

## MAKALE HAKKINDA

### Geliş :

HAZİRAN 2016

### Kabul:

KASIM 2016

## Organik Rankine Çevriminin Ekserji Verimi Analizi

The Exergy Efficiency Analysis of Organic Rankine Cycle

Bayram KILIÇ<sup>a</sup>

## ÖZ

Bu çalışmada, organik rankine çevriminin ekserji verimi analizi yapılmıştır. Sistemde soğutucu akışkan olarak R123 ve SES 36 kullanılmıştır. Analiz için gerekli termodinamik değerler Solkane programıyla hesaplanmıştır. Bu soğutucu akışkanlar için farklı çalışma şartlarında sistemin ekserji verimi oranı incelenmiştir. Sonuç olarak, organik rankine çevriminin en yüksek ekserji verimi oranı, 40 °C kondenser sıcaklığı, 60 °C buhar jeneratörü sıcaklığı ve 0.6916 kg/s akışkan debisi için yaklaşık %35 olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Organik Rankine Çevrimi, Ekserji verimi, Termodinamik değerler, Farklı çalışma şartları.*

## ABSTRACT

In this study, the exergy efficiency analysis of organic Rankine cycle (ORC) was carried out. R123 and SES 36 were used in system as refrigerants. The necessary thermodynamic values for analyses were calculated by Solkane program. The exergy efficiency rate of the system in the different operating conditions were investigated for these refrigerants. As a result, the highest exergy efficiency rate of the organic Rankine cycle (ORC) was obtained for 40 oC the condenser temperature, 60 oC for steam generator temperature and 0.6916 kg/s for mass flow and about %35 for exergy efficiency.

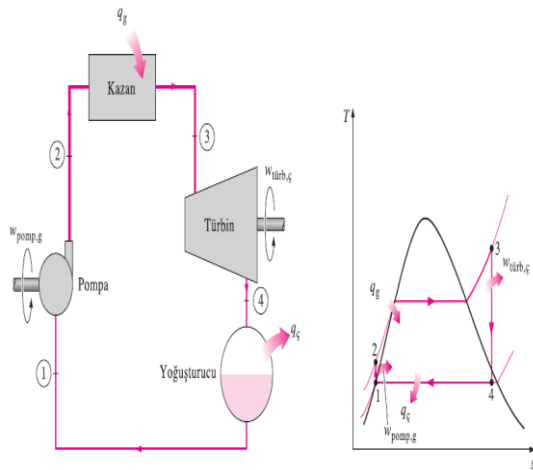
**Keywords:** *Organic Rankine Cycle, Exergy efficiency, Thermodynamic values, Different operating conditions.*

\*Bu çalışma, Prizren Üniversitesi'nde (2016) düzenlenen 5.Uluslararası Meslek Yüksekokulları Sempozyumu'na sunulan bildirinin makale haline getirilmiş halidir.

<sup>a</sup> Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez T.B.M.Y.O., Otomotiv Teknolojisi Bölümü, Burdur, [bayramkilig@mehmetakif.edu.tr](mailto:bayramkilig@mehmetakif.edu.tr)

## GİRİŞ

Rankine çevrimi ısı enerjisini işe çeviren termodinamik bir dögüdür ve bu çevrimde iş yapan akışkan olarak da su kullanılmaktadır. Rankine çevriminde geleneksel akışkan olan su, orta ve büyük güç santrallerinde elektrik enerjisi üretmek için tercih edilmektedir. İş yapan akışkan olarak su güvenli, çevreci ve yüksek ısı transferi özelliklerinden dolayı tercih edilmesine rağmen bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlarından bazıları yüksek derecede korozif olması ve donma sıcaklığının yüksek olmasıdır [1-2]. Son yıllarda Rankine çevriminde su yerine, sudan daha yüksek moleküler kütlesi olan hidrokarbon bileşenli akışkanlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu akışkanların kullanılması ile bu sistemler Organik Rankine Çevrimi adını almış ve çoğunlukla biyokütle, egzoz gazı, güneş enerjisi, jeotermal vb. uygulamalarda oldukça yaygın enerji üretim prosesleri arasına girmiştir [3-5].



