



Araştırma Makalesi

Kruvaziyer ve Ro-Ro Gemilerinde Organik Rankine Çevrimi Sistemi Kullanımının Liman Sahaları Üzerindeki Çevresel Etkileri

Olgun KONUR^{1*}, Onur YÜKSEL², Süleyman Aykut KORKMAZ³

Yayın Geliş Tarihi

12 Ocak 2022

Yayına Kabul Tarihi

24 Ocak 2022

Elektronik Yayın Tarihi

30 Haziran 2022

Öz

Bu çalışmanın amacı, çevreci bir teknoloji olan ORC sistemlerinin örnek olarak ele alınan bir kruvaziyer ve Ro-Ro gemisinde kullanımının liman sahaları üzerindeki potansiyel çevresel etkilerini ortaya koymaktır. Bu kapsamda 2017 yılı içerisinde Çeşme Limanı'na giriş-çıkış yapan bir yolcu gemisi ile bir Ro-Ro gemisinin ayrılma ve yanaşma sırasındaki manevra süreleri ile limanda kaldıkları süreler ele alınarak, gemilerin liman içerisindeki bir yıllık toplam yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Literatürde yer alan, termal verim değeri valide edilmiş bir gemi ORC sistemi ele alınarak, atık ısı geri kazanımı ile kazanılabilecek potansiyel yakıt tasarrufu ve egzoz salımlarındaki azalma miktarları hesaplanmıştır. Buna göre, manevra sürecine kıyasla, CO₂ salımının kruvaziyer gemisi için %73,56'sı, Ro-Ro gemisi için %84,60'ı liman sürecinde gerçekleşmiştir. ORC sistemlerinin kurulumu ile liman sahası içerisindeki operasyonlardan kaynaklı yakıt tüketiminden iki gemi için toplamda bir yılda 107,77 MT ve buna bağlı olarak tüm salımlardan yıllık olarak %12,33 oranında tasarruf elde edilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler

Emission

Organik Rankine çevrimi

Gemi makineleri işletme

mühendisliği

Çevresel etki

Liman

Research Article

Environmental Impacts of Organic Rankine Cycle System Utilization on Cruise and Ro-Ro Ships in Port Areas

Article Submitted

12 January 2022

Article Accepted

24 January 2022

Available Online

30 June 2022

Abstract

The aim of this study is to reveal the potential environmental effects of the utilization of ORC systems on a reference cruise and Ro-Ro ships on port areas. In this context, the one-year total fuel consumption of the ships in the port was calculated by considering the time spent on manoeuvres during departure and berthing and the time they stayed in the port while entering and leaving Çeşme Port in 2017. A marine ORC system with a validated thermal efficiency value in the literature is taken into consideration for calculating the potential fuel savings and reduction in exhaust gas emissions that can be gained by waste heat recovery. Accordingly, 73.56% of the CO₂ emissions for the cruise ship and 84.60% for the Ro-Ro ship occurred during the port stays when compared to the maneuvering periods. It is concluded that a total of 107.77 MT of fuel consumption and accordingly 12.33% of all emissions caused by the operations of the two ships in the port area can be saved annually with the installation of ORC systems onboard.

Keywords

Emission

Fuel consumption

Marina

Marine engineering

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, İzmir, Türkiye.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author : Olgun KONUR olgun.konur@deu.edu.tr.

² Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Zonguldak, Türkiye.

³ Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, İzmir, Türkiye.

