



## Düşük küresel ısınma potansiyeline sahip hfo-1234ze akışkanın termodinamik analizi

Fatih YILMAZ<sup>1</sup>, Cemal TOSUN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aksaray Üniversitesi teknik bilimler MYO

<sup>2</sup> Yüzüncü yıl Üniversitesi Erciş MYO

### ÖZET

Çevresel sorunların ön plana çıktığı günümüzde, CFC (Kloroflorokarbon) ve HCFC (Hidrokloroflorokarbon) soğutucu akışkanlar ozon tabakasına zarar verdiklerinden, kullanımları sınırlandırılmış ve kısmen sonlandırılmıştır. Bu akışkanların küresel ısınma potansiyelleri (GWP) ve ozon delme potansiyelleri (ODP) yüksek olması nedeniyle alternatif soğutucu akışkan arayışları hız kazanmıştır.

Bu çalışmada küresel ısınma potansiyeli düşük yeni bir akışkan olan HFO-1234ze akışkanının temel soğutma çevriminde termodinamik analizi teorik olarak incelenmiştir. Hesaplamalarda Engineering Equations Solver (EES) adlı program kullanılmıştır. HFO-1234ze akışkanı aynı şartlar altında R134a akışkanı ile soğutma performans katsayıları ve ekserji verimlerine göre karşılaştırılmıştır.

### Anahtar

### Kelimeler:

soğutma, küresel ısınma, ekserji, HFO-1234ze

## Thermodynamic analysis of low global warming potential hfo-1234ze with fluid

### ABSTRACT

Environmental issues has come to the forefront of nowadays, CFC (chlorofluorocarbon) and HCFC (hydrochlorofluorocarbons) refrigerants, damage to the ozone layer, they are restricted use and partly was terminated. Because of this refrigerants global warming potentials (GWP) and ozone depletion potentials are highly, this refrigerants to alternative refrigerants search has to come.

In this study global warming potential is lower new refrigerants HFO-1234ze in basic cooling system thermodynamic analyses theoretical investigate. For calculation Engineering Equations Solver (EES) program was used. The system under the same conditions HFO-1234ze and R134a fluid and were made according to exergy efficiency and the cooling coefficient of performance comparison.

### Key Words:

air-condition, global warming, exergy, HFO-1234ze

\*Sorumlu Yazar (Corresponding author) e-posta:

## 1. Giriş

Soğutmanın tarihi, depolanmış buzun kullanıldığı, suyun buharlaştırıldığı ve benzer uygulamaların yapıldığı, eski zamanlara uzanmaktadır. 1830'lu yıllara gelindiğinde ise, Perkins ilk buhar sıkıştırımlı makineyi icat ederek soğutucu akışkanlarla tanışmamızı sağlamıştır [1]. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte günümüzde çok farklı tipte soğutma sistemleri üretilmiştir. İklimlendirme ve soğutma sistemlerinin kullanımının artması sonucunda dolaylı olarak soğutucu akışkan kullanımı da artmaya başlamıştır.

Küresel ısınma ve sera etkisi gibi sebeplerden dolayı alternatif soğutucu akışkanlar daha ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu alternatif akışkanlarda aranan özellikler öncelikle küresel ısınma potansiyeli ve ozon delme potansiyelinin düşük olmasıdır. Soğutucu akışkanların çevreye olan etkileri konusunda bilinmesi gereken bazı önemli kavramları; Ozon Delme (Aşındırma) Potansiyeli (Ozon Depletion Potential: ODP) ve Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential: GWP) dir. Ozon Delme (Aşındırma) Potansiyeli "Bir maddenin ozon tabakasına zarar verme riskini ifade eden, ODP' si 1 olarak kabul edilen R11 molekülü referans alınarak" ifade edilir. Küresel Isınma Potansiyeli "Sera gazı tesiri ile gezegen ısınma etkisinin bir göstergesidir ve küresel ısınma potansiyeli değerleri GWP' si 1 olan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) referans alınarak" hesaplanır [2].

