

Study Of the Effect of Propeller Change on The Energy Efficiency of The JBC Bulk Carrier Ship

Dr. Rami Hawa*
Dr. Nawar Abbas**
Wehad Hatem***

(Received 6 / 11 / 2024. Accepted 23 / 12 / 2024)

□ ABSTRACT □

In this work, the effect of the propeller type on the energy efficiency of the bulk carrier JBC was studied. The CFD technique was used to achieve this purpose, where the URANS (Unsteady RANS Averaged Navier Stokes Equation) equations and the $k-\omega$ SST turbulence model were used to solve the Navier-Stokes equations. The bulk carrier JBC, the MP687 and VP1304 propellers were chosen for this study, due to the availability of a large number of experimental results for this ship and propellers, which helps to verify the quality of the numerical results that will be obtained. At first, the calculations were performed on the ship alone without any appendages, then the open water test was conducted for each of the selected propellers, in order to calibrate the mesh and numerical settings. Then, the effect of changing the propeller on the energy efficiency of the ship was studied. The comparison between the numerical and experimental results helped in choosing the correct mesh and numerical settings that give results very close to reality. The results obtained confirmed that the type of the chosen propeller has a significant impact on the energy efficiency of the ship. The results showed that the MP687 propeller improves the energy efficiency by 38% compared to the VP1304 propeller at the same power provided to the propeller. This amount of improvement is very large and confirms the importance of conducting such a study in choosing the type of propeller for the ship.

Keywords: JBC bulk carrier, EEDI, MP687 propeller, VP1304 propeller, Fluent, CFD, K- ω SST.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor, Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: dr.ramimostafahawa@tishreen.edu.sy

** Associate Professor, Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: dr.nawarnabilabbas@tishreen.edu.sy

*** PhD Student, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: wehad.hatem@tishreen.edu.sy

دراسة تأثير تغيير الرفاص على كفاءة الطاقة لسفينة الصب JBC

د. رامي حوا*

د نوار عباس**

وهاد حاتم***

(تاريخ الإيداع 6 / 11 / 2024. قَبْلَ للنشر في 23 / 12 / 2024)

□ ملخص □

تم في هذا العمل دراسة تأثير تغيير الرفاص على كفاءة الطاقة لسفينة الصب JBC. تم استخدام تقنية الـ CFD من أجل تحقيق هذا الغرض، حيث تم استخدام معادلات الـ URANS (Unsteady RANS Averaged Navier Stocks Equation) والموديل الرياضي k- ω SST لحل معادلات نافيه ستوكس الناظمة للجريانات المعقدة. تم اختيار سفينة الصب JBC والرفاصات MP687 و VP1304 لإجراء هذه الدراسة، وذلك بسبب توفر كم كبير من النتائج التجريبية لهذه السفينة والرفاصات، والتي تساعد في التأكد من جودة النتائج الرقمية التي سيتم الحصول عليها. في بادئ الأمر إجراء الحسابات على السفينة لوحدها بدون أية ملحقات، ثم تم إجراء تجربة الماء المفتوح لكل من الرفاصين المختارين، وذلك بهدف معايرة الشبكة والإعدادات الرقمية. ليتم بعدها دراسة تأثير تغيير الرفاص على كفاءة الطاقة للسفينة. المقارنة بين النتائج الرقمية والنتائج التجريبية ساعد في اختيار الشبكة والإعدادات الرقمية الصحيحة والتي تعطي نتائج قريبة جدا من الواقع. أكدت النتائج التي تم الحصول عليها على أن نوع الرفاص المختار يؤثر بشكل كبير على كفاءة الطاقة للسفينة، حيث أثبتت النتائج أن الرفاص MP687 يحسن من كفاءة الطاقة بمقدار 38% بالمقارنة مع الرفاص VP1304 عند نفس الاستطاعة المقدمة للرفاص، هذا المقدار في التحسن يعتبر كبير جداً ويؤكد على أهمية إجراء مثل هذه الدراسة في اختيار نوع الرفاص الخاص بالسفينة.

الكلمات المفتاحية: ناقل الصب JBC، كفاءة الطاقة، الرفاص MP687، الرفاص VP1304، برنامج الـ Fluent، ديناميك الموائع الحسابية، موديل الاضطراب $K - \omega$ SST.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

الايمل: dr.ramimostafahawa@tishreen.edu.sy

** أستاذ مساعد - قسم الهندسة البحرية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. الايمل:

dr.nawarnabilabbas@tishreen.edu.sy

*** طالب دكتوراه - قسم الهندسة البحرية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. الايمل:

wehad.hatem@tishreen.edu.sy

مقدمة:

استجابة للمخاطر المتزايدة الناجمة عن زيادة استهلاك الوقود الأحفوري، قامت المنظمة البحرية الدولية بوضع استراتيجية مبدئية لتقليل انبعاثات الغازات الدفيئة (Green House Gases (GHG). تعتبر هذه الاستراتيجية المبدئية الحجر الأساس الذي تم وضعه في خارطة الطريق المعنية بتطوير استراتيجية شاملة للمنظمة البحرية الدولية لتقليل انبعاثات الغازات الدفيئة من السفن. وقد تم اعتماد خارطة الطريق هذه في الجلسة رقم 70 للجنة حماية البيئة البحرية MEPC والتي قررت اعتماد تطبيق الاستراتيجية بداية عام 2023.

تم ربط كفاءة الطاقة للسفينة بانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، حيث أن الكربون هو العنصر الأساسي المكون للوقود الأحفوري، وتتناسب انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون طردياً مع كمية الوقود الأحفوري المستهلكة، مع مراعاة اختلاف معامل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون تبعاً لنوع الوقود الأحفوري المستخدم، وهذا المعامل تم تحديده بالنسبة لأنواع مختلفة من الوقود في قرار لجنة حماية البيئة البحرية MEPC رقم 245 في جلستها رقم 66 والذي تم اعتماده في الرابع من نيسان عام 2014 [1]، كل ذلك بالنسبة لوحدة العمل المنجز والتي ترتبط ارتباطاً مباشراً بكمية البضاعة المنقولة والمسافة المقطوعة بواسطة السفينة، ومن أجل تحديد هذه الكفاءة تم وضع العديد من المعايير والمقاييس لكفاءة الطاقة. جميع هذه المقاييس تنتهي إلى نتيجة واحدة، كلما قل انبعاث غاز CO₂ - والذي يعني انخفاض استهلاك الوقود- بالنسبة للعمل المنجز من قبل السفينة، كلما ازدادت كفاءة الطاقة للسفينة.

حددت لائحة القوانين رقم 24 من الملحق السادس للاتفاقية الدولية لمنع التلوث البحري MARPOL 73/78 وتعديلاتها [2]، القيمة المطلوبة للدليل التصميمي لكفاءة الطاقة $EEDI_{required}$ ، وطريقة حساب هذا المعامل بناء على مجموعة من المعاملات والقيم المتعلقة بنوع السفينة وحمولتها، على النحو التالي:

$$EEDI_{required} = \left(1 - \frac{x}{100}\right) \times Reference Line Value \quad (1)$$

واشترطت لمنح السفينة الشهادة الدولية لمنع التلوث البحري IAPPC وكذلك الشهادة الدولية لكفاءة الطاقة IEEC أن يكون $EEDI_{attained} \leq EEDI_{required}$ بحيث أن:

$EEDI_{required}$: دليل كفاءة الطاقة التصميمي المطلوب، والذي يمثل أعلى قيمة مسموحة لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

$EEDI_{attained}$: دليل كفاءة الطاقة التصميمي الفعلي والذي يحدد من خلال بيانات السفينة ومستهلكات الوقود فيها قام Ančić وآخرون عام 2015 [3]، بدراسة تأثير معاملات التخفيض الخاصة بالدليل التصميمي لكفاءة الطاقة required EEDI على تخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من ناقلات البضائع الصب. حيث قام الباحثون في دراستهم بتقدير كمية غاز CO₂ المنبعثة من ناقلات البضائع الصب اعتماداً على سياسة تغير معامل التخفيض الحالية. بالإضافة إلى ذلك فقد أكد هؤلاء الباحثون بأنه يمكن تخفيض انبعاثات CO₂ عند تطبيق الإجراءات التشغيلية الأنسب. عندما يتم تطبيق هذه الإجراءات التشغيلية مع الإجراءات التصميمية الخاصة بمعيار EEDI فإن انبعاثات غاز CO₂ من ناقلات البضائع الصب عام 2040 ستكون بمقدار 246 مليون طن. وهو أقل بكثير من القيمة المتوقعة في حال عدم وجود القوانين النازمة لتقليل هذه الانبعاثات، ولكن هذه القيمة ستبقى أكبر بمقدار 30% بالمقارنة مع كمية الانبعاثات لعام 2020، مع العلم أنه من أجل تحقيق المستوى العالمي المتوازن لكمية الـ CO₂ والذي

يحدد بقيمة 550 ppm في الغلاف الجوي يجب ألا يزيد انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون في الـ 2040 عن 13% من قيمته في عام 2020.