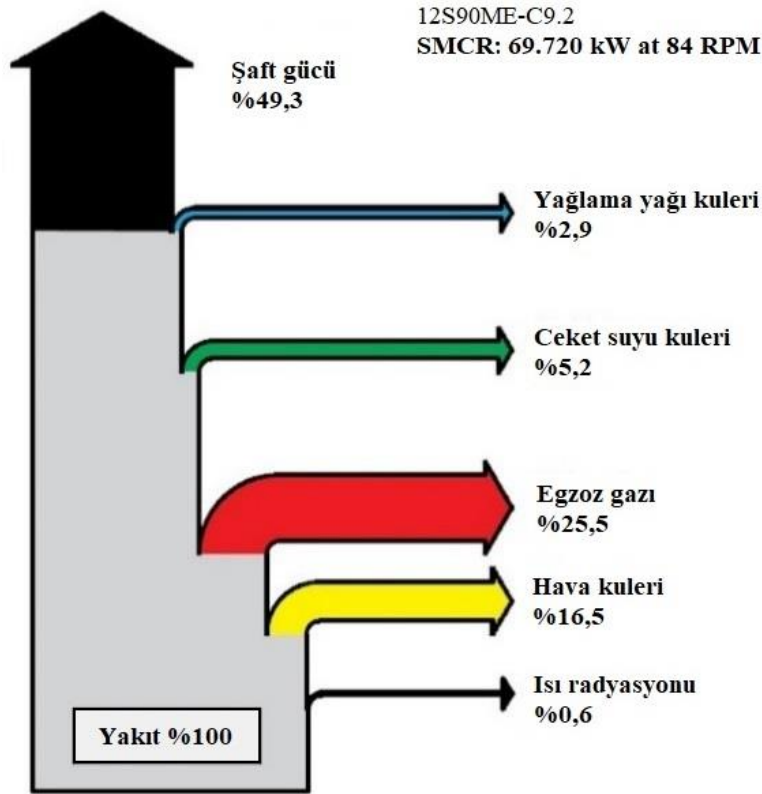
1. Giriş

Gemilerden kaynaklanan egzoz salımlarının azaltılması konusunda ilgili otoritelerin aldıkları önlemler ve aynı zamanda daha yeşil gemilerin geliştirilmesine yönelik küresel eğilim, gemilerin enerji verimliliğini iyileştirici araştırmaları motive etmektedir. Bir gemide enerji verimliliği artışı, sevk sistemi verimliliğinin artırılması, gemiye etki eden aerodinamik ve hidrodinamik dirençlerin azaltılması ve motor verimliliğinin iyileştirilmesi gibi farklı enerji verimliliği yaklaşımları ile sağlanabilir (Wang ve Lutsey, 2013).

Literatürde atık ısı kavramı, sıcaklığına ve olası kullanım alanlarına bakılmaksızın çevreye yayılan ısı olarak tanımlanmaktadır (Goldstick ve Thumann, 1986; International Energy Agency, 2021). Gemiler operasyonları gereği yüksek miktarda enerji kaybetmektedir. Bu ısı yayılımı içerisinde ana enerji kayıpları, geminin motorundan kaynaklanmaktadır (Suárez ve Greig, 2013). Bu nedenle, motor verimliliğinin iyileştirilmesi, bir geminin yakıt tüketiminde ciddi miktarlarda azalmaya yol açabilmektedir. Bunun yanında gemilerden atılan ısının geri kazanımı, gemilerin toplam enerji verimliliğini arttıran etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Gemilerde atık ısı geri kazanımı konusunda ORC (Organik Rankine Çevrimi) sistemleri, son yıllarda literatürde kendine sıklıkla yer bulmaktadır. ORC sistemleri, mekanik enerji veya elektrik enerjisi üretmek için kullanılan bir makinenin atık ısısını kullanabilmekte; bu da ilave yakıt maliyetleri ve egzoz salımı olmaksızın tahrik ve yardımcı hizmetlere yönelik talebi besleyebilmektedir (Singh ve Pedersen, 2016).

Deniz motorlarının elde edebildikleri %50 ve üzerine çıkabilen yüksek verimlilik değerlerine rağmen, esas olarak egzoz gazı salımı sırasında, skavenç havasının soğutulmasında, ayrıca yağ ve ceket suyu kulerlerinde önemli miktarda ısı kaybı meydana gelmektedir (MAN Diesel & Turbo, 2014). Bu atık ısılardan yüzdesel dağılımı Şekil 1'de görülebilmektedir.

Şekil 1. Bir motora verilen yakıtın yüzdesel enerji dağılımının Sankey diyagramında gösterimi.



Kaynak: MAN Diesel & Turbo (2014).

Gemiler ihtiyaç duydukları güç ihtiyacına göre oldukça büyük atık ısı potansiyelleri ihtiva etmektedir. Bu nedenle tüm bu atık ısıları geri kazanmak için gerekli ORC sistemleri, megavat ölçeğinde güç üretim kapasitelerine ulaşabilecek büyüklükte olabilmektedir. Bu yüksek atık ısı geri kazanım potansiyeline rağmen, denizcilik uyumluluğuna sahip endüstriyel ölçekli ORC sistemleri geliştirilmesinin pahalılığı, ORC sistemlerinin denizcilik uygulamalarını oldukça sınırlamıştır. Deniz taşıtları için ORC teknolojisinin henüz olgunluğa ulaşmamasından dolayı, son yıllarda gemilerde ORC sistemleri uygulamalarında ağırlıklı olarak ceket suyu ve egzoz gazı atık ısısının kullanıldığı kurulumlar gerçekleştirilmeye başlanmıştır.

