

R12, R22, R134A, R404A Soğutucu Gazlarının Evaporatör Soğutma Kapasitesinin Belirli Bir Oranda Azaltılmasıyla Yıllık Enerji ve Ekonomi Tasarrufu Kıyaslaması

Musa DEMİR^{1*}, Nesrin ADIGÜZEL²

¹Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü, 28200, Giresun

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü, 25240, Erzurum

¹<https://orcid.org/0000-0002-2191-5395>

²<https://orcid.org/0000-0001-7610-2757>

*Sorumlu yazar: musa.demir@giresun.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.01.2022

Kabul tarihi: 16.06.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Soğutucu Gazlar
Soğutma Çevrimi
Enerji
Ekonomi

ÖZ

Tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi için R12, R22, R134A ve R404A soğutucu gazları kullanılmıştır. 4 soğutucu gaz için evaporatör sıcaklığı 263K, kondenser sıcaklığı 303K, kütleli debi 0,654(kg/s) kompresör izentropik verimliliği (0,7), kompresör ısı kaybı faktörü (%0,7), kompresör giriş sıcaklığı 278K olarak belirlenmiştir. Evaporatör soğutma kapasitesinin (%0,7) azaltılmasıyla belirlenen yeni değer ile bir karşılaştırma yapılmıştır. Kompresör kapasitesindeki değişim, soğutma etkinlik katsayısındaki (COP_{SM}) değişimler tabloda verilmiştir. Bir yıl 8760 saat olarak alınmıştır. 1kWh'in maliyeti 0,5 \$ dolar olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada CoolPack programı kullanılmıştır. R12, R22, R134a ve R404A gazları için sırasıyla yıllık tasarruf para birimi olarak 1051\$, 1445\$, 1358\$, 1183\$ bulunmuştur. Ek olarak R12, R22, R134a, R404A gazları için yaklaşık olarak 2102, 2891, 2716, 2365 kWh tasarruf sağlanmıştır.

Comparison of Annual Energy and Economy Savings by Decreasing The Evaporator Cooling Capacity of R12, R22, R134A, R404A Refrigerants

Research Article

Article History:

Received: 06.01.2022

Accepted: 16.06.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Refrigerants
Cooling Cycle
Energy
Economy

ABSTRACT

R12, R22, R134A and R404A refrigerants are used for the single stage conventional vapor compression refrigeration cycle. Evaporator temperature was determined as 263K, condenser temperature 303K, mass flow rate 0.654(kg/s) compressor isentropic efficiency (0.7), compressor heat loss factor (0.7%), compressor inlet temperature 278K in 4 refrigerants. A comparison was made with the new value determined by reducing the evaporator cooling capacity (0.7%). The change in the compressor capacity and the changes in the cooling efficiency coefficient (COP_{SM}) are given in the table. One year is taken as 8760 hours. The cost of 1kWh is set at \$0.5 dollars. CoolPack program was used in the study. Annual savings for R12, R22, R134a and R404A gases were found to be 1051\$, 1445\$, 1358\$ and 1183\$, respectively. In addition, approximately 2102, 2891, 2716, 2365 kWh savings were achieved for R12, R22, R134a, R404A gases.

To Cite: Demir M., Adıgüzel N. R12, R22, R134A, R404A Soğutucu Gazlarının Evaporatör Soğutma Kapasitesinin Belirli Bir Oranda Azaltılmasıyla Yıllık Enerji ve Ekonomi Tasarrufu Kıyaslaması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 416-426.

1. Giriş

Afshari ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, iki sistem arasındaki termodinamik farklılıkları incelemek için iki farklı veri kaynağı toplanmıştır. İlk olarak, bir ısı pompası ünitesi, farklı soğutucu akışkanlarla farklı çalışma koşullarında incelenmiştir. Daha sonra termodinamik koşulları ve iyileştirmeleri karşılaştırmak için ünite bir soğutma cihazına dönüştürülmüştür. Çalışmada ısı pompası ve buzdolabı performanslarını karşılaştırmak için parametre olarak; termodinamik yasalar, COP değeri, kompresörün güç tüketimi, optimum şarj miktarı ve R134a, R407c, R22 ve R404a gibi çeşitli soğutucu akışkanlar düşünülmüştür. Dondurucu modunda kompresörde entropi azalması görülmüştür. COPL'nin neden çok düşük değerlere düştüğü bu araştırmada tartışılan diğer önemli konulardan biridir (Afshari ve ark., 2018).

