

İç Isı Değiştiricili Bir Organik Rankin Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi

Arzu ŞENCAN ŞAHİN^{1*}, Cihanşah AĞ¹, Osman ÖZYURT¹, Yasin ASLAN¹

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Isparta

Geliş Tarihi (Received): 26.10.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 02.02.2021

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author*): arzusencan@isparta.edu.tr

☎ +90 246 2146772 📠 +90 246 2146899

ÖZ

Bu çalışmada R1234yf, R1234ze ve R134a çalışma akışkanlarının kullanıldığı iç ısı değiştiricili bir Organik Rankine Çevriminin (ORC) enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Farklı çalışma sıcaklıkları için ORC sisteminin enerji ve ekserji performansları analiz edilmiştir. Yapılan analizden kazan, yoğunlaştırıcı ve aşırı soğutma sıcaklıklarının hem enerji hem de ekserji verimlerini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Kazan ve aşırı soğutma sıcaklığının artmasıyla enerji ve ekserji verimlerinin arttığı, yoğunlaştırıcı sıcaklığının artmasıyla enerji ve ekserji verimlerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca her bir elemana ait ekserji yıkımları belirlenmiştir. Türbin ve pompa izentropik kabul edildiği için bu elemanlardaki ekserji yıkımları ihmal edilmiştir. En fazla ekserji yıkımının %72 oranında yoğunlaştırıcıda, en düşük ekserji yıkımının da %1 oranında ısı değiştiricide olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, R134a çalışma akışkanına alternatif olarak seçilen R1234yf akışkanının ORC sistemi için kullanılabilir en uygun akışkan olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çalışma akışkanları, ekserji, enerji, ısı değiştirici, organik Rankine çevrimi

Energy and Exergy Analysis of an Organic Rankine Cycle with Internal Heat Exchanger

ABSTRACT

In this study, energy and exergy analysis of an organic Rankine cycle with internal heat exchanger using R1234yf, R1234ze and R134a is carried out. The energy and exergy performances of an ORC system for different operating temperature have been analyzed. It is seen from the analysis that, boiler, condenser and subcooling temperature has significant effect on both energy and exergy efficiencies. It was observed that energy and exergy efficiency increased with the increase of boiler and supercooling temperature, and energy and exergy efficiency decreased with the increase of condenser temperature. In addition, exergy destructions of each component were determined. Since the turbine and pump are considered isentropic, exergy destructions in these elements have been neglected. It was determined that the highest exergy destruction was in the condenser with the rate of 72% and the least exergy destruction was in the heat exchanger with the rate of 1%. As a result, it has been observed that the R1234yf fluid chosen as an alternative to the R134a working fluid is the most suitable fluid for the ORC system.

Keywords: Working fluids, exergy, energy, heat exchanger, organic Rankine cycle

İç Isı Değiştiricili Bir Organik Rankin Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi

GİRİŞ

Enerji, insanlığın ilerlemesi ve sosyal gelişimi için vazgeçilemeyecek bir kaynaktır. Enerji verimliliğini artırmak, küresel bir araştırma noktası haline gelmiştir. Günümüzde yüksek ısı enerjisine sahip kaynaklardan enerji elde edilmesi pek çok sistem ile sağlanabilmektedir. Ancak düşük sıcaklıklı bir kaynaktan enerji elde edebilmenin teknik ve ekonomik zorlukları oldukça fazladır (Hung ve Feng, 2019).

Organik Rankine çevrimi (ORC) uygulamaları güneş enerjisi, jeotermal enerji ve atık ısı geri kazanımı gibi düşük sıcaklıklı kaynaklardan enerji elde edebilmenin üstün teknolojilerinden biridir (Chen ve ark., 2020). ORC

ve Rankine çevrimi uygulamaları arasındaki tek fark ise akışkan tercihidir. Rankine çevrimi uygulamalarında akışkan olarak su seçilirken; ORC uygulamalarında daha düşük sıcaklık ve basınç değerleri arasında çalışabilen R134a, R404a, R21 gibi akışkanlar kullanılmaktadır.

Çalışma sıvısı seçimi, kazan ve yoğuşturucudaki çalışma sıcaklıkları, iç ısı değiştiricili bir sistem kullanılıyorsa ısı değiştiricisinin etkinliği, aşırı soğutma sıcaklığı gibi faktörler ORC uygulamalarının verimliliğine etki eden en önemli parametrelerdir (Chen ve ark., 2020). Literatürde ORC ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Son zamanlarda yapılan bu çalışmalardan bazıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. ORC ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar

