

# R134a Yerine R513A ve R515B Soğutkanlarıyla Çalışan Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminin Enerji, Ekserji Çevre ve Çevreekonomik Analizi

Fatma Kadriye DÜDEN ÖRGEN<sup>1</sup>, Erkan DİKMEN<sup>\*2</sup>, Arzu ŞENCAN ŞAHİN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Enerji Sist. Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8911-1641), [fkorgen@mehmetakif.edu.tr](mailto:fkorgen@mehmetakif.edu.tr)

<sup>2</sup>İsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6804-8612), [erkandikmen@isparta.edu.tr](mailto:erkandikmen@isparta.edu.tr)

<sup>3</sup>İsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8519-4788), [arzusencan@isparta.edu.tr](mailto:arzusencan@isparta.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 06.06.2022 ve Kabul Tarihi 03.11.2022)

(DOI: 10.35354/tbed.1127021)

**ATIF/REFERENCE:** Düden, Örgen, F. K., Dikmen, E., Şahin, A. Ş. (2023). R134a Yerine R513A ve R515B Soğutkanlarıyla Çalışan Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminin Enerji, Ekserji Çevre ve Çevreekonomik Analizi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13 (1), 34-40.

## Öz

Buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemlerinin büyük bir kısmı yüksek küresel ısınma potansiyeline (GWP) sahip hidroflorokarbon (HFC) soğutucu akışkanlarla çalışmaktadır. Mevcut Avrupa F-gaz yönetmeliği, soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında yüksek GWP değerlerine sahip florürlü soğutkanların kullanımında kısıtlamalar getirmektedir. Bu bağlamda, soğutma sistemlerinin çoğu, düşük GWP'li hidrofloroolefin (HFO) soğutkanları gibi çevre dostu alternatiflerle değiştirilmeye zorlanmaktadır. Bu çalışmada, yüksek GWP'li R134a soğutkanına alternatif olarak düşünülen düşük GWP'li R513A ve R515B soğutkanlarıyla çalışan aşırı kızdırmalı ve aşırı soğutmalı buhar sıkıştırılmalı soğutma sisteminin enerji, ekserji, çevre ve çevreekonomik analizleri yapılmıştır. R134a ve R515B soğutkanı kullanılan sistemde kompresör enerji tüketimlerinin yaklaşık eşit olduğu, R513A soğutkanı kullanılan sistemde ise enerji tüketiminin yaklaşık %3 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Sistemin COP değerinin 3.3 ile 6.6 arasında değiştiği, R513A soğutkanıyla çalışan sistemin COP değerinin diğer akışkanlarla çalışan sistemin COP değerinden yaklaşık %2 oranında daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca R515B ve R134a soğutkanlarıyla çalışan sistemde ekserji verimlerinin 0.475 ile 0.52 aralığında değiştiği ve yaklaşık eşit olduğu görülmüştür. R513A soğutkanıyla çalışan sistemin ekserji veriminin diğer akışkanlarla çalışan sistemden daha düşük olduğu görülmüştür. Sonuç olarak R513A ve R515B soğutkanlarının R134a soğutkanına alternatif olarak kullanılabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji ve Ekserji, Global ısınma, Yeni nesil soğutucu akışkan.

## Energy, Exergy Environment and Environmental Economic Analysis of The Vapor Compression Refrigeration System Working with R513A and R515B Refrigerants Instead of R134a

### Abstract

Most of the vapor compression refrigeration systems operate with hydrofluorocarbon (HFC) refrigerants with high global warming potential (GWP). The current European F-gas regulation imposes restrictions on the use of fluorinated refrigerants with high GWP values in refrigeration and air conditioning applications. In this context, most refrigeration systems are forced to be replaced with environmentally friendly alternatives such as low GWP hydrofluoroolefin (HFO) refrigerants. In this study, energy, exergy, environmental and environmental economic analyzes of the superheated and supercooled vapor compression refrigeration system operating with low GWP R513A and R515B refrigerants, which are considered as an alternative to high GWP R134a refrigerant, were carried out. It has been observed that the compressor energy consumption is approximately equal in the system using R134a and R515B refrigerants, while the energy consumption is approximately 3% higher in the system using R513A refrigerant. It has been observed that the COP value of the system varies between 3.3 and 6.6, and the COP value of the system operating with R513A refrigerant is approximately 2% lower than the COP value of the system operating with other fluids. In addition, it has been observed that the exergy

efficiencies of the system operating with R515B and R134a refrigerants vary between 0.475 and 0.52 and are approximately equal. It has been observed that the exergy efficiency of the system operating with R513A refrigerant is lower than the system operating with other fluids. As a result, it has been seen that R513A and R515B refrigerants can be used as an alternative to R134a refrigerants.

