

The Influences of Ship Speed and Separating Distance on Ship-Bank Effect Using CFD

Dr. Nisrine Mohamed *
Abbas Jdeed**

(Received 29 / 6 / 2022. Accepted 22 / 8 / 2022)

□ ABSTRACT □

The bank effect is one of the most dangerous phenomena with concerning navigation in waterways and ports.

This research aims to analyze the effect of the bank and determine its relationship with the ship's speed, and its distance from the bank, given that the ship's speed and the ship's distance from the bank are the most critical parameters that impact the ship-bank effect. The RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) method with the Menter κ - ω SST model was used to solve Navier Stokes equations due to the quality and stability of the solution it provides.

A comparison between the numerical and experimental results demonstrated the accuracy of the calculations in predicting the forces and moments resulting from the phenomenon of the bank effect.

Keywords: Bank effect - hydrodynamic forces – CFD - κ - ω SST.

* Associate Professor, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. NisreenMuhammad@scs-net.org

* Master Student, Maritime Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. abbasjdeed@yahoo.com

تأثير سرعة السفينة وبعدها عن الضفة على ظاهرة Bank effect باستخدام CFD

د. نسرين محمد*

عباس جديد**

(تاريخ الإيداع 29 / 6 / 2022. قُبل للنشر في 22 / 8 / 2022)

□ ملخص □

يعد تأثير الضفة من أكثر الظواهر خطورة فيما يتعلق بالملاحة في الممرات المائية والموانئ. يهدف هذا البحث إلى تحليل تأثير الضفة وتحديد علاقته مع سرعة السفينة وبعدها عن الضفة على اعتبار أن سرعة السفينة والبعده عن الضفة من أهم البارامترات التي تؤثر في هذه الحالة. تم دراسة هذه الظاهرة باستخدام ديناميك الموائع الحسابية CFD حيث تم استخدام طريقة الـ RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) وموديل الاضطراب $\kappa-\omega$ SST لحل معادلات نافيه ستوكس.

مقارنة للنتائج الرقيمة مع النتائج التجريبية أظهرت توافق جيد جداً، وهذا يؤكد مدى دقة تقنية CFD في دراسة هذه الحالات من التدفق، وبالأخص في حساب القوى والعزوم المؤثرة على السفينة.

الكلمات المفتاحية: تأثير الضفة - القوى الهيدروديناميكية - ديناميك الموائع الحسابية - الموديل $\kappa-\omega$.

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

NisreenMuhammad@scs-net.org

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

abbasjdeed@yahoo.com

مقدمة:

أثناء الملاحة في المياه الضحلة تتأثر السفينة بمجموعة كبيرة من العوامل التي تؤثر على خصائصها الهيدروديناميكية حيث يرتبط هذا التأثير بعلاقة عكسية مع عمق المياه فيزداد كلما كان عمق الماء أقل. فعلى سبيل المثال، تصبح مقاومة السفينة أكبر في المياه الضحلة عما هي عليه في المياه المفتوحة عند السرعة نفسها. تترافق الزيادة في القوى الهيدروديناميكية المؤثرة على السفينة في المياه الضحلة مع انخفاض قدرة السفينة على المناورة بالإضافة إلى انخفاض استقرارها الملاحي.

في الحالة الطبيعية فإن السفينة تزيح حجم كبير من الماء أثناء الملاحة في المياه المفتوحة والعميقة حيث ينتقل الماء المزاح بانسيابية على طول بدن السفينة وتحتة ولكن في المياه المحدودة والضحلة فإن الماء المزاح يتسارع على طول بدن السفينة وتحت القرينة مسبباً زيادة في سرعة تيار الرجوع (العودة)، مما يؤدي إلى تغير في حقول الضغط حول البدن فتتساقط قوى وعزوم تؤثر على السفينة نتيجة التدفق غير المتماثل الناتج عن وجود الضفة، وتعرف هذه القوى والعزوم بتأثير الضفة Bank Effect.

ينتج عن التوزيع غير المتماثل للضغط حول بدن السفينة قوة عرضية تجذب مؤخرة السفينة باتجاه الضفة، ويتشكل عزم ميلان عرضي عند مقدمة السفينة عزم ميلان عرضي يدفع المقدمة بعيداً عن الضفة، تختلف قيمة القوة العرضية وعزم الميلان العرضي الناتج عن فرق الضغط على جانبي السفينة بشكل كبير مع تغير سرعة السفينة والمسافة الفاصلة بين السفينة والضفة وعليه فإن مشكلة البحث تكمن في الدور الذي تلعبه سرعة السفينة والمسافة الفاصلة بين السفينة والضفة في التأثير على القوى والعزوم الناتجة عن ظاهرة تأثير الضفة.

تعد حادثة تصادم السفينتين L'AGAWA CANYON & L'EMERALD STAR عام 1998 من أشهر الحوادث الناتجة عن تأثير الضفة، فبحسب التقرير السمي للتحقيق (Marine Investigation Report M98F0039) [7] أثناء دخول السفينة AGAWA CANYON بحمولتها الكاملة ميناء بيرنز في إنديانا متجهة باتجاه قفل ماك آرثر في سولت سانت ماري كان البعد بين ميمنة السفينة والضفة حوالي 3.5m عند عمود المقدمة و 3m عند عمود المؤخرة عندما بدأت السفينة بالتسارع بوتيرة تصاعديّة ومن ثم خرجت عن السيطرة وبدأت مقدمة السفينة بالانحراف نحو الميسرة نتيجة وسادة الضغط المتشكلة بينها وبين الضفة في هذه الأثناء كانت السفينة EMERALD STAR قد غادرت قفل بو وهي تبخر بالقرب من الضفة على المسرب اليساري بالنسبة للسفينة AGAWA CANYON وعلى الرغم من التحذيرات والإجراءات التي اتخذت لتفادي الاصطدام إلا أن الوقت كان قد تأخر لتجنبه بالكامل مما أدى إلى اصطدام مقدمة السفينة AGAWA CANYON مع ميسرة السفينة EMERALD STAR ومن ثم تابعت السفينة AGAWA CANYON انحرافها لتصطدم بضفة القناة مما ألحق أضراراً كبيرة بمقدمتها وبالضفة وبميسرة السفينة EMERALD STAR.

