



Kritik Nokta Üzeri Çalışan Karbondioksitli Soğutma Çevrimlerinin Karşılaştırmalı Performans Analizi

A Comparative Performance Analysis of Transcritical CO₂ Refrigeration Cycles

Bayram Kılıç

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez T.B.M.Y.O., Burdur, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, kritik nokta üzeri çalışan tek kademeli ve iki kademeli karbondioksitli soğutma çevriminin karşılaştırmalı performans analizi yapılmıştır. Analizler için gerekli termodinamik değerler CoolPack programından alınmıştır. Çevrimlerin farklı çalışma şartları için soğutma performans katsayıları incelenmiştir. Analizi yapılan çalışma şartları arasında en yüksek soğutma performans katsayısı değeri kritik nokta üzeri çalışan iki kademeli karbondioksitli soğutma çevrimi için 0°C evaporator sıcaklığı, 30°C gaz soğutucu çıkış sıcaklığında 3.811 olarak bulunmuştur. Her iki çevrimden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CO₂, Performans analizi, COP, Soğutma çevrimi, Kritik nokta üzeri

Abstract

In this study, comparative performance analysis of transcritical CO₂ refrigeration cycles were carried out. The necessary thermodynamic values for analysis were obtained by CoolPack program. The coefficient of performance (COP) of the cycles in the different operating conditions were investigated. The highest COP value in among the working conditions analyzed is found as 3.811 for 0°C evaporator temperature, 30°C gas cooler outlet temperature for two-stage transcritical CO₂ refrigeration cycle. Obtained results from both cycles were compared.

Keywords: CO₂, Performance analysis, COP, Refrigeration cycle, Transcritical.

1. Giriş

İnsanlar besinlerini korumak, çeşitli ürünleri sağlıklı bir şekilde muhafaza etmek ve konforlu yaşayabilmek için ısıtma, soğutma ve iklimlendirme alanında uzun yıllardır çalışmalar yapmaktadır. Bu teknolojik ilerlemelerin sonucunda bulunan soğutucu akışkanların ozon tabakasına verdiği zararlar ve küresel ısınmaya olan etkisi bilinmektedir. Soğutma sistemlerinde çok uzun zamanlardır kloroflorokarbon (CFC) ve hidrokloroflorokarbon (HCFC) esaslı soğutucu akışkanlar kullanılmakta ve halende kullanılmaya devam edilmektedir. Bu soğutucu akışkanların zararlı etkilerinin bilinmesi ve bu konuda çevre bilicinin oluşmasıyla uluslararası düzeyde Montreal ve Kyoto protokolleri imzalanmıştır. Bu süreçte çevreye çok daha az zararlı olan doğal soğutucu akışkanların kullanımına önem verilmiştir. R744 (CO₂) bu akışkanların başında gelmektedir. CO₂'nin yanıcı ve zehirleyici olmaması,

hem küresel ısınma faktörü (GWF) hem de ozon delme potansiyeli (ODP) faktörlerinin düşük seviyelerde olması bu akışkanın kullanılmasında tercih sebebi olmasını sağlamıştır. Ayrıca bu akışkanın ucuz ve kolay bulunabilmesi ve yüksek hacimsel soğutma kapasitesine sahip olması da önemli özellikleri arasındadır. Diğer taraftan, bu akışkanın düşük kritik sıcaklığa (31.06 °C) ve yüksek kritik basınca (73.8 bar) sahip olması dayanımı artırılmış malzemelerin kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. CO₂'nin sahip olduğu termo-fiziksel özellikler Çizelge 1.'de verilmiştir.

Özcan vd. (2013) yapmış oldukları çalışmada alternatif soğutkan karbondioksitin otobüs klimalarında uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda CO₂'nin R134a soğutkanla karşılaştırıldığında daha ucuz, çevreye zararının daha az, hacimsel kapasitesinin daha fazla, gizli buharlaşma ısısının daha yüksek, ilk yatırım maliyetlerinin başlangıçta yüksek fakat 2-3 yıl içinde gelişen teknolojiyle birlikte daha az olacağını ortaya koymuşlardır. Özgür (2014) çalışmasında optimum gaz soğutucu basıncının önemini ve

