

## Farklı Akışkanların Kullanıldığı İki Kademeli Soğutma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi

Büşra ŞAHİN YILDIRIM<sup>1</sup>, Arzu ŞENCAN ŞAHİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

<sup>2</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

(Alınış / Received: 18.04.2020, Kabul / Accepted: 01.07.2020)

### Anahtar Kelimeler

Soğutma,  
İki kademe,  
Enerji,  
Ekserji

**Özet:** Bu çalışmada farklı soğutucu akışkanların kullanıldığı iki kademeli bir soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Çalışmada R32, R410A, R407C, R245fa, R290, R507A, R717, R1234yf ve R1234ze soğutucu akışkanları kullanılmıştır. Analizde EES (Engineering Equation Solver) programı kullanılmıştır. Sistemin farklı çalışma parametreleri için COP ve ekserji verimleri karşılaştırılmıştır. En yüksek COP ve ekserji verimi R717 soğutucu akışkanı ile çalışan sistemde sırası ile 5.358 ve 0.7069 olarak bulunmuştur. En düşük COP ve ekserji verimi R407C soğutucu akışkanı ile çalışan sistemde sırası ile 4.165 ve 0.5496 olarak bulunmuştur. Soğutma sistemini oluşturan her bir elemanın ekserji kayıpları belirlenmiştir. Sistem elemanlarında en yüksek ekserji kaybının evaporatörde, en az ekserji kaybının ise ara soğutucuda olduğu belirlenmiştir.

## Energy and Exergy Analysis of Two-Stage Cooling System Using Different Fluids

### Keywords

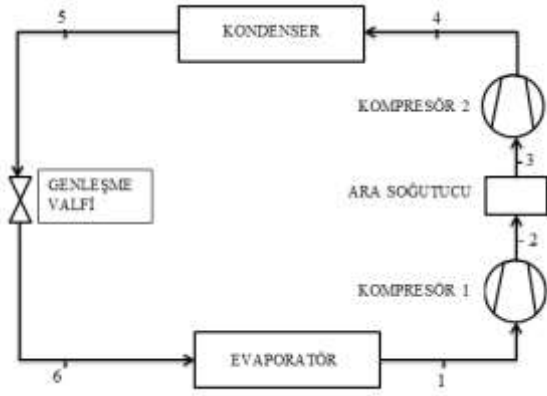
Cooling,  
Two stage,  
Energy,  
Exergy

**Abstract:** In this study, energy and exergy analysis of a two-stage cooling system using different refrigerants was made. R32, R410A, R407C, R245fa, R290, R507A, R717, R1234yf and R1234ze refrigerants are used in the study. EES (Engineering Equation Solver) program was used in the analysis. COP and exergy efficiencies were compared for different operating parameters of the system. The highest COP and exergy efficiency were 5.358 and 0.7069 in the system working with R717 refrigerant, respectively. The lowest COP and exergy efficiency were found as 4.165 and 0.5496 in the system working with R407C refrigerant, respectively. Exergy destruction of each component of two-stage cooling system is determined. It has been determined that the highest exergy destruction in the system components is in the evaporator and the least exergy destruction in the intercooler.

### 1. Giriş

Bazı endüstriyel uygulamalar oldukça düşük sıcaklıklara gereksinim duyarlar ve uygulamanın söz konusu sıcaklık aralığı, basit buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin etkin çalışabilmesi için çok büyük olabilir. Büyük bir sıcaklık aralığı aynı zamanda çevrimde büyük bir basınç aralığı ile çalışmasını ve pistonlu kompresörler için düşük bir verim ifade eder. Bu gibi durumlarda başvurulabilecek yöntemlerden biri

soğutma işlemini çok kademede gerçekleştirmektir [1]. Çok kademeli çevrimler birçok şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlar bir evaporatör iki kompresörlü, iki evaporatör bir kompresörlü, iki evaporatör iki kompresörlü veya kaskad bağlantılı sistemlerdir. Şekil 1' de bu çalışmada incelenen iki kademeli ve tek evaporatörlü soğutma sistemi görülmektedir. Ancak ikinci kompresöre girişte aşırı sıcaklık yükselmelerini önlemek için buharın ara soğutmaya tabi tutulması gereklidir. Çevrimin diğer aşamaları tek kademeli çevrimlerde olduğu gibidir [2].