Kullanılan Akışkanlar	Çalışılan Konu	Yazarlar
R123, R245fa, R600a, R134a, R407c, R404a, R245fa, R134a, pentane, toluene, R602, R-600a, R-245fa, R123, R134a-R32 karışımı, R245fa, Farklı çalışma akışkanları, R123, R245, R600, R1234yf, R134a, R245fa, izobütan	Enerji ve ekserji analizi Enerji ve ekserji analizi Enerji ve ekserji analizi Enerji ve ekserji analizi Enerji ve ekserji maliyeti Performans analizi Dinamik davranış analizi Verim analizi İyileştirme Optimizasyon Optimizasyon	Aghahosseini ve Dincer, 2013 Ashouri ve ark., 2017 Saleh, 2018 Acar ve Aslan, 2019 Navongxay ve Chaiyat, 2019 Hung ve Feng, 2019 Chen ve ark., 2020 Alvarado ve ark., 2019 Köse ve ark., 2020 Bademlioğlu ve ark., 2020 Song ve ark., 2020
Heptan-R245fa karışımı, R21, R114, R245fa, Toluen, Sikloheksan, Farklı çalışma akışkanları, R1233zd, R236fa, R245fa, R1336mzz, 5 farklı çalışma akışkanı, R600a, R1234ze(Z), R1233zd(E), 20 farklı çalışma sıvısı, 34 farklı çalışma sıvısı, R245fa, Siloksan, Toluen, benzen ve siklopentan, Farklı çalışma akışkanları	Termodinamik analiz Optimizasyon Fizibilite Optimizasyon Akışkan seçimi Performans analizi Perfomans analizi Ekserji analizi Akışkan değerlendirmesi Akışkan seçimi Optimizasyon Modellleme Aerodinamik tasarım Performans analizi Akışkan seçimi	Tiwari ve ark., 2020 Sun ve ark., 2020 Pantaleo ve ark., 2020 Karimi ve ark., 2020 Lin ve ark., 2020 Talluri ve ark., 2020 Yang ve ark., 2020 Kavaslioğulları ve Cihan, 2015 Longo ve ark., 2020 Emadi ve ark., 2020 Rad ve ark., 2020 Alvi ve ark., 2020 Quan ve ark., 2020 Carcasci ve ark., 2020 Xia ve ark., 2020

İç Isı Değiştiricili Bir Organik Rankin Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi

Tablo 1’de görüldüğü gibi ORC sistemi üzerinde pek çok deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak R134a akışkanına alternatif olarak sıfır ODP ve düşük GWP değerlerine sahip R1234yf ve R1234ze çalışma akışkanları kullanılarak iç ısı değiştiricili bir ORC sisteminin Engineering Equation Solver (EES) programı kullanılarak enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Isıl verim ve ekserji verimi değerlerinin farklı çalışma parametrelerine göre değişimleri analiz edilmiştir. Ayrıca, sistemi oluşturan her bir elemana ait ekserji yıkımları belirlenerek yine farklı çalışma parametrelerine göre değişimleri incelenmiştir. Sisteme ait ekserji yıkımlarının sistem verimine etkisi incelenmiştir.

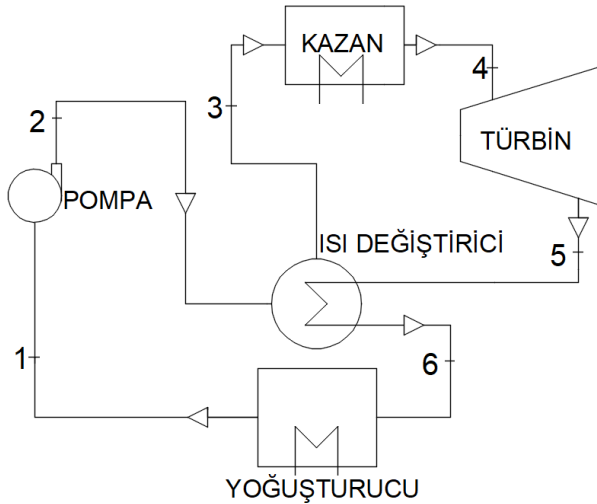
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada iç ısı değiştiricili ORC sisteminin R1234yf, R1234ze ve R134a akışkanları kullanılarak termodinamik analizi yapılmıştır. ORC sistemine eklenen iç ısı değiştirici sayesinde, kazanda buharın daha yüksek sıcaklıklara ısıtılması ve yoğunlaştırıcı sıcaklığının düşürülmesi sağlanmaktadır. Böylece ORC sisteminin veriminin artırılması mümkün olmaktadır. Çalışmada kullanılan akışkan çiftleri ve özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Sistem elemanlarının sıcaklık değişimleriyle ısıl ve ekserji verimlerinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca yine çalışma sıcaklıklarının ekserji yıkımlarına etkisi incelenmiştir. Tüm analizlerde EES programı kullanılmıştır. Şekil 1’de analizi yapılan iç ısı değiştiricili bir ORC sistemi gösterilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan çalışma akışkanlarının bazı özellikleri (Llopis ve ark., 2015)

Soğutkan	Kaynama sıcaklığı (°C)	Kritik sıcaklık (°C)	Kritik basınç (bar)	ODP	GWP
R134a	-26.5	101.1	40.59	0	1300
R1234yf	-29.49	94.70	32.69	0	1
R1234ze	-18.98	108.0	35.39	0	1



Şekil 1. İç ısı değiştiricili ORC sistemi

İç ısı değiştiricili ORC sisteminde tüm sistem elemanları sürekli-akışlı açık sistem olarak incelenmiştir. İş ve ısı geçişi baz alınarak kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim oldukça küçük olduğu için ihmal edilebilir. Böylece akışkanın birim kütlesi için sürekli akışlı-açık sisteme ilişkin enerji korunumu denklemi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir (Çengel ve Boles, 2012). Termodinamik analizlerde çevre sıcaklığı 25°C olarak alınmıştır.

