

نمذجة رقمية ثلاثية البعد لتحليل ظاهرة الغاطس الديناميكي للسفن المبحرة عبر الأفتنية

الدكتور ميشيل بريهان *

الدكتورة نسرين محمد **

كارول شعله ***¹

(تاريخ الإيداع 8 / 11 / 2015. قُبِلَ للنشر في 20 / 4 / 2016)

□ ملخص □

تعتبر دراسة ظاهرة الغاطس الديناميكي في السفن من الموضوعات المهمة في علم هيدروديناميك السفن نظراً لارتباطها بأمن الملاحة البحرية والنهرية خاصةً في الوقت الحالي بعد الازدياد السريع في حجم السفن وسرعات تشغيلها. ويستخدم لتحقيق ذلك العديد من الطرائق التي تتفاوت في دقتها وسهولة امكانياتها. يهدف هذا البحث إلى إعداد نموذج رقمي ثلاثي البعد وذلك لتحليل ظاهرة الغاطس الديناميكي للسفينة في الأفتنية من خلال التقنيات الرقمية، باستخدام البيانات البرمجية المتقدمة لاستخراج حقول السرعة وحقول الضغط للجريان الحاصل حول بدن السفينة والتي تؤثر بشكل مباشر على هذه الظاهرة. لإعداد النموذج ثلاثي البعد وتمثيل الظاهرة ودراسة الجريان اللزج، تمت المحاكاة بالاستعانة ببرامج رقمية متقدمة مثل Gambit و Ansys Fluent. تم حساب الغاطس الديناميكي للسفينة ودراسة تأثير السرعة للسفينة ومعامل انسداد القناة على هذه الظاهرة. تم التأكد من فاعلية البرامج الرقمية في تمثيل هذه الظاهرة، ومقارنة نتائجنا مع طرق أخرى حسابية وتجريبية لحساب الغاطس الديناميكي للسفينة في الأفتنية.

الكلمات المفتاحية: الغاطس الديناميكي للسفينة – أفتنية – ميكانيك الموائع الحسابية.

¹ *أستاذ – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
**مدرس – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
***طالبة ماجستير – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

3D Numerical Modeling To Analyze Ship Squat Phenomenon in Canals

Dr. Michel Barbahan*
Dr. Nisrine Mohamad**
Carol Shalla***²

(Received 8 / 11 / 2015. Accepted 20 / 4 / 2016)

□ ABSTRACT □

The study of the phenomenon of ship squat in vessels can be considered as one of the most important topics in ships hydrodynamic science, because it is related to the marine secure, especially now after the rapid increase in size of vessels and operation speeds. In literatures there are methods that are used to predict ship squat.

This research aims to develop a 3D Numerical Modeling to analyze the phenomenon of ship squat of the ship in Canals using computational numerical method and proper software, to extract the velocity and pressure fields of the flow around ship hull. The last one affect directly this phenomenon.

To build a 3D model and to represent ship squat for viscous flow, simulation has been developed using Gambit and Ansys Fluent programs.

ship squat has been integrating the motion of water level drop. The effect of vessel speed and blockage factor C_b have been taken into account.

Results confirm the efficiency of the CFD for simulating ship squat. The comparison with other experimental and computational methods show good accuracy.

Key words: Ship squat – Canals – CFD.

² *Professor ; Faculty of Electriccal & Mechanical Engineering; University of Lattakia; Lattakia.

**Assistant Professor ; Faculty of Electriccal & Mechanical Engineering; University of Lattakia ; Lattakia.

*** Postgraduate student ; Faculty of Electriccal & Mechanical Engineering; University of Lattakia; Lattakia.

مقدمة:

لوحظ من خلال الخبرات العملية والتجارب أن قيمة الارتفاع الشاقولي بين قرينة السفينة وقاع القناة تتناقص بازدياد سرعتها، هذا يعني أن سرعة السفينة تسبب زيادة على قيمة الغاطس الستاتيكي (في حالة التوقف). تسمى هذه الزيادة الغاطس الديناميكي للسفينة ويستخدم عالمياً المصطلح الانكليزي ship squat في الملاحة البحرية للدلالة على هذه الظاهرة. تُفسر هذه الظاهرة على النحو التالي: عندما تبدأ السفينة الإبحار، يجب أن تدفع أمامها كمية معينة من الماء، تاركة خلفها فراغ سرعان ما يتم ملؤه بالماء المحمول في تيار العودة بين مقدمة السفينة والقسم الخلفي منها. يولد تيار العودة هذا تسارع خطوط التيار على جوانب السفينة وتحت قرينتها، ينجم عن ذلك حسب نظرية برنولي هبوط في الضغط، أي تناقص في قيمة قوة دفع الماء على بدن السفينة، الأمر الذي يؤدي إلى هبوطها نحو الأسفل لتحقيق التوازن من جديد [1]. لا بد من الإشارة إلى أن زيادة الغاطس الديناميكي للسفن التي تبحر في الأقينية ذات قيمة معتبرة تؤثر على سلامة السفينة، حيث أن الزيادة الملحوظة في حجم السفن في وقتنا الحالي يؤدي إلى زيادة غاطس السفينة وبالتالي تناقص ارتفاع الماء تحت قرينة السفينة، هذا الارتفاع بين قاع السفينة وقاع القناة يصل في بعض الحالات إلى 1 متر فقط وبالتالي فإن أي زيادة بسيطة للغاطس الديناميكي نتيجة السرعة يؤدي إلى اصطدامها في القاع وهذا حدث في عام 1999 في ميناء مرسيليا لسفينة Napoleon Bonaparte . لذلك يجب تخفيض سرعة السفينة المبحرة في الأقينية وقد قام الباحثين في هذا المجال على استخراج صيغ لحساب السرعة الحرجة لبحار السفن في الأقينية ومنها صيغة Balanin&Bycov حيث ترتبط فيها السرعة الحرجة ببارامترات القناة (العرض والعمق وانحدار الضفة) وبارامترات السفينة (ارتفاع الماء تحت قرينة السفينة - معامل شكل السفينة). الموديلات المعتمدة في حساب الغاطس الديناميكي في الوقت الحالي: 1- الطرق النظرية، 2- الطرق التجريبية، 3- الطرق الرقمية. ستعتمد دراستنا على الطرق الرقمية لديناميك الموائع الحاسوبية (Computintional Fluid Dynamic **CFd**) وهي تطبيقات حاسوبية حديثة لحل المسائل المتعلقة بديناميك الموائع.

تحتاج سلامة الملاحة في مياه محدده معرفة الهبوط الحاصل في بدن السفينة نتيجة ظاهرة الغاطس الديناميكي للسفينة وإمكانيات المناورة المتاحة. حيث يصبح الهبوط مهماً في هذه المياه. لا بد من تذكر بعض التعاريف من أجل البحث. إذا حُددت السفينة هندسياً بطولها L ، وعرضها b ، وغطسها T . عندئذ يكون معامل الشكل C_B [2]:

$$C_B = \frac{V_b}{LbT} \quad (1)$$

مع اعتبار V_b هي حجم الجزء الغاطس من بدن السفينة. تعتمد الملاحة في المياه المحددة على عمق الماء H (عمق القناة) و عرض التدفق B (عرض القناة). تم تعريف عامل الانسداد C_b [2]:

$$C_b = \frac{bT}{BH} \quad (2)$$

العوامل الرئيسية التي تحكم هبوط السفينة في القناة هي: سرعة السفينة، كلما ارتفعت السرعة، كان الهبوط أكثر أهمية. نسبة عمق الماء إلى الغاطس الستاتيكي للسفينة. معامل الشكل للسفينة فكلما كان أكبر كانت الشروط أفضل لتطبيق معادلة برنولي وبالتالي يتوقع زيادة في الغاطس الديناميكي.

