

Study of the Scale Effect on the Resistance Components and the Flow Field Around the Bulk Carrier Ship JBC

Dr. Nawar Abbas*

(Received 7 / 1 / 2024. Accepted 11 / 3 / 2024)

□ ABSTRACT □

In order to develop eco-friendly ships, it is essential to estimate the hydrodynamic behavior of the hull accurately. The main factors to consider are the ship resistance and the flow field around the ship, as these directly impact the ship's energy efficiency. Therefore, it is important to understand how the ship's scale affects its resistance components and flow field. In this study, CFD was employed to conduct the numerical calculations of the bulk carrier ship (JBC) at various scales at Froud number of 0.142. To analyze the scale effects, the total resistance was separated into individual components. The simulation results were compared with experimental data to validate their accuracy. The numerical results were compared with experimental data to validate their accuracy. The comparison confirmed the precision of the settings and the mesh used. Finally, the hydrodynamic characteristics of the ship were studied and analyzed at different scales.

Keywords: Bulk Carrier, Scale effect, URANS, CFD, $k - \omega$ SST.

Copyright



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

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

دراسة تأثير تغيير المقياس على مكونات المقاومة وحقل التدفق حول سفينة الصب JBC

د. نوار عباس*

(تاريخ الإيداع 7 / 1 / 2024. قَبْلُ للنشر في 11 / 3 / 2024)

□ ملخص □

من أجل بناء سفن صديقة للبيئة، من الضروري تقدير السلوك الهيدروديناميكي للسفينة بدقة. العوامل الرئيسية التي يجب دراستها وتحليلها هي مقاومة السفينة وحقل التدفق حول بدن السفينة، حيث تؤثر مباشرة على كفاءة استهلاك الطاقة للسفينة. لذلك، من المهم فهم كيفية تأثير مقياس السفينة على مكونات المقاومة وحقل التدفق حول بدن السفينة. في هذه الدراسة، تم إجراء الحسابات الرقمية باستخدام تقنية CFD على سفينة الصب (JBC) بمقاييس مختلفة عند رقم فرود 0.142. لتحليل تأثير المقياس على المقاومة، قمنا بتقسيم مكونات المقاومة الإجمالية إلى مكونات فردية وتم حساب نسبة المقاومات الفردية من المقاومة الكلية لكل مقياس ليتم بعدها مقارنتها مع بعضها البعض. تمت مقارنة النتائج الرقمية مع البيانات التجريبية للتحقق من صحتها. المقارنة أثبتت دقة الإعدادات والشبكة الرقمية التي تم استخدامها. أخيراً، قمنا بدراسة وتحليل النتائج التي تم الحصول عليها عند مقاييس مختلفة للسفينة.

الكلمات المفتاحية: ناقل الصب، تأثير المقياس، URANS، CFD-ميكانيك الموائع الحسابية، SST $k - \omega$.

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



CC BY-NC-SA 04

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

dr.nawarnabilabbas@tishreen.edu.sy

مقدمة:

إن معرفة خصائص التدفق ومقاومة السفينة الحقيقية في المراحل الأولى من التصميم يعتبر من الأمور المهمة والصعبة التي تواجه المهندسين البحريين، وذلك على اعتبار أنه من المستحيل أن يتم بناء نموذج للسفينة بالأبعاد الحقيقية وإجراء التجارب عليه، بسبب التكلفة الكبيرة جداً لهذا الأمر وبسبب القيود الكبيرة في ظروف التجارب في حوض الجر، حيث أن نسبة التصغير بين نموذج الحوض والسفينة بالحجم الكامل عادة ما تكون 50/1 أو أكبر، مما يؤدي إلى قيم قياسية أصغر لسرعة النموذج والمعاملات الميكانيكية (مثل مقاومة الهيكل، ودفع المروحة، وعزم الدفع). علاوة على ذلك، يمكن أن تؤدي أخطاء القياس الطفيفة إلى انحرافات كبيرة في توقع أداء السفينة بالحجم الكامل، [1] [2]. يمكن حصر المركبات الأساسية للمقاومة في مقاومة الضغط ومقاومة الاحتكاك ومقاومة الهواء، وعلى اعتبار أنه سيتم إهمال الأجزاء العلوية من سفينة الصب التي ستنتم دراستها فإن مقاومة الهواء لا تلعب دوراً مهماً في هذه الدراسة لذا سيتم إهمالها. يعتبر كل من المخر المتشكل خلف السفينة بالإضافة إلى توزيع الضغط على سطح السفينة البارامترين الأساسيين في حقل التدفق والذي يجب معرفتهما قبل البدء بتصميم السفينة، وهما يرتبطان ارتباطاً أساسياً بشكل ونوع وخط إبحار السفينة. من جهة أخرى، فإن المخر مسؤول عن تخفيض سرعة التدفق في قرص الرصاص مما يؤدي إلى زيادة الدفع وتحسين كفاءة المركبة البحرية بشكل عام، كما أن عدم انتظام حقل السرعة يسبب تأرجح في الدفع الناتج عن الرصاص خلال الزمن مما ينتج عنه اهتزازات قوية في الرصاص والتي تنتقل بدورها إلى بدن المركبة. يقدم توزيع الضغط على سطح السفينة فكرة شاملة عن توزيع الإجهادات والقوى المطبقة على بدن السفينة كما يعطينا تصوراً دقيقاً عن أماكن انفصال الطبقة الحدية وتشكل الدوامات حول البدن. لقد تم في هذه الدراسة اختيار نموذج سفينة الصب (JBC Japan Bulk Carrier) نظراً للكمية الكبيرة من البيانات التجريبية المتاحة لهذه السفينة، بالإضافة إلى أنها سفينة حديثة نسبياً حيث تم بناء أول نموذج لها في عام 2015 وتم إجراء العديد من الدراسات التجريبية عليها [3]، ولا يزال الكثير من الباحثين يجرؤون العديد من الأبحاث عليها حتى وقتنا الحالي [13]–[4]. تم استخدام ديناميك الموائع الحسابية (CFD, Computational fluid dynamics) وبرنامج ANSYS لتحليل ودراسة التدفق حول بدن السفينة المدروسة مع وبدون وجود الرصاص وعند مقاييس مختلفة. تم التركيز بشكل أساسي على مركبات المقاومة، حقل التدفق ضمن منطقة الطبقة الحدية وتوزيع الضغط على سطح السفينة، والذي يقودنا إلى معرفة تأثير تغيير المقياس على هذه البارامترات. تم في البداية مقارنة النتائج الرقمية مع النتائج التجريبية المتوفرة في الدراسات المرجعية، وذلك للتأكد من صحة الحسابات الرقمية.

إن دراسة تأثير مقياس السفينة على خصائص التدفق حول بدن السفينة والقوى التي تؤثر على هذه السفينة ليس بموضوع جديد، وهناك الكثير من الباحثين الذي قاموا بإجراء مثل هذه الدراسات ولا تزال هذه الدراسات مستمرة لما لهذا الأمر أهمية في تصميم وبناء السفينة.

Oh and Kang 1992 [14] قاما بدراسة التدفق حول سفينة HSVA على كل من النموذج والسفينة الحقيقية. تمت دراسة التدفق اللزج في منطقة مؤخرة السفينة عند قيمتين لرقم رينولدز. تمت مقارنة النتائج العددية للسفينة النموذج مع النتائج التجريبية من حيث توزيع معامل الضغط على طول البدن وتوزيع السرعة داخل منطقة الطبقة الحدية. تم دراسة وتحليل التفاعل المتبادل بين منطقة الطبقة الحدية والمخر المتشكل خلف بدن السفينة. تم التوصل في هذه الدراسة إلى أن منطقة المخر تقل في حالة السفينة الحقيقية بالمقارنة مع النموذج.

McKesson and Doctors 2013 [15] قاما بدراسة تأثير تغيير المقياس على مقاومة سفينة ذات تأثير سطحي (SES) (surface-effect ship). قارن الباحثان النتائج المتعلقة بمقاومة اللزوجة لجميع المقاييس التي تم استخدامها باستخدام خطوط احتكاك مختلفة لمختلف أعداد رينولدز التي تمت دراستها. كما ناقش الباحثان تأثير التدرج في المقياس على مكونات المقاومة المختلفة.