Düşük GWP'li alternatif soğutucu akışkanlar kullanan soğuk depolama üniteleri, başka bir çalışmada 32, 25, 15 ve 5 °C ortam sıcaklığı şartlarında deneysel olarak incelenmiştir. Her çalışma koşulunda, R404A, R407A ve R407F kullanılan soğuk hava deposunun performansı; soğutma kapasitesi, enerji verimliliği oranı, yoğuşma sıcaklığı, buharlaşma sıcaklığı gibi parametreler açısından karşılaştırılmıştır. R407A ve R407F kullanıldığında yıllık enerji etki oranının R404A'dan daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. R407A'nın yıllık güç tüketimi, toplam eşdeğer ısınma etkisi ve iklim performansı, R404A'ninkilerden sırasıyla %2,5, , %7,9 ve %7,9 daha düşük çıkmıştır. R407F'nin soğuk depolama sistemleri için daha düşük GWP'li alternatif soğutucu olduğu görülmüştür (Gao ve ark., 2022).

Bir diğer çalışmada ana bileşenlerin termodinamik değişkenlerini değerlendirmek için kapsamlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlar, yani R12, R22, R134a, R152a, R410A; yeni nesil düşük GWP'li soğutucu akışkanlar R32, R1234yf, R1234ze(E); ve iki doğal soğutucu R600a ve R744 (CO₂) çalışmada analiz edilmiştir. Tüm soğutucu akışkanlar için birinci yasa analizi ve ekserjetik verim incelenmiştir. Sonuçlar, R600a'nın en iyi olduğunu, ardından COP, toplam ekserji yıkımı ve ekserjetik verimlilik açısından R152a, R1234ze(E) ve R1234yf'nin geldiğini göstermiştir. En düşük ve en yüksek TEWI (toplam eşdeğer ısınma etkisi) miktarı sırasıyla R600a ve R12 sistemleri için bulunmuştur (Islam ve ark., 2021).

Başka bir çalışmada, düşük küresel ısınma potansiyeline sahip verimli soğutma ekipmanlarına ve soğutucu akışkanlara eş zamanlı geçiş için küresel bir yönetim mimarisi önerilmiştir. Bunun için Montreal Protokolü'nün soğutucu akışkan yardım programı ile birlikte ulusal enerji verimliliği programlarından elde edilen onlarca yıllık deneyimden yararlanılması amaçlanmıştır. Önerilen enerji verimliliği yönetim mimarisinin ana unsurları, uluslararası olarak uyumlu bir enerji verimliliği standartları programı, enerji verimliliği performansını test etmek için altyapı, ölçüm ve doğrulama stratejisini içermektedir. Soğutucu akışkan geçişiyle birlikte enerji verimliliği standartları ve uyumluluk altyapıları oluşturan ulusal, bölgesel ve uluslararası toplulukların yatırımlarını optimize etmek için hedeflenmiştir. Sonuç olarak, bu çabalar, yerel uygulamaların ve uluslararası

yükümlülüklerin uyumlaştırılması yoluyla Kigali Değişikliği kapsamında iklim değişikliğinin azaltılmasına yardımcı olmak için düşünülmüştür (Park ve ark., 2021).

Temel olarak enerji veya ekserji analizine odaklanan teorik ve deneysel araştırmalar alan yazında bulunmaktadır, fakat ulaşılan birkaç çalışma eksergoekonomik yaklaşımlara odaklanmıştır. Bu nedenle yapılan bir çalışmada, bir ev tipi buzdolabının toplam maliyetlerini dahil etmek için deneysel bir kurulumla eksergoekonomik maliyet analizi uygulanmıştır. Birim ekserji maliyeti (cp) ve eksergoekonomik faktör (f) gibi eksergoekonomik parametreler, performansın karşılaştırılması için kullanılmıştır. Birim ekserji maliyetine dayalı olarak sonuçlar, R134a'nın farklı çalışma koşullarında R1234yf'den daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Eksergoekonomik faktörün, R134a için R1234yf'den daha yüksek değerler sunması sistemde daha az ekserji yıkımı anlamına gelmiştir (Rangel-Hernández ve ark., 2019).

