



Analysis of Waste Heat Recovery System on Ships in Terms of Technic and Economic

ÜMİT GÜNEŞ

Abstract

Considering the energy economy implementations on ships, the first issue to notice is the exhaust gases which comprise nearly 25% of energy loss. Thus, recycling methods out of exhaust gas have more and more importance. Contemplating the expenses of the ships, fuel is of large amount expenditure. When the waste heat recovery from methods exhaust gas are applied, not only fuel save will be ensured but also there will be a decrease in the amount of CO₂, NO_x and SO_x emissions that are released to the environment per unit fuel. In this study, emissions released out of ships to the environment and regulations about the emissions and overloading, Power Turbine Generator (PTG), Steam Turbine Generator (STG) and Combine Waste Heat Recovery (ST+PT) methods that are utilized in the ships, are examined technically and economically. Besides, Organic Rankine Cycle Systems, which are applied to the land-based systems, potential to be implemented to the ships. External conditions and motor load are examined which have impact on the potential while analyzing this exhaust gas potential. Which technical and economical approach is suitable has been investigated for recycling by using low, medium and high power three two-stroke engines.

Keywords: Waste heat recovery system, emissions, power turbine generator, steam turbine generator, organic rankine cycle

Gemilerde Atık Isı Geri Kazanım Yöntemlerinin Teknik Ve Ekonomik Yönden İncelenmesi

Özet

Günümüzde enerji verimliliği giderek daha da büyük bir öneme sahip olmaya başlamıştır. Bunun sebepleri arasında çevreye olan zararlı etkileri azaltmak için uygulanması gereken kurallar ve yakıt fiyatlarının giderek artması bulunmaktadır. Gemilerde enerji ekonomisi uygulamaları göz önüne alındığında ilk akla gelen konu enerji kaybının yaklaşık %25'ini oluşturan egzoz gazlarıdır. Egzoz gazından enerji geri kazanım yöntemleri giderek daha da önemli olmaktadır. Gemilerdeki işletme maliyetleri düşünüldüğünde giderlerin büyük bir kısmını yakıt masrafları oluşturmaktadır. Egzoz gazından geri kazanım yöntemleri uygulandığında ise yakıt tasarrufu sağlanacağı gibi birim yakıt başına çevreye salınan toplam CO₂, NO_x ve SO_x emisyonları miktarında da bir azalma görülecektir. Bu çalışmada gemilerden çevreye salınan emisyonlar ve bu emisyonlar hakkındaki kurallar ile gemilerde kullanılmakta olan Aşırı doldurma, Güç Türbin Jeneratörü, Buhar Türbin Jeneratörü ve Kombine atık ısı geri kazanım yöntemleri teknik ve ekonomik açıdan incelenmiştir. Bunun yanı sıra karasal sistemlerde uygulanmakta olan Organik Rankine Çevrimi sisteminin gemilerde uygulanabilme potansiyeli araştırılmıştır. Analizler yapılırken öncelikle var olan egzoz gazı potansiyeli ve bu potansiyele etki eden çevre koşulları ve motor yükleri de incelenmiştir. İnceleme için düşük, orta ve yüksek güçlü üç adet, iki zamanlı motor seçilmiş olup bu motorlara hangi tip geri kazanım yöntemi uygulanmasının teknik ve ekonomik olarak uygun olduğu araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık ısı geri kazanım yöntemleri, emisyonlar, gaz türbini, buhar türbini, organik rankine çevrimi

