Analytical Study of Applying the Energy Efficiency Design Index (EEDI) On an Existing Ship

Wehad HATEM*

(Received 3 / 8 / 2022. Accepted 18 / 9 / 2022)

□ ABSTRACT □

The International Maritime Organization (IMO) has adopted a new regulation to prevent air pollution from ship emissions which concentrated on reducing green gas emissions from shipping for existing ships, and energy efficiency measures for the new ship. This new regulation imposes a measure which is called Energy Efficiency Design Index (EEDI). This new measure aims to reduce CO2emissions and global environmental pollution by using fewer fossil fuels and less greenhouse gas emissions. EEDI is an implementation for all new ships larger than 400 GT. In this paper, one of the container ships of the Turkish maritime trade fleet was analyzed in terms of energy efficiency performance. The ship`s energy efficiency was found as an energy-efficient. Some practical proposals have been presented to improve ship`s energy efficiency in the short, medium and long term. This study is the first one which focused on one of the container ship energy efficiency.

For Exempel, a plan called the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) had been developed, and become mandatory for all vessels with GRT > = 400, This plan includes a set of actions to improve the ship's energy efficiency, such as planed maintenance of machinery and equipment. Operational management of Steam Boiler onboard the ship, regulate the operation of the generators so that the unnecessary generator is stopped in a timely manner, cleaning the hull of the ship of the fouling, cleaning the propeller, suitable immersion for the propeller, The suitable trim of the ship, choosing the most suitable navigational route, as well as behavioral procedures such as not lighting unoccupied spaces if not necessary and managing the operation of air conditioners and isolating accommodation rooms well... etc

Keywords:. International Maritime Organization (IMO), New Ship, Greenhouse Gases GHG, Energy Efficiency Design Index EEDI, Ship Energy Efficiency Management Plan SEEMP, Gross Tonnage GRT.

* **M.Sc. Marine Engineering, Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. whatem84@gmail.com**

دراسة تحليلية لتطبيق الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة EEDI على سفينة قائمة

وهاد حاتم*

(تاريخ الإيداع 3 / 8 / 2022. قُبِل للنشر في 18/ 9 / 2022)

□ ملخّص □

لقد اعتمدت المنظمة البحرية الدولية International Maritime Organization (IMO) مجموعة جديدة من التشريعات التي تحد من تلوث الهواء الناتج عن الانبعاثات التي تخلفها السفن أثناء عملها، والتي ركزت على التقليل من انبعاثات الغازات الدفيئة من السفن وذلك بالنسبة للسفن الموجودة في الخدمة existing ships، وكذلك اعتماد معايير كفاءة الطاقة بالنسبة للسفن الجديدة new ships.

فرضت هذه التشريعات الجديدة مجموعة من التدابير والتي اصطلح على تسميتها بالدليل التصميمي لكفاءة الطاقة Energy Efficiency Design Index (EEDI). وتهدف هذه التدابير إلى التقليل من انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون CO2 وكذلك من التلوث البيئي العالمي عن طريق استخدام كميات أقل من الوقود الأحفوري وكذلك التقليل من انبعاث الغازات الدفيئة Greenhouse Gas Emissions.

تم تطبيق الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة EEDI على السفن التي لها GRT>400.

في هذه المقالة، سيتم تحليل أداء سفينة حاويات من منظور أداء كفاءة الطاقة. حيث وجد الباحث أن هذه السفينة تعتبر ذات كفاءة طاقة. وقد تم تقديم مجموعة من المقترحات لتحسين كفاءة الطاقة على المدى القريب والمدى المتوسط والمدى البعيد.