اتخذت لجنة حماية البيئة البحرية في جلستها رقم (76) القرار رقم 332 [4]، والذي يتضمن توجيهات إلزامية لطريقة حساب الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة للسفينة الجديدة (المبنية بعد عام 2013) والذي يتم الحصول عليها من بيانات السفينة ومستهلكات الوقود فيها ($EEDI_{attained}$) والذي يجب أن تكون قيمته أقل من قيمة الـ $EEDI_{required}$. اعتمد هذا القرار في 17 حزيران 2021 ويتم حساب قيمته من خلال المعطيات الحقيقية للسفينة ومستهلكات الوقود فيها وفق علاقة محددة في القرار آنف الذكر والتي سيتم توضيحها لاحقاً.

في قرار لجنة حماية البيئة البحرية رقم (350) والمتخذ بالجلسة رقم (78) [5]، وضعت لجنة حماية البيئة البحرية في المنظمة البحرية الدولية قواعد لحساب دليل كفاءة الطاقة للسفن الموجودة (المبنية قبل عام 2013) والذي يتم الحصول عليه من بيانات السفينة ومحركاتها وآلاتها، والمعروف بـ $EEXI_{attained}$ ، وسيتم توضيحه لاحقاً في المناقشة والنتائج.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث وأهدافه في:

- دراسة الخصائص الهيدروديناميكية لكل من الرفاص MP687 والرفاص VP1304 باستخدام تقنية الـ CFD.
- توضيح تأثير تغيير الرفاص على كفاءة الطاقة لسفينة الصب JBC عن طريق استخدام معيار EEXI
- تحديد الرفاص الأنسب للسفينة والذي يحقق معايير كفاءة الطاقة.

1. منهجية البحث

- تحليلية تجريبية في بيئة الـ ANSYS الافتراضية.

طرائق البحث ومواده:

يمكن تلخيص المواد التي تم استخدامها في هذا البحث بالتالي:

- النموذج الهندسي لسفينة الصب JBC [17].
- النموذج الهندسي لكل من الرفاص MP687 [18] والرفاص VP1304 [19].
- برنامج الـ ANSYS-Fluent.
- طريقة الـ URANS من أجل حل المعادلات الناضجة للتدفق.
- موديل الاضطراب $K - \omega SST$ لإغلاق نظام المعادلات.
- الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة للسفن Energy Efficiency Design Index EEDI

2. الأبعاد الهندسية

كما ذكرنا سابقاً تم إجراء الدراسة على سفينة الصب JBC، والتي يوجد لها الكثير من النتائج التجريبية، وهذا الأمر يعتبر جيداً جداً من أجل معايرة الشبكة والإعدادات الرقمية من خلال مقارنة النتائج الرقمية مع النتائج التجريبية المتوفرة وذلك قبل البدء بالحسابات الرقمية الأساسية. نسبة تصغير النموذج الذي يتوفر له نتائج تجريبية هي 1/40 من السفينة الحقيقية. شكل السفينة وأبعادها الهندسية موضحة في كل من الشكل 1 والجدول 1.



الشكل 1: ناقله الصب JBC [20].

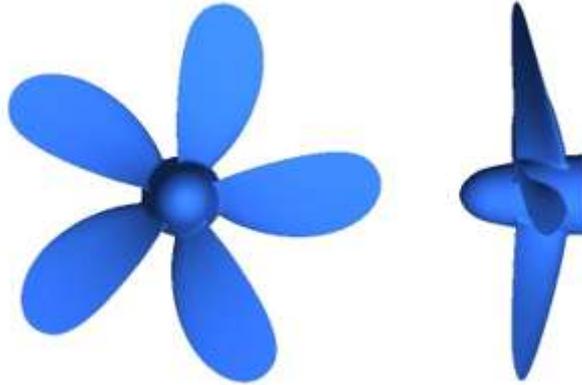
الجدول 1: الأبعاد الهندسية لسفينة الصب JBC (السفينة الحقيقية والنموذج) [17].

Main particulars	الرمز	الواحدة	Full scale	Model
Length between perpendiculars	L_{PP}	m	280	7
Breadth (molded)	B	m	45	1.125
Draft (molded)	d	m	16.5	0.4125
Wetted surface area without appendages without appendages	S_w	m^2	19556.1	12.22256
Blockage coefficient	C_B	-	0.8216	0.8216
Froude number	F_r	-	0.142	0.142
Reynolds number	R_e	-	2.0888×10^9	8.253×10^6

الرفاصات التي تم استخدامها هي الرفاص MP687 والذي يتوفر له كل النتائج التجريبية لتجربة الماء المفتوح [18]. الأبعاد الهندسية للرفاص موضحة في كل من الجدول 2 والشكل 2.

الجدول 2: الأبعاد الهندسية لنموذج الرفاص MP687 [21].

Parameter	Value
Number of Blades	5.00
Diameter [mm]	203.00
Direction of Rotation	Clockwise



الشكل 2: نموذج الرفاص MP687 [21].

الرفاص الثاني الذي تم استخدامه في هذه الدراسة هو الرفاص VP1304 الموضح في الشكل 3، والذي يملك الكثير من النتائج التجريبية، [22].



الشكل 3: المجسم الهندسي للرفاص VP1304، [22].

الأبعاد الهندسية للرفاص موضحة في الجدول 3. في البداية، النتائج التجريبية لتجربة الماء المفتوح لهذا الرفاص سيتم مقارنتها مع النتائج الرقمية التي تم الحصول عليها، ليتم التأكد من أن تقنية الـ CFD قادرة على حساب الأجزاء الدوار بشكل صحيح ومطابق للواقع.

الجدول 3: الأبعاد الهندسية للرفاص VP1304، [22].

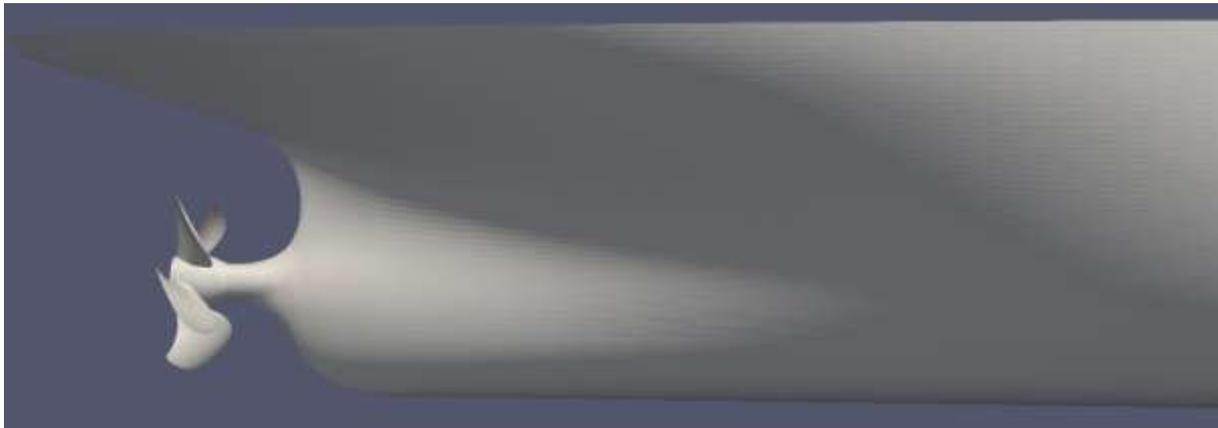
Parameter	Value
Number of blades	5
Diameter (m)	0.25
Direction of Rotation	Clockwise

طبعاً هنا لا بد من التنويه إلى أن الأبعاد الهندسية للرفاصات التي تم عرضها تخص تجربة الماء المفتوح، أما في حالة الرفاص مع السفينة فإن البارامترات تبقى كما هي باستثناء القطر، فلقد تم استخدام الرفاصات مع السفينة بقطر يعادل 0.203 [m].