Başka bir çalışmada, mevcut buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerine, özellikle orta ölçekli klimalara genişleticilerin kurulumunun ekonomik bir analizi sunulmuştur. Mevcutta olan ve yeni önerilen çeşitler dahil olmak üzere farklı soğutucu akışkanlar değerlendirilmiştir. İncelemeler sonucunda, genişletirici verimi %50 olduğunda, çoğu konvansiyonel sistemin geri ödeme sürelerinin yüksek elektrik tarifesi olan yüksek sıcaklıklı ülkelerde 3 yılın altında, diğer ülkelerde ise 5 yılın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Genişleticiler özellikle transkritik CO₂ ve R404A sistemleri için çekici sonuçlar vermiştir. Yüksek verimli genişletiriciler, yüksek soğutma yükleri, yüksek ortam sıcaklıkları ve düşük soğutma sıcaklığı uygulamaları için geri ödeme süreleri daha kısa bulunmuştur (Subiantoro ve ark., 2013).

Soğutucu akışkan değişiminin yaşam döngüsü maliyetlerini ve faydalarını incelemek için yapılan bir çalışmada genel bir süreç zinciri analizi çerçevesi kullanılmıştır. Çalışmadaki veriler, yakın zamanda R22 sisteminden R134A-R744 sistemine geçen Çin'deki bir süpermarketten toplanmıştır. %15'lik bir iskonto oranı altında, sera gazı azaltım maliyetinin referans değerleri, elektrik kullanımından kaynaklanan maliyetler ve emisyonlar dahil olmak üzere sırasıyla 207,28 ve 1,40 \$/t-CO₂ olarak bulunmuştur. Doğal soğutucu akışkan bazlı sistemin ticari olarak çekici hale gelmesi için maliyet düşürmeye öncelik verilmesi gerektiği bulunmuştur (Wang ve ark., 2019).

Bir diğer çalışmada R1270 ve karbon dioksit soğutucuları ile kademeli bir soğutucu akışkan sistemi önerilmiştir. Doğal soğutucu akışkan R1270, NH₃ ve R290'ın yerini almak üzere sistemde kullanılmıştır. İki adet yarı hermetik pistonlu kompresörlü bir kademeli soğutma çevrimi oluşturularak deneysel inceleme yapılmıştır. Sonuçlar, kademeli soğutucu akışkan sisteminin yüksek sıcaklık devresinde R1270'in iyi bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur. Kademeli sistemin sabit bir yoğuşma ve buharlaşma sıcaklığı altında, R1270 buharlaşma sıcaklığı azaldıkça (-7 °C'den -19 °C'ye), performans katsayısı (COP) artmıştır. R1270 buharlaşma sıcaklığı -19 °C'den -7 °C'ye yükseldiğinde kompresörün izentropik verimi %78,5'ten %74,7'ye düşmüştür (Zhang ve ark., 2020).

Başka bir çalışmada çalıştırma maliyeti ve Yaşam Döngüsü İklim Performansı kullanılarak R134a, R152a ve R1234yf soğutucu akışkanlarını kullanan ev tipi buzdolabının termal, ekonomik ve çevresel

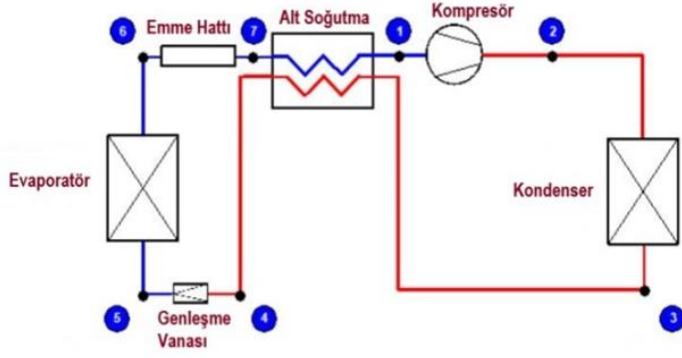
analizi sunulmuştur. Sonuçlar, değişken deplasman teknolojisinin uygulanmasıyla kompresör strokunun ısı yüküne göre ayarlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca güç tüketiminin ve doğal olarak işletme maliyetinin ve CO2 emisyonlarının azaltılabileceğini göstermiştir. R134a kullanan kompresör stroku 13 mm'den 10 mm'ye düştüğünde, güç tüketimi, toplam maliyet ve yaşam döngüsü CO2 emisyonları azalmıştır. R134a'nın R152a ile değiştirilmesi COP'yi %10 azaltmıştır. Ama aynı zamanda maliyeti ve CO2 emisyonlarını sırasıyla %5 ve %8,6 oranında azaltmıştır. Bu, R134a sistem COP'sini 0,9 artırmakla eşdeğer olarak kabul edilmiştir (Zhu ve ark., 2021).