1. Giriş

Günümüzde çevre duyarlılığına ve enerji tasarrufuna verilen önem giderek artmaktadır. Bunun sonucu olarak her türlü faaliyette bu iki hususa yönelik çalışmalar da artış göstermektedir. Enerji tasarrufundaki en büyük faktör enerji verimliliğinin artırılmasıdır. Bunun yanı sıra sistemden kaybolan, atık olarak çevreye gönderilen ısının geri kazanımı da büyük bir önem arz etmektedir. Enerji tasarrufunun bu kadar önemli hale gelmesinin en büyük nedenini dünyadaki yakıt fiyatlarının giderek artması olarak gösterebiliriz. Dünya taşımacılık hacminin %90'ı deniz yoluyla yapılmaktadır [1]. Taşımacılık için çok önemli bir yöntem olan gemi taşımacılığındaki enerji tasarrufu da oldukça önemlidir. Gemilerdeki maliyetler düşünüldüğünde gemilerdeki yakıt sarfiyatının bu konudaki en önemli faktör olduğu görülmektedir. Gemilerde kullanılan makinelerin verimi %48-%51 arasındadır [2]. Gemilerde atık ısı geri kazanım yöntemleri sayesinde bu verim %60'lara kadar çıkmaktadır [3]. Gemilerde enerji ekonomisi hem yakıt tasarrufu hem de gemilerin çevreye verdiği olumsuz etkileri azaltmak için büyük öneme sahiptir. Yakıtı düşük fiyatlarda kullanan ülkelerde atık ısı geri kazanımı belirli bir düzeyde fayda getirmesine rağmen asıl büyük yarar, yüksek fiyatlardaki yakıt kullanan ülkelerde sağlanmaktadır

[4]. Düşük devirli ana makineler çok ucuz yakıtları kullanabildiği için tüm ısı makineleri içerisinde en verimli olmasına karşın bu tip makineler çeşitli problemlere sahiptir. Bunların başında atmosfere yanma sonunda gönderilen egzoz gazlarının çevreye olan zararlı etkisi gelmektedir [5]. Emisyonların çevre ve insan sağlığına olan zararlı etkileri ile küresel iklim değişikliği gibi hususlar göz önünde bulundurulduğunda, diğer güç sistemlerinde olduğu gibi gemi ana makinelerinde de zararlı gaz emisyonlarının kontrolü çok daha önemli hale gelmektedir. Bu yöntemlerin içerisinde de atık ısıdan geri kazanım yöntemleri önemli bir rol oynamaktadır. Atık ısıdan enerji geri kazanım yöntemleri, ana makineden elde edilecek birim güç için kullanılan yakıt ile daha büyük güçler elde etmeyi ve birim güç başına daha düşük emisyon salınımını mümkün kılmaktadır.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından Gemi Kaynaklı Emisyonların (NOX, SOX, CO2) sınırlandırılması ile ilgili kurallar MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) Ek VI' da belirtilmiştir.

CO2 emisyonları geminin EEDI (Energy Efficiency Design Index) değerini etkilemektedir. Bir gemi için EEDI değerinin 2015'de %10, 2020'de %20, 2030'da %30 azalması beklenmektedir [6], [7], [8]. NOx emisyonları için kurallara bakıldığı zaman, 2016 yılında yürürlüğe girecek Tier III kuralları çerçevesinde 16 g/kWh olan emisyon miktarı ECA (Emission Control Area) bölgelerinde çalışan iki zamanlı gemiler için 2 g/kWh'e düşürülecektir. Ayrıca SOx emisyonlarında ise genelde %4.5, ECA bölgelerinde %1.5 olan Sülfür oranı, 2015'de, ECA bölgelerinde %0.2'ye genelde ise %0.5'e düşmesi kurallar arasındadır [9]. Gemilerde buhar türbini ile egzoz gazından güç üretim yöntemi ile %6'lara varan oranda güç artışı mümkündür [3]. Bu verim değeri, gaz türbini ve buhar türbininin beraber çalışmasıyla %10'la kadar çıkmaktadır. Ayrıca %10-%12 civarında yakıt tasarrufu