عامل الانسداد للمكان المحدد.

-شفت الماء بفعل الرفاض يضيف غوص مكمّل إضافي عند المؤخرة.

الأمواج الطويلة swell التي تجعل السفينة تتمايل وتترنج.

الأشكال المختلفة لقاع البحر [2],[3],[4].

من المعقد أن نأخذ كل هذه العوامل بالاعتبار، مثلاً التسارع مع شفت الماء بالرفاص، الأمواج المدفونة swell وتتنوع أشكال قاع البحر (لم تتم نمذجتها). وبالواقع، يكون التدفق حول البدن ثابتاً مع الزمن في هذه الظروف. يتم تزويد السائل ليكون كاملاً مع لزوجة ويكون غير قابل للانضغاط (الكثافة الثابتة ρ).

أهمية البحث وأهدافه:

يتعلق هذا البحث بموضوعات وقضايا عديدة منها:

- 1- الحوادث الناجمة عن جنوح السفن بفعل زيادة الغاطس الديناميكي، حيث تمثل 50% من الحوادث البحرية.
 - 2 - أخطار بيئية ناجمة عن التلوث البيئي إثر جنوح السفن وبشكل خاص ناقلات النفط .
 - 3- التبعيات الاقتصادية الناجمة عن إعادة تشغيل السفن بعد جنوحها.
 - 4- الأكثر خطورة من ذلك، تهديد حياة الأشخاص على متن السفينة.
- إن معرفة التكاليف المتزايدة لجراف وصيانة العديد من أنظمة المجاري المائية الأكبر ومشاريع المرافئ، قد تؤمن علاقات حسابية أفضل لتوقع الهبوط ببدن السفينة وتوفر أيضاً كميات كبيرة من ميزانيات التشغيل والصيانة Operation and Maintenance (O&M). التكاليف التقليدية لتكريب (جراف) مداخل الأقفية المرجانية أو الصخرية قد تتجاوز 1 مليون دولار لكل قدم من عمق القناة. ويخضع مرافئ نيويورك لمشروع تكريب رئيسي خلال السنوات الخمس التالية من أجل التكيف مع الحجم المتزايد لأسطوله التجاري ذا الغاطس الأعماق. ومن أجل هذا الموضوع تكاليف تكريب كامل قناة المجرى المائي المحصور قد تبلغ 100 مليون دولار لكل قدم من العمق [1],[5].
- لقد شكلت الحواسيب طرقاً بديلة لجعل تمثيل ظاهرة الغاطس الديناميكي للسفينة ممكناً. يكون هدف هذا البحث هو تقديم مثلاً رقمياً لتوقع هبوط السفينة. عند السفن ذوي الحالة الثابتة، أي، تكون السفينة متحركة بسرعة ثابتة، مع عمق ماء ثابت في مسار السفينة. سيعتمد البحث على استنتاج قيمة الغاطس الديناميكي من خلال النموذج الرقمي المُعد ومقارنة النتائج بين الطريقة المتبعة والطرق المتبعة في دراسات سابقة.

طرائق البحث و موادّه:

تم استخدام برامج Gambit, fluent لنمذجة ظاهرة الغاطس الديناميكي squat في المياه الضحلة حيث تم استخدام برنامج الـ Gambit لتجميع الأسطح للسفينة وتشكيل حجمها وتشكيل القناة والقيام بعمل الشبكة mesh وهو تقسيم المحيط المائي الذي سيتم دراسة الجريان فيه إلى عدد من العناصر المنتهية. ومن ثم تمت دراسة الجريان في برنامج الـ fluent وتم افتراض:

- القناة على شكل متوازي مستطيلات والسفينة في مركز القناة مع عمق ماء ثابت في مسار السفينة.
- حركة خطية للسفينة مع سرعة ثابتة (حالة مستقرة لا يوجد تسارع).
- الحسابات مع وجود سطح حر .

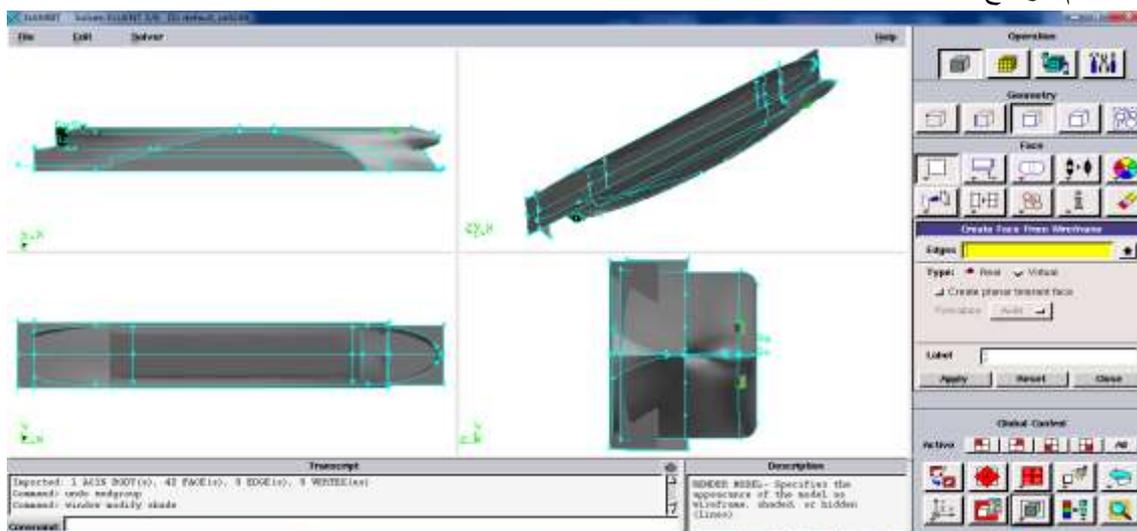
- السطح ساكن من دون أمواج أو تيارات مائية.
- إهمال تأثير الرفاض.
- القناة مستقيمة بدون أية تغيرات فجائية في العمق.
- عدم وجود شبكة ديناميكية no dynamic mesh .
- نسبة عمق القناة إلى غاطس سفينة تساوي: $H/T = 1.5$.
- عدة قيم لعرض القناة بدلالة طول السفينة 2L,1.5L,L,0.5L.
- عدة قيم سرعة 1, 2, 3, 4 m/s لحالات القناة المختلفة.
- السائل لزج وغير قابل للانضغاط (الكثافة ثابتة ρ).

تمت دراسة الجريان في برنامج الـ fluent بتطبيق معادلات الاضطراب (معادلات نافير ستوكس ثلاثية الأبعاد) لمائع لزج (الماء)، بكثافة ثابتة $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$ ولزوجية $\mu = 0.001003 \text{ kg/m.s}$. يُعتبر النموذج الهيدروديناميكي للسفينة غير متحرك، في حين يتدفق الماء نحو السفينة بسرعة مقابلة (مبدأ انعكاس الجريان) [2] .

نموذج السفينة:

تم اعتماد نموذج ناقلة container ship من مكتبة برنامج Maxsurf. تم تصدير نموذج السفينة على شكل أسطح بامتداد IGES إلى برنامج Gambit لتشكيل حجم السفينة مع المحيط المائي (القناة) وتشكيل الشبكة للمحيط المائي، أي تقسيمه إلى عدد من العناصر المنتهية والتي ستطبق عليها معادلات الجريان في برنامج Fluent فيما بعد.