Şekil 1. İki kademeli soğutma çevrimi

Literatürde kademeli soğutma sistemleriyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Ünlü (2011), R134a ve R1234yf soğutucu akışkanı kullanarak tek kademeli buhar sıkıştırma soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizini yapmıştır [3]. Aksoy (2014), çalışmasında deneysel iki kademeli buhar sıkıştırma mekanik soğutma çevriminin enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır [4]. Ansari et al. (2018), çalışmasında alternatif soğutucu akışkanlar kullanarak bir hibrid kaskad soğutma sisteminin performans analizini yapmışlardır [5]. Chen et al. (2017) çalışmasında mikro trijenerasyon sistemi için iki kademeli ejektörlü soğutma çevriminin performans analizini yapmışlardır [6]. Mancuhan (2018) çalışmasında ara soğutmalı iki kademeli bir soğutma sisteminde kullanılan soğutucu akışkanları karşılaştırmalı olarak incelemiştir [7]. Kademeli soğutma ile ilgili diğer makaleler literatürde bulunabilir [8-12].

Bu çalışmada, farklı soğutucu akışkanlar kullanılarak ara soğutmalı iki kademeli bir soğutma sisteminin soğutma performans katsayısı ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Soğutma sistemini oluşturan her bir elemanın ekserji kayıpları belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Ozon delme potansiyeli (ODP) değerleri sıfır, küresel ısınma potansiyeli (GWP) değerleri farklı R32, R410A, R407C, R245fa, R290, R507A, R717, R1234yf ve R1234ze soğutucu akışkanlarının kullanıldığı iki kademeli soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizi EES (Engineering Equation Solver) programı yardımıyla yapılmıştır. Çalışmada kullanılan soğutucu akışkanların bazı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Şekil 1'de verilen iki kademeli soğutma sisteminin her bir elemanına ait enerji ve ekserji denge denklemleri Tablo 2'de verilmiştir. Sistemin daha detaylı analizi [13] nolu kaynakta bulunabilir.

İki kademeli soğutma çevrimi için soğutma performans katsayısı (COP) [1]:

$$COP = \frac{Q_E}{W_{Tkomp}} \quad (1)$$

Burada  $W_{Tkomp}$  toplam kompresör gücü olup aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$W_{Tkomp} = W_{komp1} + W_{komp2} \quad (2)$$

İki kademeli soğutma sisteminin toplam ekserji kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$EX_{kayıp,top} = EX_{kayıp,komp1} + EX_{kayıp,soğ} + EX_{kayıp,komp2} + EX_{kayıp,K} + EX_{kayıp,E} + EX_{kayıp,genl} \quad (3)$$

İki kademeli soğutma sisteminin ikinci yasa verimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir [14]:

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_{tr}} \quad (4)$$

Tablo1. Çalışmada kullanılan soğutucu akışkanların özellikleri [9, 11]

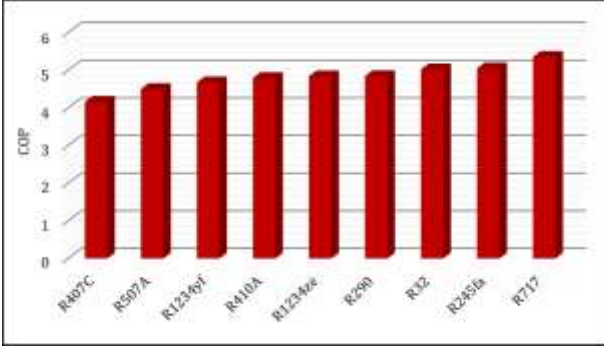
Soğutucu Akışkan	ODP	GWP	Kritik Sıcaklık (°C)	Kritik Basınç (kPa)
R32	0	675	78	5800
R410A	0	2088	71	4900
R407C	0	1774	86	4600
R245fa	0	1030	154.01	3651
R290	0	3	97	4300
R507A	0	3985	71	3700
R717	0	0	132	11300
R1234yf	0	4	95	3400
R1234ze	0	6	109	3600

Tablo 2. Enerji ve ekserji denge denklemleri [1]