الشكل 4 والشكل 5 يوضحان المجسم الهندسي للسفينة مع كل من الرفاصين MP687 و VP1304.



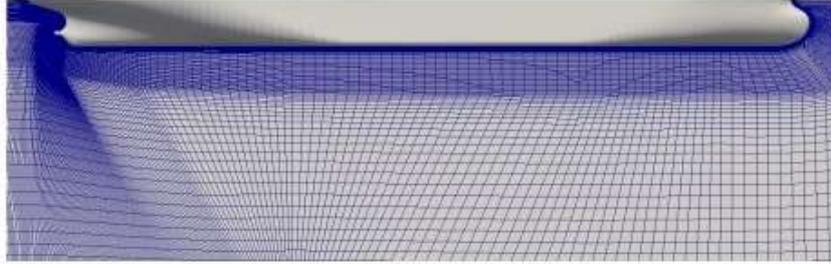
الشكل 4: المجسم الهندسي للسفينة مع الرفاص MP687.



الشكل 5: المجسم الهندسي للسفينة مع الرفاص VP1304.

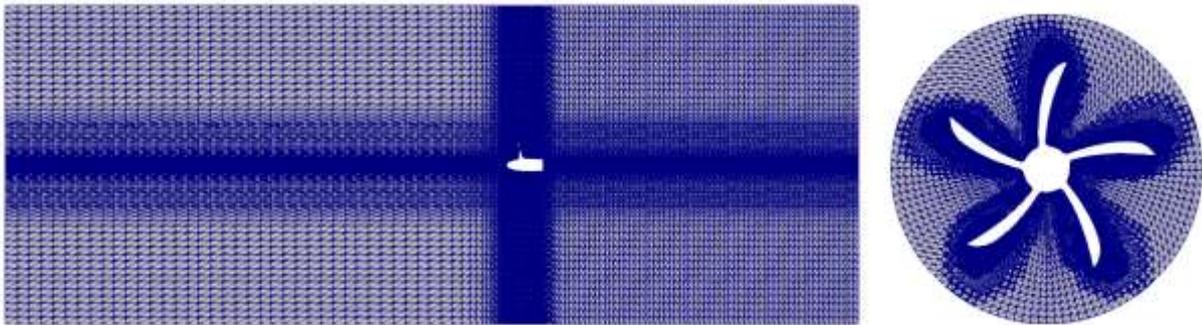
3. الشبكة الرقمية

لقد تم استخدام الشبكات المنتظمة لإجراء هذه الدراسة وذلك على اعتبار أن الشبكات المنتظمة هي التي تعطي أفضل النتائج في الحسابات الرقمية [15]، وكما أنها هي الأفضل من ناحية المدة الحسابية، حيث أنها تحتاج إلى وقت أقل لإتمام العمليات الحسابية [10]. الشكل 6 يوضح الشبكة الرقمية المنتظمة التي تم بناؤها حول بدن سفينة الصب JBC، وكما هو واضح من هذا الشكل فلقد تم تتعيم الشبكة الرقمية في منطقة الطبقة الحدية بجوار السفينة وذلك من أجل حل بروفایل السرعة بالشكل الصحيح. تم استخدام 12 مليون خلية حسابية لحالة السفينة لوحدها.



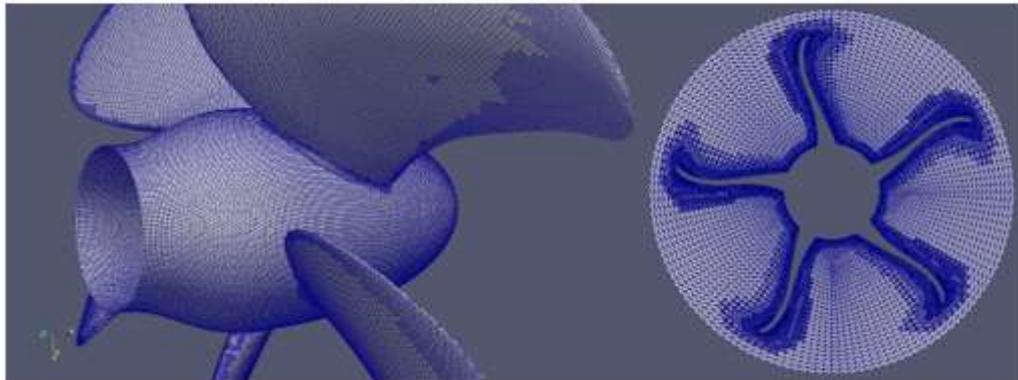
الشكل 6: الشبكة الرقمية المنتظمة التي تم بناؤها حول بدن نموذج سفينة الصب JBC.

الشكل 7 يوضح الشبكة الرقمية المنتظمة التي تم بناؤها حول بدن الرفاص MP687 والتتعيم حول شفرات الرفاص في منطقة الطبقة الحدية. مع العلم أن هذه الشبكة تخص تجربة الماء المفتوح (Open water test). تم استخدام 3 مليون خلية لحالة الرفاص VP1304 في تجربة الماء المفتوح، 1 مليون خلية في القسم الدوار من الشبكة.



الشكل 7: الشبكة الرقمية المنتظمة التي تم بناؤها حول الرفاص MP687.

الشكل 8 يوضح الشبكة الرقمية المنتظمة التي تم بناؤها حول بدن الرفاص VP1304 من أجل تجربة الماء المفتوح والتتعيم حول شفرات الرفاص في منطقة الطبقة الحدية. تم استخدام 4.5 مليون خلية لحالة الرفاص VP1304 في تجربة الماء المفتوح، 2 مليون خلية حسابية تتوضع في القسم الدوار من الشبكة.

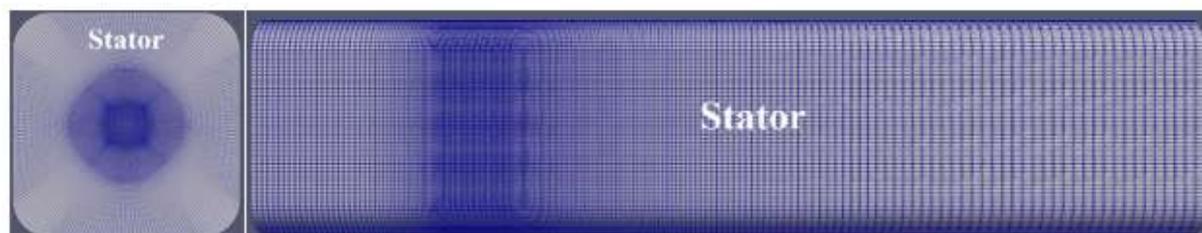


الشكل 8: الشبكة الرقمية المنتظمة التي تم بناؤها حول الرفاص VP1304.

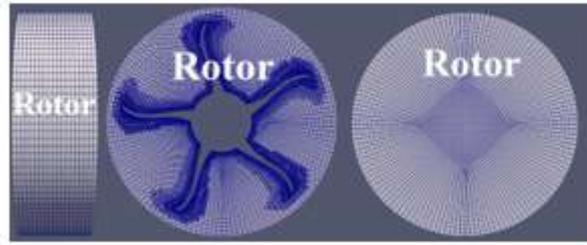
وهنا لا بد من التنويه إلى أنه في الحالات التي يوجد فيها الرفاص فإن المجال الحسابي يتم تقسيمه إلى جزأين، القسم الثابت ويسمى بـ stator والقسم الدوار ويسمى بـ rotor، انظر الشكل 9، ويتم بناء شبكة كل جزء من هذين الجزئين لوحدها انظر كل من الشكل 10 والشكل 11، ومن ثم يتم ربط الجزئين مع بعضهما البعض ضمن برنامج الـ Fluent وتعريف الشروط الحدية بشكل صحيح.



الشكل 9: القسم الثابت والدوار في حالة تجربة الماء المفتوح للرفاص VP1304.

