

ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİ TEKNOLOJİSİ VE GEMİLERDE UYGULANMA POTANSİYELİ

Ümit GÜNEŞ*

ÖZET

Enerji ekonomisinin ve temiz enerji üretiminin giderek daha fazla önem kazandığı günümüzde atık ısı geri kazanımı giderek daha fazla önem arz etmektedir. Atık enerjinin geri kazanım yöntemlerinden biri olan Organik Rankine Çevriminin (ORÇ) kullanım popülarlığı giderek artmaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi, düşük kalitedeki ısı enerjisi kaynaklarını değerlendirme olanağı tanınmasıdır. Bu çalışmada ORÇ'nin genel çalışma prensipleri irdelenip kullanılan akışkanlar hakkında kısa bir değerlendirme yapılacaktır. Ayrıca seçilen akışkana göre gemilerde uygulanma potansiyeli değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Organik Rankine Çevirimi (ORÇ), enerji ekonomisi, atık ısı geri kazanımı, soğutucu akışkanlar

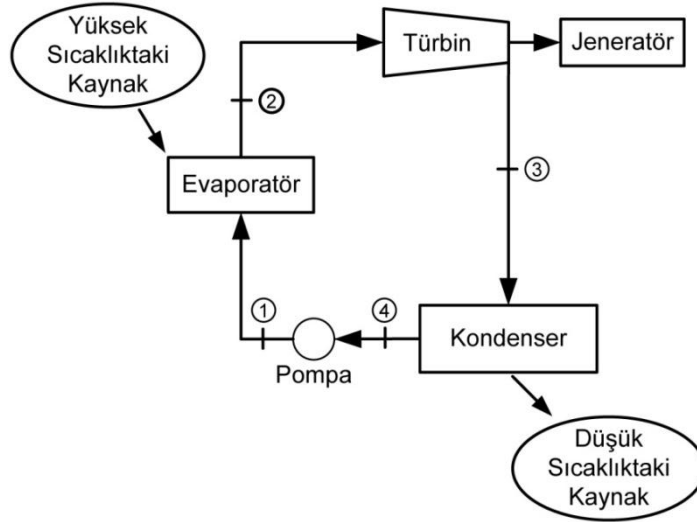
1. Giriş

Organik Rankine Çevrimi günümüzde giderek yağın olarak kullanılan bir sistemdir. Bu sistem buhar türbinin boyut olarak daha küçük hali olarak düşünülebilir. Sistemde su buharı yerine kaynaka noktası düşük olana akışkanlar kullanılmaktadır. Böylece düşük sıcaklıktaki atık ısı ORÇ yardımı ile geri kazanımı yüksektir. ORÇ ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan P. J. Mago vd.'nin yaptığı çalışmada, kaynama noktası -43 ve 48°C arasında değişen R134a, R113, R245ca, R245fa, R123, izobütan ve propan akışkanlarının ORÇ performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmaya göre 430K'den büyük olan sıcaklıklarda R113, 430 ile 380 K arasındaki sıcaklıklarda R245fa ve 380K'de düşük sıcaklıklarda ise izobütan, ORÇ'de en iyi performansı göstermektedir[1]. A. Schuster vd.'nin yaptığı çalışmada ise 70-150°C arasındaki çalışma koşullarında R245fa ve izobütanın, %10-15 verim ile en iyi performansı gösterdiğini bulmuştur[2]. Z. Q. Wang vd.'nin yapmış olduğu çalışmada ise, 100-180°C arasında değişen kaynak sıcaklığında çalışan ORÇ'de kullanılacak en iyi akışkanın R123 olduğu, sıcaklığın 180°C'den büyük olduğu durumlarda bu akışkanın R141b olduğunu, sıcak kaynak sıcaklığının 100°C'den düşük olduğu durumlarda ise ORÇ sistemlerinin ekonomik olmadığı gösterilmiştir[3]. U.Drescher vd.'nin yaptığı çalışmada ise OMTS

* Arş. Gör., Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, e-posta: ugunes@yildiz.edu.tr