yapmaya olanak sağlamaktadır [2]. Buhar ve gaz türbinine giden egzozun seri bağlanması durumunda ise %6.9-%14.6 arasında verim artışı olmakta, yakıt sarfiyatında ise %6.4-%13 aralığında bir azalma meydana gelmektedir [5]. Ekonomik olarak gaz türbinine bakıldığında ise 15.000kW'ın altındaki gemilerde gaz türbininin atık ısıdan geri kazanım yöntemi olarak kullanılması ekonomik olurken, 15.000 kW ile 25.000 kW arasındaki gemilerde gaz türbini ya da buhar türbininin ayrı ayrı kullanılması ekonomiktir. 25.000kW'ın üzerindeki gemilerde ise gaz türbini ve buhar türbininin beraber kullanıldığı kombine sistemlerinin kullanılması ekonomiktir [10]. Gaz türbininin %50 motor yükünün altında kullanılması mümkün olmazken, buhar türbininin %35 motor yüklerinde bile kullanılması mümkündür [11]. Günümüzde düşük sıcaklıklı ısı kaynaklarından güç üreten yöntemler arasında ORC (Organic Rankine Cycle) sistemi gelmektedir. Düşük sıcaklıklı ısı kaynaklarının kullanılması yakıt sarfiyatını çevreye olan zararlı etkileri azaltmaktadır [12]. Organik Rankine Çevrim (ORC) sistemi, su yerine kaynama noktası suyun kaynama noktasına göre daha düşük akışkanlar kullanarak düşük sıcaklık (70 oC -300 oC) aralığında olan ısı kaynaklarından elektrik üretilmesini sağlar [13].

1.2 Tezin amacı

Bu tez çalışmasıyla gemilerden çevreye salınan ve çevreye zararlı etkisi olan CO₂, NO_x ve SO_x emisyonları ve atık ısı geri kazanım yöntemlerinin bu emisyonlar üzerindeki etkisi incelenecektir. Gemilerde atık ısıdan enerji geri kazanım yöntemleri olarak Aşırı Doldurma, Güç Türbin Jeneratörü (PTG), Buhar Türbin Jeneratörü (STG), Kombine Çevrimler (PT-ST) ve yeni bir yöntem olup karasal tesislerde yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanılan Organik Rankine Çevrimi (ORC) kullanılmaktadır. Bu çalışmada yukarıdaki egzoz gazının atık ısısından enerji geri kazanım için kullanılan, incelemeyi MAN Diesel & Turbo'ya ait düşük, orta ve yüksek güç değerlerine sahip, yedi silindirli, iki zamanlı üç ana makine detaylı olarak incelenecektir. Her bir motor için değişen motor yükü ve dış ortam sıcaklığına bağlı olarak atık ısı geri kazanım yöntemleri incelenecek ve uygun olan atık ısı geri kazanım yöntemi teknik ve ekonomik olarak tetkik edilecektir. Ayrıca diğer yöntemlere göre daha yeni bir yöntem olan ORC'de kullanılan 29 ORC akışkanı ele alınıp bunların gemi egzoz gazı sıcaklık koşullarında gemilerde uygulanma potansiyeline dair bir inceleme yapılacaktır.

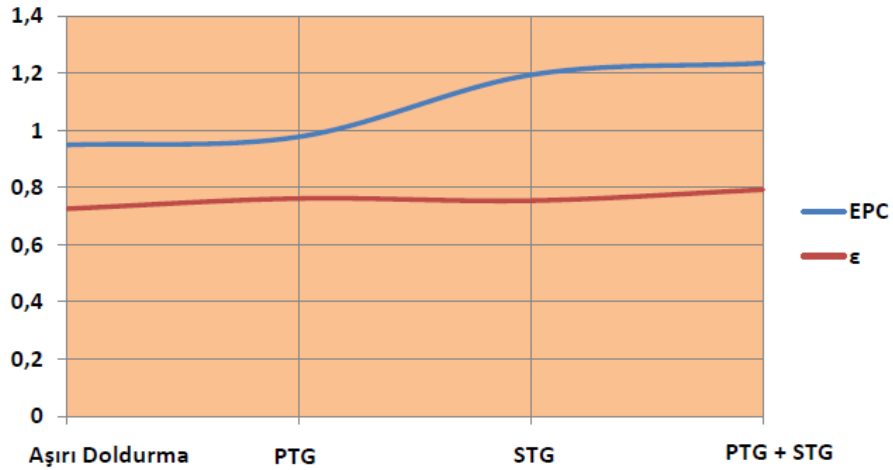
1.3 Hipotez

Gemilerde enerji geri kazanım yöntemleri hem ekonomik olarak hem de çevresel kurallar düşünüldüğünde birçok avantaja sahip olan yöntemlerdir. Uygun koşullara göre uygun geri kazanım yöntemi seçimi suretiyle üretilen enerjiden maksimum fayda ve çevreye daha az zararlı etki sağlanabilir. Yöntemin seçiminde ekonomik ve teknik unsurları bir arada düşünülerek optimum tercih yapılmalıdır. Bu yapılırken sistemin verimini etkileyecek tüm parametreler analiz edilmelidir.