Çevresel sorunların ön plana çıktığı günümüzde, CFC (Kloroflorokarbon) ve HCFC (Hidrokloroflorokarbon) soğutucu akışkanlar, ozon tabakasına zarar verdiklerinden kullanımları sınırlandırılmıştır ve kısmen de sonlandırılmıştır[3]. Montreal, Kopenhag Protokolleri ve Kyoto Protokolü gibi uluslararası platformlar tarafından küresel ısınma potansiyeli ve ozon delme potansiyeli yüksek olan, çevre dostu olmayan soğutucu akışkan kullanımı sınırlı halde olacak şekilde yasaklanmıştır. Bu yasaklamalardan dolayı çevre dostu olan R-134a akışkanı son dönemde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Fakat R134a akışkanının da kullanımı bazı alanlarda ve uygulamalarda sınırlandırılmıştır[4]. Bunun sebebi bu akışkanın küresel ısınma potansiyelinin (GWP) yüksek olmasıdır. Bu akışkanın yerine alternatif olan HFO-1234ze ve R1234yf adlı akışkanlar düşünülmektedir. Bu akışkanların avantajları; R134a akışkanı ile termodinamik, termofiziksel değerlerinin aynı olması ve küresel ısınma potansiyellerinin düşük olmasıdır. HFO-1234yf ve HFO-1234ze soğutkanlarının yanıcı bir özelliğe sahip olmaları ise bu iki soğutkanın en olumsuz yönü olarak değerlendirilmektedir. Fakat her iki akışkanın güvenlik sınıfının A2L olması, bu etkinin sınırlı olduğunu ifade etmektedir. Kısmi yanıcılık anlamına gelen bu güvenlik sınıfı ile HFO soğutkanlarının, birçok uygulamada, kullanılması kolaylaşmaktadır. Güvenlik gereksinimlerine uyularak, HFC-134a soğutkanı yerine, bu alternatif soğutkanların kullanılması mümkündür [4].

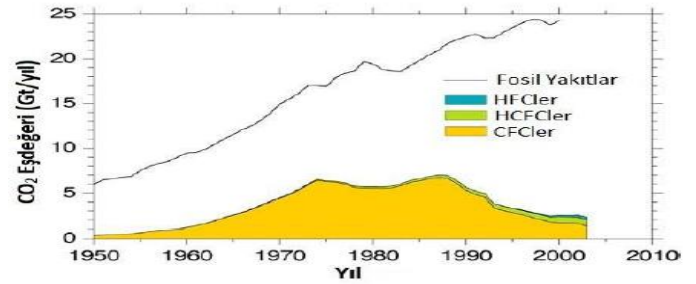
Çalışmada kullanılan R-1234ze akışkanı R-134a akışkanına göre mükemmel çevresel özelliklere sahip bir akışkandır. Tablo 1'de R-1234ze, R-1234yf ve R-134a akışkanlarının özellikleri verilmiştir [5].

R-1234ze akışkanı oda sıcaklığında (21 °C) yanıcı olmadığı

fakat 30 °C'nin üzerine çıkınca belirli yanma özelliğine sahip olmaktadır [ 6].

Tablo 1. R-1234ze, R-1234yf ve R-134a akışkanlarının özellikleri.

	R-1234ze	R-1234yf	R-134a
<b>Ozon Delme Potansiyeli (ODP)</b>	0	0	0
<b>Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)</b>	6	4	1300
<b>Atmosferik Ömür</b>	18 gün	12 gün	11 yıl
<b>Kaynama Sıcaklığı (1atm basıncıta)</b>	-19,27 °C	-29,52 °C	-26,09 °C
<b>Kritik Sıcaklığı</b>	101 °C	94,7 °C	101°C
<b>Kritik Basıncı</b>	3632 kPa	3381 kPa	4059 kPa
<b>Yanıcılık Sınıfı</b>	A2L	A2L	A1



Şekil 1. Halokarbon soğutucu akışkanların küresel ısınmaya etkisi.