Wang et al. 2015 [16]، تم في هذه الدراسة دراسة حقل المخر الاسمي (بدون وجود الرفاص) خلف بدن سفينة حاويات كبيرة. تم استخدام عدة مقاييس للسفينة في الدراسة بالإضافة إلى دراسة السفينة الحقيقية. تم دراسة العلاقة بين حقل المخر الاسمي ورقم رينولدز لجميع المقاييس التي تمت دراستها. تم أيضا دراسة تأثير السطح الحر على توزيع السرعة المحورية في منطفة المخر. تم معايرة النتائج الرقمية من خلال مقارنتها مع النتائج التجريبية المتوفرة، كما وتم إجراء عملية تحقق وتحقيق (Verification and Validation Study) لدراسة تأثير نعومة الشبكة الحسابية على دقة النتائج الرقمية. في النهاية تم إجراء دراسة دقيقة وتفصيلية عن تأثير المقياس على حقل المخر الاسمي خلف بدن السفينة، وتم اقتراح طريقة من أجل تخمين حقل التدفق خلف بدن هذا النوع من السفن.

Sun et al. 2019 [17] قاموا بدراسة حقل المخر الاسمي لسفينة ذات أربع رفاصات تجريبيا ورقميا. تم في الدراسة الرقمية إجراء الحسابات على مقاييس مختلفة للسفينة. النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها تم استخدامها لتقييم الإعدادات والنتائج الرقمية. تم في هذه الدراسة مقارنة حقل المخر داخل وخارج قرص الرفاص لجميع المقاييس المدروسة. من خلال النتائج الرقمية على المقاييس المختلفة تم دراسة تأثير المقياس بشكل مفصل على حقل المخر الاسمي لهذا النوع من السفن.

Guo et al. 2023 [18] قاموا بدراسة تأثير تغيير المقياس على مقاومة سفينة صب ذات حمولة 230 ألف طن. تم اختبار نموذجين لهذه السفينة في قناة جر (نسبة التصغير λ كانت 13، 53.215)، وتم استخدام النتائج التي تم الحصول عليها من أجل اقتراح طريقة تساعد في تقدير مقاومة السفينة الحقيقية. الطريقة التي تم اقتراحها تعطي نتائج جيدة جدا وقريبة جدا من الواقع. تم في هذه الدراسة أيضا دراسة تأثير تغيير المقياس على معامل الشكل. ومن خلال هذه الدراسة تم التوصل إلى أن طريقة الـ ITTC-57 هي الأفضل من أجل حساب مقاومة اللزوجة لهذا النوع من السفن إذا كان رقم فرود أصغر من 0.145، وطريقة Grigson هي الأفضل لحساب مقاومة اللزوجة إذا كان رقم فرود أكبر من 0.145. وعليه وبناء على نتائج هذه الدراسة يجب استخدام كل من طريقة الـ ITTC-57 وطريقة Grigson عند حساب قيم المقاومة المقابلة لقيم مختلفة لأرقام فرود.

أهمية البحث وأهدافه:

يمكن تلخيص أهمية البحث وأهدافه في الأمور التالية:

- دراسة حقل التدفق (السرعة والضغط) في مستوي الرفاص خلف بدن سفينة الصب JBC لوحدتها عند مقاييس مختلفة للسفينة، وهذا الأمر يساعد بشكل كبير في معرفة ظروف عمل الرفاص والتنبؤ بأدائه.
- دراسة تأثير تغيير المقياس على مركبات المقاومة الفردية لسفينة الـ JBC.
- دراسة تأثير تغيير المقياس على حقل التدفق حول بدن السفينة.
- دراسة تأثير تغيير المقياس على التأثير المتبادل بين البدن والرفاص.

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 الـ JBC والرفاص المناسب لها، وهي متوفرة على الانترنت.
- تقنية الـ CFD ضمن برنامج الـ ANSYS. حيث تم استخدام طريقة الـ URANS والموديل الرياضي الـ K-SST لحل معادلات نافيه ستوكس والتي تم عرض معادلاتها بشكل مفصل في أعمال سابقة، انظر [19]–[22].

فروض البحث

يقوم البحث على الفرضية التالية:

- إن سلوك حقل التدفق حول النموذج مشابه بشكل كبير لسلوك حقل التدفق حول بدن السفينة الحقيقية.

الأبعاد الهندسية والشبكة الرقمية

الأبعاد الهندسية والشبكة الرقمية للسفينة مع الرفاص الخاص بها موضحة في كل من الجدول 1 والشكل 1.

الجدول 1: الأبعاد الهندسية للسفينة JBC الحقيقية والنموذج بمقياس تصغير 40 [3].

Item	Symbol	Unit	Model ($\lambda = 40$)	Full scale
Length between perpendiculars	L_{pp}	m	7	280
Breadth (molded)	B	m	1.125	45
Draft (molded)	d	m	0.4125	16.5
Wetted surface area	S_w	m^2	12.22256	19556.1
Blockage coefficient	C_B	-	0.858	0.858
Froude number	F_r	-	0.142	0.142
Reynolds number	R_e	-	7.46×10^6	2.08×10^9
Propeller Diameter	D	m	0.203	8.12
Blades number	N	-	5	5



الشكل 1: نموذج سفينة الصب المستخدمة مع الرفاص MOERI MP687 الخاص بها [23], [3].

لقد تم استخدام الشبكات المنتظمة لكل الحالات المدروسة.

تقييم النتائج الرقمية

لقد تم في هذه الدراسة استخدام خمس نسب تصغير مختلفة للسفينة وهي ($\lambda = 1, 10, 20, 30, 40$). وعلى اعتبار أن النتائج التجريبية متوفرة فقط للنموذج ذو نسبة التصغير $\lambda = 40$ [3]، تم في بداية الأمر التأكد من جودة ودقة الطريقة الرقمية والموديل الرياضي والشبكة الحسابية التي تم استخدامها لحل المعادلات النازمة للجريان من خلال مقارنة النتائج الرقمية للنموذج ذو نسبة التصغير $\lambda = 40$ مع النتائج التجريبية المتوفرة.

تقييم النتائج الرقمية للمقاومة

الجدول 2 يبين الاختلاف بين النتيجة الرقمية والقيمة التجريبية لمعامل المقاومة لسفينة الصب JBC ذات مقياس التصغير $\lambda = 40$ وعند رقم فرود 0.142. كما هو واضح من هذا الجدول فإن الفرق بين النتيجتين لا يتجاوز الـ

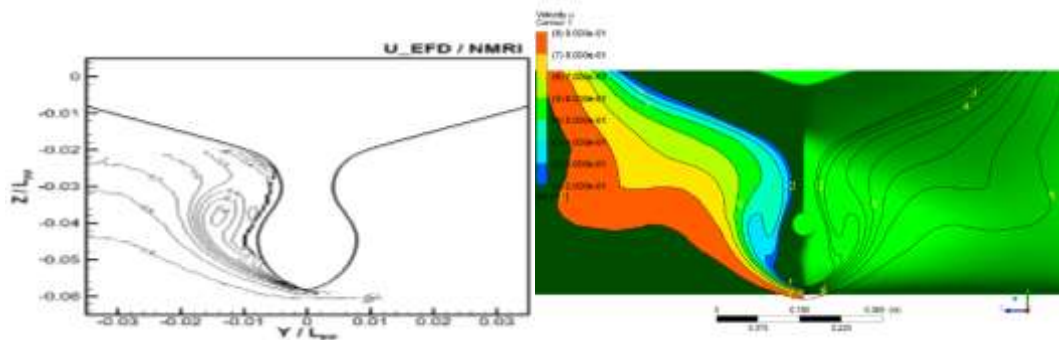
4%، وعلى اعتبار أن عدد الخلايا الذي تم استخدامه أيضاً لم يتجاوز المليون خلية (لا يمكن استخدام أكثر من هذا العدد بسبب الإمكانيات الحاسوبية المحدودة)، بالتالي يمكننا القول بأن النتيجة الرقمية التي تم الحصول عليها جيدة جداً، وتتطابق بشكل كبير مع النتيجة التجريبية، وهذا يؤكد مدى قدرة الـ CFD في إجراء عمليات النمذجة للتدفقات في الكثير من التطبيقات الهندسية.

الجدول 2: نتائج معامل المقاومة الحسابية والتجريبية.

	Experiment	k – ω SST	Error
$C_T \times 10^{-3}$	4.289	4.123	4%

تقييم النتائج الرقمية لحقل السرعة في مستوي الرفاص

النتائج التجريبية لحقل السرعة لمركبات السرعة الثلاث (المحورية والشاقولية والجانبية) خلف بدن السفينة ذات مقياس التصغير $\lambda = 40$ في مكان عمل الرفاص عند رقم فرود 0.142 متوفرة لدينا [3]، بالتالي يمكن مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها ضمن برنامج الـ ANSYS مع النتائج التجريبية المتوفرة. يوضح الشكل 2 على سبيل المثال مقارنة لحقل السرعة للمركبة المحورية u قبل مستوي الرفاص الذي تم الحصول عليه ضمن برنامج الـ ANSYS مع النتيجة التجريبية، مع العلم أن بقية المركبات تعطي نفس التوافق بين النتائج الرقمية والنتائج التجريبية. وهنا نلاحظ وجود تطابق جيد جداً لحقل السرعة في كلا الحالتين وذلك من أجل مليون خلية حسابية.