Bu çalışmada R12, R22, R134a, R404A soğutucu gazlardan 4 tanesi tercih edilmiştir. R22 özellikle iklimlendirme ve soğuk depoculukta kullanılmaktadır (Ergün ve ark., 2018). R134a ve R404A'nın ozon tabakasına, çevreye yıkıcı etkisi bulunmamaktadır (Selbaş., 2015). R12 ve R134a'nın otomobil iklimlendirme sistemi üzerinde çalışmaları bulunduğu için tercih edilmiştir (Esen ve Hoşöz., 2006).

2. Materyal ve Metot

Soğutucu Akışkan Seçimi ve Çevrim Parametreleri belirlenirken soğutma akışkanı olarak R12, R22, R134a, R404A seçilmiştir. Bu soğutucu gazlar piyasada kullanılan soğutucu akışkanların büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Otomobil, iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde daha çok tercih edilen soğutucu gazlar seçilmiştir. Soğutucu evaporatörlerinde yeterli soğutucu akışkan miktarını sağlayacak değerde olmalıdır. Çevrimin termodinamik analizi, tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi için yapılmıştır. Çalışmada, kondenser çıkış sıcaklığı 298 K olarak alınmıştır. Tablo 1'de çevrim için girilen ortak değerler verilmiştir.

Bu çalışmada tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırımlı genel çevrimi Şekil 1'de gösterildiği gibi teorik olarak modellenmiştir. Bir soğutma sistemi tasarım/analiz programı olan CoolPack ile farklı soğutucu gazlar ile hesaplamalar yapılabilir. Bu program farklı soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerini kütüphanesinde bulundurmaktadır. Bu bilgilerin kullanımının kolay erişilebilir olması sebebiyle termodinamik çözümlerde hızlı sonuç vermektedir. Ayrıca program ile boru çapı hesaplamaları, yıllık tasarruf hesaplamaları, basınç entalpi (P-h) diyagramları, soğuk oda tasarımları, kompresör, evaporator tasarımları kuru termometre sıcaklığının girilmesi ile Mollier diyagramlarının alınmasına kadar birçok konuda yardımcı olabilmektedir. CoolPack programı ayrıca şematik şekillerde çizmektedir. Çevrim için seçilen ortak parametre girdileri Tablo 1'de, farklı soğutucu gazlar için hesaplanan değerler ise ayrı tablolarda verilmiştir.



Şekil 1. Tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi

Tablo 1. Tek kademeli çevrim için girilen sistem parametreleri

Soğutucu Gazlar	Evaporatör Sıcaklık	Kondenser Sıcaklık	\dot{m} (kg/s)	Kompresör İzentropik Verimlilik (η_s)	Kompresör Isı Kaybı Faktörü (f_Q)[%]	Kompresör Giriş Sıcaklığı (T_1) K
R12 R22 R134a R404A	(263) K	(303) K	0,654(kg/s)	0,7	0,7	(278) K

Tablo 1’de tek kademeli çevrim için verilen parametreler, soğutucu gazlar arasında kıyaslama yapabilmek için aynı değerler girilmiştir.