2.Sonuç Ve Öneriler

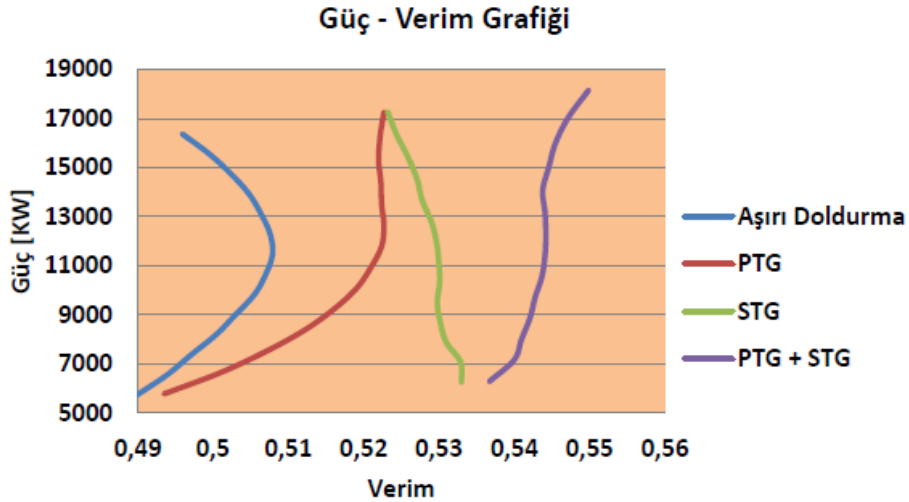
Günümüz şartlarında atık enerjinin geri kazanımında çevresel ve ekonomik faktörler etkin rolü oynamaktadır. Çevresel faktörlerin içerisinde gemilerden çevreye salınan CO₂, NO_x, SO_x emisyonları yer almaktadır. Atık enerjinin geri kazanımı yöntemleri, birim yakıt başına daha fazla güç elde etmeyi