Rapor edilen ilk gemi ORC sistemi kurulumu, 2012 yılında Opcon Marine tarafından bir Ro-Ro gemisinde (M/V Figaro) gerçekleştirilmiştir (Öhman ve Lundqvist, 2013). Bu gemide, kazandan elde edilen fazla buharla tahrik edilen bir buhar türbini ile R236fa akışkanını kullanan ve ceket suyu atık ısısından yararlanan 500 kW ORC sistemi atık ısı geri kazanımı sağlanmıştır (Opcon Marine, 2012). Fransız ORC ekipman üreticisi Enogia, 2017 yılında balıkçı gemisi Orizzonte'ye 20 kW'lık bir ORC sistemi kurmuştur. Geminin başarılı bir şekilde devreye alınmasının ardından ORC sisteminin %5'lik bir yakıt tasarrufu potansiyeli sağlayacağı tahmin edilmektedir (Motorship, 2020). Calnetix, MHI (Mitsubishi Heavy Industries) ile birlikte deniz uygulamaları için onay aldığı, ana makine ceket suyu atık ısısının geri kazanımı için tasarladıkları Hydrocurrent™ ORC sistemini geliştirmişlerdir (Yukse ve Mirmobin, 2015). Sistemin ilk uygulaması 2016 yılında M/V Arnold Maersk konteyner gemisine kurulmuştur. 125 kW ORC sistem prototipinin saha operasyon test sonuçları Sellers (2017) çalışmasında rapor edilmektedir. Kobe Steel, 7.500 kW gücünde bir motorun egzoz gazı atık ısısından 125 kW elektrik ürettiğini ve bu miktarın geminin (M/V Asahi Maru) yardımcı güç ihtiyacının yaklaşık %20-25'ine eşdeğer olduğunu bildirmiştir (Kobelco, 2017). Aynı firmaya ait 100 kW gücünde bir başka ORC sistemi, 2020 yılında Shunzan Kaiun Co., Ltd.'ye ait bir capesize dökme yük gemisinde skavenç havası atık ısısını kullanacak şekilde kurulumu gerçekleştirilmiştir (Kobelco, 2020). 2019 yılından sonra gemi ORC sistemleri pazarında Orcan Energy AG ve Climeon firmalarının özellikle tanker, feribot ve kruvaziyerler üzerinde kurulumlar gerçekleştirdiği ve yeni siparişler aldığı gözlemlenmektedir (Orcan Energy AG, 2020; Climeon, 2021).

Son yıllarda, yerel veya merkezi bir otorite tarafından işletilen limanların birçoğu, kirlilik sorunlarını çözmek için gemilere ya da limanlarda hitap eden programlar ve politikalar uygulamaya başlamıştır (Gibbs ve diğerleri, 2014). Gemilerden kaynaklı zararlı gazların miktarını düşürmek için yerel otoriteler gemiler için minimum teknik gereksinimler belirlemektedirler. Bu gereksinimler belirli bölgelerde ağır yakıt kullanmamak amacıyla yakıt değişimini ve salım düşürücü sistemlerin gemilere kurulumunu kapsamaktadır. Bu tarz girişimler ile armatörleri çevreci gemi teknolojilerine yatırım yapma konusunda teşvik etmeyi amaçlanmakta ve hatta bazı limanlar tarafından verilen indirimler ile bu yatırımlar ödüllendirilebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, çevreci bir teknoloji olan ORC sistemlerinin örnek olarak ele alınan bir kruvaziyer ve Ro-Ro gemisinde kullanımının liman sahaları üzerindeki potansiyel çevresel etkilerini ortaya koymaktır. Bu kapsamda 2017 yılı içerisinde Çeşme Limanı'na giriş-çıkış yapan M/V Celestyal Nefeli ve M/V Ulusoy-14 gemilerinin ayrılma ve yanaşma sırasındaki manevra süreleri ile limanda kaldıkları süreler hesaba katılarak, gemilerin liman içerisindeki bir yıllık toplam yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Literatürde yer alan, termal verim değeri valide edilmiş bir gemi ORC sistemi ele alınarak, atık ısı geri kazanımı ile kazanılabilecek potansiyel yakıt tasarrufu miktarları hesaplanmıştır. Bu yakıt tasarrufundan kaynaklı olarak limandaki çevresel etkiler, salım katsayıları kullanılarak ortaya konmuştur.

2. Yöntem

Bu çalışmada, 2017 yılı içerisinde Çeşme Limanı'na sefer yapan bir yolcu gemisi ile bir Ro-Ro gemisinin seferleri incelenmiştir. 2017 yılında Çeşme Limanı'na en sık sefer yapan gemilerden olan M/V Celestyal Nefeli isimli kruvaziyer gemisi ve M/V Ulusoy-14 isimli Ro-Ro gemisi çalışma kapsamında referans olarak alınmıştır. Referans gemilerin ilgili özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Referans gemi özellikleri.

