2nd International Vocational Science Symposium., IVSS 2018
2. Uluslararası Mesleki Bilimler Sempozyumu, IVSS 2018

http://www.meslekisempozyum.com

IVSS 2018

© Mesleki Bilimler Dergisi (MBD) & Ankara Üniversitesi

Received date; reviewed; accepted date

Soğutucu Akışkanların Organik Rankine Çevrimi Etkinliğine Etkileri

Bayram Kılıç[1], Emre Arabacı[1]

[1] Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez T.B.M.Y.O., Otomotiv Teknolojisi Bölümü

Sorumlu Yazar: bayramkilic@mehmetakif.edu.tr (Bayram Kılıç)

Özet: Buhar çevriminin alternatifi olarak kullanılan bu sistem, ısı transfer katsayısı yüksek termal yağ veya direkt atık gaz ile konveksiyon yaparak ısıtılan organik akışkanın türbin sisteminde yüksek verimliliklerde elektrik üretimi sağlar. Sürekli atık ısı salınımı olan tüm tesislerde kullanılabilen bu sistem özellikle düşük ısılarda yüksek verimiyle tercih edilmektedir. Organik rankine çevrim (ORC) sistemleri, geleneksel rankine sistemleri ile benzer prensipte çalışmaktadır. Atık ısıdan kazanılan ısı enerjisi sistemde dolaşan organik akışkana transfer edilmektedir. Sistem atık ısı enerji miktarına bağlı olarak 200 kW'dan 15 MW'a kadar geniş bir aralıkta enerji üretimi sağlayabilir.Bir soğutma çevriminde ısının bir ortamdan alınıp başka bir ortama nakledilmesinde ara madde olarak yararlanılan soğutucu akışkanlar ısı alış-verişini genellikle sıvı halden buhar haline ve buhar halden sıvı hale dönüşerek sağlarlar. Bu durum bilhassa buhar sıkıştırmalı çevrimlerinde geçerlidir. Soğutucu akışkanlar görevlerini ekonomik ve güvenilir bir şekilde yerine getirebilmesi için bazı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olması gerekir. Bu özellikler, uygulama ve çalışma şartlarının durumuna göre değişeceği gibi her zaman bu özelliklerin hepsini yerine getirmek mümkün olmayabilir. Bu çalışmada, farklı soğutucu akışkanların organik rankine çevriminin etkinliğine olan etkileri incelenmiştir. Sistemde soğutucu akışkan olarak R123, R124, R125, R134a, R143a, R227, R365mfc, SES 36, R507 ve R407c kullanılmıştır. Analiz için gerekli termodinamik değerler Solkane programıyla hesaplanmıştır. Bu soğutucu akışkanlar için farklı çalışma şartlarında sistemin etkinlik değerleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, sistem parametrelerinin yanı sıra soğutucu akışkan türünün de etkinlik için önemli bir değişken olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Organik Rankine Çevrimi, Soğutucu Akışkan, Verim.

The Effects of Refrigerants on Efficiency of Organic Rankine Cycle

Abstract: Please write your paper abstract down This system, which is used as an alternative to steam cycle, provides high efficiency electricity generation in turbine system of organic fluid heated by convection of heat transfer coefficient with high thermal oil or direct exhaust gas. This system, which can be used in all plants with continuous waste heat release, is preferred with high efficiency especially at low temperatures. Organic Rankine Cycle (ORC) works on the same principle as conventional rankine cycles. The heat generated from the waste heat is transferred to the organic fluid

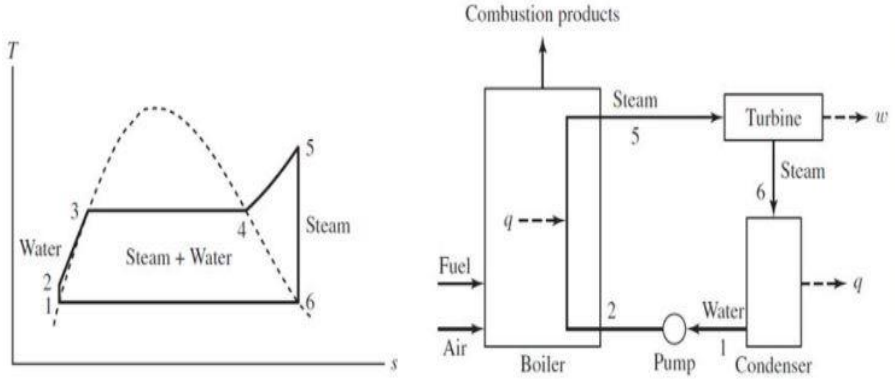
DOI:

circulating in the system. The system can provide a wide range of energy production from 200 kW to 15 MW depending on waste heat energy amount. Refrigerants, which are taken as an intermediate when heat is removed from a medium and transported to another medium in a cooling cycle, generally provide heat exchange by converting from liquid to vapour and from vapour to liquid. This is especially true for steam compression cycles. Refrigerants must have certain chemical and physical properties in order to be able to perform their tasks economically and reliably. These properties may not always be able to fulfill all of these features, as it will depend on the circumstances of the application and working conditions. In this study, the effects of different refrigerants on the efficiency of the organic rankine cycle have been examined. R123, R124, R125, R134a, R143a, R227, R365mfc, SES 36, R507 and R407c were used in system as refrigerant. The necessary thermodynamic values for analyses were calculated by Solkane program. The efficiency values of the system in the different operating conditions were investigated for this refrigerant. As a result of the study, it has been concluded that the system parameters as well as the refrigerant flow are also important variables for efficiency. Obtained values were presented as tabular.

Keywords: *Organic Rankine Cycle, Refrigerant, Efficiency.*

1. Giriş

Rankine çevrimi ısı enerjisini işe çeviren termodinamik bir döngüdür ve bu çevrimde iş yapan akışkan olarak su kullanılmaktadır. Rankine çevriminde geleneksel akışkan olan su, orta ve büyük güç santrallerinde elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadır. İş yapan akışkan olarak su güvenli, çevreci ve yüksek ısı transferi özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmasına rağmen bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlarından öne çıkanlar yüksek derecede korozif olması ve donma sıcaklığının yüksek olmasıdır (Tchanche vd., 2011: Verschoor ve Brouwer, 1995). Son yıllarda Rankine çevriminde su yerine, sudan göre 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 resirkülasyonu, güneş enerjisi, jeotermal vb. uygulamalarda oldukça yaygın enerji üretim prosesleri arasına girmiştir (Gang vd., 2010: Gozdur ve Nowak, 2007: Roy vd., 2010). Çalışmaya konu olan Organik Rankine Çevrimine ait şematik gösterim ve çevrimin sıcaklık-entropi diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Organik Rankine Çevrimi şematik gösterimi ve T-s diyagramı.

2. Malzeme ve Metot

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 (Nishith ve Santanu, 2016: Thoranis vd., 2016);

$$q - w = h_ç - h_g \quad (1)$$

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 (Çengel ve Boles, 1994);

Pompa,

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

Kazan,

$$q_g = h_5 - h_2 \quad (3)$$

Türbin (Hui-tao vd., 2012),

$$w_{türbin,ç} = h_5 - h_6 \quad (4)$$

Yoğuşturucu,

$$q_ç = h_6 - h_1 \quad (5)$$

Organik Rankine Çevriminin ısıl verimi şöyle ifade edilebilir (Kyoung vd., 2013: Yuandan vd., 2016);

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

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

olmaktadır.

Çalışmada kullanılan termodinamik değerler Solkane bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Solkane bilgisayar programı bünyesindeki 23 adet soğutucu akışkana ait tüm termodinamik özellikleri hesaplayan bir programdır. Bununla beraber 5 farklı soğutma çevrimi ve 2 farklı Organik Rankine çevrimini bünyesinde bulundurur. Bu çevrimler için giriş değerlerine bağlı olarak sistemin her bir noktasındaki termodinamiksel özellikleri hesaplama özelliğine sahiptir. Ayrıca analizi yapılan çevrime ait P-h ve T-s diyagramlarını da görüntüleyebilmektedir. Solkane bilgisayar programı Almanca, İngilizce, Fransızca, İspanyolca, İtalyanca, Rusça, Arapça ve Çince dillerinde işlem yapılabilmesini desteklemektedir.