**Keywords:** Energy and Exergy, Global warming, New generation refrigerants.

## 1. Giriş

Günümüzde, düşük küresel ısınma potansiyeli (GWP) ve ozon tüketme potansiyeline (ODP) sahip alternatif soğutucu akışkan arayışları devam etmektedir. Bazı kuruluşlar, alternatif soğutucu akışkanların geliştirilmesini teşvik etmek için bir dizi yasa ve yönetmelik yayınlamıştır. Avrupa Birliği, 2015 yılında Hidroflorokarbon (HFC) soğutucuların kullanımını azaltmaya başlamış ve yayımlanan F-gaz yönetmeliğine göre, 2030 yılı sonuna kadar HFC'li soğutucuların %79'unu aşamalı olarak kaldırmayı planlamaktadır [1]. 2015 yılında ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), soğutma ve iklimlendirme endüstrisinde yaygın olarak kullanılan R134a, R404A, R410 gibi yüksek küresel ısınma etkisine sahip soğutucuların kullanımını sınırlamak için alternatif ürün geliştirme politikalarını revize eden bir yasa

tasarısı yayınlamıştır [2,3]. Ekim 2016'da dünyanın dört bir yanından yaklaşık 200 ülke, yüksek GWP değerlerine sahip HFC soğutucuların kullanımını kademeli olarak azaltmayı amaçlayan Montreal Protokolü'nün Kigali değişikliğini imzalamıştır. Değişiklik, 1 Ocak 2019'da yürürlüğe girmiş ve çoğu gelişmiş ülke HFC soğutucuların kullanımını kademeli olarak azaltmaya başlamıştır. Gelişmekte olan ülkelerden bazıları 2024'ten itibaren, bazıları da 2028'de HFC soğutucuların kullanımını dondurma kararı almıştır [4]. R134a, R410A ve R404A gibi yüksek GWP değerlerine sahip soğutucu akışkanların kullanımının sınırlandırılması sürecinde alternatif soğutucu akışkanlar geliştirilmeye başlanmıştır. Tablo 1'de R134a, R410A ve R404A soğutucu akışkanlarına alternatif olabilecek soğutucular görülmektedir.

Tablo 1. R134a, R410A ve R404A'ya alternatif olan soğutucular [1]

Değiştirilecek Soğutucu akışkan	GWP	Güvenlik Sınıfı	Alternatif soğutucu akışkan	GWP	Güvenlik Sınıfı	Alternatif soğutucu akışkan	GWP	Güvenlik Sınıfı
R134a	1300	A1	R1234yf	<1	A2L	R513A	573	A1
			R1234ze	<1		R515B	299	
			R516A	131		R450A	547	
R404A	3943	A1	R454A	238	A2L	R407H	1378	A1
			R454C	146		R442	1273	
			R455A	146		R448A	1273	
			R457A	139		R449A	1293	
			R459B	143		R452A	1952	
			R468A	146		R453A	1639	
R410A	1924	A1	R32	677	A2L	R463A	1397	A1
			R454B	466		R466A	733	
			R452B	675		HDR147	399	
			R447B	714		HDR139	<300	
			R447A	572				
			R459A	460				

Yüksek GWP değerine sahip HFC soğutucu akışkan grubunda olan R134a, mükemmel termodinamik özellikleri nedeniyle buhar sıkıştırma sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlardan biridir. Literatürde R134a soğutucu akışkanına alternatif soğutucularla çalışan soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin analizi ilgili bazı çalışmalar mevcuttur. Tablo 2'de bu konu ile ilgili yapılan çalışmaların bir özeti görülmektedir.

Literatürde R134a'ya alternatif soğutucu akışkanların kullanıldığı buhar sıkıştırma sistemlerinin enerji, ekserji, çevresel ve optimizasyon çalışmalarının birçok araştırmacı tarafından yapıldığı görülmektedir. Ancak yeni nesil soğutucu akışkanlardan R513A ve R515B'nin buhar sıkıştırma sistemlerinde kullanılması ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu çalışmada, R134a soğutucularına alternatif R513A ve R515B soğutucularıyla çalışan aşırı kızdırmalı ve aşırı soğutmalı buhar sıkıştırma soğutma sisteminin enerji, ekserji, çevre ve çevreekonomik analizleri yapılmıştır.