(Oktametiltrisiloksan)'nin 260 K'de %22,5 verime sahip olduğu, Toluen'in 536 K'de 23,2 verime sahip olduğu, etilbenzenin 570 K'de 24,3 verime sahip olduğu, propilbenzenin 573K'de 24,9 verime sahip olduğu, bütılbenzen'in ise 570K'de 25,3 verime sahip olduğugösterilmiştir [4]. H. Tian vd., yaptığı çalışmada içten yanmalı motorların egzoz gazını ORÇ de kullanmak amacıyla kaynama sıcaklığı -51.60 - 32.05°C arasında değişen 20 farklı ORÇ akışkanı üzerinde çalışma yapmıştır. Çalışmalarının sonucunda ise R141b, R123 ve R245fa akışkanları kullanıldığında ORÇ'nin veriminin 16.60% ile13.30% arasında değiştiği göstermiştir[5]. J. P. Roy vd.'nin çalışmasında 160 - 240°C derece arasında R-12, R-123 ve R-134a akışkanlarını üzerinde 4MPa'ya kadar türbin basıncını değiştirerek çalışmıştır. Çalışmasında 140°C sıcaklıkta duman gazı bulunan sistemde optimum türbin basıncının 2,7 MPa olduğunu göstermiştir. [6]. J. P. Roy vd.)'nin çalışmasında ise tüm basınçlarda en verimli olan akışkanın R-123 olduğunu ve 3,5 MPa'da R-123'ün %30'lara kadar verimli olduğunu göstermiştir[7].

2. Termodinamik Model



Şekil 1. – Organik Rankine Çevrimin Basit Çalışma Prensibi

ORÇ'nin temel prensibi düşük sıcaklıklardaki ısıdan yararlanarak elektrik üreten bir sisteme sahip olmasıdır. Organik Rankine çevrimi buhar türbini çevrimi ile hemen hemen aynı özelliklere sahiptir. Sistemde (Şekil 1), evaporatör (buharlaştırıcı) içerisindeki organik çalışma sıvısının buharlaştırmak için sıcak kaynaktaki ısıyı kullanır (1-2 prosesi). Bu sıcak kaynak bazen atık ısılar olabileceği gibi Sarayköy Jeotermal santralinde da kullanıldığı gibi bir jeotermal kaynak olabilir [8]. Seçilen akışkanlar genellikle soğutucu sıvılar ya da hidrokarbonlar olabilir. Bunun nedeni ise düşük sıcaklıkta buharlaşmalarıdır. Basınçlı bu akışkanlar türbine gönderilir ve türbinde genişleme sırasında elektrik üretilir (2-3 prosesi).

Türbine enerjisini veren bu sıvı kondenser (yoğuşturucu) içinde tekrar sıvı hale yoğuşturulur (3-4 prosesi). Yoğuşturulan ORÇ akışkanın pompaya gönderilerek basıncı yükseltilir (4-1 prosesi). Böylelikle kapalı çevrim tamamlanmış olur ve sistem bu şekilde çalışmaya devam eder. Bu sistemin en önemli avantajı gerek jeotermal kaynaklardaki sıcak suyun kullanılması olsun gerekse de egzoz kazının kullanılmasıyla yakıt maliyeti sıfır olduğu için çok ekonomiktir. Yanma gerçekleşmediği için çevreye emisyon salınımı sıfırdır. Sıvı haldeki atık ısı kaynakları genellikle ORÇ sistemiyle doğrudan birleştirilir. Gaz haldeki ısı kaynakları ise dolaylı yoldan birleştirilir.[8]

2.1. Pompa prosesi (4-1)

Pompada yapılan net iş, pompada yapılan işin pompa verimine bölünmesiyle elde edilir.

$$\dot{W}_p = \frac{\dot{W}_{p,ideal}}{\eta_p} = \frac{\dot{m}(h_{1s} - h_2)}{\eta_p} \quad (1)$$

2.2. Evaporatör prosesi (1-2)

Evaporatöre gelen akışkan türbin giriş şartlarına kadar ısıtılır. Bu şartlarda akışkan doymuş ya da aşırı doymuş olabilir. Evaporatör sıvıya aktarılan ısı:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (2)$$

ifadesiyle elde edilir.

2.3. Türbin prosesi (2-3)

Türbinde yapılan iş ise türbinde ideal olarak yapılması gereken iş ile türbin veriminin çarpımı ile elde edilir:

$$\dot{W}_t = \dot{W}_{t,ideal}\eta_t = \dot{m}(h_2 - h_{3s})\eta_t \quad (3)$$

(3) numaralı denklemden h_4 çekilirse:

$$h_3 = h_2 - \frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} \quad (4)$$

olarak bulunur.

2.4. Kondenser prosesi (3-4)

Enerjisini kaybetmiş akışkanın tekrar çevrime girebilmesi için kondenserde yoğuşmaya tabi tutulur. Kondenserden atılan ısı:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}(h_3 - h_4) \quad (5)$$

ifadesiyle gösterilir.