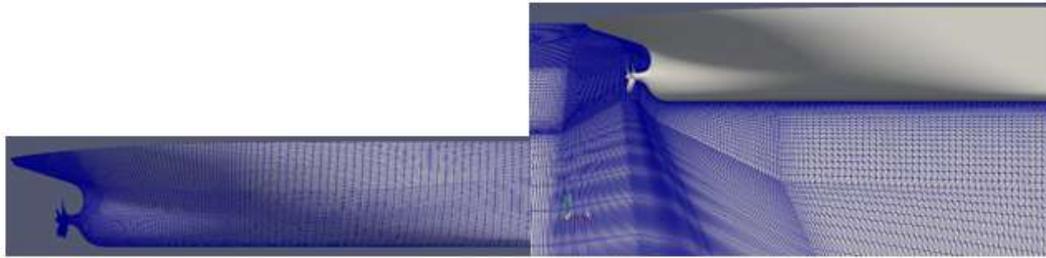


الشكل 10: مسقط طولي وأمامي لشبكة القسم الثابت stator.

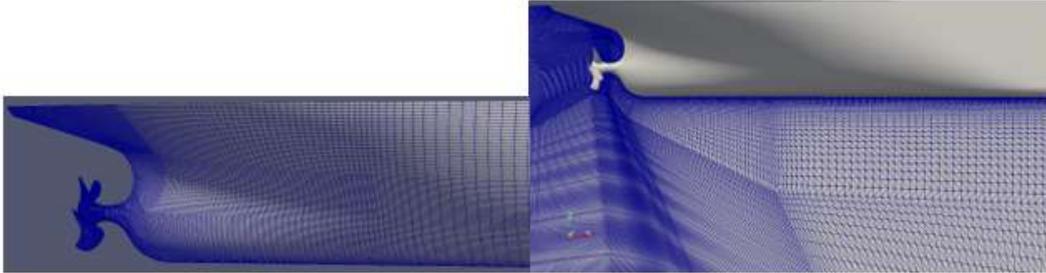


الشكل 11: مسقط طولي وأمامي لشبكة القسم الدوار rotor.

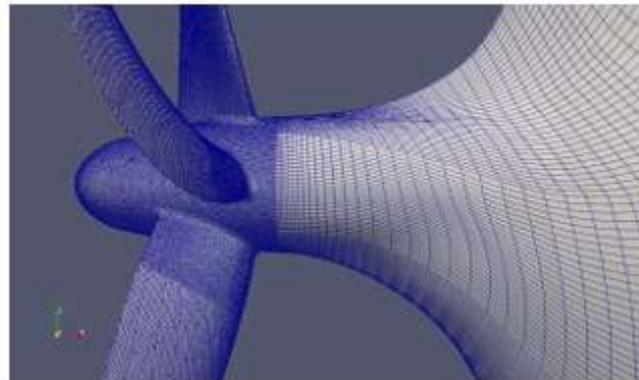
في حالة السفينة والرفاص تم أيضا استخدام الشبكات المنتظمة لحالتي السفينة مع الرفاص MP687 (الشكل 12) والسفينة مع الرفاص VP1304 (الشكل 13) والتدرج في تنعيم الشبكة المنتظمة في منطقة انتقالها من السفينة إلى الرفاص والذي يتوضع ضمن القسم الدوار (الشكل 14). تم استخدام 14.5 مليون خلية لحالة السفينة مع الرفاص حيث يتوضع في القسم الدوار من الشبكة 2.5 مليون خلية حسابية.



الشكل 12: الشبكة المنتظمة لحالة السفينة مع الرفاص MP687.



الشكل 13: الشبكة المنتظمة لحالة السفينة مع الرفاص VP1304.



الشكل 14: الشبكة في منطقة اتصال الرفاص مع السفينة.

النتائج والمناقشة:

قبل البدء بعرض وتحليل النتائج التي تخص كفاءة الطاقة تبعا لنوع الرفاص لا بد في البداية من التأكد أن الشبكة الرقمية والإعدادات التي تم استخدامها دقيقة وتعطي نتائج جيدة وقريبة من الواقع، وعليه فإن أول خطوة في الحسابات هي إجراء الحسابات للحالات التي تملك نتائج تجريبية من أجل مقارنة النتائج الرقمية مع النتائج التجريبية للتأكد من صحة الإعدادات والشبكة الرقمية.

1. تقييم النتائج الرقمية

سيتم تقييم كل من نتائج المقاومة والدفع ومخططات الرفاصات المستخدمة.

1.1. تقييم النتائج الرقمية لمقاومة السفينة

يعرض الجدول 4 مقدار الخطأ بين النتائج الرقمية والنتائج التجريبية لمقاومة السفينة عند رقم فرود 0.142 والذي يقابله سرعة لنموذج السفينة $1.179 \frac{m}{s}$. كما هو واضح من هذا الجدول فإن قيمة الخطأ هي -3.46% والتي تعتبر مقبولة جداً، وبالتالي فإن الشبكة والإعدادات الرقمية التي تم استخدامها تعطي نتائج جيدة ويمكن اعتمادها في الحسابات اللاحقة التي تخص السفينة والرفاص.

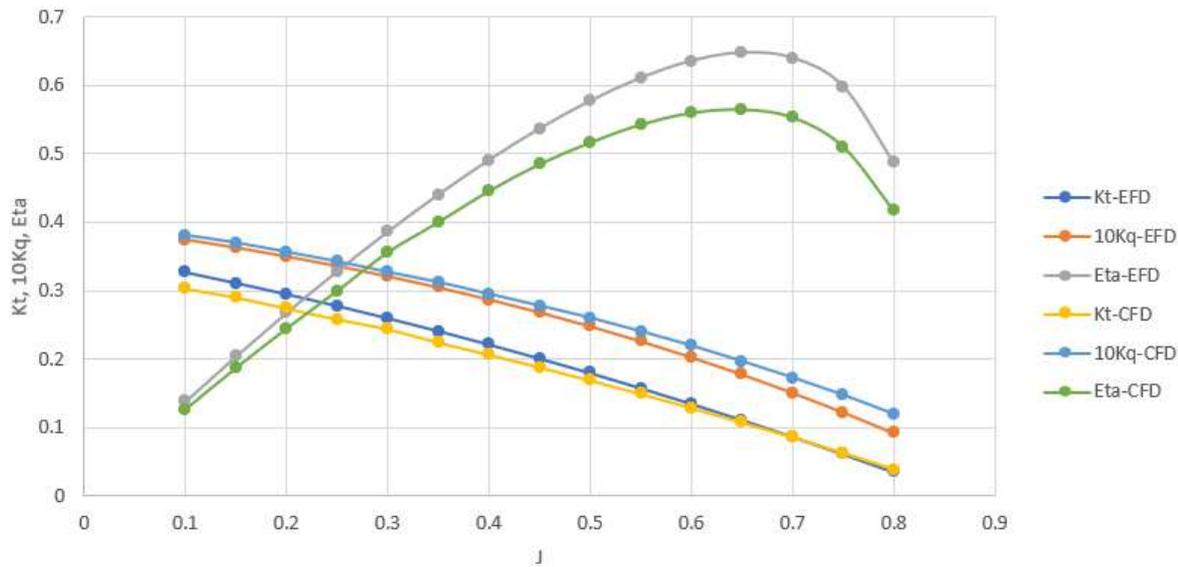
الجدول 4: مقاومة السفينة بدون الرفاص

Symbol	$R_{T\text{without propeller}} [N]$
EFD	36.37
CFD	35.11
Error%	-3.46%

1.2. تقييم النتائج الرقمية لتجربة الماء المفتوح لحالة الرفاص MP687

يعرض الشكل 15 مقارنة بين النتائج التجريبية [18] والنتائج الرقمية لمخططات الرفاص MP687 الخاصة بمعامل الدفع ومعامل العزم والمردود. كما هو واضح من هذا الشكل فإن النتائج الرقمية تأخذ نفس منحى النتائج التجريبية ولكن عند بعض القيم لرقم التقدم نلاحظ أن قيمة الخطأ تصل إلى 15% تقريباً.