$$(\dot{q}_g - \dot{q}_c) + (\dot{w}_g - \dot{w}_c) = h_c - h_g \quad (1)$$

Sürekli akışlı açık sistemler için ekserji dengesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir [22].

$$\Sigma \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \cdot \dot{Q} - \dot{W} + \Sigma_g \dot{m} \cdot Ex - \Sigma_c \dot{m} \cdot Ex - \dot{E}_{x_{yıkım}} = 0 \quad (2)$$

İş ile gerçekleşen ekserji işi, işin kendisine eşittir ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{E}_{x_w} = W \quad (3)$$

Isı ile ekserji geçişi ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir (Çengel ve Boles, 2012).

$$\dot{E}_{x_Q} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot \dot{Q} \quad (4)$$

Akış ekserjisi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir (Çengel ve Boles, 2012).

$$\dot{E}_x = \dot{m} [(h - h_0) - T_0 \cdot (s - s_0)] \quad (5)$$

Şekil 1’de verilen iç ısı değiştiricili ORC sisteminde her bir sistem elemanına ait enerji ve ekserji dengesi Tablo 3’de verilmiştir. İç ısı değiştiricili ideal Rankine çevriminin ısıl verimi 6 numaralı denklemde verilmiştir.

İç Isı Değiştiricili Bir Organik Rankin Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi

Tablo 3. Sistem elemanlarına ait enerji ve ekserji denge eşitlikleri

Sistem Elemanı	Enerjinin Dengesi	Ekserji Dengesi
Pompa	$\dot{W}_p = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$	$\dot{E}_{x_{yıkım,P}} = \dot{E}_{x_2} - \dot{E}_{x_1} + \dot{W}_p$
Kazan	$\dot{Q}_{Kazan} = \dot{m} \cdot (h_4 - h_3)$	$\dot{E}_{x_{yıkım,Kazan}} = \dot{E}_{x_4} - \dot{E}_{x_3} + \dot{E}_{x_{Q_{Kazan}}}$
Türbin	$\dot{W}_T = \dot{m} \cdot (h_4 - h_5)$	$\dot{E}_{x_{yıkım,T}} = \dot{E}_{x_4} - \dot{E}_{x_5} - \dot{W}_T$
Yoğuşturucu Isı değiştirici	$\dot{Q}_{Yoğ} = \dot{m} \cdot (h_6 - h_1)$ $\dot{m} \cdot h_2 + \dot{m} \cdot h_5 = \dot{m} \cdot h_3 + \dot{m} \cdot h_6$	$\dot{E}_{x_{yıkım,Yoğ}} = \dot{E}_{x_6} - \dot{E}_{x_1} - \dot{E}_{x_{Q_{Yoğ}}}$ $\dot{E}_{x_{yıkım,id}} = \dot{E}_{x_2} + \dot{E}_{x_5} - \dot{E}_{x_3} - \dot{E}_{x_6}$

$$\eta = \frac{\dot{W}_T - \dot{W}_p}{\dot{Q}_{Kazan}} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{Kazan}} = \frac{(h_4 - h_5) - (h_2 - h_1)}{(h_4 - h_3)} \quad (6)$$

Sistemin toplam ekserji yıkımı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\dot{E}_{x_{toplam yıkım}} = \dot{E}_{x_{yıkım,P}} + \dot{E}_{x_{yıkım,Kazan}} + \dot{E}_{x_{yıkım,T}} + \dot{E}_{x_{yıkım,Yoğ}} + \dot{E}_{x_{yıkım,id}} \quad (7)$$

Sistemin ikinci yasa verimi ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\eta_E = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}_{x_{1s1}}} = 1 - \frac{\dot{E}_{x_{toplam yıkım}}}{\dot{E}_{x_{1s1}}} \quad (8)$$

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada R134a, R1234yf ve R1234ze akışkanları kullanılan iç ısı değiştiricili ORC sisteminin termodinamik analizi yapılmıştır. Tüm akışkanlar için farklı kazan ve yoğuşturucu sıcaklıkları için ısı verim ve ekserji verim değişimleri incelenmiştir. Ayrıca kazan ve yoğuşturucu sıcaklığı sabit tutularak aşırı soğutma sıcaklığının değişimine göre ısı verim ve ekserji verim değişimleri de incelenmiştir. İç ısı değiştiricili ORC sisteminin her bir elemanına ait ekserji yıkımları belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan tüm akışkanların termodinamik özellikleri de EES programı kullanılarak belirlenmiştir. Örnek olarak R134a akışkanı ile çalışan iç ısı değiştiricili ORC sisteminin her noktasındaki bazı termodinamik özellikler EES programı yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. R134a akışkanının kullanıldığı sistemin her noktasındaki termodinamik özellikler