**Şekil 1.** Organik Rankine Çevrimi şematik gösterimi ve T-s diyagramı [6]

## MATERYAL VE METOD

Buharlı güç santralini oluşturan makinelerin tümü (pompa, türbin, kazan ve yoğuşturucu) sürekli akış makineleridir, bu nedenle Organik Rankine Çevrimi de dört

sürekli akışlı açık sistemden oluşan bir çevrimdir. Bu yüzden sürekli akışlı açık sistemde enerjinin korunumu denklemi aşağıdaki gibi yazılır;

$$q - w = h_{\zeta} - h_g \quad (1)$$

Kazan ve yoğuşturucu da iş etkileşimi yoktur, ayrıca pompa ve türbindeki hal değişimleri izentropik kabul edilebilir. Bu durumda her bir sistem için enerjinin korunumu denklemi aşağıdaki gibi olur;

Pompa,

$$w_{pompa,g} = h_2 - h_1 \quad (2)$$

Kazan,

$$q_g = h_3 - h_2 \quad (3)$$

Türbin,

$$w_{türbin,\zeta} = h_3 - h_4 \quad (4)$$

Yoğuşturucu,

$$q_{\zeta} = h_4 - h_1 \quad (5)$$

Organik Rankine Çevriminin ısı verimi şöyle ifade edilebilir;

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_{\zeta}}{q_g} \quad (6)$$

$$W_{net} = q_g - q_c = W_{türbin,ç} - W_{pompa,g} \quad (7)$$

olmaktadır.

Ekserji  $e$  ve ekserji giriş oranı  $E$  aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (8)$$

$$\dot{E} = \dot{m}c_p \left\{ T_s - T_0 - T_0 \ln \left( \frac{T_s}{T_0} \right) \right\}_0 \quad (9)$$

burada,  $s$  özgül entropi ve  $0$  indisi ölü durum anlamına gelmektedir.

Sonuç olarak organik Rankine çevriminin ekserji verimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir [7];

$$\eta_{ex} = \frac{W_{net}}{\dot{E}_{in}} \quad (10)$$

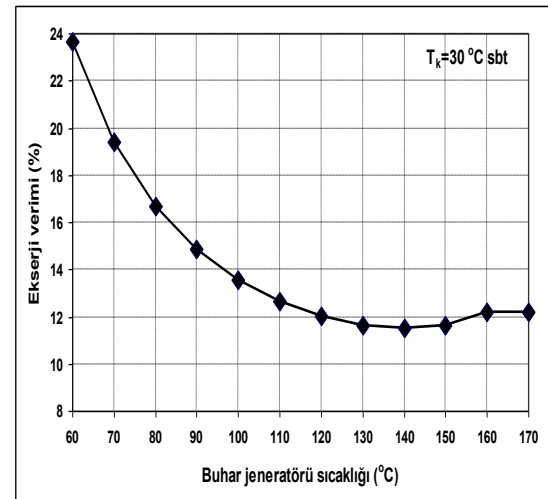
Analiz için gerekli termodinamik değerler Solkane 7.0 bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Solkane 7.0 bilgisayar programı içinde bulundurduğu 23 adet soğutucu akışkana ait tüm termodinamik özellikleri hesaplayan bir programdır. Bunun yanında 5 adet farklı soğutma çevrimi ve 2 adet farklı Rankine çevrimini bünyesinde bulundurur. Bu çevrimlere ait giriş değerlerine bağlı olarak sistemin her bir noktasındaki termodinamik özellikleri hesaplama özelliğine sahiptir. Ayrıca kullanılan sisteme ait P-h ve T-s diyagramlarını da görüntüleyebilmektedir. Solkane 7.0 bilgisayar programı Almanca, İngilizce, Fransızca, İspanyolca, İtalyanca, Rusça, Arapça ve Çince dillerinde işlem yapılabilmesini desteklemektedir.