	M/V Celestyal Nefeli	M/V Ulusoy-14
Ana Makine (Toplam güç)	4 x Wärtsilä 8R32E; 13.120 kW	2 x MAN L48/60 CR; 9.600 kW
Yardımcı Makine (Jeneratör Toplam Güç)	2 x Wärtsilä 6R32E; 4.200 kW 1 x Wärtsilä 4R32E; 1.472 kW	4 x STX MAN 5L 21/31; 4.000 kW
Kapasite	1.074 yolcu	283 dorse
Tonaj	51.044 GT	23.254 DWT

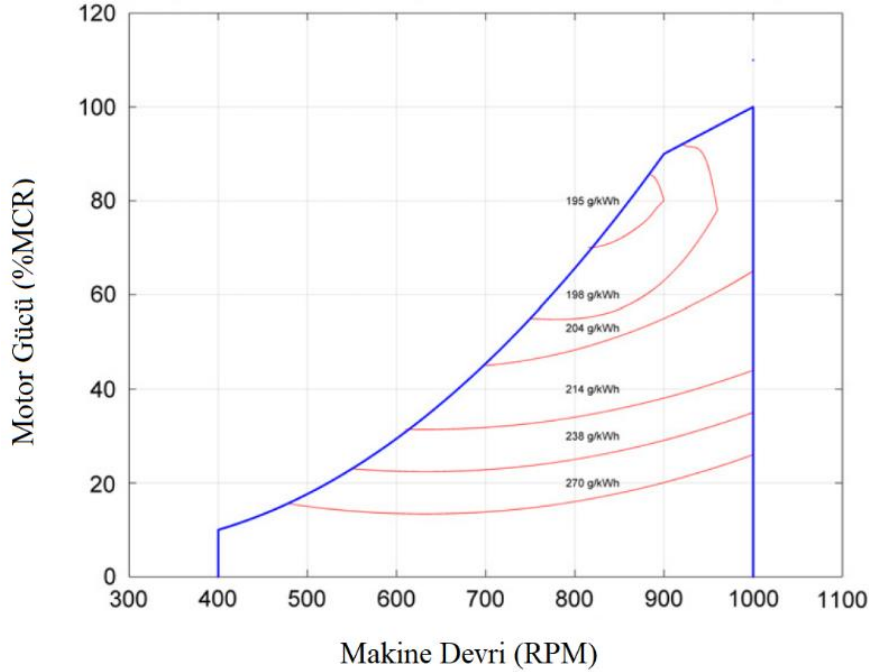
Kaynak: Ulusoysealines (2022); Veristar (2022).

Yük faktörüne göre gemilerin yakıt tüketimi ve salım değerleri değişiklik gösterecektir. Bu sebeple Alver, Saraç ve Şahin (2018)'in çalışmalarında kullandıkları yük faktörleri, bu çalışmada referans alınmıştır. Gemilerin manevra esnasındaki ana makine ve jeneratör yükleri sırasıyla %40 ve %75 kabul edilmiştir. Limanda ana makine çalışmamaktadır. Limanda jeneratör yükü ise %75 kabul edilmiştir. Her iki operasyon modunda da çift jeneratör kullanıldığı varsayımı yapılmıştır. Formül 1'den yararlanarak gemilerin belirtilen sürelerdeki toplam yakıt tüketimleri hesaplanmıştır.

$$FC = SFC * P * MCR * t \quad (1)$$

Burada FC toplam yakıt tüketimini, SFC özgül yakıt tüketimini, P makine toplam gücünü, MCR operasyon sırasında kullanılan makine yükünü ve t gemilerin manevrada ve limanda geçirdiği operasyon sürelerini ifade etmektedir. Örnek olarak ele alınan gemilerin 2017 yılı içerisinde Çeşme Limanı'nda geçirdiği operasyon süreleri, Çeşme Liman Başkanlığı'ndan alınan verilerden hesaplanarak Tablo 4'te verilmiştir. Manevra saatinin başladığı koşul olarak, geminin liman sahasına girdiği süre kabul edilmiştir. Özgül yakıt tüketiminin belirlenmesinde Şekil 2'de verilen dizel motorlar için karakteristik yakıt tüketimi eğrisinden yararlanılmıştır.

Şekil 2. Dizel motorlar için karakteristik performans-özgül yakıt tüketimi eğrisi.



Kaynak: Dedes ve diğerleri (2012).

ORC sistemi uygulamalarında, sistem içerisinde kullanılacak olan ısı transfer akışkanının seçimi, sistem basıncı, akışkanın evaporasyon ve yoğunlaşma sıcaklığı vb. etmenler ORC sisteminin verimi üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bu sebeple bu çalışmada ORC sistemi termal verimi ele alınırken, Konur ve diğerleri (2020) çalışmasında bir ticari yük gemisi için tasarlanmış ve valide edilmiş olan bir basit ORC sistemi modelinin termal verim değeri kabulü yapılmıştır. Çalışmada ele alınan ORC sisteminin çalışma parametreleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. ORC sistemi çalışma parametreleri.