NOKTA	h (kJ/kg)	P (kPa)	s (kJ/kgK)	T (°C)	\dot{E}_x (kW)
1	93.58	770.60	0.34	30.00	22.67
2	94.34	1683.00	0.34	30.54	23.08
3	101.80	1683.00	0.37	35.72	25.18
4	291.50	1683.00	0.94	70.00	33.12
5	274.80	770.60	0.94	37.79	24.31
6	267.30	770.60	0.92	30.62	24.19

Şekil 2'de üç farklı çalışma akışkanı için 30°C yoğuşturucu sıcaklığı, 10°C aşırı kızdırma sıcaklığı ve 5°C aşırı soğutma sıcaklığında; beş farklı kazan sıcaklığına göre iç ısı değiştiricili ORC sisteminin ısı verimindeki değişim gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere her üç akışkan için de kazan sıcaklığı arttıkça sistemin ısı verim değerleri artmaktadır. Farklı kazan sıcaklıklarında her üç akışkanla çalışan sistemin ısı verimlerinin 0.05 ile 0.1 arasında değiştiği ve birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 3'te üç farklı çalışma akışkanı için 30°C yoğuşturucu sıcaklığı, 10°C aşırı kızdırma sıcaklığı ve 5°C aşırı soğutma sıcaklığında; beş farklı kazan sıcaklığına göre iç ısı değiştiricili ORC sisteminin ekserji verimindeki

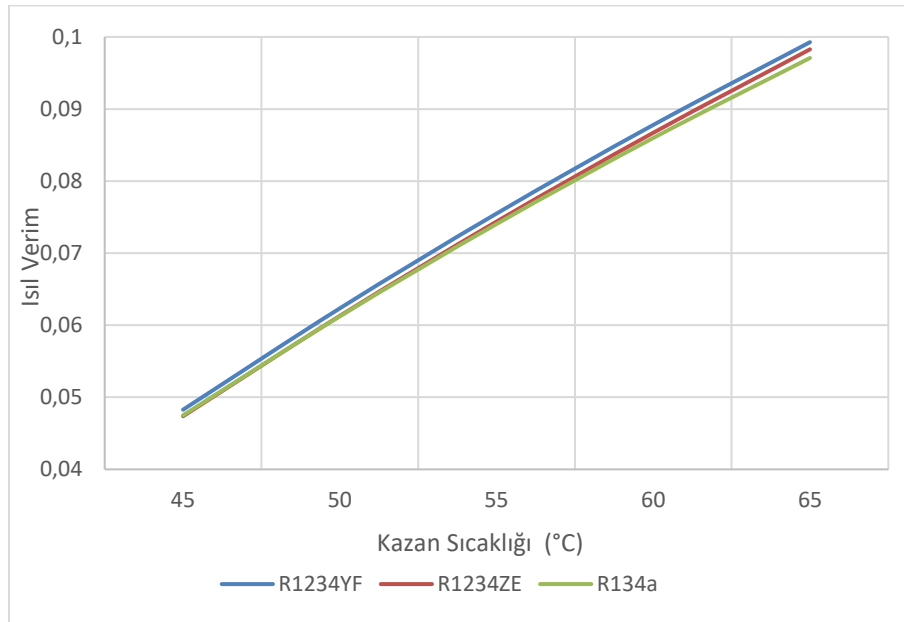
değişim gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere tüm çalışma akışkanları için kazan sıcaklığı arttıkça sistemin ekserji verimi artmaktadır. Ancak ekserji verimindeki bu artışın yaklaşık 60°C kazan sıcaklığından sonra sabit kaldığı görülmektedir. Belirlenen çalışma parametrelerinde optimum kazan sıcaklığı değerlerine yaklaşıldığı için bu değerden sonraki sıcaklık artışı, ekserji veriminde belirgin bir artmaya sebep olmamıştır. Ayrıca R1234yf ile çalışan sistemin ekserji verimi değerlerinin diğer çalışma akışkanlarıyla çalışan sistemin ekserji verimi değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Şekil 4'de 60°C kazan sıcaklığı, 10°C aşırı kızdırma sıcaklığı ve 5°C aşırı soğutma sıcaklığında; 25-35°C yoğuşturucu sıcaklık aralığında üç farklı akışkan için iç ısı

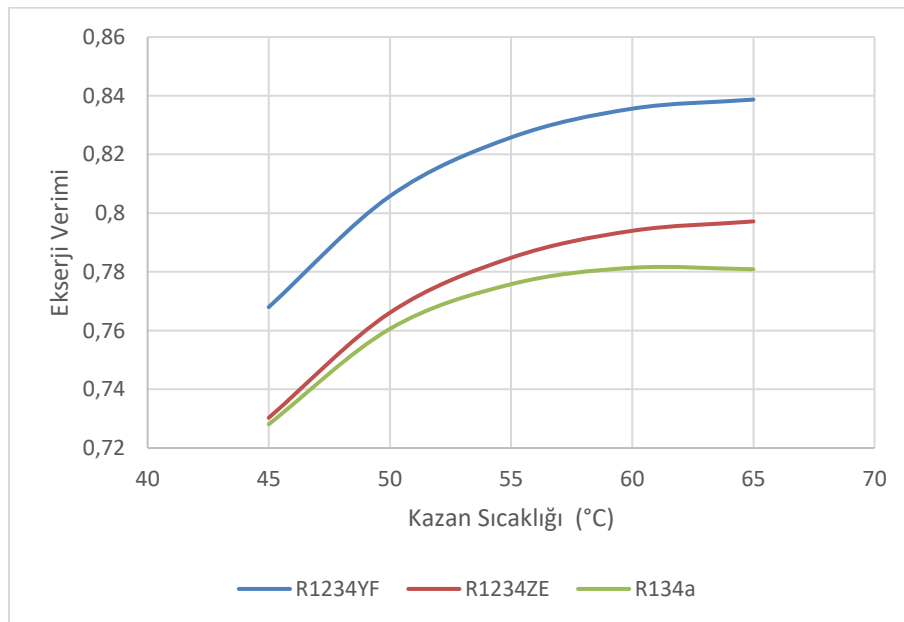
İç Isı Değiştiricili Bir Organik Rankin Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi

değiştiricili ORC sisteminin ısı verim değişimi görülmektedir. Yoğuşturucu sıcaklığının artmasıyla ısı verim de-

ğerinin azaldığı görülmektedir. Farklı yoğuşturucu sıcaklıklarında her üç akışkanla çalışan sistemin ısı verimlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

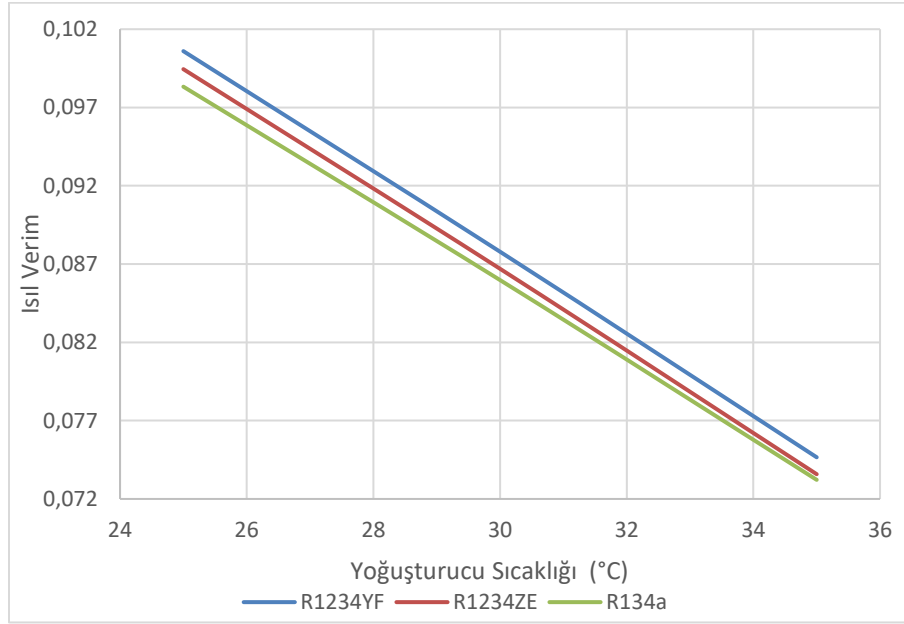


Şekil 2. Farklı kazan sıcaklıklarında ısı verim değişimi



Şekil 3. Farklı kazan sıcaklıklarında ekserji verim değişimi

İç Isı Değiştiricili Bir Organik Rankin Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi



Şekil 4. Farklı yoğuşturucu sıcaklıklarında ısı verim değişimi

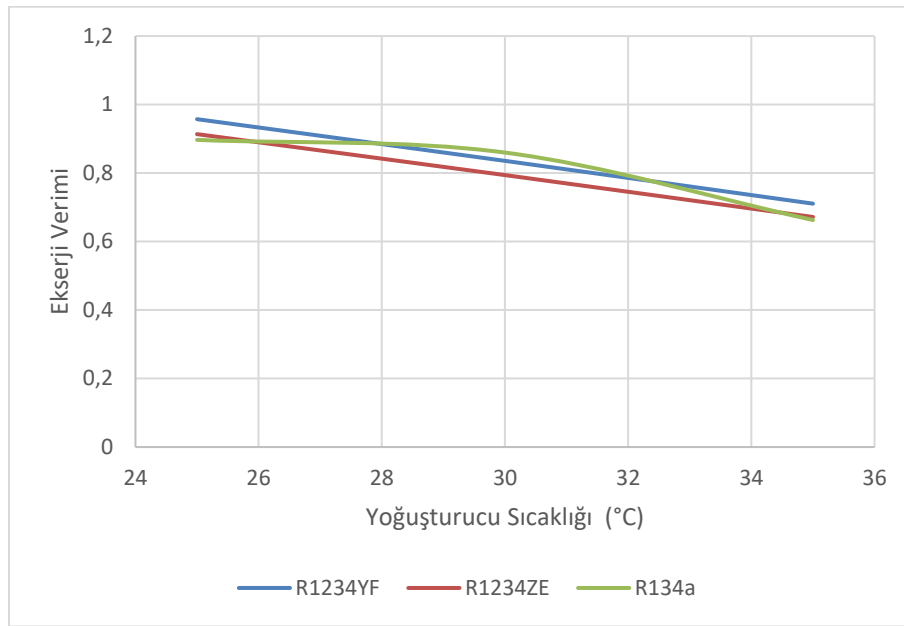
Şekil 5'te 60°C kazan sıcaklığı, 10°C aşırı kızdırma sıcaklığı ve 5°C aşırı soğutma sıcaklığında; 25-35°C yoğuşturucu sıcaklık aralığında üç farklı çalışma akışkanı için iç ısı değiştiricili ORC sisteminin ekserji verimlerinin değişimi verilmiştir. Tüm çalışma akışkanları için yoğuşturucu sıcaklığı arttıkça ekserji verim değerleri azalmaktadır. Genel olarak R1234yf ile çalışan sistemin ekserji verim değerlerinin diğer çalışma akışkanlarıyla çalışan sistemin ekserji verim değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Sadece 30°C yoğuşturucu sıcaklığında R134a akışkanıyla çalışan sistemin ekserji verimi diğer akışkanlarla çalışan sistemin ekserji verimi değerlerinden biraz daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ayrıca aşırı soğutma sıcaklığının ısı verim ve ekserji verim değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Şekil 6'da aşırı soğutma sıcaklığı arttıkça her üç çalışma akışkanı için