Soğutucu akışkanların küresel ısınmaya olan katkısı Şekil 1'den açıkça görüldüğü üzere, küçümsenemeyecek düzeydedir. Kloroflorokarbonların (CFC'lerin) ozon tabakasına zarar vermeleri nedeniyle yasaklanması ve bunun neticesinde gerçekleşen hidroflorokarbonlara (HFC'lere) geçiş ile birlikte, soğutucu akışkanların küresel ısınmaya olan katkısının önemli ölçüde azaldığı da şekilden anlaşılmaktadır [7].

Bu çalışmada küresel ısınma potansiyeli düşük olan HFO-1234ze akışkanın tek kademeli soğutma çevriminde termodinamik analizi incelenmiştir. Kondenser ve evaporatör sıcaklıklarına bağlı olarak çevrimin soğutma performans katsayısı ve ekserji analizi incelenmiştir. HFO-1234ze akışkanı aynı şartlar altında R134a akışkanı ile soğutma performans katsayıları ve ekserji verimlerine göre karşılaştırılmıştır.

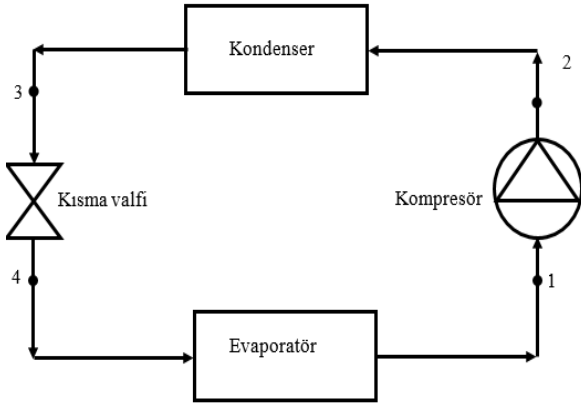
Tablo 1. Soğutma Sisteminin Enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan formüller.

Parça	Kompresör	Kondenser	Kısma Valfi	Evaporatör
Kütlenin korunumu	$\dot{m}_x$	$\dot{m}_x$	$\dot{m}_x$	$\dot{m}_x$
Enerji balans denklemleri	$W_k = \dot{m}_x(h_2 - h_1)$	$Q_k = \dot{m}_x(h_2 - h_3)$	$Kıs. Val = \dot{m}_x(h_3 - h_4)$	$Q_{ev} = \dot{m}_x(h_1 - h_4)$
Ekserji balans denklemleri	$\dot{m}_x e_1 + W_k = \dot{m}_x e_2$	$\dot{m}_x e_2 = \dot{m}_x e_1 + Q_k [1 - \frac{T_0}{T_k}] + I_k$	$\dot{m}_x e_3 = \dot{m}_x e_4 + I_{kıs}$	$\dot{m}_x e_4 + Q_{ev} [1 - \frac{T_e}{T_0}] = \dot{m}_x e_1 + I_{ev}$
Giren ekserji	$e_1 = (h_1 - h_0) - T_0 (s_1 - s_0) = (h_2 - h_0) - T_0 (s_2 - s_0)$		$e_3 = (h_3 - h_0) - T_0 (s_3 - s_0)$	$e_4 = (h_4 - h_0) - T_0 (s_4 - s_0)$
Çıkan Ekserji	$e_2 = (h_2 - h_0) - T_0 (s_2 - s_0) = (h_3 - h_0) - T_0 (s_3 - s_0)$		$e_4 = (h_4 - h_0) - T_0 (s_4 - s_0)$	$e_1 = (h_1 - h_0) - T_0 (s_1 - s_0)$
Tersinmezlik	$I_k = T_0 (S_{gen;p})$	$I_k = T_0 (S_{gen;k})$	$I_{kıs} = T_0 (S_{gen;kıs})$	$I_{ev} = T_0 (S_{gen;ev})$
Sistemin Ekserji Verimi	$\eta_{II} = \frac{E_1 - E_4}{W_k}$		$COP = \frac{Q_{ev}}{W_k}$	