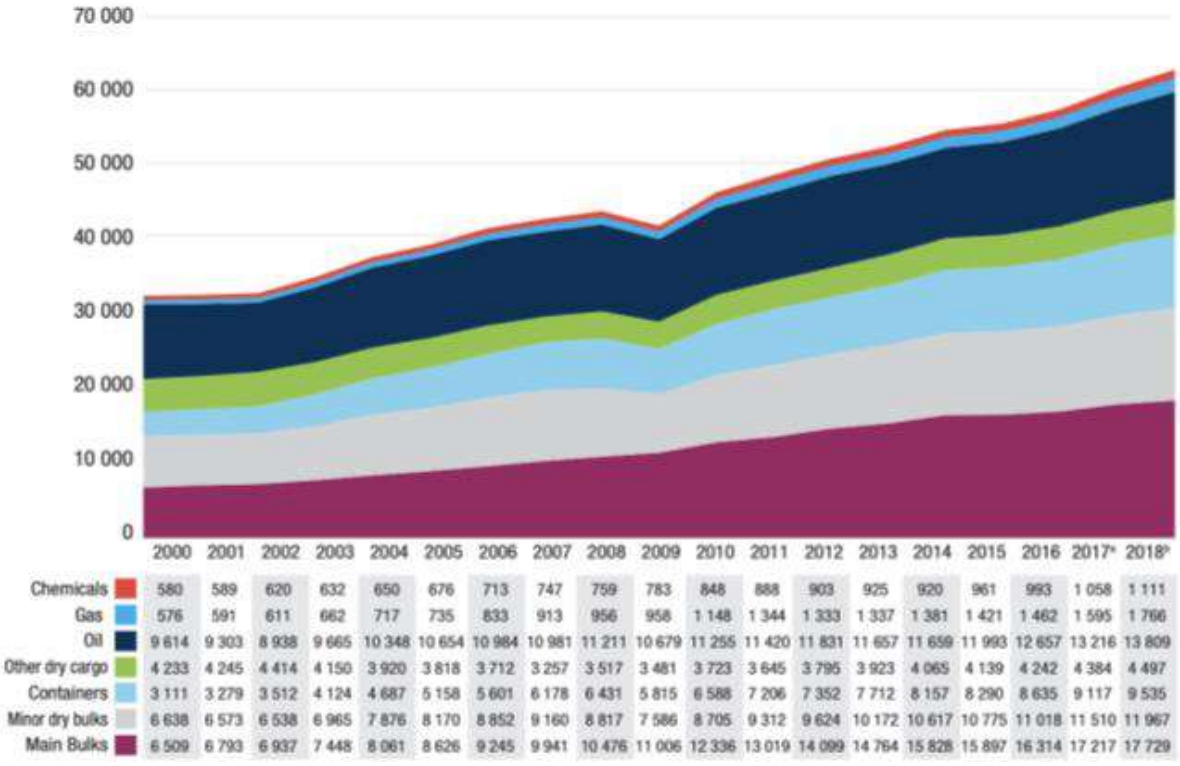
على سبيل المثال، تم وضع خطة تسمى خطة إدارة كفاءة الطاقة للسفينة Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)، وقد أصبحت إلزامية لجميع السفن التي لها محمول قائم GRT>=400، حيث تتضمن هذه الخطة فيما تتضمنه مجموعة من الإجراءات لتحسين كفاءة الطاقة للسفينة كالصيانة المنظمة للآلات والآليات، إدارة تشغيل مولد البخار على متن السفينة، تنظيم تشغيل مولدات الكهرباء بحيث يتم إيقاف المولد غير اللازم في الوقت المناسب، تنظيف الحشف عن بدن السفينة، تنظيف الرفاص، الغمر المناسب للرفاص، الميلان الطولي المناسب للسفينة، اختيار الطريق الملاحي الأنسب، بالإضافة إلى الإجراءات السلوكية كعدم إنارة الأماكن غير المشغولة بالأفراد في حال عدم ضرورة ذلك وإدارة تشغيل مكيفات الهواء وعزل الغرف بشكل جيد... إلخ.

الكلمات المفتاحية: المنظمة البحرية الدولية IMO، السفينة الجديدة، الغازات الدفيئة GHG، الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة EEDI، خطة إدارة كفاءة الطاقة SEEMP، المحمول القائم للسفينة GRT.

* **ماجستير هندسة بحرية، قسم الهندسة البحرية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية. سورية. whatem84@gmail.com**

مقدمة:

تماشيا مع الأهداف المحددة وفقا لاتفاقية الحد من التغير المناخي وكذلك بروتوكول طوكيو، اعتمدت المنظمة البحرية الدولية تشريعات جديدة لمنع التلوث الهوائي الناجم عن الانبعاثات من السفن، وكذلك قامت بتطبيق القوانين المدرجة في الملحق السادس من لاتفاقية الدولية لمنع التلوث البحري MARPOL 73/78. ركزت هذه التشريعات الجديدة على التقليل من انبعاث الغازات الدفيئة من السفن الموجودة في الخدمة، وكذلك على التدابير الخاصة بالسفن الجديدة [1]. ووفقا لتقرير مؤتمر الأمم المتحدة للتجارة والتنمية -كما يعرف أيضاً باسم أونكتاد- UNCTAD 2018 (United Nations Conference on Trade and Development)، فإن كلا من سفن ناقلات البضائع الصب Bulk Carriers ، ناقلات البترول Tankers ، سفن الحاويات Containers ، سفن البضائع العامة General Cargo Ships وكذلك ناقلات الغاز هي من أكثر السفن كمصادر للتلوث بغاز ثاني أوكسيد الكربون وتقوم هذه الأنواع من السفن بعمل انبعاثات تشكل الغالبية العظمى للانبعاثات الناجمة من النقل البحري (الشكل 1) [2]. تتطابق هذه الأنواع من السفن بشكل كبير مع التصنيف المعرف من قبل لجنة حماية البيئة البحرية MEPC التابعة للمنظمة البحرية الدولية والصادر عام 2011.