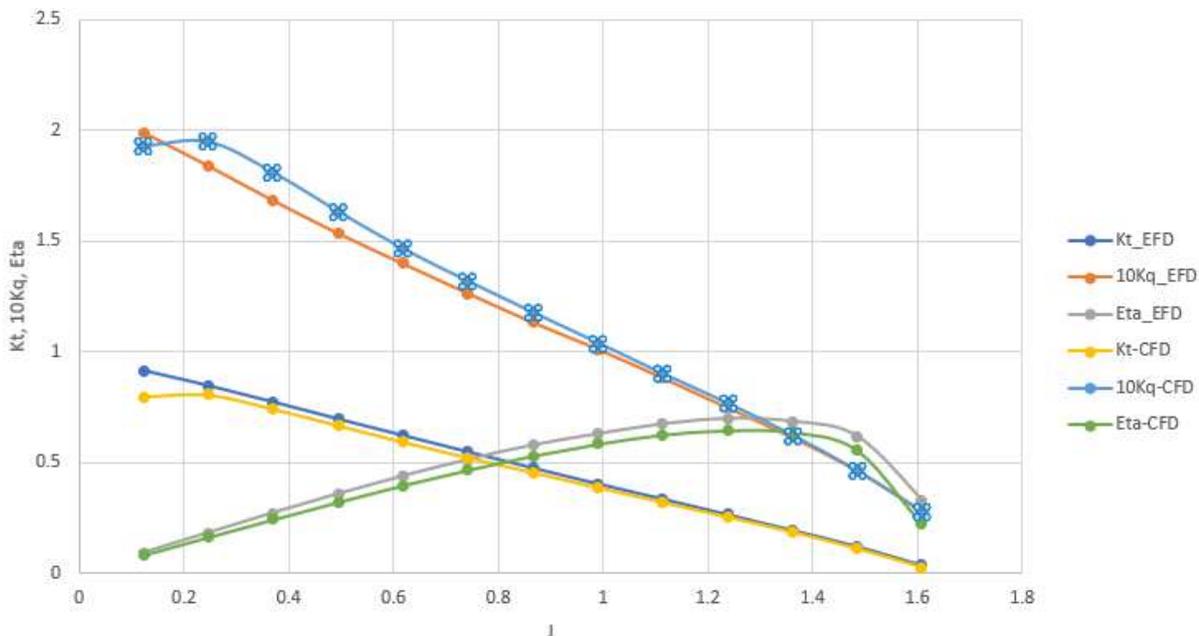
الإعدادات الرقمية التي تم استخدامها هي نفسها لحالة السفينة المفردة وبالتالي يمكننا القول بأن قيمة الخطأ الكبيرة تأتي من العدد القليل نسبياً للخلايا، حيث أن عدد الخلايا في هذه الحالة هو 3 مليون خلية، ولهذا السبب تم في حالة الرفاص VP1304 زيادة عدد الخلايا.



الشكل 15: مقارنة النتائج الرقمية مع النتائج التجريبية لمخططات الرفاص MP687.

3.1 تقييم النتائج الرقمية لتجربة الماء المفتوح لحالة الرفاص VP1304

في هذه الحالة وكما ذكر سابقاً تم استخدام 4.5 مليون خلية حسابية، 2 مليون خلية منها تتوضع في القسم الدوار من الشبكة. الشكل 16 يعرض مقارنة بين النتائج الرقمية والنتائج التجريبية. كما هو واضح من هذا الشكل فإن أكبر قيمة للخطأ هي حوالي الـ 8% وهذا يؤكد على أن زيادة عدد الخلايا قلل من قيمة الخطأ الناتج من الحسابات الرقمية، وعليه تم في الخطوة التالية والتي تخص السفينة والرفاص زيادة عدد الخلايا في القسم الدوار لتصيح 2.5 مليون خلية حسابية مع استخدام 12 مليون خلية حسابية للسفينة، وبالتالي يكون مجموع عدد الخلايا 14.5 مليون خلية حسابية.



الشكل 16: مقارنة النتائج الرقمية مع النتائج التجريبية لمخططات الرفاص VP1304.

1.4. تقييم النتائج الرقمية لحالة السفينة مع الرفاص

يعرض الجدول 4 مقدار الخطأ بين النتائج الرقمية والنتائج التجريبية لكل من مقاومة السفينة والدفع الناتج عن الرفاص بالإضافة للعزم المطبق على الرفاص في تجربة الدفع الذاتي Self-Propulsion، وأيضاً الفرق بين الدفع والمقاومة لحالة السفينة والرفاص. الحسابات كلها تمت عند رقم فرود 0.142 والذي يقابله سرعة لنموذج السفينة $1.179 \frac{m}{s}$ ، سرعة دوران الرفاص هي $7.8 rps$. كما هو واضح من هذا الجدول فإن قيمة الخطأ العظمى هي -6.77% وعلى اعتبار أنه في الدراسة الرقمية تم إهمال مقاومة الأمواج بسبب صغر رقم فرود بالإضافة إلى وجود مقدار خطأ يتراوح بين الـ 1-2% في النتائج التجريبية [20] فيمكن القول بأن النتيجة الرقمية التي تم الحصول عليها جيدة جداً وقريبة جداً من الواقع وبالتالي فإن الشبكة والإعدادات الرقمية التي تم استخدامها تعطي نتائج جيدة ويمكن اعتمادها في الحسابات اللاحقة التي تخص السفينة والرفاص.

الجدول 5: مقاومة السفينة بدون الرفاص وبوجود الرفاص.

Symbol	$R_{T \text{ with propeller}}$ [N]	T [N]	$R_{T \text{ with propeller}} - T$	M_z [N.m]
EFD	40.37	22.37	18.00	0.5841
CFD	38.15	21.37	16.78	0.6232
Error%	-6.50%	-4.40%	-6.77%	6.70%

2. تأثير تغيير الرفاص على كفاءة الطاقة

من أجل تحديد تأثير نوع الرفاص على كفاءة الطاقة للسفينة المدروسة قمنا بالخطوات التالية:

- 1- في البداية تم إجراء الحسابات على السفينة مع الرفاص MP687 وعدد دورات $7.8 rps$ ليتم حساب الدفع والمقاومة وتبين أن الدفع أقل من المقاومة، فتم البحث عن سرعة الدوران المناسبة والتي يتساوى عندها الدفع مع المقاومة والتي تؤمن سرعة للسفينة مقدارها $1.179 \frac{m}{s}$.
- 2- عند عدد الدورات التي تحقق سرعة للسفينة $1.179 \frac{m}{s}$ تم حساب العزم المؤثر على الرفاص والذي يساوي العزم الواصل من المحرك إلى الرفاص
- 3- بعد ذلك تم تغيير الرفاص إلى الرفاص VP1304 وتم تغيير عدد دورات الرفاص لتحقيق نفس العزم السابق (نفس العزم الواصل من المحرك إلى الرفاص).
- 4- عند تحقيق نفس العزم تم البحث مرة أخرى عن سرعة السفينة المكافئة والتي يكون عندها العزم مساوي للعزم المقدم للرفاص MP687 ويكون كل من مقاومة السفينة والدفع الناتج عن الرفاص VP1304 متساويين.
- 5- عندها يمكننا معرفة الرفاص الأفضل والذي يحقق كفاءة طاقة أكبر.

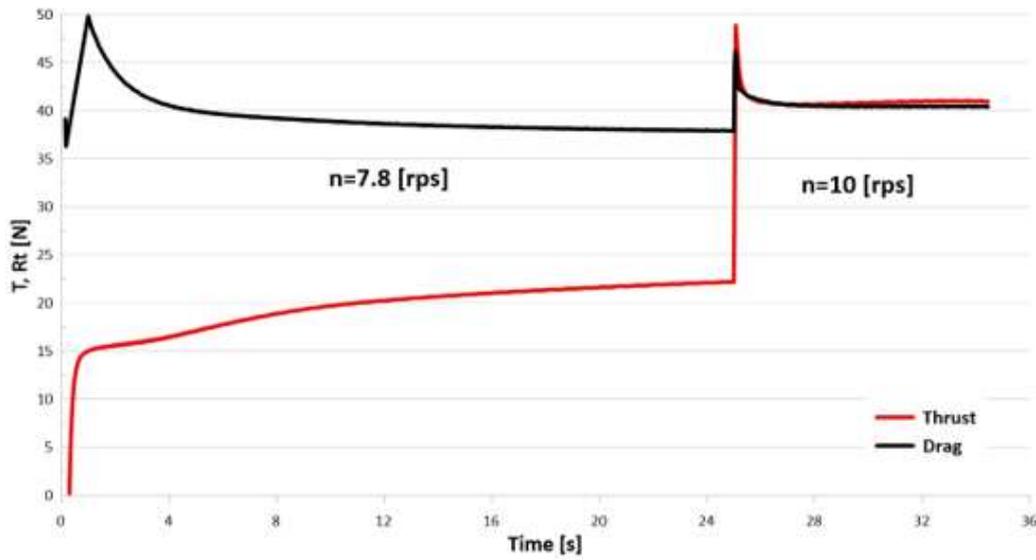
يعرض الجدول 6 قيمة المقاومة والدفع الناتج عن الرفاص MP687 عند سرعة دوران $7.8 rps$ كما هو واضح من هذا الجدول فإن قيمة المقاومة أكبر من الدفع ($R_T > T$) وبالتالي لا بد من زيادة عدد الدورات من أجل تحقيق الموازنة بين المقاومة والدفع. تم زيادة عدد الدورات لتصبح $10 rps$ وكما هو موضح في الجدول 6 والشكل 17 نلاحظ أنه عند سرعة الدوران هذه فإن الدفع الناتج عن الرفاص أكبر بمقدار 1.18% وهو مقدار صغير جداً ($\frac{T-R_T}{R_T} \times 100\% = 1.18\%$) وبالتالي يمكن اعتبار السرعة $10 rps$ هي سرعة الدوران المناسبة والتي تسبب تحريك السفينة بسرعة مساوية لـ $1.179 \frac{m}{s}$. عند هذه القيمة كانت قيمة العزم المؤثر على الرفاص هي $1.13 [N.m]$ ، وعليه سيتم في