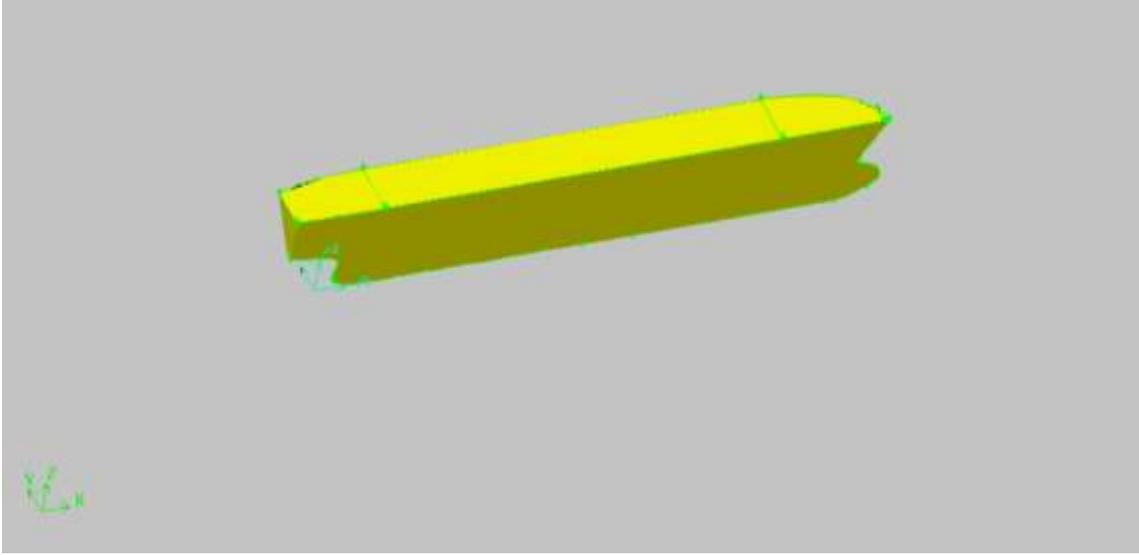
تم تصدير نموذج السفينة إلى برنامج Gambit بمقياس رسم 1/15 وذلك لتقليل حجم البدن والقناة وبالتالي تقليل عدد العناصر للشبكة وبالتالي تقليل زمن الحسابات قدر الإمكان. والشكل (1) يوضح السفينة بعد تصديرها على واجهة المستخدم لبرنامج Gambit:



الشكل (1) السفينة بعد تصديرها على واجهة المستخدم لبرنامج الغامبيت

والحسابات سوف تُجرى على نموذج السفينة بمقياس 1/15.

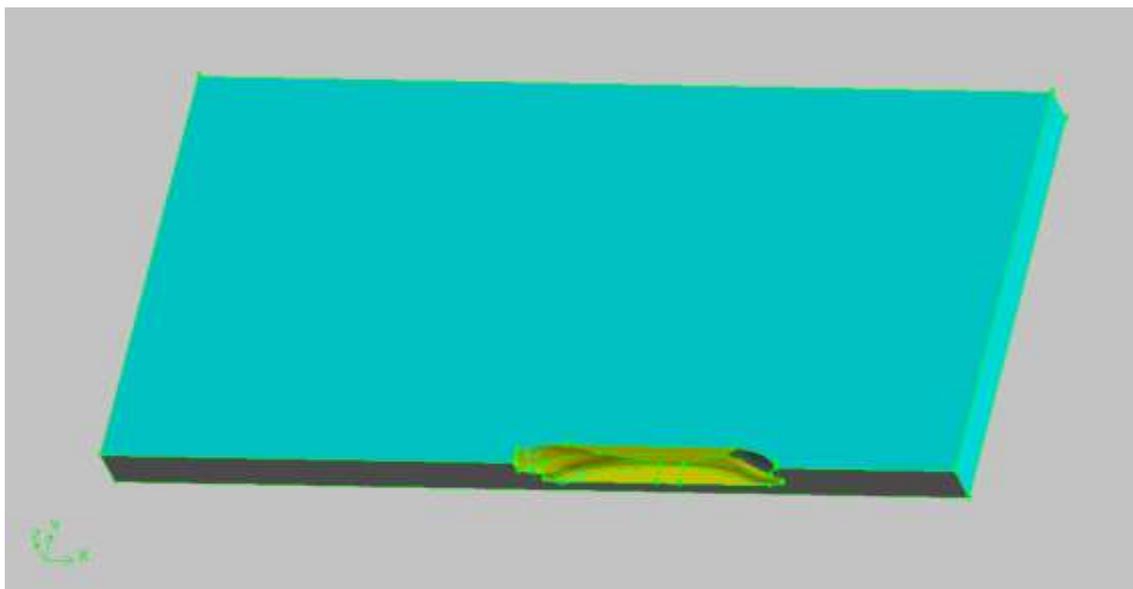
تُزال الأسطح الاضافية التصميمية من برنامج maxurf وتُغلق جميع الأسطح المفتوحة ومن ثم تُعرّف الأسطح الجديدة وذلك لتجميع الأسطح وتشكيل الجسم النهائي لبطن السفينة. ويُؤخذ نصف السفينة، لدراسة الجريان فيما بعد على نصف النموذج وذلك لتقليل عدد العناصر المنتهية في الشبكة. يتم ذلك عن طريق انشاء سطح منصف للسفينة على طول محورها الطولي وتقسيم السفينة إلى جزأين وحذف أحدهما والشكل (2) يوضح نموذج السفينة في نهاية هذه الخطوات.



