bir çalışma ile belirlenebilir. Bu hesaplamada hem ilk kurulum hem de işletme masrafları göz önüne alınmalıdır (Birkan 2012).

Hava soğutmalı kondensere göre, evaporatif ve su soğutmalı kondenserlerde yoğunlaşma sıcaklığı daha az olduğundan soğutma çevrimlerinde termodinamik verim daha yüksek olacaktır. Kondenser seçiminde bu durum da dikkate alınmalıdır (Birkan 2012).

1.3.3. Kılcal boru

Kondenser ve evaporatör arasına yerleştirilmiş, soğutma sisteminin özelliklerine göre boyutları değişkenlik gösteren, 0,76-2,16 mm iç çap değerleri ile sistem iletim borularına göre küçük çaplı elemanlardır. Küçük çaplarından dolayı kılcal boru ismi verilmiştir (Formtek 2015).

Genel olarak iki görevi vardır:

- a) Kondenserdan yüksek basınçta çıkan sıvı akışkanın basıncını düşürmek ve evaporatöre gerekli miktarda göndermek.
- b) Sistem kapatıldığı zaman, kompresör çıkış hattından, kondenser çıkış hattına kadar oluşan yüksek basınç ile evaporatör ile kompresör giriş hattı arasında bulunan alçak

basınç arasında köprü vazifesi görerek, geçmesini sağlar. Sistem basıncı her noktada eşitlenene kadar bu akış devam eder. Bu durum kompresörün ilk hareketinde büyük basınç yükü ile karşılaşmasını engeller (Formtek 2015).

1.3.4. Evaporatör

Sıvı akışkanın kısma vanasından çıkıp ortam sıcaklığı altındaki bir sıcaklık değerinde ısı çekerek buharlaştığı cihazdır.

Genel ifade ile evaporatör ortam soğutucu elemandır. Kondenserden bir akışkan deposundan geçerek ya da bir genleşme valfi veya kılcal boru gibi basınç düşürücü elamanlar üzerinden adyabatik olarak genişletirilen veya direkt olarak evaporatöre sıvı-buhar karışımı şeklinde giren akışkanın büyük bir kısmı sıvı haldedir (MEB 2007).

Evaporatörde ısı çekerek buharlaşan akışkanın, kompresör emiş tarafına geçmeden önce aşırı kızdırma için 3-8 °C arasında ısıtılarak kızgın buhar durumuna getirilmesi gerekebilir (MEB 2007).

Evaporatörden tamamıyla buharlaşmadan çıkan sıvı akışkan kompresöre zarar verebilir. Sıvı taşmalı tip evaporatörlerde ise soğutucu akışkanın sıvı fazda girdiği evaporatörde, ortamdan ısı alarak bir miktar buharlaşır, daha sonra bir sıvı – buhar ayırıştırıcı yardımı ile buhar ayrılarak kompresöre gönderilir. Sıvı soğutkanının evaporatöre beslemesi seviye kumandalı bir vana ile yapılır. Sıvı ayırıştırıcı tankta biriken sıvı soğutkan tekrar evaporatöre gönderilir ve soğutma işleminde tekrar kullanılır. Direkt veya sıvı taşmalı tertiplerde çalışan evaporatörlerin hepsinde de soğutucu akışkanın, evaporatör tarafındaki basınç, kondenser tarafındaki basınca oranla çok daha düşüktür (MEB 2007).

Evaporatör tarafına sistemin alçak basınç tarafı adı verilir. Evaporatörün yapısı; soğutucu akışkanın iyi ve çabuk buharlaşmasını sağlayacak, soğutulan maddenin (Hava, su, salamura, v.s.) ısısının iyi bir ısı geçiş sağlayarak, yüksek bir verimle alacak ve

soğutucu akışkanın giriş ve çıkıştaki basınç farkını (kayıpları) asgari seviyede tutacak tarzda dizayn edilmelidir (MEB 2007).

Hem basınç kayıplarının az olması hem de ısı geçiş katsayısının iyi olması bir tezat oluşturmaktadır. Isı geçiş katsayısı içerde ve dışarda oluşturulacak girinti ve çıkıntılar ve kılcal yüzeyler ile ısı transferi yüzey alanının arttırılması sonucunda olabileceken, bu durum sürtünmelerin etkisi ile basınç düşümüne yol açmaktadır (MEB 2007).

Çalışmalarda evaporatör dizaynında en önemli etken, soğutulacak ürünün ne olduğudur (Katı, sıvı, gaz). Bir diğer önemli tecrübe ve dikkat isteyen unsur ise soğutucu akışkanın evaporatör içerisindeki hareket kabiliyetidir (MEB 2007).

Akışkanın boru içinden geçmesi halinde artan akış hızı ile içteki film katsayısı ve dolayısıyla ısı geçişini üzerine arttırıcı yönde bir etkisi beklenir, fakat bu durum daha öncede bahsedildiği gibi basınç kayıplarını arttıracığı için buda akış debisini azaltacak ve kapasiteyi düşürecektir. Burada, her iki etkenin durumu birlikte göz önünde bulundurup ısıl geçiş ve kapasitenin optimum olduğu değerler saptanmalıdır (İlkan 2012).

Evaporatör tipleri, uygulamada özelliklerine göre 3 ana grupta toplanabilir;

- I. Gaz haldeki maddeleri soğutmak için kullanılan evaporatörler (genellikle hava),
- II. Sıvı haldeki maddeler için soğutucu evaporatörler (Su, salamura, antifriz, metilen glikol, kimyasal akışkanlar, vs.)
- III. Katı maddeler için soğutucu evaporatörler (Buz, Buz paten sahası, metaller, vs.)

1.4. Soğutucu Akışkanlar ile İlgili Yasal Düzenlemeler

Dünyamıza zarar veren aynı zamanda küresel ısınmayı hızlandıran etmenlerden biri de soğutucu akışkanlardır. Özellikle HCFC'lerin (hidrokloroflorokarbonların) ve

CFC'lerin (kloroflorokarbonların) yapısında bulunan klor, ozon tabakasına ciddi zarar vermektedir. Bununla birlikte HFC'ler (hidroflorokarbon) de dahil olmak üzere, tüm soğutucu akışkanlar sera gazı etkisini (hem direkt, hem endirekt olarak) artırarak küresel ısınmanın hızlanmasına yol açmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için, soğutucu akışkanların üretimi ve kullanımı konusunda çeşitli yasal düzenlemeler yapılmıştır (Bilen vd. 2013). Bu yasal düzenlemeler şunlardır:

- a) Montreal Protokolü
- b) Kopenhag Protokolü
- c) F-Gaz Yönetmeliği
- d) Avrupa Birliği Mobil İklimlendirme Yönergesi(MAC Directive)(17 Mayıs 2006) R-134a'nın kullanımı sınırlandıran ve bu bildirinin temelini oluşturan yasal düzenleme, MAC yönergesidir (Talley 2010).

Bu düzenlemeler içerisinde uygulamaya konulacak olan takvim aşağıdaki gibidir.

1. R-134a kullanımı 1 Ocak 2011 tarihinden itibaren üretilen tüm yeni taşıt modellerinin iklimlendirme sistemlerinde yasaklanacaktır.
2. 1 Ocak 2017 tarihinde itibaren tüm yeni taşıtlarda kullanımı tamamen yasaklanacaktır.
3. GWP değeri 150 ve altında olan soğutucu akışkanların kullanılmasına izin verilecektir (Talley 2010).

1.4.1. Avrupa birliğinin düzenlemeleri

Halen yürürlükte olan 2037/2000 no'lu yasa çerçevesinde, geri kazanılmış ve temizlenmiş CFC'nin mevcut cihazlarda yeniden kullanılması Temmuz 2001'de yasaklandı (Bulgurcu vd. 2007).

HCFC üretiminin aşamalı olarak bırakılması kararı 2001 yılında alındı ve son tarih 2010 olarak belirlendi. 2010 yılından itibaren tesislerde yalnızca geri kazanılmış ve

temizlenmiş olan HCFC kullanılabilir ve 2015 yılında HCFC kullanımı tamamen yasaklanacaktır (Bulgurcu vd. 2007).

Soğutma kapasitesi 100 kW'dan büyük olan yalnızca soğutma yapan iklimlendirme santrallerinde HCFC kullanılmasının yasaklanması, yürürlük 1 Ocak 2001 (Bulgurcu vd. 2007).

- Soğutma kapasitesi 100 kW'dan küçük olan yalnızca soğutma yapan iklimlendirme santrallerinde HCFC kullanılmasının yasaklanması, yürürlük 1 Temmuz 2002.
- Ters çevrimli ısı pompalı İklimlendirme santrallerinde HCFC kullanımının yasaklanması, yürürlük 1 Ocak 2004 (Bulgurcu vd. 2012)

1.4.2. Dünyadaki yasal düzenlemeler

Başta Avrupa topluluğu, ABD, Türkiye ve Sovyetler Birliği olmak üzere 43 ülke, Kanada'nın Montreal şehrinde 1987 yılında, soğutucu akışkanların üretimi ve kullanımı, ozon tabakasının korunması, sera etkisinin azaltılması gibi çevresel konularda kontrol altına alınması amacıyla ilk defa toplanarak (Unep 1987 yıl toplantısı) Montreal Protokolü olarak adlandırılan sözleşmeyi hazırlayıp imzalamışlardır (Çomaklı vd. 2008). Daha sonrada 1990 yılında Londra'da ve 1992 yılında Kopenhag'da yapılan toplantılarda CFC türü akışkanların üretim ve kullanımıyla ilgili daha sıkı önlemler alınmasını gerekli görerek yeni bir takvim üzerinde anlaşmaya varılmıştır. Ülkemizde her iki protokolü imzalamış ve resmi gazetede ilan ederek kanunlaştırılmış bulunmaktadır (Bulgurcu vd. 2007).

Montreal protokolünde 2000 yılı konulmuş olmasına rağmen ABD kongresi aldığı kararla CFC türü soğutkanların üretim ve kullanımını 1.1.1996'dan itibaren sona erdirmiş bulunmaktadır. Bu, Kopenhag 1992 protokolünde de yer almıştır (Baraz ve Bulgurcu 2012).

Diğer kalkınmış ülkeler de buna uymuşlardır. Ülkemiz kalkınmakta olan ülke statüsünde bulunduğundan belirlenen takvim 10 yıl ertelemeye uygulanacaktır. Bu tarih Montreal protokolüne göre 2010 yılıdır ve Kopenhag protokolü revizyonu ile 2005 yılı sonu şeklinde olmak durumundadır (Bulgurcu vd. 2007).

Geçiş dönemi diye tanımlanan ve HCFC türü soğutkanların ki, bunlardan en yaygın şekilde kullanılanı HCFC-22 (R-12)'dir, 2030 yılına kadar kullanımını mümkün kılan dönemde Ekipman ve Soğutkan üretiminin gitgide azalan miktarlarda yapılması bir takvime bağlanmıştır. Buna göre;

Kalkınmış ülkeler için;

1. 2004 yılına kadar; o ülke için tespit edilen kapasitenin %60'ı
2. 2010 yılına kadar; o ülke için tespit edilen kapasitenin %35'i
3. 2015 yılına kadar; o ülke için tespit edilen kapasitenin %10'u
4. 2020 yılına kadar; o ülke için tespit edilen kapasitenin %5'i
5. 2030 yılına kadar; o ülke için tespit edilen kapasitenin sıfır seviyesine düşürülmesi gerekmektedir (Bulgurcu vd. 2007).

Ayrıca, 2010 yılından itibaren yeni HCFC soğutkan üretimi gerektiren hiçbir yeni soğutma ekipmanı imal edilmeyecektir. Ancak, HCFC ile çalışan mevcut soğutma sistemlerinin servis bakım ihtiyacı için kullanılmak üzere HCFC-22 soğutkan üretimi 2020 yılına kadar sürdürülecektir (Baraz ve Bulgurcu 2012).

Kalkınmakta olan ülkeler için:

2016 yılında HCFC soğutkan üretiminin, tespit edilen üretim seviyesinde dondurulması, 2040 yılında HCFC soğutkan üretiminin tümüyle durdurulması, 2016-2040 yılları arası dönemi için üretimin kısılması oranlarının daha sonra saptanmak üzere açık bırakılması kararlaştırılmıştır (Bulgurcu vd. 2007).

1.4.3. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi (EC) 842/2006 No’lu yönetmeliği (F-Gaz)

Bu yönetmeliğin hedefi Kyoto Protokolüne uygun olarak florlu gazların sera emisyonlarını azaltarak düşürmeyi hedeflemektedir (Bulgurcu vd. 2012).

14 Haziran 2006’da Avrupa Birliği tarafından F-Gaz Yönetmeliği ve MAC (Mobile Air Conditioning for passengers) yönergesi yayınlandı. Yönetmelik 4 Temmuz 2006’da yürürlüğe girdi (Bulgurcu vd. 2007).

Bu yönergeye göre;

R-134a kullanımı 1 Ocak 2011 tarihinden itibaren tüm yeni taşıt modellerinin iklimlendirme sistemlerinde yasaklanacaktır.

- Ocak 2017 tarihinden itibaren tüm yeni taşıtlarda kullanımı yasaklanacaktır
- GWP değeri 150 ve altında olan soğutucu akışkanların kullanılmasına izin verilecektir.

1.4.4. Küresel ısınma ve iklim değişimi ile ilgili Kyoto Protokolü

Aralık 1997’de japonyanın Kyoto kentinde 161 ülkeden katılan delegeler ile Kyoto protokolü hazırlanıp, imzalanmıştır (Çomaklı vd. 2008)

Bu anlaşma ile gelişmiş ülkeler CO₂ ve diğer sera gazı emisyon oranlarını 2000 yılına kadar toplam sera gazı salınım değerlerinin 1990 yılı değerlerinin %5 altına çekecekleri konusunda gönüllü olarak taahhütte bulundular (Bulgurcu vd. 2012).

Protokolde gelişmekte olan ülkelere azaltma beklenmiyor, ancak emisyon alışverişine izin veriliyordu. Örneğin, bir ülke sera gazı emisyon limitinin altında ise ekstra emisyon limitini kendi limitini aşmış olan bir ülkeye satabilir. Bununla birlikte Sera gazı

emisyona en fazla katkısı olan Amerika Birleşik Devletleri'nin, Kyoto anlaşmasını reddetmesi nedeniyle başarılı olacağı şüphelidir (Çomaklı vd. 2008)

1.4.5. Türkiye'deki yasal düzenlemeler

Türkiye'de yapılan yasal düzenlemeler kapsamında; Çevre ve Orman Bakanlığı, "Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik" hazırlamıştır. Bu yönetmelik, 20.06.1990 Viyana sözleşmesinin ozon tabakasına ilişkin maddesine ve 19.12.1991 Montreal protokolü imza altına alınmış hükümlerine binaen hazırlanmıştır.

Montreal Protokolü ve değişiklikleri uyarınca üretim, tüketimi ve ticareti kontrol altına alınan maddelerden, kloroflorokarbonlar, triklorflormetan (CFC-11), diklordiflormetan (CFC-12), triklorflormetan (CFC-113), diklortetrafloretan (CFC-114), klorpentafloretan (CFC-115) servis amaçlı ithalatı 1.1.2006 tarihinden itibaren tamamen yasaktır (Baraz ve Bulgurcu 2012).

Zorunlu kullanım alanları hariç olmak üzere, 1.1.2015 tarihinden itibaren bu Yönetmelikte belirtilen maddelerin yani ozon tabakasını incelten maddelerin Türkiye sınırları içinde servis amaçlı kullanımı da yasaktır (Bulgurcu vd. 2007).

1.5. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri

1.5.1. Sera etkisi

Sera etkisi ilk defa İsveçli kimyacı Suante Arrhenius tarafından 1896'da ortaya atılmıştır. Bu etki soğutucu akışkanların atmosferden uzaydan gelen kısa radyasyon dalgalarını yer yüzüne aktarması ve yer yüzünde oluşan uzun dalga radyasyonun atmosferden uzaya geçmesini engellemesi ile oluşmaktadır (Çomaklı vd. 2008).

Diğer bir ifade ile, sera etkisi olarak da tanımlanan küresel ısınma olayında, atmosferde bulunan karbondioksit, metan, karbon monoksit, hidrokarbon ve kloroflorokarbon gibi gazlar güneş ışınlarını içinde tutmaya çalışan güneş kolektörü camları gibi işlev yaparak güneşten gelen yüksek sıcaklıktaki güneş ışığının atmosferden geçerek yeryüzüne ulaşmasına imkân verilir (Bulgurcu vd. 2007).

1.5.2. Ozon etkisi

Malina Rowland teorisi 1974 yılında ortaya atılana kadar ozon tabakasının incelmesi ve tahrip olması konusunda duyarlı değildi. 1985 yılında araştırma yapan bir NASA uydusu tarafından gönderilen veriler ozon tabakasında oluşan tahribatı gözler önüne sermiş, Antartika üzerindeki ozon tabakası deliği belgelendirilmiştir. Güneşten gelen zararlı ışınları filtreleyen ozon tabakasının CFC ler tarafından tahrip edildiği anlaşılmıştı (Çalışkan 2012).

Güneşin ultraviyole (morötesi) ışınları oksijen moleküllerini atomlara ayırmakta ve oksijen atomları geride kalan oksijen molekülleri (O_2) ile birleşip ozon (O_3) meydana getirmektedir (Bulgurcu vd. 2007). Ancak soğutucu akışkan CFC lerin stratosferdeki mor ötesi radyasyon ile parçalanması sonucu açığa çıkan Klor iyonu ozonu parçalayarak (Çomaklı vd. 2008), O_3 oluşmasına engel olarak ozon tabakasının incelmesine neden olmaktadır. Buda zararlı ışınları dünyaya gelmesine sebep olmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bolaji (2010) çalışmasında ev tipi bir soğutucu için R134a yerine R152a ve R32 soğutkanın kullanımını deneysel olarak incelemiştir. Çalışma kapsamında zamana bağlı ve soğutucu akışkanın sistemde kullanılma miktarına göre termodinamik analizler yapılmıştır. Sonuç olarak küresel ısınma etkisi sıfır olan R152a gazının alternatif soğutkanlarının ev tipi bir soğutucuda kullanılabileceği, Küresel ısınma değeri olan ve kullanımdan kaldırılacak olan R134a gazı ile termodinamik açıdan benzerlik gösterdiği ve daha yüksek COP değerine sahip olduğu bulundu.

Bolaji (2011) buhar sıkıştırımlı soğutma devresi üzerinde 3 ozon tabakası dostu R32, R152a ve R134a gazının termodinamik olarak karşılaştırmalı analizi çalışıldı. Evaporatör sıcaklık değişimleri ile COP, hacimsel soğutma kapasitesi, kompresör gücü, sıkıştırma oranı ve kondenser ısı yükü karşılaştırıldı. Ozon tabakası dostu olup aynı zamanda küresel ısınma etkisi olmayan R152a soğutkanın diğer R32 ve R134a soğutkanlarından daha verimli ve performans değerinin yüksek olduğu bulundu.

Ghodbane (1999) çalışmasında R152a soğutucu akışkanının R134a gazı yerine otomobil klima sisteminde hiç bir ekipman değişikliği olmadan kullanılması halindeki karşılaştırmalı termodinamik analizini yapmıştır. Bu aşamda soğutkanların kimyasal özelliklerinede değinen Ghodbane (1999), R152a, R134a, R600a (isobütan), R290 (Propan) ve RC270 (Cyclopropane) soğutkanlarını aynı koşullar içerisinde aynı sistem üzerinde deneysel olarak çalıştırarak karşılaştırıldı. Kullanılan soğutucu akışkanlar içerisinde küresel ısınma etkisi sıfır olan R152a'nın COP değeri daha yüksek bulundu. Otomobil klima sistemi için günümüzde kullanılan tek döngülü soğutma çevriminin yanı sıra iki döngülü soğutma çevrimi de bu çalışmada kullanılmıştır. Bu aşamada evaporatör yerine bir ısı değiştiricisi konularak, soğutucu akışkanların dışında, su, hava Karbondioksit gibi soğutkanlar sisteme dahil edilerek bir çevrim daha oluşturulmuştur. Karşılaştırmalı deneyler sonucunda R152a akışkan gazının R134a ve R32'ye göre daha iyi bir COP değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Diğer bir sonuç olarak tek döngülü

sisteme aynı şarj miktarında yapılan soğutmanın kütleli debisinin ve soğutma yükünün, iki döngülü sisteme göre daha az olduğu görülmüştür.

Baskaran and Mathews (2012) çalışmada buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde R134a soğutucu akışkanına alternatif olabilecek olan, R152a, R32, R290, R1270 ve RE170 akışkanlarının deneysel çalışma ile termodinamik özelliklerinin karşılaştırılması yapıldı. Bu çalışmada evaporatör sıcaklıklarına göre COP, evaporatör basıncı ve sıkıştırma oranı değerleri karşılaştırılmıştır. R134a akışkanının basınç oranına en yakın gazlar RE170 ve R152a olmuştur. COP açısından R134a dan biraz daha iyi olan gazlar ise RE170, R152a ve R600a olarak tesbit edilmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde ise RE170 soğutucu akışkanın R134a ya göre en iyi COP ye sahip olduğu göz önüne alındığında en kuvvetli alternatif gaz olduğu önerildi.

Esen ve Hoşöz (2005) çalışmasında R12 ve R134a akışkanları için değişken kompresör devirlerinin sistem soğutması ve termodinamik değerler açısından incelemesi yapmıştır. Sabit soğutma yükü ve kompresör devir sayıları ile yapılan deneylerin sonucunda R12 gazına Ozon tabakasına zarar vermemesi ve daha az şarj miktarı açısından önemli bir alternatif akışkan olduğu görülmüştür. Otomobil klima sistemlerinin araç sürüşü içerisinde motora bağlı kayış kasnak ile çalıştığı ve yol boyunca kompresör hızının motor ile birlikte değiştiği bilindiğinden kompresör devri sistem üzerinde önemli bir değer olmaktadır.