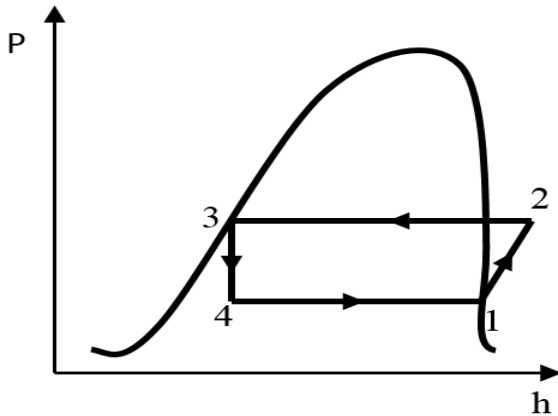
## 2. Teorik analiz

Kompresörlü soğutma sistemleri, düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısıyı çekerek yüksek sıcaklıktaki ortama atan ve böylece bulunduğu ortamı soğutan sistemlerdir. Bu işlemler soğutucu akışkanlar yardımıyla ve dışarıdan enerji harcanarak yapılır [8].

Bu çalışmada tek kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi incelenmiş ve teorik olarak analizleri yapılmıştır. Tek kademeli soğutma çevrimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Tek kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi; kompresör, kondenser, kısma valfi ve evaporatörden meydana gelmektedir. Bu çevrimin çalışma şekli; evaporatörden doymuş buhar olarak çıkan soğutucu akışkan kompresöre girer. Kompresörde basınç ve sıcaklığı artan soğutucu akışkan kondensere gelir ve kondenserde çevreye ısı vererek yoğuşma meydana gelir. Kondenserden sıvı olarak çıkan akışkan kısma valfine gelir ve burada basınç ve sıcaklığı düşer. Düşük basınç ve sıcaklıkta evaporatöre gelen akışkan çevreden ısı çekerek buharlaşma meydana gelir. Evaporatör de soğutma sağlanmış olur. Sistem bu şekilde sürekli olarak çalışmaya devam eder. Şekil 3’de bu sistemin P-h diyagramı verilmiştir.



Şekil 2. Tek kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi tesisat şeması.



Şekil 3. Tek kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi P-h diyagramı.

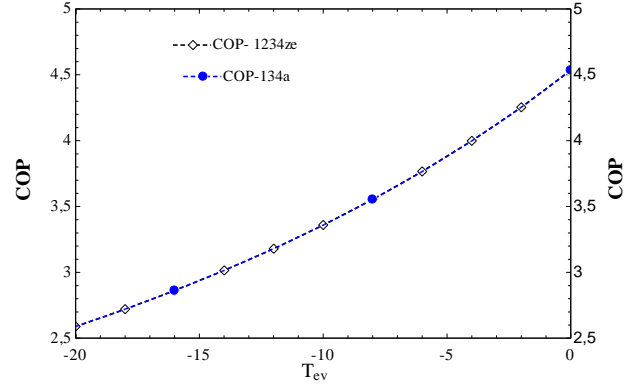
Soğutma sisteminin modellenmesinde, öncelikle, bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller aşağıda belirtilmiştir.

- \* Bütün sistem bileşenleri için sürekli rejim çalışma şartları geçerlidir.
- \* Sistemde basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
- \* Sistemden çevreye ısı kayıpları ve çevreden sisteme olan ısı kazançları ihmal edilmiştir.
- \* Kinetik ve potansiyel enerji terimleri ihmal edilmiştir.