Şekil 2. Solkane 7.0 bilgisayar programı arayüzü

## BULGULAR

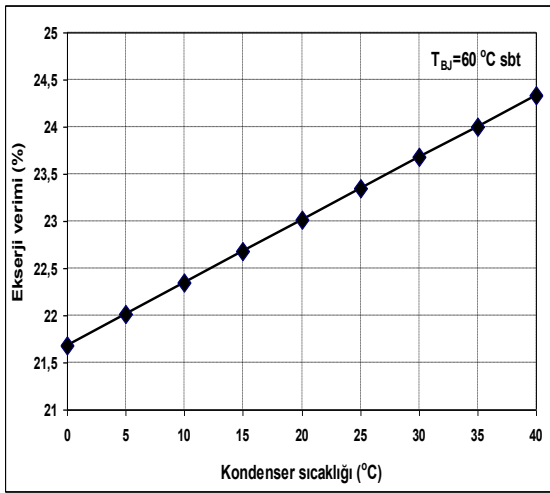
R123 soğutucu akışkanın kullanıldığı organik Rankine çevriminde yoğuşturucu sıcaklığı  $T_y=30$  °C de sabit tutulup buhar jeneratörü sıcaklığı değişimine bağlı olarak bulunan ekserji verimi değerleri Şekil 3'de verilmiştir. ORC'de buhar jeneratörü sıcaklığı arttıkça ekserji verimi değerlerinin azaldığı görülmektedir. Buhar jeneratörünün sıcaklığı  $T_{bj}=60$  °C ve yoğuşturucu sıcaklığı  $T_y=30$  °C olan çalışma şartlarında en yüksek ekserji verimi değeri olan %24 değerine ulaşılmıştır.



Şekil 3. Ekseji veriminin buhar jeneratörü sıcaklığı ile değişimi (R123 için)

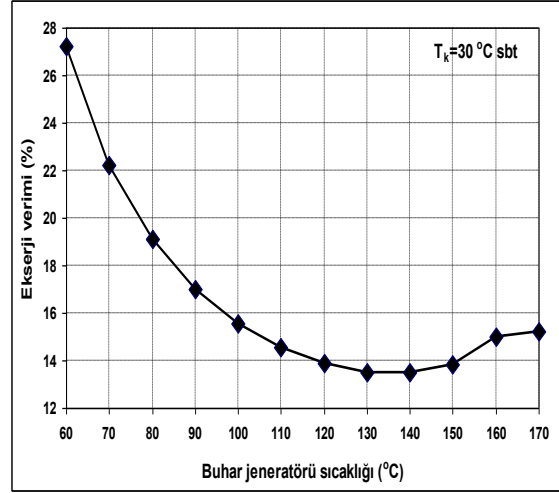
Yine R123 soğutucu akışkanın kullanıldığı organik Rankine çevriminde buhar jeneratörü sıcaklığı  $T_{bj}=60$  °C de sabit

tutulup yoğuşturucu sıcaklığı değişimine bağlı olarak bulunan ekserji verimi değerleri Şekil 4’de verilmiştir. R123 soğutucu akışkanın kullanıldığı ORC de buhar jeneratörü sıcaklığı  $T_{bj}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  de sabit tutulup, yoğuşturucu sıcaklığı artırıldığında ekserji verimi değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Buhar jeneratörü sıcaklığının  $T_{bj}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  de sabit tutulduğu ve yoğuşturucu sıcaklığı  $T_y=40\text{ }^{\circ}\text{C}$  olan çalışma şartlarında en yüksek ekserji verimi değeri yaklaşık %24,5 olarak bulunmuştur.



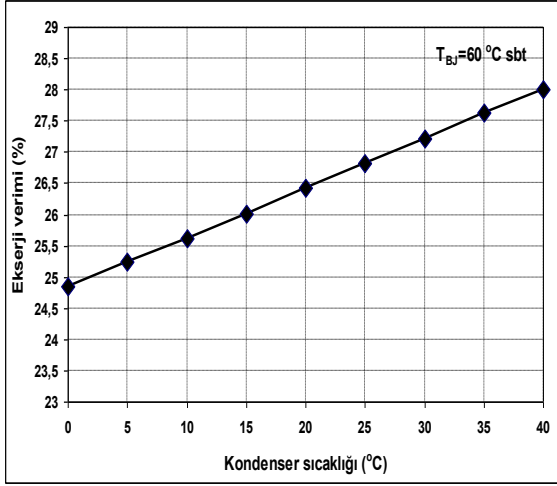
**Şekil 4.** Ekserji veriminin kondenser sıcaklığı ile değişimi (R123 için)

SES 36 soğutucu akışkanın kullanıldığı organic Rankine çevriminde yoğuşturucu sıcaklığı  $T_y=30\text{ }^{\circ}\text{C}$  de sabit tutulup buhar jeneratörü sıcaklığı değişimine bağlı olarak bulunan ekserji verimi değerleri Şekil 5’de verilmiştir. Bu soğutucu akışkan için de ORC’de buhar jeneratörü sıcaklığı arttıkça ekserji verimi değerlerinin azaldığı görülmektedir. Buhar jeneratörünün sıcaklığı  $T_{bj}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve yoğuşturucu sıcaklığı  $T_y=30\text{ }^{\circ}\text{C}$  olan çalışma şartlarında en yüksek ekserji verimi değeri olan %27 değerine ulaşılmıştır.