Kamar *et al.* (2013) çalışmasında yapay sinir ağları kullanarak bir otomobil klima sistemi için performans tahmin sistemi geliştirildi. Deneysel çalışmalarda soğutucu akışkan olarak R12 ve R134a gazları kullanılmıştır. Otomobil klima sisteminde kullanılan ekipmanlar ile oluşturulan deney sisteminde elde edilen bulgular eğitime ve test amaçlı olarak 2 ye ayrılmış ve yapay sinir ağı ile bir performans ssitemi oluşturularak öngörde bulunmuşlardır. Yapılan çalışmada tek katmanlı 5 boğumlu 2 kamanlı ilki 3 ikincisi ise 5 katmanlı 2 farklı sistem üzerinde öngörü yapılmış ve değerleri verilmiştir. Sistemin 4 girdisi ilk katmanda ve 3 çıktısı son katmanda bulunmaktadır. Sonuç olarak deneysel değerler ile öngörü değerleri arasındaki yakınlığı gösteren ve 0 ila 1 arasında

değer alan R katsayısı 0,9995 değeri ile yüksek oranda çıkararak sistemin uygulanabilir bir YSA modeli olduğu gösterilmiştir.

Hoşöz vd. (2013) çalışmasında R134a gazı kullanılan bir otomobil klima sistemi için ANFIS modeli oluşturarak 0.966-0.988 arasında bulunduğu R –korelasyon sayısı- değeri ile %0,23-5,28 arası değişen MRE hata değerleri ile oluşturulan modelin başarılı olacağı bulunmuştur. Model oluşturmak için standart bir otomobil klima sisteminin ekipmanları kullanılarak oluşturulan deney düzeneğinden veriler elde edilmiş ve ANFIS modeli için data olarak kullanılmıştır. ANFIS uygulamasında girdi değeri olarak kompresör devri $n = 750-1500$ dev/dak arasında, evaporatör ve kondenser hava kanal sıcaklıkları $23,3-40,0^{\circ}\text{C}$ arasında, evaporatör çıkış hava hızı $1,0-3,2$ m/s değerleri arasında kullanılmıştır. MatLab kullanılarak hazırlanan ANFIS modeli çıkış parametreleri ise, evaporatör hava çıkış sıcaklığı (T_e), soğutma kapasitesi (Q_e), kompresör gücü (W_k), soğutma tesir katsayısı (COP) kompresör akışkan basma sıcaklığı (T_{dis}) şeklindedir. 37 düğümlü, 14'ü doğrusal, 24 ü doğrusal olmayan toplam 38 parametreye sahip, 46 eğitim, 20 test data kullanılarak hazırlanan ANFIS modeli deneysel sonuçlar ile öngördüğü sonuçların karşılaştırmasında başarılı bulunmuş ve mühendislerin ANFIS modelini deneysel çalışmalarında kullanılabileceği söylendi.

Al-Jarrah and Al-Jarrah (2013) çalışmalarında farklı basınç değerlerinde bir klima sistemi kontrolü için uyarlanabilir bulanık sinir algoritması geliştirmiştir. Modelleme sırasında ilk olarak Sugeno bulanık çıkarım metodu kullanmıştır. Girdi olarak kullanılan değerler basınç (kpa), nem (%), sıcaklık (K) değerleridir. Çıktı olarak ısı transfer oranı ve suyun kütleli debisi hesaplamalarında If-Then kuralları uygulanmıştır. Klasik kontrol algoritmalarına göre bulanık- sinir modelleri daha geniş çevresel kontrol sağlamakta ve klima sisteminin kontrolünde daha başarılı olmaktadır. C++ yardımı ile hazırlanan bir bilgisayar programı ile elde edilen bulgular MatLab Anfis uygulaması ile değerlendirilmiş ve modelleme yapılmıştır. Elde edilen dataların %75'i eğitim datası, %25'i test datası olarak ayrılmış ve kullanılmıştır. Oluşturulan ANFIS öngörü değerlerinin, hesaplanan değerler ile karşılaştırılmasında hata oranı MRE değeri %2,3-%3 arasında, RMSE değeri 0,04-0,02 arasında değişkenlik göstermiştir. Bu sonuçlar ile

oluşturulan ANFIS modelinin klima sistemi kontrolü için ve hesaplama işlerinde kolaylık ve hız sağlayacağı uygun bir model olduğu tespit edilmiştir.

Arcaklıoğlu vd (2004) çalışmalarında ise yapay Sinir Ağları kullanılarak, bazı soğutucu akışkan gazların ve karışımlarının soğutma sisteminde kullanılmasındaki termodinamik analiz sonuçları öngörülmüştür. Ev tipi ve sanayi tipi soğutma sistemlerinde alternatif soğutucu tespiti için kullanılabilecek bir model tasarlanmıştır. HFC ve HC soğutucuların karışımını ise sistemler için alternatif olarak önermiştir. Yapay sinir ağları kullanılarak oluşturulan modellemede R12, R22 ve R502 gazlar ile 7 karışım hazırlanmış ve çalışılmıştır. Oluşturulan modellemede $R^2=0,9999$ ve en yüksek hata oranı %2-3 değerlerinde gerçekleşmiştir. Yapay sinir ağ modellemesinde çıktı değeri olarak COP ve evaporatör çıkış soğutkan sıcaklığı öngörülmektedir. YSA modellemesi için Matlab kullanılmış olup, algoritma olarak Levenberg-Marquardt (LM), Scaled Conjugate Gradient (SCD) ve Pola-Ribiere Conjugate Gradient (CGP) kullanılmıştır. Sonuç olarak COP tahmin değerlerinin Evaporatör çıkış soğutkan sıcaklığı değerinden daha yakın olduğu görülmüştür. Yapay Sinir Ağ modellemesinde ara katman için 3 ile 7 arasında nöron kullanıldığında çok küçük değişiklikler olduğu fark edilmiştir. Diğer bir deyişle ara katmanda nöron sayısının artması model performansını arttırmamıştır. Yapay sinir ağ sistemlerinin öğrenme ve uygulamadaki hızı ve kullanışlılığı sebebiyle gelecekte ısı sistemleri için yaygın olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Haşiloğlu vd (2004) çalışmalarında ANFIS modeli ile dairesel bir kanal içerisindeki hava akışının geçici rejimde ısı transfer değerinin öngörülmesini sağlamıştır. Dairesel kanal içindeki hava akışının termal ve hidromekanik olarak gelişmiş akışlarda 3 farklı metod ile öngörülmüş ve deneysel bulunan sonuçlar ile karşılaştırmalar yapılarak en iyi öngörün hangi modelleme sistemi ile yapılacağı tesbit edilmiştir. Kullanılan metodlardan ilki sinir ağları algoritmaları ile sağlanmış ve değerler elde edilmiştir. İkinci olarak Multi-regression (Çoklu gerileme) metodu kullanılarak yapılan öngörüler oluşturmuş, üçüncü metod ise ANFIS uygulaması olarak kullanmıştır. $Re=3046-3068$ değerleri arasında $\beta=0,03-0,96$ değerleri arasında x/D_t değeri 1 ila 39 değerleri arasında deneysel sonuçlardan ayrılmış olan test dataları ile elde edilmiş ANFIS modelinin tahminleri

karşılaştırılmıştır. Son olarak ANFIS, Sinir Ağ ve Multi-regression metodları denysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Standart sapma değerleri sırası ile ANFIS=0,9917003, Sinir ağı=1,007945, Multi-Regression=1,756972 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak ANFIS in diğer iki metotdan daha iyi sonuçlar verdiği tesbit edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bugün, ideal soğutuculardan beklenen gereksinimler piyasa rekabet şartlarından ve en iyi konforu sağlama, en çevreci ve en verimli olma isteği ile artmıştır. Performansa dayalı hassasiyet ve çevresel hassasiyet sürecinde, soğutucu akışkanlar için Ozon inceltme etkisi (ODP) ve Küresel ısınma etkisi (GWP) düşük olması beklenmektedir (Bilen vd. 2013).

R134a soğutucu akışkanı, otomobil soğutma sistemlerinde ve buzdolaplarında kullanım bakımından üst sıralardadır. R134a soğutucu akışkanın küresel ısınma potansiyeli (GWP) öngörülen sınırların üstünde olmasına karşın, ozon inceltme etkisi (ODP) sıfırdır (Bilen vd. 2013). Otomobil sistemleri için yaygın olarak kullanılan R134a Soğutkanının GWP değerinin yüksek olması sebebi ile yapılan Montreal sözleşmesi gereği kademeli olarak kaldırılması öngörülmüştür. 2017 yılından itibaren kullanımı tamamen kaldırılmış olacak olan bu akışkanlar, bu kapsamda konfordan vazgeçmeyecek olan otomobil üreticileri ve kimya endüstrisi ile birlikte yeni arayışlara yöneltecektir. R134a'ya göre daha çevre dostu olan ve kullanıcı konforundan da vazgeçirmeyecek yeni bir alternatif gaz üzerinde durulmaktadır.

Küresel ısınma değeri düşük olan ve Ozon tabakasına etkisi sıfır olan bir akışkanın emniyetli olma, termodinamik açıdan yüksek verimli, yüksek soğutma kapasitesine sahip olmalı ve R134a için üretilmiş hali hazırdaki sistem ile uyumlu çalışabilmelidir.

Bu çalışmada otomobil klima sistemlerinde kullanımda olan R134a soğutucu akışkanı için alternatif soğutkan olan R152a'nın, otomobil klima sisteminde kullanımı ve R152a gazının termodinamik analizleri yapıldı. Yapılan analizler doğrultusunda otomobil klima sisteminde önemli değişiklikler yapmadan R134a gazı yerine kullanılıp kullanılamayacağı araştırıldı. Soğutucu akışkanlar için termodinamik özellikler bu noktada büyük önem arz etmektedir. Araştırmamızın ikinci aşamasında ise elde edilen

değerler kullanılarak bir ANFIS modeli otomobil klima sistemleri için geliştirilmiş ve sistem üzerinde R152a gazı için öngörü hesaplamaları yapılmıştır.

Çalışmalarımızda soğutucu akışkanların özelliklerinin iyi bilinmesi alternatif soğutkan olarak R152a'nın uygun olup olmaması konusunda ilk etapta önemlilik arz etmektedir. Akışkan için yasal düzenlemelerde belirtildiği üzere ODP ve GWP değerleri kullanım açısından ilk şart olduğu gibi performans analizleri sonucunda hesaplanan sıkıştırma oranı (P_r), Soğutma tesir katsayısı (COP) ve kompresör işi (W_k) de sistemin verimliliğinin devamı açısından önem arz etmektedir. Bunun yanında kullanılan sistem materyalleri ile kimyasal tepkimeye girme, yanıcılık, zehirlilik gibi bir çok faktör alternatif soğutucu akışkan seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Detaylı olarak soğutucu akışkanlar ve özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

3.1. Soğutucu Akışkanlar

Soğutma çevrimi içerisinde ısının taşınmasında kullanılan ara maddeye soğutucu akışkan denir (Bilen vd. 2012). Diğer bir ifade ile soğutucu akışkanlar ısıyı, buharlaşma vasıtası ile soğutan ve yoğunlaşarak ortama bırakan kimyasal bileşimlerdir. Pek çok değişik soğutucu akışkan kullanılmaktadır ve hangi akışkanın kullanılacağı, hangi koşullar altında çalışacağına bağlı olmaktadır (İlkan 2012).

3.1.1. Soğutucu akışkanların tarihi gelişimi

Soğutma tarihi, depolanmış buzun kullanıldığı, suyun buharlaştırıldığı ve benzer uygulamaların yapıldığı eski zamanlara uzanmaktadır.

1830'lu yıllarda Perkins isimli bilim adamı ilk buhar sıkıştırımlı makineyi icat ederek soğutucu akışkanlarla tanışmamızı sağlamıştır. Perkins sistemini etil eter ile çalışmak üzere tasarlamıştı. Daha sonrasında soğutucu akışkan olarak Karbondioksit 1866'da Amonyak ve kükürtdioksit ise 1870 lerde soğutucu olarak kullanılabileceği bulunmuştur (Bilen vd. 2012).

Günümüzde soğutucu akışkanların sera etkisi ve ozon tabakası tahribatı nedeniyle çevreye verdiği olumsuzluklar üzerine, bu soğutucu akışkanların üretimine ve kullanımına kısıtlama getiren en önemli düzenlemeler Kyoto, Kopenhag ve Montreal protokelleridir.

3.1.2. Soğutucu akışkanlarda aranılan özellikler

1. Soğutucu akışkanlar, buharlaşma basıncı yüksek olmalıdır. Sistem içerisine muhtemel hava sızıntısının engellenmesi sebebi ile işletme basıncının atmosfer basıncından yüksek olması istenmektedir. Sistem içerisine hava sızıntısı olması durumunda buharın soğuk kısımlarda katılaşarak işletme aksaklıkları meydana gelmektedir.
2. Yoğuşma basıncı düşük seviyede olmalıdır
3. Buharlaşma gizli ısısı yüksek olmalıdır. Buharlaşma gizli ısısının yüksek olması sisteme şarz edilecek gaz miktarını da arttırmaktadır.
4. Kimyasal olarak aktif olmamalıdır. Kullanılan akışkan sistem boru ve malzemeleri ile etkileşimde olmamalı, korozyon etki göstermemeli ve yağlama yağının özelliğini bozmamalıdır.
5. Soğutucu akışkanlar yanıcı, patlayıcı ve zehirli olmamalıdır.
6. Koku ve rengi ile muhtemel gaz kaçaqları için kolay tespit edilebilmelidir.
7. İhtiyaç halinde temini kolay ve fiyatı düşük olmalıdır.
8. Yüksek bir ısıl geçirgenlik katsayısına sahip olmalıdır.
9. Dielektrik olmalıdır.
10. Donma derecesi sıcaklığı düşük olmalıdır.
11. Kritik sıcaklık değeri yüksek olmalıdır.
12. Özgül hacmi küçük olmalıdır.
13. Damlayarak yoğuşmasının zor olması için viskozitesi düşük, yüzey gerilimi az olmalıdır (Koyun vd. 2005).

Buhar sıkıştırırmalı soğutucu akışkanlı sistemler için termodinamik analizler sabit kondenser sıcaklıklarına göre değişken kompresör hızları ve evaporatör sıcaklıklarına göre Cool Pack paket programı ve matematiksel fonksiyonlar yardımı ile yapıldı. Elde edilen bulgular uyarlanabilir bulanık mantık sinir ağları ile değerlendirilip otomobil klima sistemleri için model olabilecek bir yapay sinir ağ ile performans öngörülleri yapıldı.

Soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanları kloroflorokarbon (CFC), hidrokloroflorokarbon (HCFC), hidroflorokarbon (HFC) şeklinde üç kategoride inceleyebiliriz.

3.1.3. Soğutucu akışkan türleri

a) Kloroflorokarbon (CFC)

Uzun süre soğutma sistemlerinde kararlılığı, yanıcı ve zehirli olmamaları ve ısı nitelikleri sebebiyle önemli bir soğutucu akışkan olarak kloroflorokarbon kullanıldı. Ozon tabakası üzerinde en çok tahribat yapan soğutucu akışkanlar CFC lerdir (Koyun vd. 2005). İçeriğindeki Brom ve Klor, ozon gazı ile tepkimeye girerek, Brommonoksit ve Klormonoksit 'e dönüşüp ozon tabakasının incelmesine neden olmaktadır. 2006 yılında Montreal protokolü ile üretimi tamamen durdurulmuştur (Bulgurcu vd. 2007).

b) Hidrokloroflorokarbon (HCFC)

Tıpkı CFC ler gibi hidrokloroflorokarbon'lar ozon tabakası ile içeriğindeki klor atomu vesilesiyle tepkimeye girerler. Ancak içeriğindeki hidrojen sayesinde yapısal kararlılıkları çok zayıf olduğundan ötürü atmosferde kalma ömürleri ve kararlılıkları düşüktür. Havadaki su molekülleri ile tepkimeye giren hidrojen HCFC'lerin atmosfere doğru yükselmeleri sırasında bozulmalarına yol açar (Bilen v.d 2013).

Bu tür soğutucu akışkanlar her ne kadar klor atomu içerselerde ozon tabakasına etki değerleri hidrojen atomu sebebiyle bozulmasından dolayı düşüktür. Hidrocloroflorokarbon soğutucu akışkanlardan en çok kullanılanlar, R124, R22, R123 soğutkanlarıdır (Koyun vd. 2005). Her ne kadar ozon tabakasına verdikleri zarar düşük olsada, soğutucu akışkanların Montreal protokolüne göre ODP değerinin sıfır olması gerekmektedir. Belirlenen protokolde bu gazların üretiminin 2020 yılına kadar devam etmesi, kullanım izninin ise 2030 yılında bitmesi öngörülmüştür

c) Hidroflorokarbon (HFC)

Hidroflorokarbon soğutkanları ozon tabakasına zararı olan Brom ve Klor atomları içermeyen, bunların yerine metan ve etan gibi doğalgazdan sentezlenmiş hidrojen içeren soğutucu akışkanlardır. HCFC ve CFC türü akışkanlara göre HFC soğutkanları çevreye daha az zarar verir. Bu sebepten ötürü CFC lerin HCFC lerin yerini alması öngörülmüştür. Soğutucu akışkan kullanılan sistemlerde kullanılan sentetik ve mineral yağların sistem içerisinde dolaşabilmesi için bu soğutkan ile karışabiliyor olması gerekmektedir. Sistem içerisinde dolaşımı istenen düzeyde olmaması halinde belli noktalarda oluşabilecek yağ birikimleri, özellikle evaporatör ve kondenserde, ısı transferini dolayısıyla soğutma kabiliyetini düşürecektir. Buna ek olarak HFC lerin HCFC soğutucu akışkanlar kadar performans değerlerinin iyi olması alternatif olarak kullanılması için gereklidir (Bilen v.d 2013).

3.1.4. Klima sistemleri için kullanılan başlıca soğutkanlar

a) R12 (CCl₂F₂)

Günümüze kadar, soğutma maksadı ile en çok kullanılan soğutucu akışkandır. Ağırlıklı olarak ev tipi soğutucularda ve araç klimalarında kullanılmaktadır. Zehirli, patlayıcı ve yanıcı olmaması sebebiyle emniyet şartlarını sağlamaktadır. Her türlü çalışma koşullarında bile özelliğini yitirmeyip bozulma göstermeyen ve stabil kalabilen bir maddedir. Ayırışması için alev ile temas etmesi ya da yüksek sıcaklığa maruz kalması

yeterlidir. R12 soğutucu akışkanı ayrıştığında zehirli bileşenlere ayrılır. (Koyun vd. 2005). Bununla birlikte ODP değeri yüksek olduğu için kullanımı yasaklanmıştır.

b) R22

R22 diğer CFC lere nazaran emniyet içerisinde kullanılabilecek yanmayan, patlamayan ve zehirsiz bir gazdır. R22 yüksek kapasiteli soğutma sistemleri içerisinde kullanılan bir akışkandır, Daha küçük soğutma sistemleri için ise kompakt klima cihazı kullanıldığından R12 soğutucu akışkanına göre %60 daha az yer kaplayan bir sisteme sahiptir ve bu kullanım tercihi açısından önemli bir özelliktir. R12 akışkanına göre birim soğutma yükü başına ihtiyaç duyduğu güç aynı olmasına karşın çalışma sıcaklık ve basıncı yüksektir (Koyun vd. 2005).

c) R134a (CF₂CH₂F)

R134a akışkanın genel olarak kullanıldığı yerler, dondurucular, otomobil klima sistemleri ve ev tipi soğutuculardır. R12 ye fiziksel ve termodinamik açıdan en benzer soğutkan R134a gazıdır. ODP değeri sıfır olan R134a gazı GWP değeri yüksek olmasına karşın genel özellikler itibari ile en uygun soğutucu akışkandır. (Koyun vd. 2005). Otomobil klima sistemleri ve buzdolapları için en uygun olan alternatiftir. Kolay temin edilebilir ve maliyet olarak da uygun bir akışkandır. Sıkıştırma oranının düşük olduğu ve evaporatör sıcaklıklarının orta veya yüksek olduğu durumlarda kompresör verimi ve soğutma tesir katsayısı R12 ile benzerlik gösterir. Evaporatör sıcaklığı düşük olan sistemler için iki kademeli sıkıştırırmalı sistem kullanılması gerekmektedir.

d) R502

Azeotropik bir karışım olmakla beraber R22,R502 ve R115 soğutucu karışımlarından meydana gelmiştir. Ağırlık olarak bileşimi%51,2 R115 ve %48,8 R22'dir. Ticari soğutma sistemlerinde ve mobil soğutucu sistemlerde tercih edilmektedir. Üretimi ODP değerinden dolayı durmuştur. Evaporatör düşük sıcaklıklarında bile yüksek hacimsel

soğutma kapasitesine sahiptir. Soğutma kapasitesi R22 ye nazaran -20, -40°C evaporatör sıcaklığı arasında %1 ile %7 daha yüksektir. R22 ile kıyaslandığında STK değeri sistem şartlarına bağlı olarak %5-15 daha azdır (Koyun vd. 2005).

e) R717(NH3)

Zehirleyici özelliğinin önem taşımadığı durumlarda, büyük kapasiteli tesislerde, soğuk depoculukta, buz üretiminde, buz pateni sahalarında ve donmuş paketlenme uygulamalarında yaygın olarak kullanılır (Koyun vd. 2005).

g) R404A

Ticari soğutucular ve dondurucularda kullanılır. Bu gaz genellikle düşük sıcaklıklı cihazlarda kullanılır. Yaygın olarak kullanıldığı için temini kolaydır.

i) R410A

Yüksek basınçlı bir zeotrop karışım olup paket klimalarda ve VRV sistemlerde yaygınlaşmaya başlamıştır. Performans değeri R22 ve R407C'den yüksektir.