الشكل 2: مقارنة حقل السرعة للمركبة المحورية u قبل مستوي الرفاص، عندما رقم فرود 0.142.

دراسة تأثير تغيير المقياس على مركبات المقاومة المؤثرة على السفينة

كما ذكرنا سابقاً فلقد تم دراسة خمس مقاييس مختلفة للسفينة، وعلى اعتبار أن هذا النوع من السفن يعمل عند سرعات منخفضة نسبياً، حيث أن السرعة الاسمية للسفينة (سرعة الخدمة) تكافئ رقم فرود 0.142، وهو الرقم الذي تم إجراء التجربة عنده، فلقد تم في هذه الدراسة اختيار نفس الرقم 0.142، قيم السرعة للمقاييس الخمسة التي تمت دراستها موضحة في الجدول 3. عند هذا الرقم تكون مقاومة الأمواج صغيرة جداً ويمكن إهمالها، وعليه تم إجراء الحسابات للسفينة مع إهمال تأثيرات السطح الحر ومقاومة الأمواج.

إن المركبات الأساسية للمقاومة في مثل هذا النوع من السفن هي مركبات الضغط والاحتكاك، وعليه تم حساب كل من المقاومة الكلية ومركبتي الضغط والاحتكاك لكل مقياس من مقاييس السفينة المدروسة، ثم تم حساب نسبة مركبة الاحتكاك من المقاومة الكلية، ليتم مقارنة هذه النسبة بين كل المقاييس.

الجدول 3 يوضح قيمة كل من مركبة الضغط F_p ومركبة الاحتكاك F_f والمقاومة الكلية F_T التي تم الحصول عليها من الحسابات الرقمية. بناء على هذه النتائج تم حساب النسبة المئوية لمقاومة الاحتكاك من المقاومة الكلية F_f/F_T ، وكما هو واضح من الجدول فإن هذه القيمة ثابتة تقريباً لكل المقاييس وتساوي تقريباً 74.2%. بناء على هذه النتيجة فإنه يمكننا تقدير مقاومة السفينة الحقيقية وفق الطريقة التالية:

- يتم حساب معامل مقاومة الاحتكاك من خلال استخدام علاقة الـ ITTC-57، انظر العلاقة (1)، والتي هي الأفضل مع أرقام فرود الصغيرة (الأصغر من 0.145) وفقاً لدراسة [18] Guo et al. 2023.
- يتم من خلال معامل المقاومة التي يتم حسابه $C_{f_{ITTC}}$ حساب مقاومة الاحتكاك باستخدام العلاقة (2).
- يتم ضرب النتيجة التي يتم الحصول عليها بالنسبة $\frac{100}{74.2}$ ليتم الحصول على المقاومة الكلية للسفينة بالمقياس الحقيقي أو أي مقياس آخر.

$$C_{f_{ITTC}} = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^2} \quad (1)$$

$$F_f = \frac{1}{2} \rho V^2 S_w \quad (2)$$

حيث أن Re هو رقم رينولدز، ρ كثافة الماء وهي 998.2 kg/m^3 للماء العذب (للمناذج)، و 1025 kg/m^3 للماء المالح (للسفينة الحقيقية)، V السرعة m/s و S_w مساحة السطح المبلل m^2 . الخطوات السابقة تم حسابها وعرضها في الجدول 3 حيث تم حساب قيمة معامل مقاومة الاحتكاك $C_{f_{ITTC}}$ وفقاً لطريقة الـ ITTC-57 ليتم بعدها حساب مقاومة الاحتكاك باستخدام العلاقة (2) والمقاومة الكلية $F_{T_{assum}}$ من خلال ضرب مقاومة الاحتكاك بـ $\frac{100}{74.2}$. النتيجة التي تم الحصول عليها للمقاومة الكلية وفقاً لهذه الطريقة تمت مقارنتها مع النتيجة الرقمية للمقاومة الكلية F_T وتم حساب الفرق بينهما كنسبة مئوية $\% Deviation$. كما هو واضح من الفرق بين القيمتين فإن العلاقة المقترحة (3) تعطي تقريباً جيداً لقيمة المقاومة الحقيقية للسفينة.

$$F_{T_{assum}} = F_{f_{ITTC}} \times \frac{100}{74.2} \quad (3)$$

الجدول 3: قيم مركبات المقاومة رقمياً وحسابياً.

λ	V	L_{pp}	F_p	F_f	F_T	F_f/F_T	Re	S_w	$C_{f_{ITTC}}$	$F_{T_{assum}}$	Deviation
[-]	[m/s]	[m]	[N]	[N]	[N]	[%]	[-]	[m^2]	[-]	[N]	[%]
1	7.442	280	286666	828828	1115494	74.31	2083760000	19556.1	0.0014	1047435.75	-6.1
10	2.353	28	425.88	1219.74	1645.62	74.13	65884000	195.561	0.002215	1613.28	-1.96
20	1.664	14	60.72	175.76	236.48	74.33	23296000	48.89025	0.002603	237.07	0.24
30	1.358	9.333	19.74	56.66	76.4	74.17	12674214	21.729	0.00288	77.64	1.62
40	1.176	7	8.9	25.7	34.6	74.28	8232000	12.2225625	0.003104	35.3	2.02

من خلال ما سبق يمكننا ملاحظة الأمور التالية:

- أن نسبة مقاومة الاحتكاك من المقاومة الكلية ثابتة تقريباً عند كل المقاييس، وهذا يساعدنا بشكل كبير في حساب المقاومة الكلية لأي مقياس يراد دراسته.

- إن علاقة الـ ITTC-57 تعطي تقديراً جيداً جداً لمقاومة الاحتكاك عند أرقام فرود الصغيرة، وهي نفس النتيجة التي توصلت إليها الدراسة [18] Guo et al. 2023.

- يمكن اعتماد العلاقة (3) لحساب المقاومة الكلية لسفينة الـ JBC عند أي مقياس.

دراسة تأثير تغيير المقياس على حقل التدفق حول بدن السفينة

يعتبر حقل السرعة في مستوي الرفاص وحقل الضغط على سطح السفينة من أهم البارامترات التي يجب دراستها وتحليلها فيما يخص حقل التدفق حول البدن السفينة، وهذه البارامترات مهمة جداً في المراحل الأولى من التصميم من أجل معرفة ظروف عمل الرفاص والتي تساعدنا في اختيار وتصميم الرفاص المناسب للسفينة، ومن أجل معرفة توزيع القوى والعزوم التي تتعرض لها السفينة. بناء على ذلك سيتم عرض كل من حقل السرعة في مستوي الرفاص للمقاييس الخمسة، توزيع الضغط على سطح السفينة، بالإضافة إلى حقل الدوامات خلف السفينة والتي تعتبر مهمة جداً لمعرفة الأحمال التي سيتعرض لها الرفاص بفعل انفصال الطبقة الحدية خلف البدن.