تعتبر دراسة (Vantorre, et all, 2003) [1] من أهم الدراسات التجريبية في هذا المجال، حيث تم فيها تنفيذ برنامج اختبار منهجي لنموذج مقيد في حوض جر لاختبار المناورة في المياه الضحلة (جمعية فلاندرز الهيدروليكية - جامعة جينت) في أنتويرب (بلجيكا). نتائج هذا البرنامج تم استخدامها لمناقشة تأثير البارامترات الرئيسية التي تحدد القوى والعزوم الهيدروديناميكية. تم تنفيذ سلسلة الاختبارات باستخدام ثلاثة نماذج للسفن في مسار متوازي على طول ضفة عمودية ذات سطح حاد مع تغيير عمق مياه، والمسافة الجانبية، وسرعة التقدم، وعدد الدورات في الدقيقة للرفاص. تم اقتراح صيغ تجريبية جديدة للتنبؤ بقوى التأثير المتبادل بين السفينة والضفة بناءً على النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها من هذه الاختبارات

قام (Kaidi, et all, 2016) [3] بدراسة القوى الهيدروديناميكية المؤثرة على السفينة وبين كيف أن هذه القوى تزداد كلما كانت المسافة بين السفينة والضفة صغيرة وبالنسبة لبعده ثابت عن الضفة فإن تأثيرها يتناسب مع سرعة السفينة حيث تكون السرعة هي البارامتر الذي يلعب الدور الأكبر في تأثير الضفة أما بالنسبة للدور الذي يلعبه الرفاص فهو يعتبر تابع للبعد عن الضفة وسرعة السفينة ونسبة تقدم الرفاص حيث أن تأثير البعد والسرعة بوجود الرفاص يزداد بشكل كبير وتزداد معه القوى الهيدروديناميكية بالمقارنة مع حالة غياب الرفاص في حين أن نسبة تقدم الرفاص يكون تأثيرها أكثر أهمية حيث أن الانخفاض في نسبة التقدم يؤدي إلى تضخم قوة وعزم الميلان العرضي المؤثرة على البدن من جهة ولكنه يؤدي إلى انخفاض مقاومة السفينة من جهة أخرى.

وفقاً لـ (Lataire, et all, 2015) [4] فإن القوة العرضية عند العمود الأمامي للسفينة Y_F تكون إما قوة جذب أو نبذ وتزداد قيمتها مع ازدياد سرعة السفينة أو عندما تبخر السفينة بالقرب من الضفة أو عندما يكون المقطع العرضي صغير (أي معامل الانسداد كبير)، في حين أن تأثير الرفاص المتوضع بالقرب من عمود المؤخرة يكون ضئيلاً على القوة العرضية المؤثرة على عمود المقدمة، لقد توصلت الدراسة إلى أنه كلما كانت سرعة السفينة أكبر كلما كانت قوة الجذب المؤثرة على العمود الخلفي أكبر وهذه القوة تزداد أيضاً كلما كان الحمل على الرفاص أكبر كما أن المسافة الصغيرة بين الضفة والسفينة أو بين القاع و قرينة السفينة ستزيد أيضاً من قيمة هذه القوة وذلك ينطبق أيضاً على معامل الانسداد.

وفقاً لـ (Du, et all, 2018) [5] فإنه عندما تكون المسافة الفاصلة بين السفينة والضفة صغيرة والسرعة كبيرة فإن السفينة تتحرف عن مسارها بشكل كبير وتبتعد المقدمة عن الضفة بزوايا ميلان كبيرة وبالتالي تصبح المناورة صعبة جداً أما في حال كان عرض القناة صغيراً فإن ذلك يزيد المقاومة المطبقة على السفينة أثناء تقدمها عندما تبخر في وسط القناة وبالتالي تتخفف سرعتها ويزداد استهلاكها للوقود إلا أن ذلك يساعد على حفاظ السفينة على مسارها لأن تأثير الضفتين يكون متعاكساً. لقد تم اقتراح الحد الأدنى المسموح به للبعد عن الضفة أثناء إبحار السفينة في القناة وذلك بأن تسلك السفينة مساراً في وسط القناة وبسرعة متوسطة عند الإبحار في المياه المحدودة.

(Hoydonck, et all, 2018) [6] وضح كيف أنه يمكن التنبؤ بتأثير الضفة باستخدام الطرق الرقمية ولكن قد توجد بعض الانحرافات عن القيم التجريبية نتيجة الاختلاف في دقة موديلات الاضطراب المستخدمة، كما وضح Hoydonck وزملاؤه كيف أن دقة الشبكة الحاسوبية المستخدمة تؤثر بشكل كبير جداً على دقة النتائج الرقمية. في هذه الدراسة تم أيضاً توضيح دور الرفاص الكبير في زيادة أثر الضفة نتيجة الدور الذي يلعبه في زيادة انخفاض الضغط في منطقة مؤخرة السفينة وبالإضافة إلى التغيرات التي تحدث على الطبقة الحدية وانفصالها عن البدن بفعل وجود الرفاص كما بينت هذه الدراسة بأن حساب السطح الحر (دراسة المائع ثنائي الطور) لا تؤثر بشكل ملحوظ على القوى والعزوم إلا عندما تكون المسافة صغيرة جداً بين القرينة والقاع.

أهمية البحث وأهدافه:

تبرز الأهمية النظرية للبحث من خلال دراسة هذه الظاهرة رقمياً باستخدام تقنية CFD والتي تمكنا من دراسة التدفق حول بدن في الكثير من الظروف المختلفة التي يصعب تحقيقها في قنوات الجر لصعوبة توفير كامل الشروط الحدية المطلوبة بالإضافة إلى التكاليف المادية الكبيرة لإجراء التجارب في أحواض الجر. أهم أهداف هذا البحث تكمن في

دراسة تأثير سرعة السفينة والبعدها عن الضفة على ظاهرة Bank effect فمن خلال نتائج مثل هذه الدراسات يمكننا تقادي اصطدام السفينة بحواف الأبنية الضيقة والقليلة العمق من خلال معرفة سرعة السفينة المناسبة في مثل هذه الممرات المائية بالإضافة إلى معرفة المسافة الجانبية الواجب تركها بين السفينة وحواف القناة.

طرائق البحث ومواده:

1. فرضيات البحث

يقوم البحث على الفرضيات الآتية:

- توجد علاقة طردية بين سرعة السفينة وتأثير الضفة حيث يزداد هذا التأثير بازياد سرعة السفينة.
- توجد علاقة عكسية بين بعد السفينة عن الضفة وظاهرة تأثير الضفة حيث يتناقص هذا التأثير بازياد البعد عن الضفة.