3.2. Otomobil Klima Sistemi İçin Mevcut diğer Alternatif Akışkanlar

3.2.1. Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksitin GWP değeri 1, ODP değeri ise 0'dır ve yanıcı özelliği bulunmamaktadır. Aynı zamanda insan solunumunda bir parçası olup, geri kazanımı gerekli değildir. Bu özellikleriyle CO₂'ilk bakışta iyi bir alternatif gibi gözükse de bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde özetleyebiliriz (Güngör vd. 2012);

a) Çalışma basıncı

Soğutucu akışkan olarak CO₂ kullanan iklimlendirme sistemleri, R-134a kullanan sistemlere göre 5-8 kat daha yüksek basınçlarda çalışmaktadır. Bu nedenle tamamen yeni bir sistem tasarlanması gerekeceği gibi, gerekli basıncı sağlamak için daha büyük kompresörlerin kullanılması, dolayısıyla da soğutmayı sağlamak için ilave güç gerekecektir (Güngör vd. 2012).

b) Sızıntılar

CO₂ atmosferden de bulunan, aynı zamanda insan solunumunun bir parçası olan, kokusuz bir gazdır. CO₂'nin zehirleyici bir etki yaratmaması için, ortamdaki CO₂ miktarı belli bir seviyenin altında olması gereklidir. Dolayısıyla iklimlendirme ünitesinde herhangi bir sızıntı olması durumunda fazla miktardaki CO₂ zehirleyici etki yaratabilir. İklimlendirme ünitesi yüksek çalışma basınçlarında çalıştığı için çok küçük sızıntılar bile problem yaratabilir. Bunu engellemek ve yolcuların güvenliği sağlamak için yolcu kabininde sızıntıdan kaynaklanan CO₂'in tespit edilmesi gerekir. Bu yüzden doğalgazda olduğu gibi CO₂ için de bir kokulandırıcı kullanmak gereklidir (Güngör vd. 2012).

c) Ağırlık

Tahmin edilen araç iklimlendirme ünitesi ağırlık tipik bir R-134a'lı sistemin ağırlığından 4,5-5 kg daha ağırdır (Güngör vd. 2012). Bu özelliği nedeniyle dezavantajlı olduğu düşünülebilir.

d) Maliyet

Parça ve üretim maliyeti R-134a'lı sistemlere göre oldukça pahalıdır. Standart, bir araç için toplam ekipman maliyeti R-134a'sistemin maliyetinden daha yüksek olmaktadır.

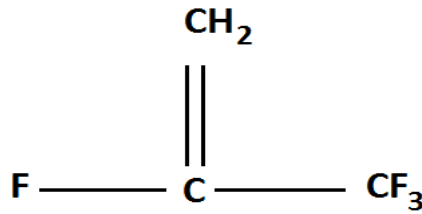
Karbondioksitin yüksek sıkıştırma oranında çalışması sebebi ile emniyet ve verimli soğutma isteğinin karşılanması için maliyetinde artırılması gerekmektedir.

e) Yakıt maliyeti

Özellikle sıcak iklime sahip bölgelerde önemli ölçüde olumsuz yakıt ekonomisine sahiptir (Güngör vd. 2012).

3.2.2. R-1234YF (HFO-1234YF)

R-134a'nın yerini almak üzere geliştirmiş olan ve HFO-1234yf olarak da bilinen R-1234yf soğutucu akışkanı, yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan alternatif arasında yer almaktadır. R-1234yf 'nin kimyasal formülü aşağıda gösterilmiştir (Güngör vd. 2012).



Şekil 3.1. HFO-1234yf'nin kimyasal formülü

HFO: Hidrofloroolefin olarak adlandırılan organik bir florin bileşimi

HFO-1234yf akışkanı içerisindeki 1: Çift bağı, 2: Karbonları, 3: Hidrojenleri, 4: Florları, yf: Flor atomlarının pozisyonunu göstermektedir.

Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi R-134a için 1430 olan ve MAC yönergesinde MAC yönergesinde 1502nin altında çekilmesi gerektiği belirtilen GWP değeri R-1234yf için sadece 4'tür. Doğada yok olma süreleri ise R-134a için 13 yıl iken R-1234yf için sadece 11 gündür (Güngör vd. 2012)

Çizelge 3.1. R-1234yf'nin temel özellikleri

Kimyasal Formülü	$\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$
Molekül Ağırlığı	114
1Atm basınçta kaynama	-29 °C
Kritik sıcaklık	94,7 °C
Kritik basınç	3 382 kPa
Kritik yoğunluk	473 kg/m ³
ODP	0
GWP	4
Doğadan yok olmas süresi	11 Gün
Yanıcılık	Orta derece yanıcı

a) Emniyet

Bir soğutucu akışkanın kabul edilebilmesi için ilk bölümde de belirtildiği gibi emniyetli bir şekilde kullanılabilir. Emniyetin sağlanması da soğutucu akışkanın iki temel özelliği ile ilgilidir. Bunlar soğutucu akışkanın zehirlenme etkisi (zehirliliği) ve yanıcılık özelliğidir (Güngör vd. 2012).

b) Zehirlilik Özelliği

R-1234yf'nin zehirlenme etkisi Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. ATEL (acute toxicity exposure limit) olarak adlandırılan bu değer 30 dakikadan kısa bir süre içerisinde sağlığı kötü bir şekilde etkilemeyecek maksimum limiti göstermektedir. Yani ortamdaki R-1234yf miktarı 101000 ppm'in üzerine çıkmadığı sürece herhangi bir zehirleyici etki yaratmayacaktır. Görüldüğü gibi R-1234yf'nin ATEL değeri gerek R-134a'dan gerekse diğer alternatifler olan R-152a ve CO₂'den daha uygundur. ASHRAE standartların da R-1234yf'nin zehirlilik sınıfı A olarak belirtilmiştir (Güngör vd. 2012).

c) Yağlayıcılarla karışabilirlik

Yeni soğutucu akışkanın soğutma çevriminde kullanılan yağlarla karışabilir olması gerekmektedir. R-1234yf'nin bu özelliklerini belirlemek üzere testler yapılarak, ISO 120 POE ve ISO 68 POE yağları ile farklı sıcaklıklarda (-50 ve 90°C arasında) ve farklı

yağ yüzdelerinde (%5 ile %70 arasında) karışabilirliği ortaya konuştur. Çıkan sonuçlar ile karışabilirlik bakımından benzer özellikte olduğunu göstermiştir (Güngör vd. 2012).

3.3. R152a Soğutucu Akışkanının Kimyasal Özellikleri ve Karşılaştırılması

Ozon tahribatına neden olmayan ve sera etkisi çok düşük olan bir gazdır. Yanıcı ve kokusuz olan R152a zehirleyici özellik göstermez (Koyun vd. 2005). Montreal Protokolü kapsamında üretimi ve kullanımı yasaklanan gazların yerine kullanılabilmesi için, teknik özelliklerinin, istenen seviyede olması gerekmektedir. R152a soğutkanı için bazı teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.2. R152a soğutucu akışkanın yapısal özellikleri

Kimyasal Bileşimi	CH ₂ H ₄ F ₂ – Difluoroethane
Yanıcılık Sınıfı	2A
Yanması için gerekli Limitleri (Havada) (UFL-LFL)	%16.9 - %3.9
Kaynama Noktası @ 101,325 kPa	-24.7°C
Yoğunluk	0.90 g/cc 25°C – Sıvı
Buhar basıncı	87 psi 25°C
Moleküler Ağırlığı	66.05 kg/kmol
ODP	0
GWP	140
Zehirleme Etkisi (ATEL)	50 000 ppm
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı	454 °C
Gaz Sabiti	125.882 j/(kg.K)
Isı İletim Katsayısı (25°C)	0.0113 (w/m ² k)

Çizelge 3.3. Bazı soğutucu akışkan gazların fiziksel özellikleri

Soğutucu Akışkan	Kimyasal Formül	Molekül Ağırlığı (Kg/Kmol)	Kaynama Noktası (°C)	Ozon Tüketim Potansiyeli (ODP)	Küresel Isınma Etkisi (GWP)
R32	CH ₂ F ₂	52	-51.7	0	650
R134a	C ₂ H ₂ F ₂	102	-26.1	0	1300
R152a	C ₂ H ₄ F ₂	66	-24.0	0	140

R152a Soğutkanı R12 ve R134a dan daha iyi COP'a sahip olan, Termodinamik ve fiziksel özellikleri R12 ve R134a'ya çok yakın olan ve bu yüzden dönüşümlerde kompresörde herhangi bir modifikasyona gerek bulundurmeyen bir soğutkandır (Koyun vd. 2005) Montreal Protokolü kapsamında üretimi ve kullanımı yasaklanan gazların yerine kullanılabilmesi için, teknik özelliklerinin, istenen seviyede olması gerekmektedir. R152 a soğutkanı için bazı teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

3.3.1. Yanıcılık

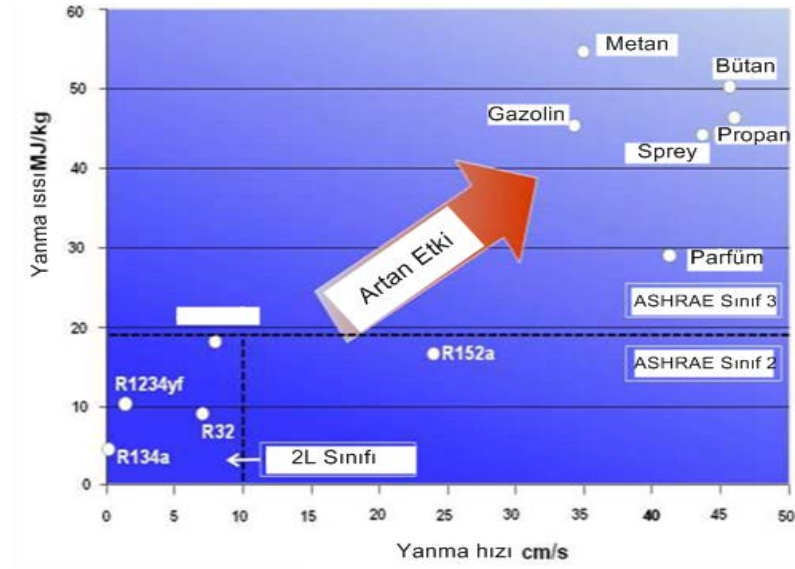
R152a Soğutkanı Düşük yanıcılığa fakat yüksek yanma hızına sahip olarak R134a Gazı gibi 2A Yanıcılık Sınıfında bulunmaktadır. Bu Araçlarda güvenli bir şekilde R134a yerine kullanılabileceğini göstermektedir.

Soğutucu akışkanlar için belirlenen yanıcılık dereceleri şu unsurlar göz önünde bulundurularak sınıflandırılmıştır;

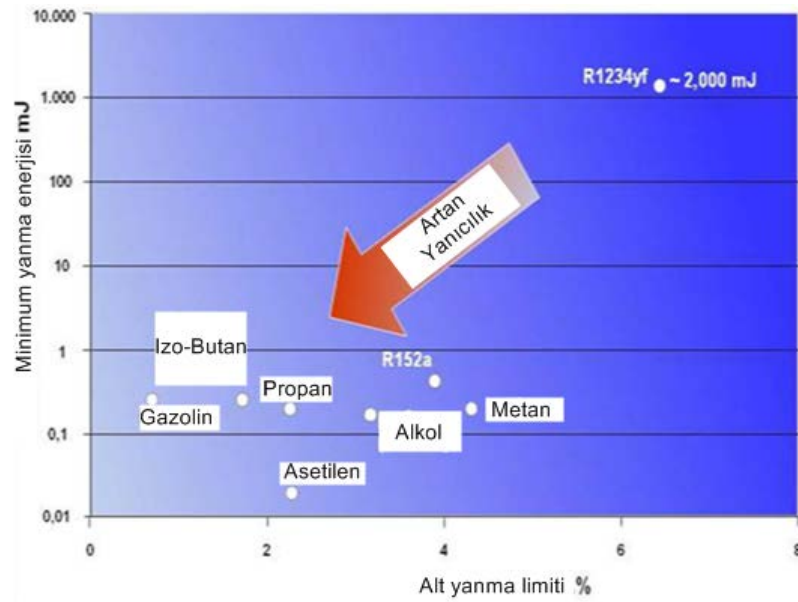
a) Alt yanma Limiti ve Üst Yanma Limiti:

Bir akışkanın yanması için ortamda bulunması gereken minimum ve maksimum miktarını belirtmektedir. Eğer bu limitlerin dışında soğutucu ortamda bulunursa,

yanması için gerekli oksijen miktarı olamayacağından yanma olayı gerçekleşmeyecektir (Spatz and Minor 2008).



Şekil 3.2. Yanmanın oluşturduğu etki



Şekil 3.3. Yanma olayının meydana gelme ihtimali

b) Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı

Bir tutuşturma kaynağı olmadan kendiliğinden alev almaya yetecek olan sıcaklık olarak tanımlanmaktadır (Bolaji 2011). Bu sıcaklık değeri ve üzerinde soğutkan kendiliğinden alev almaktadır. 454°C sistemimizin çalışma sıcaklıklarının çok üzerinde bulunan bir değerdir.

c) Yanıcılık Sınıflandırması

ASHRAE 34'de soğutucu akışkanlar yanıcılık özelliklerine göre üç kategoriye ayrılmıştır.

- Sınıf 1; 21°C'de ve 101 kPa basınçta alevlenme testinde yanmayan soğutkanları gösterir;
- Sınıf 2; 21°C'de, 101 kPa basınçta 0.10 kg/m³ yoğunlukta düşük yanıcılık gösteren ve 19 kJ/kg dan düşük yanma ısısı üreten soğutkanları ifade eder (HOC<19MJ/kg),
- Sınıf 3; 21°C'de, 101 kPa basınçta 0.10 kg/m³ yoğunlukta yüksek yanıcılık gösteren ve 19 kJ/kg dan büyük veya ona eşit yanma ısısı üreten soğutkanları ifade eder (HOC>19MJ/kg) (Bilen v.d 2013).

3.3.2. Zehirlilik özelliği

Soğutkanın zehirlenme etkisi (ATEL-Acute Toxicity Exposure Limit) 30 dakikadan kısa bir süre içerisinde sağlığı kötü bir şekilde etkilemeyecek en üst limiti göstermektedir (Spatz and Minor 2008). R152a Soğutkanı R134a Gazı ile aynı ATEL değerine (50 000 ppm) sahiptir. Ve zehirlilik sınıfı ASHRAE standartlarında A sınıfı olarak belirlenmiştir.

Görüldüğü gibi R-152a'nın ATEL değeri R-12 ve CO₂ gazından daha uygun ve R-134a gazı ile ise aynıdır. ASHRAE standartların da R-152a'nın zehirlilik sınıfını B olarak belirtilmiştir (Çizelge 3.5).

Soğutucu akışkanlar zehirlilik yönünden iki gruba ayrılır:

1. A sınıfı: Derişikliği 400 ppm'e eşit veya onun üzerindeki soğutkanları gösterir (düşük zehirlilik).
2. B sınıfı: Derişikliği 400 ppm'in üzerindeki soğutkanları gösterir (yüksek zehirlilik).

Çizelge 3.4. Soğutucu akışkanların zehirleme etkisi

Soğutucu akışkan	ATEL (ppm)-(mg/L)
R-12	18 000
R-134a	50 000
R152a	50 000
CO ₂	40 000
R-1234yf	101 000

Çizelge 3.5. Yanıcılık sınıflandırması

Yanıcılık sınıfı		Zehirlilik sınıfı	
		Grup A	Grup B
		Düşük zehirlilik	Yüksek zehirlilik
3	Yüksek yanıcılık	A-3 Metan, Propan, bütan	B3
2	Düşük yanıcılık	A1-HCFC-142b HFC-152b	B2-amonyak
1	Alevlenme özelliği yok	A1-CFC-11,12, 113,114,R500, 502, R22, R134a	B1-HCFC-123

Emniyet sınıflandırmasında bir harf ve bir sayı kullanılarak ifade edilir (örnek olarak A2). Alfabetik büyük harf zehirlilik özelliğini, sayı ise yanıcılığı ifade eder. Bazı gazların zehirlenme etkisi Çizelge 3.4’de gösterilmiştir. ATEL(acutetoxicityexposure limit) olarak adlandırılan bu değer 30 dakikadan kısa bir süre içerisinde sağlığı kötü bir şekilde etkilemeyecek maksimum limiti göstermektedir. Yani ortamdaki R-152a miktarı 50 000 ppm’in üzerine çıkmadığı sürece herhangi bir zehirleyici etki yaratmayacaktır (Bilen v.d 2013).

3.3.3. Yağlayıcılarla karışabilirlik

Sistem içerisinde kompresörün ihtiyaç duyduğu yağ gaz ile dolaşmakta olduğundan klima gazının bu mineral yağlar ile etkileşime girmemesi gerekir. Aksi durumda sistem içerisinde verimli çalışmanın düşeceği ya da çalışamaz duruma geleceği bilinmektedir. R152a gazı mineral yağlarla da iyi uyum sağlayan gazdır (Koyun vd. 2005).

3.3.4. Isıl kararlılık

Soğutma sistemlerinin imalatında kullanılan malzemeler ile bu akışkanların sıcaklık artışı durumunda materyaller ile uyumlu olması, tepkimeye girmemesi bu gazların ısı kararlılığıdır. R152a akışkanın ısı kararlılığı R134a gazı ile aynı özellikleri göstermekte ve kullanımında bir sakınca bulunmamaktadır.

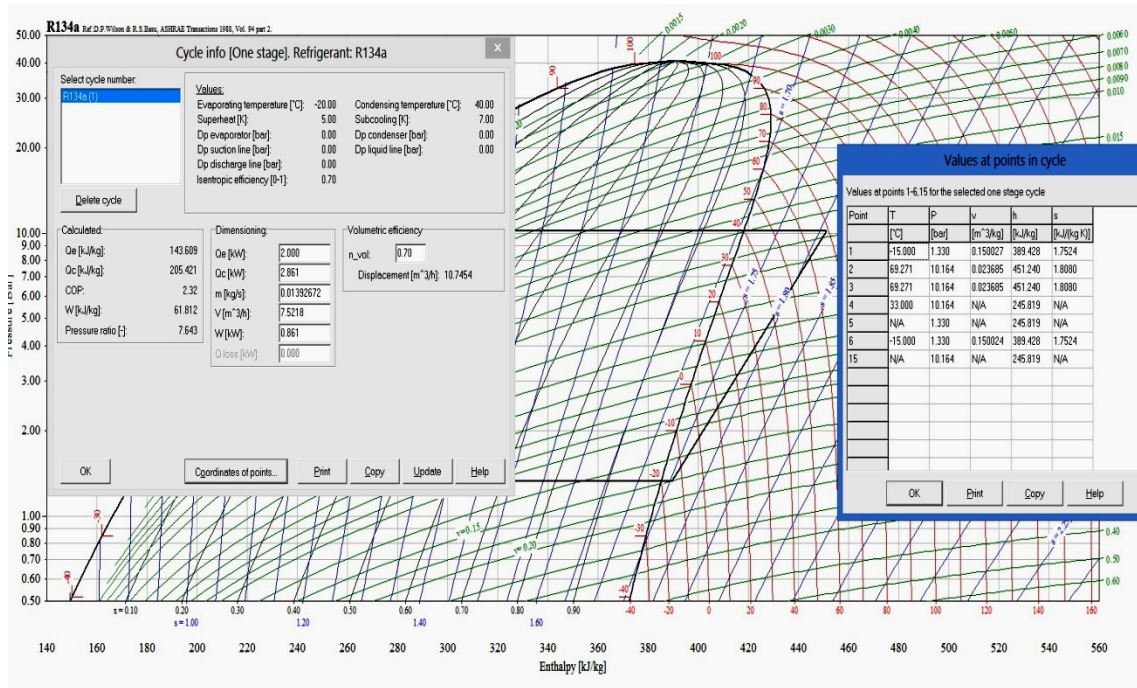
3.3.5. Diğer materyallerle uyumluluk

Soğutucu akışkan adayının iklimlendirme ünitesinde kullanılan materyallerle uyumlu olması gerekmektedir (Talley 2010). Soğutucu gazlar, Kimyasal olarak aktif olmamalıdır, tesisat malzemesinin etkilenmemesi, korozyon olmaması, yağlama yağının özelliğini değiştirmemesi gerekir (Koyun vd. 2005).

3.4. Cool Pack

Akışkan özellikleri ile R134a ile çalışan bir otomobil klima sistemi için uygun olduğunu düşündüğümüz R152a gazı için, CoolPack paket programı ve matematiksel denklemler yardımı ile hesaplamalar yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar literatür de yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Öncelikli olarak öngörülen sistem belirlenmiş, sistem üzerindeki elemanların özellikleri değerlendirmeye alınmış, literatür çalışmaları örnek alınarak sistem hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

CoolPack Buhar sıkıştırımlı bir çevrim için çözümleme yapabileceğimiz bir paket programıdır. Bu program üzerinden çalışılan sisteme göre T-v, P-h, T-s diagramları çıkarılabilmekte ve kompresör gücü, hacimsel debi, kütleli debi, evaporatör ısı yükü, kondenser ısı yükü gibi sistemin performansını ölçücü değerler hesaplanabildiği gibi, sçevrim boyunca sıcaklık, basınç değişimleri tespit edilebilmektedir.



Şekil 3.4. Cool Pack programı ekran görüntüsü

3.5. Akıllı Modeller

Günlük yaşantımızın her noktasında karşımıza birçok akıllı model ortaya çıkmaktadır. Akıllı sistemlerin ortak özelliği, o an kendi hafızalarında var olan programa bağlı kalarak bir öğrenme yetisinin olması ve bu öğrenmeye uygun olarak uygulama yapabilmesidir. Akıllı model uygulama konusunda hatalarının azaldığı ve çeşitlendirildiği görülebilmektedir. Bu önceden öngörü ve girdilerin tamamının doğru tahmin edilmesi, aynı zamanda uygulamanın da doğru olması sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada kullanımı yürürlükten kalkmakta olan R134a soğutucu akışkanına alternatif olabilecek R152a gazının otomobil klima sistemleri için uygun termodinamik özelliklerine sahip olduğu düşünüldüğünde 3 farklı akıllı model uygulaması ile farklı şartlar altında performans değerleri öngörülmüştür. Kullanılan 3 farklı metot ile öngörüler yapılmış ve sistem üzerinde daha önceden hazırladığımız test dataları karşılaştırılarak bu 3 model içinden en uygun modelin tespiti yapılmıştır.