amaçladığından, bu sayede emisyonların azaltılması temin edilmiş olmaktadır. Gemilerde atık enerji kazanım yöntemleri incelendiğinde, enerji geri kazanımı için en önemli potansiyelin egzoz gazlarında olduğu görülmüştür. Bu çalışmada egzoz gazlarının enerji geri kazanımındaki kullanımı teknik ve ekonomik açıdan detaylı olarak incelenmiştir. Egzoz gazlarının sıcaklığını etkileyen faktörlerden bir tanesi çevre koşullarıdır. Bu amaçla çevre koşulları üç farklı işletme durumu için analizlerde ele alınmıştır. Silindir ya da motor çıkışındaki egzoz gazları incelendiğinde kış ortam koşullarında egzoz sıcaklığının en düşük olduğu ve motor veriminin de en yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca motor yüküne bağlı olarak da egzoz sıcaklığı değişmektedir. Silindir çıkışında, motor yükü arttıkça egzoz sıcaklığı artarken, aşırı doldurma çıkışında yük arttıkça egzoz sıcaklığı önce azalmakta daha sonra ise artmaktadır. Egzoz sıcaklığına bağlı olarak motora entegre edilecek PTG ve STG sistemleri bu durumdan etkilenmektedir. Egzoz sıcaklığı düştükçe buharın ulaşabileceği en yüksek sıcaklık ve basınç değeri de düşmektedir. Buna bağlı olarak da STG sisteminin gücü ve verimi de düşmektedir. Bu çalışmada egzoz gazlarının enerjisinden ORC yardımıyla ilave güç üretilmesi yöntemi de incelenmiştir. Bu amaçla 29 farklı ORC akışkanı modelde kullanılmış olup seçilen motorların egzoz gazı sıcaklık aralığında termik verimlerinin suya eşit ya da daha düşük olduğu görülmüştür. Akışkanların özgül ısı kapasiteleri dikkate alındığında ise suya göre çok küçük olan özgül ısı kapasiteli akışkanların kullanılması durumunda gerekli olan akışkan debisi büyümektedir. Bu çalışmada kullanılan akışkanların özgül ısıları suyun özgül ısısından küçük olması sebebiyle çalışmada incelenen ORC akışkanlarının gemi dizel motorlarında suyun yerine kullanımının olumlu sonuçlar vermediği görülmüştür. Gemilerde kullanılan yakıtların sülfür oranından dolayı bacadan yaklaşık 160 oC'de atılması gerekmektedir. ORC sistemi düşük sıcaklıktaki kaynaklar açısından avantajlı olduğu için gemi egzoz baca çıkış sıcaklığının düşmesi durumunda ORC sisteminin gemilerde uygulanma potansiyeli olabilir. Gemi baca çıkış sıcaklığının düşmesini etkileyecek en önemli faktör ise gemilerde kullanılan yakıtlardaki sülfür oranının düşük olmasıdır. STG ya da PTG+STG sisteminde ekserji yıkımının en fazla olduğu yer, Dizel motorundan sonra STG ön ısıtıcıdır. Bunun sebebi ise aşırı doldurma havasının sıkışmasından dolayı oluşan ısının STG ön ısıtıcı elemanında STG sistemine aktarılmasıdır. Fakat bu ısının tamamı aktarılamadığı için bu elemandaki ekserji yıkımı oldukça büyük olmaktadır. İkinci sırada STG kondenser elemanı ve üçüncü sırada ise STG kazan elemanı yer almaktadır. Buna bağlı olarak ekserji yıkımının büyük olduğu elemanlarda ekserji yıkım oranı (y) değerleri de daha büyüktür. Gemilerde aşırı doldurma havasını kompresör sonrasında soğutmak için deniz suyu kullanılmakta ve bu ısı denize gönderilmektedir. STG sistemi için ön ısıtma yapılması durumunda bile bu ısının tamamı kullanılamamaktadır. Bundan dolayı aşırı doldurma havasını soğutmak için kullanılan sistemin atık ısı geri kazanım yöntemleri ile faydalı enerjiye dönüştürülmesi büyük önem arz etmektedir.



Şekil 5.1 Sistemlere göre EPC ve ekserji verim değerleri

Bu çalışmada incelenen sistemlerin 7L60ME-C8-TII motoru için, ISO koşullarında ve %80 yükteki EPC ve ekserji verimleri değeri Şekil 5.1'de verilmiştir. Buna göre egzoz gazından ne kadar fazla geri kazanım yapılırsa tüm sistemin ekserji verimi buna bağlı olarak artmaktadır. EPC değeri de sistemden elde edilen toplam güç arttıkça artmaktadır.



Şekil 5.2 Sistemlere göre verim ve güç değerleri

Sistemlere 7L60ME-C8-TII motoru için ISO koşullarında verim ve güç değerleri şekil 5.2'de verilmiştir. Güç değerleri aynı zamanda motor yüküne göre değişimi de vermektedir. Sistemler beraber incelendiğinde %100 yükte en az güç elde edilen sistem aşırı doldurma sistemi, en fazla güç elde edilen sistem ise PTG + STG sisteminde olduğu görülmektedir. Verim açısından incelendiğinde ise en düşük verim değerine sahip olan sistem aşırı doldurma sistemi, en yüksek verime sahip olan sistem ise PTG +STG sistemidir. PTG+STG sisteminin gemilerde kullanılabilmesi için egzoz gazı miktarının belirli bir değerin üzerinde olması gerekmektedir. PTG sisteminin ekonomik olarak uygulanabilmesi için PTG'nin gücünün en az 500kW civarında olması beklenmektedir [10]. Bu değer ise ana

makine gücünün yaklaşık 15.000 kW olması anlamına gelmektedir. Bu güç değerinin altında çalışan gemiler için PTG ya da STG ile atık ısıdan enerji geri kazanımı teknik olarak mümkün olsa bile ekonomik değildir [10]. 15.000 kW ile 25.000 kW arasında olan gemiler için PTG ve STG sistemlerinin ayrı ayrı kullanılması ekonomik olarak uygundur. 25.000 kW'ın üzerindeki gemilerde ise bu sistemlerin kombine şeklinde kullanılması ekonomik olmaktadır. Bu sistemlerin kendini amorti süresi yaklaşık 3-6 yıl arasındadır [10].