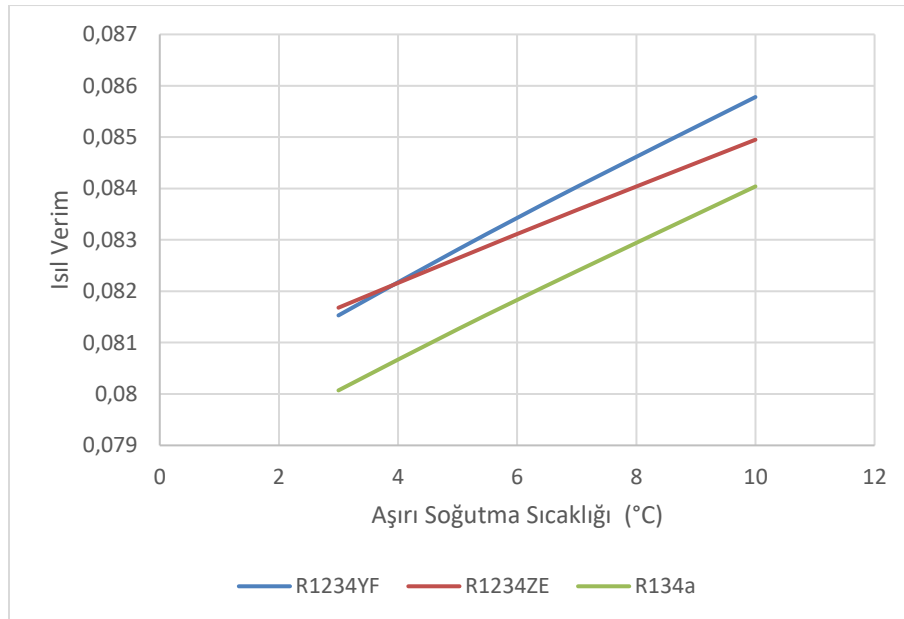
de sistemin ısı veriminin arttığı görülmektedir. Genel olarak R1234yf akışkanının kullanıldığı sistemin ısı verimi diğer iki akışkanın kullanıldığı sistemin ısı veriminden daha yüksektir. Şekil 7'de aşırı soğutma sıcaklığının artmasıyla her üç akışkanla çalışan sistemin de ekserji veriminin arttığı görülmektedir. En yüksek ekserji verimine yine R1234yf akışkanı kullanılması durumunda ulaşılmıştır.

İç ısı değiştiricili ORC sistemini oluşturan her bir elemana ait ekserji yıkımları Şekil 8'de görüldüğü gibi belirlenmiştir. Türbin ve pompa izentropik kabul edildiği için bu elemanlardaki ekserji yıkımları ihmal edilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi en fazla ekserji yıkımının %72 oranında yoğuşturucuda, en düşük ekserji yıkımının da %1 oranında ısı değiştiricide olduğu belirlenmiştir.

İç Isı Değiştiricili Bir Organik Rankin Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi