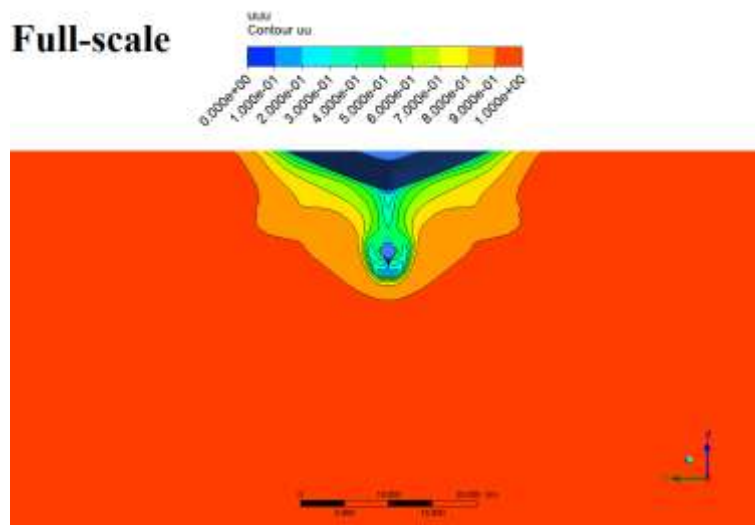
حقل السرعة

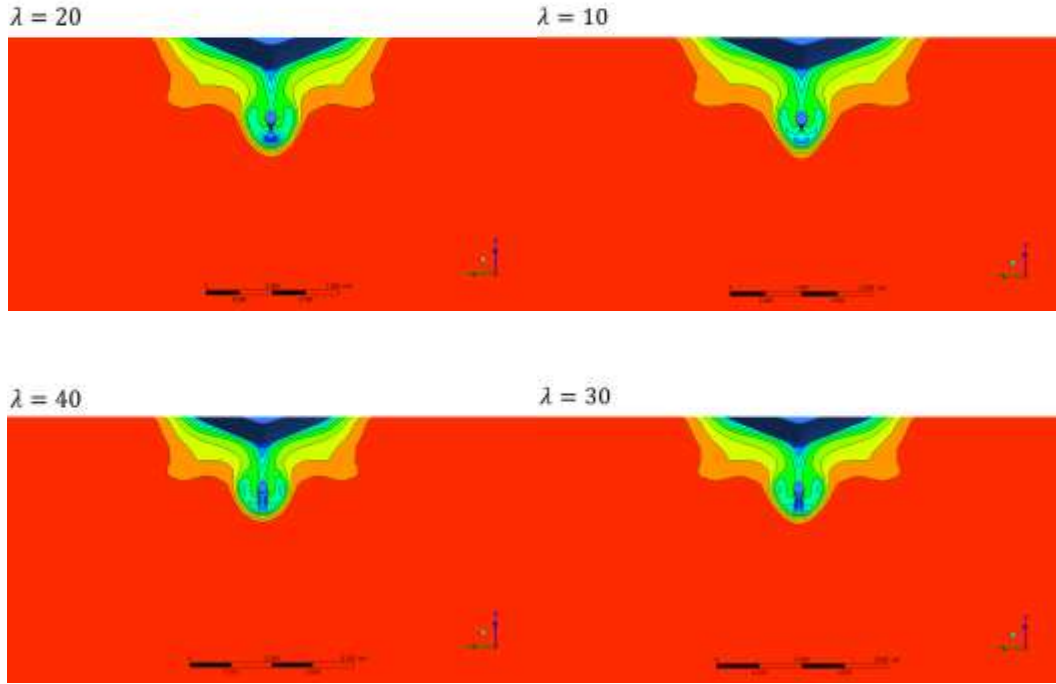
لقد تم تمثيل السرعة بشكل لا بعدي حيث تم تقسيم سرعة التدفق في كل نقطة في مستوي الرفاص على سرعة السفينة وهذا ما يسمى بحقل المخر الاسمي (nominal wake). الشكل 3 يوضح حقل السرعة اللابعدية خلف المقاييس المختلفة لسفينة الـ JBC. من هذا الشكل يمكننا ملاحظة الأمور التالية:

- هناك تشابه كبير بين حقول السرعة خلف جميع النماذج مع حقل السرعة خلف السفينة الحقيقية وبشكل كبير جداً، والفرق الوحيد هو انخفاض منطقة التدفق المنخفض السرعة حول محور الرفاص في حالة السفينة الحقيقية بالمقارنة مع النموذج.

- في كل المقاييس يكون التدفق ضمن قرص الرفاص غير متجانس، حيث نلاحظ عند مخرج محور الرفاص انخفاض كبير في حقل السرعة بالمقارنة مع حقل السرعة بعيداً عن المحور، حيث تزداد سرعة التدفق كلما ابتعدنا عن محور الرفاص وصولاً إلى منطقة التدفق الحر، والسبب الأساسي في هذا الأمر هو انفصال الطبقة الحدية عن البدن، والذي يسبب تشكل مناطق السرعة المنخفضة، وأيضاً هو السبب في هذا التدرج في قيمة السرعة (التوزيع الغير متجانس للسرعة حول محور الرفاص).

- يتوضع الرفاص بشكل كامل ضمن منطقة المخر خلف بدن السفينة، وهذا الأمر يتحقق في كل المقاييس.

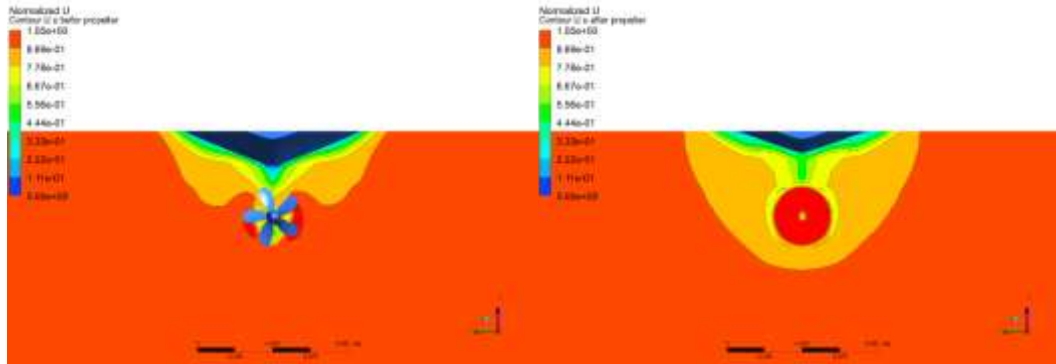


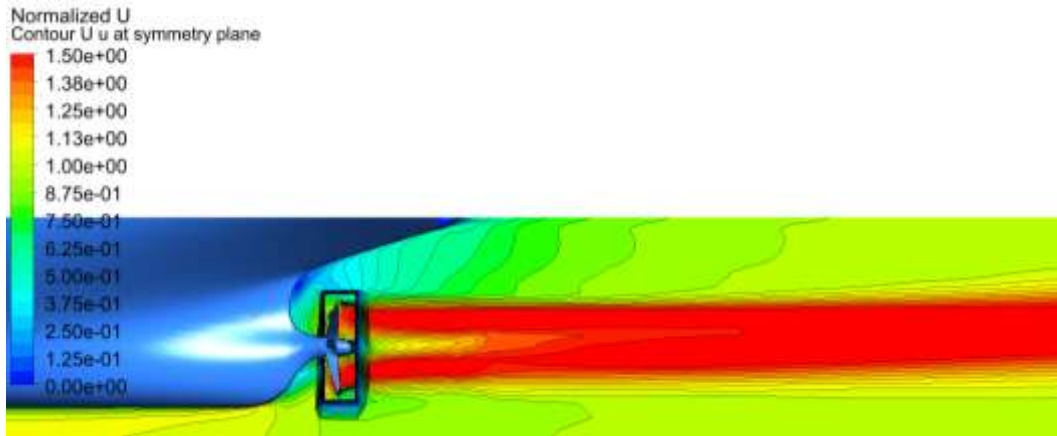


الشكل 3: حقل السرعة اللاحدية في مستوي الرفاص خلف المقاييس المختلفة لسفينة الصب JBC.

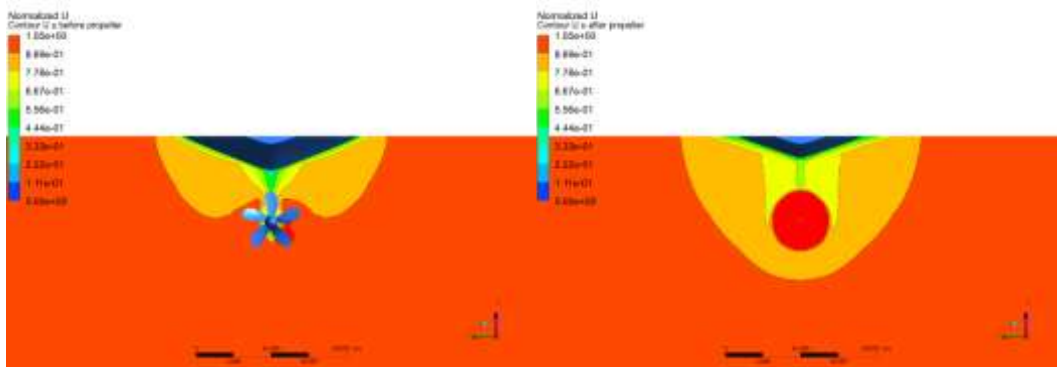
سيغير وجود الرفاص العامل خلف البدن حتماً من حقل السرعة خلف البدن والذي سينتج عنه تغير في خصائص التدفق بالمقارنة مع حالة السفينة بمفردها او الرفاص بمفرده. لهذا السبب تم إجراء الحسابات مع الرفاص على كل من النموذج ذو المقياس $\frac{1}{40}$ والسفينة الحقيقية. الشكل 4 والشكل 5 يعرضان حقل السرعة قبل وبعد الرفاص لكل من النموذج ($\lambda = 40$) والسفينة الحقيقية بوجود الرفاص العامل. من هذين الشكلين نلاحظ الأمور التالية:

- يوجد تشابه كبير بين نتائج النموذج والسفينة الحقيقية.
- يؤدي وجود الرفاص إلى تسارع في التدفق خلف وأمام الرفاص، وذلك بفعل تأثير كل من الامتصاص والدفع الناتج عن عمل الرفاص، الأمر الذي يؤدي إلى تقليل منطقة التدفق منخفض السرعة بالمقارنة مع حالة التدفق خلف السفينة بمفردها.