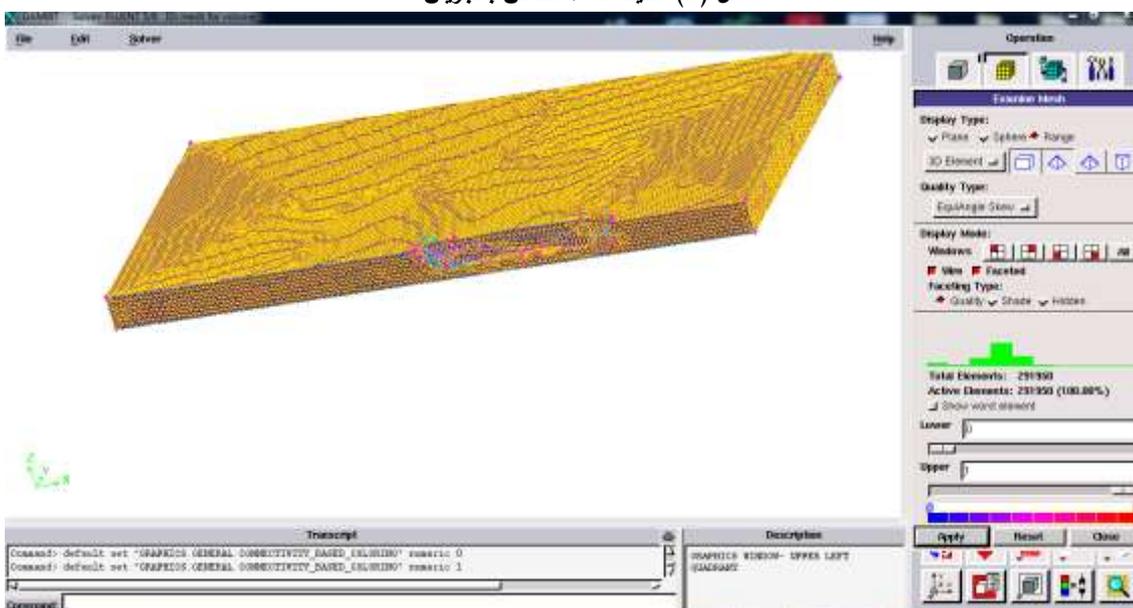
الشكل(2) نموذج السفينة

تشكيل القناة: تم تشكيل المحيط المائي للقناة وهي مستطيلة الشكل. ويُسم مجسم نصف القناة (كما ذكرنا سابقا الدراسة ستتم على نصف النموذج لتقليل زمن الحساب) وتُحرك القناة بحيث تنطبق على نموذج نصف السفينة. يُشكل مجسم ثاني للهواء بنفس أبعاد القناة ولكن بارتفاع صغير ويُحرك بحيث ينطبق على سطح القناة تماماً. ومن ثم يُطرح المجسمين للقناة والسفينة من بعضهما للحصول على محيط الماء الخاص بالجريان فقط الذي سنجره. ثم تُشكل الشبكة وهي تقسيم مجال المحيط المائي إلى عدد من العناصر المنتهية والتي سُنطبق عليها معادلات الجريان التفاضلية فيما بعد. عند تقسيم المجال الحسابي إلى عناصر سوف تتم عملية تقريب للمعادلات التفاضلية إلى جبرية خطية عند العقد لهذه العناصر، وهناك طرق متعددة لهذا الغرض بحيث نحصل في النهاية على مصفوفات للحل بأبعاد كبيرة يكون حلها باليد عقيم، لذلك نلجأ لبرامج الـ CFD في حلها. يجب الحرص قدر الإمكان على أن تغطي الشبكة العنصرية كامل فضاء الدراسة وتكون أنعم ما يمكن وخصوصاً في المناطق المحيطة ببطن السفينة واختبار جودة العناصر عن طريق فحص الشبكة في برنامج الـ Gambit وهذا الأمر هام جداً لأنه له علاقة بدقة النتائج.

يوضح الشكل(3) والشكل(4) محيط الماء الخاص بالجريان ومن ثم محيط الماء الخاص بالجريان بعد توليد الشبكة (نوع العناصر هرمية ثلاثية الأبعاد، رباعية العقد).



الشكل (3) محيط الماء الخاص بالجريان



الشكل (4) محيط الماء الخاص بالجريان بعد توليد الشبكة العنصرية

ثم تم وضع الشروط الحدية المناسبة للحالة الفيزيائية، وتم تعريف فضاء الجريان على أنه الماء وحُفظ الملف و صُدّر إلى برنامج الـ Fluent والذي سيتم فيه دراسة الجريان.

الشروط الحدية التي تم تعريفها واعتمادها في برنامجي الـ Gambit والـ Fluent هي:

Water inlet – pressure inlet

Air inlet – pressure inlet

Symmetry plane – symmetry – symmetry condition

Waterway bottom – wall – moving wall with vessel speed

Side wall – wall – stationary wall with zero normal velocity and zero viscous stress

Hull – wall – stationary wall

Water outlet – pressure outlet

Air outlet – pressure out let

Water surface – plane of VOF – atmospheric pressure

Time step of computations = 0 .01 s.

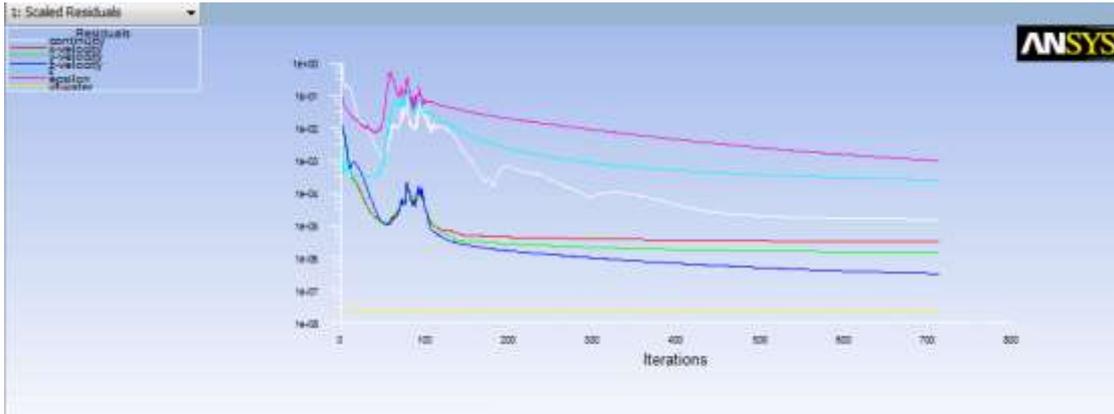
تمت الحسابات بتكرار واحد لكل خطوة زمنية في برنامج الـ FLUENT وتم اختبار الشبكة وتنعيمها، ومن ثم تفعيل خيار الجاذبية الأرضية، ومن ثم تفعيل خيار الخطوة الزمنية المتغيرة unsteady وتعريف طوري الماء والهواء وتعريف خصائص الماء على أنه ماء البحر:

$$. \text{ viscosity} = 0.001003 \text{ kg/m}^{-1}\text{s} , \text{ dencity} = 1025 \text{ kg/m}^3$$

وتم تحديد نوع الجريان على أنه مضطرب و الشروط الأولية (initial conditions) للاضطراب تمت كالتالي: تم اعتماد موديل الاضطراب $k - \epsilon$ مع شروط أولية لشدة الاضطراب turbulence intensity والتي تم افتراضها إلى $\%2 = \lambda$ ، وطول للاضطراب (Turbulent length scale) يساوي إلى 0.07 من طول النموذج (hullmodel length)، $[13],[12] \lambda = 0.07 * L = 0.43 \text{ [m]}$.

في برنامج الـ Fluent لا بد من تحديد طريقة الحل ودقة الحل. تم اختيار طريقة بسيطة لحل المصفوفات واختيار درجة تحويل المعادلات التفاضلية إلى جبرية من الدرجة الأولى first order upwind. تم اختيار مقدار الارتياح لتقارب الحل. فيما يتعلق بدقة الحل لا بد من الإشارة إلى أن الزيادة الكبيرة في الدقة قد لا تكون ذات أهمية كبيرة عند وصولها إلى قيمة معينة، قد تؤدي إلى استغراق وقت أكبر في الحل دون زيادة في الدقة ، تم اعتماد نسبة الارتياح 0.001. الخطوة قبل الأخيرة تكون في اختيار بداية الحل عن طريق خيار initialize بحيث نحدده عند المدخل inlet.

آخر خطوة هي تحديد مقدار الخطوة الزمنية وهي هنا 0.01 وعدد الخطوات الزمنية اللازمة لاستقرار الحل والحصول على الحل النهائي و أيضا يُحدد العدد الأعظمي للتكرارات في واحدة الخطوة الزمنية و من ثم يبدأ بالحل . والشكل (5) يبين سير عملية الحل في برنامج الـ fluent إلى أن يحصل التقارب بالحل.



الشكل (5) سير عملية الحل في برنامج الـ fluent إلى أن يحصل التقارب بالحل

تم إجراء الخطوات السابقة لقناة بعرض متغير كتابع لطول السفينة ابتداءً من المستوي القطاعي الطولي المنصف (0.5L,L,1.5L,2L). تمت دراسة الجريان لكل حالة من حالات عرض القناة عند عدة قيم للسرعة.