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: bayramkilig@mehmetakif.edu.tr

hangi sistem değişkenlerine bağlı olduğunu incelemiştir. Literatürde kullanılan farklı optimum gaz basıncı eşitliklerini sistem verimliliği açısından karşılaştırmıştır. Ayrıca bu konuda çalışma yapan araştırmacılara sistem verimliliğinin artırılmasına yönelik tavsiyelerde bulunmuştur. Aksu ve Kurt (2014) yaptıkları çalışmada soğutucu akışkan olarak CO₂ kullanılan ısı pompasının soğutma ve ısıtma karakteristiklerini incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda optimum gaz basıncının, gaz soğutucu sıcaklığı ve buharlaşma sıcaklığı ile artış gösterdiğini belirlemiştir. Akdemir ve Güngör (2010) CO₂'li soğutma çevriminin farklı çalışma şartları için termodinamik analizini yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, çevrimin maksimum performans değerlerini belirlemiştir. Ayrıca çevrimin performans değerlerinin gaz soğutucu basıncına bağlı olarak arttığını gözlemlemiştir.

Çizelge 1. CO₂'nin termo-fiziksel özellikleri.

Özellik	R744(CO ₂)
Yanıcılık	Hayır
Patlayıcılık	Hayır
Zehirlilik	Hayır
Doğal soğutkan	Evet
ODP	0
GWP (100 Yıl)	1
Kritik nokta sıcaklık	31.1°C
Kritik nokta basınç	73.6 bar
Moleküler kütle	44.01 g/mol
Kaynama noktası	Süblimasyon (-78.5 °C)
Buharlaşma gizli ısısı	571.08 kl/kg (1.013 bar)

2. Gereç ve Yöntem

Kritik nokta üzeri çalışan tek kademeli ve iki kademeli karbondioksitli soğutma çevrimleri analitik olarak bir bilgisayar programı (CoolPack) ile modellenmiştir. R744 (CO₂) soğutkanlı çevrimlere ait basınç-entalpi diyagramları Şekil 1'de verilmiştir.

Termodinamiğin birinci yasasına göre, çevrimlerin soğutma kapasiteleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Bayrakçı vd. 2014):

$$\dot{Q}_{E_{TK}} = \dot{m}(h_1 - h_6) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{E_{IK}} = \dot{m}(h_1 - h_7) \quad (2)$$

Kompresör iş yükleri sırasıyla aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Jun vd. 2007):

$$\dot{W}_{Comp_{TK}} = \dot{m}(h_3 - h_1) \quad (3)$$

$$\dot{W}_{Comp_{IK}} = \dot{m}(h_4 - h_3) + \dot{m}(h_3 - h_1) \quad (4)$$

Gaz soğutucu ısı yükleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

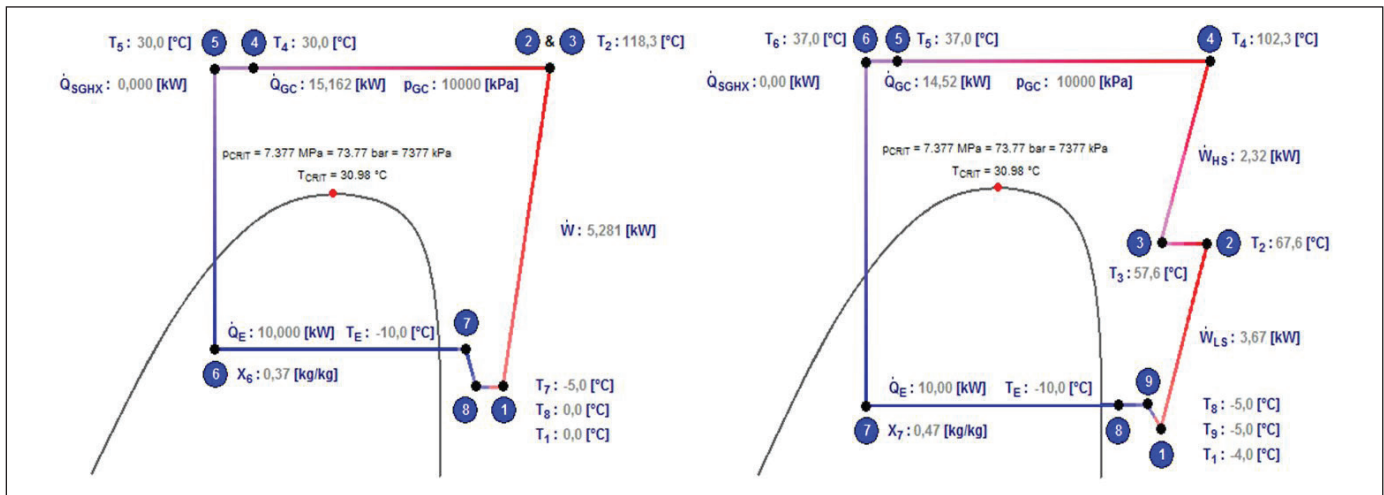
$$\dot{Q}_{GC_{TK}} = \dot{m}(h_3 - h_5) \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{GC_{IK}} = \dot{m}(h_4 - h_6) \quad (6)$$