الشكل 4: حقل السرعة اللابعدية في المستوي قبل وبعد الرفاص خلف نموذج سفينة الصب JBC وفي مستوي التناظر بوجود الرفاص.



الشكل 5: حقل السرعة اللابعدية في المستوي قبل وبعد الرفاص خلف سفينة الصب JBC الحقيقية وفي مستوي التناظر بوجود الرفاص.

حقل الضغط

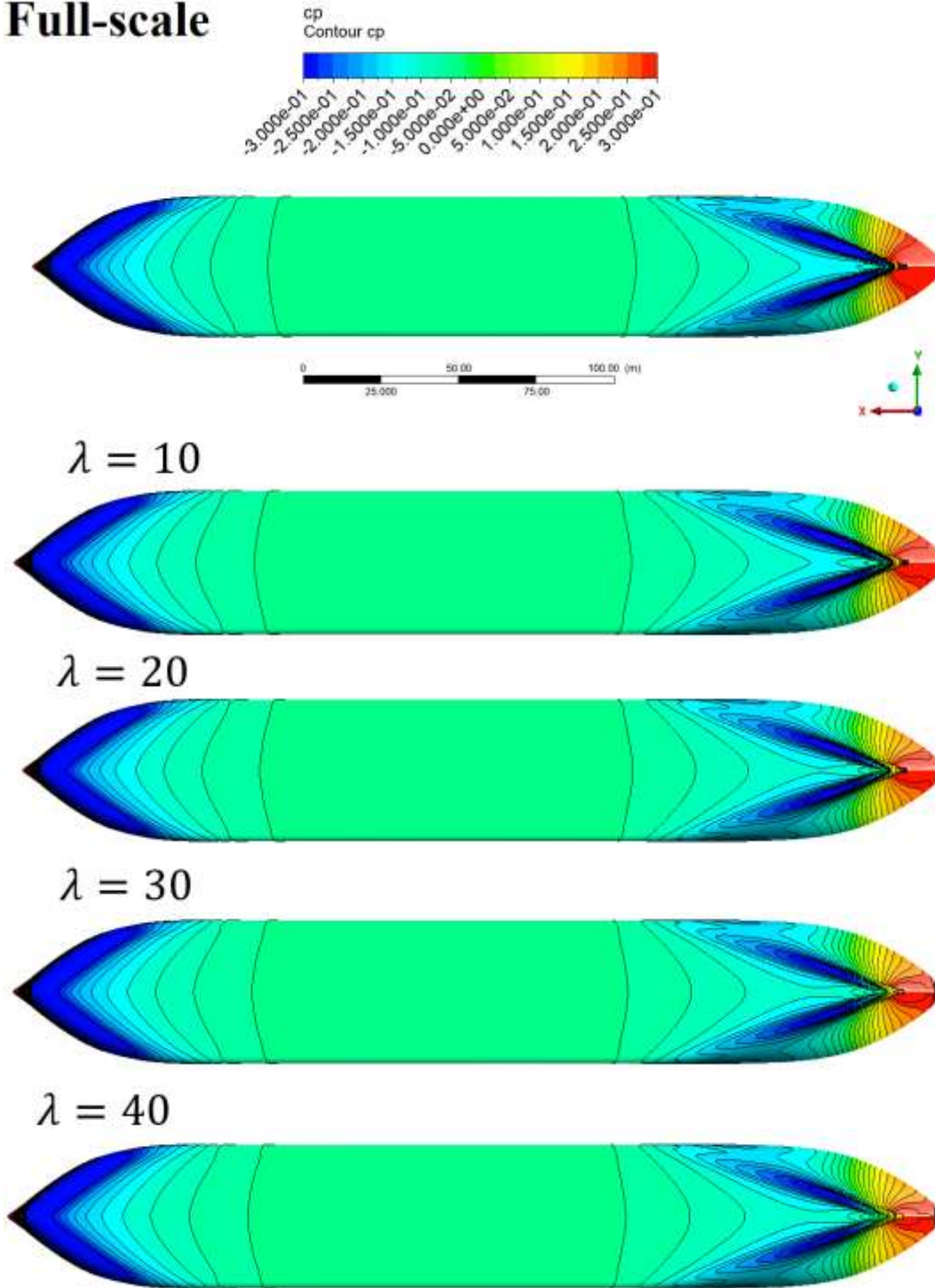
لقد تم حساب معامل الضغط وفق العلاقة التالية:

$$C_p = \frac{P - P_0}{0.5 \cdot \rho \cdot V^2} \quad (4)$$

حيث أن P هو الضغط في كل نقطة، P_0 هو الضغط الجوي، ρ كثافة الماء، V سرعة السفينة. الشكل 6 وحتى الشكل 8 توضح توزيع معامل الضغط لكل المقاييس على كل من أسفل ويسار وميمنة السفينة. وكما هو واضح من هذه الأشكال يمكننا ملاحظة الأمور التالية:

- هناك تشابه كبير جداً في توزيع معامل الضغط على سطح السفينة لكل المقاييس، وبالتالي فإن دراسة النموذج بأي مقياس تصغير سيقدم صورة صحيحة وحقيقية عن توزيع قوى الضغط المؤثرة على البدن.
- يتشكل عند المقدمة منطقة ضغط مرتفع، حيث أن منطقة المقدمة هي منطقة بداية اصطدام الماء بالبدن الأمر الذي يؤدي إلى توقف حركة جزيئات الماء، وبالتالي ووفقاً لبرنولي سيتسبب هذا الأمر في زيادة الضغط بشكل كبير.

Full-scale



الشكل 6: توزيع معامل الضغط أسفل السفينة لكل المقاييس.

- أعلى مؤخرة السفينة يتشكل منطقة ضغط مرتفع، والسبب في هذا هو انفصال الطبقة الحدية والذي يتسبب في انخفاض سرعة التدفق ومرة أخرى وفقاً لبرنولي سيتسبب هذا الأمر في زيادة الضغط المحلي.
- في الجزء الأخير من قاع السفينة يتشكل منطقتي ضغط منخفض يكونان متناظران بالنسبة لمنصف السفينة، السبب الأساسي في تشكل هاتين المنطقتين هو بداية انفصال الطبقة الحدية، وتعتبر هاتين المنطقتين بداية تشكل دوامتين كبيرتين يدخلان إلى قرص الرفاص، والتي سيتم عرضهما بشكل مفصل لاحقاً.
- على يمين ويسار الجزء الأمامي من البدن يتشكل منطقة ضغط منخفض لكل الحالات.

Full-scale



$$\lambda = 10$$



$$\lambda = 20$$



$$\lambda = 30$$



$$\lambda = 40$$



الشكل 7: توزيع معامل الضغط على يسار السفينة لكل المقاييس.

Full-scale



$$\lambda = 10$$



$$\lambda = 20$$



$$\lambda = 30$$



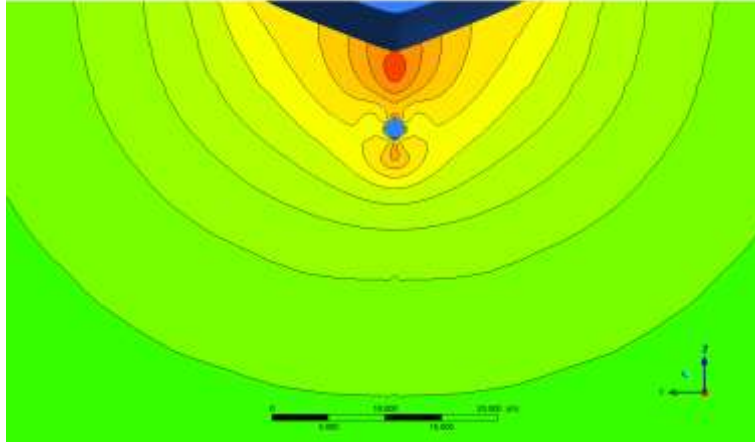
$$\lambda = 40$$



الشكل 8: توزيع معامل الضغط على يمين السفينة لكل المقاييس.