3.5.1. Sinir ağları

Matematiksel bir denklem oluşturulduğu zamana her probleme göre denklemin değişmesi yerine her problemin denkleme uydurulması daha doğru olacaktır. Doğrusal olmayan bir problem için, çözümleme yapma aracı bunu doğrusal bir forma devşirmekle olabilir. Doğrusal olamayan bir problemin çözümü girdi değerleri ile ilişkili olacağı için, girdi değeri değişimlerinde çözüm istenildiği gibi sonuçlanmayacaktır. Dolayısı ile tüm girdilerin öngörülüp çözümlemenin yapılması öngörülmektedir (Gedik 2011).

Mühendislik uygulamaları içindeki kompleks yapıli eşitliklerin çözümünde, analitik çözümlemelerin algoritma kodlaması genelde karışık bir işlemdir. Tam doğru bir öngörü için ise bu kodlamaların yer aldığı programların güçlü bilgisayar ve yeterli miktarda zamana ihtiyacı vardır. Yapay sinir ağlarının kompleks matematiksel ifadeler için örnek olarak öğrenebileceği kilit bilgilere ihtiyacı vardır. Doğrusal olmayan bir

denklem için öngörüler bütün değişkenlerin tek tek verilememesi ve eksik kalması sebebiyle öngörülerde hata payı artışı olmaktadır (Kalogirou 2000).

Sinir ağları bir bilgisayarda programlanabilen bir yapı olup, çıktı için girdiye göre dinamik bir cevap sağlayan bir çok düğümden meydana gelmektedir (Xu et al. 1998). Yapay Sinir Ağı (YSA) insan beyninde olduğu gibi biyolojik sinir sistemi ilham alınarak bilgisayar yardımı ile modelleme tekniğidir. Kompleks olan fiziksel sistem model alınabilmektedir. YSA lar esas üretim elemanı nöronlardır. Sinapslara bağlı olduğu sürece hizmet verirler. Her nöron, bağlandığı girdi datasını alır. Bu girdiler belli bir biçimde kombine edilmektedir. Toplam bağlı girdi sayısı aşağıdaki formülde verilmiştir.

$$n = \sum_{i=1}^R w_i p_i + b \quad (3.1)$$

p_i ve w_i sırasıyla, girdi vektörü ve p_i girdi vektörünün bağlantı yükü. b nöronların eğilimini göstermektedir (Kamar vd. 2013).

$$h_i = f \left(\sum_{i=1}^n w_{ij} x_i - \theta_j \right) \quad (3.2)$$

h_i gizli katman sinirleri vektörü, i girdi katmanı nöronları, w_{ij} girdi ve gizli katmanarası yük, θ_j ise girdi ve gizli katman arası eşik değeridir. (Haşiloğlu vd. 2004)

$$Q_k = f \left(\sum_{i=1}^m w_{kj} x_j - \theta_k \right) \quad (3.3)$$

K çıkış simgesini simgelemektedir., W_{kj} gizli katman ile çıktı katmanı arası bağlı yükleri, θ_k gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki eşik değerini göstermektedir. (Haşiloğlu vd. 2004)

$f(x)$ ise Logistic Sigmoid aktivasyon fonksiyonudur.

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3.4)$$

$$\delta_k = O_k(1 - O_k)(Y - O_k) \quad (3.5)$$

δ_k Her bir çıkış siniri için hata vektörü, Y ise Çıkış siniri için hedef aktivasyon değerini göstermektedir (Haşiloğlu vd. 2004).

Gizli katman hata değeri

$$\delta_j = h_j(1 - h_j) \sum_{k=1}^m \delta_k w_{kj} \quad (3.6)$$

δ_j Her bir gizli katman değerinin hata vektörüdür (Haşiloğlu vd. 2004).

Giriş katmanında yük değerlerinin ayarlanması.

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \alpha \delta_k h_j + \eta (w_{kj}(t) - w_{kj}(t-1)) \quad (3.7)$$

Giriş katmanında eşik değerlerinin ayarlanması.

$$\theta_k(t+1) = \theta_k(t) + \alpha \delta_k \quad (3.8)$$

α öğrenme oranı, η önceki yükün bu zaman periyodunda (t) etkili yüke dönüşmesine izin veren momentum faktörüdür. (Haşiloğlu vd. 2004)

Gizli katmanında yük değerlerinin ayarlanması.

$$w_{ji}(t+1) = w_{ji}(t) + \alpha \delta_k h_i + \eta (w_{ji}(t) - w_{ji}(t-1)), \quad (3.9)$$

Giriş katmanında eşik değerlerinin ayarlanması.

$$\theta_j(t + 1) = \theta_j(t) + \alpha \delta_j \quad (3.10)$$

3.2 den 3.9'a kadar olan bütün adımlar, bütün nöron ve modeller için çıkış hata oranı kabuledilebilir bir toleransa ulaşana kadar tekrar edilir (Haşiloğlu vd. 2004).

Son yıllarda bir başka öngörü metodu olarak Stepwise regression modeli kullanılmaya başlanmıştır. Aslında deneysel ya da hesaplanmış ölçümlerin arasındaki bağıntıyı göstermek için kullanılmakta, lineer olmayan yüksek bir fonksiyon için bir çeşit alternatif istatistik tekniği olarak da lanse edilmektedir (Kaya vd. 2003).

Multiple –Regression metodu çalışma verileri arasındaki analizi gösterse de stepwise, ileri ve geriye doğru tahmin yapmamıza olanak sağlamaktadır ve muhtemelen en çok kullanılan metoddur.

Regression eşitliği aşağıda verildiği gibidir.

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p \quad (3.11)$$

Burad Y regression metodunun tahmin değeri a,

3.5.2. Bulanık mantık

Temel olarak klasik mantık cevaplandırmalarında sonuç evet ya da hayır şeklinde olmakta, bir kümeye ait olup olmamak ile alakalı cevaplar vermeye odaklı iken bulanık mantığın klasik mantıktan farklı olarak, cevaplarını kesin ifadeler ile değil, bu ögenin ilgili kümeye ait olma olasılığının 0 ile 1 arasında değerler alabilen sürekli bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilmesidir. Bulanık mantık tarafından yapılan öngörünün üyelik fonksiyonundan aldığı değer üyelik derecesi olarak adlandırılır. Bulanık küme

teorisinde üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında değerler alması, yalnızca sayısal değil sözel ifadelerinde bu mantık çerçevesinde çözümlenebilir olmasını sağlamaktadır (Yılmaz 2005).

3.5.3. ANFIS (Uyarlanabilir sinir-bulanık sonuç çıkarım sistemi)

Bulanık matik sistemleri, belirgin öngörü mekanizması ile ortaya çıkana kadar, bilgisayara sinir ağları önemli avantajlar sunuyordu. Bu avantajlar, öğrenme, adaptasyon, hata-toleransı, genelleme ve paralelleme konularında öne çıkıyordu. Daha belirgin ve iyi sonuçlar oluşturan bir sistem için, tıpkı insanlar gibi sinir ağlar ve bulanık mantık birlikteliğinden sinir-bulanık metodu geliştirilmiştir (Haşiloğlu vd. 2004). Son yirmi yıllarda Takagi ve Hayashi sinir-bulanık metodunun gelişmesinde öncü olmuşlardır. 90 lı yılların başında ise Jang, ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy inference System- uyarlanabilir sinir-bulanık sonuçlandırma sistemi) 'i geliştirmiştir. Bu sistem büyük profesyonel bir bilgi gerektirmeden eğitilebilir ve uygulanabilir bir sistem olarak öne çıkmaktadır (Haşiloğlu vd. 2004).

İstenen çıktı değerleri için, Sugeno bulanık modeli aşağıda belirtilen formülüzasyon ile belirlenmiştir.

$$\text{if } X_1 = A_i \text{ and } X_n = B \text{ then } B_j \text{ then } f_i = p_i X_1 + q_i X_n + r_i \quad (3.12)$$

Burada p_i , q_i ve r_i öğretim sürecinde kullanılan belirleyici dizayn parametrelerdir. Burada birleştirilmiş bir düğüm, uyarlanabilir bir düğüm olarak şekilleniyor. X_1 den X_n e kadar olan datalar girdi datalarıdır (Haşiloğlu vd. 2004).

Giriş katmandaki bütün girdiler uyarlanabilirdir. Bütün sinirler bu katmanda aşağıdaki fonksiyonun bir elemanı olarak bir çıktı eşitliğine tekabül ederler (Haşiloğlu vd. 2004).

$$OL1_i = \mu_{A_i}(X1) \quad (3.13)$$

İkinci katmanda bu düğümler artık uyarlanabilir değil düzeltilmiş halde olurlar, Bu katmanda her düğüm kuvvetli bir kuram içi tahminde bulunmuş olur. Bu kurallar çok çeşitli girdi sinyalleri ile olur;

$$OL2_i = w_i = \mu_{Ai}(X_1) \mu_{Bi}(X_n) \quad (3.14)$$

3. Katmandaki düğümler artık düzeltilmiş düğümlerdir. Her bir düğüm için, i değeri ile birlikte, j ninde bütün kuralların doğruluğu için tahmin edilebilir (w_i, w_j). Bir önceki katmanlara göre kurallar daha düzeltilmiş doğruluklar gösterirler. Bu katmandaki her bir düğüm için çıktı aşağıdaki denklemden verilmiştir (Haşiloğlu vd. 2004).

$$OL3_i \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^i w_i} \quad (3.15)$$

4. Katmandaki bütün düğümler uyarlanabilir. Bu katmanda i deki ve ilk verilen sugeno bulanık model kuralları için öncelikli olarak izafi bir tahmin oluşturur.

$$OL3_i \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i X_1 + q_i X_n + r_i) \quad (3.16)$$

Bu denklemden p_i, q_i ve r_i dizayn parametreleridir.

5. Katmanın sadece tek düğümü vardır. Ve fonksiyonun kısa özeti gibi çalışır. Bütün girdilerin kapsamlı bir çıktısını verir, bütün girdi sinyalleri bu katman için şu denklemlerle belirtilmektedir (Haşiloğlu vd. 2004).

$$OL5_i = \sum_{i=1}^j \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (3.17)$$

ANFIS yapısı tek bütün değildir. Bazı katmanlar kombine edilebilir ve aynı çıktıyı verebilirler (Haşiloğlu vd. 2004).

Yapay zeka modelini doğrulamak için istatistiksel analiz kullanıldı. Mesela Correlation coefficient (Korelasyon Katsayısı), RMSE, MSE, EI. Bütün bu metodlar, bir yapay zeka modelinin çıktı öngörülerini ile gerçek değerler arasında değerlendirme yapmayı sağlar. Bu değerler genelde deneysel sonuçlar ile kıyaslanır (Kamar vd. 2013). Akıllı sistem uygulamalarında yapılan tahminler için, doğruluğa yakınlığını test eden bazı hesaplama teknikleri mevcuttur. Hata Oranı bu bağlamda yüzde olarak belirtilmiş bir değer olup, sifıra yaklaştıkça doğruluk oranı artıyor demektir. Aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$\%Hata = \frac{t_j - t_o}{t_j} 100 \quad (3.18)$$

$$Ortalama \%Hata = \frac{1}{n} \sum_j \left(\frac{t_j - t_o}{t_j} 100 \right) \quad (3.19)$$

Burada t_j , Ölçülen değer, t_o , öngörülen değer, n ise hesaba giren data sayısıdır (Arcaklıoğlu vd. 2004).

Yapılan öngörülerde, yapılan tahminlerin doğruluğunun göstergesi olarak kullanılacak sonuçlardan birisi standart sapmadır. S ile gösterilir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır (Kaya vd. 2003).

$$S = \sqrt{\frac{\sum (t_j - o_j)^2}{n-1}} \quad (3.20)$$

Belirtilen formülde n , standart sapması hesaplanan tahmin sayısını ifade etmektedir. S değeri ne kadar düşük olur ise modelin performans değeri o kadar yüksek oluyor demektir (Kaya vd. 2003).

Bir Korelasyon Katsayısı (R) öngörülen sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasındaki uyumun fazlalığının göstergesidir. Ref. tarafından bulunmuştur (Kamar vd. 2013).

$$R = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}}, \quad (3.21)$$

S_{xx} ve S_{xy} yi veren formüller ise aşağıdaki gibidir.

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n} \quad (3.22)$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \quad (3.23)$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \quad (3.24)$$

Yukarıdaki formülasyonda n değeri toplam kullanılan ilgili kısımdaki data sayısıdır. CC (R) -1 ile 1 arasında değer almaktadır. R değeri 1 'e yaklaştığı zaman x ve y data grafiğinde YSA öngörülen çıktıları ile gerçek sonuçlar arasında doğru orantı oranı artıyor demektir. Diğer taraftan -1 değerine yaklaştıkça değerler arası doğru orantı azalmakta, negatif lineer artmaktadır. Eğer R değeri 0 a yakın ise negatif ya da pozitif datalar ile alakalı bir bağ yok demektir.

YSA performansını ölçmenin diğer yolları ise MSE (mean square Error) ve RSE (root square Error), EI (error index) yöntemleridir (Kamar vd. 2013).

$$EI = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n (y_i - x_i))^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}} \quad (3.25)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Otomobil klima sistemleri için alternatif soğutucu akışkan termodinamik analizinde bir otomobil klima sistemi üzerinde Cool Pack programında yapılan çalışma üzerinden aynı şartlar oluşturularak farklı gazların performans verileri hesaplanmıştır. Bu aşamada Cool Pack programı yanında matematiksel hesaplamalar kullanılarak devir hesabı yapılarak oluşturulan bir Excel programı üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Cool Pack programı üzerinde evaporatör sıcaklığı, kondenser sıcaklığı, aşırı kızdırma ve aşırı soğutma değerleri ile izometrik verim girilerek oluşturulan P-h diagramı üzerinden, seçilen kompresör için geliştirilmiş bir formül kullanılarak oluşturulmuş hacimsel debi kullanılarak Cool Pack üzerinden *soğutma yükü*, *kompresör işi*, *COP* (Soğutma Tesir Katsayısı) ve *sıkıştırma oranı* hesaplanabilmektedir. Bu aşamada en kritik veri *COP*, *kompresör işi* ve *Basınç oranı* olarak belirlenmiştir.

R134a soğutucu akışkanına otomobil klima sistemleri için alternatif olacak olan soğutucu akışkan için bakılması gereken ilk oranlardan biri sıkıştırma oranı öne çıkmaktadır. Kullanılacak akışkanın daha önceden kullanılan R134a ile çalışan bir kompresör ile uyumlu olmasının bir göstergesidir. Sıkıştırma oranının benzer yada yakın olması sistem üzerinde önemli bir değişiklik yapmadan alternatif akışkanın kullanılabilmesini sağlar. Alternatif akışkan için bakılacak olan ikinci değer ise COP dir. Burada COP değeri enaz R134a değerine yakın ya da üstte birdeğre sahip olması gerekmektedir ki sistem verimi ve klima performans kalitesinde bir düşüş yaşanmasın.

Kompresörün devri ve soğutma yüküne bağlı olarak sisteme verilen yaptığı işe kompresör işi denmektedir. Bu değer akışkanın COPsi ve sıkıştırma oranı kadar sistem verimi açısından da önemli bir göstergesidir.

4.1. Cool Pack Uygulaması

Otomobil klima sistemi düşünüldüğünde alternatif bir soğutkan için Cool Pack paket programı üzerinde yaptığımız çalışmalarda elde ettiğimiz değer ve grafikler aşağıda gösterilmiştir.

Çalışma verileri Cool Pack yardımı ile hesaplanırken şu girdi değerleri hesaplamalarda Kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Coolpack programında kullanılan sistem için sabit değerler

Kompresör Bilgileri:	
Strok Uzunluğu	35 mm
Piston Sayısı	5 adet
Strok Uzunluğu	28.6 mm
Volümetrik Verim	%70
Sistem Bilgileri	
Kondenser Sıcaklığı	40°C
Aşırı kızdırma	5°C
Aşırı soğutma	7°C

Çizelge 4.1’de belirtildiği üzere bu sabit değerler ile birlikte -20°C ile 0°C derece arasında 5 er derece artırılarak evaporatör sıcaklıkları değiştirilmiştir. Bununla birlikte Her evaporatör sıcaklığı için, kompresör devri n (dev/dak), kondenserden atılan ısı yük Q_k (kW), kompresör işi W_k (kW), basınç oranı P_r (kPa/kPa), kütleli debi m (gr/sn) çıktıları ilk çalışma sonucunda elde edilmiştir.

Sistem kondenser çıkışı için 7°C aşırı soğutma, evaporatör giriş sıcaklığı için 5°C aşırı kızdırma değerleri kabulü yapılmıştır.

Aşağıda Çizelge 4.2’de, elde edilen değerler R134a, R152a ve R22 için ayrı ayrı verilmiştir.

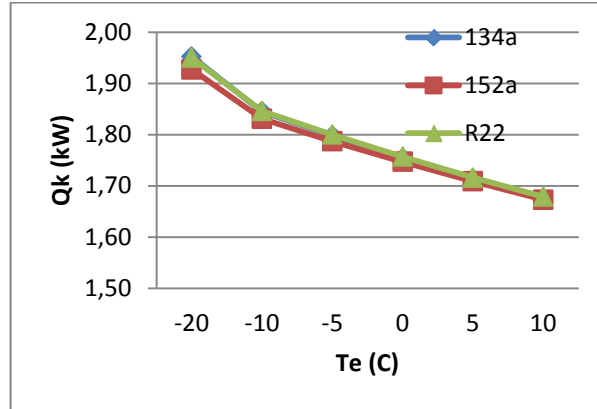
Çizelge 4.2. Soğutucu gaz R134a, R152a ve R22 için bulunan değerler

134a						m (gr/sn)
Te	Qk	Wk	COP	Pr	n	
-20	1.95	0.45	3.32	7.64	1770	14.92
-10	1.85	0.35	4.35	5.06	1147	14.29
-5	1.80	0.30	5.04	4.18	935	14.00
0	1.75	0.25	5.90	3.47	768	13.72
5	1.71	0.21	7.02	2.91	635	13.43
10	1.68	0.18	8.52	2.45	528	13.15

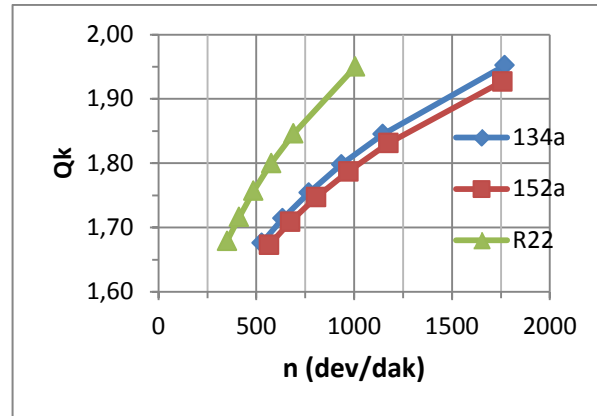
152a						m (gr/sn)
Te	Qk	Wk	COP	Pr	n	
-20	1.93	0.43	3.51	7.30	1758	8.86
-10	1.83	0.33	4.53	4.92	1175	8.57
-5	1.79	0.29	5.22	4.09	971	8.43
0	1.75	0.25	6.08	3.42	806	8.32
5	1.71	0.21	7.19	2.87	674	8.20
10	1.67	0.17	8.68	2.43	566	8.09

R22						m (gr/sn)
Te	Qk	Wk	COP	Pr	n	
-20	1.95	0.45	3.33	6.26	1006	13.38
-10	1.85	0.35	4.33	4.33	690	13.02
-5	1.80	0.30	5.00	3.64	577	12.86
0	1.76	0.26	5.84	3.08	486	12.72
5	1.72	0.22	6.93	2.63	412	12.58
10	1.68	0.18	8.38	2.25	351	12.45

Yukarıda verilen Çizelge 4.2 değerleri için aşağıdaki grafikler hazırlanmıştır.

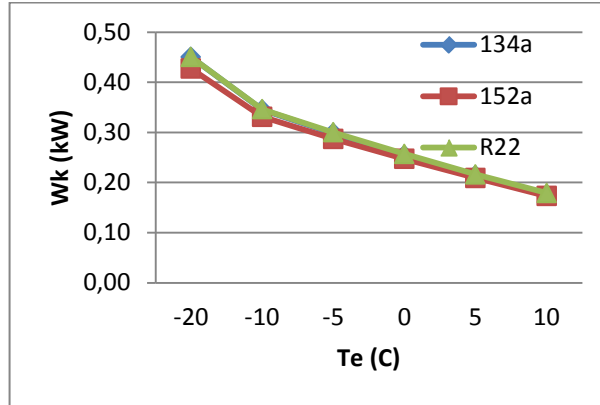


Şekil 4.1. Kondenser de atılan ısı yükünün evaporatör buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $Q_e=1.5\text{ kW}$)

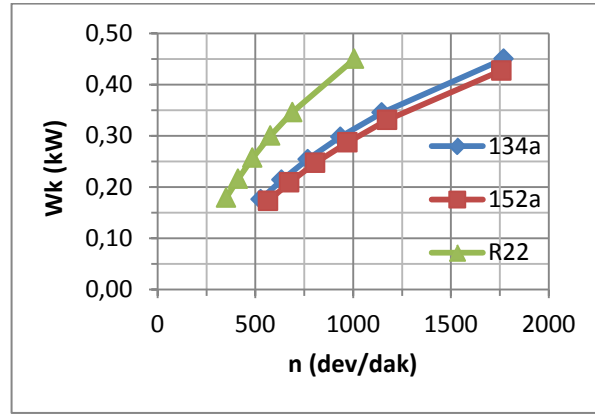


Şekil 4.2. Kondenser de atılan ısı yükünün kompresör devir sayısı ile değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $Q_e=1.5\text{ kW}$)

Şekil 4.1'de Kondenserde atılan ısı yükün (Q_k) evaporatör buharlaşma sıcaklığına (T_e) göre değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi R152a, R134a ve R22 gazları için kondensere atılan ısı yükler çeşitli evaporatör sıcaklıklarında büyük benzerlik göstermektedir. Evaporatör buharlaşma sıcaklıkları düştükçe, kondenserde atılan ısı yükler artmakta ve evaporatör sıcaklığı yükseldikçe kondenserde de atılan ısı yükler de bununla birlikte azalma göstermektedir çünkü evaporatörün çektiği ısı düşmektedir. Düşük evaporatör sıcaklıklarında kompresör için daha fazla güç vermek gerekmektedir ve bunun sonucunda Şekil 4.2'de görüldüğü üzere kondenserde ısı yükü artmaktadır. Çünkü kondenserde atılan ısı yük (Q_k) evaporatör soğutma yükü (Q_e) ile kompresörde tüketilen enerjilerin (W_k) toplamına eşittir.