Organik çalışma akışkanı	R1234ze(Z)
Evaporasyon basıncı	2.400 kPa
ORC pompa verimi	%80
ORC türbin verimi	%85
ORC kondenser akışkan çıkış sıcaklığı	32 °C
ORC evaporatör akışkan çıkış sıcaklığı	129 °C
ORC sistemi termal verimi (η_{ORC})	%15,24

Kaynak: Konur ve diğerleri (2020).

Ana makine ve jeneratör verimlilikleri (η_{motor}) ile ORC sisteminden elde edilecek termal verim (η_{ORC}) değerleri Formül 2'de yerine yazılarak ORC sistemi ile elde edilebilecek yakıt tasarrufu miktarı elde edilmiştir. Burada FC_1 gemilere ORC sistemi entegre edildiğinde gerçekleştirilecek potansiyel yakıt sarfiyatını, FC_2 ise sadece dizel motorlar ile gerçekleşen yakıt sarfiyatını ifade etmektedir. Motor verimlilikleri %52 kabul edilmiştir.

$$\frac{FC_1}{FC_2} = \frac{\eta_{motor}}{(\eta_{motor} + \eta_{ORC}) - (\eta_{motor} * \eta_{ORC})} \quad (2)$$

Gemilerden kaynaklı salımı için tüketilen toplam yakıt miktarından yola çıkılarak hesaplar yapılmıştır. Salım katsayıları kullanılarak toplam salım miktarlarına ulaşılmıştır. Bu çalışmada CO₂, CH₄ (metan), N₂O (nitroz oksit), NMVOC (metan dışı uçucu organik bileşikler), CO (karbon monoksit) ve PM₁₀ (<10µ partikül madde) salımları ele alınmıştır. Tablo 3'te kullanılan salım katsayıları gösterilmektedir.

Tablo 3. Deniz tipi dizel yakıt için salım katsayıları (g salım/ g yakıt).

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	NM VOC	CO	PM ₁₀	SO ₂
Salım Katsayısı	3.206	0.00006	0.00015	0.0961	0.00308	0.00277	0.00097	0.01

Kaynak: Kuzu ve diğerleri (2021); Trozzi (2010); IMO (2014).

Salımların hesaplanmasında ise Formül 3 kullanılmıştır (Kuzu ve diğerleri, 2021).

$$E_k = \sum_k FC * EF \quad (3)$$

Formülde salım miktarları E_k ile gösterilmiş olup, k kirletici tipidir. FC toplam yakıt tüketimini ve EF kirleticinin salım katsayısını simgelemektedir.

3. Bulgular

Çeşme Liman Başkanlığı'ndan alınan liman giriş-çıkış verilerine dayanarak, referans alınan gemilerin Çeşme Limanı'na 2017 yılı içerisindeki giriş ve çıkışlarındaki manevra ve liman süreleri hesaplanmıştır. Bu süreler ile birlikte hesaplanan gemilerin manevra sırasında ve liman içerisinde harcadıkları toplam enerji miktarları ve buna tekabül eden toplam yakıt tüketimleri Formül 1'den yararlanarak hesaplanmış ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Referans gemilerin Çeşme Limanı'nda geçirdiği yıllık toplam operasyon süreleri ve hesaplanan enerji tüketimleri.

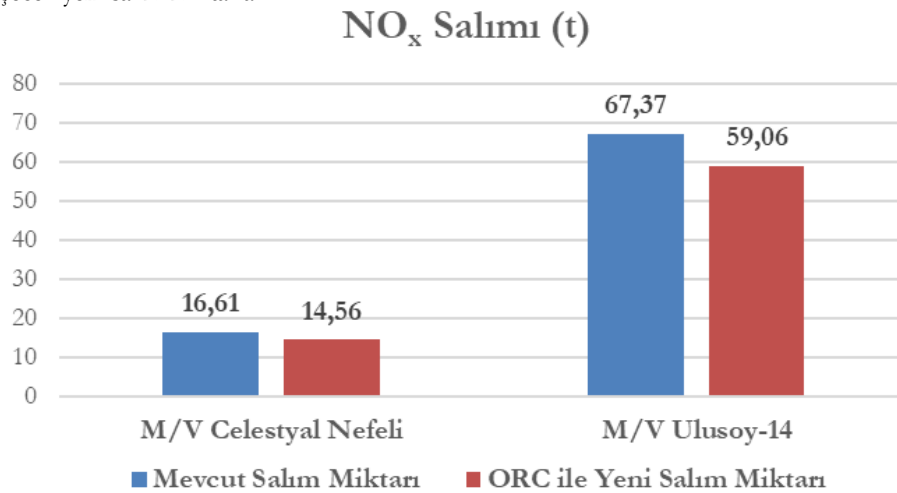
	Süre		Toplam Enerji Tüketimi		Toplam Yakıt Tüketimi	
	Manevra	Liman	Manevra	Liman	Manevra	Liman
Celestyal Nefeli	27,43 saat	203,83 saat	230.357 kWh	642.065 kWh	47,65 MT	125,20 MT
Ulusoy-14	102,57 saat	2.006,00 saat	547.724 kWh	3.009.000 kWh	114,29 MT	586,76 MT