Sonuç olarak çevrimlere ait soğutma performans katsayısı (COP) değerleri sırasıyla aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Neeraj ve Souvik 2007):

$$COP_{TK} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_6)}{\dot{m}(h_3 - h_1)} \quad (7)$$

$$COP_{IK} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_7)}{\dot{m}(h_4 - h_3) + \dot{m}(h_3 - h_1)} \quad (8)$$



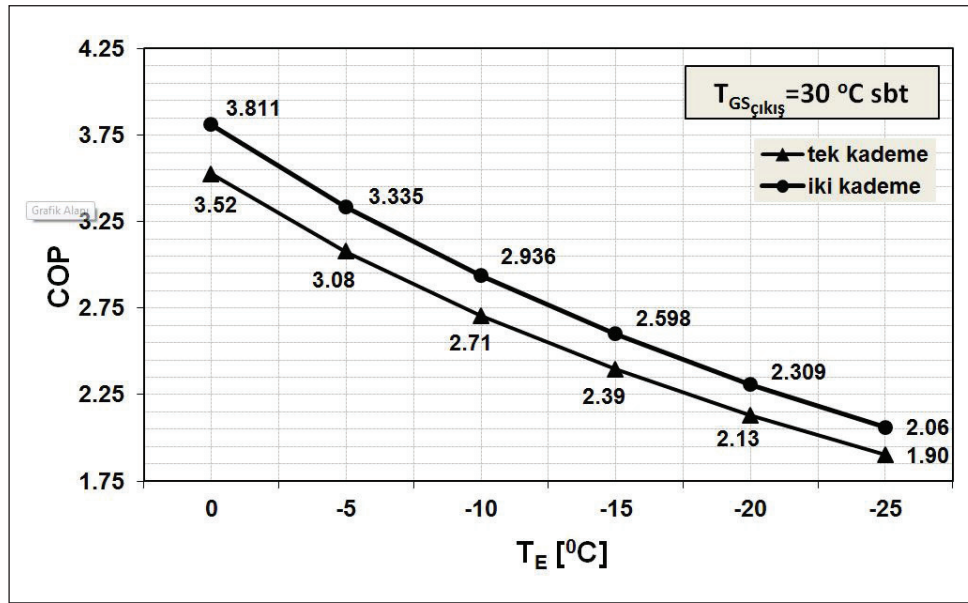
Şekil 1. R744 (CO₂) soğutkanlı sistemlere ait basınç-entalpi diyagramı (<http://www.en.ipu.dk/Indhold/refrigeration-and-energy-technology>).

3. Bulgular

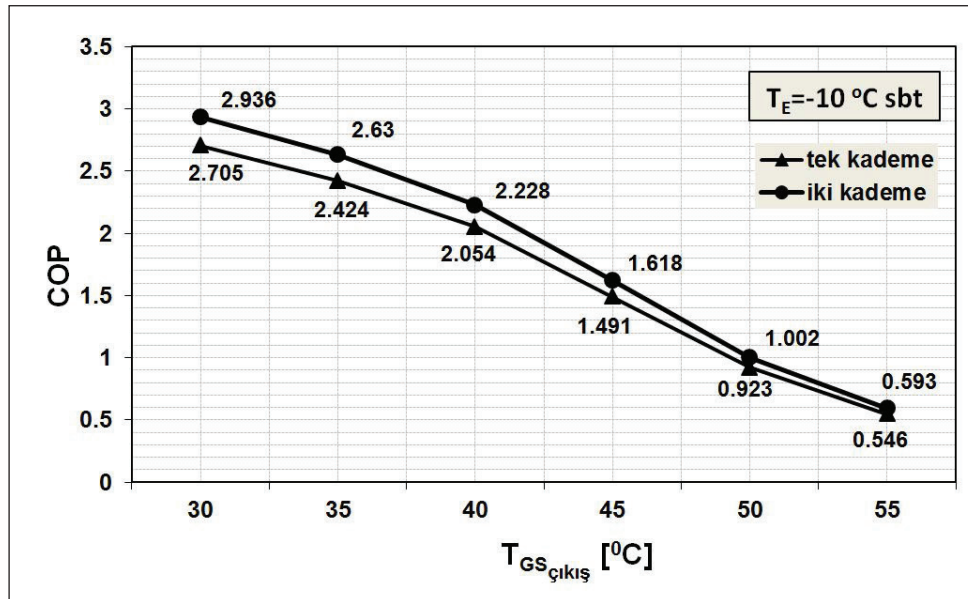
Kritik nokta üzeri çalışan tek kademeli ve iki kademeli karbondioksitli soğutma çevriminin soğutma performans katsayısı (COP) değerleri evaporatör sıcaklığı değişimine bağlı olarak bulunmuştur ve Şekil 2'de verilmiştir. Çevrimlerde gaz soğutucu çıkış sıcaklığı 30°C'de sabit tutulmuştur ve evaporatör sıcaklıkları değiştirilmiştir. Her iki çevrimde de evaporatör sıcaklıklarının azalmasıyla COP değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Şekil 2'den de anlaşıldığı gibi kritik nokta üzeri çalışan iki kademeli karbondioksitli soğutma çevriminin COP değerlerinin tek kademeli çevrime

göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışma şartları için en yüksek COP değeri 0 °C evaporatör sıcaklığı, 30°C gaz soğutucu çıkış sıcaklığı için 3.811 olarak iki kademeli çevrim için bulunmuştur.

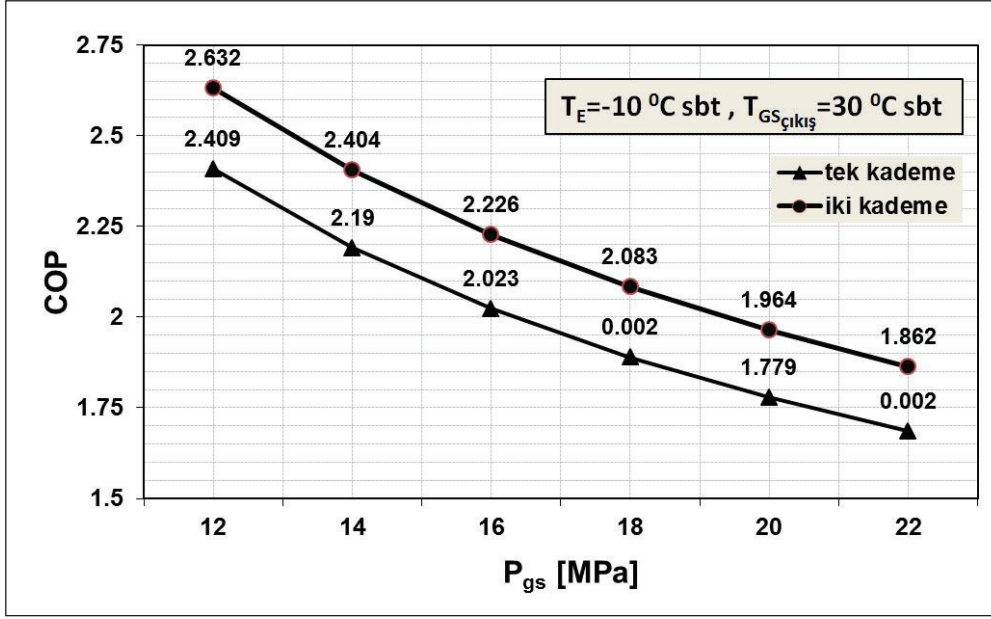
Kritik nokta üzeri çalışan karbondioksitli soğutma çevrimlerinin soğutma performans katsayısı (COP) değerleri gaz soğutucu çıkış sıcaklığı değişimine bağlı olarak bulunmuştur ve Şekil 3'de verilmiştir. Her iki çevrimde de evaporatör sıcaklığı -10°C'de sabit tutulmuştur ve gaz soğutucu çıkış sıcaklıkları değiştirilmiştir. İki çevrimde de gaz soğutucu çıkış sıcaklıklarının artmasıyla



Şekil 2. Evaporatör sıcaklığına bağlı COP değişimi



Şekil 3. Gaz soğutucu çıkış sıcaklığına bağlı COP değişimi



Şekil 4. Gaz soğutucu basıncına bağlı COP değişimi

COP değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Şekil 3'de kritik nokta üzeri çalışan iki kademeli karbondioksitli soğutma çevriminin COP değerlerinin tek kademeli çevrime göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışma şartları için en yüksek COP değeri -10 °C evaporatör sıcaklığı, 30 °C gaz soğutucu çıkış sıcaklığı için 2.936 olarak kritik nokta üzeri çalışan iki kademeli karbondioksitli soğutma çevrimi için bulunmuştur.