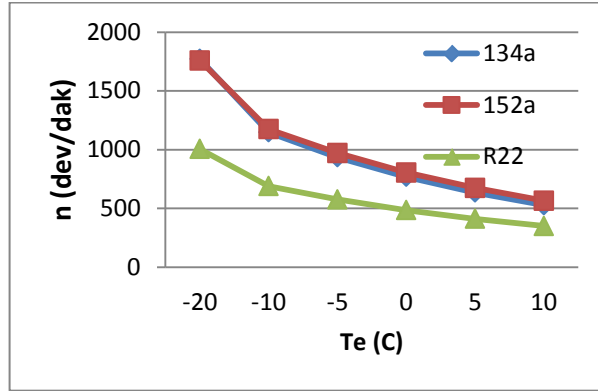


Şekil 4.3. Kompresör işinin evaporatör buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $Q_e=1.5\text{ kW}$)

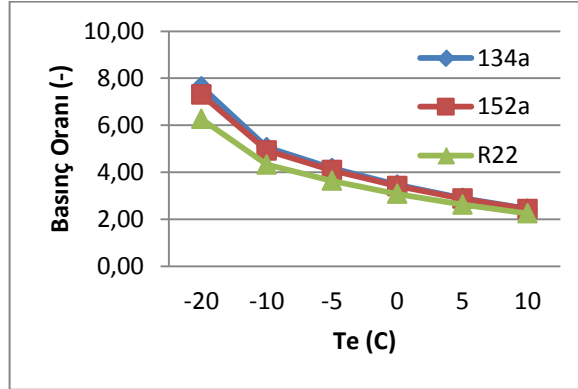


Şekil 4.4. Kompresör işinin kompresör devir sayısı ile değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $Q_e=1.5\text{ kW}$)

Evaporatör soğutma yükü (Q_e)=1,5 kW sabit olduğu için kondenser ısı yükü (Q_k) de kompresör işiyle artış göstermektedir. Bu durum Şekil 4.3'te de açıkça görülebilir. Şekil 4.4'de ise kondenserde atılan ısı yükün kompresör devir sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Artan devir sayısı ile birlikte kondenserden atılan ısı yükte artmaktadır. Burada devir sayısı ile birlikte kompresörde harcanan iş artmakta ve sonuçta evaporatörde atılan ısı yük de artmaktadır.



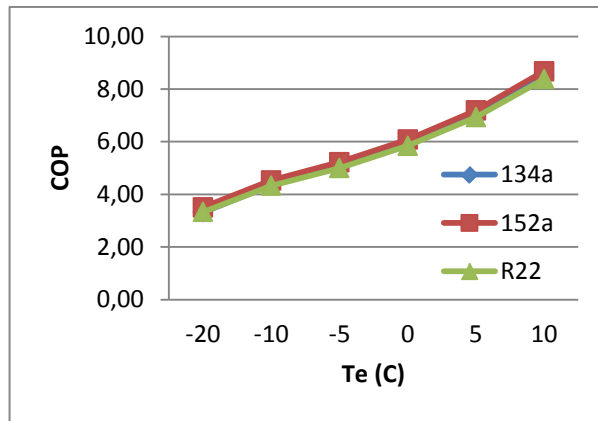
Şekil 4.5. Kompresör devir sayısının evaporatör buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $Q_e=1.5\text{ kW}$)



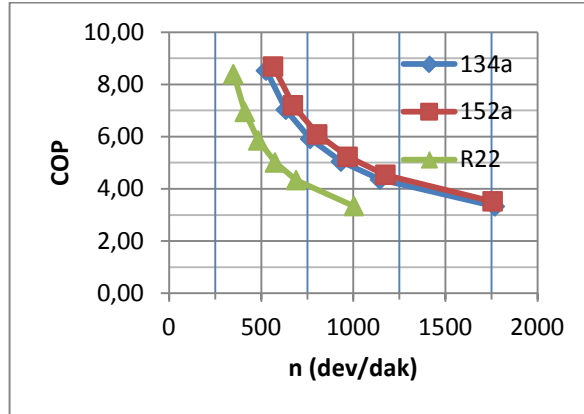
Şekil 4.6. Kompresör basınç oranının evaporatör buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $Q_e=1.5\text{ kW}$)

Şekil 4.5'de incelenen soğutucu gazlar için kompresörün devir sayısının evaporatör buharlaşma sıcaklığına göre değişimi gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi düşük buharlaşma sıcaklığında kompresör daha yüksek devirlerde dönmekte ve artan buharlaşma sıcaklığıyla devir sayısı düşmektedir. Burada yine kompresör devir sayıları R134a ile R152a gazları için büyük benzerlik göstermektedir. Burada devir sayılarının, düşük buharlaşma sıcaklıklarında büyük olmasının nedeni artan kompresör işiyle açıklanabilir. İncelenen gazlar için kompresör devir sayısı, artan buharlaşma sıcaklığı ile yavaşça azalış göstermektedir ve devir sayıları evaporatör sıcaklığına göre R134a ve R152 gazları için hemen hemen aynı olmaktadır. Diğer iki gazın devir sayıları R22 gazı ile karşılaştırıldığında düşük evaporatör sıcaklıklarında yaklaşık %80'lik bir artış görülmektedir.

Şekil 4.6’da kompresörün giriş ve çıkış basınç oranlarının evaporatör buharlaşma sıcaklıklarına göre değişimi gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi artan buharlaşma sıcaklığı ile basınç oranları düşmekte ve basınç oranları R134a ve R152 gazları için hemen hemen aynı olmaktadır. Bu durum soğutma tesisatında herhangi bir değişiklik yapılmadan aynı basınç oranlarında çalışan tesisatta R134a gazı yerine R52a gazının kullanılabileceğini bize göstermektedir. Yada çok küçük değişiklikler yapılarak kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Genelde soğutma sistemleri tesisatındaki yapılacak değişiklik sistemin basınç oranları değiştiği zaman dikkate alınmaktadır. Bunun yanı sıra aynı zamanda boru malzemesinin soğutucu gaz ile uyumunun da dikkate alınması gerekmektedir. Uyumsuzluk halinde boru malzemesinin tipinde de değişikliğe gidilmesi gerekir.



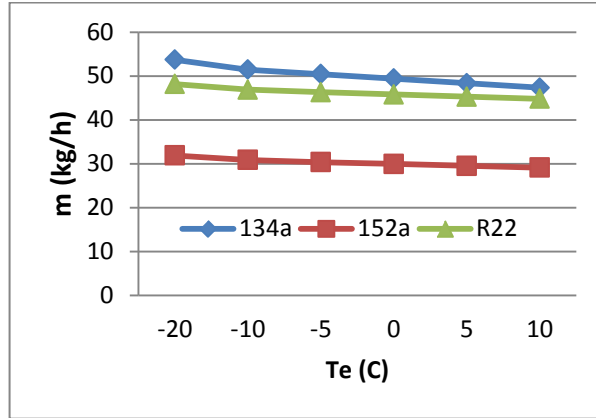
Şekil 4.7. Sistemin soğutma performansı COP’nin evaporatör buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $Q_e=1.5\text{ kW}$)



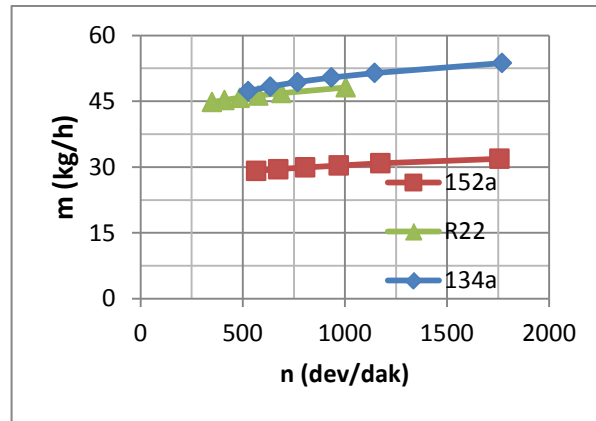
Şekil 4.8. Sistemin soğutma performansı COP'nin kompresör devir sayısı ile değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $Q_e=1.5\text{ kW}$)

Şekil 4.7'de soğutma sisteminin performansını gösteren COP değerinin evaporatör buharlaşma sıcaklığı ile değişimi gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi sistemin COP si her zaman düşük evaporatör sıcaklığında daha düşük ve artan buharlaşma sıcaklıkları ile ise daha büyük olmaktadır. En yüksek COP değeri en yüksek evaporatör sıcaklığında elde edilmektedir. Sonuçta sıcaklık farkı (kondenser ve evaporatör arasındaki sıcaklık farkı) büyüdükçe sistemin COP değeri düşmekte ve küçülen sıcaklık farkı ile de artmaktadır.

Şekil 4.8'de ise soğutma sisteminin COP değerinin devir sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Soğutucu gazlar için düşük devir sayılarında sistemin COP'si yüksek olmakta ve devir sayısı arttıkça sistemin COP'si de yavaşça azalmaktadır. Buradan soğutma sistemi düşük devirlerde çalıştırıldığı zaman her zaman sistem daha büyük COP değerlerine sahip olacağı görülmektedir.



Şekil 4.9. Soğutucu gaz kütle debisinin evaporatör buharlaşma sıcaklığı ile değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $Q_e=1.5\text{ kW}$)

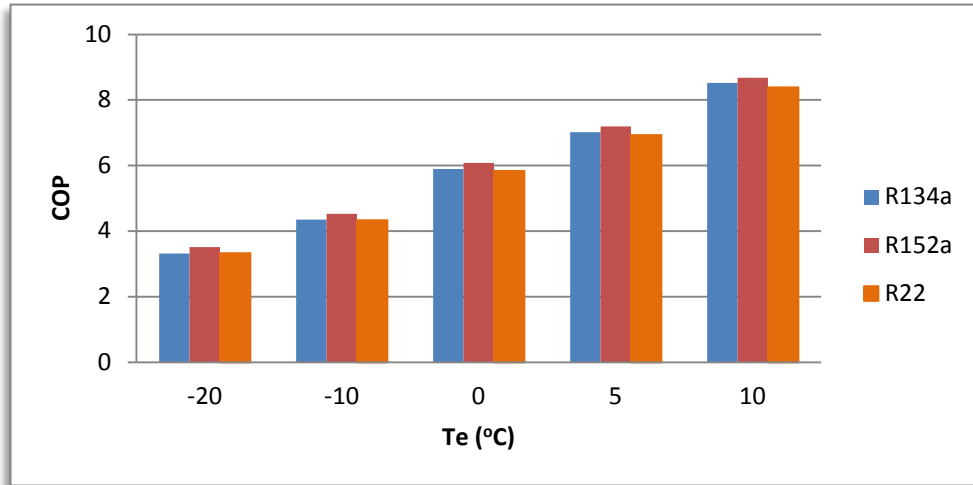
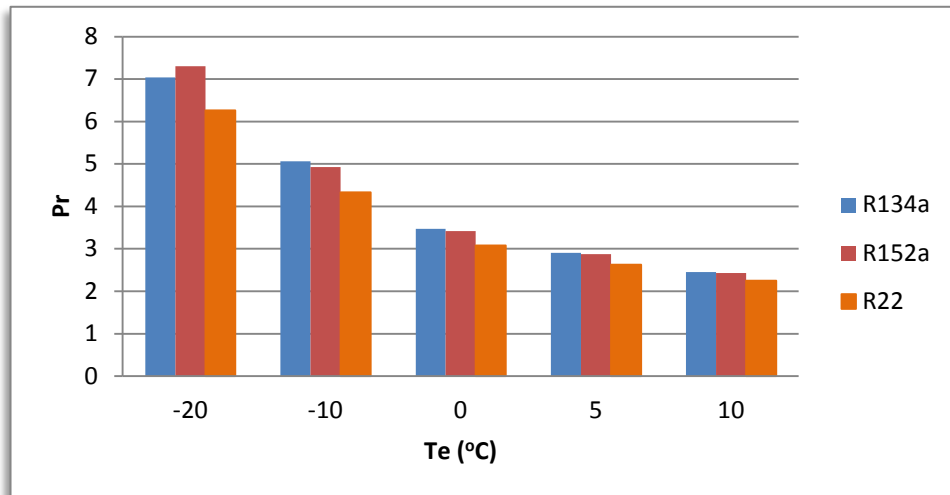


Şekil 4.10. Soğutucu gaz kütle debisinin kompresör devir sayısı ile değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $Q_e=1.5\text{ kW}$)

Şekil 4.10 ve 4.11’de soğutma sisteminde dolaşan soğutucu gaz kütleli debisinin evaporatör buharlaşma sıcaklığı ve kompresör devir sayısı ile değişimi sırasıyla gösterilmiştir. Bu şekillerden sistemde en fazla soğutucu gaz kütlesi R134a için olmakta ondan sonra R22 gazı için olmaktadır. En az kütleli gaz debisi ise R152a gazı için olmaktadır. Burada sistemde dolaşan soğutucu gaz kütleli debisinin en alt seviyede olması soğutma sistemi için bir avantajdır. Ayrıca yine soğutucu gaz kütleli debisinin sistemde artan devir sayısına artışı çok az olmakta ve aynı devir sayısında ise en az soğutucu gaz debisi R152a için olmaktadır. Buda soğutma sistemlerinde enerji tüketimi açısından istenilen bir durumdur.

Çizelge 4.3. Çeşitli gazlar için COP ve P_r değerleri ($n=1200$ dev/d, $T_k=40^\circ\text{C}$)

	R134a		R152a		R22	
T_e	COP	P_r	COP	P_r	COP	P_r
-20	3.32	7.04	3.51	7.304	3.39	6.365
-10	4.35	5.063	4.53	4.924	4.42	4.384
0	5.9	3.471	6.08	3.416	5.97	3.113
5	7.02	2.907	7.19	2.874	7.09	2.65
10	8.52	2.452	8.68	2.432	8.57	2.269

**Şekil 4.11.** Farklı evaporatör buharlaşma sıcaklıklarında COP değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $n=1200$ dev/dak)**Şekil 4.12.** Farklı evaporatör sıcaklıklarında basınç oranları değişimi ($T_k=40^\circ\text{C}$, $n=1200$ dev/dak)

Çizelge 4.3’de verildiği üzere sabit devir ile kompresörün çalışması durumunda evaporatör buharlaşma sıcaklıklarına göre COP ve sıkıştırma oranı karşılaştırılması verilmiştir. Bulunan bu değerler aynı kompresör tipi için aynı volumetrik verim ve kondenser sıcaklığında sabit kompresör devir (1200 dev/d) değerinde hesaplanan değerlerdir.

Şekil 4.12’de farklı evaporatör sıcaklıklarında soğutma sisteminin COP değerleri gösterilmiştir ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $n=1200$ dev/dak). Farklı evaporatör sıcaklıklarında COP değeri R152a gazı için her zaman en iyi olmuştur. R134a ve R22 gazı için ise COP değerleri yaklaşık aynı olmaktadır. Yüksek evaporatör sıcaklıklarında COP değeri en düşük R22 gazı için olmaktadır. Burada R12 gazının gösterilmesi soğutma sistemlerinde yaygın kullanıldığı için karşılaştırma amaçlı verilmiştir.

Şekil 4.13’de farklı evaporatör sıcaklıklarında kompresör emme ve basma basınç oranlarının değişimi gösterilmiştir ($T_k=40^{\circ}\text{C}$, $n=1200$ dev/dak). Buradan görüldüğü gibi düşük evaporatör sıcaklıklarında basınç oranı en büyük olmakta ve artan evaporatör sıcaklıkları ile artış göstermektedir.

4.2. ANFIS Modelleri

Otomobil Klima Sistemi için yapılan çalışmalarda ANFIS modeli için daha iyi öngörü performansı sağlanması adına 160 adet data hazırlanmıştır. Hazırlanan datalara belli bir sisteme dahil olmadan karıştırılarak düzensiz bir şekilde sıralanıp 2 gruba ayrılmıştır. Her grupta 80 düzensiz sıralanmış data bulunmaktadır. İlk 80 grup eğitim datası olarak, ikinci 80 data ise test için kullanıldı.

Eğitim dataları ile ANFIS uygulamasının yanı sıra, Sinir Ağı ve Multi-Regression metodu eğitimi için kullanılmıştır. Eğitim dataları ile test dataları arasındaki yakınlık ayarlanmadan yapılan karışım sonucunda, test datalarının uygun özelliklerle eğitim datalarından farklı yığılmaya sahip olması istenmiştir. Bu sayede elde edilecek sonuçlar modelin başarısı açısından önemlidir.

Oluşturulan ANFIS modelinde hiç öğretilmemiş 20 veri set değerleri verilerek, modelin çıktı olarak COP, W_k , P_r değeri tahmin edilmiştir. Çalışma esnasında hazırlanan eğitim dataları aşağıda izelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. ANFIS uygulaması için hazırlanan eğitim dataları

Tk (°C)	n (dev/d)	Qc (kw)	$\dot{m}$ (kg/m ²)	T _e (°C)	Qe(kW)
60	1000	1.828	0.00639264	-10	1.357
40	2500	6.343	0.2110652	-2	5.398
70	2000	5.674	0.02129325	5	5.674
60	2000	3.08	0.01066187	-15	2.22
40	1500	4.058	0.01354569	0	3.485
60	1600	2.464	0.00852949	-15	1.776
40	1000	1.638	0.00533102	-15	1.308
40	2500	3.681	0.01191418	-18	2.895
60	1400	3.548	0.01264243	0	2.782
40	1000	2.301	0.00761956	-5	1.931
40	1500	2.92	0.00958913	-10	2.392
60	2000	3.301	0.01147405	-13	2.407
60	600	1.521	0.00541818	0	1.192
60	2000	4.316	0.01523893	-5	3.299
40	2500	4.703	0.01541936	-11	3.834
40	2000	4.601	0.01523893	-5	3.861
40	2500	5.943	0.01971564	-4	5.011
50	2000	3.914	0.01324857	-9	3.075
70	1500	2.631	0.00958913	-10	2.631
40	1000	2.013	0.00662437	-9	1.658
60	2000	3.534	0.01233552	-11	2.608
40	2000	3.635	0.01189848	-12	2.949
40	2000	2.841	0.00917685	-19	2.223
40	2000	4.306	0.01421556	-7	3.58
40	2500	3.952	0.01284201	-16	3.142
40	2500	4.39	0.01434253	-13	3.543
40	1500	3.124	0.01029392	-8	2.584
40	1500	2.822	0.00925168	-11	2.3
40	2500	3.424	0.0110413	-20	2.665
60	2000	2.771	0.0095137	-18	1.961
70	2000	4.857	0.01806084	0	4.857
40	1000	1.696	0.00553105	-14	1.362
40	1000	1.818	0.00594932	-12	1.475
40	1500	2.634	0.00860558	-13	2.126
60	600	0.774	0.00264989	-20	0.541
70	2500	4.385	0.01598177	-10	4.385
70	2000	2.961	0.01067328	-15	2.961
50	2000	2.764	0.0917685	-19	2.057
40	1000	1.42	0.00458848	-19	1.111
40	1500	3.339	0.01204608	-6	2.789
40	1500	2.055	0.0066482	-20	1.599

Çizelge 4.4. (devam)