من ناحية أخرى يمكن استثمار نتائج الدراسة الرقمية لاستنتاج هبوط السطح الحر والذي اعتمد على أنه مساوي لمقدار هبوط السفينة نحو الأسفل. بتطبيق معادلة برنولي بين نقطتين على السطح الحر حيث الضغط المطبق هو الضغط الجوي النظامي P_{atm} ، النقطة الأولى في مدخل الجريان والثانية في منطقة وسط السفينة. ومنه:

معادلة برنولي [6]:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (5)$$

حيث أن:

P_2, P_1 الضغط عند النقطة الأولى والثانية وهو يساوي الضغط الجوي النظامي P_{atm} .

v_1 سرعة الجريان عند مدخل القناة.

v_2 سرعة الجريان في منطقة وسط السفينة و تحدد من برنامج fluent.

h_1 ارتفاع النقطة الأولى ويساوي عمق الماء في القناة عند المدخل.

h_2 ارتفاع النقطة الثانية و يساوي عمق الماء في القناة مطروحاً منه انخفاض السطح الحر $H-h_{fluent}$.

ويعد التعويض في معادلة برنولي يمكن تحديد h_{fluent} الذي يمثل معدل انخفاض السطح الحر، ويُعطى

بالمعادلة النهائية التالية:

$$h_{fluent} = -\frac{512.5}{10055.25}(v_1^2 - v_2^2) \quad (6)$$

النتائج و المناقشة:

مواصفات السفينة التي تم اعتمادها:

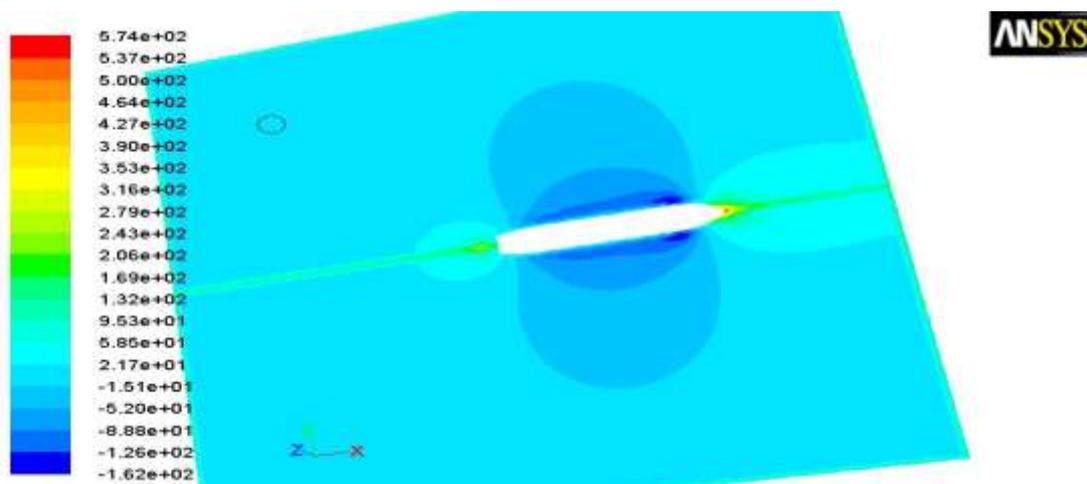
نوع السفينة: Container ship، طول السفينة $L=93.686$ [m]، عرض السفينة $b=16.3$ [m]، الغاطس $T=13.036$ [m]، معامل الشكل $C_B=0.99$. وقد تم العمل على نموذج السفينة بعد أخذ مقياس الرسم $1/15$. أما أبعاد القناة بعد اخذ مقياس الرسم $1/15$ بعين الاعتبار: طول القناة $L_c=24.8$ m، عرض القناة (من منتصفها) $B_c=12.4$ m، عمق القناة H : من أجل نسبة عمق قناة إلى غاطس السفينة $H/T = 1.5$ هي 1.3 متر الحجم الثاني للهواء بنفس أبعاد القناة ولكن بارتفاع صغير، أي بأبعاد $L=24.8$ [m]، $B=12.4$ [m]، $h=0.05$ [m] تم إجراء الحسابات في كل مرة من أجل السرعات التالية للسفينة:

السرعة m/s	1	2	3	4	5	6	7
السرعة Knot	1.95	3.89	5.84	7.78	9.72	11.67	13.61

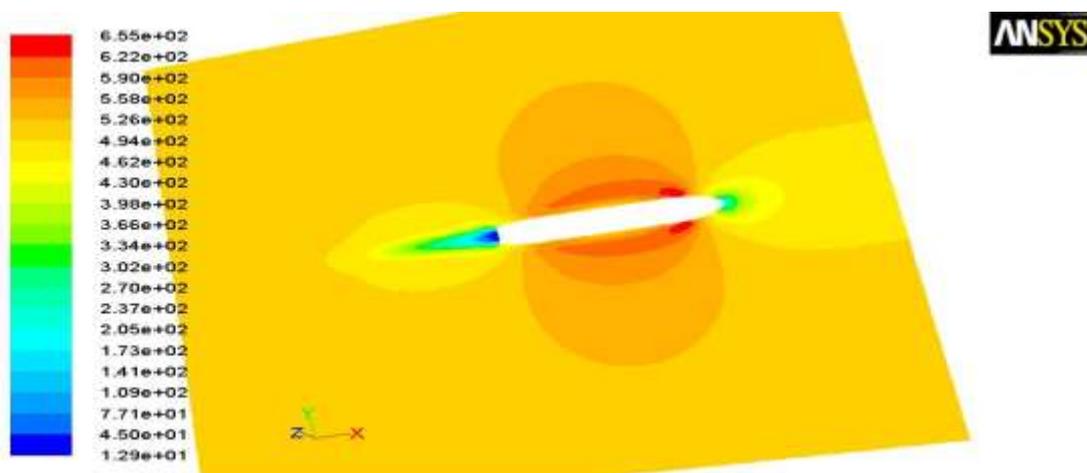
أولاً: التحقق من صحة انجاز العمل في برنامج الـ fluent: بدايةً سيتم عرض مخططات الضغط والسرعة عند عرض للقناة $2L$ وسرعة 1 متر في الثانية.

نعلم أنه عند إبحار السفينة بسرعة معينة تتولد منطقة ضغط أعظمي عند مقدمة السفينة ومنطقة ضغط مرتفع عند مؤخرة السفينة يتخللها انخفاض في الضغط في منطقة وسط السفينة [11].

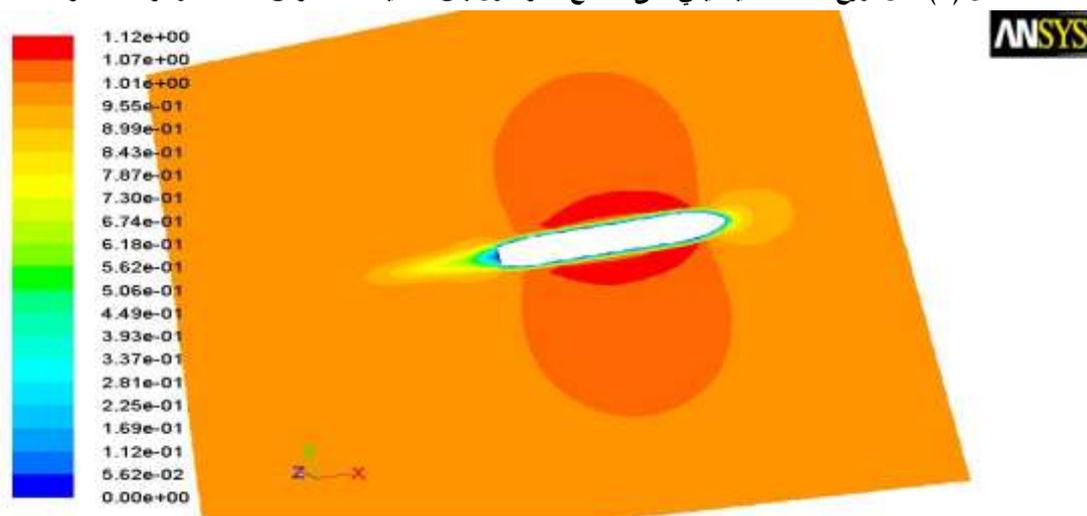
أظهرت نتائج الدراسة الرقمية التي أجريناها تطابقاً تاماً لما تم ذكره ونلاحظ ذلك من خلال استعراض حقول ومخططات الضغط والسرعة للحالة المدروسة كما هو مبين في الشكل (6) و (7) و (8) و (9) و (10).