Tablo 2. R134a soğutkanına alternatif olan soğutkanlarla ilgili çalışmalar

Soğutucu akışkan	Çalışılan konular	Referans
R513A	Soğutma Kapasitesi, COP, güvenlik, çevre koruması	Yang Z. Vd. [1]
R600a	Enerji ve ekserji verimleri	Ahamed vd. [5]
R1234yf	COP ve Exerjetik COP	Wantha C. [6]
HFO-1234ze, R515B	Enerji analizi, çevre analizi	Mateu-Royo, Carlos, et al.[7]
R1234yf, R1234ze, %40 R134a/ %22 R1234yf/ %38 R1234ze	Hacimsel soğutma kapasitesi, Soğutma Kapasitesi (COP), Basınç oranı, kütle akış hızı, ekserji yıkımı ve verimi,	Kumar, Raj.[8]
HFO-1234yf	Soğutma Kapasitesi (COP), ekserji verimleri, çevre analizi	Prabakaran,[9]
LiBr-H <sub>2</sub> O /R134a	Enerji, Ekserji, Çevre Çevreekonomik Analiz	Bellos vd. [10]
R1234yf	Enerji ve ekserji analizi	Belman-Flores, J. M., et al [11]
R1234ze	Enerji ve ekserji analizi	Jemaa, Radhouane Ben, et al [12]
R290/R600a	COP, Ekserji kaybı, ekserji verim,	Saravanakumar, R., and V. Selladurai.[13]
R1234yf, R1234ze	Ekserji analizi, Ekserji verimi,	Yataganbaba vd. [14]
HFO-1234yf	1. Ve 2. Yasa analizi,	Özgür vd. [15]
R450A	Ekserji analizi,	Gill, Jatinder, vd.[16]
HFO-1234yf, HFC-152a	Hacimsel Soğutma Kapasitesi, COP, kompresör emiş gücü, Kompresör şarj sıcaklığı, Ekserji verimi, Ekserji yıkım oranı, Ekserji analizi	Shaik, Mohammad Hasheer vd.[17]
R600a	Enerji ve Ekserji analizi, COP, tersinmezlik oranı, verim oranı, ekserji verimi	Kabul, vd.[18]
HFO/HFC karışımları	Enerji ve çevre analizi	Mota-Babiloni vd. [19]
R152a, HFO-1234yf, HFO-1234ze	2.yasa analizi, sistem verimi, ekserji yıkımı	Pérez-García, Vicente, et al.[20]
HFO-1234yf,	COP, ekserji yıkımı, ekserji verimi, entropi üretimi, 2.yasa analizi	Golzari, Soudabeh, et al [21]
HFO-1234yf, HFO-1234ze	Ekserji analizi	Mishra, Shobhit, and M. Emran Khan.[22]
HFO-1234yf, HFO-1234ze	Ekserji analizi, COP, ekserji yıkımı, ekserji verimi	Ansari, Naushad, Bipin Yadav, and Jitendra Kumar [23]
R134a, R1234yf, R513A	Enerji ve yaşam döngüsü iklim performansı (LCCP)	Yıldız and Yıldırım [24]
R134a, R1234yf, R513A	Ekserji ve ekserji temelli çevresel analiz	Yıldız and Yıldırım [25]
R134a, R450A	Enerji, ekserji, çevresel ve çevreekonomik analiz	Yıldırım [26]

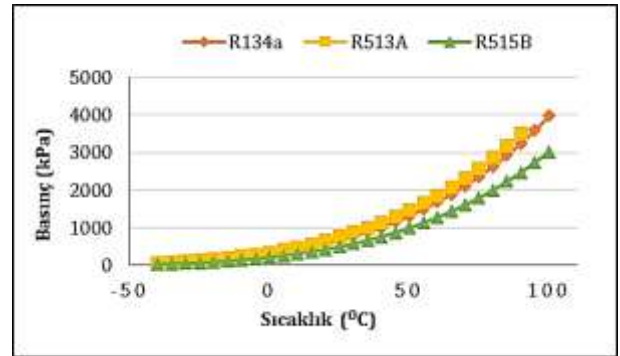
## 2. Termodinamik Analiz

Bu çalışmada; R134a, R513A ve R515B soğutkanlarıyla çalışan aşırı kızdırmalı ve aşırı soğutmalı buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin analizleri yapılmıştır. Bu akışkanların genel özellikleri Tablo 1 de verilmektedir.

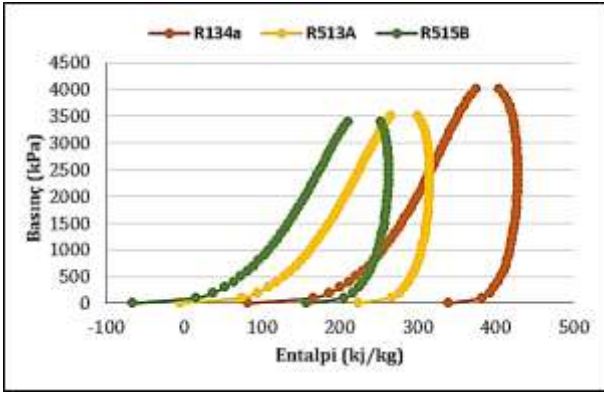
Şekil 1 ve Şekil 2’ de R515B, R134a, R513A soğutucu akışkanlarının P-h ve P-T diyagramları görülmekte olup aynı soğutma sistemlerinde değişiklik yapmadan kullanılabilirler.

Tablo 3. R134a, R513A ve R515B soğutkanlarının özellikleri [1,4]

Soğutucu Akışkan	R134a	R513A	R515B
Bileşim	Saf	R134a/ R1234yf 44/56	R1234ze/ R227ea 91.1/8.9
ODP	0	0	0
GWP	1300	573	299
Kritik Sıcaklık (°C)	101.1	97.7	108.0
Kritik Basınç [kPa]	4059.3	3855.3	3563.0
Kaynama Noktası [°C]	-24.6	-29.9	-18.80
Yoğunluk [kg/m <sup>3</sup> ]	5.258	5.679	5.877
h <sub>fg</sub> [kJ/kg]	217	194.8	190.0
ASHRE Güvenlik Sınıfı	A1	A1	A1
Moleküler Ağırlık [g/mol]	102.03	108.40	117.48