Kaynakça

- [1] A. Kılıç, (2009). "Marmara Denizi'nde Gemilerden Kaynaklanan Egzoz Emisyonları," Balıkesir Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü, 11: 2, 124-134.
- [2] D. Marek, (2009). "On the possible increasing of efficiency of ship power plant with the system combined of marine diesel engine, gas turbine and steam turbine in case of main engine cooperation with the gas turbine fed in parallel and the steam turbine," Pol. Marit. Res., 16:60, 40-44.
- [3] D. Marek, (2009). "On the possible increasing of efficiency of ship power plant with the system combined of marine diesel engine, gas turbine and steam turbine, at the main engine - steam turbine mode of cooperation," Pol. Marit. Res., 16:59, 47-52.
- [4] T. C. Hung, T. Y. Shai, and S. K. Wang, (1997). "A review of organic rankine cycles (ORCs) for the recovery of low-grade waste heat," Energy, 22:7, 661-667.
- [5] D. Marek, (200). "On the possible increasing of efficiency of ship power plant with the system combined of marine Diesel engine, gas turbine and steam turbine in case of main engine cooperation with the gas turbine fed in series and the steam turbine," Pol. Marit. Res., 16: 61, 26-31.
- [6] International Maritime Organization (IMO), "2012 Guidelines on Survey and Certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)." International Maritime Organization (IMO), 03-Feb-2012.
- [7] International Maritime Organization (IMO), "2012 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships." International Maritime Organization (IMO), 03-Feb-2012.
- [8] International Maritime Organization (IMO), "Guidelines on the Method of Calculation Of Reference Lines for Use with the Energy Efficiency Design Index (EEDI)." International Maritime Organization (IMO), 03-Feb-2012.
- [9] International Maritime Organization (IMO), "Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, As Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto." International Maritime Organization (IMO), 15-Jun-2011.
- [10] MAN Diesel & Turbo, "Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI." . [11] Y. Ichiki, K. Shiraish, T. Kanabos, Y. Ono, and Y. Ohta, (2009). "Development of Super Waste-Heat Recovery System for Marine Diesel Engines," 48:1, 17-21.

- [12] B. Saleh, G. Koglbauer, M. Wendland, and J. Fischer, (2007). "Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles," *Energy*, 32:12, 1210–1221.
- [13] S. V. Loo and J. Koppejan, *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*. Earthscan, 2007.
- [14] MAN Diesel & Turbo, "Technology for Ecology," presented at the MET, Jun-2012.
- [15] J. Gørtz, "EEDI Energy Efficiency Design Index," 10-Jan-2011.
- [16] MAN Diesel & Turbo, "Legal Regulation Shipping," *LegalRegulation Shipping*, 07- Apr-2013. [Online]. Available: <http://www.mandieselturbogreentechnology.com/0000540/Our-Motivation/Legal-Regulations/Shipping.html>. [Accessed: 07-Apr-2013].
- [17] Mükerrerem Fatma İlkışık, *Birleştirilmiş 2011 Baskısı*. İstanbul: Baskı Mas Matbaacılık A.Ş.
- [18] E. H. Wang, H. G. Zhang, B. Y. Fan, M. G. Ouyang, Y. Zhao, and Q. H. Mu, (2011). "Study of working fluid selection of organic Rankine cycle (ORC) for engine waste heat recovery," *Energy*, 36:5, 3406–3418.
- [19] Bent Ørndrup Nielsen, "Waste Heat Recovery System," 07-Jan-2011.
- [20] MAN Diesel & Turbo, "Influence of Ambient Temperature Conditions Main engine operation of MAN B&W two-stroke engines." .
- [21] Volkmar Galke, "Turbo Compound System with Power Turbine and Generator," 28-Jul-2011.
- [22] MAN Diesel & Turbo, "Engine room and performance data for 7S80MC-C8.2-TII with 2 x MAN TCA77-21 and high load tuning." MAN Diesel & Turbo, 25-Jun-2013.
- [23] Dimitrios T. Hountalal, Antonis K. Antonopoulos, Nikolaos F. Sakellaridis, Georgios N. Zovanos, Efthimios G. Pariotis, and Roussos G. Papagiannakis, (2012). "Computational Investigation of the Effect of Ambient Conditions on the Performance of Turbocharged Large Scale Marine Diesel Engines," presented at the The 25th international conference on efficiency, cost, optimization, simulation and environmental impact of energy systems, Perugia, Italy.
- [24] MAN Diesel & Turbo, "Soot Deposits and Fires in Exhaust gas Boilers." .
- [25] MAN Diesel & Turbo, *MAN B&W S70ME-C8-TII Project Guide Electronically Controlled Two-stroke Engines*, 1st Edition. MAN Diesel & Turbo, 2010.
- [26] A. Domingues, H. Santos, and M. Costa, (2013). "Analysis of vehicle exhaust waste heat recovery potential using a Rankine cycle," *Energy*, 49, 71–85
- [27] A. Bejan, G. Tsatsaronis, and M. Moran, (1995). *Thermal Design and Optimization*, 1st ed. Wiley-Interscience.
- [28] MAN Diesel & Turbo, *MAN B&W L60ME-C8-TII Project Guide Electronically Controlled Two-stroke Engines*, 1st Edition. MAN Diesel & Turbo, 2010.