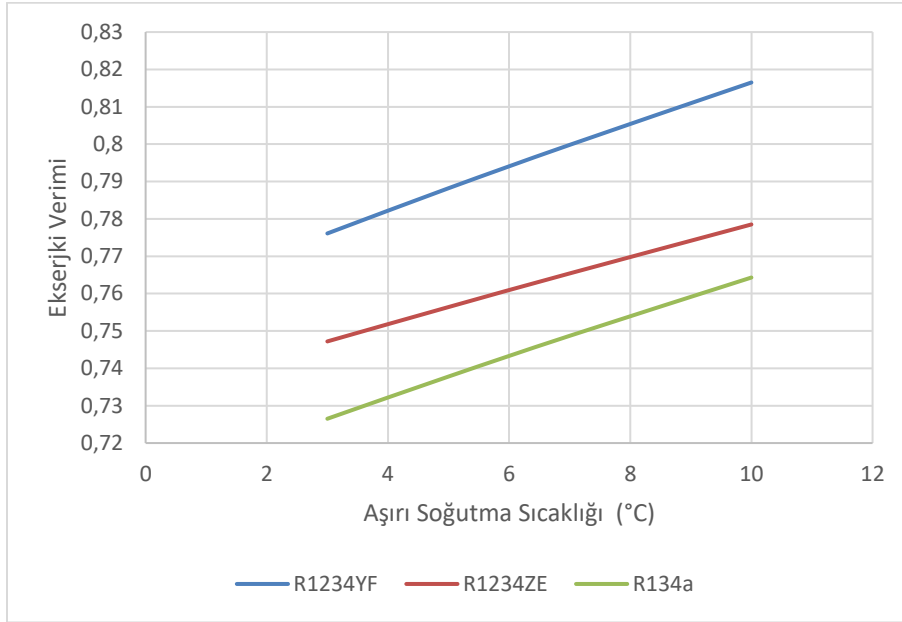


Şekil 5. Farklı yoğuşturucu sıcaklıklarında ekserji verimi değişimi



Şekil 6. Farklı çalışma akışkanları için aşırı soğutma sıcaklığının ısıl verime etkisi

İç Isı Değiştiricili Bir Organik Rankin Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi



Şekil 7. Farklı çalışma akışkanları için aşırı soğutma sıcaklığının ekserji verimine etkisi



Şekil 8. ORC sistemini oluşturan her bir elemana ait ekserji yıkımları

SONUÇ

Bu çalışmada iç ısı değiştiricili bir ORC sisteminde farklı çalışma akışkanları kullanılarak ısı verim ve ekserji verim değerlerinin değişimleri incelenmiştir.

Kazan sıcaklığının artırılmasının sistem verimini olumlu etkilediği ancak belirli bir sıcaklık değerinden sonra ekserji verimini değiştirmediği görülmüştür. Yoğuşurucu

sıcaklığının artmasıyla hem ısı verim hem de ekserji verim değerlerinin azaldığı görülmüştür. Aşırı soğutma sıcaklığıyla sistemin ısı verim ve ekserji veriminin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, iç ısı değiştiricili ORC sistemini oluşturan her bir elemana ait ekserji yıkımları belirlenmiştir. En fazla ekserji yıkımının yoğuşurucuda, en düşük ekserji yıkımının da ısı değiştiricide olduğu belirlenmiştir. ORC sisteminde çalışma akışkanının seçimi, sistemin çalışma parametrelerini ve performansını büyük ölçüde

İç Isı Değiştiricili Bir Organik Rankin Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi