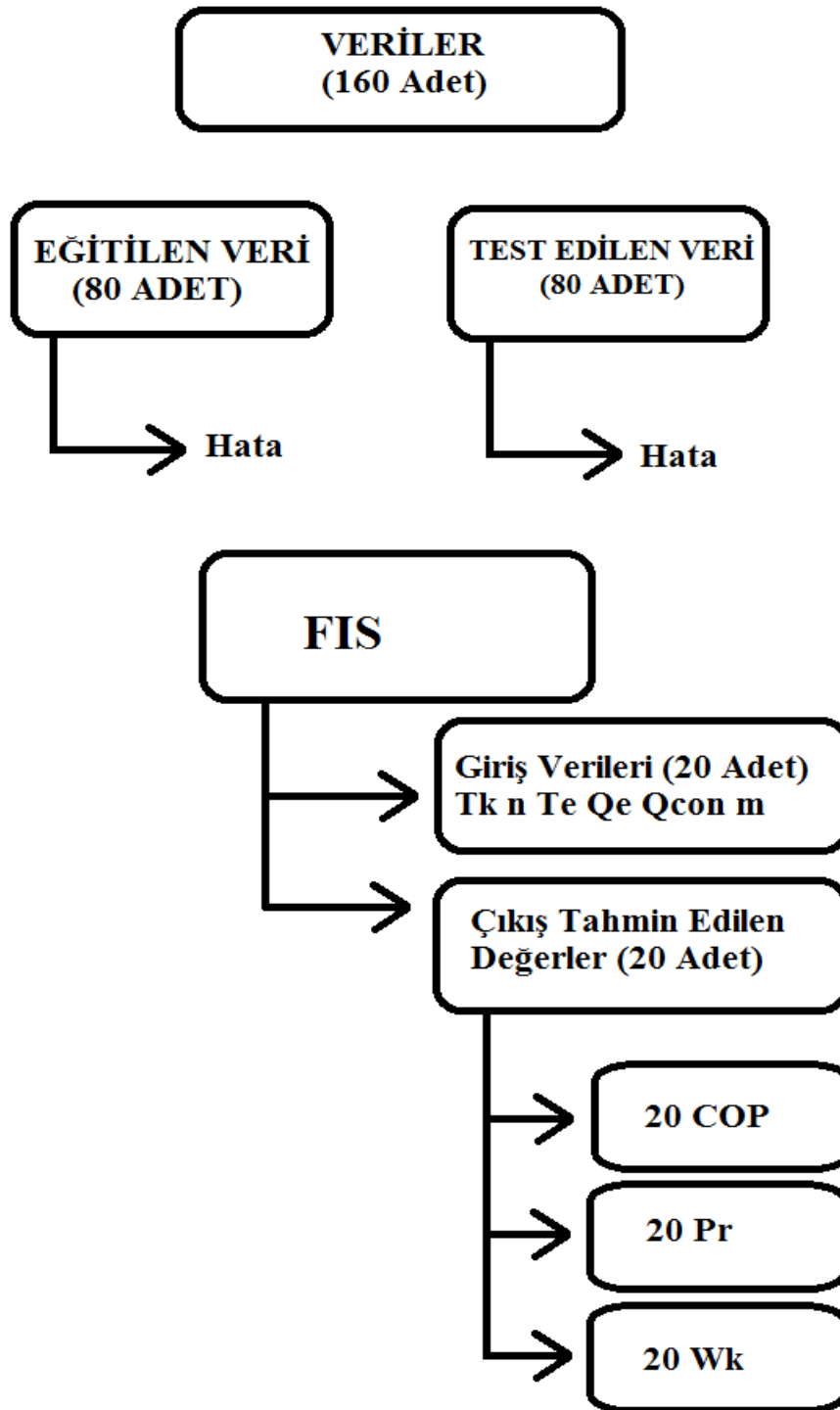
40	2500	5.206	0.01715642	-8	4.307
60	2000	4.605	0.01632121	-3	3.553
60	1553	2.861	0.00979629	-20	2
50	2000	3.415	0.01147405	-13	2.627
40	1000	2.153	0.00720787	-7	1.79
70	1500	1.859	0.00662482	-20	1.859
60	1800	2.322	0.00794973	-20	1.623
60	2000	4.176	0.01472004	-6	3.17
40	1500	2.208	0.00714856	-18	1.737
60	600	1.097	0.00383559	-10	0.814
60	1400	1.806	0.00618307	-20	1.262
40	1500	3.566	0.01182946	-4	3.007
60	1800	3.29	0.01150687	-10	2.442
60	1600	3.453	0.01219118	-5	2.635
60	1400	2.559	0.0089497	-10	1.899
40	2000	4.912	0.01632121	-3	4.161
50	2000	4.47	0.01523893	-5	3.586
60	1000	2.534	0.00903031	0	1.987
40	1500	3.806	0.0126046	-2	3.239
40	2500	4.866	0.01598177	-10	3.987
40	2000	3.992	0.01106196	-14	2.724
60	1031	2.695	0.00942446	-10	2
50	2000	3.657	0.01233552	-11	2.844
40	2500	5.565	0.01840001	-6	4.648
60	705	2.551	0.00908923	0	2
40	1500	2.371	0.00771526	-16	1.885
60	800	1.726	0.0060955	-5	1.318
60	1800	4.562	0.01625478	0	3.557
60	800	1.232	0.00426471	-15	0.888
40	2000	4.027	0.01324857	-9	3.315
70	2500	3.099	0.0110413	-20	3.099
60	2000	4.91	0.01746502	-1	3.83
60	2000	2.974	0.01027364	-16	2.131
70	1000	2.429	0.00903053	0	2.429
60	1200	1.848	0.00639706	-15	1.332
40	1000	2.456	0.008160171	-3	2.081
40	2000	5.24	0.01746502	-1	4.48
70	1000	2.837	0.01064676	5	2.837
40	1000	2.62	0.00873262	-1	2.24
60	1000	1.29	0.00441648	-20	0.902

ANFIS tarafından Çizelge 4.4'deki değerler kullanılarak yapılan eğitim aşaması sonrasında Çizelge 4.5'deki değerler ile test aşaması yapılmıştır.

Çizelge 4.5. R152a ANFIS modeli için kullanılan test dataları

INPUT						OUTPUT _{CP}		
T _k (oC)	n (dev/d)	T _e (oC)	Q _e (kW)	Q _{con} (kW)	m	Pr _{CP}	COP _{CP}	Wk _{CP}
60	1400	-5	2.306	3.021	0.010667	6.763	3.22	0.715
40	2500	-17	3.016	3.815	0.012371	6.468	3.78	0.798
60	1600	0	3.179	4.055	0.014487	5.653	3.63	0.876
70	2000	-20	2.479	2.479	0.008833	15.208	1.9	0.855
60	2000	-2	3.689	4.756	0.016885	6.069	3.46	1.066
70	1000	-10	1.754	1.754	0.006393	10.252	2.33	0.527
40	1500	-15	1.963	2.457	0.007996	5.974	3.97	0.494
60	2000	-17	2.045	2.871	0.009897	10.703	2.47	0.826
40	2500	-19	2.778	3.551	0.011471	7.012	3.6	0.772
40	2500	-15	3.271	4.094	0.013327	5.974	3.97	0.823
40	2000	-15	2.617	3.275	0.010662	5.974	3.97	0.658
70	1000	-15	1.479	1.479	0.005331	12.439	2.1	0.477
50	2000	-7	3.322	4.184	0.014216	5.704	3.86	0.862
50	2000	-17	2.234	2.969	0.008969	8.385	3.04	0.735
50	2000	-15	2.424	3.185	0.010662	7.745	3.18	0.762
60	1200	-5	1.976	2.589	0.009143	6.763	3.22	0.613
40	1000	-17	1.207	1.526	0.004985	6.468	3.78	0.319
60	2000	-8	2.934	3.909	0.013725	7.556	3.01	0.975
40	2000	-17	2.413	3.052	0.009897	6.468	3.78	0.639

Yapılan çalışma sonrasında COP, W_k, P_r, değerleri için tahmin ve hesaplanan değerler aşağıda karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu safhada Multi-Regression ile hesaplanan datalarda eklenerek hangi modelinn daha iyi sonuç verdiği karşılaştırılabilir.



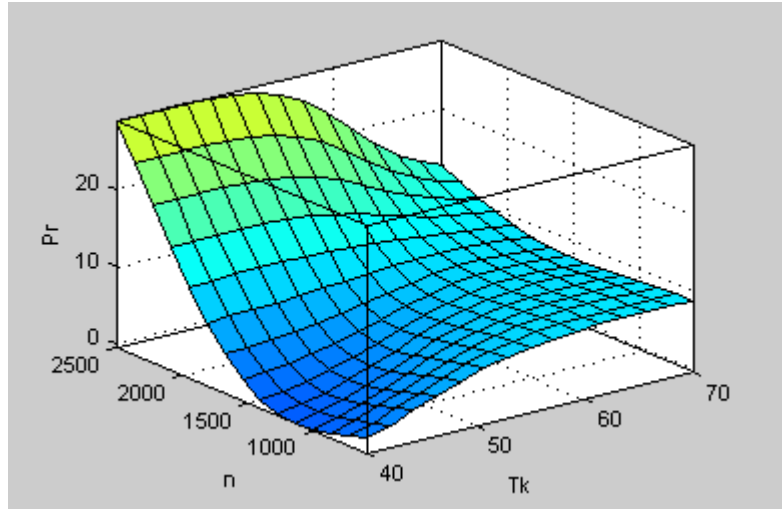
Şekil 4.13. ANFIS modeli diagramı

Çizelge 4.6. P_r çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R152a)

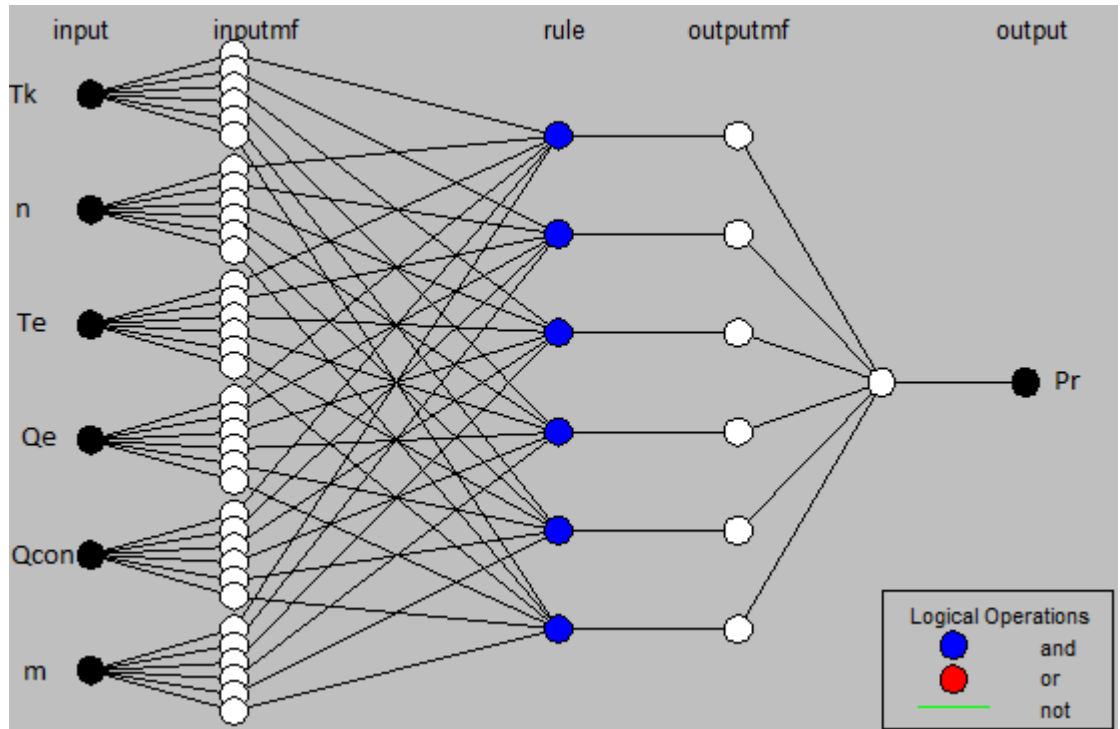
P_{r-CP}	$P_{r-ANFIS}$	dP_{-ANFIS}	$\%dp_{-ANFIS}$	P_{r-MR}	dP_{-MR}	$\%dP_{-MR}$
6.763	6.76	0.003	0.044359012	7.010126	-0.24713	-3.65408
6.468	6.46	0.008	0.123685838	6.832574	-0.36457	-5.63657
5.653	5.69	-0.037	-0.654519724	5.661072	-0.00807	-0.14279
15.208	15.6	-0.392	-2.577590742	13.43542	1.772581	11.65558
6.069	6.09	-0.021	-0.346020761	6.268606	-0.19961	-3.28895
10.252	10	0.252	2.458056964	10.56075	-0.30875	-3.01165
5.974	5.92	0.054	0.903916974	6.46667	-0.49267	-8.2469
10.703	10.8	-0.097	-0.906287957	10.33978	0.363218	3.393613
7.012	6.96	0.052	0.741585853	7.363836	-0.35184	-5.01763
5.974	6	-0.026	-0.435219284	6.311764	-0.33776	-5.6539
5.974	6.05	-0.076	-1.272179444	6.389217	-0.41522	-6.9504
12.439	12.1	0.339	2.725299461	12.08569	0.353314	2.840376
5.704	5.66	0.044	0.771388499	5.924623	-0.22062	-3.86786
8.385	8.7	-0.315	-3.756708408	8.643659	-0.25866	-3.08478
7.745	7.89	-0.145	-1.872175597	8.08288	-0.33788	-4.36256
6.763	6.78	-0.017	-0.251367736	6.999046	-0.23605	-3.49026
6.468	6.47	-0.002	-0.030921459	7.159014	-0.69101	-10.6836
7.556	7.51	0.046	0.608787718	7.837183	-0.28118	-3.72133
6.468	6.49	-0.022	-0.340136054	6.941387	-0.47339	-7.31891
6.5	6.51	-0.01	-0.153846154	7.301483	-0.80148	-12.3305

ANFIS_{Pr} modeli P_r tahmini için girdi değerleri aşağıda vermiştir.

ANFIS tahmin modelimize 6 adet input değerimiz verilmiştir. Çıktı olarak P_r tahmini elde edilmiştir. Oluşturulan modelleme için etki aralığı (Range of Influence) 0.9 olarak, Squash faktörü ise 1.1 olarak değer almıştır. Kabul oranı (Accept Ratio) 0.4, red oranı (reject ratio) 0.17 olarak değerlendirilmiştir. Hibrid öğrenme algoritmasına sahip modelimiz için 6 üyelik fonksiyonu gelişmiştir. Epoch sayısı 250 olmuştur. Öğrenme datalarının hata değeri 0.046717, test hata oranı ise 0.21089 olarak belirlenmiştir. Modellemede kullanılan fuzzy çıkarım sistem tipi sugano modeldir.



Şekil 4.14. P_r tahmini için ortalama girdi ve çıktılar (R152a)



Şekil 4.15. P_r çıktısı için uygulanan ANFIS yapısı (R152a)

Şekil 4.13’de $ANFIS_{P_r}$ modelinin P_r çıktısı için ortalama girdi ve çıktı değerlerinin 3 eksen üzerinde gösterimi bulunmaktadır. Şekil 4.14 de ise ANFIS mode yapısı ve

katmanlar gösterilmektedir. Bu modelde 6 Katmanlı 6 girdili 1 çıktılı bir model oluşturulmuştur. 1 Giriş katmanı 1 çıkış katmanı ve 4 ara katmandan oluşmaktadır.

Çizelge 4.7. Multi-Regression P_r tahmin uygulama özeti

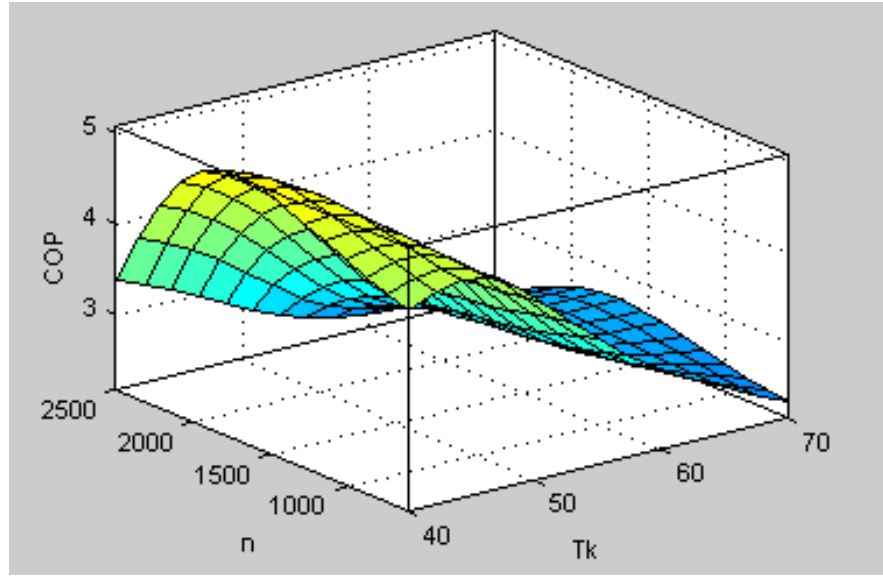
R152a - P_r					
<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0.981351				
R Square	0.96305				
Adjusted R Square	0.961105				
Standard Error	0.544727				
Observations	81				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	587.7634	146.9409	495.205022	1.39507E-53
Residual	76	22.55128	0.296727		
Total	80	610.3147			
<i>Standard</i>					
	<i>Coefficients</i>	<i>Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	-5.63306	0.417733	-13.4848	7.46784E-22	-6.465045285
Tk	0.181234	0.005483	33.0534	7.49829E-47	0.170313743
n	-0.00096	0.000327	-2.93369	0.004426092	-0.00161043
Te	-0.33881	0.020431	-16.5828	5.77137E-27	-0.379499028
Qe(kW)	0.614919	0.189201	3.250082	0.001720194	0.238092449

Çizelge 4.8. COP çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R152a)

COP_{CP}	COP_{ANFIS}	dCOP- ANFIS	%COP_{-ANFIS}	COP_{-MR}	dCOP_{-MR}	%COP_{-MR}
3.22	3.23	-0.01	-0.31056	3.31277104	-0.09277	-2.88109
3.78	3.78	0	0	3.93589585	-0.1559	-4.12423
3.63	3.63	0	0	3.76605449	-0.13605	-3.74806
1.9	1.86	0.04	2.105263	1.39607853	0.503921	26.52218
3.46	3.46	0	0	3.61648771	-0.15649	-4.52277
2.33	2.53	-0.2	-8.58369	2.2192947	0.110705	4.751301
3.97	3.97	0	0	4.18601727	-0.21602	-5.44124
2.47	2.47	0	0	2.27017459	0.199825	8.090098
3.6	3.6	0	0	3.75142232	-0.15142	-4.20618
3.97	3.98	-0.01	-0.25189	4.1248591	-0.15486	-3.90073
3.97	3.98	-0.01	-0.25189	4.15543818	-0.18544	-4.67099
2.1	2.49	-0.39	-18.5714	1.84262337	0.257377	12.25603
3.86	3.86	0	0	4.02180913	-0.16181	-4.19195
3.04	3.07	-0.03	-0.98684	3.12637986	-0.08638	-2.84144
6.08	6.32	-0.24	-3.94737	5.70701488	0.372985	6.134624
3.18	3.19	-0.01	-0.31447	3.29817651	-0.11818	-3.71624
3.22	3.24	-0.02	-0.62112	3.30693813	-0.08694	-2.69994
3.78	3.79	-0.01	-0.26455	4.06804063	-0.28804	-7.62012
3.01	3.01	0	0	3.05223898	-0.04224	-1.40329
3.78	3.78	0	0	3.97994411	-0.19994	-5.28953

ANFIS_{COP} modeli COP tahmini için girdi değerleri aşağıda vermiştir.

ANFIS tahmin modelimize 6 adet input değerimiz verilmiştir. Çıktı olarak COP tahmini elde edilmiştir. Oluşturulan modelleme için etki aralığı (Range of Influence) 0.8 olarak, Squash faktörü ise 1.0 olarak değer almıştır. Kabul oranı (Accept Ratio) 0.5, red oranı (reject ratio) 0.15 olarak değerlendirilmiştir. Hibrid öğrenme algoritmasına sahip modelimiz için 9 üyelik fonksiyonu gelişmiştir. Epoch sayısı 300 olmuştur. Öğrenme datalarının hata değeri 0.0044775, test hata oranı ise 0.062596 olarak belirlenmiştir. Modellemede kullanılan fuzzy çıkarım sistem tipi sugano modeldir.



Şekil 4.16. COP tahmini için ortalama girdi ve çıktılar (R152a)

Şekil 4.15’de ANFIS modelinin COP çıktısı için ortalama girdi ve çıktı değerlerinin 3 eksen üzerinde gösterimi bulunmaktadır. Şekil 4.16 de ise ANFIS mode yapısı ve katmanlar gösterilmektedir. Bu modelde 6 Katmanlı 6 girdili 1 çıktılı bir model oluşturulmuştur. 1 Giriş katmanı 1 çıkış katmanı ve 4 ara katmandan oluşmaktadır.

Çizelge 4.9. Multi-Regression COP tahmin uygulama özeti

R152a - COP	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.980398
R Square	0.96118
Adjusted R Square	0.959137
Standard Error	0.219946
Observations	81

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	91.03241257	22.7581	470.4383457	9.09E-53
Residual	76	3.676604713	0.048376		
Total	80	94.70901728			

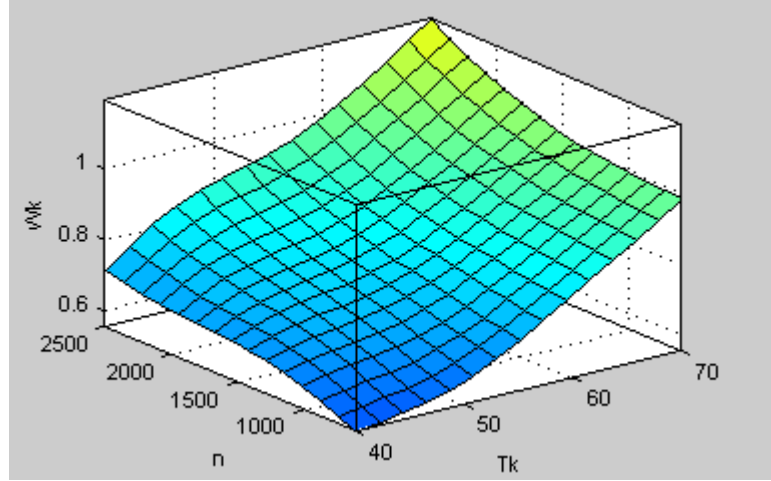
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	8.414781	0.168669498	49.88917	7.80762E-60	8.078847
Tk	-0.08063	0.00221392	-36.4191	7.28184E-50	-0.08504
n	-0.00041	0.00013202	-3.07985	0.002882239	-0.00067
Te	0.060809	0.008249573	7.371131	1.74342E-10	0.044378
Qe(kW)	0.264102	0.076394381	3.45708	0.000897465	0.111949

Çizelge 4.10. W_k çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R152a)

W_{kCP}	W_{kANFIS}	dW_{-ANFIS}	$\%dw_{-ANFIS}$	W_{k-MR}	d_{w-MR}	$\%dw_{-MR}$
0.715	0.71	0.005	0.6993007	0.7184725	-0.00347	-0.15059
0.798	0.796	0.002	0.25062657	0.8093382	-0.01134	-0.37593
0.876	0.876	0	0	0.8668629	0.009137	0.28742
0.855	0.851	0.004	0.46783626	0.90672	-0.05172	-2.08633
1.066	1.07	-0.004	-0.37523452	1.0246318	0.041368	1.121394
0.527	0.552	-0.025	-4.74383302	0.6169877	-0.08999	-5.13043
0.494	0.495	-0.001	-0.20242915	0.4549767	0.039023	1.987942
0.826	0.826	0	0	0.8328179	-0.00682	-0.33339
0.772	0.772	0	0	0.7824328	-0.01043	-0.37555
0.823	0.822	0.001	0.12150668	0.8377696	-0.01477	-0.45153
0.658	0.654	0.004	0.60790274	0.6463213	0.011679	0.446263
0.477	0.51	-0.033	-6.91823899	0.5890264	-0.11203	-7.57447
0.862	0.86	0.002	0.23201856	0.8527186	0.009281	0.279393
0.735	0.724	0.011	1.49659864	0.7294718	0.005528	0.247456
0.955	0.856	0.099	10.3664921	1.1097007	-0.1547	-2.66358
0.762	0.757	0.005	0.65616798	0.7509836	0.011016	0.45447
0.613	0.607	0.006	0.97879282	0.6313067	-0.01831	-0.92645
0.319	0.32	-0.001	-0.31347962	0.2520952	0.066905	5.543065
0.975	0.977	-0.002	-0.20512821	0.9384532	0.036547	1.245631
0.639	0.636	0.003	0.46948357	0.6235969	0.015403	0.638338

ANFIS $_{W_k}$ modeli W_k tahmini için girdi değerleri aşağıda vermiştir.