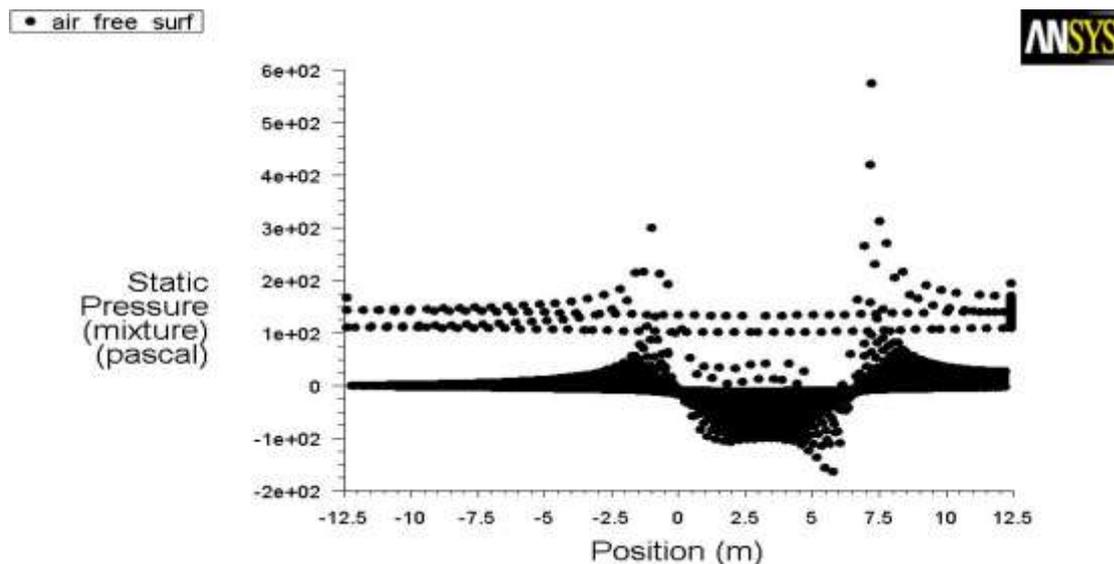
الشكل (6) حقل توزيع الضغط الستاتيكي على السطح الحر حول بدن السفينة عند عرض قناة 2م وسرعة 1 متر



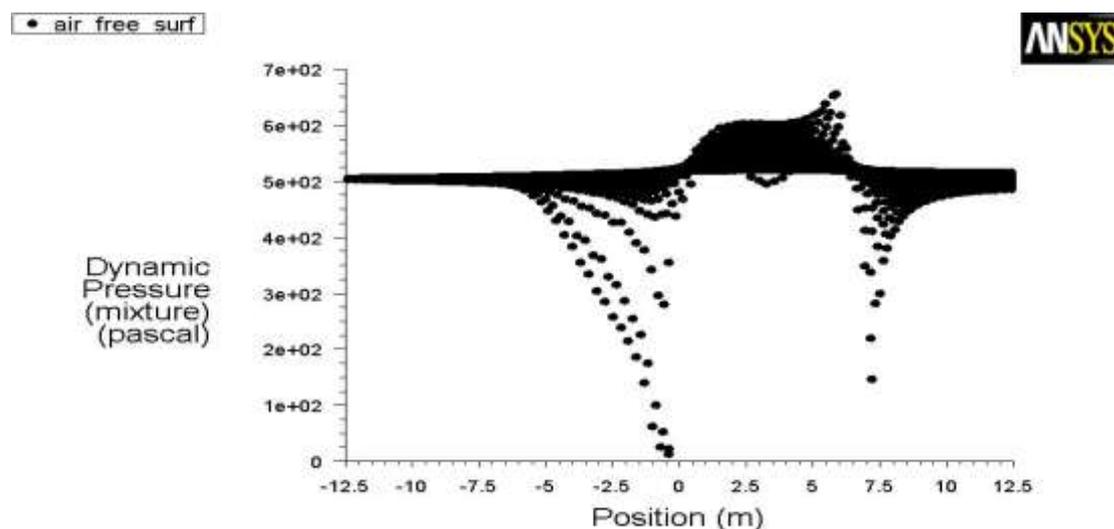
الشكل (7) حقل توزيع الضغط الديناميكي على السطح الحر حول بدن السفينة عند عرض قناة 2م وسرعة 1 متر



الشكل (8) حقل توزيع سرعة الجريان على السطح الحر حول بدن السفينة عند عرض قناة 2م وسرعة 1 متر

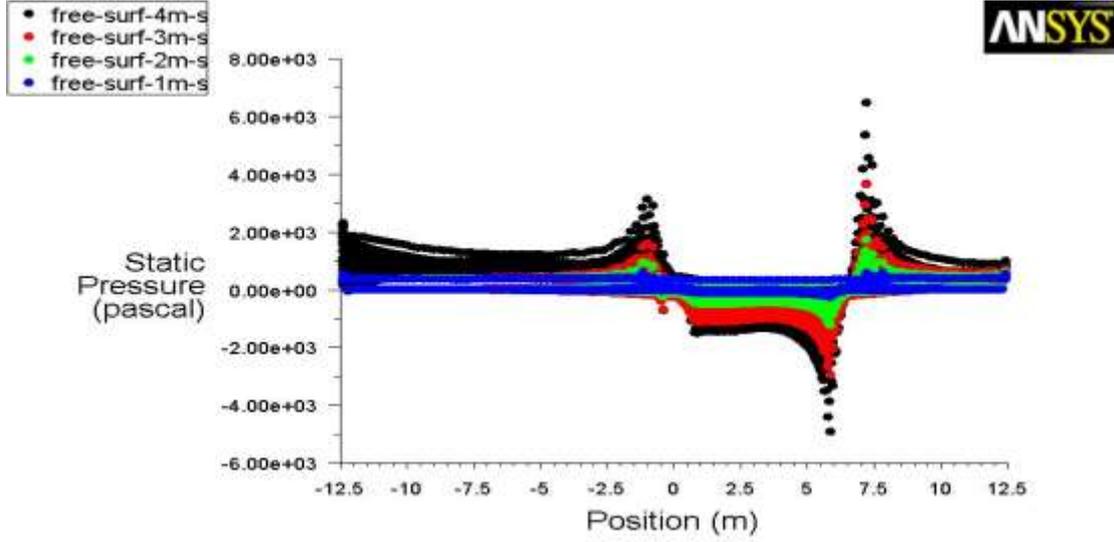


الشكل (9) مخطط الضغط الستاتيكي على السطح الحر حول بدن السفينة عند عرض قناة 21 وسرعة 1 متر ملاحظة: موقع السفينة بين 0 و 6.2 متر وهو طول السفينة بين المتعامدين بعد أخذ مقياس الرسم 1/15 ، $L_{pp}=6.2$ [m].