Sistem elemanı	Enerji dengesi	Ekserji dengesi
Evaporatör	$Q_E = \dot{m}(h_1 - h_6)$	$EX_{kayıp,E} = EX_6 - EX_1 + Q_E \left(1 - \frac{T_0}{T_E}\right)$
1.Kompresör	$W_{komp1} = \dot{m}(h_2 - h_1)$	$EX_{kayıp,komp1} = EX_1 - EX_2 + W_{komp1}$
Ara soğutucu	$Q_{soğ} = \dot{m}(h_3 - h_2)$	$EX_{kayıp,ara soğ} = EX_2 - EX_3 - Q_{soğ} \left(1 - \frac{T_0}{T_3}\right)$
2.Kompresör	$W_{komp2} = \dot{m}(h_4 - h_3)$	$EX_{kayıp,komp2} = EX_3 - EX_4 + W_{komp2}$
Kondenser	$Q_K = \dot{m}(h_4 - h_5)$	$EX_{kayıp,K} = EX_4 - EX_5 - Q_K \left(1 - \frac{T_0}{T_5}\right)$
Genleşme valfi	$h_5 = h_6$	$EX_{kayıp,genl} = EX_5 - EX_6$

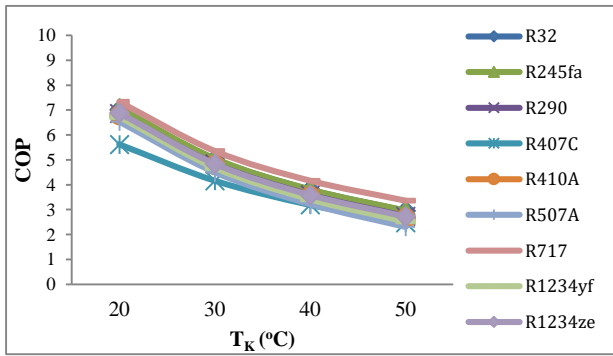
### 3. Bulgular

İki kademeli soğutma sisteminde ODP değerleri aynı, GWP değerleri farklı alternatif akışkanlar kullanılarak aynı çalışma şartları altındaki sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Şekil 2' de aynı çalışma şartları için farklı soğutucu akışkanlarla çalışan sistemin COP değerlerinin karşılaştırması görülmektedir. En yüksek COP değeri R717 soğutucu akışkanı ile çalışan sistemde 5.358 olarak, en düşük COP değeri ise R407C soğutucu akışkanı ile çalışan sistemde 4.165 olarak elde edilmiştir.



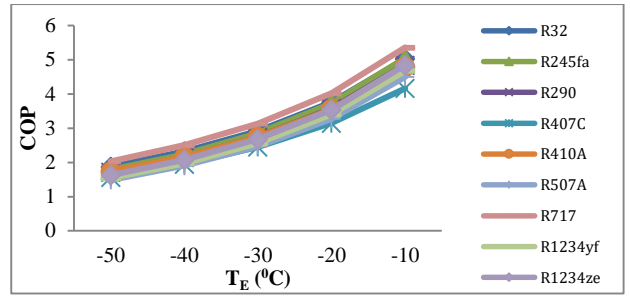
Şekil 2. Çalışmada kullanılan soğutucu akışkanların COP karşılaştırılması

Şekil 3' de farklı soğutucu akışkanlarla çalışan sistemin COP değerlerinin kondenser sıcaklığı ile değişimi görülmektedir. Kondenser sıcaklığının artmasıyla COP değerleri azalmaktadır.



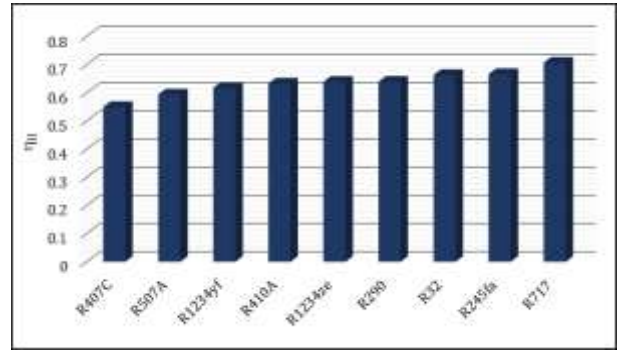
Şekil 3. Kondenser sıcaklığıyla COP değişimi

Şekil 4' de farklı soğutucu akışkanlarla çalışan sistemin COP değerlerinin evaporatör sıcaklığı ile değişimi görülmektedir. Evaporatör sıcaklığının artmasıyla COP değerleri artmaktadır.