- [29] Perihan Sekmen and Zeki Yılbaşı, (2011). "Application of Energy and Exergy Analyses To A CI Engine Using Biodiesel Fuel," *Math. Comput. Appl.*, 16:4, 797–808.
- [30] K. D. Bartle, J. M. Jones, A. R. Lea-Langton, M. Pourkashanian, A. B. Ross, J. S. Thillaimuthu, P. R. Waller, and A. Williams, (2013). "The combustion of droplets of high-asphaltene heavy oils," *Fuel*, 103, 835–842.
- [31] MAN Diesel & Turbo, MAN B&W S35ME-B9-TII Project Guide Electronically Controlled Two-stroke Engines, 1st Edition. MAN Diesel & Turbo, 2010.
- [32] MAN Diesel & Turbo, "TCS-PTG." MAN Diesel, 19-Mar-2012.
- [33] Y. A. Cengel and M. A. Boles, (2005). *Thermodynamics: An Engineering Approach w/ Student Resources DVD*, 5th ed. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
- [34] Reza Rowshanzadeh, "Performance and cost evaluation of Organic Rankine Cycle different technologies," *Kungl Tekniska Högskolan*.
- [35] B. T. Liu, K. H. Chien, and C. C. Wang, (2004). "Effect of working fluids on organic Rankine cycle for waste heat recovery," *Energy*, 29:8, 1207–1217.
- [36] J. C. Bruno, J. López-Villada, E. Letelier, S. Romera, and A. Coronas, (2008). "Modelling and optimisation of solar organic Rankine cycle engines for reverse osmosis desalination," *Appl. Therm. Eng.*, 28:17–18, 2212–2226.
- [37] B. F. Tchanche, G. Papadakis, G. Lambrinos, and A. Frangoudakis, (2009). "Fluid selection for a low-temperature solar organic Rankine cycle," *Appl. Therm. Eng.* 29:11–12, 2468–2476, Aug. 2009.
- [38] Y. Dai, J. Wang, and L. Gao, (2009). "Parametric optimization and comparative study of organic Rankine cycle (ORC) for low grade waste heat recovery," *Energy Convers. Manag.*, 50:3, 576–582.
- [39] U. Drescher and D. Brüggemann, (2007). "Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants," *Appl. Therm. Eng.*, 27:1, 223–228. [40] Bruno Vanslambrouck, "Turn waste heat into electricity by using an Organic Rankine Cycle," presented at the 2nd European Conference on Polygeneration, Tarragona, Spain, 31-Mar-2011.



Strategic Research Academy ©

© Copyright of Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology (JoCREST) is the property of Strategic Research Academy and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.