Referans gemilerden 2017 yılında üretilen toplam CO₂ salımı miktarları, bu gemilere ORC sistemlerinin kurulması ile sağlanabilecek potansiyel yakıt tasarrufu ve bu tasarruf dolayısıyla sağlanabilecek CO₂ salımlarındaki azalma miktarları, Formül 2 ve Formül 3'ten yararlanılarak hesaplanmış ve Tablo 5'te gösterilmiştir.

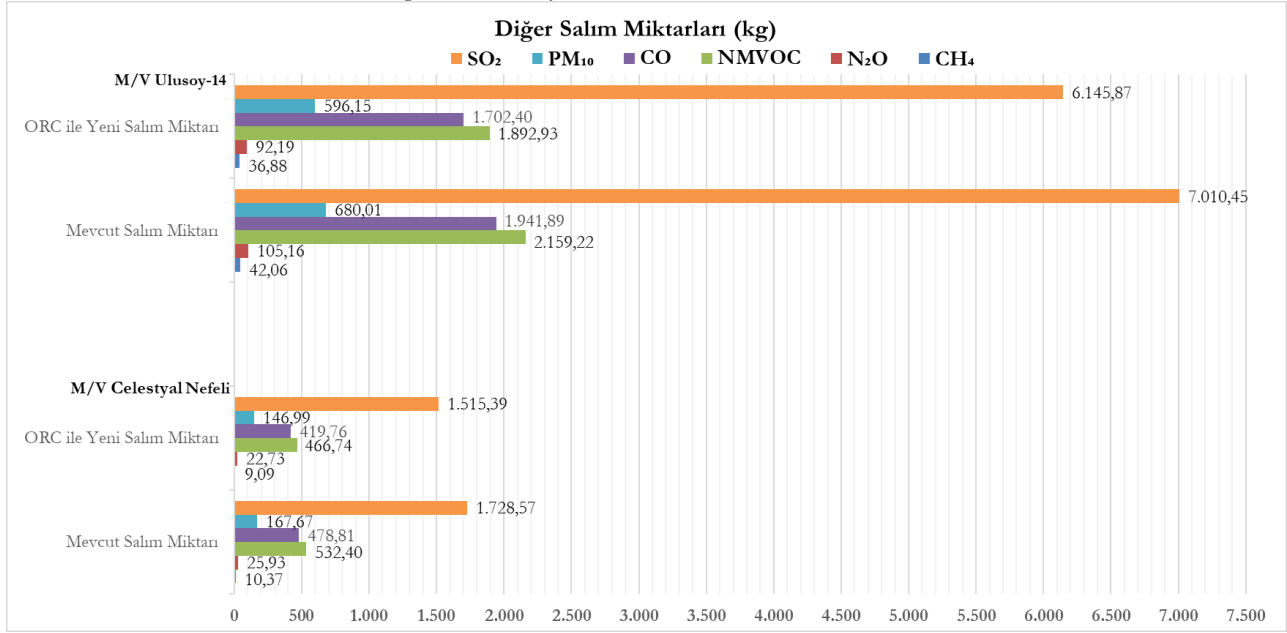
Tablo 5. Referans gemilerin Çeşme Limanı'nda ürettiği bir yıllık CO₂ salımı ve ORC ile liman sahası içinde oluşan kazançlar.

	Limani İçerisindeki Yıllık Toplam CO ₂ Salımı Miktarı	ORC ile Yıllık Toplam CO ₂ Salımındaki Azalma Miktarı	ORC sistemi ile Toplam Yıllık Yakıt Tasarrufu
Celestyal Nefeli	554,18 t	68,35 t	21,31 MT
Ulusoy-14	2.247,55 t	277,18 t	86,46 MT

M/V Celestyal Nefeli ve M/ Ulusoy-14 gemilerinin Çeşme Liman sahası içerisindeki manevra ve liman süreleri ele alınarak ve Tablo 3'te verilen NO_x salım katsayısı ile Formül 3 kullanılarak, gemilerin yıl içerisinde liman sahasında ürettikleri NO_x salımı miktarları hesaplanmıştır. Bu gemilere ORC sistemi kurulumu ile tüm salımlarında %12,33 oranında azalma sağlanabileceği gözlemlenmektedir. Liman sahasında yıl içerisinde oluşan mevcut NO_x salımı ve ORC ile oluşabilecek yeni salım miktarları Şekil 3'te verilmiştir. Diğer salımlar için hesaplanan değerler Şekil 4'te gösterilmektedir.