Şekil 1. R134a, R513A, R515B için P-T diyagramı

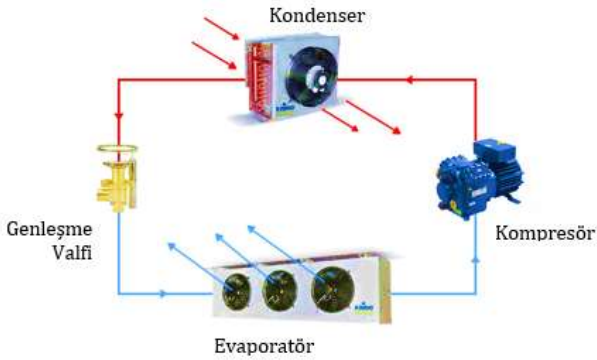


Şekil 2. R134a, R515B, R513A için P-h diyagramı

Aşırı soğutmalı aşırı kızdırmalı buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin analinde tüm sistem elemanları sürekli akışlı açık sistem olarak alınmış ve basınç düşümleri ihmal edilmiştir. Tablo 4' de sistemin analinde yapılan kabuller ve bazı parametreler verilmiştir. Sistemin enerji, ekserji ve çevre ekonomik analizleri ve analizlerde kullanılan denklemler Şekil 3'te verilen soğutma sistemi şemasına göre yapılmıştır.

Tablo 4. Soğutma sistemi için yapılan kabuller ve parametreler

Soğutma Yüğü ( $\dot{Q}_E$ ) [kW]	1
Kondanser Sıcaklığı ( $T_K$ ) [°C]	35
Evaporator Sıcaklığı ( $T_E$ ) [°C]	-15; -10; -5; 0; 5
Kompresör izentropik verim ( $\eta$ )	0.85
Aşırı Kızdırma [°C]	5
Aşırı Soğutma [°C]	5



Şekil 3. Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevriminin Tesisat Şeması

Buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin enerji analizinde kullanılan denklemler Tablo 5' de verilmiştir [27].

Tablo 5. Enerji analizi için kullanılan denklemler

İdeal kompresör enerji tüketimi (kW)	$W_{komp,i} = \dot{m}_r(h_{2s} - h_1)$ (1)
Gerçek kompresör enerji tüketimi (kW)	$W_{komp} = \dot{m}_r(h_2 - h_1)$ (2)
Kompresör çıkışındaki entalpi (kJ/kg)	$h_2 = h_1 + \frac{(h_{2s} - h_1)}{\eta}$ (3)
Kondanserden atılan ısı (kW)	$\dot{Q}_K = \dot{m}_r(h_2 - h_3)$ (4)
Evaporatörde çekilen ısı (kW)	$\dot{Q}_E = \dot{m}_r(h_1 - h_4)$ (5)

Kısılma vanası	$h_3 = h_4$ (6)
Soğutma performans katsayısı	$COP = \frac{\dot{Q}_E}{W_{komp}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$ (7)
Kompresör sıkıştırma oranı	$CR = \frac{P_2}{P_1}$ (8)

Buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin ekserji analizinde kullanılan denklemler Tablo 6' da verilmiştir [27].

Tablo 6. Ekserji analizi için kullanılan denklemler

Kompresör ekserji yıkımı	$\dot{E}_{d,komp} = E_{d,1-2}$ (9) $= W_{komp} - \dot{m}_r[h_2 - h_1 - T_0(s_2 - s_1)]$
Kompresör ekserji verimi	$\eta_{ex,komp} = 1 - \frac{\dot{E}_{d,komp}}{W_{komp}}$ (10)
Kondanser ekserji yıkımı	$\dot{E}_{d,K} = E_{d,2-3}$ (11) $= \dot{m}_r[h_2 - h_3 - T_0(s_2 - s_3)] - \dot{Q}_K(1 - \frac{T_0}{T_K})$
Kondanser ekserji verimi	$\eta_{ex,K} = 1 - \frac{\dot{E}_{d,K}}{E_2 - E_3}$ (12)
Kısılma vanası ekserji yıkımı	$(\dot{E}_{d,KV}) = E_{d,3-4} = \dot{m}_r[h_3 - h_4 - T_0(s_3 - s_4)]$ (13)
Kısılma vanası ekserji verimi	$\eta_{ex,KV} = 1 - \frac{\dot{E}_{d,KV}}{E_3 - E_4}$ (14)
Evaporator ekserji yıkımı	$\dot{E}_{d,E} = E_{d,4-1}$ (15) $= \dot{m}_r[h_4 - h_1 - T_0(s_4 - s_1)] - \dot{Q}_E(1 - \frac{T_0}{T_E})$
Evaporator ekserji verimi	$\eta_{ex,E} = 1 - \frac{\dot{E}_{d,E}}{E_4 - E_1}$ (16)
Sistemin toplam ekserji yıkımı	$\dot{E}_{d,sistem} = E_{d,1-2} + E_{d,2-3} + E_{d,3-4} + E_{d,4-1}$ (17)
Sistemin toplam ekserji verimi	$\eta_{ex,sistem} = 1 - \frac{\dot{E}_{d,sistem}}{W_{komp}}$ (18)

Ayrıca, buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin çevre ve çevre ekonomik analizleri yapılmıştır. Çevre ve çevre ekonomik analizlerinde kullanılan denklemler Tablo 7' de verilmiştir. Bu denklemlerde; sistem tarafından üretilen elektrik enerjisi  $E_{in}(kW)$  ile, bununla oluşan emisyon miktarı  $EM$  ( $\frac{kgCO_2}{kWh}$ ) ile gösterilmektedir.  $t_{çalışma}$  ( $\frac{h}{gün}$ ) ise sistemin çalışma süresini göstermektedir. Sistemin sebep olduğu sera gazı emisyonlarını değerlendirmek için karbon fiyatlandırması önerilir. Çevre ekonomik analizi ( $C_{CO_2}$ ), çevre analizi ( $X_{CO_2}$ ) ve sera gazı emisyon fiyatlarına ( $C_{CO_2}$ ) bağlıdır. Çevre ekonomik analizde kullanılan denklemler Tablo 7 de verilmiştir [28, 29].