Soğutma çevriminde dolaşan birim akışkan kütlesi için soğutma yükü hesaplanırken;

$$q_E = h_6 - h_5$$

Sistemde kompresör işi aşağıdaki formülle;

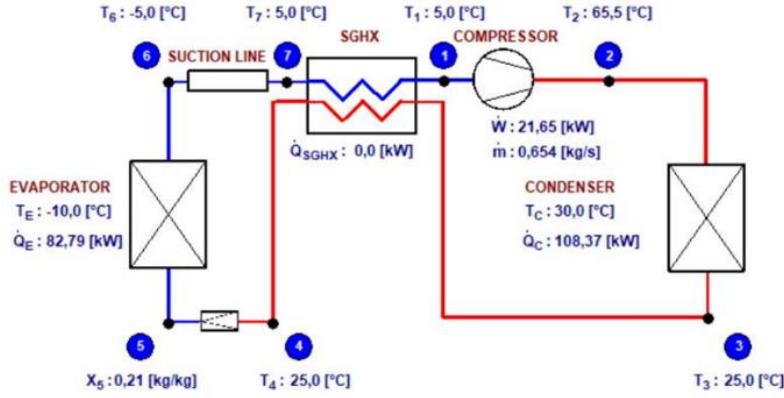
$$w = h_2 - h_1 = \frac{(h_{2s} - h_1)}{\eta_s}$$

bulunur. h_6 ve h_5 evaporatör çıkış ve giriş entalpi değerlerini ifade etmektedir. h_1 kompresör girişindeki entalpi değeri, h_{2s} izentropik sıkıştırma çıkış entalpisi, h_2 ise verim göz önüne alınarak hesaplanan değer çıkış entalpisi.

Soğutma sisteminde etkinlik katsayısını;

$$COP_{SM} = \frac{q_E}{w}$$

ifadesi ile hesaplanır.



Şekil 2. R12 Soğutucu gazı tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi

Tablo 2. R12 Soğutucu gazı tek kademeli çevrim için hesaplanan değerler

Soğutucu Gaz	R-12
Kütleli Debi [kg/s]	0,6543
Kompresörün Harcadığı Enerji (kW)	21,65
Kompresör Isı Kaybı Q_{loss} (kW)	0,15
Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW)	82,79
T_2 (K)	338,5
T_4 (K)	298
h_1 (kJ/kg)	192,5
h_2 (kJ/kg)	225,4
h_3 (kJ/kg)	59,8
h_5 (kJ/kg)	59,8
h_6 (kJ/kg)	186,3
h_7 (kJ/kg)	192,5
P_1 (kPa)	218,9
P_2 (kPa)	744,3
COP_{SM}	3,825

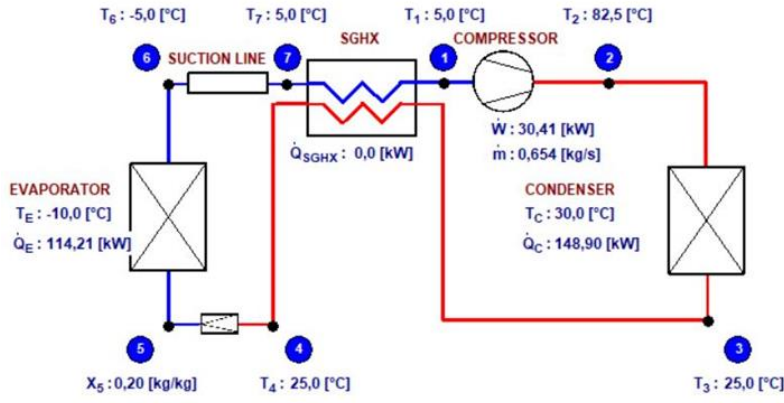
Coolpack programından seçilen R12 soğutucu gazı ile sistemin entalpi değerleri (kJ/kg) hesaplanmıştır. Şekil 2’de verilen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 numaraları sırası ile Tablo 2’de $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7$ entalpi değerlerinin de yerini göstermektedir.