Şekil 2. Solkane bilgisayar programı arayüzü.

3. Sonuç ve Değerlendirme

On farklı soğutucu akışkanın (R123, R124, R125, R134a, R143a, R227, R365mfc, SES 36, R507 ve R407c) kullanıldığı 100 kW kapasitesiye sahip Organik Rankine Çevriminde buhar jeneratörü (kazan) sıcaklığı 60 °C'de, kondenser sıcaklığı 20 °C'de sabit tutularak çevrimin etkinlik değerleri hesaplanmış ve Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çalışma şartları için en yüksek etkinlik değerlerine R123, R365mfc ve

SES 36 soğutucu akışkanların kullanıldığı çevrimde ulaşılmıştır. Belirlenen şartlar altında en yüksek etkinlik değerinin 0.11 olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Organik rankine çevriminin etkinlik oranı.

Buhar Jeneratörü sıcaklığı (°C)	Kondenser sıcaklığı (°C)	Isıtma Kapasitesi (kW)	Soğutucu Akışkan	Etkinlik
60	20	100	R123	0.11
			R124	0.10
			R125	0.09
			R134a	0.10
			R143a	0.10
			R227	0.10
			R365mfc	0.11
			SES 36	0.11
			R507	0.10
			R407c	0.10

Yapılan diğer analizde ise yine 10 farklı soğutucu akışkanın (R123, R124, R125, R134a, R143a, R227, R365mfc, SES 36, R507 ve R407c) kullanıldığı 100 kW kapasitesiye sahip Organik Rankine Çevriminde buhar jeneratörü (kazan) sıcaklığı 60 °C'de sabit tutulmuş ama bu kez kondenser sıcaklığı 30 °C'ye çıkartılıp sabit tutulmuş ve çevrimin etkinlik değerleri hesaplanmıştır ve Çizelge 2'de verilmiştir. Bu çalışma şartları için en yüksek etkinlik değerine SES 36 soğutucu akışkanların kullanıldığı çevrimde ulaşılmıştır. Belirlenen şartlar altında en yüksek etkinlik değerinin 0.09 olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Organik rankine çevriminin etkinlik oranı.

Buhar Jeneratörü sıcaklığı (°C)	Kondenser sıcaklığı (°C)	Isıtma Kapasitesi (kW)	Soğutucu Akışkan	Etkinlik
60	30	100	R123	0.08
			R124	0.08
			R125	0.07
			R134a	0.08
			R143a	0.08
			R227	0.08
			R365mfc	0.08
			SES 36	0.09
			R507	0.07
			R407c	0.08

Bir diğer analizde ise yine 10 farklı soğutucu akışkanın (R123, R124, R125, R134a, R143a, R227, R365mfc, SES 36, R507 ve R407c) kullanıldığı 100 kW kapasitesiye sahip Organik Rankine Çevriminde buhar jeneratörü (kazan) sıcaklığı 60 ^{o}C'de sabit tutulmuş ama bu kez kondenser sıcaklığı 10 ^{o}C'ye düşürülerek sabit tutulmuş ve çevrimin etkinlik değerleri hesaplanmıştır ve Çizelge 3'de verilmiştir. Bu çalışma şartları için en yüksek etkinlik değerine R123, R124, R134a, R365mfc, SES 36 ve R407c soğutucu akışkanların kullanıldığı çevrimlerde ulaşılmıştır. Belirlenen şartlar altında en yüksek etkinlik değerinin 0.13 olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Organik rankine çevriminin etkinlik oranı.

Buhar Jeneratörü sıcaklığı (^{o}C)	Kondenser sıcaklığı (^{o}C)	Isıtma Kapasitesi (kW)	Soğutucu Akışkan	Etkinlik
60	10	100	R123	0.13
			R124	0.13
			R125	0.11
			R134a	0.13
			R143a	0.12
			R227	0.12
			R365mfc	0.13
			SES 36	0.13
			R507	0.12
			R407c	0.13