الشكل (1)، الملوثات الرئيسية بغاز CO_2 في النقل البحري (UNCTAD, 2018)

وقد شددت العديد من الدراسات على أن الانبعاثات الناجمة عن السفن هي انبعاثات ذات آثار ضارة بشكل كبير على صحة الإنسان والبيئة، ولا بد من اتخاذ تدابير ملموسة للحد من آثارها.

وعلى الرغم من وجود العديد من الدراسات حول انبعاثات غازات الاحتراق من السفن، إلا أن الأبحاث في مجال كفاءة الطاقة لاتزال قليلة نسبيا.

اعتمدت المنظمة البحرية الدولية معايير جديدة في العام 2011، مع مجموعة من الابتكارات التقنية، وكذلك معايير الأداء والتي من شأنها أن تزيد من كفاءة الطاقة للسفن وذلك اعتبارا من المرحلة التصميمية، وقد سميت هذه المعايير الجديدة بالدليل التصميمي لكفاءة الطاقة (EEDI)، والذي يهدف إلى التقليل من انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون، وكذلك التلوث البيئي العالمي، وذلك باستخدام كميات أقل من الوقود الأحفوري وكذلك انبعاثات أقل للغازات الدفيئة.

تم تطبيق الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة على جميع السفن الجديدة والتي لها GRT > 400، واعتمادا على هذا المعيار الجديد، فإن السفن الجديدة ستكون أكثر كفاءة من حيث الطاقة، وذلك بتحسين البدن للحالة المثالية وكذلك المحركات، الرفاصات، إلخ. حيث يفرض الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة حدا أدنى لاستخدام الطاقة، وكذلك حدا أعلى لانبعاث غاز ثاني أوكسيد الكربون لكل وحدة عمل نقل مقدرة بالـ (طن × ميل بحري) للأنواع المختلفة من السفن وتصاميمها وذلك ابتداء من مرحلة التصميم، حيث أنه كلما كانت قيمة الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة أقل، كلما كانت السفينة أكثر كفاءة من حيث الطاقة وكذلك انبعاثات أقل لغاز CO_2 من هذه السفينة. وقد أشارت العديد من الدراسات الحديثة أن معايير كفاءة الطاقة بمجموعها هي معايير قابلة للتطبيق ومفيدة من ناحية تقليل انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون.

أهمية البحث وأهدافه:

تعتبر حسابات EEDI للسفينة من القضايا المهمة جدا فيما يتعلق بتحليل انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون وفهم كفاءة الطاقة للسفينة وتأثيراتها على البيئة. قدّر Ancic and Šestan (2015) [1] انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون من أجل ناقلات بضائع سائبة اعتمادا على سياسة تغير معاملات التخفيض الحالية. كما تمت مناقشة بعض الأساليب والسياسات المبتكرة الأخرى وتم تقدير كمية غاز ثنائي أوكسيد الكربون المنبعثة في كل سيناريو. كما قام [2] بدراسة تأثير الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة لناقلة نفط خام كبيرة على انبعاث غاز ثاني أوكسيد الكربون. ووجدوا جميعهم أنه ومن خلال دورة السوق، فإن تطبيق الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة سوف يزيد بنسبة طفيفة من انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون لناقلات الخام الكبيرة، وذلك نسبة لعدم وجود أي تنظيم في هذا المجال، كما وجدوا أن فرض ضريبة بقيمة 50 دولارا أمريكيا لكل طن من غاز ثاني أوكسيد الكربون سيخفض انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون لناقلات الخام الكبيرة لأكثر من 6% بالنسبة لدورة السوق ، وبما أن الملحق السادس للاتفاقية الدولية لمنع التلوث البحري MARPOL أصدرت تعديلات تفضي بإلزامية تطبيق دليل لكفاءة الطاقة للسفن المبينة قبل 2013 (EEXI)، فإن أهمية هذا البحث تأتي لتستعرض مدى إمكانية أن تكون كفاءة الطاقة وفق معيار EEDI مناسبة ومتحققة بالنسبة للسفن التي لا يطبق عليها هذا المعيار وهي السفن المبنية قبل 2013.

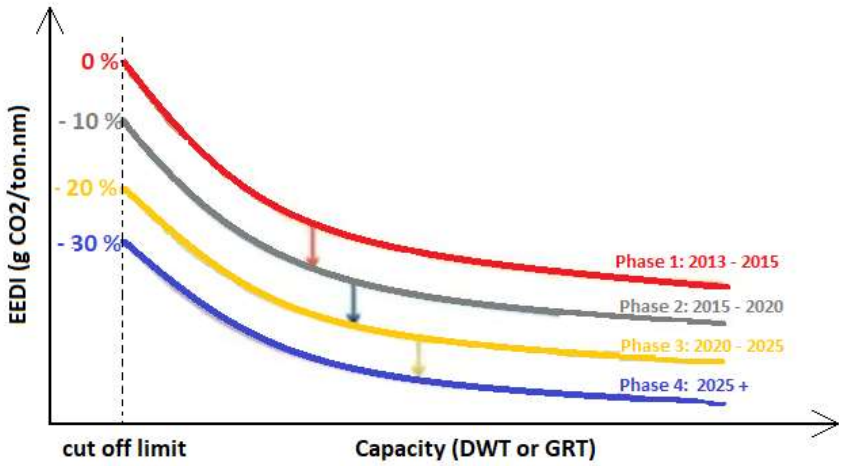
طرائق البحث ومواده:

يتم تطبيق الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة EEDI على أنواع معينة من السفن والتي لها النصيب الأكبر في استهلاك الوقود في صناعة العمل البحري، ويهدف تطبيق هذا الدليل على جعل 72% من الأسطول البحري ذو كفاءة طاقة جيدة.

تستثنى السفن ذات محطات الدفع (ديزل–كهربائية) ومحطات الدفع البخارية والهجينة من تطبيق هذا الدليل إلا إذا كانت هذه السفن من نوع سفن الركاب السياحية Cruse Passenger Ships أو ناقلات الغاز الطبيعي المسال LNG Carriers وذلك بحسب قرار لجنة حماية البيئة البحرية RESOLUTION MEPC.308(73).

تعتبر السفن التي لها أنظمة دفع من نوع (ديزل–كهربائية، كهربائية، بخارية وهجينة) غير مشمولة في تطبيق EEDI. حيث يتم تطبيق EEDI على السفن التالية:

ناقلات النفط Oil tankers، ناقلات البضائع السائبة Bulk carriers، ناقلات الغاز Gas carriers، سفن البضائع العامة General cargo، سفن الحاويات Container Ships، سفن البرادات Refrigerated cargo، ناقلات البضائع المشتركة Combination carriers، سفن الدحرجة Roro cargo ship، سفن الركاب والدحرجة Roro passenger ship، سفن الركاب السياحية Cruise passenger ship



الشكل (2) معامل التخفيض الذي يبين القيم الحدية لـ EEDI (IMO 2010)

دخل تطبيق EEDI حيز التنفيذ اعتبارا من 1 كانون الثاني 2013، كما تم وضع خطط لكفاءة الطاقة كل خمس سنوات اعتمادا على التقنيات الحديثة والحلول التشغيلية للسفن الجديدة. وبحسب البيانات الموضحة في الشكل (2) فإن أطوار وحدود تطبيق معايير الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة EEDI تهدف إلى التقليل من قيمة الدليل التصميمي المطلوب بقيمة 10% بحلول عام 2020 وإلى 30 % بحلول عام 2030 كما تتجه المنظمة البحرية الدولية إلى وضع الخطط لخفضه إلى 50% بحلول عام 2050 [4].

طريقة الحساب

تم إدراج النموذج الحسابي للدليل التصميمي لكفاءة الطاقة في الملحق السادس من الاتفاقية الدولية لمنع التلوث البحري MARPOL Annex IV وذلك وفقا للتوجيه الصادر عن لجنة حماية البيئة البحرية MEPC في المنظمة البحرية الدولية IMO في تعميمها رقم 681 في الاجتماع الذي عقد في المنظمة البحرية الدولية عام 2011 والذي دخل حيز التطبيق في الأول من كانون الثاني عام 2013.

تتألف صيغة حساب المعامل التصميمي لكفاءة الطاقة من المعادلات التالية: [5]

$$EEDI = \frac{P \times SFC \times C_f}{DWT \times V_{ref}} \quad (1)$$

حيث أن:

P: هي 70% من استطاعة المحرك (سواء محرك رئيسي أو مساعد) مقدرة بالـ KW

SFC: الاستهلاك النوعي للوقود، وهو كمية الوقود اللازمة لإنتاج كيلواط واحد من الاستطاعة خلال ساعة واحدة (Specific Fuel Consumption)

C_f: معامل الانبعاث للوقود المستخدم على السفينة (الجدول رقم 1) [5]

DWT: الوزن الميت (سعة السفينة)

V_{ref} : سرعة السفينة بالعقدة

الجدول (1) المحتوى الكتلي للكربون في الوقود وقيم معامل C_f لأنواع مختلفة من الوقود

Type of fuel	Reference	Carbon content	C_F (t-CO_2/t-Fuel)
1 Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMB	0.8744	3.206
2 Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0.8594	3.151
3 Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0.8493	3.114
4 Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane	0.8182	3.000
	Butane	0.8264	3.030
5 Liquefied Natural Gas (LNG)		0.7500	2.750
6 Methanol		0.3750	1.375
7 Ethanol		0.5217	1.913