2. منهجية البحث

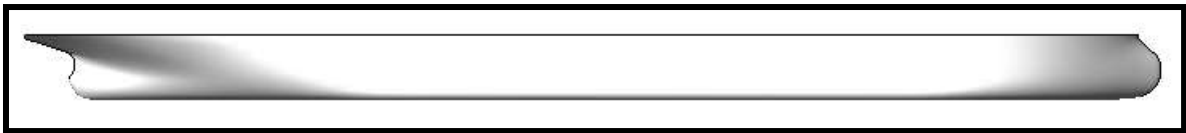
اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي وتم استخدام ديناميك الموائع الحسابية كطريقة رقمية لتحليل تأثير الضفة. تم استخدام برنامج الـ ANSYS Fluent لإجراء الحسابات باستخدام الـ CFD، حيث تم استخدام طريقة الـ RANS وموديل الاضطراب $k-\omega$ SST لحل معادلات نافيه - ستوكس النازمة للتدفق.

3. نموذج السفينة

لقد تم استخدام نموذج سفينة البضائع السائبة (JBC Japan Bulk Carrier) بمقياس (1/80) لإجراء هذه الدراسة. مجسم السفينة تم الحصول عليه بصيغة [8] IGES. الجدول 1 والشكل 1 يوضحان الأبعاد الهندسية وشكل النموذج المستخدم.

جدول 1 الأبعاد الهندسية لنموذج السفينة JBC.

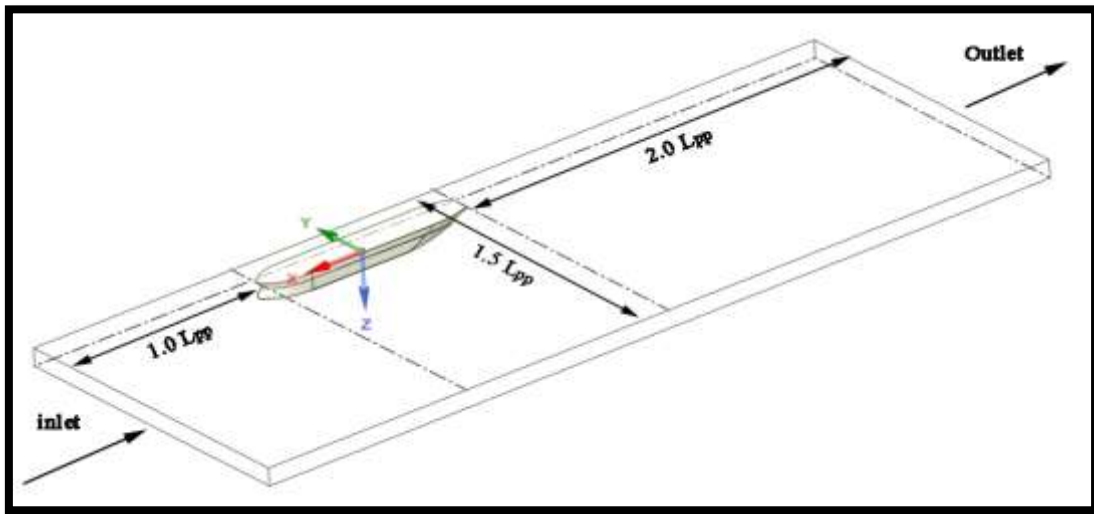
Ship type	Bulk carrier
Lpp (m)	3.5
B _{wl} (m)	0.5626
T (m)	0.20625
C _B	0.858
S _{0_w} (m ²)	3.0556
Fn (Lpp)	0.142



الشكل 1 ناقلة البضائع السائبة اليابانية JBC.

4. الوسط الحسابي Computational Domain:

يبين الشكل 2 بدن السفينة ونظام الإحداثيات المستخدم وهو نظام الإحداثيات الديكارتي اليميني حيث يقع مبدأ الإحداثيات عند نقطة تقاطع خط الوسط للسفينة مع المقطع الوسطي للسفينة وتتجه محاور الإحداثيات X, Y, Z باتجاه المقدمة ويمينة السفينة والأسفل على الترتيب، أما بالنسبة للوسط الحسابي الذي سيتم إجراء الدراسة فيه فإن مدخل المجال الحسابي يبعد بمسافة $1 L_{pp}$ عن عمود المقدمة للسفينة ومخرج المجال الحسابي يبعد مسافة $2 L_{pp}$ عن عمود المؤخرة للسفينة ويمتد المجال بعرض $1.5 L_{pp}$ بحيث تكون نسبة عرض القناة إلى عرض السفينة $W = 9.33B$ وتم اختيار ذلك لتجنب تأثير الضفة المقابلة بحيث تكون السفينة تحت تأثير الضفة القريبة منها في حين لا يكون للضفة البعيدة عن السفينة أي تأثير على حقل الضغط حول البدن أو القوى المؤثرة عليها . القاع تم اختياره بحيث يحقق النسبة $h/T=1.2$.



الشكل 2 نموذج السفينة و الوسط الحسابي.

5. الشبكة الحسابية Computational Grid:

تم استخدام شبكة حسابية غير منتظمة من نوع Fluent Mosiac المبنية في الشكل 3 حيث أن الشبكة في منطقة بدن السفينة مكونة من عناصر Polyhedral وفي المنطقة حول السفينة مكونة من 10 طبقات من عناصر من نوع poly-prisms أما باقي المجال الحسابي فهو مكون من عناصر من نوع hexahedral. لتحقيق الدقة في الحل للتدفق اللزج فقد تم تحسين العناصر بالقرب من بدن السفينة وذلك للتنبؤ بالقوى الهيدروديناميكية المؤثرة عليها بدقة، وقد تم اختيار دقة الشبكة الحسابية المستخدمة في هذه الدراسة بعد إجراء اختبار لحساسية الشبكة حيث يعتمد هذا الاختبار على عدة شبكات حسابية ذات دقة مختلفة يتراوح عدد عناصرها بين 1.4×10^6 - 6.5×10^6 عنصر يتم اختبارها عند شروط متطابقة.

يوضح الجدول (2) قيمة الخطأ بين قيمة المقاومة المقاسة والمقاومة المحسوبة كتاب دقة الشبكة الحسابية، حيث تم هذا الاختبار في حالة السفينة في وسط القناة التي طولها $3 L_{pp}$ وعمقها $h=3T$.