الخطوة التالية البحث عن سرعة السفينة مع الرفاص VP1304 والتي يكون عندها العزم المقدم للرفاص VP1304 هو $1.13 [N.m]$.

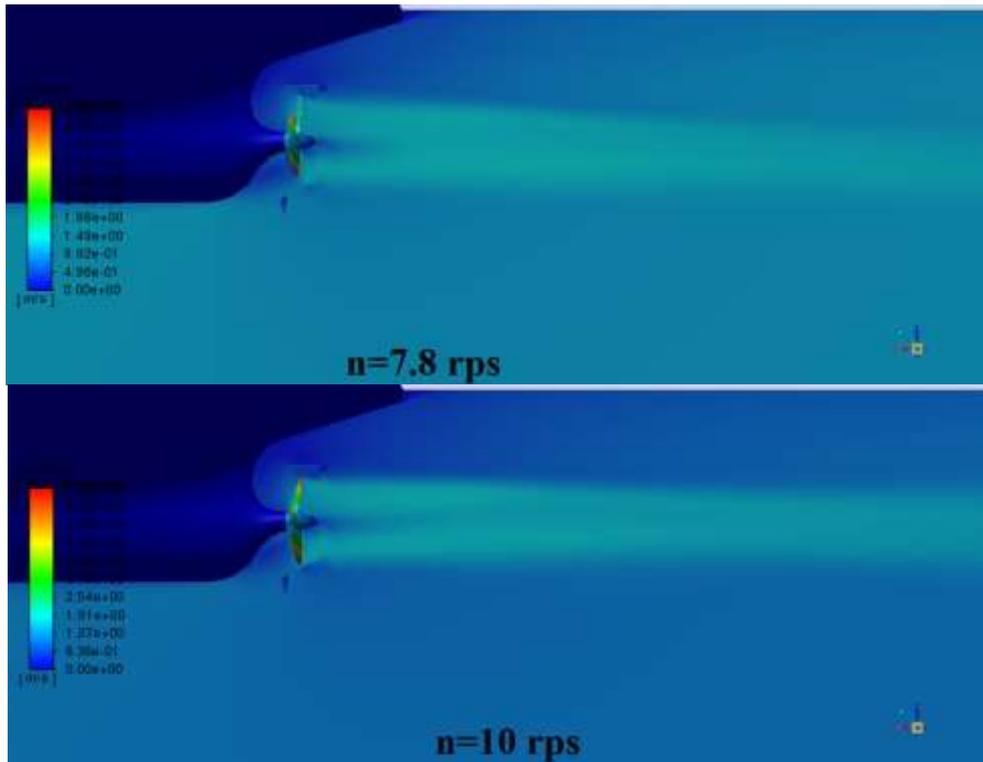
الشكل 18 يعرض حقل السرعة خلف الرفاص MP687 عند سرعتي الدوران $n = 7.8 [rps]$ و $n = 10 [rps]$. من هذا الشكل يتضح كيف يمتد زخم الماء خلف الرفاص مع السرعة $10 [rps]$ إلى مسافة أكبر خلف السفينة بالمقارنة مع حالة $n = 7.8 [rps]$.

الجدول 6: نتائج المقاومة وقوة الدفع الناتجة عن الرفاص MP687.

$n [rps]$	$R_T [N]$	$T [N]$
7.8	38.15	21.37
10	40.45	40.93



الشكل 17: تغير الدفع والمقاومة مع تغيير سرعة دوران الرفاص.



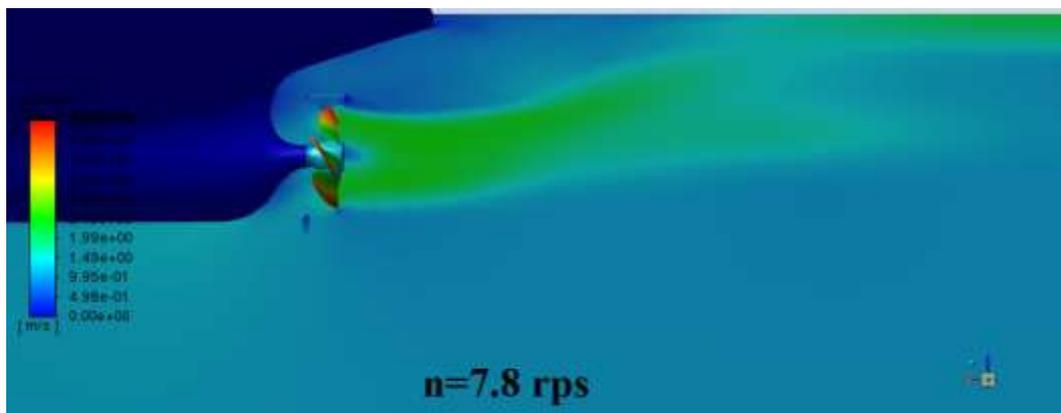
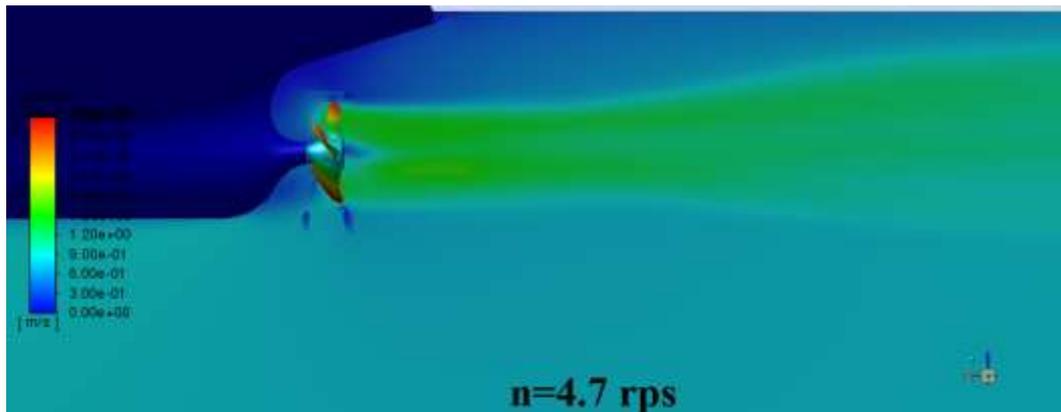
الشكل 18: حقل السرعة خلف الرفاص مع سرعتي الدوران المدروستين للرفاص MP687.