الوصف التفصيلي لمعادلة حساب EEDI تم تقديمه من قبل لحنة حماية البيئة البحرية في المنظمة البحرية الدولية بالقرار MEPC 245 (66) والذي يتضمن معاملات وثوابت مختلفة. عندما نقوم بحساب قيمة EEDI وفق المعادلة (1) من أجل سفينة معينة، عندئذ يمكننا إيجاد قيمة $EEDI_A$ وهي القيمة التي يتم الحصول عليها من بيانات السفينة. أما القيمة المطلوبة $EEDI_R$ فلابد أن تكون أكبر من قيمة $EEDI_A$، وفي حال تحقق هذا الشرط فتعتبر السفينة ذات كفاءة من حيث الطاقة. يمكننا حساب قيمة $EEDI_R$ من المعادلة التالية: [6]

$$EEDI_R = \left(1 - \frac{x}{100}\right) Reference\ Line\ Value \quad (2)$$

حيث أن x هو معامل تخفيض يزداد بازدياد سنة صنع السفينة ويمكن الحصول عليه من الجدول (2) وهو يتغير بناء على القيمة المرجعية $Reference\ Line\ Value$ يمكن الحصول عليها من المعادلة التالية: [6]

$$Reference\ Line\ Value = ab^{-c} \quad (3)$$

بالنسبة لقيم الثوابت (a, b, c) في المعادلة (3) فهي تختلف حسب نوع السفينة وحسب الوزن الميت ويمكن الحصول عليها من الجدول رقم (3)

بيانات السفينة

السفينة التي تمت عليها الدراسة هي سفينة حاويات

IMO No. 9126924

السفينة بناء عام 1997 برقم بدن 109

الطول 136.8 م

العرض 22.7 م

الغاطس 7.7 م

الوزن الميت 12205 طن

المحمول القائم 10384

المحمول الصافي 5070

نوع المحرك الرئيسي MITSUBISHI ثنائي الشوط

الاستطاعة المستمرة العظمى MCR = 10092 KW

سرعة الخدمة 16 عقدة

الجدول رقم (2) قيم معامل التخفيض الخاص بـ $EEDI_R$ للسفن الذي يطبق عليها هذا الدليل

Ship Type	Size	Phase 0 1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024	Phase 3 1 Jan 2025 and onwards
Bulk carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Gas carrier	10,000 DWT and above	0	10	20	30
	2,000 – 10,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Tanker	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Container ship	15,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
General Cargo ships	15,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 –	n/a	0-10*	0-15*	0-30*

	15,000 DWT				
Refrigerated cargo carrier	5,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 5,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Combination carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
LNG carrier***	10,000 DWT and above	n/a	10**	20	30
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)***	10,000 DWT and above	n/a	5**	15	30
Ro-ro cargo ship***	2,000 DWT and above	n/a	5**	20	30
	1,000 – 2,000 DWT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*
Ro-ro passenger ship***	1000 DWT and above	n/a	5**	20	30
	250 – 1,000 DWT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*
Cruise passenger ship*** having non-conventional propulsion	85,000 GT and above	n/a	5**	20	30
	25,000 – 85,000 GT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*

الجدول (3) الثوابت الخاصة بقيم الخط المرجعي الداخلة في حساب EEDI

Ship type defined in regulation 2		**a**	**b**	**c**
2.25	Bulk carrier	961.79	DWT of the ship	0.477
2.26	Gas carrier	1120.00	DWT of the ship	0.456
2.27	Tanker	1218.80	DWT of the ship	0.488
2.28	Container ship	174.22	DWT of the ship	0.201
2.29	General cargo ship	107.48	DWT of the ship	0.216
2.30	Refrigerated cargo carrier	227.01	DWT of the ship	0.244

2.31	Combination carrier	1219.00	DWT of the ship	0.488
2.33	Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)	(DWT/GT)-0.7 · 780.36 where DWT/GT<0.3 1812.63 where DWT/GT≥0.3	DWT of the ship	0.471
2.34	Ro-ro cargo ship	1405.15	DWT of the ship	0.498
		1686.17footnote	DWT of the ship where DWT≤17,000footnote 17,000 where DWT > 17,000footnote	
2.35	Ro-ro passenger ship	752.16	DWT of the ship	0.381
		902.59footnote	DWT of the ship where DWT≤10,000footnote 10,000 where DWT > 10,000footnote	
2.38	LNG carrier	2253.7	DWT of the ship	0.474
2.39	Cruise passenger ship having non-conventional propulsion	170.84	GT of the ship	0.214

النتائج والمناقشة:

النتائج:

لقد تم حساب القيمة المرجعية لـ EEDI وكذلك القيمة التي تم الحصول عليها لـ EEDI لهذه السفينة باستخدام المعادلتين 1 و 2 من البيانات التي تم الحصول عليها من السفينة. قيمة EEDI التي تم الحصول عليها يجب أن تكون أقل من القيمة المرجعة لـEEDI كي تكون السفينة ذات كفاءة بالنسبة للطاقة.