Evaporatör soğutma kapasitesi (%) 0,7 azaltılmasıyla Tablo 3’te mevcut durum (şimdi) ve kapasitenin azaltılması ile hesaplanan durum (yeni) değerleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 3. R12 Yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri

	Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW)	Kompresörün Harcadığı Enerji (kW)	COP (-)	Kompresör kapasitesi değişimi:
Şimdi	82,79	21,65	3,825	-1,04 [%]
Yeni	82,21	21,41	3,840	
% Değişim	-0,7	-1,1	0,39	

1kWh’in maliyeti: 0,5 \$ Çalışma saati[h] : 8760
Yeni parametrelerle yıllık tasarruf: 1051\$ 2102,4[kWh]



Şekil 3. R22 Soğutucu gazı tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi

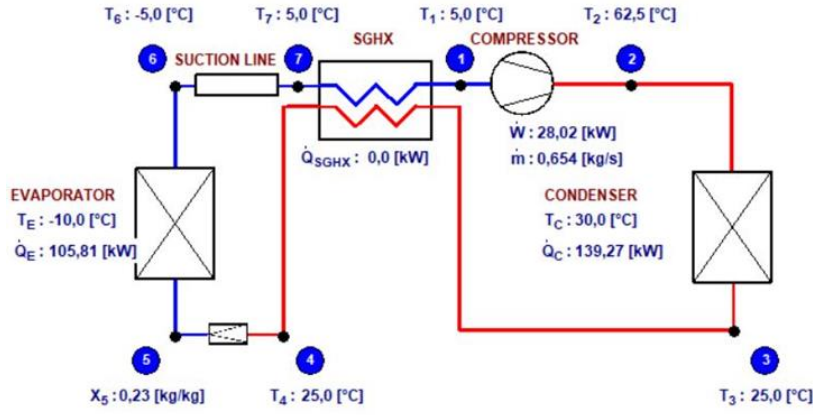
Tablo 4. R22 Soğutucu gazı tek kademeli çevrim için hesaplanan değerler

Soğutucu Gaz	R-22
Kütleli Debi [kg/s]	0,6543
Kompresörün Harcadığı Enerji (kW)	30,41
Kompresör Isı Kaybı Q_{loss} (kW)	0,21
Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW)	114,21
T_2 (K)	355,5
T_4 (K)	298
h_1 (kJ/kg)	256,4
h_2 (kJ/kg)	302,6
h_3 (kJ/kg)	75
h_5 (kJ/kg)	75
h_6 (kJ/kg)	249,6
h_7 (kJ/kg)	256,4
P_1 (kPa)	354
P_2 (kPa)	1191,2
COP_{SM}	3,755

Şekil 3’de tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi için soğutucu gazlardan biri olan R 22 gazı incelenmiştir. Tablo 4’te Coolpack programından R22 soğutucu gazı ile sistemin COP_{SM} etkinlik katsayısının değeri hesaplanmıştır. Evaporatör soğutma kapasitesinin (%) 0,7 azaltılmasıyla COP_{SM} etkinlik katsayısının değişimini de görmemize imkân sağlamıştır. Tablo 5’de ise R 22 gazı için yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri verilmiştir.

Tablo 5. R22 Yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri

	Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW)	Kompresörün Harcadığı Enerji (kW)	COP (-)	Kompresör kapasitesi değişimi:
Şimdi	114,21	30,41	3,755	-1,03 [%]
Yeni	113,41	30,08	3,770	
% Değişim	-0,7	-1,1	0,39	
1kWh’in maliyeti: 0,5 \$ Çalışma saati[h] : 8760				
Yeni parametrelerle yıllık tasarruf: 1445\$ 2891[kWh]				



Şekil 4. R134a Soğutucu gazı tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi

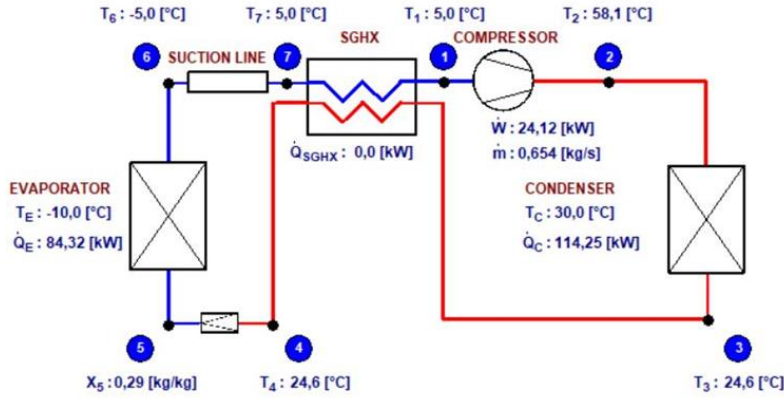
Tablo 6. R134a Soğutucu gazı tek kademeli çevrim için hesaplanan değerler