ANFIS tahmin modelimize 6 adet input değerimiz verilmiştir. Çıktı değeri olarak olarak W_k tahminimiz elde edilmiştir. Oluşturulan modelleme için etki aralığı (Range of Influence) 0.8 olarak, Squash faktörü ise 1.11 olarak değer almıştır. Kabul oranı (Accept Ratio) 0.4, red oranı (reject ratio) 0.19 olarak değerlendirilmiştir. Hibrid öğrenme algoritmasına sahip modelimiz için 7 üyelik fonksiyonu gelişmiştir. Epoch sayısı 400 olmuştur. Öğrenme datalarının hata değeri 0.0012808, test hata oranı ise 0.015246 olarak belirlenmiştir. Modellemede kullanılan fuzzy çıkarım sistem tipi sugano modeldir.



Şekil 4.17. W_k tahmini için ortalama girdi ve çıktılar (R152a)

ANFIS modelinin COP çıktısı için ortalama girdi ve çıktı değerlerinin 3 eksen üzerinde gösterimi bulunmaktadır. Şekil 4.18’de ise ANFIS mode yapısı ve katmanlar gösterilmektedir. Bu modelde 6 Katmanlı 6 girdili 1 çıktılı bir model oluşturulmuştur. 1 Giriş katmanı 1 çıkış katmanı ve 4 ara katmandan oluşmaktadır.

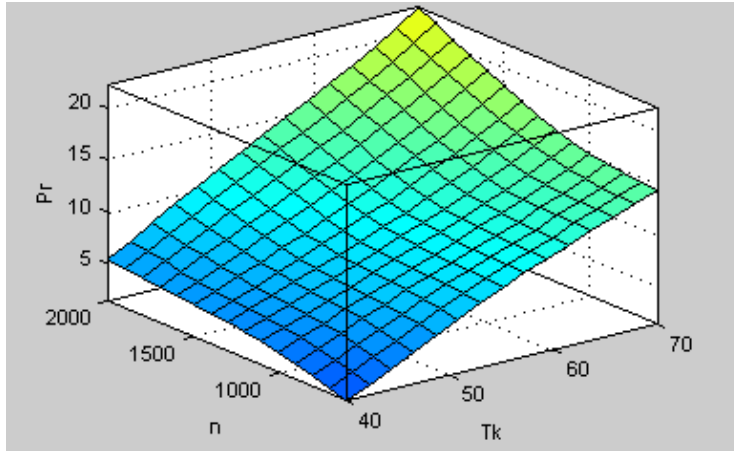
Çizelge 4.11. Multi-Regression W_k tahmin uygulama özeti

R – 152a W_k					
<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0.980159706				
R Square	0.960713049				
Adjusted R Square	0.958645315				
Standard Error	0.050397816				
Observations	81				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	4.720439111	1.180109778	464.6211417	1.4307E-52
Residual	76	0.193035433	0.00253994		
Total	80	4.913474543			
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	
Intercept	0.575350289	0.03396292	-16.94054256	1.60303E-27	
Tk	0.011399554	0.00050828	22.42768826	3.01245E-35	
n	0.000215828	1.69989E-05	12.69655513	1.8104E-20	
Qcon	0.103702136	0.007948716	13.04640148	4.3572E-21	
m	0.524391265	0.254599676	-2.059669808	0.042854691	

Çizelge 4.12. P_r çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R134a)

Pr_{CP}	Pr_{ANFIS}	dP_{rANFIS}	$\%P_{rANFIS}$	COP_{-MR}	$dCOP_{-MR}$	$\%COP_{-MR}$
8.028	8.19	-0.162	-2.01794	8.471382	-0.44338	-5.52295
13.438	13.4	0.038	0.28278	12.98382	0.454175	3.379784
9.908	10.1	-0.192	-1.93783	10.59702	-0.68902	-6.95413
11.414	11.4	0.014	0.122656	11.60743	-0.19343	-1.69465
2.452	1.84	0.612	24.95922	3.115952	-0.66395	-27.078
9.75	9.62	0.13	1.333333	10.39705	-0.64705	-6.63641
3.471	2.5	0.971	27.97465	2.955199	0.515801	14.8603
7.227	6.89	0.337	4.663069	7.944815	-0.71781	-9.9324
5.063	5.21	-0.147	-2.90342	5.043988	0.019012	0.375502
7.643	8.35	-0.707	-9.25029	9.253702	-1.6107	-21.0742
6.829	6.97	-0.141	-2.06472	6.940196	-0.1112	-1.62829
15.913	16.1	-0.187	-1.17514	14.76422	1.148778	7.219114
8.723	8.87	-0.147	-1.6852	9.244741	-0.52174	-5.98121
13.438	13.6	-0.162	-1.20554	13.02964	0.408362	3.038862
3.118	1.06	2.058	66.00385	2.672277	0.445723	14.29517
11.414	11.4	0.014	0.122656	40.17606	-28.7621	-251.989
2.907	2.71	0.197	6.776746	2.692717	0.214283	7.371278
9.75	9.59	0.16	1.641026	10.13022	-0.38022	-3.89973
4.176	4.08	0.096	2.298851	3.844636	0.331364	7.934971
6.193	6.04	0.153	2.470531	6.453107	-0.26011	-4.20002

ANFIS tahmin modelimize 6 adet input değerimiz verilmiştir. Çıktı değeri olarak P_r tahminimiz elde edilmiştir. Oluşturulan modelleme için etki aralığı (Range of Influence) 1.0 olarak, Squash faktörü ise 1.25 olarak değer almıştır. Kabul oranı (Accept Ratio) 0.5, red oranı (reject ratio) 0,25 olarak değerlendirilmiştir. Hibrid öğrenme algoritmasına sahip modelimiz için 6 üyelik fonksiyonu gelişmiştir. Epoch sayısı 500 olmuştur. Öğrenme datalarının hata değeri 0,0610860, test hata oranı ise 1,214400 olarak belirlenmiştir. Modellemede kullanılan fuzzy çıkarım sistem tipi sugano modeldir.



Şekil 4.18. P_r tahmini için ortalama girdi ve çıktılar (R134a)

Çizelge 4.13. Multi-Regression P_r tahmin uygulama özeti

R134a P_r

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.988012
R Square	0.976168
Adjusted R Square	0.973418
Standard Error	0.579041
Observations	59

ANOVA

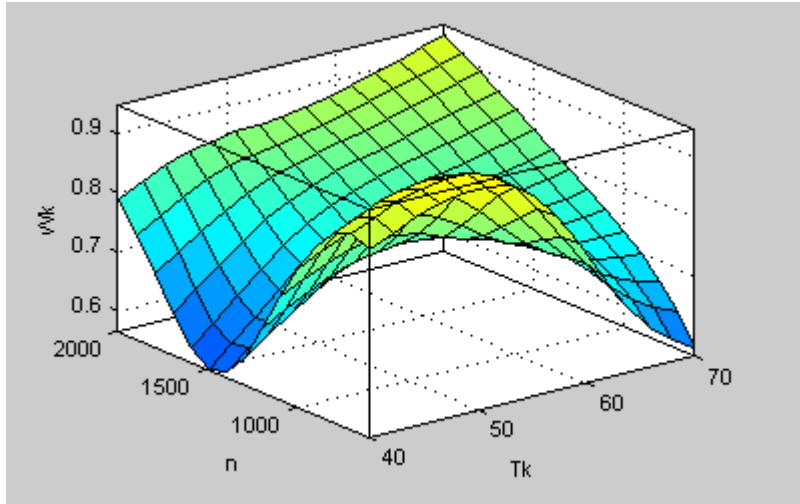
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	6	714.1491	119.0248	354.9926	2.30898E-40
Residual	52	17.43499	0.335288		
Total	58	731.5841			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	-6.29174	0.90091	-6.98376	5.25E-09
Tk	0.219627	0.016835	13.04575	4.99E-18
n	0.011365	0.001478	7.690567	3.94E-10
Te	-0.23632	0.023483	-10.0633	8.36E-14
Qe(kW)	35.17375	4.426508	7.946161	1.55E-10
Qcon	-50.7962	7.05932	-7.19563	2.41E-09
m	3073.722	523.4567	5.871969	3.06E-07

Çizelge 4.14. W_k çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R134a)

W_{kCP}	W_{kANFIS}	dW_{kANFIS}	$\%W_{kANFIS}$	W_{kMR}	dW_{kMR}	$\%W_{kMR}$
0.56	0.57	-0.01	-1.78571429	0.560004764	-4.764E-06	-0.0008508
0.48	0.474	0.006	1.25	0.48001689	-1.689E-05	-0.0035188
0.505	0.511	-0.006	-1.18811881	0.506010282	-0.0010103	-0.2000558
0.524	0.509	0.015	2.86259542	0.5240137	-1.37E-05	-0.0026145
0.583	0.539	0.044	7.547169811	0.582961681	3.8319E-05	0.00657269
0.569	0.547	0.022	3.866432337	0.568010175	0.00098983	0.17395873
0.579	0.433	0.146	25.21588946	0.578981732	1.8268E-05	0.00315516
1.31	1.3	0.01	0.763358779	1.309965008	3.4992E-05	0.00267117
0.526	0.431	0.095	18.0608365	0.525997483	2.5166E-06	0.00047844
0.602	0.613	-0.011	-1.82724252	0.601999777	2.2304E-07	3.705E-05
0.611	0.611	0	0	0.61101211	-1.211E-05	-0.001982
0.538	0.547	-0.009	-1.67286245	0.540007048	-0.002007	-0.3730573
0.672	0.672	0	0	0.672008083	-8.083E-06	-0.0012028
0.586	0.419	0.167	28.49829352	0.58697619	-0.0009762	-0.1665852
0.734	0.734	0	0	0.73400362	-3.62E-06	-0.0004932
0.589	0.431	0.158	26.82512733	0.587972301	0.0010277	0.17448197
0.796	0.796	0	0	0.795998668	1.332E-06	0.00016733
0.557	0.501	0.056	10.05385996	0.556990092	9.9085E-06	0.0017789
0.209	0.201	0.008	3.827751196	0.209023936	-2.394E-05	-0.0114528
0.447	0.431	0.016	3.579418345	0.44000972	0.00699028	1.56382107

ANFIS tahmin modelimize 6 adet input değerimiz verilmiştir. Çıktı değeri olarak W_k tahminimiz elde edilmiştir. Oluşturulan modelleme için etki aralığı (Range of Influence) 0.8 olarak, Squash faktörü ise 1.25 olarak değer almıştır. Kabul oranı (Accept Ratio) 0.5, red oranı (reject ratio) 0,14 olarak değerlendirilmiştir. Hibrid öğrenme algoritmasına sahip modelimiz için 9 üyelik fonksiyonu gelişmiştir. Epoch sayısı 300 olmuştur. Öğrenme datalarının hata değeri 0.000201, test hata oranı ise 0.121280 olarak belirlenmiştir. Modellemede kullanılan fuzzy çıkarım sistem tipi sugano modeldir.



Şekil 4.19. W_k tahmini için ortalama girdi ve çıktılar(R134a)

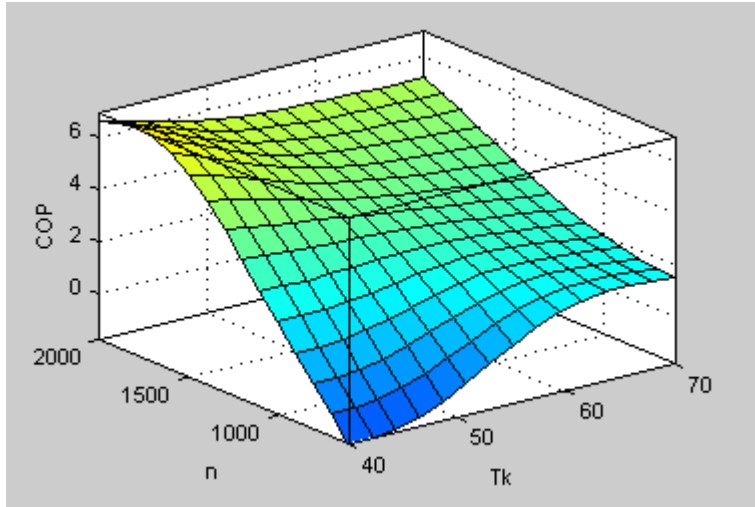
Çizelge 4.15. Multi-Regression P_r tahmin uygulama özeti

R134a W_k					
Regression Statistics					
Multiple R	0.999998				
R Square	0.999995				
Adjusted R Square	0.999995				
Standard Error	0.000597				
Observations	59				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	4.295742	2.147871	6021307.038	4.8868E-150
Residual	56	2E-05	3.57E-07		
Total	58	4.295762			
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	
Intercept	3.89E-05	0.00019	0.205169	0.838184099	
Qe(kW)	-0.99999	0.000447	-2235.46	2.5735E-140	
Qcon	0.999977	0.000386	2592.777	6.3713E-144	

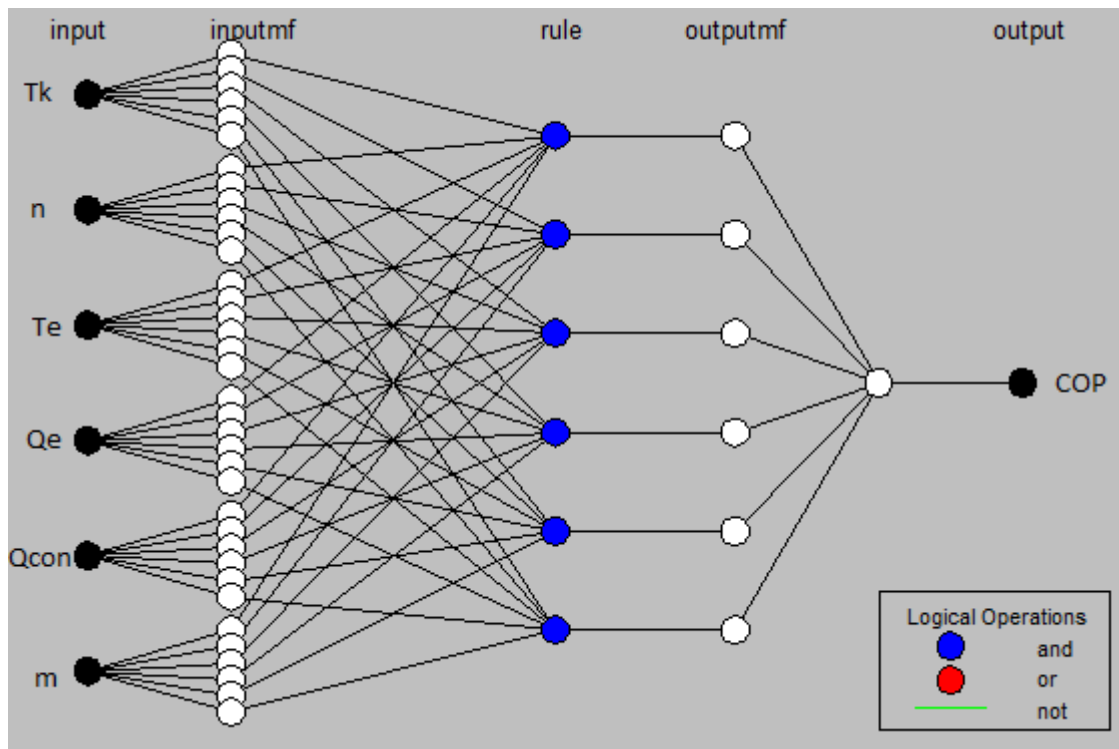
Çizelge 4.16. COP çıktısı için CP, ANFIS, multi-regression karşılaştırması (R134a)

COP_{CP}	COP_{ANFIS}	dCOP_{ANFIS}	%COP_{ANFIS}	COP_{-MR}	dCOP_{-MR}	%COP_{-MR}
3.28	3.34	-0.06	-1.82927	3.29408399	-0.01408	-0.42938996
1.64	1.58	0.06	3.658537	1.47993526	0.160065	9.760045193
2.83	2.94	-0.11	-3.88693	3.00685244	-0.17685	-6.24920278
1.8	1.77	0.03	1.666667	1.58234899	0.217651	12.0917226
6.54	8.15	-1.61	-24.6177	6.25119874	0.288801	4.415921429
1.97	1.96	0.01	0.507614	1.77305507	0.196945	9.997204524
7.02	9.55	-2.53	-36.0399	6.72992703	0.290073	4.132093604
2.16	2.17	-0.01	-0.46296	2.0647221	0.095278	4.411013976
5.04	5.04	0	0	4.9524654	0.087535	1.736797652
3.78	3.84	-0.06	-1.5873	3.87709958	-0.0971	-2.56877194
2.97	3.08	-0.11	-3.7037	3.10105898	-0.13106	-4.41276013
1.8	1.89	-0.09	-5	1.54020731	0.259793	14.43292731
2.63	2.75	-0.12	-4.56274	2.96052448	-0.33052	-12.5674708
1.97	2.08	-0.11	-5.58376	1.82809514	0.141905	7.20329237
8.52	11.9	-3.38	-39.6714	8.106018	0.413982	4.858943709
2.16	2.27	-0.11	-5.09259	13.8926191	-11.7326	-543.176812
5.9	6.61	-0.71	-12.0339	5.68825963	0.21174	3.588819901
2.61	2.61	0	0	2.86239329	-0.25239	-9.67024093
4.35	4.64	-0.29	-6.66667	4.36343346	-0.01343	-0.30881525
3.32	3.66	-0.34	-10.241	4.07666365	-0.75666	-22.7910737

ANFIS tahmin modelimize 6 adet input değerimiz verilmiştir. Çıktı değeri olarak COP tahminimiz elde edilmiştir. Oluşturulan modelleme için etki aralığı (Range of Influence) 0.9 olarak, Squash faktörü ise 1.20 olarak değer almıştır. Kabul oranı (Accept Ratio) 0.3, red oranı (reject ratio) 0.20 olarak değerlendirilmiştir. Hibrid öğrenme algoritmasına sahip modelimiz için 6 üyelik fonksiyonu gelişmiştir. Epoch sayısı 300 olmuştur. Öğrenme datalarının hata değeri 0.0614215, test hata oranı ise 0.99724 olarak belirlenmiştir. Modellemede kullanılan fuzzy çıkarım sistem tipi sugano modelidir.