بالعودة إلى بيانات السفينة، فإن القيمة المرجعية لـ EEDI يمكن حسابها كالتالي:

$$Reference\ Line\ Value = a \times b^{-c} = 174.22 \times 12205^{-0.201} = 26.285\ {}^{g\,CO_2}/_{ton.Nm}$$

إن قيمة EEDI يجب أن يكون كما ذكر سابقا أقل أ ويساوي من قيمة EEDI التي يتم الحصول عليها.

من أجل سفن الحاويات، فإن 70% من الوزن الميت (DWT) يستخدم كسعة من أجل حساب الاستطاعة P_{ME} (حيث أن الدليل ME يدل على المحركات الرئيسية) [5]. ومن أجل السفينة المدروسة، فإن قيمة استطاعة المحرك تبلغ 7064 KW. بينما الاستطاعة المستمرة القصوى (MCR) فهي فوق الـ 10000 KW، ومنه يمكن حساب قيمة الاستطاعة P_{AE} (حيث أن الدليل AE يدل على المحركات المساعدة) على النحو التالي: [5]

$$P_{AE} = (0.025 \times MCR) + 250 = 502.3\ KW$$

تستخدم السفينة الوقود الثقيل (HFO) والذي له معامل انبعاث يبلغ $C_F = 3.1144\ (ton\ CO_2/ton\ fuel)$.
الاستهلاك النوعي للوقود في المحرك الرئيسي يعادل SFC = 190g/KWh وفي المحركات المساعدة SFC = 215 g/KWh، وبالتالي فإن حسابات كل من EEDI الذي يتم الحصول عليه و EEDI المطلوب يتم على النحو التالي: [5]

$$EEDI_{attained} = \frac{(P_{ME} \times SFC_{ME} \times C_{F_{ME}}) + (P_{AE} \times SFC_{AE} \times C_{F_{AE}})}{DWT \times V_{ref}}$$
$$= \frac{(7064\times190\times3.1144)+(502\times215\times3.1144)}{12205\times16} = 23.125\ gCO_2/ton.Nm$$

$$EEDI_{required} = \left(1 - \frac{reduction\ factor}{100}\right) \times Referance\ Line\ Value$$

إن قيمة معامل التخفيض تزداد حسب سنة بناء السفينة

فالسفن المبنية بين عامي 2013 و 2015 يكون لها معامل تخفيض يعادل الصفر

أما السفن المبنية بين عامي 2015 و 2020 فلديها معامل تخفيض يعادل 10

وعليه وبما أن السفينة المدروسة تم بناؤها عام 1997 فيمكن أن نعتبر أن معامل التخفيض لها يعادل الصفر وبالحساب نجد

$$EEDI_{required} = \left(1 - \frac{0}{100}\right) \times 26.285 = \ 26.285\ gCO_2/ton.Nm$$

ومنه نجد أن :

$$EEDI_{attained} \leq EEDI_{required}$$

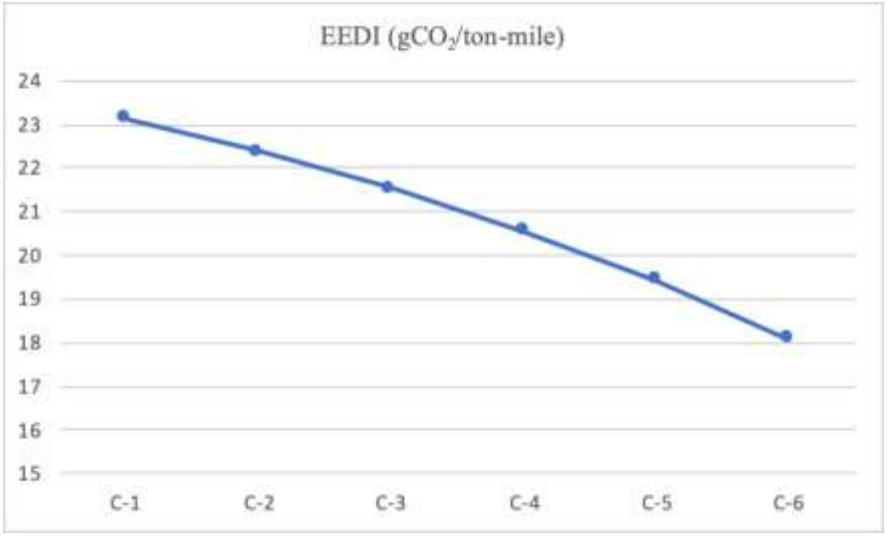
أي أن السفينة تعتبر ذات كفاءة من ناحية الطاقة ولا ينتج عنها انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون أقل من الحدود العظمى المطلوبة.

نلاحظ أن هذه السفينة لا تتجاوز القيم المطلوبة لـ EEDI كما انه لا يطلب منها تطبيق معايير تخفيض لقيم EEDI.

يوضح الجدول (4) الحسابات المختلفة لـ EEDI حيث صنفت القيم وفق العمود (رمز الحالة) تبعا لحمل المحرك الرئيسي والشكل (3) يظهر هذه القيم تبعا لحمل المحرك. ومنه يمكن أن نستنتج أن السفينة هدف الدراسة توافق معايير وحدود الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة.