جدول 2 نتائج اختبار حساسية الشبكة

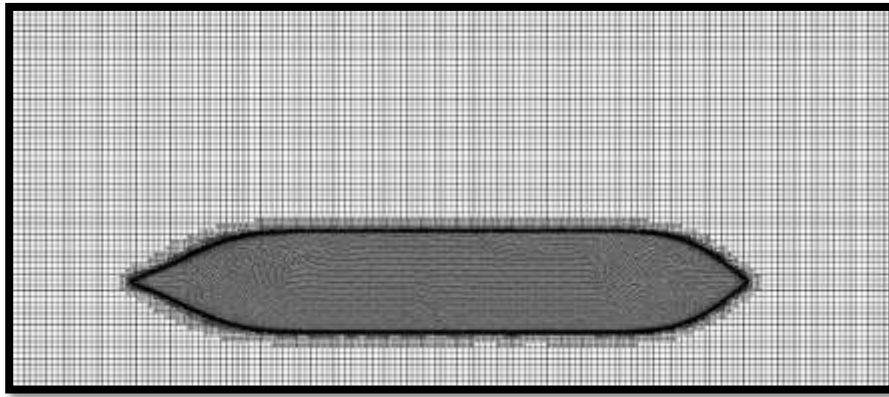
	Grid 1	Grid 2	Grid 3	Grid 4
Grid number	1.4×10^6	3×10^6	5×10^6	6.5×10^6

Computed $C_T \times 10^{-3}$	4.6	4.46	4.43	4.42
EFD $C_T \times 10^{-3}$			4.29	
Relative error E%D	7.2	4.9	3.9	3.8

حيث يعطى معامل المقاومة اللابعدى C_T بالعلاقة:

$$C_T = \frac{1000 R_T}{0.5 \rho U^2 L_{PP} T} \quad (1)$$

R_T المقاومة الكلية للسفينة، ρ كثافة الماء، T غاطس السفينة، U سرعة السفينة.



الشكل 3 الشبكة الحسابية المستخدمة في الدراسة.

تبين المحاكاة ازدياد الوقت اللازم لإجراء الحسابات مع زيادة عدد عناصر الشبكة كما تظهر استقرار الخطأ حيث أن النتائج الرقمية تبدأ بالتقارب من الشبكة الحسابية رقم 3، قيمة الخطأ $|C_T|E\%D = |100(S - D)/D|$ (حيث S القيمة الناتجة عن المحاكاة و D القيمة الناتجة عن الاختبارات التجريبية) تبلغ 3.9% وبالتالي فإن جميع الحسابات سيتم فيها استخدام شبكة مماثلة للشبكة 3.

6. الشروط الحدية:

الشروط الحدية التي تم اعتمادها في هذا البحث مبينة بالجدول 3:

جدول 3 يبين الشروط الحدية التي تم اعتمادها أثناء إجراء الحسابات.

inlet	outlet	ship	speed	h/T	Y_{B3}	UKC
Velocity inlet	Pressure outlet	No slip wall	Fr = 0.033-0.05-0.066	1.2	0.35-0.45-0.67	15%

الدراسة هي جريان ثلاثي البعد لمائع نيوتوني وقد تم اعتماد مجموعة من الافتراضات لتبسيط عملية المحاكاة وهي:

- التدفق متجانس للمائع غير القابل للانضغاط.
- حركة السفينة خطية والسرعة ثابتة.
- السطح الحر للماء مستقر (خالي من التيارات والأمواج).
- السفينة في وضعية توازن مطلق (even keel) (الغاطس الأمامي للسفينة مساوي للغاطس الخلفي) وبدون تأثير الدفة والرفاص.

- قاع القناة مسطح دون وجود أي عوائق طبيعية.
- في هذا البحث تم استخدام نموذج الاضطراب k- ω SST وطريقة الحل عبر خوارزمية Simplec وذلك لتحسين التقارب والحصول على دقة أفضل للحل.

النتائج والمناقشة:

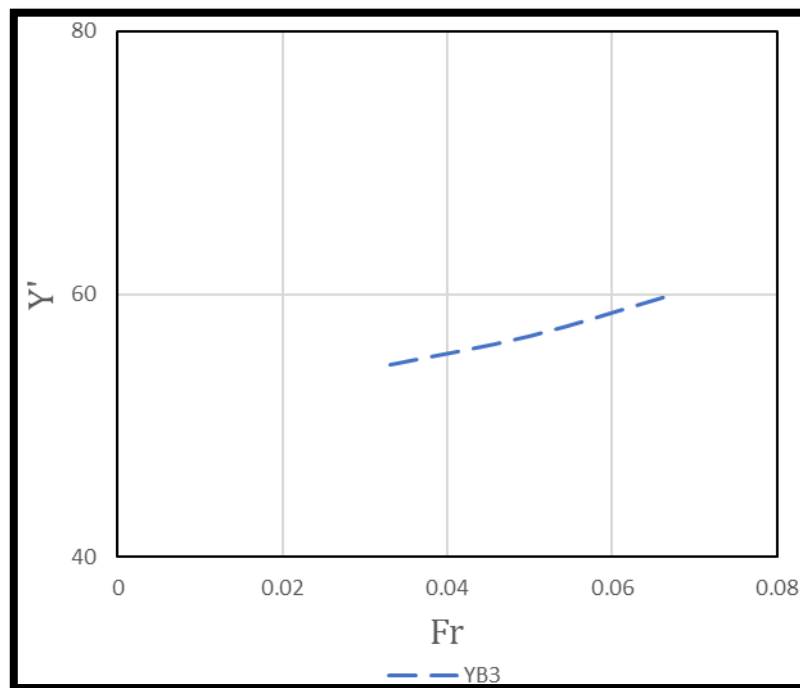
في الجزء العملي لهذا البحث سيتم مناقشة تغييرات القوة العرضية Y وعزم الميلان العرضي N المؤثرة على السفينة والناجمة عن ظاهرة تأثير الضفة ويتم عرض تغيراتهما بالشكل اللابعد Y', N' حيث تعطى كل منهما بالعلاقة:

$$Y' = \frac{1000 Y}{0.5 \rho U^2 L_{pp} T} \quad (2)$$

$$N' = \frac{1000 N}{0.5 \rho U^2 L_{pp}^2 T} \quad (3)$$

1. سرعة السفينة:

تم اختبار النموذج عند ثلاثة قيم مختلفة للسرعة يعبر عنها عن طريق رقم فرود الموضح في العلاقة (4) مع مراعاة بعد ثابت للسفينة عن الضفة يبين الشكل 4 تأثير سرعة السفينة (رقم فرود) على القوة المؤثرة على السفينة.