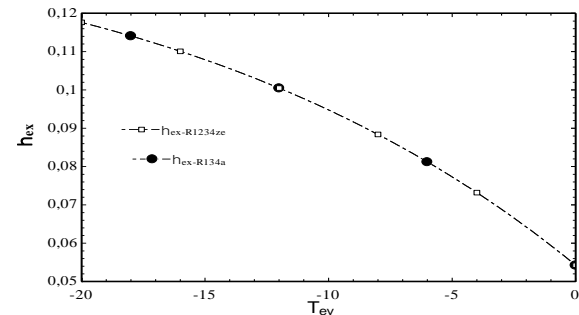
Tablo 2’de soğutma çevriminde kullanılan formüller verilmiştir. Kompresörün kapasite hesabını yaparken izantropik verime bağlı olarak kompresör çıkışının entalpisi olan  $h_2$  elde edilmiştir. İzantropik verim 0,50-0,90 arasında değiştiği kabul edilmiştir. Aşağıda kullanılan formüllerin çözümlenmesinde EES (Engineering Equation Solver) programı ve bu programın kütüphanesindeki veriler ile sağlanmıştır [9].

## 3. Bulgular ve tartışma

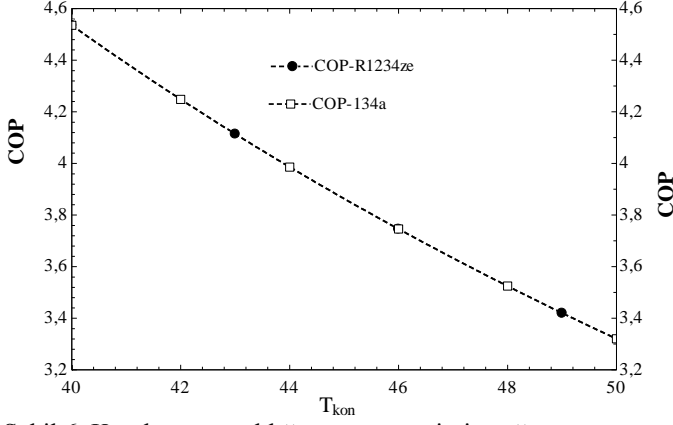
Çevrimin enerji ve ekserji analizleri sonucunda elde edilen soğutma performans verimi ve ekserji verimi evaporatör sıcaklık değişimine göre Şekil 4 ve 5’te incelenmiştir. Şekil 4’te evaporatör sıcaklığına göre sistemin soğutma performans analizi incelenmiştir. Şekil 4’de görüldüğü gibi HFC-134a soğutucu akışkanı ile HFO-1234ze akışkanın soğutma performans değerleri birbirine çok yakındır. Evaporatör sıcaklığının artması sonucunda sistemin soğutma performansı da artmaktadır. Şekil 5’te ise çevrimin evaporatör sıcaklığına göre ekserji verimi incelenmiştir. Evaporatör sıcaklığının artması sonucunda çevrimin ekserji verimi azalmaktadır. Şekil 5’te görüldüğü gibi bu iki akışkanında ekserji verimleri birbirine çok yakındır.



Şekil 4. Evaporatör sıcaklığına göre soğutma performans katsayısı (COP) değişimi.