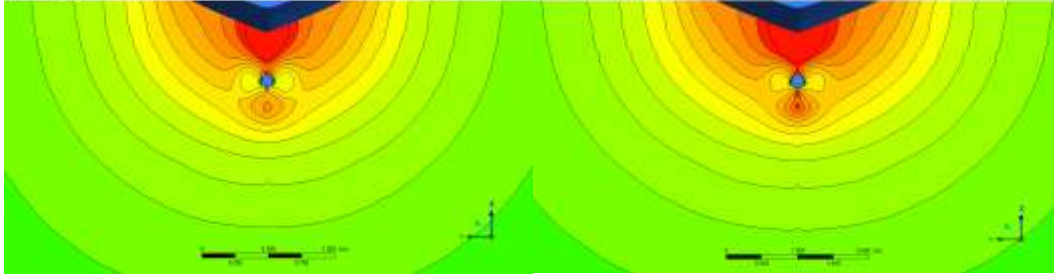
- هناك تناظر تام في حقل الضغط على جانبي السفينة في حالة غياب زاوية الانحراف للسفينة، وهذا هو السبب في انعدام القوى العرضية المؤثرة على السفينة عند الإبحار إلى الأمام مباشرة.
- الشكل 9 يعرض توزيع معامل الضغط في مستوي الرفاص لكل المقاييس المدروسة. من هذا الشكل يمكننا ملاحظة الأمور التالية:

Full-scale



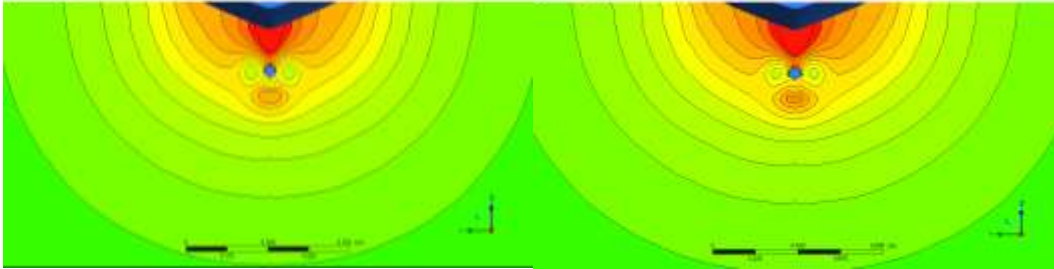
$\lambda = 20$

$\lambda = 10$



$\lambda = 40$

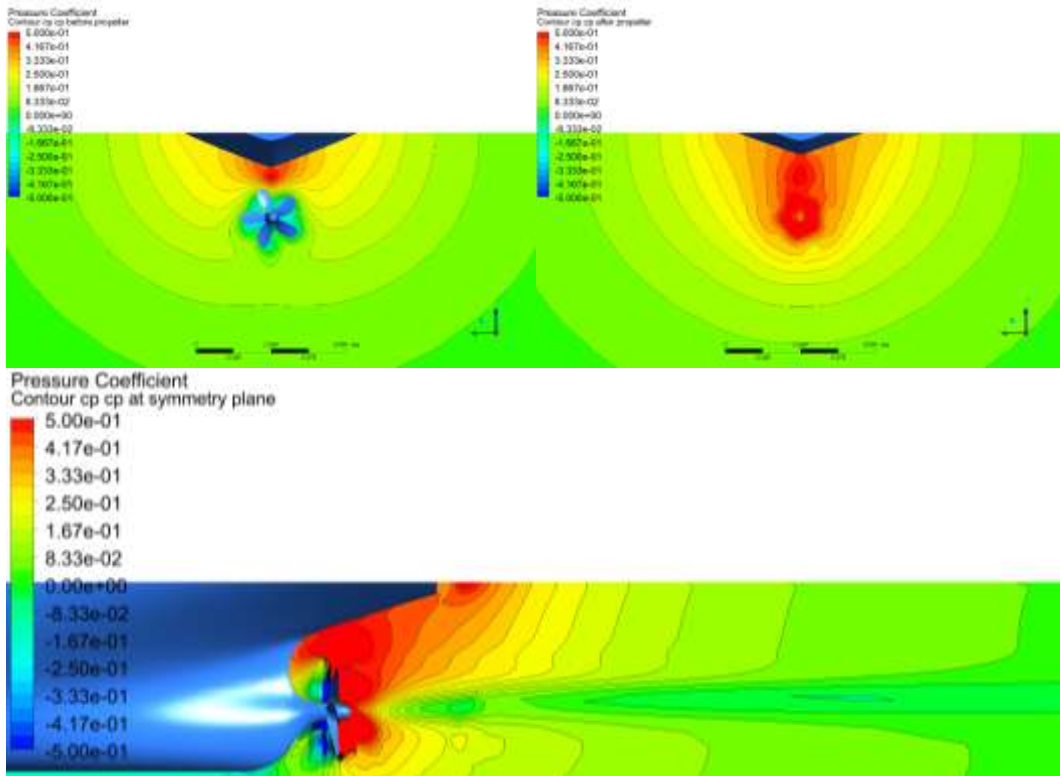
$\lambda = 30$



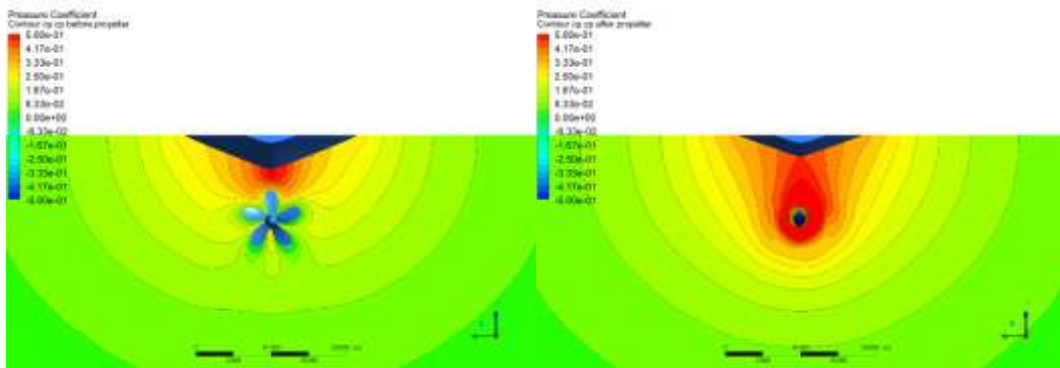
الشكل 9: توزيع عامل الضغط في مستوي الرفاص لكل المقاييس.

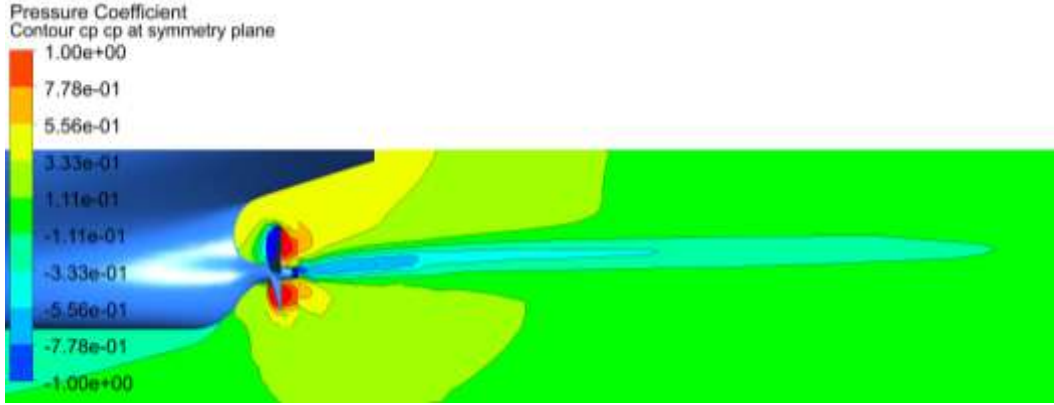
- هناك تشابه كبير بين نتائج كل المقاييس.
- كما في الأشكال السابقة يتشكل منطقة ضغط مرتفع أعلى مؤخرة السفينة، والسبب كما ذكرنا سابقاً هو انفصال الطبقة الحدية وتشكل المخر (منطقة سرعة منخفضة)، انظر الشكل 3، ووفقاً ليرنولي سيتسبب هذا الأمر في زيادة الضغط.

- على يمين ويسار محور الرفاص يتشكل منطقة ضغط منخفض صغيرة، والسبب الأساسي في هذا الأمر هو وجود دوامتين ضخمتين، الدوامات A كما هو موضح في الشكل 12.
- مع وجود الرفاص سيتغير حتماً توزيع الضغط بفعل التأثير المتبادل بين البدن والرفاص سواء بوجود أو بغياب زاوية الانحراف للسفينة، الشكل 10 والشكل 11 توضح توزيع معامل الضغط قبل وبعد الرفاص العامل لكل من النموذج $(\lambda = \frac{1}{40})$ والسفينة الحقيقية وأيضاً توزيع الضغط في مستوي التناظر، من هذه الأشكال يمكننا ملاحظة التالي:
- انخفاض الضغط قبل الرفاص مباشرة وزيادته بعد الرفاص مباشرة، وهذا يتطابق مع نظرية الدافع المثالي [24].
- يوجد تشابه كبير بين نتائج النموذج والسفينة الحقيقية.
- تأثير الصرة في خفض الضغط بعد الرفاص يكون أكبر في السفينة الحقيقية بالمقارنة مع حالة النموذج.