Soğutucu Gaz	R-134a
Kütleli Debi [kg/s]	0,6543
Kompresörün Harcadığı Enerji (kW)	28,02
Kompresör Isı Kaybı Q_{loss} (kW)	0,20
Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW)	105,81
T_2 (K)	335,5
T_4 (K)	298
h_1 (kJ/kg)	253,8
h_2 (kJ/kg)	296,3
h_3 (kJ/kg)	83,4
h_5 (kJ/kg)	83,4
h_6 (kJ/kg)	245,1
h_7 (kJ/kg)	253,8
P_1 (kPa)	207,7
P_2 (kPa)	770,6
COP_{SM}	3,776

Coolpack programından R134a soğutucu gazı için Şekil 4'te verilen noktalar 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 numaralarına karşılık gelen sıcaklık değerlerini de hesaplamak için imkân sağlamaktadır. Aynı zamanda program ile bu noktalardaki basınç değerlerini de hesaplamaktadır. Tablo 6'da R134a soğutucu gazı için hesaplanan değerler verilmiştir. Tablo 7'de ise R 134a soğutucu gazı için yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri verilmiştir. Evaporatör soğutma kapasitesi (%) 0,7 azaltılmasıyla Tablo 7'de yeni parametrelerle yıllık tasarruf maliyet olarak 1358\$ hesaplanmış, enerji tasarrufu ise 2716 kWh olarak bulunmuştur.

Tablo 7. R134a Yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri

	Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW)	Kompresörün Harcadığı Enerji (kW)	COP (-)	Kompresör kapasitesi değişimi:
Şimdi	105,81	28,02	3,755	-1,08 [%]
Yeni	105,07	27,71	3,770	
% Değişim	-0,7	-1,1	0,4	
1kWh'in maliyeti: 0,5 \$ Çalışma saati[h] : 8760				
Yeni parametrelerle yıllık tasarruf: 1358\$ 2716 [kWh]				



Şekil 5. R404A Soğutucu gazı tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi

Tablo 8. R404A Soğutucu gazı tek kademeli çevrim için hesaplanan değerler

Soğutucu Gaz	R-404A
Kütleli Debi [kg/s]	0,6543
Kompresörün Harcadığı Enerji (kW)	24,12
Kompresör Isı Kaybı Q_{loss} (kW)	0,17
Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW)	84,32
T_2 (K)	331,1
T_4 (K)	297,6
h_1 (kJ/kg)	226,7
h_2 (kJ/kg)	263,3
h_3 (kJ/kg)	88,7
h_5 (kJ/kg)	88,7
h_6 (kJ/kg)	217,6
h_7 (kJ/kg)	226,7
P_1 (kPa)	434,1
P_2 (kPa)	1417,5
COP_{SM}	3,496

Şekil 5'te R404A soğutucu gazı kullanılması durumunda buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi verilmiştir. Tablo 8'de ise buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde hesaplanan değerler verilmiştir.

Coolpack programından seçilen R404A soğutucu gazı için programdan kompresörün harcadığı enerji, kompresör ısı kaybı, evaporatör soğutma kapasitesi, kondenser ve evaporatör sıcaklığı, evaporatöre giren ısı, kondenserden atılan ısı gibi sonuçları alabilme imkânı sağlamaktadır.

Evaporatör soğutma kapasitesi (%) 0,7 azaltılmasıyla R 404A soğutucu gazı için yıllık maliyet ve enerji tasarruf değerleri verilmektedir.

Tablo 9. R404A Yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri

	Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW)	Kompresörün Harcadığı Enerji (kW)	COP (-)	Kompresör kapasitesi değişimi: -1,06 [%]
Şimdi	84,32	24,12	3,496	
Yeni	83,73	23,85	3,551	
% Değişim	-0,7	-1,1	0,42	
1kWh'in maliyeti: 0,5 \$ Çalışma saati[h] : 8760				
Yeni parametrelerle yıllık tasarruf: 1183\$ 2365 [kWh]				