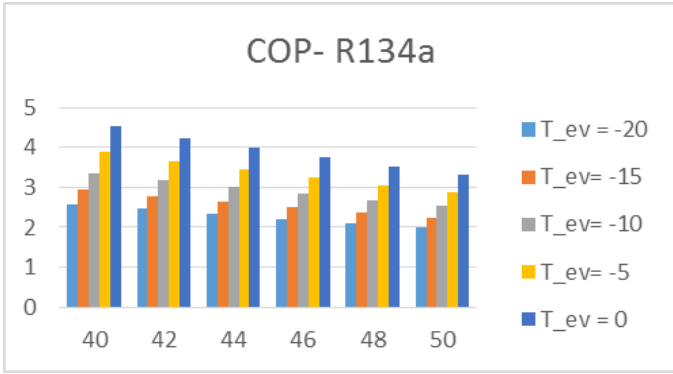


Şekil 5. Evaporatör sıcaklığına göre çevrimin ekserji verim değişimi

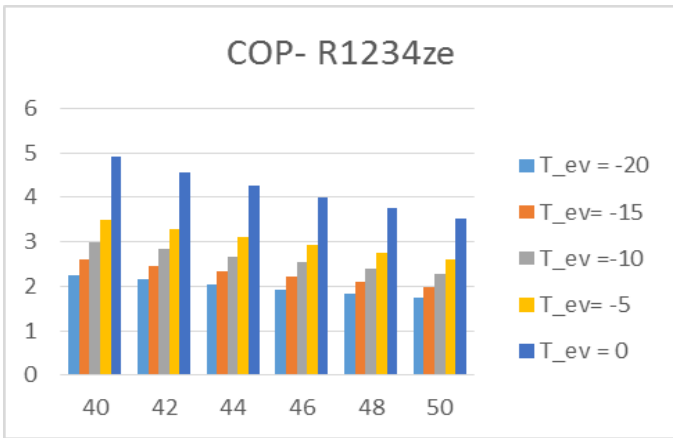


Şekil 6. Kondenser sıcaklığına göre çevrimin soğutma performans katsayısı (COP) değişimi.

Şekil 6'da çevrimin evaporatör sıcaklığı 0 °C de iken kondenser sıcaklığına bağlı olarak çevrimin soğutma performans katsayısı değişimi incelenmiş ve HFC-134a akışkanı ile HFO-1234ze akışkanın soğutma performans katsayıları aynı eğri üzerinde olduğu görülmektedir. Çevrimin kondenser sıcaklığı arttırıldığında soğutma performans katsayısı (COP) düşmektedir.



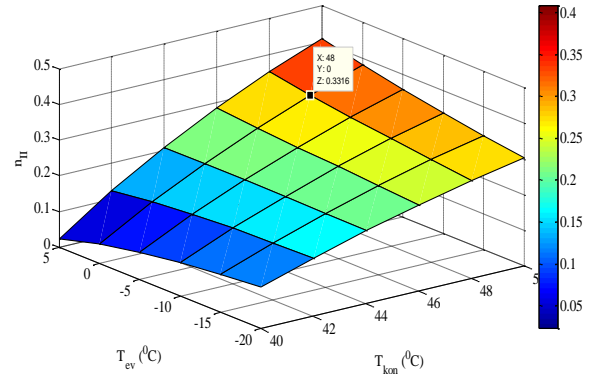
Şekil 7. Evaporatör ve kondenser sıcaklığına göre R134a çevrimin soğutma performans katsayısı (COP) değişimi.



Şekil 8. Evaporatör ve kondenser sıcaklığına göre R1234ze çevrimin soğutma performans katsayısı (COP) değişimi. Şekil 7 ve 8' de HFC-134a ve HFO-1234ze akışkanlarının evaporatör ve kondenser sıcaklıklarına bağlı olarak soğutma

performansları incelenmiştir. Bu iki akışkan aynı şartlar altında incelendiğinde soğutma performans değerleri birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Fakat R-1234ze akışkanının soğutma veriminin çok az dahi olsa yüksek olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Kondenser sıcaklığı sabit, evaporatör sıcaklığı arttırıldığında çevrimin soğutma verimleri her iki akışkan içinde artmaktadır. Fakat evaporatör sıcaklığı sabit tutulup kondenser sıcaklığını arttırdığımızda her iki akışkan içinde soğutma verimleri düşmektedir. HFO-1234ze akışkanı soğutma sistemlerinde soğutma performansı ve ekserji verimliliği bakımından incelendiğinde HFC-134a akışkanıyla hemen hemen aynı performansı gösterdiği gözlenmektedir.



Şekil 9. R-1234ze akışkanın kondenser ve evaporatör sıcaklığına göre ekserji verimi değişimi.

Şekil 9'da çevrimin kondenser ve evaporatör sıcaklıklarına bağlı olarak ekserji verimi incelenmiştir. Kondenser sıcaklığı sabit tutulup evaporatör sıcaklığı arttırıldığında çevrimin ekserji verimi de artmaktadır. Aynı şartlar altında iki akışkanın ekserji verimlerinin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir.