الشكل 10: توزيع الضغط قبل وبعد الرفاص العامل خلف نموذج سفينة الصب JBC.

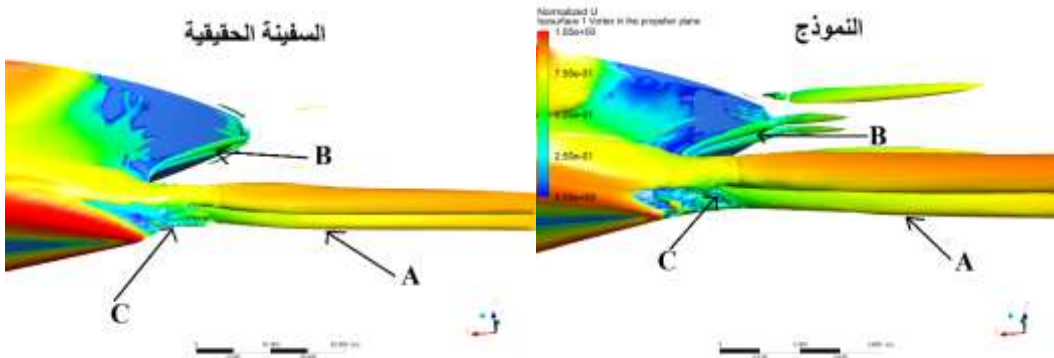




الشكل 11: توزيع الضغط قبل وبعد الرفاص العامل خلف سفينة الصب JBC الحقيقية.

حقل الدوامات

يتم تصميم أبدان السفن لتكون انسيابية قدر الإمكان (well-streamlined bodies)، وذلك لتفادي عملية انفصال الطبقة الحدية، وبالتالي التقليل من المقاومة قدر الإمكان. إن دراسة نظام الدوامات المتشكل حول بدن السفن يعتبر أمر غاية في الأهمية ويحظى بالكثير من الاهتمام في مجال بناء السفن، وذلك لما يسببه من عدم تجانس في التدفق الذي يدخل إلى قرص الرفاص، وهذا بدوره يؤدي إلى اهتزازات في الرفاص والتي تنتقل إلى مؤخرة السفينة ومنها إلى بدن السفينة [25].

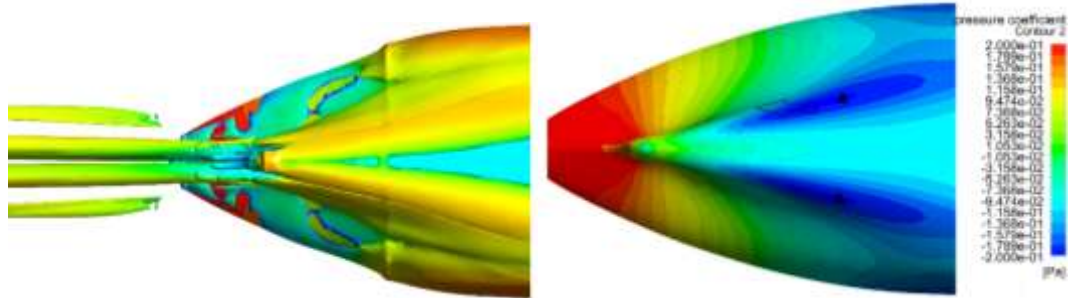


الشكل 12: الدوامات المتشكلة خلف سفينة الصب JBC بدون زاوية انحراف.

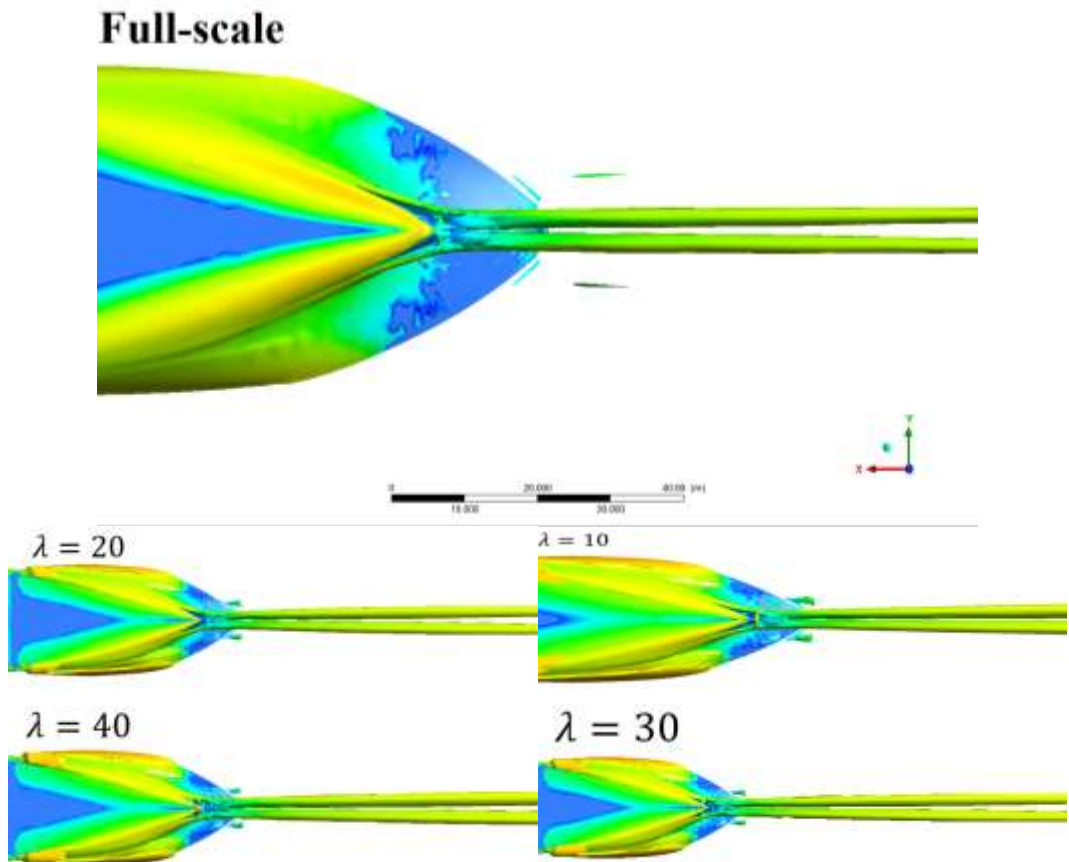
كما هو واضح في الشكل 12، يتشكل خلف بدن سفينة الصب JBC (النموذج والسفينة الحقيقية) دوامتان طويلتان ضخمتان (A)، بالإضافة إلى دوامتين صغيرتين عند السطح (B)، ودوامتين صغيرتين عند منطقة تركيب محور الرفاص (C). الدوامات التي عند السطح تتأثر بشكل كبير بالسطح الحر وبالأمواج التي تتشكل في أثناء الإبحار. والدوامة الأكثر أهمية وتأثيراً، هما الدوامة الضخمتان (A)، وذلك لأنهما يدخلان بشكل مباشر إلى منطقة عمل الرفاص. تتشكل هذه الدوامات الضخمة خلف الجزء الأنوبي من السفن الناقلة (Tankers) وسفن الصب (Bulk Carriers).

كما نعلم فإن السبب الأساسي لتشكل الدوامات هو انفصال الطبقة الحدية عن جسم السفينة، والذي يحدث بسبب زيادة الاضطرابات في التدفق. إن الرقم الأساسي المميز للاضطراب هو رقم رينولدز، حيث تكون قيمته عند مقدمة السفينة مساوية للصفير ($Re = \frac{u \cdot x}{\nu}$) وتزداد قيمته كلما اتجهنا باتجاه المؤخرة حتى يحقق القيمة الحرجة، عند هذه القيمة تحدث عملية الانتقال من التدفق الصفحي إلى التدفق المضطرب، وبالتالي اتجاه أكثر باتجاه المؤخرة تزداد قيمته أكثر وعند النقطة التي يتحقق فيها ($\frac{\partial u_x}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0$) يحدث انفصال الطبقة الحدية عن البدن. خلف هذه المنطقة باتجاه التدفق تكون

الاضطرابات كبيرة جداً وتتشكل سرعات سالبة تتجه عكس التدفق وتظهر مناطق دوران عكسية للتدفق وفي هذه المنطقة تتحقق الشروط التالية ($\frac{\partial P}{\partial x} > 0$ and $\frac{\partial U_x}{\partial y}(y=0) < 0$)، [26]. الشكل 13 يوضح المنطقة التي يتحقق فيها شروط انفصال الطبقة الحدية لحالة السفينة التي تتحرك بدون زاوية انحراف، حيث نلاحظ في هذا الشكل المناطق A والتي فيها قيمة الضغط سالبة، وباتجاه التدفق تصبح $\frac{\partial P}{\partial x} > 0$ ، هاتين المنطقتين هما بداية تشكل الدوامتين الضخمتين اللتان تتشكلان خلف بدن السفينة عند الإبحار بدون زاوية انحراف، انظر الشكل 13.