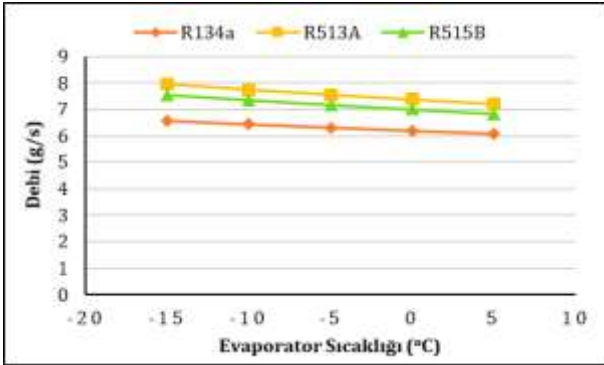
Tablo 7. Çevre ve çevre ekonomik analizinde kullanılan denklemler

Çevre Analizi [ $CO_2/zaman$ ]	$X_{CO_2} = EM \times E_{in} \times t_{çalışma}$ (19)
Çevre ekonomik analiz [ $\$/zaman$ ]	$C_{CO_2} = c_{CO_2} \times X_{CO_2}$ (20)

Burada; çalışma süresi  $t_{çalışma} = 12 \frac{h}{gün}$ ,  $EM = 0.523 \frac{kgCO_2}{kWh}$  ve  $c_{CO_2} = 0.0145 \frac{\$}{kgCO_2}$  kabul edilmiştir [26].

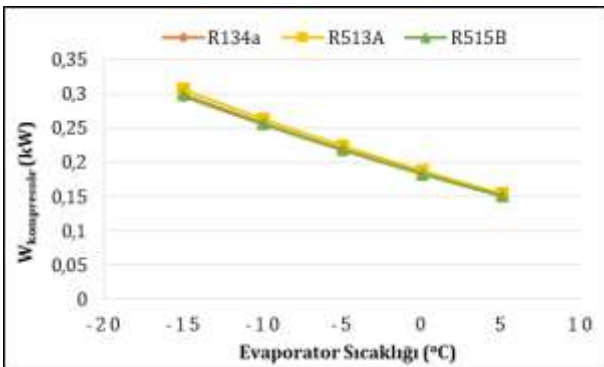
### 3. Araştırma Bulgular

R134a ve alternatifleri R513A, R515B soğutucu akışkanlarıyla çalışan soğutma sistemi için yapılan enerji analizleriyle kompresör enerji tüketimleri, soğutucu akışkan debileri ve COP değerleri incelenmiştir. Şekil 4’de 35oC kondenser sıcaklığı, 5 oC aşırı soğutma ve aşırı kızdırma sıcaklıkları için evaporator sıcaklığıyla soğutucu akışkanların kütsel debilerindeki değişim görülmektedir. Evaporatör sıcaklığının artmasıyla kütsel debilerde bir miktar azalma olmaktadır. R134a soğutucu akışkanın debisi 6.08 ile 6.5 g/s arasında değişmektedir. R134a soğutucu akışkanın debisi R515B soğutkan debisinden yaklaşık %13, R513A soğutkan debisinden yaklaşık % 17 oranında daha düşüktür.



Şekil 4. Evaporator sıcaklığı ile kütsel debilerin değişimi

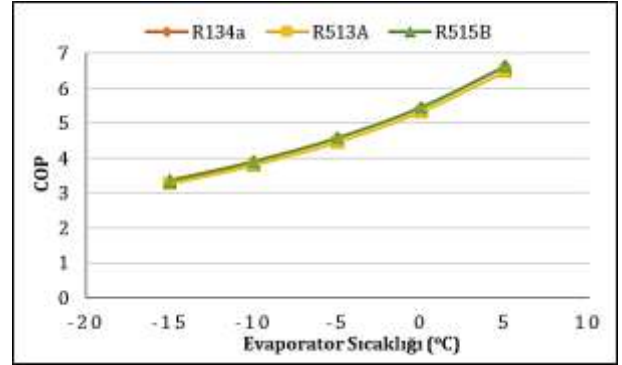
Şekil 5’te evaporator sıcaklığıyla kompresördeki enerji tüketimindeki değişim görülmektedir. Evaporatör sıcaklığındaki artışla kompresör enerji tüketimlerinin azaldığı görülmektedir. R134a soğutkanı kullanıldığında kompresör enerji tüketimi yaklaşık 0.151 kW ile 0.296 W arasında, R513A soğutkanı kullanıldığında 0.154 kW ile 0.306 kW arasında, R515B soğutkanı kullanıldığında 0.150 kW ile 0.298 kW arasında değişmektedir. R134a ve R515B soğutucu akışkanları kullanılan sistemde kompresör enerji tüketimlerinin yaklaşık eşit olduğu görülmektedir. R513A soğutucu akışkanları kullanılan sistemde ise enerji tüketiminin yaklaşık %3 oranında daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Evaporator sıcaklığı ile kompresör enerji tüketimlerinin değişimi