Tüm bu işlemlerden sonra çevrimin toplam verimi:

$$\eta_c = \frac{\dot{W}_p + \dot{W}_t}{\dot{Q}_e} \quad (6)$$

3. ORÇ'nin Avantajları ve Dezavantajları

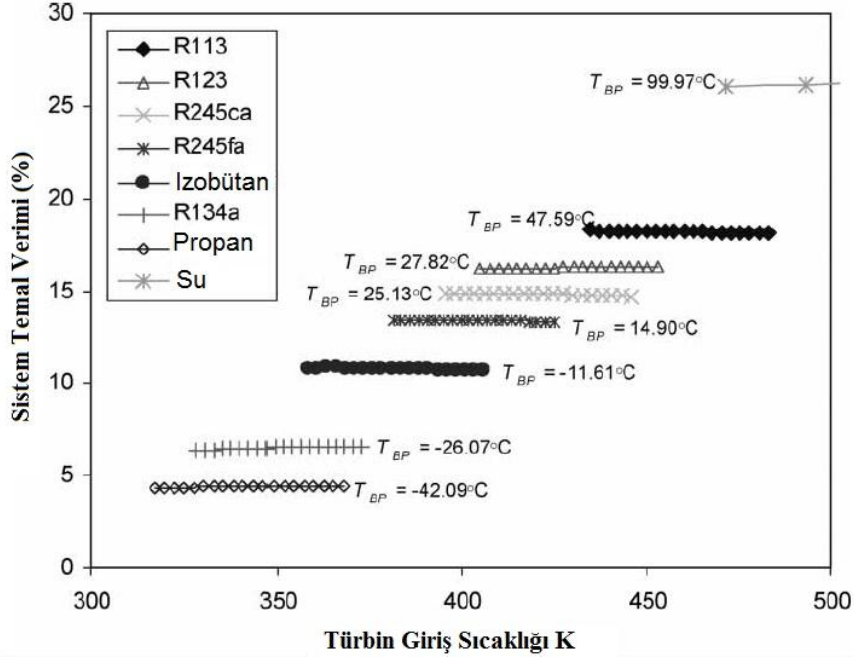
Türbin kanatlarının zarar görmesi sonucunda oluşacak bakım giderleri düşüldüğünde bakım giderleri buhar türbinlerine nispetle çok daha azdır. Bundan dolayı buhar türbinlerinde olduğu gibi türbin kanatlarının sık sık değişme durumu söz konusu değildir. Ve türbin kanatları ortalama 20 yıl boyunca sorunsuz olarak çalışabilir. Bunun yanı sıra ORÇ sistemlerinde bir operatöre ihtiyaç duyulmaz. Bunu yerine uzaktan kontrol ile sistemin çalışması kontrol edilebilir. Bu da işletim giderlerinin düşmesine neden olan bir faktördür. ORÇ sistemi buhar türbinlerinde olduğu gibi çevreye zarar vermediği için eke bir sisteme ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu da maliyetleri oldukça düşürmektedir. Ayrıca sistemi devreye alma ve durdurması kolay olması ORÇ'nin diğer avantajıdır.

ORÇ sistemi daha düşük sıcaklık ve basınçta çalışmasından dolayı malzemede meydana gelecek gerilimler buhar türbinine nazaran daha düşüktür. Sıcaklık ve basınç arttıkça kanatlarda mekanik ve termik gerilimler artmaktadır. Bu da malzemenin ömrünü azaltan bir faktördür. Ayrıca bu sistemlerdeki türbin, buhar türbinine nazaran daha yavaş döner bu da mekanik olarak meydana gelecek çeşitli sorunları azaltır. Aynı zamanda düşük hızla döndüğü için devir düşürücü ek donanımlara ihtiyaç duyulmaz. Bu sistemlerde türbin verimliliği %85 kadar çıkabilir. [9]

ORÇ'nin avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi ORÇ sistemleri buhar türbinlerine nazaran daha az güç üretilir. ORÇ'de çok büyük güç elde etmek mümkün değildir. Bunun yanı sıra ORÇ'de kullanılan akışkanlar pahalı olduğu için ilk yatırım maliyeti aynı büyüklükteki buhar türbinlerine göre daha fazladır.

4. ORÇ'de Kullanılan Akışkanlar ve Gemilerde Kullanım Önerileri

ORÇ'de kondenser sıcaklığı düştükçe toplam verim de artmaktadır. Kuru organik Rankine akışkanları (R113, R123, R245ca, R245fa, ve izobütan) ıslak akışkanlara (R134a ve propan) nazaran iyi performans sağlar. Bunun nedeni ise kuru akışkanlar türbinden çıktıktan sonra ıslak akışkanların aksine yeterince yoğuşmamasıdır[1]. Ayrıca sistemdeki termik verimin artışı kullanılan akışkanın kaynama noktası ile doğru orantılıdır. Kaynama noktası yüksek olan akışkanların sistemdeki termik verimi kaynama noktası düşük olan akışkanlara göre daha yüksektir. Bundan dolayı da yüksek kaynama noktasına sahip akışkanların ORÇ'deki verimi daha yüksektir[3]. ORÇ prosesinin çalışma aralığına göre akışkan seçimi çok önemlidir. Doğru akışkanın seçimi direkt olarak tesisin verim yönünden performansının iyileştirilmesi anlamına gelmektedir. Gemi egzoz gazının sıcaklığının 150-200°C arasında olduğu düşünüldüğünde Şekil 2'de görüleceği gibi, R113 ve R123 akışkanları sistem için kullanılabilir niteliktedir.