الجدول (4). جدول الحسابات تبعا لحمل المحرك

السرعة (عقدة)	DWT (tons)	C_f	استطاعة الخرج على المحرك (KW)	رمز الحالة	حمل المحرك الرئيسي
16	12205	3.114	10090	C-1	(max) %100
15	12205	3.114	9083	C-2	90%
14	12205	3.114	8074	C-3	80%
13	12205	3.114	7064	C-4	70%
12	12205	3.114	6055	C-5	60%
11	12205	3.114	5046	C-6	50%



الشكل (3) التمثيل البياني لقيم $EEDI_A$ وفقا لحمل المحرك

من الجدول رقم (4) والشكل رقم (3) يمكن أن نستنتج أن قيم $EEDI_{Attained}$ تنقص بتناقص السرعة. ويمكن أن نلاحظ أن حمل المحرك ينقص كذلك بنقصان السرعة، ومنه نستنتج أن تخفيض السرعة يعطي أداء أفضل إذا ما تم ذلك قياسا على $EEDI$، حيث أن السفينة تعمل بأفضل كفاءة بالنسبة للطاقة وكذلك تصدر انبعاثات أقل من ثاني أوكسيد الكربون. غير أن السفينة لابد لها أن تبحر بسرعة وفقا للسرعة الاقتصادية، لذلك فإن تخفيض السرعة (عن طريق تخفيض الاستطاعة العظمى للمحرك بطريقة محدد الاستطاعة العظمى المتسمرة P_{EPL}(Engine Power Limitation)) لايتم بشكل عشوائي وليس هو الخيار الوحيد لتخفيض الدليل التصميمي الفعلي لكفاءة الطاقة، حيث إذا كان هذا التخفيض سيؤثر بشكل كبير يؤدي إلى الانخفاض الكبير للسرعة عن السرعة الاقتصادية فإن هذا سيؤدي حتما إلى ضرر مادي لمالك السفينة، وتتم معالجة هذا الأمر بالاستعانة ببعض الطرق الأخرى لتخفيض معامل $EEDI_{att}$ وذلك عن طريق تغيير الرفاص مثلا، والذي يؤدي بدوره إلى الحصول على سرعات أعلى عند نفس الاستطاعة، أي زيادة في المقام في المعادلة التي تحسب $EEDI_{att}$ مع بقاء البسط ثابت، ومنه ينقص المعامل المذكور إلى القيمة المطلوبة.

المناقشة:

في هذه الدراسة، تم تحليل سفينة حاوية من منطلق أدائها من حيث كفاءة الطاقة. وتبعا للحسابات، فقد وجدت السفينة ذات كفاءة بالنسبة للطاقة. لقد تم بناء السفينة عام 1997 وهي لا تخضع للقوانين الخاصة بالدليل التصميمي لكفاءة الطاقة $EEDI$ المفروض من قبل المنظمة البحرية الدولية وفق اتفاقية MARPOL. غير أن خطة إدارة كفاءة الطاقة للسفينة SEEMP تغطي جميع أنواع السفن، وبالتالي فإن معايير هذه الخطة تطبق للمحافظة على كفاءة الطاقة لمختلف أنوع السفن بغض النظر عن سنة بنائها. يمكن أن تطبق معايير خطة إدارة كفاءة الطاقة من أجل أداء أفضل للسفن من حيث كفاءة طاقتها، وهذه المعايير، ستساهم في تطوير كفاءة الطاقة خلال المدى القريب، المتوسط والبعيد، ويمكن تحديد هذه المعايير بما يلي:

- استخدام أنواع بديلة من الوقود مثل الغاز الطبيعي المسال والغاز البترولي المسال، حيث يمكن أن يستخدم وقود الغاز والذي سيحقق تخفيضا يبلغ 3-4%.

- يمكن من أجل الحصول على مقاومات أقل، تحسين بدن السفينة وذلك بإجراء مراجعات لدراسات تحسين البدن من حيث المقاومة، كذلك الطلاء الموجود تحت سطح الماء.
- تخفيض سرعة السفينة يمكن أن يخفض من قيم $EEDI$ إلى مايقارب (10−15%)
- يجب الاهتمام بنظافة كل من الرفاص والبدن والقيام بتنظيفهما دوريا ماشأنه أن يخفض من قيمة $EEDI$ بحدود (5−10%)
- يجب تطبيق نظام استعادة الطاقة الضائعة من غازات العادم سواء للمحرك الرئيسي أو للمحركات المساعدة ما شأنه أن يخفض قيم $EEDI$ بحدود (15−20 %)

الاستنتاجات والتوصيات:

يوصي هذا البحث بضرورة العمل على إيجاد الآليات لتطبيق معيار الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة ليس فقط على السفن الجديدة وإنما على السفن التي تم بناؤها قبل 2013/1/1، ومن الآليات المقترحة هو إدخال دورات تدريبية للملاحين تندرج تحت الاتفاقية الدولية لمعايير التدريب ومنح الشهادات والمناوبة لجميع الملاحين STCW، تختص هذه الدورات بالتوعية بالسلوكيات التي من شأنها تحسين كفاءة الطاقة للسفينة كالاستغناء عن مستهلكات الطاقة الكهربائية في حال عدم الحاجة لها. كما يوصي باستخدام الطاقات البديلة للأغراض المعيشية في السفينة مما من شأنه تخفيض استهلاك الوقود الأحفوري وبالتالي رفع كفاءة الطاقة للسفينة.