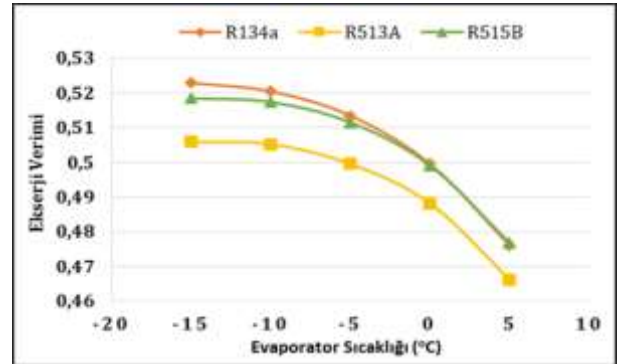
Şekil 6’da evaporator sıcaklığıyla tüm soğutucu akışkanlarla çalışan sistemin soğutma performans katsayısındaki (COP) değişim görülmektedir. R134a soğutkanıyla çalışan sistemin COP değeri 3.37 ile 6.62 arasında, R515B soğutkanıyla çalışan sistemin COP değeri 3.3 ile 6.63 arasında değişmekte olup tüm evaporatör sıcaklıklarında birbirine çok yakındır. R513A soğutkanıyla çalışan sistemin COP değeri 3.26 ile 6.48 arasında

değişmekte olup diğer akışkanlarla çalışan sistemin COP değerinden yaklaşık %2 oranında daha düşüktür.



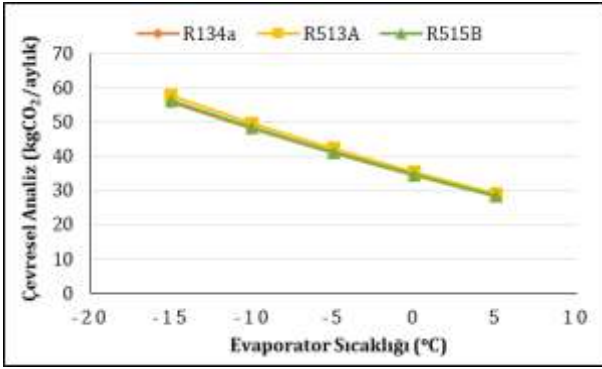
Şekil 6. Evaporator sıcaklığı ile COP değişimi

Şekil 7’de buhar sıkıştırma soğutma sisteminde evaporatör sıcaklığıyla ekserji verimindeki değişim görülmektedir. Evaporatör sıcaklığının artmasıyla sistem elemanlarındaki tersinmezliklerin artması yüzünden ekserji verimlerinde azalma meydana gelmiştir. R515B ve R134a soğutucu akışkanlarıyla çalışan sistemde ekserji verimleri 0.475 ile 0.52 aralığında değişmektedir. -15 ve -10 oC evaporatör sıcaklıkları dışında R515B ve R134a soğutucu akışkanlarıyla çalışan sistemlerde ekserji verimlerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. R513A soğutkanıyla çalışan sistemin ekserji verimi ise 0.465 ile 0.505 arasında değişmekte olup tüm evaporatör sıcaklıklarında diğer akışkanlarla çalışan sistemden daha düşüktür.



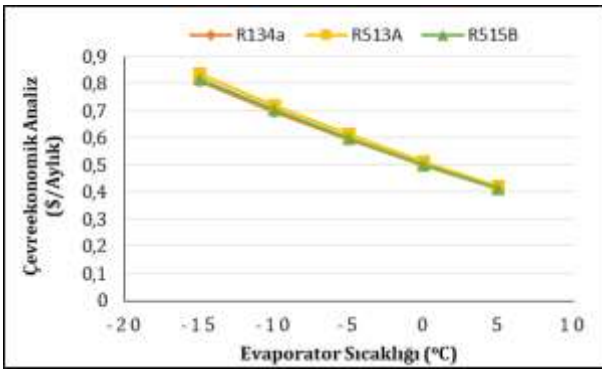
Şekil 7. Sistemin ekserji veriminin evaporator sıcaklığı ile değişimi

Evaporatör sıcaklığındaki değişimle sistemin çevresel analiz sonuçları Şekil 8’de verilmiştir. Tüm soğutucu akışkanlar için evaporatör sıcaklığı arttığında, kompresör enerji tüketimi azalmakta ve soğutma sisteminin COP değeri artmaktadır. Buna bağlı olarak da çevreye salınan emisyon oranı azalmaktadır. R134a, R513A ve R515B soğutucu akışkanlarıyla çalışan sistemin çevresel analiz sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Çevresel analiz sonuçlarının evaporatör sıcaklığı ile değişimi