**Şekil 5.** Ekserji veriminin buhar jeneratörü sıcaklığı ile değişimi (SES 36 için)

Benzer şekilde SES 36 soğutucu akışkanın kullanıldığı organic Rankine çevriminde buhar jeneratörü sıcaklığı  $T_{bj}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  de sabit tutulup yoğuşturucu sıcaklığı değişimine bağlı olarak bulunan ekserji verimi değerleri Şekil 6’da verilmiştir. R123 soğutucu akışkanın kullanıldığı sistemle benzer şekilde, SES 36 soğutucu akışkanın kullanıldığı ORC de buhar jeneratörü sıcaklığı  $T_{bj}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  de sabit tutulup, yoğuşturucu sıcaklığı artırıldığında ekserji verimi değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Buhar jeneratörü sıcaklığının  $T_{bj}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  de sabit tutulduğu ve yoğuşturucu sıcaklığı  $T_y=40\text{ }^{\circ}\text{C}$  olan çalışma şartlarında en yüksek ekserji verimi değeri yaklaşık %28 olarak bulunmuştur.



**Şekil 6.** Ekserji veriminin kondenser sıcaklığı ile değişimi (SES 36 için)

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, organik rankine çevriminin ekserji verimi analizi yapılmıştır. Sistemde soğutucu akışkan olarak R123 ve SES36 kullanılmıştır. Bu soğutucu akışkanları kullanan organik rankine çevriminin değişik çalışma şartlarında ekserji verimi incelenmiş ve sistemin uygun çalışma şartları belirlenmiştir. R123 soğutucu akışkanın kullanıldığı organik Rankine çevriminde buhar jeneratörünün sıcaklığı  $T_{BJ}=60$  °C, yoğuşturucu sıcaklığı  $T_y=40$  °C olan çalışma şartlarında en yüksek ekserji verimi olan %24,5, SES 36 soğutucu akışkanın kullanıldığı ORC’de ise buhar jeneratörü sıcaklığı  $T_{BJ}=60$  °C, yoğuşturucu sıcaklığı  $T_y=40$  °C olan çalışma şartlarında en yüksek ekserji verimi %28 olarak bulunmuştur.

Yapılan çalışmada görülmüştür ki; R123 soğutucu akışkanın kullanıldığı organik Rankine çevriminde ekserji veriminin artırılmasının en uygun yolu buhar jeneratörünün sıcaklığının düşük tutulup kondenser sıcaklığının yükseltilmesidir. SES 36 soğutucu akışkanın kullanıldığı organik Rankine çevriminde ise R123’e benzer şekilde buhar jeneratörünün sıcaklığının düşük tutularak kondenser sıcaklığının yükseltilmesi daha yüksek

ekserji verimi değeri elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

[1] Tchanche B, Lambrinos G, Frangoudakis A, Papadakis G. Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles-A review of various applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;3693:3979-15.

[2] Verschoor MJE, Brouwer EP. Description of the SMR cycle which combines fluid elements of steam and organic Rankine cycles. *Energy* 1995;295:203-20.

[3] Gang P, Jing L, Jie J. Analysis of low temperature solar thermal electric generation using regenerative Organic Rankine Cycle. *Applied Thermal Engineering* 2010;998:1004-30.

[4] Gozdur AB, Nowak W. Maximising the working fluid flow as a way of increasing power output of geothermal power plant. *Applied Thermal Engineering* 2007;2074:2078-27.

[5] Roy JP, Mishra MK, Misra A. Parametric optimization and performance analysis of a waste heat recovery system using Organic Rankine Cycle. *Eneyg* 2010;5049:5062-35.

[6] Çengel AY, Boles AM. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. New York: McGraw-Hill; 1994.

[7] Kyoung HK, Hyung JK, Se WK. Exergy Analysis of Organic Rankine Cycle with Internal Heat Exchanger. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing* 2013;41:45-1.