etkileyebilmektedir. Bu çalışmada genel olarak R134a çalışma akışkanına alternatif olarak seçilen R1234yf akışkanının iç ısı değiştiricili ORC sistemi için kullanılacak en uygun akışkan olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, iç ısı değiştiricili bir ORC sisteminde uygun çalışma akışkanı seçimi ve sistemin optimizasyonu konusundaki çalışmalara ve literatüre katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Acar, M. S., Arslan, O. (2019). Energy and exergy analysis of solar energy-integrated, geothermal energy-powered Organic Rankine Cycle. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 137(2): 659-666.
- Aghahosseini, S., Dincer, I. (2013). Comparative performance analysis of low-temperature Organic Rankine Cycle (ORC) using pure and zeotropic working fluids. *Applied Thermal Engineering*, 54(1): 35-42.
- Alvarez-Alvarado, J. M., Ríos-Moreno, G. J., Ventura-Ramos, E., Ronquillo-Lomeli, G., Trejo-Perea, M. (2019). Experimental Study of a 1-kW Organic Rankine Cycle Using R245fa Working Fluid and a Scroll Expander: A Case Study. *IEEE Access*, 7: 154515-154523.
- Alvi, J. Z., Feng, Y., Wang, Q., Imran, M., Alvi, J. (2020). Modelling, simulation and comparison of phase change material storage based direct and indirect solar organic Rankine cycle systems. *Applied Thermal Engineering*, 170: 114780.
- Ashouri, M., Ahmadi, M. H., Feidt, M., Astaraei, F. R. (2017). Exergy and energy analysis of a regenerative organic Rankine cycle based on flat plate solar collectors. *Mechanics & Industry*, 18(2): 217.
- Bademlioğlu, AH, Canbolat, AS ve Kaynakli, O. (2020). Taguchi-Gray İlişkisel Analizi ile Organik Rankine Döngüsü performans özelliklerini etkileyen parametrelerin çok amaçlı optimizasyonu. *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 117: 109483.
- Carcasci, C., Cheli, L., Lubello, P., Winchler, L. (2020). Off-Design Performances of an Organic Rankine Cycle for Waste Heat Recovery from Gas Turbines. *Energies*, 13(5): 1105.
- Cengel, Y. A., Boles, M. A. (2012). *Thermodynamics an Engineering Approach* (Fifth ed.).
- Chen, X., Liu, C., Li, Q., Wang, X., Wang, S. (2020). Dynamic behavior of supercritical organic Rankine cycle using zeotropic mixture working fluids. *Energy*, 191: 116576.
- Emadi, M. A., Chitgar, N., Oyewunmi, O. A., Markides, C. N. (2020). Working-fluid selection and thermo-economic optimisation of a combined cycle cogeneration dual-loop organic Rankine cycle (ORC) system for solid oxide fuel cell (SOFC) waste-heat recovery. *Applied Energy*, 261: 114384.
- Hung, T. C., Feng, Y. Q. (2019). The Development and Application of a Small-Scale Organic Rankine Cycle for Waste Heat Recovery. In ORC for Waste Heat Recovery Applications. IntechOpen.
- Karimi, M. H., Chitgar, N., Emadi, M. A., Ahmadi, P., Rosen, M. A. (2020). Performance assessment and optimization of a biomass-based solid oxide fuel cell and micro gas turbine system integrated with an organic Rankine cycle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(11): 6262-6277.
- Kavasoğulları, B., Cihan, E. (2015). Organik Rankine Çevrimi (ORC) ile Birlikte Çalışan Buhar Sıkıştırıcı Bir Soğutma Çevriminin Ekserji Analizi. *Tesisat Mühendisliği*, (150):74-85.
- Köse, Ö., Koç, Y., Yağlı, H. (2020). Performance improvement of the bottoming steam Rankine cycle (SRC) and organic Rankine cycle (ORC) systems for a triple combined system using gas turbine (GT) as topping cycle. *Energy Conversion and Management*, 211: 112745.
- Lin, S., Zhao, L., Deng, S., Zhao, D., Wang, W., Chen, M. (2020). Intelligent collaborative attainment of structure configuration and fluid selection for the Organic Rankine cycle. *Applied Energy*, 264: 114743.
- Llopis, R., Sánchez, D., Sanz-Kock, C., Cabello, R., Torrella, E. (2015). Energy and environmental comparison of two-stage solutions for commercial refrigeration at low temperature: fluids and systems. *Applied Energy*, 138: 133-42.
- Longo, G. A., Mancin, S., Righetti, G., Zilio, C., Brown, J. S. (2020). Assessment of the low-GWP refrigerants R600a, R1234ze (Z) and R1233zd (E) for heat pump and organic Rankine cycle applications. *Applied Thermal Engineering*, 167: 114804.
- Navongxay, B., Chaayat, N. (2019). Energy and exergy costings of organic Rankine cycle integrated with absorption system. *Applied Thermal Engineering*, 152: 67-78.
- Pantaleo, A. M., Camporeale, S. M., Sorrentino, A., Miliozzi, A., Shah, N., Markides, C. N. (2020). Hybrid solar-biomass combined Brayton/organic Rankine-cycle plants integrated with thermal storage: Techno-economic feasibility in selected Mediterranean areas. *Renewable Energy*, 147: 2913-2931.
- Quan, Y., Liu, J., Zhang, C., Wen, J., Xu, G., Dong, B. (2020). Aerodynamic design of an axial impulse turbine for the high-temperature organic Rankine cycle. *Applied Thermal Engineering*, 167: 114708.
- Rad, E. A., Mohammadi, S., Tayyeban, E. (2020). Simultaneous optimization of working fluid and boiler pressure in an organic Rankine cycle for different heat source temperatures. *Energy*, 194: 116856.
- Saleh, B. (2018). Energy and exergy analysis of an integrated organic Rankine cycle-vapor compression refrigeration system. *Applied Thermal Engineering*, 141: 697-710.
- Song, J., Loo, P., Teo, J., Markides, C. N. (2020). Thermo-Economic Optimization of Organic Rankine Cycle (ORC) Systems for Geothermal Power Generation: A Comparative Study of System Configurations. *Frontiers in Energy Research*, 8: 6.
- Sun, Q., Wang, Y., Cheng, Z., Wang, J., Zhao, P., Dai, Y. (2020). Thermodynamic and economic optimization of a double-pressure organic Rankine cycle driven by low-temperature heat source. *Renewable Energy*, 147: 2822-2832.
- Talluri, L., Dumont, O., Manfrida, G., Lemort, V., Fiaschi, D. (2020). Experimental investigation of an Organic Rankine Cycle Tesla turbine working with R1233zd (E). *Applied Thermal Engineering*, 115293.
- Tiwari, D., Sherwani, A. F., Atheaya, D., Kumar, A., Kumar, N. (2020). Thermodynamic analysis of Organic Rankine cycle

İç Isı Değişiricili Bir Organik Rankin Çevriminin Enerji ve Ekserji Analizi

- driven by reversed absorber hybrid photovoltaic thermal compound parabolic concentrator system. *Renewable Energy*, 147: 2118-2127.
- Xia, X. X., Wang, Z. Q., Zhou, N. J., Hu, Y. H., Zhang, J. P., Chen, Y. (2020). Working fluid selection of dual-loop organic Rankine cycle using multi-objective optimization and improved grey relational analysis. *Applied Thermal Engineering*, 171: 115028.
- Yang, M. H., Yeh, R. H. (2020). Optimum composition ratios of multicomponent mixtures of organic Rankine cycle for engine waste heat recovery. *International Journal of Energy Research*, 44(2): 1012-1030.
-