Şekil 4'de kritik nokta üzeri çalışan tek kademeli ve iki kademeli karbondioksitli soğutma çevrimlerinin soğutma performans katsayısı (COP) değerleri gaz soğutucu basıncı değişimine bağlı olarak verilmiştir. Çevrimlerde gaz soğutucu çıkış sıcaklığı 30 °C'de, evaporatör sıcaklıkları -10 °C'de sabit tutulmuştur ve gaz soğutucu basınçları değiştirilmiştir. Her iki çevrimde de gaz soğutucu basınçlarının artırılmasıyla COP değerlerinin azaldığı görülmüştür. Şekil 4'den anlaşıldığı gibi, bu çalışma şartları için de kritik nokta üzeri çalışan iki kademeli karbondioksitli soğutma çevriminin COP değerlerinin tek kademeli çevrime göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışma şartları için en yüksek COP değeri -10 °C evaporatör sıcaklığı, 30 °C gaz soğutucu çıkış sıcaklığı ve 12 MPa gaz soğutucu basıncı için 2.632 olarak kritik nokta üzeri çalışan iki kademeli karbondioksitli soğutma çevrimi için bulunmuştur.

4. Sonuç ve Öneriler

Soğutma uygulamaları, ısı pompaları ve mobil uygulamalarda kritik nokta üzeri çalışan tek kademeli ve iki kademeli karbondioksitli soğutma çevrimlerinin kullanımı konusunda

yaygın ve hızla gelişen çalışmalar devam etmektedir. CO_2 'nin termo-fiziksel özelliklerinin geleneksel soğutucu akışkanlardan daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca CFC ve HCFC esaslı soğutucu akışkanların kullanımının imzalanan uluslararası protokollerle 2030 yılından itibaren kaldırılmasının planlanmış olması, bu soğutucu akışkana olan eğilimin artmasına neden olmaktadır.

Kritik nokta üzeri karbondioksitli soğutma çevrimlerinden en etkin performansı alabilmek için çok büyük önem arzeden buharlaşma sıcaklığı ve gaz soğutucu sıcaklığı belirlenmeli ve bu şartlara uygun optimum gaz soğutucu basıncı tespit edilmelidir. Bu çalışmada, kritik nokta üzeri çalışan tek kademeli ve iki kademeli karbondioksitli soğutma çevriminin karşılaştırmalı performans analizi yapılmıştır. Analizi yapılan çalışma şartları arasında en yüksek soğutma performans katsayısı değeri kritik nokta üzeri çalışan iki kademeli karbondioksitli soğutma çevrimi için 0 °C evaporatör sıcaklığı, 30 °C gaz soğutucu çıkış sıcaklığında 3.811 olarak bulunmuştur.

5. Kaynaklar

- Akdemir, Ö., Güngör, A. 2010. CO_2 soğutma çevrimlerinin maksimum performans analizi. *Isı Bil. ve Tek. Der.*, (30); 37-43. 01.Ekim 2017 <http://www.en.ipu.dk/Indhold/refrigeration-and-energy-technology>
- Aksu, B., Kurt, H. 2014. CO_2 soğutucu akışkanlı ısı pompasının soğutma ve ısıtma karakteristiklerinin incelenmesi. *2nd Int. Sym. on Inno. Tech. in Eng. and Sci.*, 18-20 Haziran 2014, Karabük, 1074-1083.

- Bayrakçı, HC., Özgür, AE., Alan, A. 2014.** Çift kademeli transkritik R744 soğutma sistemlerinde genişleme türbini kullanımının termodinamik analizi. *Isı Bil. ve Tek. Der.*, (34); 91-97.
- Jun, LY., Yi, TM., Sheng, CL. 2007.** Performance investigation of transcritical carbon dioxide two-stage compression cycle with expander. *Energy*, (32); 237-245.
- Neeraj, A., Souvik, B. 2007.** Studies on a two-stage transcritical carbon dioxide heat pump cycle with flash intercooling. *App. Ther. Eng.*, (27); 299-305.
- Özcan, HG., Günerhan, H., Yaldırak, H. 2013.** Alternatif soğutkan karbondioksit ve otobüs klimalarında uygulaması. *XI. Teskon*, 17-20 Nisan 2013, İzmir, 653-697.
- Özgür, AE. 2014.** CO₂ Soğutkanlı transkritik soğutma çevrimlerinde optimum gaz soğutucu basıncı ve literatürdeki optimum basınç denklemlerinin karşılaştırılması. *Tes. Müh. Der.*, (141); 43-47.