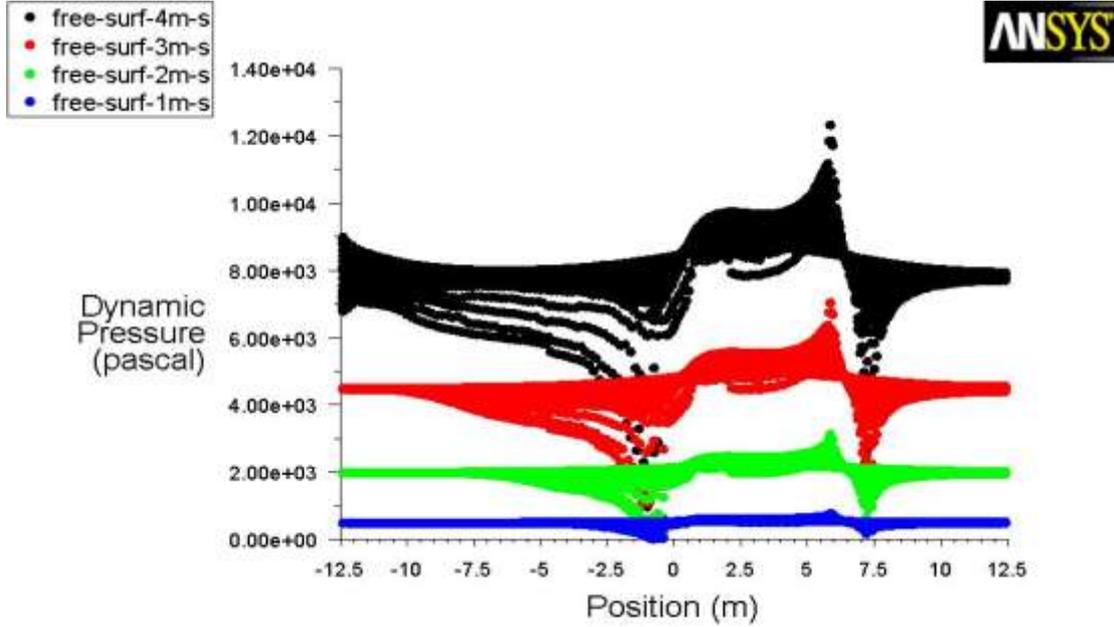


الشكل (10) مخطط الضغط الديناميكي على السطح الحر حول بدن السفينة عند عرض قناة 21 وسرعة 1 متر

يلاحظ من الشكل (9) والشكل (10) أن مخطط الضغط الديناميكي يعاكس مخطط الضغط الستاتيكي وأن القيمة العليا للضغط الديناميكي تحصل في نفس المنطقة التي تسجل قيمة عليا لسرعة الجريان حول بدن السفينة. ثانياً: دراسة تأثير سرعة السفينة على تشكل حقول الضغط والسرعة في النموذج المدروس: تم تثبيت عرض القناة عند 1L وتغيير سرعة السفينة من 1 m/s إلى 4 m/s. ولتبيان ذلك تم عرض مخطط الضغط الستاتيكي ومخطط الضغط الديناميكي على السطح الحر للأربع حالات لسرعة السفينة وعند عرض القناة المعبر، كما هو مبين في الشكل (11) والشكل (12).

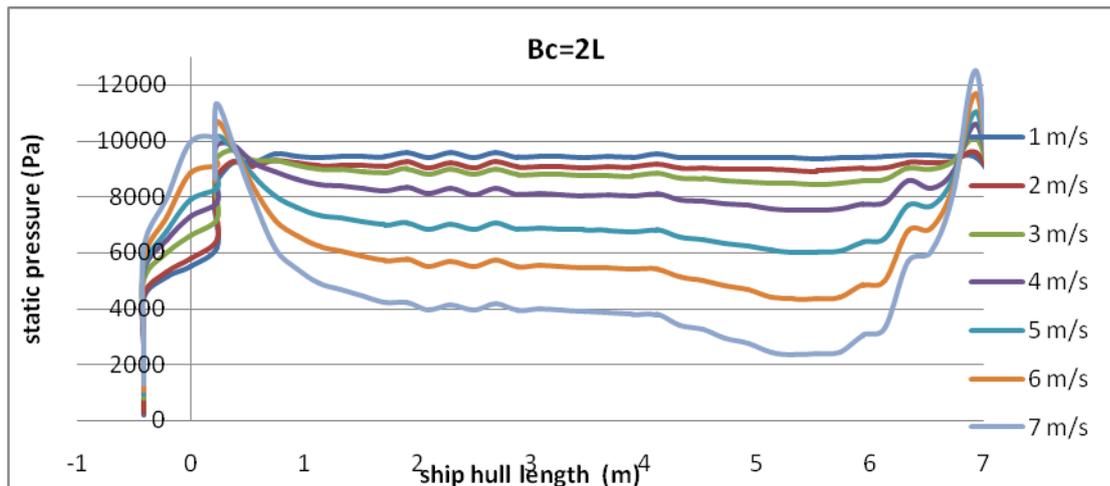


الشكل (11) مخطط الضغط الستاتيكي على السطح الحر عند حالات مختلفة لسرعة السفينة وعند عرض قناة 1L

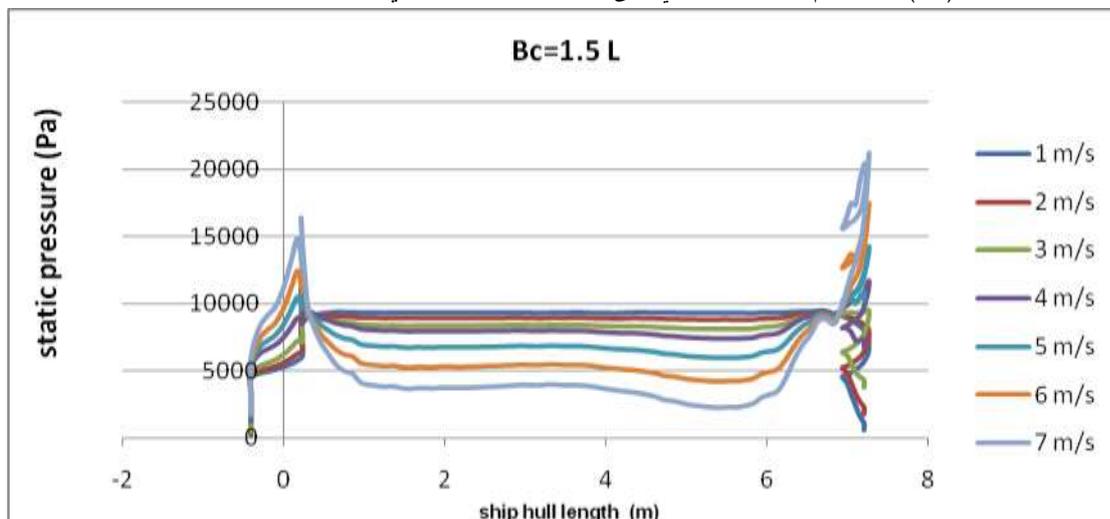


الشكل (12) مخطط الضغط الديناميكي على السطح الحر عند حالات مختلفة لسرعة السفينة وعند عرض قناة 1L