الخطوة التالية ستكون البدء بإجراء الحسابات مع الرفاص VP1304 والبدء بعدد الدورات $7.8 [rps]$. يوضح الجدول 7 والشكل 20 المراحل التي تم المرور بها ريثما تم تحقيق نفس العزم المقدم للرفاص MP687 مع الرفاص VP1304. كما هو واضح من هذا الشكل والجدول فإنه من المرحلة 1 وحتى المرحلة 6 تم الحفاظ على نفس السرعة للسفينة وتم إنقاص سرعة دوران الرفاص بالتدرج حتى الوصول إلى قيمة العزم المطلوب $1.13 [N.m]$ والذي تحقق عند سرعة الدوران $n = 5.0 [rps]$. عند هذه المرحلة وبعد الحصول على العزم المطلوب تبين أن المقاومة أكبر من الدفع عند هذه القيمة للعزم وبالتالي كان لا بد من إنقاص سرعة السفينة، حيث تم في المرحلة السابعة إنقاص سرعة السفينة إلى القيمة $0.9 \left[\frac{m}{s} \right]$ مع الحفاظ على نفس سرعة الدوران $5 [rps]$. مع تقليل سرعة السفينة زادت مرة أخرى قيمة العزم المؤثرة على الرفاص لتصبح $1.3 [N.m]$ ، وعليه توجب مرة أخرى تقليل سرعة دوران الرفاص من أجل تقليل العزم المؤثر على الرفاص، وهذا ما تم تنفيذه في المرحلة 8 حيث تم المحافظة على السرعة وتقليل سرعة الدوران إلى القيمة $4.8 [rps]$ ، والذي نتج عنه زيادة العزم مرة أخرى عن القيمة $1.13 [N.m]$ بالإضافة إلى أن قيمة المقاومة كانت أكبر من الدفع الناتج عن الرفاص، الأمر الذي استوجب في المرحلة 9 تخفيض سرعة السفينة للمرة الثانية لتصبح $0.85 \left[\frac{m}{s} \right]$ مع تثبيت سرعة الدوران على القيمة $4.8 [rps]$. في هذه المرحلة زادت قيمة العزم مرة ثانية عن القيمة $1.13 [N.m]$ وكانت قيمة الدفع أكبر من قيمة المقاومة بقليل، لذلك تم في المرحلة التي تليها (المرحلة 10 والأخيرة) تقليل سرعة الدوران إلى القيمة $4.7 [rps]$ مع المحافظة على سرعة السفينة. في هذه المرحلة أصبحت قيمة العزم تساوي $1.136 [N.m]$ وكان الدفع مساوي تقريبا للمقاومة، لذلك تم اعتبار أن هذه المرحلة هي المرحلة الأخيرة. الشكل 19 يعرض حقل السرعة خلف الرفاص VP1304 مع سرعة الدوران $n = 7.8 [rps]$ وسرعة الدوران

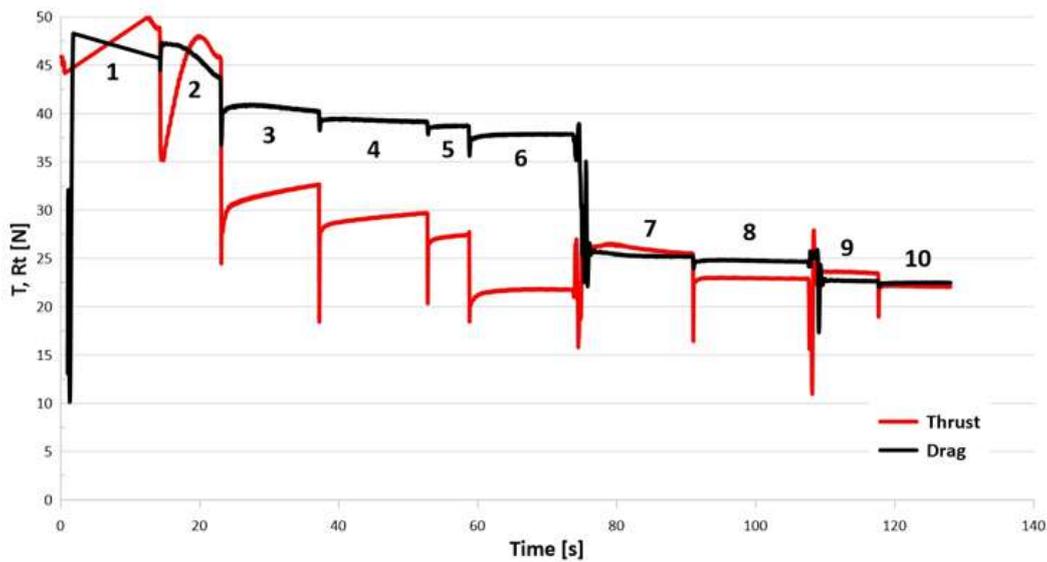
من هذا الشكل نلاحظ كيف تتغير القيمة العظمة للسرعة خلف الرفاص من القيمة $4.98 \left[\frac{m}{s} \right]$ مع سرعة الدوران $n = 4.7 [rps]$ ، إلى $7.8 [rps]$ مع سرعة الدوران $3.0 \left[\frac{m}{s} \right]$ مع سرعة الدوران $4.7 [rps]$.

الجدول 7: نتائج القوى والعزوم خلال مراحل البحث عن العزم $1.13 [N.m]$ مع الرفاص VP1304.

Case. No	$V [m/s]$	$n [rps]$	$R_T [N]$	$T [N]$	$M [N.m]$
1	1.179	7.80	66.30	70.98	3.160
2	1.179	7.00	50.30	48.90	2.600
3	1.179	6.00	43.60	45.77	2.350
4	1.179	5.70	40.15	32.58	1.670
5	1.179	5.50	39.07	29.66	1.520
6	1.179	5.00	37.80	21.69	1.130
7	0.900	5.00	26.00	25.00	1.300
8	0.900	4.80	24.70	22.95	1.170
9	0.850	4.80	22.70	23.50	1.200
10	0.850	4.70	22.40	22.20	1.136



الشكل 19: حقل السرعة خلف الرفاص مع أكبر وأصغر قيمة لسرعة دوران الرفاص VP1304.



الشكل 20: مراحل البحث عن العزم $1.13 [N \cdot m]$ مع الرفاص VP1304.

تحسب قيمة الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة وفق قرار لجنة حماية البيئة البحرية - وفق ما ذكر في المقدمة - استناداً إلى العلاقة التالية:

$$EED_{int} = \frac{(\prod_{j=1}^n f_j) (\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) ((\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) - (\sum_{i=1}^{nEff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} C_{eff(i)} SFC_{ME}))}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m} \quad (2)$$

حيث أن:

$P_{ME(i)}$: 75% من الاستطاعة المستمرة العظمى للمحرك الرئيسي MCR،

$C_{FME(i)}$: معامل انبعاث غاز CO_2 الخاص بالوقود المستخدم في المحرك الرئيسي،

$SFC_{ME(i)}$: الاستهلاك النوعي للوقود للمحرك الرئيسي عند استطاعة تعادل $P_{ME(i)}$ ،

$P_{AE(i)}$: نسبة من استطاعة المحرك الرئيسي وتعطى بالعلاقة التالية:

$$P_{AE(\sum MCR(i) < 10,000 kW)} = \left(0.05 \times \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} \right) \right) \quad (3)$$

حيث أن $P_{PTI(i)}$ استطاعة محرك عمود الرفاص وفي حال عدم وجوده تعود قيمته للصفر لتصبح العلاقة على النحو التالي:

$$P_{AE(\sum MCR(i) < 10,000 kW)} = \left(0.05 \times \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} \right) \right) \quad (4)$$

$C_{AE(i)}$: معامل انبعاث غاز CO_2 الخاص بالوقود المستخدم في المحرك المساعد،

$SFC_{AE(i)}$: الاستهلاك النوعي للوقود للمحرك الرئيسي عند استطاعة تعادل 50% من استطاعة MCR_{AE} ،
سرعة السفينة: V_{ref}

Capacity: سعة السفينة والتي تمثل الوزن الميت بالنسبة لسفن ناقلات الصب.

باقي الحدود في العلاقة هي معاملات تستخدم في حالات خاصة كوجود محركات تساعد المحرك الرئيسي على محور الرفاص أو مولدات كهرباء تأخذ حركتها من محور الرفاص وغيرها وهي غير موجودة في حالتنا محور الدراسة وبالتالي يمكن أن تختزل العلاقة السابقة إلى العلاقة التالية:

$$\frac{EEDI_{att}}{Capacity \cdot V_{ref}} = \frac{(0.75 \cdot MCR_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot 0.05 \cdot MCR_{ME(i)})}{Capacity \cdot V_{ref}} \quad (5)$$

$$\frac{EEDI_{att}}{Capacity \cdot V_{ref}} = \frac{MCR_{ME(i)} \left((0.75 \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \times C_{FAE} \times 0.05) \right)}{Capacity \cdot V_{ref}} \quad (6)$$

وخلاصة لما سبق، نجد أننا عندما قمنا بتغيير الرفاص من الرفاص VP1304 إلى الرفاص MP687 عند نفس العزم المقدم إلى الرفاص (والتي تعادل [1.136 m.N]، وبالتالي عند نفس الاستطاعة للمحرك، أي أن $MCR_{ME(i)}$ ثابتة، فإن سرعة السفينة ازدادت من [0.85 m/sec] إلى [1.179 m/sec] وعليه يمكن أن نكتب قيمة $EEDI_{att}$ في كل من الحالتين على التوالي على النحو الآتي:

$$\frac{EEDI_{att1}}{Capacity \times 0.85} = \frac{MCR_{ME(i)} \left((0.75 \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \times C_{FAE} \times 0.05) \right)}{Capacity \times 0.85} \quad (7)$$

$$\frac{EEDI_{att2}}{Capacity \times 1.179} = \frac{MCR_{ME(i)} \left((0.75 \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \times C_{FAE} \times 0.05) \right)}{Capacity \times 1.179} \quad (8)$$

حيث أن

$EEDI_{att1}$: دليل كفاءة الطاقة التصميمي باستخدام الرفاص VP1304،

$EEDI_{att2}$: دليل كفاءة الطاقة التصميمي باستخدام الرفاص MP867.