Şekil 9’da evaporatör sıcaklıklarındaki değişimle çevre ekonomik analiz sonuçları verilmektedir. Şekil 8’de açıklandığı gibi evaporatör sıcaklığı arttıkça soğutma sisteminin COP değeri artmakta ve kompresör enerji tüketimi azalmaktadır. Dolayısıyla Şekil 9’da evaporatör sıcaklığındaki artışla birlikte çevre ekonomik analiz sonuçlarının da iyileştiği görülmektedir. R134a, R513A ve R515B soğutucu akışkanlarıyla çalışan sistemin çevre ekonomik analiz sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Çevre ekonomik analiz sonuçlarının evaporatör sıcaklığı ile değişimi

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, R134a yerine düşük GWP değerlerine sahip R513A ve R515B soğutucu akışkanlarıyla çalışan aşırı kızdırmalı aşırı soğutmalı buhar sıkıştırmalı bir soğutma sisteminin enerji, ekserji, çevre ve çevre ekonomik analizleri yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- R134a soğutucu akışkanı en düşük kütleli debi ve kompresör enerji tüketimine sahip iken R513A soğutucu akışkanı en yüksek kütleli debi ve kompresör enerji tüketimine sahiptir.
- Aynı çalışma şartlarında R134a ve R515B soğutucularıyla çalışan sistemin COP değerlerinin birbirine çok yakın olduğu, R513A soğutucularıyla çalışan sistemin COP değerinin yaklaşık %3 oranında daha düşük olduğu görülmüştür.
- Evaporatör sıcaklığının artmasıyla sistem elemanlarındaki tersinmezliklerin artması yüzünden ekserji verimlerinde azalma meydana gelmiştir. -15 ve -10 oC evaporatör sıcaklıkları dışında R515B ve R134a soğutucu akışkanlarıyla çalışan sistemlerde ekserji verimlerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. R513A soğutucularıyla çalışan sistemin ekserji verimi ise tüm evaporatör

sıcaklıklarında diğer akışkanlarla çalışan sistemden daha düşüktür.

- Evaporatör sıcaklığı arttığında, kompresör enerji tüketimi azalmakta ve soğutma sisteminin COP değeri artmaktadır. Buna bağlı olarak da çevreye salınan emisyon oranı azalmaktadır.
- R134a, R513A ve R515B soğutucu akışkanlarıyla çalışan sistemin çevresel analiz sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.
- R134a, R513A ve R515B soğutucu akışkanlarıyla çalışan sistemin çevre ekonomik analiz sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Genel olarak; R134a, R513A ve R515B soğutucu akışkanlarıyla çalışan buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin enerji, ekserji, çevre ve çevreekonomik analiz sonuçları birbirine yakındır. Dolayısıyla GWP değeri yüksek R134a soğutucu akışkanına alternatif olarak çok daha düşük GWP değerine sahip R513A ve R515B soğutucu akışkanları kullanılabilir. Fakat R515B soğutucu akışkanının maliyetinin R513A soğutucu akışkanına göre yüksek olması ve temin edilme sıkıntısı sebebi ile R513A soğutucularının R134a yerine daha iyi bir alternatif olacağı öngörülmektedir.

#### Kaynakça

- [1] Yang, Z., Feng, B., Ma, H., Zhang, L., Duan, C., Liu, B., 2021. Analysis of lower GWP and flammable alternative refrigerants. International Journal of Refrigeration, 126, 12-22.
- [2] SNAP. Regulations-proposal to prohibit certain high-GWP HFC alternatives. 2015.11.25. Available at: <http://www.epa.gov/ozone/snap/Regulations.html>
- [3] SNAP. Transition to low-GWP alternatives in domestic refrigeration. 2016. Available at: <https://www.epa.gov/snap/transitioning-low-gwp-alternatives-domestic-refrigeration>
- [4] Zhang, Z. H., Chen, J. L., Gao, Y., Liu, H. C., & Bai, J. W. 2017. Analysis on the influence of Kigali Amendment to Montreal Protocol to refrigeration and air-conditioning industry. Refrig. Air-cond, 17, 1-7.
- [5] Ahamed, J. U., Saidur, R., Masjuki, H. H., Sattar, M. A. 2012. An analysis of energy, exergy, and sustainable development of a vapor compression refrigeration system using hydrocarbon. International journal of Green energy, 9(7), 702-717.
- [6] Wantha, C. 2019. Analysis of heat transfer characteristics of tube-in-tube internal heat exchangers for HFO-1234yf and HFC-134a refrigeration systems. Applied Thermal Engineering, 157, 113747.
- [7] Mateu-Royo, C., Mota-Babiloni, A., Navarro-Esbri, J., Barragán-Cervera, Á. 2021. Comparative analysis of HFO-1234ze (E) and R-515B as low GWP alternatives to HFC-134a in moderately high temperature heat pumps. International Journal of Refrigeration, 124, 197-206.