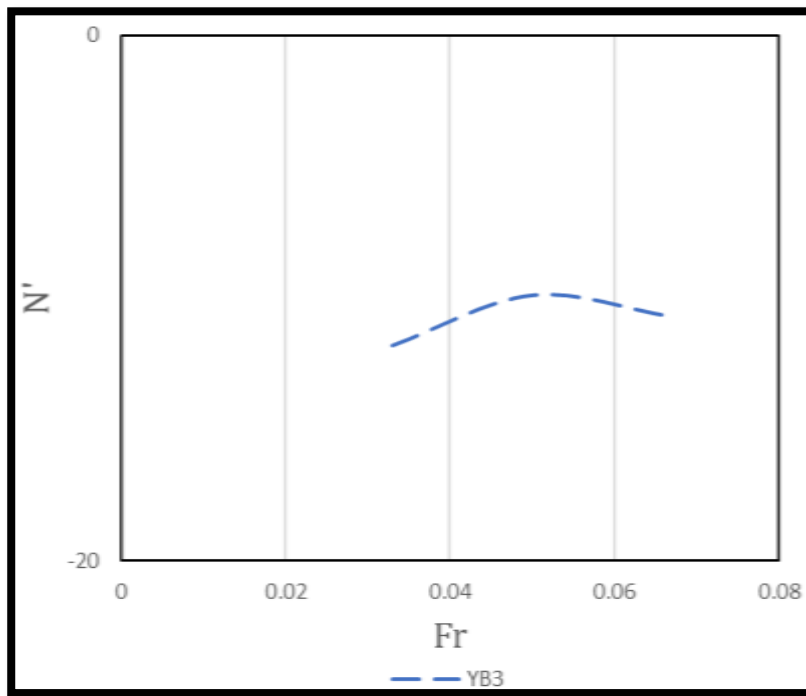


الشكل 4 تغييرات القوة العرضية كتابع لرقم فرود عند $Y_{3B}=0.67$.

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g \times L_{pp}}} \quad (4)$$

كما هو موضح بالشكل 4 فإن القوة العرضية المؤثرة على السفينة والناجمة عن تأثير الضفة تزداد قيمتها بزيادة سرعة السفينة فخطوط التيار أثناء إبحار السفينة في القناة تتضغط على يمين السفينة ويسارها لكن هذا الانضغاط يكون أكبر في جهة اليمين المحصورة بين السفينة والضفة من جهة الميسرة التي يتحرك فيها الماء في مجال أوسع وبالتالي يوجد فرق في سرعة الماء العائد على جانبي السفينة حيث تكون سرعة الماء في الجهة المحصورة بين السفينة والضفة أكبر من الجهة الأخرى مما ينتج عنه حسب معادلة برنولي انخفاض الضغط في المنطقة المحصورة بين السفينة والضفة فكلما كانت سرعة الجريان أكبر كان الضغط أقل وبالتالي ينتج عن فرق الضغط بين جانبي السفينة قوة تكون عادة قوة جذب للسفينة باتجاه الضفة وتزداد شدة هذه القوة بازدياد سرعة السفينة.

أما بالنسبة لعزم الميلان العرضي المؤثر على السفينة والذي يعمل على إبعاد مقدمة السفينة عن الضفة فقد توصلت الدراسة إلى أن قيمته تزداد بازدياد السرعة كما هو مبين في الشكل رقم 5. ويعود سبب ذلك إلى زيادة قيمة الضغط في



الشكل 5 تغييرات عزم الميلان العرضي كتابع لرقم فرويد عند بعد $Y_{B3}=0.67$ (حيث أن إشارة السالب هنا تشير إلى جهة العزم).

وسادة الضغط المرتفع المتشكلة عند مقدمة السفينة مع زيادة سرعتها وعليه تزداد شدة القوة العرضية المؤثرة عند عمود المقدمة للسفينة والتي تدفع المقدمة بعيداً عن الضفة مما ينتج عنه زيادة في العزم.

2. البعد عن الضفة:

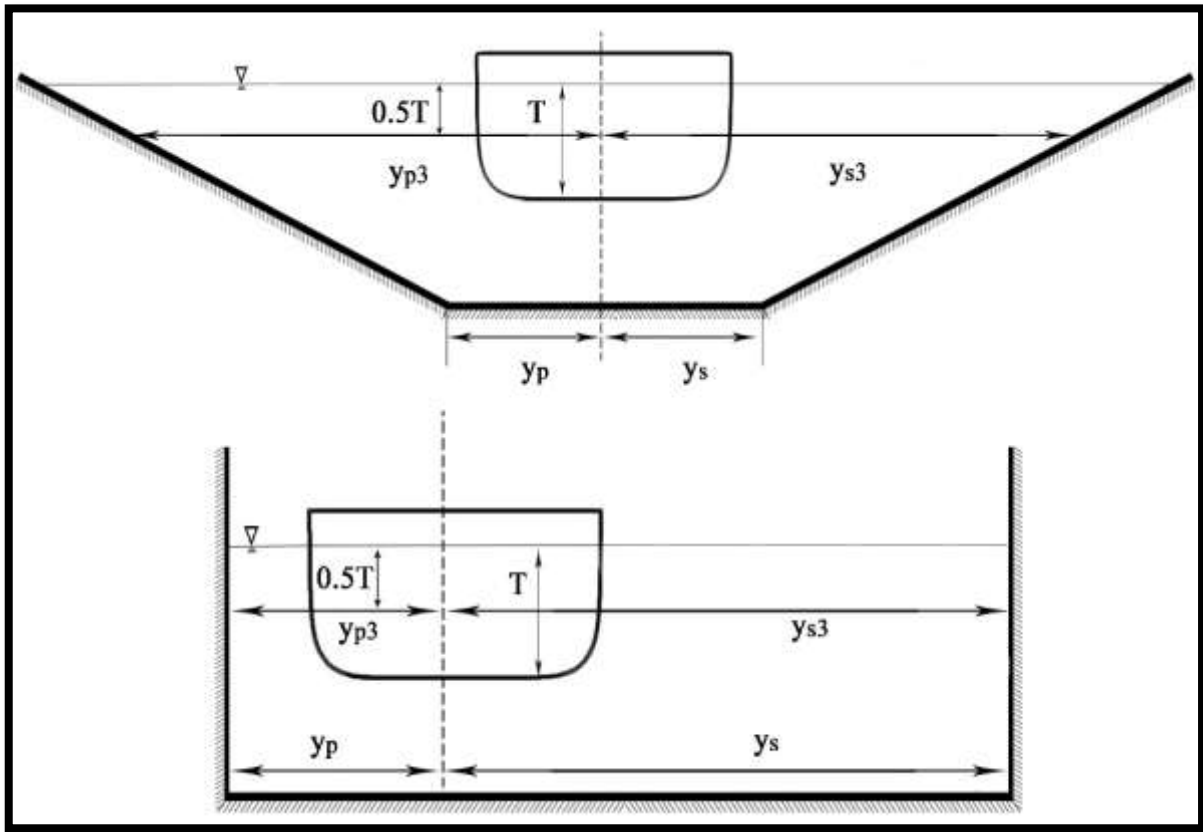
تم اختبار النموذج عند ثلاثة قيم للبعد عن الضفة جميع هذه القيم أصغر من عرض التأثير y_{infl} للضفة القريبة من السفينة بحسب دراسة (Evert Lataire, 2014) [2] تبدأ الضفة بالتأثير على السفينة عندما تصبح كامل السفينة ضمن مجال عرض التأثير y_{infl} من الضفة حيث تعطى هذه المسافة بدلالة رقم فرويد المتعلق بالعمق Fr_h وتعتبر هذه