Şekil 2. Organik Rankine Çevriminde kullanılan akışkanlar¹

5. Sonuç

Gemilerde uygulanabilecek yaygın enerji ekonomisi yöntemlerinin yanı sıra bu çalışmada gemilerde ORÇ sistemlerinin uygun akışkan seçimi olursa uygulanabileceği önerilmiştir. Gemi egzoz gazından çıkan atık ısının sıcaklığı 150-200°C arasında olduğu düşünüldüğünde ORÇ ile geri kazanımında R123 ve R113 akışkanları kullanılması durumunda %15 ila %20 arasında bir verim ile ısı geri kazanımı gemi makinelerinde elde edilebilecektir.

Kısaltmalar

ORÇ	Organik Rankine Çevrimi
Q	Isı Akış Oranı, kW
m	Debi, kg s ⁻¹
h	Enthalpi, kJ kg ⁻¹
T	Sıcaklık, °C
c _p	Sabit Basınç Özgül Isısı kJ kg ⁻¹ K ⁻¹
ρ	Yoğunluk, kg m ⁻³
v	Hız, m s ⁻¹
ΔT	Sıcaklık Farkı, °C
P	Güç, kW

k	Isı İletim Katsayısı, $W m^{-1} K^{-1}$
x	Kuruluk Oranı
W	Güç, kW
η	Verim, %
P	Basınç, MPa

Alt Simge

bp	Kaynama Noktası
f	Çalışma akışkanı
g	Egzoz Gazı
t	Türbin
p	Pompa
c	Kondenser
e	Evaporatör
m	Maksimum
w	Su
i	İç
o	Dış

Kaynakça

- [1] P. J.Mago, L. M. Chamra and C.Somayaji, Performance Analysis of Different Working Fluids for Use in Organic Rankine Cycles, Doi: 10.1243/09576509jpe372
- [2] A. Schuster, S. Karellas and R. Aumann, Efficiency Optimization Potential in Supercritical Organic Rankine Cycles, Energy 35 (2010) 1033–1039
- [3] Z.Q. Wang, N.J. Zhou, J. Guo, X.Y. Wang, Fluid Selection and Parametric Optimization of Organic Rankine Cycle Using Low Temperature Waste Heat, Energy 40 (2012) 107e115
- [4]U. Drescher and D. Brüggemann, Fluid Selection for The Organic Rankine Cycle (ORC) In Biomass Power and Heat Plants, Applied Thermal Engineering 27 (2007) 223–228
- [5] H.Tian, G. Shu, H. Wei, X. Liang and L. Liu, Fluids and Parameters Optimization for the Organic Rankine Cycles (ORCS) Used in Exhaust Heat Recovery of Internal Combustion Engine (ICE), Energy 47 (2012) 125e136
- [6] J.P. Roy and A. Misra, Parametric Optimization and Performance Analysis of a Regenerative Organic Rankine Cycle Using R-123 for Waste Heat Recovery, Energy 39 (2012) 227e235

[7] J.P. Roy, M.K. Mishra, A. Misra, Parametric Optimization and Performance Analysis of a Waste Heat Recovery System Using Organic Rankine Cycle, Energy 35 (2010) 5049e5062

[8] Organik Rankin Çevrim Teknolojisiyle Düşük Sıcaklıktaki Kaynaktan Faydalanılarak Elektrik Üretimi. Örnek Çalışma: Sarayköy Jeotermal Santrali - X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 13/16 Nisan 2011/İzmir

[9] Hasan Özden, Genel Müdür Jeoden Elektrik Üretim A.Ş. David Paul, Pratt&Whitney Power Systems, Organik Rankine Çevrim Teknolojisi İle Düşük Sıcaklıktaki Kaynaktan Faydalanarak Elektrik Üretimi. Örnek Çalışma Sarayköy Jeotermal Santrali

[10] Y. A. Cengel& Boles, M. A.: 'Thermodynamics: An Engineering Approach', 5th Ed., Usa, Mcgraw-Hill.

[11] Y. A. Cengel, Heat Transfer: A Practical Approach, Mcgraw-Hill, Isbn: 0072826207 Edition 2002