Şekil 4.20. COP tahmini için ortalama girdi ve çıktıları(R134a)



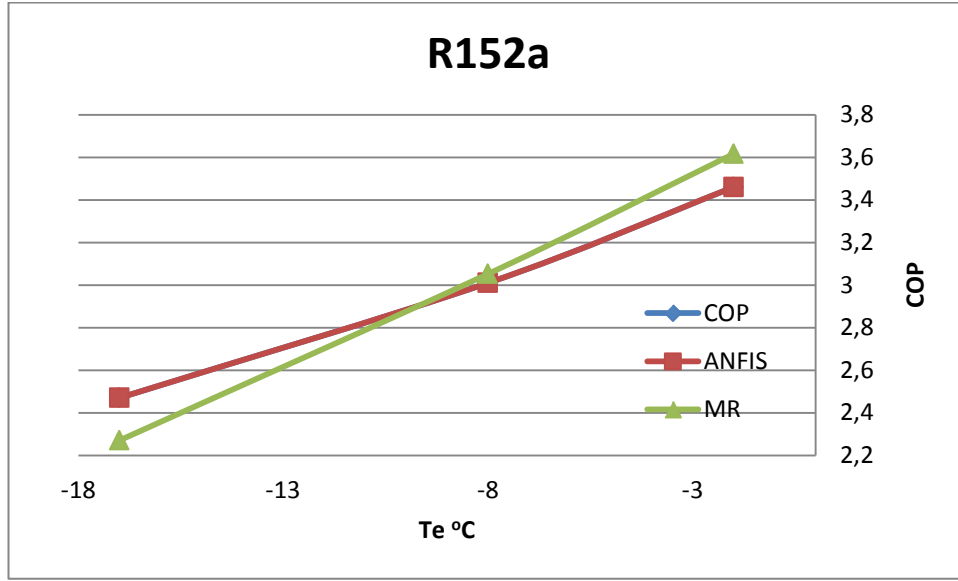
Şekil 4.21. COP çıktısı için uygulanan ANFIS yapısı (R134a)

Çizelge 4.17. Multi-Regression COP tahmin uygulama özeti

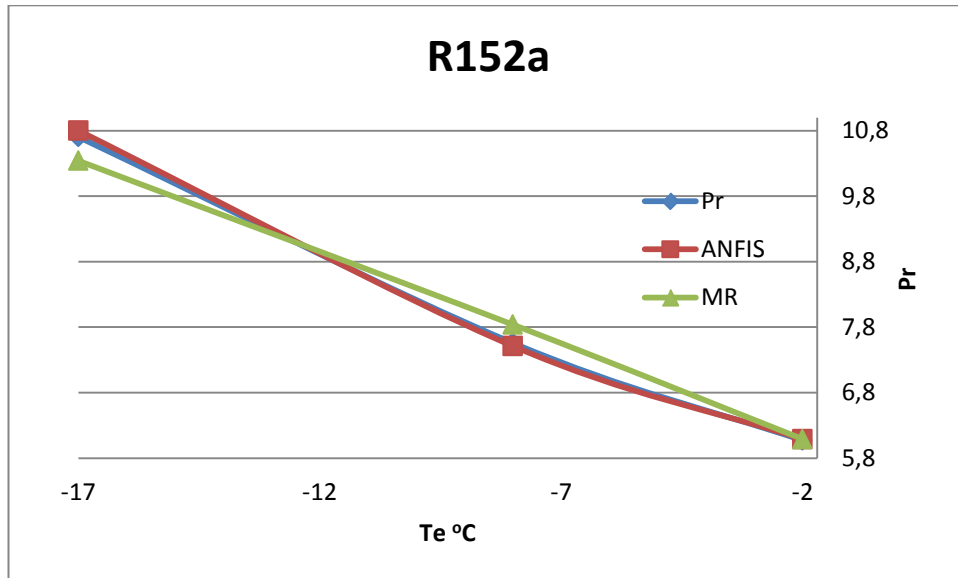
R134a COP					
<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0.982728				
R Square	0.965754				
Adjusted R Square	0.961802				
Standard Error	0.300509				
Observations	59				

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	6	132.426	22.071	244.4027	2.80731E-36
Residual	52	4.695905	0.090306		
Total	58	137.1219			

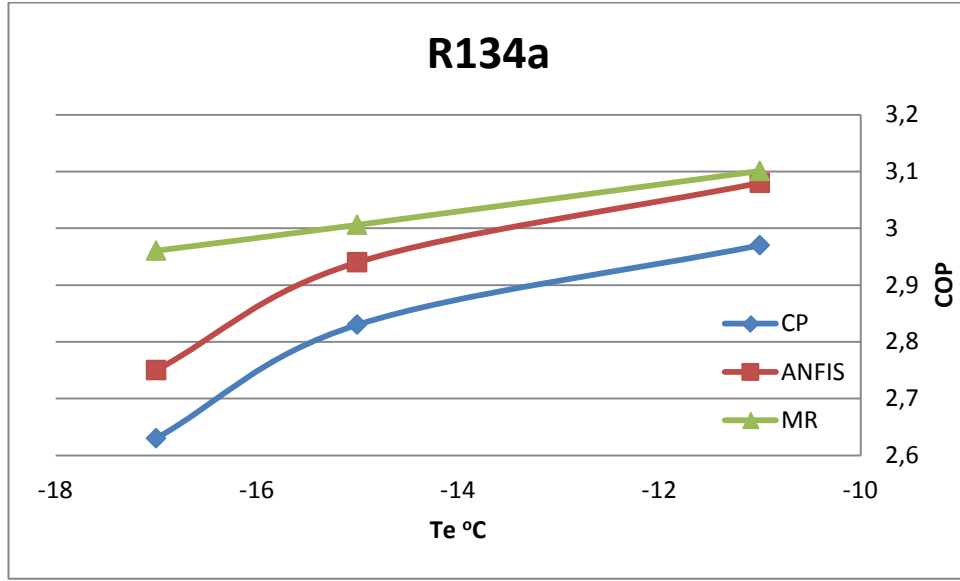
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	8.451068	0.467552	18.07513	4.5E-24
Tk	-0.07026	0.008737	-8.04148	1.09E-10
n	0.005905	0.000767	7.69932	3.81E-10
Te	0.131328	0.012187	10.77594	7.39E-15
Qe(kW)	17.71909	2.29726	7.713142	3.62E-10
Qcon	-25.7607	3.663631	-7.03146	4.41E-09
m	1559.781	271.6624	5.741615	4.91E-07



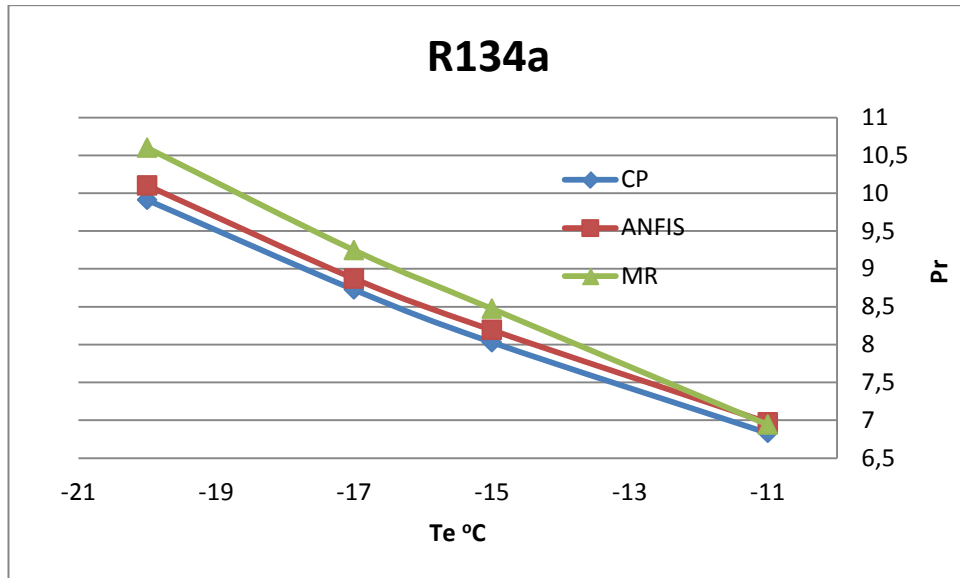
Şekil 4.22. Evaporatör Sıcaklığına göre COP değerinin CP, ANFIS ve MR karşılaştırılması



Şekil 4.23. Evaporatör Sıcaklığına göre P_r değerinin CP, ANFIS ve MR karşılaştırılması



Şekil 4.24. T_e sıcaklığına göre COP değerinin CP, ANFIS ve MR karşılaştırılması



Şekil 4.25. T_e sıcaklığına göre P_r değerinin CP, ANFIS ve MR karşılaştırılması

Çizelge 4.18. Error Indeks tablosu

R134a		
	ANFIS	Multi-Regression
W_k	0.106206	0.002674026
P_r	0.064015	0.068889
COP	0.250962	0.642684
R152a		
	ANFIS	Multi-Regression
W_k	0.032548	0.071961042
P_r	0.019155617	0.068183828
COP	0.031893	0.059983

Çizelge 4.18’de hem ANFIS modellerinin hem de Multi-Regression tahminlerinin hata indekslerini (EI) gösterilmiştir. Hem R134a için hem de R152a için her iki modelde tahmin edilen 6 değer içinden 5 değerde ANFIS modeli çok daha düşük hata indeksi ile uygun model olduğu belirlenmiştir. R134a için oluşturulan Multi-Regression modeli ANFIS modeline göre çok daha düşük hata endeks değeri vermiştir. Grafiklerden ve hata endeklerinden anlaşıldığı üzere doğruya en yakın oranlar otomobil klima sistemleri için karşılaştırıldığında ANFIS modelinin öne çıktığı tespit edilmiştir. Her iki gaz türünde de yüksek tahmin oranı ile uygun model olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Değişken evaporatör sıcaklık değerlerinde sabit soğutma ısı yükü için soğutma sisteminde elde edilen sonuçlar alternatif soğutucu akışkan R152a için şu şekilde bulunmuştur. R-152a soğutucu akışkan kullanarak çalışan bir otomobil klima sistemi, halihazırda kullanılan R-134a gazlı sisteme göre daha iyi soğutma performansı sağladığı görülmüştür. Evaporatör buharlaşma sıcaklık değerine göre, kondenserden atılan ısı yük değişiminde R152a, R134a ve R22 akışkanları için kondenserden atılan ısı yük değerleri yakınlık göstermiş ve kondenserden atılan ısı yükler, daha düşük evaporatör buharlaşma sıcaklıklarında daha fazla gerçekleşmiştir. Evaporatör sıcaklığı arttıkça kondenserden atılan ısı yükde ters orantılı olarak azalmıştır. Kompresör devir sayısı ile kondenserden atılan yük karşılaştırıldığında, kompresör devri ile doğru orantılı olarak arttığı tesbit edilmiştir. Yüksek devir sayısı ile birlikte evaporatör ısı yükü ve kompresör işinin artması ile, kondenserden atılan ısı miktarda artmıştır.

Evaporatör sıcaklığının değişimine göre kompresör devrine göre değişimi göz önüne alındığında, düşük devir yüksek evaporatör sıcaklıklarında, düşük evaporatör sıcaklıklarında ise yüksek devirler görülmüştür. Buharlaşma sıcaklıklarına göre devir sayıları R152a ile R134a akışkanları için yakın değerler göstermiştir. Evaporatör sıcaklık değişimine göre kompresör sıkıştırma oranı (P_r) araştırıldığında yüksek evaporatör sıcaklıklarında basınç oranlarının tıpkı kompresör devir sayılarında olduğu gibi düştüğü tespit edilmiştir. Otomobil klima sistemleri için en önemli alternatif olma özelliklerinden biri olan sıkıştırma oranı (P_r) R134a ve R152 gazları için çok büyük benzerlik göstermiştir. Bu sonuca göre soğutma sisteminde herhangi önemli bir değişikliğe gerek duymadan, aynı kompresör ve basınç oranlarında R134a gazı yerine R152a gazının kullanılabileceği görülmüştür. Otomobil klima sistemi çalışmasında, Yüksek evaporatör sıcaklığında yüksek COP değeri bulunmuştur. Evaporatör sıcaklığı düştükçe COP değerinin de düştüğü görülmüştür. En yüksek evaporatör sıcaklığında, en büyük COP değeri elde edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, kondenser ve evaporatör arasındaki sıcaklık farkı arttıkça COP değeri artarak, azaldıkça COP değeri azalarak doğru orantı göstermiştir. Otomobil klima sisteminin COP değeri, devir değerine göre

kıyaslandığında, yüksek devirlerde COP'nin azaldığı alçak devirlerde yükseldiği de tesbit edilmiştir. Azalan evaporatör sıcaklıklarında R152a gazının COP değeri, referans gaz R134a ve diğer gaz R22 akışkanına göre en yüksek olduğu görülmüştür. R134a ve R22 gazının COP değerleri birbirine yakın olup, yüksek evaporatör sıcaklıklarında COP değeri en düşük R22 gazı için görülmüştür. Farklı evaporatör sıcaklıklarında kompresör emme ve basma hattı basınç oranları (P_r) incelendiğinde düşük evaporatör sıcaklıklarında basınç oranı en büyük değeri olmakta ve artan evaporatör sıcaklığı ile P_r değeri artmaktadır.

Otomobil klima sistemleri için alternatif R134a yerine kullanılabilecek R152a gazı gerek sıkıştırma oranı uyumu ile ve gerekse sisteme yüklenen gaz şarz miktarının yanısıra R134a gazına göre daha iyi bir COP değerine sahip olduğu ve termodinamik açıdan iyi bir alternatif soğutkan olduğu tesbit edilmiştir.

Artan sera gazı etkileri ve ozon tabakası tahribatı sebebi ile kullanımı ilk etapta sınırlandırılan ve kademeli şekilde kaldırılacak olan R134a gazı yerine, küresel ısınma etkisi ve ozon inceltme etkisi sıfır olan, zehirli olmayan, yağlarla karşabilirlik ve uyumu olan, kimyasal olarak sistemde kullanılan materyaller ile tepkimeye girmeyen, yancılık değeri sınırlar içerisinde kalan, emniyetli bir gaz olması sebebi ile R152a gazının, R134a gazına göre uygun bir alternatif olduğu görülmüştür.

R152a otomobil klima sistemi için yapılan çalışmaya ek olarak sistem üzerinde Cool Pack uygulaması ve matematiksel fonksiyonlar ile elde edilmiş değerler içinden 80 adet data eğitim dataları ve 80 adet de test dataları olarak ayrılmıştır. Eğitim ve test dataları sonuçları sıfıra yaklaşık olarak gözlemlenmiştir. 3 farklı ANFIS modeli için ($ANFIS_{COP}$, $ANFIS_{P_r}$, $ANFIS_{W_k}$) daha önce hiç eğitilmeyen 20 data girdisi (T_k , n , T_e , Q_e , Q_k , m) modele verildi ve COP, W_k ve P_r çıktıları tahmin edilmiş ve R152a Otomobil klima sistemleri için uygun üç adet ANFIS modelleri geliştirilmiştir. Uzun hesaplama ve simülasyon çalışmaları sonucu ortaya çıkacak zaman ve iş kaybı bu ANFIS modelleri ile azaltılabildiği ve uygulama sonuçları hızlı sürede alınabildiği tesbit edildi. R152a ve R134a için otomobil klima sistemleri performans analizi için geliştirilmiştir. Yapılan

karşılaştırmada, ANFIS'in daha iyi bir tahmin değerine sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Hata indeks değerlerine göre en düşük hata indeksli tahminler 6 tahmin grubunun 5 i için ANFIS tarafından geliştirilen model tarafından tahmin edilmiştir. Hata indekslerine göre R152a için oluşturulan ANFIS modeli, R134a için oluşturulan ANFIS modelinden daha doğru tahminler gerçekleştirmiştir. R152a gazı içerisinde ise en doğru tahmin değerleri P_r çıktısı veren ANFIS modeli tarafından tahmin edilmiştir.

Grafikler incelendiği zaman açıkça görülmektedirki ANFIS modeli hiç eğitilmemiş 20 datanın karakterini aynen göstermekte, grafik üzerinde lineer olmayan eğilimleri çok yakın bir değer ile tahmin edebilmektedir. Bu açıdan ANFIS modeli otomobil klima sistemi için uygun olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Al-Jarrah, R., Al-Jarrah, M. A., 2013. Developed Adaptive Neuro-Fuzzy Alghorithm to Control Air Conditioning System at Different Pressures, International journal of Engineering, Science and Technology, 5, 4, 43-59.
- Arcaklıoğlu, E., Çavuşoğlu, A., Erişen, A., 2004. Thermodynamic Analyses of Refrigerant Mixtures Using Artificial Neural Networks, Applied energy, 78, 219-230.
- Ataer, Ö. E., Türkoğlu, H., Usta, H., 1999. “Küçük üretim kapasiteli ticari soğutucu üreticileri için CFC-12 yerine HFC-134a ve HFC-404A soğutucu akışkanların kullanımı”, Türkiye Teknolojiler Geliştirme Vakfı, Pro. No. TTGV-P12/P3, 29, Ankara.
- Baraz, M., Bulgurcu, H., 2012. Doğrudan Genleşmeli Sistemlerde R-22 Alternatifleri R417a ve R-422d Soğutucu Akışkanlarının Deneysel Olarak İncelenmesi, 1.Ulusal İklimlendirme Soğutma Sempozyumu, Balıkesir.
- Baskaran, A., Mathews, P., 2012. A performance comparision of vapour compression refrigeration system using eco friendly refrigerants of low global warming potantional. International Journal of Scientific and Research Publications, 9. 1-7.
- Bilen, K., Olcay, Ç., Şeker, İ. E., 2012. Bazı Soğutucu Akışkanların Buhar Sıkıştırılmalı İdeal Soğutma Çevrimi ve Çevresel Etkileri Açısından Bir Mukayesesi, 1.Ulusal İklimlendirme Soğutma Sempozyumu, Balıkesir.
- Bilen, K., Kalkışım, A. T., Solmuş, İ., Bulgurcu, H., Yaldırak, H., 2013. Otomobil Klima Sistemlerinde R152a Gaz Kullanımı ve Özellikleri, 11.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Birkan, Ç., 2012. Giriş ve Temel Kavramlar, TBMYO, www.tekniksogutma.net.
- Bolaji, B. O., 2005. CFC refrigerant and stratospheric ozone: past, present and future. In: Okoko E, Adekunle VAJ, editors. Environmental Sustainability and Conservation in Nigeria, 37, 231-239.
- Bolaji, B. O., 2011. Comperative analysis of performance of three ozone-friends HFC refrigerants in a vapour compression refrigerator. Journal of Sustainable Energy & Environments, 2, 61-64.
- Bolaji, B. O., 2010. Experimental study of R152a and R32 to replace R134a in a domestic refrigerant. Journal of Energy, 35, 3793-3798.
- Bryson, D., Affil, A., Dixon, C., StHill, S., 2011. “Testing of HFO-1234yf and R152a as mobile air conditioning refrigerant replacements”,Ecolibrium, 30-38.
- Bulgurcu, H., Kon, O., İlen, N., 2007. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri ile İlgili Yeni Yasal Düzenlemeler ve Hedefler, 8.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Bulgurcu, H., İsa, K., Onat, A., 2012. Florlu Gazlar ile İlgili Avrupa birliği Düzenlemeleri: F-Gaz Yönetmeliği, 1.Ulusal İklimlendirme Soğutma Sempozyumu, Balıkesir.
- Çalışkan, M., 2012. Soğutucu Akışkanların ve Alterntiflerinin Özelliklerinin İncelenmesi, 1.Ulusal İklimlendirme Soğutma Sempozyumu, Balıkesir

- Çomaklı, K., Şimsek, F., Özyurt, Ö., Bakırcı K., 2008. Soğutma Isıtma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar ve alternatifleri. Mühendis ve Makina, 47 (562), 33-45.
- Esen, D. Ö., Hoşöz, M., 2005. R12 ve R134a soğutucu akışkanlarının ve kompresör devrinin otomobil klimalarının performansına etkisinin deneysel analizi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 90, 62-68.
- Formtek Klima, 2015. Soğutma ile İlgili Genel Tanımlar, www.formtekklima.com.tr
- Gedik, F. A., 2011. İletişim Ağ Problemlerinin Çözümünde Neuro-Fuzzy yaklaşımı, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dal Y. Lisans tezi.
- Ghodbane, M., 1999. An investigation of R152a and hydrocarbon refrigerants in mobile air conditioning. International congress and exposition Detroit, Michigan, ABD.
- Güngör, A., Araz, M., Yaldırak, H., Özcan, H. G., 2012. R-1234yf'nin otomobil endüstrisinde Kullanım Olanakları, 1.Ulusal İklimlendirme Soğutma Sempozyumu, Balıkesir.
- Haşiloğlu, A., Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Ekmekçi, i., 2004. Adaptive Neuro-Fuzzy Modeling of Transient Heat Transfer in Circular Duct Air Flow, International Journal of Thermal Science, 43, 1075-1090.
- Hoşöz, M., Alkan, A., Ertunç, H. M., 2013. Modelling of an Automotive Air Conditioning System Using Anfis, J. Of Thermal Science and technology, 33, 1, 127-137
- İlhan, M., 2012. Klima Soğutucuların Sistem Özellikleri, Eastern Mediterranean University, sct.emu.edu.tr
- Kalogirou, S. A., 2000. Application of Artificial Neural-Networks for Energy systems, Appl. Energy, 67, 17-35.
- Kamar, H. M., Ahmad, R., Kamsah, N. B., Mustafa, A. F. M., 2013. Artifical neural networks for automotive air-conditioning systems performance prediction. Applied Thermal Engineering, 50, 63-70.
- Kaya, M. D., Hasiloglu, A. S., Baramoğlu, M., Yeşilyurt H., Özok, A. F., 2003. A New Approach to Estimate Anthropometric Measurements by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference system, International Journal of Industrial Ergonomic, 32, 105-114.
- Koyun, T., Koyun, A., Avar, M., 2005. “Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Bu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkileri”, Tesisat Mühendis Dergisi, 88, 46-53.
- McMullan, J. OT., 2002. “Refrigeration and the environment issues and strategies for the future”, International Journal of Refrigeration, 25(5), 89-99.
- MEB, 2007. Soğutma Sistem Elemanları ve Soğutucular, 522EE0113, Ankara.
- MEB, 2012. Soğutma ve Soğutucular, 523E00460, Ankara.
- Söğüt, M. Z., Bulgurcu, H., Yalçın, E., 2012. Soğutma Sektöründe Soğutucu Akışkanlarla Bağlı Emisyon Envanteri, 1.Ulusal İklimlendirme Soğutma Sempozyumu, Balıkesir.
- Spatz, M., Minor, B., 2008. “HFO-1234yf : A Low GWP Refrigerant for MAC”, SAE World Congress, Detroit, Michigan, 14-17 April.
- Talley, E., 2010. “R1234yf Refrigerant”, Fall 2010 ICAIA Conference.
- Thevenot, R., 1979. A History of Refrigeration Throughout the World International Institute of Refrigeration (IIR)

- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 1997. Kyoto Protocol on Climate Change.
- Xu, K., Luxmoore, A. R., Jones, L. M., Deravi, F., 1998. Integration of neural networks, and expert systems for microscopic wear particle analysis, Knowledge-Based Systems, 11, 213-227.
- Yılmaz, M., 2005. "Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması", Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Akçaabat'ta doğdu. Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü 2007 yılında bitirdi. 2007-2010 yılları arasında Isıtma sistemleri alanında özel sektörde yetkili mühendis olarak çalıştı. 2011 yılından beri Gümüşhane Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu Elektronik ve Otomasyon bölümü Mekatronik programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.