- [8] Kumar, R. 2018. Computational energy and exergy analysis of R134a, R1234yf, R1234ze and their mixtures in vapour compression system. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 3229-3237.
- [9] Prabakaran, R., Lal, D. M., Devotta, S. 2021. Effect of thermostatic expansion valve tuning on the performance enhancement and environmental impact of a mobile air conditioning system. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143(1), 335-350.
- [10] Bellos, E., Tzivanidis, C., Tsifis, G. 2017. Energetic, Exergetic, Economic and Environmental (4E) analysis of a solar assisted refrigeration system for various operating scenarios. *Energy Conversion and Management*, 148, 1055-1069.
- [11] Belman-Flores, J. M., Rangel-Hernández, V. H., Usón, S., Rubio-Maya, C. 2017. Energy and exergy analysis of R1234yf as drop-in replacement for R134a in a domestic refrigeration system. *Energy*, 132, 116-125.
- [12] Jemaa, R. B., Mansouri, R., Boukholda, I., Bellagi, A. 2017. Energy and exergy investigation of R1234ze as R134a replacement in vapor compression chillers. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(17), 12877-12887.
- [13] Saravanakumar, R., Selladurai, V. 2014. Exergy analysis of a domestic refrigerator using eco-friendly R290/R600a refrigerant mixture as an alternative to R134a. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115(1), 933-940.
- [14] Yataganbaba, A., Kilicarslan, A., Kurtbaş, İ. 2015. Exergy analysis of R1234yf and R1234ze as R134a replacements in a two evaporator vapour compression refrigeration system. *International journal of refrigeration*, 60, 26-37.
- [15] Özgür, A. E., Kabul, A., Kizilkan, Ö. 2014. Exergy analysis of refrigeration systems using an alternative refrigerant (hfo-1234yf) to R-134a. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(1), 56-62.
- [16] Gill, J., Singh, J., Ohunakin, O. S., Adelekan, D. S. 2019. Exergy analysis of vapor compression refrigeration system using R450A as a replacement of R134a. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136(2), 857-872.
- [17] Shaik, M. H., Kolla, S., Prasad Katuru, B. 2022. Exergy and energy analysis of low GWP refrigerants in the perspective of replacement of HFC-134a in a home refrigerator. *International Journal of Ambient Energy*, 43(1), 2339-2350.
- [18] Kabul, A., Kizilkan, Ö., Yakut, A. K. 2008. Performance and exergetic analysis of vapor compression refrigeration system with an internal heat exchanger using a hydrocarbon, isobutane (R600a). *International Journal of Energy Research*, 32(9), 824-836.
- [19] Mota-Babiloni, A., Makhnatch, P., Khodabandeh, R. 2017. Recent investigations in HFCs substitution with lower GWP synthetic alternatives: Focus on energetic performance and environmental impact. *International Journal of Refrigeration*, 82, 288-301.
- [20] Pérez-García, V., Belman-Flores, J. M., Rodríguez-Muñoz, J. L., Rangel-Hernández, V., Gallegos-Muñoz, A. 2017. Second law analysis of a mobile air conditioning system with internal heat exchanger using low GWP refrigerants. *Entropy*, 19(4), 175.
- [21] Golzari, S., Kasaeian, A., Daviran, S., Mahian, O., Wongwises, S., Sahin, A. Z. 2017. Second law analysis of an automotive air conditioning system using HFO-1234yf, an environmentally friendly refrigerant. *International Journal of Refrigeration*, 73, 134-143.
- [22] Mishra, S., Khan, M. E. 2016. Theoretical Exergy Analysis of Actual Vapour Compression System with HFO-1234yf and HFO-1234ze as an Alternative Replacement of HFC-134a. *Int. J. Sci. Res.*, 5, 1684-1689.
- [23] Ansari, N. A., Yadav, B., Kumar, J. 2013. Theoretical exergy analysis of HFO-1234yf and HFO-1234ze as an alternative replacement of HFC-134a in simple vapour compression refrigeration system. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(8), 137.
- [24] Yıldız, A., Yıldırım, R. 2021. Investigation of using R134a, R1234yf and R513A as refrigerant in a heat pump. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 18, 1201–1210. DOI:10.1007/s13762-020-02857-z
- [25] Yıldız, A., Yıldırım, R. 2022. Experimental investigation of exergy, exergoenvironmental and exergoenvironmental analysis of the heat pump system. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 19, 10737-10746. DOI: 10.1007/s13762-021-03890-2
- [26] Yıldırım, R. 2021. Evaluation of The Use R450A as an Alternative to R134a in Low and Medium Temperature Heat Pump Systems: 4-E (Energy, Exergy, Environmental and Enviro-Economic) Analysis . *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(4), 556-569. DOI: 10.28979/jarnas.939582
- [27] Çengel Y. A., Boles M. A., 2008. *Termodinamik: mühendislik yaklaşımıyla*. İzmir: İzmir Güven Kitabevi.
- [28] Yıldırım, R. , Şencan Şahin, A. Dikmen, E. 2022. Comparative Energetic, Exergetic, Environmental and Enviroeconomic Analysis of Vapour Compression Refrigeration Systems Using R515B as Substitute for R134a . *International Journal of Thermodynamics* , 25 (1) , 125-133.
- [29] Yıldırım, R., Kumaş, K., Akyüz, A. Ö. 2021. Soğutma Sisteminde R404A Yerine R454C Soğutucu Akışkanın Kullanılmasının İncelenmesi: Enerji ve Çevresel Analizi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 11(2), 47-51.