Şekil 3. Referans gemilerin Çeşme Liman sahasında bir yıl içinde ürettiği NO_x salımı ve ORC sistemi kullanımı sonucu gerçekleştirilecek yeni salım miktarları.

Şekil 4. Referans gemilerin Çeşme liman sahasında yıllık olarak ürettiği SO₂, PM₁₀, CO, NMVOC, N₂O ve CH₄ salımları ile ORC sistemi kullanımı sonucu gerçekleşecek yeni salım miktarları .



4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, turizm açısından önemli bir konumda bulunan İzmir'in Çeşme Limanı'na en sık sefer yapan gemilerden bir kruvaziyer ve bir Ro-Ro gemisi referans olarak seçilerek bu gemilerin yıllık bazda liman çevresine olan etkileri araştırılmıştır. Denizcilik alanında yeni gelişen ve kullanımı yaygınlaşan teknolojilerden olan ORC sistemlerinin bu gemilere entegrasyonunun, gemilere sağlayacağı yakıt tasarrufu ve bu kazancın liman sahasında oluşan gemi kaynaklı salımlardaki potansiyel azalma miktarları ortaya konmuştur.

Referans olarak ele alınan iki gemi için de toplam enerji tüketimi en fazla liman sürecinde gerçekleşmiştir. Kruvaziyer gemilerinde liman süreci, sınırlı sürede ve düzenli olarak gerçekleşmektedir. Ro-Ro gemilerinde ise, yükleme ve tahliye sürecinde yaşanan düzensizlikler, limanda jeneratörlerden kaynaklanan yüksek miktarda salıma sebep olmuştur. Manevra sürecine kıyasla, CO₂ salımının kruvaziyer gemisi için %73,56'sı, Ro-Ro gemisi için %84,60'ı liman sürecinde gerçekleşmiştir.

ORC sistemlerinin kurulumu ile liman sahası içerisindeki operasyonlardan kaynaklı yakıt tüketiminden ve buna bağlı olarak tüm salımlardan yıllık olarak %12,33 oranında tasarruf elde edilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır. İki gemiden kaynaklı salımlarda, ORC sistemlerinin kullanılması durumunda liman sahası içerisinde yıllık olarak CO₂ salımında 345,53 t, SO₂ salımında 1,08 t, NMVOC salımında 331,95 kg, CO salımında 298,54 kg, PM₁₀ salımında 104,54 kg, N₂O salımında 16,17 kg ve CH₄ salımında 6,47 kg azalma sağlanabileceği hesaplanmıştır. ORC sistemlerinin kullanımının denizcilik alanında yaygınlaşması, gemilerde enerji verimliliğini artırması ve yakıt maliyetlerini azaltması açılarından önemlidir. Bunun yanında gemilerin manevra sırasında ve liman süreçlerinde meydana getirdiği salımlardaki azalma liman çevresinde yaşayan insanların sağlığı (özellikle PM₁₀ salımındaki azalma) ve sürdürülebilir çevre politikaları açılarından önem arz etmektedir. Gelecek çalışmalarda, gemiler için tasarlanmış bir ORC sisteminin farklı güç üretim kapasitelerine göre maliyet analizi yapılması önerilebilir.

Kaynakça

- Alver, F., Saraç, B.A. ve Şahin, Ü.A., (2018). Estimating of shipping emissions in the Samsun Port from 2010 to 2015. Atmospheric Pollution Research, 9(5), 822-828. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.02.003>.
- Climeon, (2021). Climeon completes second sea trials with Virgin Voyages and Fincantieri. Erişim tarihi: 29 Mayıs 2021, Erişim adresi: <https://climeon.com/climeon-completes-second-sea-trials-with-virgin-voyages-and-fincantieri/>.
- Dedes, E.K., Hudson, D.A. ve Turnock, S.R., (2012). Assessing the potential of hybrid energy technology to reduce exhaust emissions from global shipping. Energy Policy, 40(2012), 204–218. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.046>.