4. Tartışma ve Sonuç

Tek kademeli buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde soğutucu akışkan yükü R12, R22, R134a, R404a gazları için sırasıyla 82,79; 114,21; 105,81 ve 84,32 kW olarak hesaplanmıştır. Soğutma etkinlik katsayısı (COP_{SM}) ise sırasıyla 3,825; 3,755; 3,776; 3,496'dır. Kompresörün harcadığı enerji değerleri sırasıyla 21,65; 30,41; 28,02; 24,12 hesaplanmıştır. Evaporatör soğutma kapasitesi (%) 0,7 azaltılmasıyla kompresör kapasitesindeki değişim değerleri sırasıyla yüzde -1,04; -1,03; -1,08; -1,06 olmaktadır. 1kWh'in maliyeti 0,5 \$ alındığı zaman yıllık tasarrufu dolar para birimi olarak 1051\$; 1445\$; 1358\$; 1183\$ hesaplanmıştır. Yıllık tasarruf değerlerini hesaplayabilmek için bir yıl 365 gün alınmıştır. 1 gün 24 saat olduğundan, 8760 saat için 2102,4; 2891; 2716; 2365 kWh tasarruf sağlanmıştır. Bir soğutma sistemi tasarım/analiz programı olan CoolPack ile soğutucu akışkanın değiştirilmesi ve değiştirilen akışkanın sistem verimine, maliyetine etkisini hızlı bir şekilde değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Ayrıca programdan yapılacak olan kompresör gücünün ve evaporatör soğutma kapasitesinin değiştirilmesinin sistem verimine ve maliyetine etkinin sonuçlarını da almamıza olanak sağlamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Afshari F., Comakli O., Karagöz Ş., Zavaragh HG. A thermodynamic comparison between heat pump and refrigeration device using several refrigerants. *Energy and Buildings* 2018; 168: 272-283.
- Ergün A., Gürel AE., Ceylan İ. Ticari soğutma sistemlerinde R22 akışkanının alternatifi olarak R438A ve R417A akışkanlarının performansının incelenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* 2018; 6(4): 824-833.
- Esen DÖ., Hoşöz M. R12 ve R134a Soğutucu akışkanları kullanan otomobil iklimlendirme sisteminin deneysel performans analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2006; 21(4): 703-709.
- Gao E., Zhang Z., Deng Q., Jing H., Wang X., Zhang X. Techno-economic and environmental analysis of low-GWP alternative refrigerants in cold storage unit under year-round working conditions. *International Journal of Refrigeration* 2022; 134: 197-206.

- Islam M. A., Mitra S., Tu K., Saha BB. Study on thermodynamic and environmental effects of vapor compression refrigeration system employing first to next-generation popular refrigerants. *International Journal of Refrigeration* 2021; 131: 568-580.
- Park WY., Shah N., Vine E., Blake P., Holuj B., Kim JH., Kim DH. Ensuring the climate benefits of the Montreal Protocol: Global governance architecture for cooling efficiency and alternative refrigerants. *Energy Research & Social Science* 2021; 76: 102068.
- Rangel-Hernández VH., Belman-Flores JM., Rodríguez-Valderrama DA., Pardo-Cely D., Rodríguez-Muñoz AP., Ramírez-Minguela JJ. Exergoeconomic performance comparison of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in a domestic refrigerator. *International Journal of Refrigeration* 2019; 100: 113-123.
- Selbaş R. Kademeli soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan seçimi için bir uygulama. *Yekarum* 2015; 3(1): 2-11.
- Subiantoro A., Ooi KT. Economic analysis of the application of expanders in medium scale air-conditioners with conventional refrigerants, R1234yf and CO₂. *International Journal of Refrigeration* 2013; 36(5): 1472-1482.
- Wang Y., Liu S., Nian V., Li X., Yuan J. Life cycle cost-benefit analysis of refrigerant replacement based on experience from a supermarket project. *Energy* 2019; 187: 115918.
- Zhang Y., He Y., Wang Y., Wu X., Jia M., Gong Y. Experimental investigation of the performance of an R1270/CO₂ cascade refrigerant system. *International Journal of Refrigeration* 2020; 114, 175-180.
- Zhu Z., Liang K., Li Z., Jiang H., Meng Z. Thermal-economic-environmental analysis on household refrigerator using a variable displacement compressor and low-GWP refrigerants. *International Journal of Refrigeration* 2021; 123, 189-197.