الشكل 13: منطقة انفصال الطبقة الحدية عند مؤخرة السفينة، وهي منطقة بداية تشكل الدوامتين الضخمتين A المعروضتين سابقاً. الشكل 14 يوضح حقل الدوامات المتشكلة خلف بدن سفينة الصب JBC الحقيقية وكل المقاييس المدروسة. من هذا الشكل نلاحظ هناك تطابق كبير بين حقل الدوامات المتشكل خلف السفينة الحقيقية وكل النماذج المدروسة، وهذا الأمر يعتبر مهم جداً ويوضح أهمية دراسة النماذج واعتمادها لتوقع سلوك السفينة الحقيقية.



الشكل 14: الدوامات المتشكلة خلف بدن سفينة الصب JBC مع كل المقاييس.

كما هو واضح من الأشكال السابقة، فإن الدوامتين الضخمتين تدخلان في قرص الرفاص تماماً، وهذا يعني أن الرفاص سيتعرض لأحمال كبيرة بفعل هاتين الدوامتين، وهذا الأمر ضروري جداً أن يتم أخذه بعين الاعتبار عند اختيار وتصميم الرفاص المناسب لهذا النوع من السفن.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

- هناك تشابه كبير في سلوك التدفق حول بدن النموذج وبدن السفينة الحقيقية، الأمر الذي يوضح أهمية دراسة النماذج.
- إن التجارب على النماذج تقدم صورة دقيقة عما ستعرض له السفينة الحقيقية من ظروف عمل أثناء الإبحار في المياه الحقيقية.
- يمكن استخدام العلاقة التي تم التوصل إليها لحساب مقاومة سفينة الصب الحقيقية، والنتيجة التي يتم الحصول عليها يمكن أن يضاف لها مقاومة الهواء التي ستعرض لها الأجزاء العلوية من البدن، وستكون نتيجة هذه العلاقة قريبة جداً من الواقع.

التوصيات

- يجب ان تتضمن الدراسات الرقمية التي تخص حقل التدفق حول المركبات البحرية كافة ملحقات المركبة وبالأخص الرفاص لما له من تأثير كبير على خصائص حقل التدفق حول بدن المركبة البحرية.

التوصيات للأعمال اللاحقة

- إجراء نفس الدراسة على كل من ناقلة النفط KVLCC2 وسفينة الحاويات KCS من أجل التوصل إلى علاقة مشابهة تساعدنا في حساب مقاومة السفينة الحقيقية بالاعتماد على مقاومة النموذج.
- استخدام طرق أكثر دقة من طريقة الـ URANS مثل الطرق الهجينة وذلك في حال توفر الإمكانيات الحاسوبية الجيدة.

References:

- [1] Q. Zeng, R. Hekkenberg, C. Thill, and H. Hopman, "Scale effects on the wave-making resistance of ships sailing in shallow water," *Ocean Eng.*, vol. 212, p. 107654, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2020.107654.
- [2] S. Hai-Long, E. O. Obwogi, and S. Yu-Min, "Scale effects for rudder bulb and rudder thrust fin on propulsive efficiency based on computational fluid dynamics," *Ocean Eng.*, vol. 117, pp. 199–209, May 2016, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2016.03.046.
- [3] Tokyo-2015, "A Workshop on CFD in Ship Hydrodynamics." <https://t2015.nmri.go.jp/jbc.html> (accessed Jun. 28, 2023).
- [4] N. Degiuli, I. Martić, A. Farkas, M. Pedišić Buča, R. Dejhalla, and C. G. Grlj, "Experimental assessment of the hydrodynamic characteristics of a bulk carrier in off-design conditions," *Ocean Eng.*, vol. 280, p. 114936, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2023.114936.
- [5] N. Kornev and N. Abbas, "Vorticity structures and turbulence in the wake of full block ships," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 23, no. 3, 2018, doi: 10.1007/s00773-017-0493-3.
- [6] H. Islam and C. Guedes Soares, "Uncertainty analysis in ship resistance prediction using OpenFOAM," *Ocean Eng.*, vol. 191, p. 105805, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.02.033.

- [7] N. Kornev, I. Shevchuk, N. Abbas, P. Anschau, and S. Samarbakhsh, "Potential and limitations of scale resolved simulations for ship hydrodynamics applications," *Sh. Technol. Res.*, vol. 66, no. 2, 2019, doi: 10.1080/09377255.2019.1574965.
- [8] M. Maasch, K. Mizzi, M. Atlar, P. Fitzsimmons, and O. Turan, "A generic wake analysis tool and its application to the Japan Bulk Carrier test case," *Ocean Eng.*, 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.12.030.
- [9] H. Islam and C. Guedes Soares, "Uncertainty analysis in ship resistance prediction using OpenFOAM," *Ocean Eng.*, vol. 191, p. 105805, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2019.02.033.
- [10] Y. K. Demirel, S. Song, O. Turan, and A. Incecik, "Practical added resistance diagrams to predict fouling impact on ship performance," *Ocean Eng.*, vol. 186, p. 106112, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2019.106112.
- [11] D. Abbas, "CFD Study of Propeller-Hull Interaction for JBC," Master Thesis, Tishreen University, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Department of Marine Engineering, 2023.
- [12] Z. Liu, W. Zhao, and D. Wan, "Resistance and wake distortion optimization of JBC considering ship-propeller interaction," *Ocean Eng.*, vol. 244, p. 110376, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2021.110376.
- [13] X. Liu, D. Wan, and L. Lei, "Multi-fidelity model and reduced-order method for comprehensive hydrodynamic performance optimization and prediction of JBC ship," *Ocean Eng.*, vol. 267, p. 113321, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2022.113321.
- [14] K. J. Oh and S. H. Kang, "Full scale Reynolds number effects for the viscous flow around the ship stern," *Comput. Mech.*, vol. 9, no. 2, pp. 85–94, Mar. 1992, doi: 10.1007/BF00370064/METRICS.
- [15] C. B. McKesson and L. J. Doctors, "Scaling of Resistance From Surface-Effect Ship Model Tests," *J. Sh. Prod. Des.*, vol. 29, no. 02, pp. 66–75, May 2013, doi: 10.5957/JSPD.2013.29.2.66.
- [16] Z. Z. Wang, Y. Xiong, R. Wang, X. R. Shen, and C. H. Zhong, "Numerical study on scale effect of nominal wake of single screw ship," *Ocean Eng.*, vol. 104, pp. 437–451, Aug. 2015, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2015.05.029.
- [17] S. Sun, X. Chang, C. Guo, H. Zhang, and C. Wang, "Numerical investigation of scale effect of nominal wake of four-screw ship," *Ocean Eng.*, vol. 183, pp. 208–223, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2019.04.032.
- [18] C. Guo, X. Zhong, and D. Zhao, "Research on Scale Effect of Resistance Components for Full-Formed Ship Based on Large-Scale Model Towing Test," *J. Mar. Sci. Eng. 2023, Vol. 11, Page 1300*, vol. 11, no. 7, p. 1300, Jun. 2023, doi: 10.3390/JMSE11071300.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] T. 2015, A. W. on CFD, and in S. Hydrodynamics, “Open Water Tests for JBC(NMRI) MODEL PROPELLER NO.687,” 2015. https://www.t2015.nmri.go.jp/Instructions_JBC/instruction_JBC_files/Open_Water_Tests_for_JBC_NMRI.txt (accessed Jun. 28, 2023).
- [24] M. Barbahan, *Ships Hydrodynamic /2/*. Directorate of books and publications, Tishreen University, 2014.
- [25] N. Al-Aji, “Calculation and analysis of the flow around the KVLCC2 model at different sailing conditions using CFD,” Master Thesis, Tishreen University, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Department of Marine Engineering, 2022.
- [26] H. Schlichting and K. Gersten, *Boundary-Layer Theory*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2000.