بنسبة العلاقتين إلى بعضهما نجد $\frac{EEDI_{att1}}{EEDI_{att2}} = \frac{1.179}{0.85} = 1.387$ أي أن ازادت قيمة الدليل التصميمي لكفاءة الطاقة بمقدار 38.7% عند استخدام الرفاص VP1304 عنه في حالة استخدام الرفاص MP687 (كلما اذادت قيمة الدليل كلما كانت كمية انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون أكبر حيث أن وحدة الدليل هي [gr CO₂/Ton.Nm] أي كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة مقدره بالغرام لكل وحدة عمل منجز والتي تتحدد بالمسافة المقطوعة (أو السرعة) والوزن الميت للسفينة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

- إن دقة الإعدادات الرقمية والشبكة الحاسوبية يؤثر بشكل كبير جداً على دقة النتائج، ويجب أن تمر أية عملية حسابية باستخدام تقنية الـ CFD بعملية المعايرة من أجل تحديد الإعدادات والشبكة الرقمية الأفضل.
- إن نوع الرفاص يؤثر بشكل ملموس على كفاءة الطاقة المتعلقة بالسفينة.
- الرفاص MP687 أفضل من الرفاص VP1304 مع سفينة الصب JBC حيث أنه يحسن من كفاءة الطاقة بمقدار 38.7% عند نفس الاستطاعة المقدمة للرفاص وهذا مقدار كبير جداً.

التوصيات

- إجراء عملية المعايرة كخطوة أولى في أية عملية حسابية للموائع يتم فيها استخدام تقنية الـ CFD.
- لا يجب الاكتفاء بدراسة الرفاص في تجربة الماء المفتوح وإنما يجب دراسة الرفاص مع السفينة للتأكد من فعاليته وكفاءته.

التوصيات للأعمال المستقبلية

- أن يتم اختبار أنواع أخرى من الرفاصات ذات فعالية أكبر من الرفاص MP687 ضمن مجال سرعة الخدمة للسفينة.
- أن يتم استخدام تقنية التزليق الهوائي مع الرفاص MP687 للتقليل من مقاومة السفينة عند نفس الاستطاعة المقدمة من الرفاص وبالتالي التحسين من كفاءة الطاقة.

References:

- [1] IMO, "MEPC.245(66) - 2014 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships," *Int. Marit. Organ.*, vol. 245, no. April, pp. 1–30, 2014.
- [2] MARPOL, "MARPOL ANNEX VI, REGULATION 24, Required EEDI," [Online]. Available: <https://www.lr.org/en/rulefinder/>.
- [3] I. Ančić and A. Šestan, "Influence of the required EEDI reduction factor on the CO2 emission from bulk carriers," *Energy Policy*, vol. 84, 2015, doi: 10.1016/j.enpol.2015.04.031.
- [4] IMO, "AMENDMENTS TO THE 2018 GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI) FOR NEW SHIPS (RESOLUTION MEPC.308(73), AS AMENDED BY RESOLUTION MEPC.322(74))," *MEPC.332(76)*, 2021, [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx#4>.
- [5] IMO, "2022 GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY EXISTING SHIP INDEX (EEXI)," *MEPC.350(78)*, 2022, [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx#4>.
- [6] IMO, "2022 GUIDELINES ON OPERATIONAL CARBON INTENSITY INDICATORS AND THE CALCULATION METHODS (CII GUIDELINES, G1)," *MEPC.352(78)*, 2022, [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx#4>.

- [7] IMO, "2022 GUIDELINES ON THE REFERENCE LINES FOR USE WITH OPERATIONAL CARBON INTENSITY INDICATORS (CII REFERENCE LINES GUIDELINES, G2)," *MEPC.353(78)*, 2022, [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx#4>.
- [8] IMO, "2022 GUIDELINES ON THE OPERATIONAL CARBON INTENSITY RATING OF SHIPS (CII RATING GUIDELINES, G4)," *MEPC.354(78)*, 2022, [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx#4>.
- [9] IMO, "{2021 GUIDELINES ON THE OPERATIONAL CARBON INTENSITY REDUCTION FACTORS RELATIVE TO REFERENCE LINES (CII REDUCTION FACTORS GUIDELINES, G3)," *MEPC.338(76)*, 2021, [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx#4>.
- [10] N. Abbas and N. Al-Aji, "The Influence of Drift Angle on the Flow Field around KVLCC2 Tanker Using CFD," *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 44, no. 1, 2022, [Online]. Available: <https://journal.tishreen.edu.sy/index.php/engscnc/article/view/12043>.
- [11] N. Abbas and B. Oderah, "CFD Study of the Bulbous Bow Effect on the Resistance of the Tanker-KVLCC2," *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 43, no. 4, 2021, [Online]. Available: <https://journal.tishreen.edu.sy/index.php/engscnc/article/view/10823>.
- [12] N. Abbas and H. Daoud, "Study of the Influence of an Interceptor on the Resistance of the High-speed Vessels Using CFD," *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 44, no. 3, 2022, [Online]. Available: <https://journal.tishreen.edu.sy/index.php/engscnc/article/view/11698>.
- [13] N. Abbas and Z. Ali, "CFD Study of the Effect of Surface Roughness on the Resistance of KVLCC2 tanker," *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 44, no. 1, 2022, [Online]. Available: <https://journal.tishreen.edu.sy/index.php/engscnc/article/view/12028>.
- [14] N. Abbas, "CFD Prediction of the Most Appropriate Values of Prandtl Kolmogorov Constant in the Turbulent Boundary Layer," *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 41 No.6, 2019.
- [15] N. Abbas, "Studying the influence of grid type and turbulence model on the results of numerical calculations using CFD," *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 44 No.6, 2022.
- [16] R. Hawa, N. Abbas, and W. Hatem, "Study of the forces affecting the KVLCC2 tanker and the propeller MP687 using the Verification and Validation procedure and CFD," *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 45, no. 6, 2023, [Online]. Available: <https://journal.tishreen.edu.sy/index.php/engscnc/article/view/15634>.
- [17] Tokyo2015, "T2015 - jbc_Geometry." https://www.t2015.nmri.go.jp/jbc_gc.html (accessed Nov. 10, 2024).
- [18] Tokyo-2015, "Open Water Tests for JBC (NMRI) MODEL PROPELLER NO.687." 2015, Accessed: 28-Jun-2023. [Online]. Available: https://www.t2015.nmri.go.jp/Instructions_JBC/instruction_JBC_files/Open_Water_Tests_for_JBC_NMRI.txt.
- [19] Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam, "Potsdam Propeller Test Case (PPTC) Open

Water Test with the Model Propeller VP1304 Case 2.1,” in *Second International Symposium on Marine Propulsors*, 2011, [Online]. Available: <https://www.sva-potsdam.de/pptc-smp11-workshop/#openwater>.

[20] Tokyo-2015, “A Workshop on CFD in Ship Hydrodynamics.” Accessed: 28-Jun-2023. [Online]. Available: <https://t2015.nmri.go.jp/jbc.html>.

[21] T. 2015, A. W. on CFD, and in S. Hydrodynamics, “Open Water Tests for JBC(NMRI) MODEL PROPELLER NO.687,” 2015. .

[22] M. K. P., “Report 3754: LDV velocity measurements with the model propeller VP1304,” *Tech. report, Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam*, 2011.