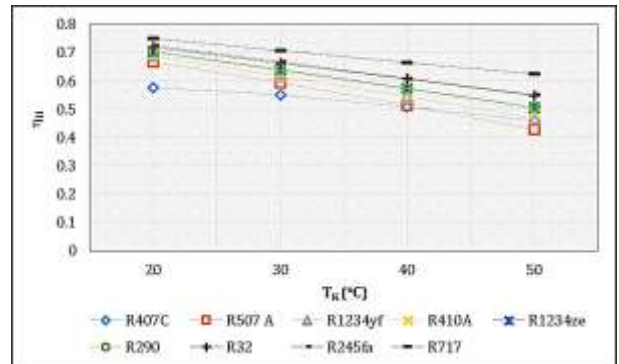
Şekil 4. Evaporatör sıcaklığıyla COP değişimi

Şekil 5' de aynı çalışma şartları için farklı soğutucu akışkanlarla çalışan iki kademeli buhar sıkıştırma soğutma sisteminin ekserji verim değerlerinin karşılaştırması görülmektedir. En yüksek ekserji verim değeri R717 soğutucu akışkanı ile çalışan sistemde 0.7069 olarak, en düşük ekserji verim değeri ise R407C soğutucu akışkanı ile çalışan sistemde 0.5496 olarak elde edilmiştir.



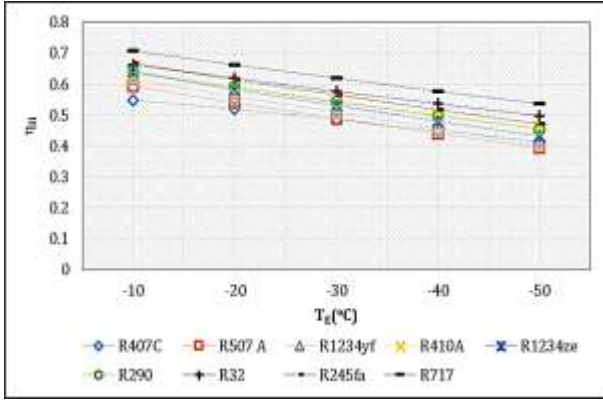
Şekil 5. Çalışmada kullanılan soğutucu akışkanların ekserji verimlerinin karşılaştırılması

Şekil 6' da farklı soğutucu akışkanlarla çalışan sistemin ekserji verim değerlerinin kondenser sıcaklığı ile değişimi görülmektedir. Kondenser sıcaklığının artmasıyla ekserji verimi değerleri azalmaktadır.



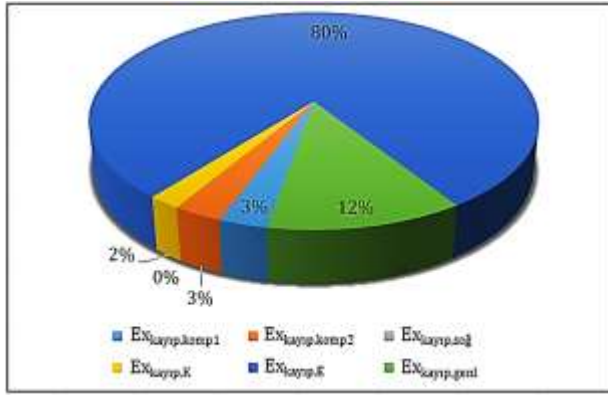
Şekil 6. Kondenser sıcaklığıyla ekserji verimi değişimi

Şekil 7' de farklı soğutucu akışkanlarla çalışan sistemin ekserji verim değerlerinin evaporatör sıcaklığı ile değişimi görülmektedir. Evaporatör sıcaklığının artmasıyla ekserji verimi değerleri artmaktadır.