القيمة هي نصف عرض منطقة التأثير للسفينة وعليه تكون هي البارامتر المحدد ما إذا كانت السفينة تتعرض لتأثير الضفة أم لا حيث أن السفينة التي تبعد عن الضفة ببعد أكبر من هذه القيمة لا تخضع لأي تأثير ملموس ناتج عنها. سيتم التعبير عن بعد السفينة عن الضفة بطريقة لا بعدية تبعاً للعلاقة المستخدمة في عمل (Vantorre, et all, 2003) [1]:

$$y_B = \frac{1}{2} B \left(\frac{1}{y_p} + \frac{1}{y_s} \right) \quad (5)$$

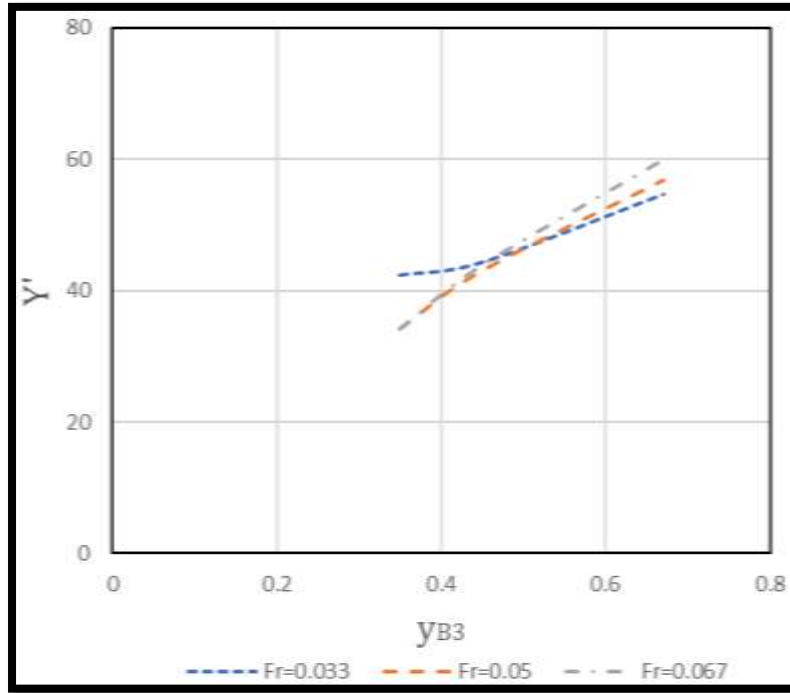
$$y_{B3} = \frac{1}{2} B \left(\frac{1}{y_{p3}} + \frac{1}{y_{s3}} \right) \quad (6)$$

حيث B عرض السفينة، y_B المسافة اللابعدية بين مستوي تناظر السفينة والضفة العمودية أما y_{B3} فهي المسافة اللابعدية بين السفينة والضفة عند منتصف الغاطس، كما هو مبين في الشكل 6 وهي تستخدم في حالة الضفة المنحدرة.



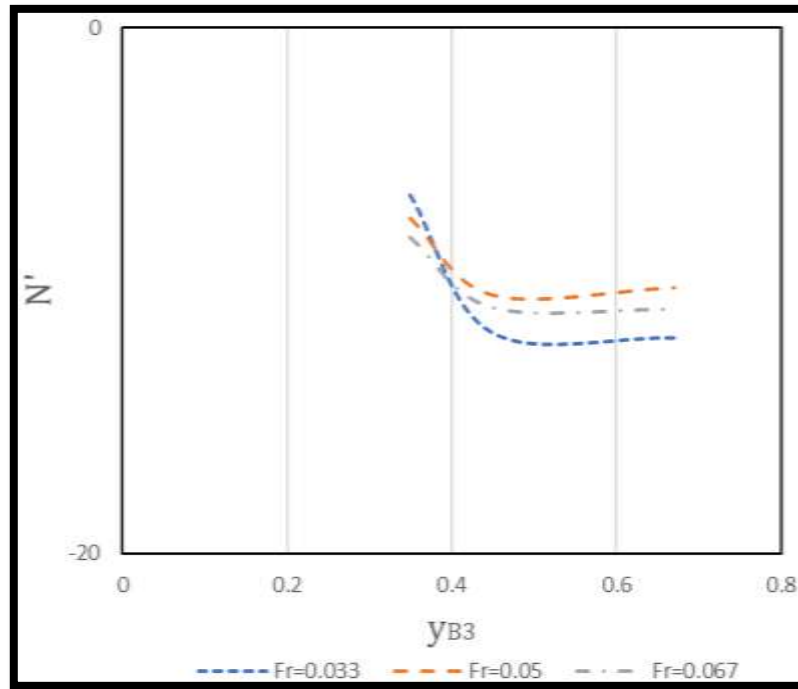
الشكل 6 المسافة اللابعدية بين السفينة والضفة.

توصلت الدراسة إلى أنه كلما كانت السفينة أقرب إلى الضفة كلما كان الانضغاط في خيوط التيار بين السفينة والضفة أكبر وعليه فإن فرق السرعة لتيار الماء العائد على جانبي السفينة سيكون أكبر وبالتالي فرق الضغط على جانبي السفينة سيكون أكبر والذي ينتج عنه زيادة القوة العرضية المؤثرة على السفينة، كما هو مبين في الشكل 7.