- Gibbs, D., Rigot-Muller, P., Mangan, J. ve Lalwani, C., (2014). The role of sea ports in end-to-end maritime transport chain emissions. *Energy Policy*, 64, 337–348. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.024>.
- Goldstick, R. ve Thumann, A., (1986). *Principles of Waste Heat Recovery*. Atlanta: Fairmont Press.
- IMO, (2014). *Third IMO GHG Study Executive Summary*. The Marine Environment Protection Committee (Ed). London, UK.
- International Energy Agency, (2021). *Energy efficiency 2021*. Erişim tarihi: 03 Ocak 2022, Erişim adresi: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>.
- Kobelco, (2017). Binary cycle power generation system for ships completes sea trials, Kobe Steel to begin sales of the new system in 2019. Erişim tarihi: 28 Mayıs 2021, Erişim adresi: https://www.kobelco.co.jp/english/releases/1196609_15581.html.
- Kobelco, (2020). Kobe Steel, Mitsui O.S.K. Lines to conduct long-term operational tests of a binary cycle power generation system installed on an actual ship. Erişim tarihi: 28 Mayıs 2021, Erişim adresi: https://www.kobelco.co.jp/english/releases/1206451_15581.html.
- Konur, O., Saatcioglu, O.Y., Korkmaz, S.A., Erdogan, A. ve Colpan, C.O., (2020). Heat exchanger network design of an organic Rankine cycle integrated waste heat recovery system of a marine vessel using pinch point analysis. *International Journal of Energy Research*, 44(15), 12312-12328. <https://doi.org/10.1002/er.5212>.
- Kuzu, S.L., Bilgili, L. ve Kilic, A., (2021). Estimation and dispersion analysis of shipping emissions in Bandırma Port, Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, 23(7), 10288-10308. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01057-6>.
- MAN Diesel & Turbo, (2014). Waste heat recovery system (WHR) for the reduction of fuel consumption, emissions and EEDI. Erişim tarihi: 04 Aralık 2021, Erişim adresi: Technical paper. <https://mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/technical-papers/waste-heat-recovery-system.pdf>.
- Motorship, (2020). ORC installation economics depend on component trade-offs. Erişim tarihi: 26 Mayıs 2021, Erişim adresi: <https://www.motorship.com/news101/ships-equipment/orc-installation-economics-depend-on-component-trade-offs>.
- OPCON Marine, (2012). Commissioning and testing of first reference installation of Opcon technology for ships. Erişim tarihi: 15 Nisan 2020, Erişim adresi: <http://opconenergysystem.com/wp-content/uploads/2015/10/Opcon-Powerbox-ORC-brochure.pdf>.
- Orcan Energy AG, (2020). Largest order for Orcan Energy in the company's history in the marine sector: eight efficiency PACKs for offshore installation ship "Green Jade". Erişim tarihi: 28 Mayıs 2021, Erişim adresi: <https://www.orcan-energy.com/en/details/largest-order-for-orcan-energy-in-the-companys-history-in-the-marine-sector.html>.
- Öhman H. ve Lundqvist P., (2013). Comparison and analysis of performance using Low Temperature Power Cycles. *Applied Thermal Engineering*, 52(1), 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.11.024>.
- Sellers, C., (2017). Field operation of a 125kW ORC with ship engine jacket water. *Energy Procedia*, 129(1), 495-502. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.168>.
- Singh, D.V. ve Pedersen, E., (2016). A review of waste heat recovery technologies for maritime applications. *Energy Conversion and Management*, 111(2016), 315–328. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.12.073>.
- Suárez, S. ve Greig, A., (2013). Making shipping greener: ORC modeling under realistic operative conditions. Smith, T. (Ed) *Proceedings of the Low Carbon Shipping Conference 2013*. Low Carbon Shipping & Shipping in Changing Climates: London, UK.
- Trozzi, C., (2010). Emission estimate methodology for maritime navigation. 19th International emission inventory conference, 27–30 September, San Antonio, USA.
- Ulusoysealines, (2022). Ulusoy – 14. Erişim tarihi: 10 Ocak 2022, Erişim adresi: <http://www.ulusoyselines.com/m-v-ulusoy-14/>.
- Veristar, (2022). Ship details: Gemini. Erişim tarihi: 10 Ocak 2022, Erişim adresi: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/bv-fleet/#/bv-fleet/>.
- Wang H. ve Lutsey, N., (2013). Long-term potential for increased shipping efficiency through the adoption of industry-leading practices. The International Council on Clean Transportation. Erişim tarihi: 03 Ocak 2022, Erişim adresi: https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/resources/icct_shipefficiency_20130723.pdf
- Yukse, E.L. ve Mirmobin, P., (2015). Waste heat utilization of main propulsion engine jacket water in marine application. Erişim tarihi: 15 Mart 2021, Erişim adresi: <http://asme-orc2015.fyper.com/uploads/File/All-Papers-ORC2015.pdf>.