Şekil 7. Evaporatör sıcaklığıyla ekserji verimi değişimi

Şekil 8'de sistem elemanlarına ait ekserji kayıpları görülmektedir. En yüksek ekserji kaybının %80 oranında evaporatörde olduğu görülmüştür. Ara soğutucuda ise yüzde olarak ekserji kaybı sıfır olarak bulunmuştur.



Şekil 8. Sistem elemanlarına ait ekserji kayıpları

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, farklı akışkanlar kullanılarak iki kademeli soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır.

İki kademeli soğutma sisteminde en yüksek COP değeri R717 soğutucu akışkanı ile çalışan sistemde 5.358 olarak, en düşük COP değeri ise R407C soğutucu akışkanı ile çalışan sistemde 4.165 olarak elde edilmiştir. En yüksek ekserji verim değeri R717 soğutucu akışkanı ile çalışan sistemde 0.7069 olarak, en düşük ekserji verim değeri ise R407C soğutucu akışkanı ile çalışan sistemde 0.5496 olarak elde edilmiştir. Sistem elemanlarında en yüksek ekserji kaybının evaporatörde, en az ekserji yıkımının ise ara soğutucuda olduğu belirlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, farklı soğutucu akışkanların kullanılması durumunda iki kademeli bir soğutma sisteminin performans ve ekserji verimlerinin karşılaştırmasını içermektedir. Bu çalışma, düşük sıcaklık uygulamaları için soğutma

sistemi tasarımı ve soğutucu akışkan seçiminde yardımcı olacaktır.

#### Kaynakça

- [1] Çengel, Y.A. & Boles, M. A. 2008. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. Güven Kitapevi, İstanbul.
- [2] Bulut, H. 2015. Soğutma ve Klima Tekniği, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, Ders Notu, (s.54). <https://docplayer.biz.tr/11188952-Sogutma-ve-klima-teknigi.html>. (Erişim Tarihi 18 temmuz 2019).
- [3] Ünlü, A. 2011. Alternatif Bir Soğutkanın (HFO-1234yf) Kullanıldığı Bir Soğutma Sisteminin Ekserji Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [4] Aksoy, A. 2014. İki Kademeli Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizleri ile İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [5] Ansari, N. A., Arora, A., & Manjunath, K. 2018. Optimum Performance Analysis of a Hybrid Cascade Refrigeration System Using Alternative Refrigerants. Materials Today:Proceedings, 5(14), 28374-28383.
- [6] Chen, G., Volovyk, O., Ierin, V. & Shestopalov, K. (2017). Performance analysis of a two-stage mechanical compression-ejector cooling cycle intended for micro-trigeneration system. International Journal of Refrigeration, 81, 33-40.
- [7] Mancuhan, E. 2019. A comprehensive comparison between low and medium temperature application refrigerants at a two-stage refrigeration system with flash intercooling. Thermal Science and Engineering Progress, 13, 100357.
- [8] Yılmaz, D., Sınar, Ü., Özyurt, A., Yılmaz, B. & Mancuhan, E. 2017. Ultra Düşük Sıcaklıklardaki İki Aşamalı Soğutma Sisteminin Alt Performans ve Aşırı Isınmanın Etkileri Üzerine Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (3), s.1172-1180.
- [9] Sun, Z., Wang, Q., Xie, Z., Liu, S., Su, D. & Cui, Q. 2019. Energy and exergy analysis of low GWP refrigerants in cascade refrigeration system. Energy, 170, 1170-1180.
- [10] Singh, A., Sarkar, J. & Sahoo, R. 2019. Comparative analyses on a batch-type heat pump dryer using low GWP refrigerants. Food and Bioproducts Processing, 117, 1-13.

- [11] Shaik, S. V. & Babu, T. A. 2017. Theoretical Computation of Performance of Sustainable Energy Efficient R22 Alternatives for Residential Air Conditioners. *Energy Procedia*, 138, 710-716.
- [12] Seyitoğlu, S. S., & Kılıçarslan, A. 2015. Second law analysis of different refrigerants in a two stage vapor compression cycle. . *Isi Bilimi ve Teknigi Dergisi / Journal of Thermal Science & Technology*,35(2),89-97.
- [13] Şahin, B. 2019. Farklı alternatif akışkanların kullanıldığı iki kademeli soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [14] Kotas, T.J. 1995. *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. Kreiger Publishing Company, Malabar, Florida.