References:

[1] Tokuşlu, A. (2019). Analysis of ship-borne air emissions in the Istanbul Strait and presenting its effects. (PhD thesis). Istanbul University, Istanbul, Turkey

[2] Jack, D. (2011). The impact of the energy efficiency design index on very large crude carrier design and CO2 emissions, Ships and Offshore Structures, 6:4, 355-368, DOI: 10.1080/17445302.2010.546651.

[3] UNCTAD 2018 (United Nations Conference on Trade and Development)

[4] Ancic, I., Šestan, A. (2015). Influence of the required EEDI reduction factor on the CO2 emission from bulk carriers. Energy Policy 84 (2015) 107–116. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.04.031.

[5] Resolution MEPC.304(72) - Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships - (Adopted on 13 April 2018)

[6] Resolution MEPC.308(73) - 2018 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships - (adopted on 26 October 2018)

[7] MARPOL - International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, Annex VI - Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships, Chapter 4 - Regulations on Energy Efficiency for Ships, Regulation 24 - *Required EEDI.*

[8] Deniz, C., Kılıç, A. (2009). Estimation and assessment of shipping emissions in the region of Ambarlı Port, Turkey. Environ. Prog. Sustain. Energy 107e115. http://dx.doi.org/10.1002/ep.10373.

[9] Bayirhan, I., Mersin, K., Tokuşlu, A., Gazioğlu, C., (2019). Modelling of Ship Originated Exhaust Gas Emissions in the Istanbul Strait. International Journal of Environment and Geoinformatics, 6(3): 238-243 https://doi.org/10.30897/ijegeo.641397.

[10] European Environment Agency (EEA). (2013). The Impact of International Shipping on European Air Quality and Climate Forcing. EEA, Copenhagen, p. 88.
[11] Eyring, V., Isaksen, I., Berntsen, T., Collins, W., Corbett, J., Endresen, O., Grainger, R., Moldanova, J., Schlager, H., Stevenson, D. (2009). Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping. Atmospheric Environment 44 (2010) 4735–4771. http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.059.
[12] International Maritime Organization (IMO). (2012). Interim guidelines for the calculation of the coefficient fw for decrease in ship speed in a representative sea condition for trial use. MEPC.1/Circ.796.
[13] Attah, E.E., Bucknall, R. (2015). An analysis of the energy efficiency of LNG ships powering options using the EEDI. Ocean Engineering 110 (2015) 62–74.http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.09.040
[14] MEPC (2011). Report of the Marine Environment Protection Committee on its Sixty-Second Session, MEPC 62/24, London, UK.
[15] MEPC 62/6/4. (2011). Marine Environment Protection Committee, Consideration and Adoption of Amendments to Mandatory Instruments, Calculation of Parameter for determination of EEDI reference values, 2011.
[16] MEPC 66/21/Add.1, Annex 5. (2014). Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships, 2014.
[17] MEPC Resolution 245 (66). (2014). Guideline on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships, 2014.
[18] MEPC.203(62). (2011). 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.
[19] Mersin, K. (2020). A New Method for Calculating Fuel Consumption by Using Speed Loss Function. International Journal of Environment and Geoinformatics, 7 (1), 64-67, DOI: 10.30897/ijegeo.700557
[20] Tien, A.T. (2015). Calculation and Assessing the EEDI Index in the Field of Ship Energy Efficiency for M/V Jules Garnier. Journal of Marine Science: Research & Development, 6(6), DOI: 10.4172/2155-9910.1000212.
[21] United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2018). Review of Maritime Transport. UNCTAD/RMT/2018. ISBN 978-92-1-112928-1
[22] Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., Vlieger, I.D., Aardenne, J.V. (2014). Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. Atmos. Environ. 90: 96-105, DOI: /10.1016/j.atmosenv.2014.03.046.
[23] Wang, C., Corbett, J.J., Firestone, J. (2008). Modeling energy use and emissions from North American shipping: application of ship traffic, energy and environment model. Environmental Science & Technology 42 (1), 193–199.
[24] Zakaria, N.M.G., Rahman, S. (2016). Energy Efficiency Design Index (EEDI) for Inland Vessels in Bangladesh. Procedia Engineering 194: 362 – 369. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.08.158.