Yapılan son analizde ise, 10 farklı soğutucu akışkanın (R123, R124, R125, R134a, R143a, R227, R365mfc, SES 36, R507 ve R407c) kullanıldığı 100 kW kapasitesiye sahip Organik Rankine Çevriminde buhar jeneratörü (kazan) sıcaklığı 70 ^{o}C'ye çıkartılarak sabit tutulmuş ve kondenser sıcaklığı 10 ^{o}C'de sabit tutularak çevrimin etkinlik değerleri hesaplanmıştır ve Çizelge 4'de verilmiştir. Bu çalışma şartları için en yüksek etkinlik değerine R123, R365mfc ve SES 36 soğutucu akışkanların kullanıldığı çevrimlerde ulaşıldığı gözlenmiştir. Belirlenen şartlar altında en yüksek etkinlik değerinin 0.15 olduğu görülmektedir. (---) ile belirtilen etkinlik değerlerinde herhangi bir sonuca ulaşılamamıştır. Bunun nedeni belirlenen buhar jeneratörü sıcaklığının R125, R143a ve R507 akışkanlarına ait kritik sıcaklık değerlerinden yüksek olmasıdır.

Çizelge. Organik Rankine Çevriminin etkinlik oranı.

Buhar Jeneratörü sıcaklığı (^{o}C)	Kondenser sıcaklığı (^{o}C)	Isıtma Kapasitesi (kW)	Soğutucu Akışkan	Etkinlik
70	10	100	R123	0.15
			R124	0.14

			R125	---
			R134a	0.14
			R143a	---
			R227	0.13
			R365mfc	0.15
			SES 36	0.15
			R507	---
			R407c	0.14

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı soğutucu akışkanların Organik Rankine Çevriminin etkinliğine olan etkileri incelenmiştir. Sistemde soğutucu akışkan olarak R123, R124, R125, R134a, R143a, R227, R365mfc, SES 36, R507 ve R407c kullanılmıştır. Bu soğutucu akışkanlar için farklı çalışma şartlarında sistemin etkinlik değerleri incelenmiştir. Yapılan analizler göstermiştir ki Organik Rankine Çevriminde etkinliği artırmanın bir yolu kondenser sıcaklığı ile buhar jeneratörü sıcaklığının optimize edilmesidir. Bunun yanında soğutucu akışkan türünün de etkinlik için oldukça önemli bir değişken olduğu sonucuna varılmaktadır.

5. Kaynakça (tüm kaynakça aşağıdaki örneklere göre düzenlenmelidir.)

Çengel, AY., Boles, AM., (1994), Thermodynamics: An Engineering Approach. New York: McGraw-Hill.

Gang, P., Jing, L., Jie, J., (2010), Analysis of low temperature solar thermal electric generation using regenerative Organic Rankine Cycle, Applied Thermal Engineering, 30:1004-30.

Gozdur, AB., Nowak, W., (2007), Maximising the working fluid flow as a way of increasing power output of geothermal power plant, Applied Thermal Engineering, 27:2074:2078.

Hui-tao, W., Hua, W., Zhu-ming, Z., (2012), Optimization of Low-Temperature Exhaust Gas Waste Heat Fueled Organic Rankine Cycle, Inter. Journal of Iron and Steel Research, 19:30:36.

Kyoung, HK., Hyung, JK., Se, WK., (2013), Exergy Analysis of Organic Rankine Cycle with Internal Heat Exchanger, International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing, 1:41:45.

Nishith, B., Santanu, B., (2016), Thermo-economic analysis and selection of working fluid for solar organic Rankine cycle, Applied Thermal Engineering, 95:471:481.

Roy, JP., Mishra, MK., Misra, A., (2010), Parametric optimization and performance analysis of a waste heat recovery system using Organic Rankine Cycle, Enegy, 35:5049:5062.

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

Thoranis, D., Attakorn, A., Tanongkiat, K., (2016), Performance analysis of low temperature organic Rankine cycle with zeotropic refrigerant by Figure of Merit (FOM), Energy, 96:96:102.

Verschoor, MJE., Brouwer, EP., (1995), Description of the SMR cycle which combines fluid elements of steam and organic Rankine cycles, Energy, 20:203:205.

Yuandan, W., Yadong, Z., Lijun, Y., (2016), Thermal and economic performance analysis of zeotropic mixtures for Organic Rankine Cycles, Applied Thermal Engineering, 96:57:63.