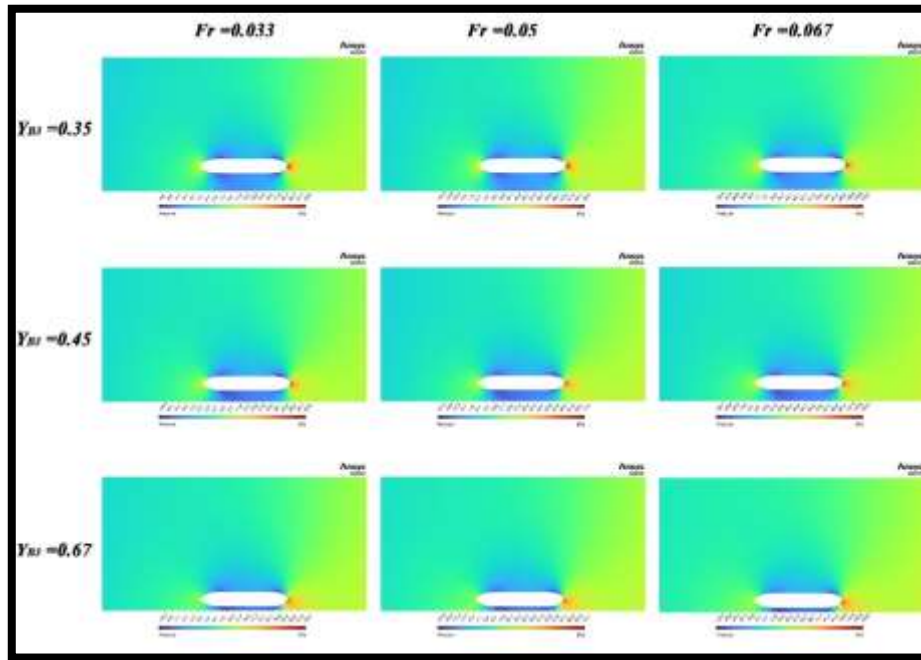


الشكل 7 تغييرات القوة العرضية كتابع للبعد عن الضفة ورقم فرود.

أما في حال كانت السفينة أقرب إلى وسط القناة فإن قيمة القوة العرضية المؤثرة على السفينة تتناقص حتى تنعدم في وسط القناة حيث يصبح الجريان حول بدن السفينة متناظر وبالتالي يختفي فرق الضغط على جانبي السفينة ومعه القوى والعزوم الناتجة عنه وعليه تنصح السفن باتخاذ المسار الحيادي في وسط القناة حيث تكون القوى العرضية المؤثرة على السفينة أقل ما يمكن بالنسبة لعزم الميلان العرضي الناتج عن تأثير الضفة فقد توصلت الدراسة إلى أنه يزداد كلما كانت السفينة أقرب إلى الضفة كما هو مبين في الشكل 8 (إشارة السالب تشير إلى جهة العزم) حيث تزداد قيمة الضغط في وسادة الضغط لمرتفع التي تتشكل بين مقدمة السفينة والضفة مع تناقص المسافة بين السفينة والضفة مما يدفع بمقدمة السفينة بقوة أكبر بعيداً عن الضفة ويزداد هذا التأثير مع ازدياد سرعة السفينة عند نفس البعد بين السفينة والضفة أي أن سرعة السفينة تلعب دوراً مباشراً في تضخيم تأثير الضفة عند بعد ثابت للسفينة عنها، تتناقص قيمة العزم بعيداً عن الضفة باتجاه وسط القناة حيث يصبح الجريان حول السفينة متناظراً.



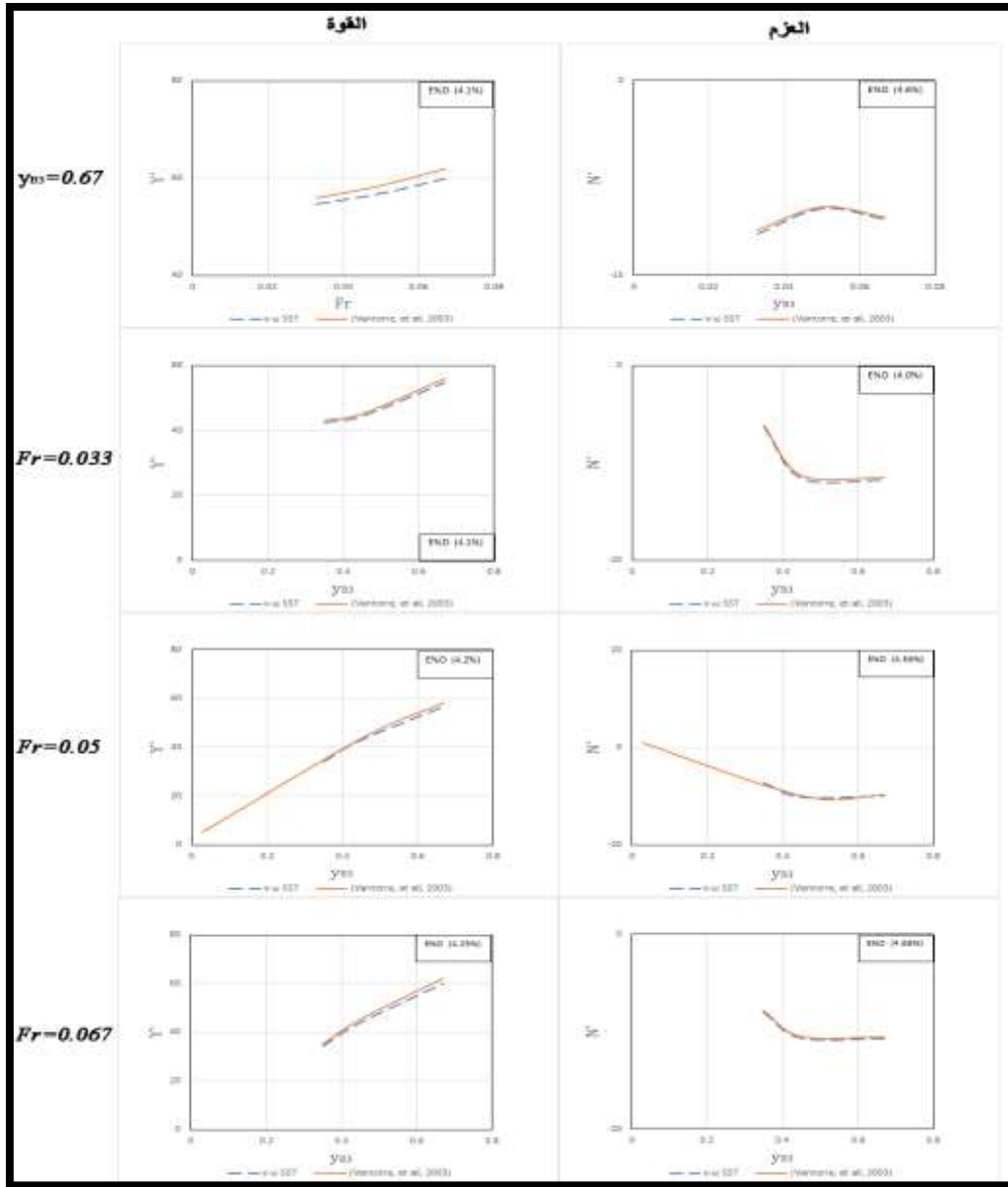
الشكل 8 تغيرات عزم الميلان العرضي كتابع للبعد عن الضفة ورقم فرود (حيث أن إشارة السالب هنا تشير إلى جهة العزم).