### 3.Sonuçlar

Çevre dostu alternatif soğutucu akışkan arayışı sürekli devam etmektedir. Soğutucu akışkanların sera etkisinin bulunması, ODP ve GWP değerlerinin yüksek olması akışkanlar için dezavantajlar oluşturmaktadır ve alternatif akışkan arayışlarını arttırmaktadır. R-134a akışkanı ısıtma ve soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat yüksek GWP değeri ve atmosferik ömrünün uzun olmasından dolayı alternatifi en çok aranan soğutucu akışkanlardan birisidir. HFO-1234ze soğutucu akışkanı da bunlardan birisidir. Bir diğer alternatif ise karbondioksittir. Karbondioksitin en olumsuz özelliği, mevcut sistemlerde, doğrudan kullanılamayacak olmasıdır. HFO-1234ze soğutucu akışkanı doğrudan mevcut sistemler ile kullanılabilir. Bu çalışmada tek kademeli buhar sıkıştırma soğutma çevriminin R-134a ve R-1234ze akışkanlarına göre; aynı şartlar altında enerji ve ekserji analizi incelenmiştir.

Bu iki akışkanın aynı şartlar altında incelendiğinde iki akışkanında soğutma performans katsayısı değerleri ve ekserji verimlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu anlaşılmıştır.

Buda bize bu akışkanın R-134a akışkanına alternatif bir akışkan olarak kullanılabilceğini göstermektedir. R-134a akışkanı evaporatör sıcaklığı 0 °C de kondenser sıcaklığı 40 °C de iken soğutma performans katsayısı 4,43 olarak hesaplanmıştır. Aynı değerler altında R-1234ze akışkanın soğutma performans katsayısı ise 4,39 olarak hesaplanmıştır. Akışkanlar küresel ısınma potansiyellerine göre ele alınırsa R-1234ze akışkanının R-134a akışkanından çok daha düşük küresel ısınma potansiyeli olduğu görülmektedir. Bu da soğutma sistemlerine akışkan seçimi için önemli bir etkidir. R-1234ze akışkanının yanıcı özelliğinin bulunması dezavantaj gibi görünmektedir. Fakat güvenlik açısından A2L sınıfında olması yanıcı özelliklerinin sınırlı olması anlamına gelmektedir. Bu çalışmadan anlaşıyor ki R-1234ze akışkanı soğutma uygulamalarında gerekli önlemlerin alınması durumunda rahatlıkla R-134a akışkanın yerine kullanılabilir.

### Kaynaklar

1. CALM, J., M..”The Next Generation of Refrigerants – Historical Review, Considerations, and Outlook”, International Journal of Refrigeration, 31,1123-1133, 2008
2. KEOGH, A.; “Soğutucu Akışkan Seçimi ve Su Soğutma Grubu Tasarımı”, “Paket Tip Su Soğutma Gruplarında R-410A Kullanımı”, Teknik Bülten Sayı:4, Nisan-2005.
3. Özgür a.e., hfc-134a ve alternatif soğutkanların (hfo-1234yf ve hfo-1234ze) soğutma çevrimi performansı açısından karşılaştırması, journal of the faculty of engineering and architecture of Gazi university, vol 28, no 3, 465-472, 2013
4. Bulgurcu, H., Uslu, T., “Taşıt İklimlendirme Sistemlerinde Soğutucu Akışkan Olarak Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) Kullanımı”, Mühendis ve Makine, Cilt 49, No 578, 8–13, 2008.
5. JARAHNEJAD, M., “New Low GWP Synthetic Refrigerants”, Master of Science Thesis, 2012.
6. PALM, B., “Refrigerants of the Future”, Royal Institute of Technology, Department of Energy Technology, Stockholm, Sweden
7. Çengel, A.Y., Boles, A.M, Thermodynamics: An Engineering Approach, McGraw-Hill, New York, U.S., 1994.
8. Klein, S.A., “Engineering Equation Solver”, Version 9.874, 2013.