الشكل 9 حقل الضغط الستاتيكي حول بدن السفينة كتابع لرقم فرود وبعدها عن الضفة عند

$$h/T=1.2$$

بناءً على ما سبق فإن الاستقرار الملاحي للسفينة سوف ينخفض بشكل ملحوظ عندما تكون المسافة بين السفينة والضفة صغيرة كما تنخفض قدرتها على المناورة بشكل ملحوظ ويصبح خطر اصطدامها بالضفة أكبر، يبين الشكل 9 حقول الضغط الستاتيكي حول بدن السفينة عند قيم مختلفة للبعد عن الضفة وسرعة السفينة حيث تظهر بوضوح وسادة



الشكل 10 مقارنة بين النتائج التجريبية والنتائج الرقمية.

الضغط المرتفع عند مقدمة السفينة والتي تحرض عزم الميلان العرضي الذي يدفع المقدمة بعيداً عن الضفة بالإضافة لمنطقة الضغط المنخفض بين السفينة والضفة عند المؤخرة والتي تعمل على تحريض قوة جذب تجذب المؤخرة باتجاه الضفة. بما أن مجموع الضغط الستاتيكي والضغط الديناميكي في أي نقطة من السطح الحر يجب أن يساوي الضغط الجوي بالتالي فإن الزيادة في قيمة الضغط الستاتيكي سينتج عنها انخفاض في قيمة الضغط الديناميكي في نفس المنطقة وهو تطبيق بسيط لمعادلة برنولي.

3. التحقق من النتائج:

تم التحقق من النتائج التي تم التوصل إليها من خلال مقارنتها مع النتائج التجريبية في أحواض الاختبار المنشورة في دراسة (Vantorre, et all, 2003) [1]. خلال المقارنة بين النتائج الرقمية والتجريبية نلاحظ أن نموذج

الاضطراب $\kappa-\omega$ SST أثبتت فعالية عالية في التنبؤ بالقوة العرضية وعزم الميلان العرضي المؤثر على السفينة بدقة جيدة جداً حيث أن القيم الرقمية قريبة جداً من القيم التجريبية مع نسبة خطأ مقبولة موضحة بالشكل 10 حيث نلاحظ من خلال المنحنيات التوافق الواضح في سلوك المنحني بين النتائج الرقمية والتجريبية.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

من خلال ما سبق نستنتج:

- نموذج الاضطراب $\kappa-\omega$ SST أثبتت فعالية عالية في التنبؤ بالقوة العرضية وعزم الميلان العرضي المؤثر على السفينة بدقة جيدة جداً.
- تزداد قيم الضغط في وسادة الضغط المتشكلة عند مقدمة السفينة وتنخفض قيمة الضغط في المنطقة بين مؤخرة السفينة والضفة كلما كانت السرعة أكبر والمسافة الفاصلة بين السفينة والضفة أقل.
- سرعة السفينة تساهم بشكل كبير في زيادة تأثير الضفة مما يؤدي إلى زيادة خطر اصطدام السفينة وحصول التشحيط، حيث يمكن القول بأن سرعة السفينة تربطها علاقة طردية مع تأثير الضفة وبالتالي هذا يثبت صحة الفرضية الأولى.
- المسافة الفاصلة بين السفينة والضفة تلعب الدور الأكبر في تأثير الضفة فكلما كانت السفينة قريبة من الضفة كلما كان التأثير كبيراً وكلما ابتعدت السفينة عنها كلما كانت التأثير أقل وعليه يمكن اعتبار العلاقة بين تأثير الضفة والمسافة الفاصلة بينها وبين السفينة علاقة عكسية وهو ما يثبت صحة الفرضية الثانية.
- تكون القوى والعزوم الناتجة عن تأثير الضفة والمؤثرة على السفينة أقل ما يمكن كلما كانت السفينة قريبة من وسط القناة.

التوصيات:

- لتجنب خطر الاصطدام بالضفة يجب على السفينة الحفاظ على مسار في وسط القناة قدر الإمكان حيث تكون القوى والعزوم أقل ما يمكن.
- يجب على السفن الالتزام بالسرعات المنخفضة أثناء عبور الممرات المائية حيث زيادة السرعة تزيد من خطر الاصطدام.
- يجب دراسة تأثير الضفة مع وجود الدفة وذلك لتحديد مدى تأثير زوايا انحراف الدفة على التخفيف من تأثير الضفة في الحالات المختلفة.
- يجب دراسة تأثير الضفة بوجود الرفاص لتحديد تأثيره على حقول الضغط حول البدن وما سيؤول إليه هذا التأثير على القوى والعزوم الناتجة عن تأثير الضفة.

References:

- [1] M. Vantorre, G. Delefortrie, K. Eloot, and E. Laforce, "Experimental investigation of ship-bank interaction forces," in *International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability (MARSIM 2003), 25th-28th August 2003, Kanazawa, Japan: Conference Proceedings*, 2003.
- [2] Evert Lataire, (2014). "*Experiment Based Mathematical Modelling of Ship-Bank Interaction*". Ghent University, Ghent, Belgium.
- [3] S. Kaidi, H. Smaoui, and P. Sergent, "Numerical estimation of bank-propeller-hull interaction effect on ship manoeuvring using CFD method," *J. Hydrodyn.*, vol. 29, no. 1, 2017, doi: 10.1016/S1001-6058(16)60727-8.
- [4] E. Lataire, M. Vantorre, and G. Delefortrie, "The influence of the ship's speed and distance to an arbitrarily shaped bank on bank effects," *J. Offshore Mech. Arct. Eng.*, vol. 140, no. 2, 2018, doi: 10.1115/1.4038804.
- [5] P. Du, A. Ouahsine, and P. Sergent, "Influences of the separation distance, ship speed and channel dimension on ship maneuverability in a confined waterway," *Comptes Rendus - Mec.*, vol. 346, no. 5, 2018, doi: 10.1016/j.crme.2018.01.005.
- [6] W. Van Hoydonck, S. Toxopeus, K. Eloot, K. Bhawsinka, P. Queutey, and M. Visonneau, "Bank effects for KVLCC2," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 24, no. 1, 2019, doi: 10.1007/s00773-018-0545-3.
- [7] The Transportation Safety Board of Canada (TSB), Marine Investigation Report M98F0039.
- [8] https://www.t2015.nmri.go.jp/jbc_gc.html