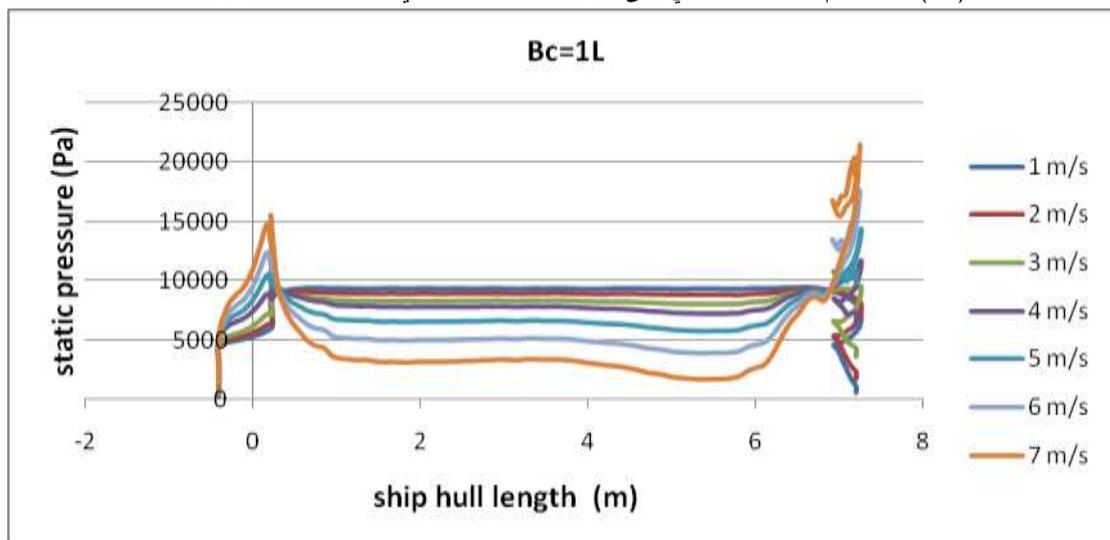
يُلاحظ من الشكل (11) أنه مع ازدياد سرعة السفينة يزداد هبوط الضغط الستاتيكي على جانبي السفينة ويُلاحظ من الشكل (12) معاكسة الضغط الديناميكي للضغط الستاتيكي حيث يرتبط الضغط الديناميكي بالسرعة ويزداد بازديادها. وهذا منطقي نتيجة لتسارع حركة المياه وبالتالي سيؤدي إلى هبوط في الضغط الستاتيكي الأمر الذي سيؤدي إلى هبوط السفينة للأسفل نحو قاع القناة والذي سيزداد مع ازدياد سرعة السفينة. سمحت النتائج الخاصة بمخططات الضغط الستاتيكي المحددة من برنامج fluent بإظهار تغيرات الضغط في المستوي القطاعي الطولي للسفينة عند حالات مختلفة لسرعة السفينة ولعرض القناة، كما هو مبين في الشكل (13) و(14) و(15) و(16).



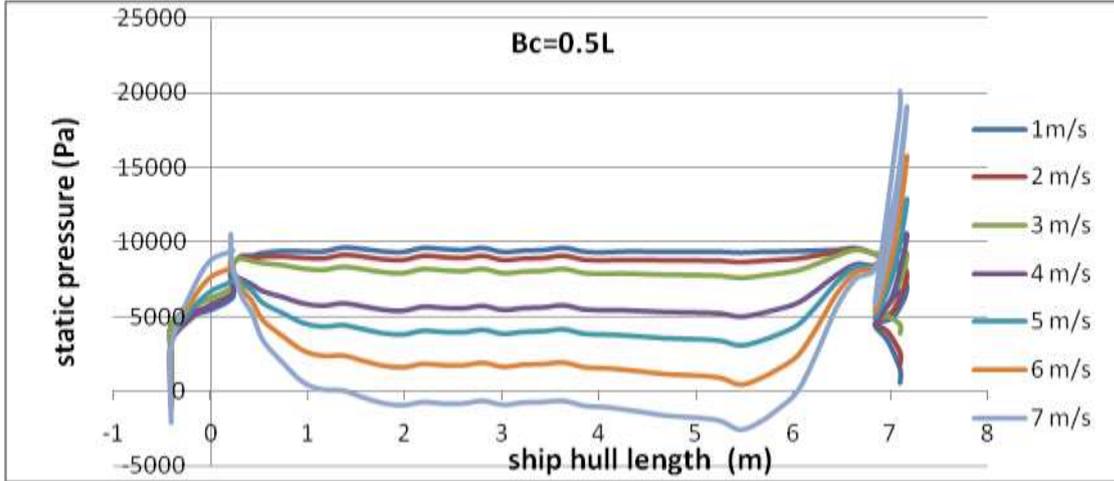
الشكل (13) مخطط قيم الضغط الستاتيكي على بدن السفينة عند المستوي المنصف عند عرض قناة 2l



الشكل (14) مخطط قيم الضغط الستاتيكي على بدن السفينة عند المستوي المنصف عند عرض قناة 1.5l



الشكل (15) مخطط قيم الضغط الستاتيكي على بدن السفينة عند المستوي المنصف عند عرض قناة l

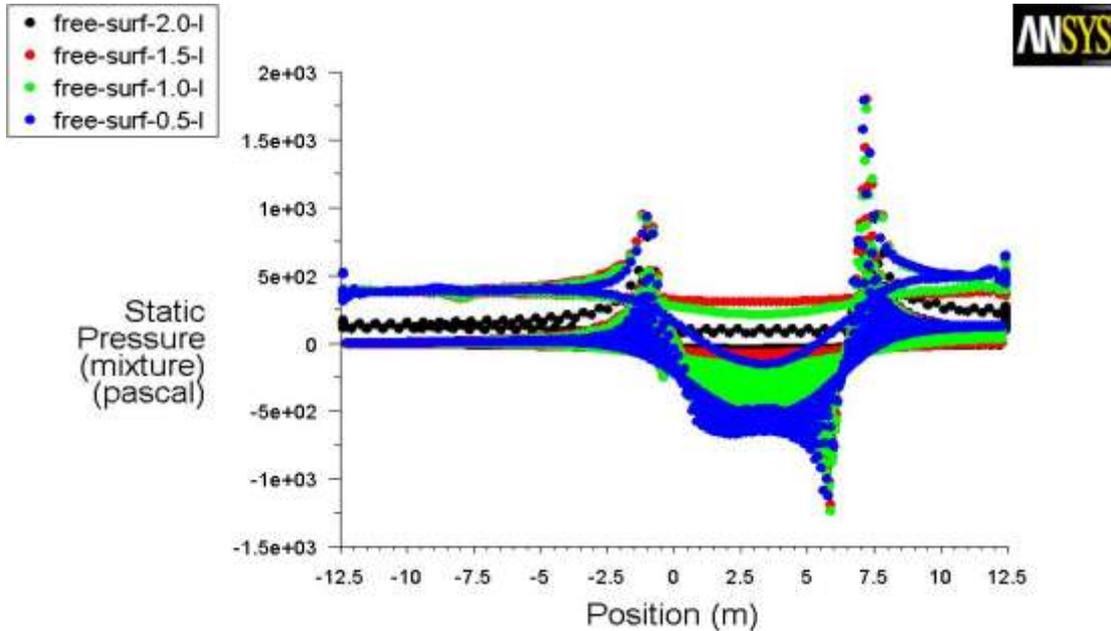


الشكل (16) مخطط قيم الضغط الستاتيكي على بدن السفينة عند المستوي المنصف عند عرض قناة 0.5 L

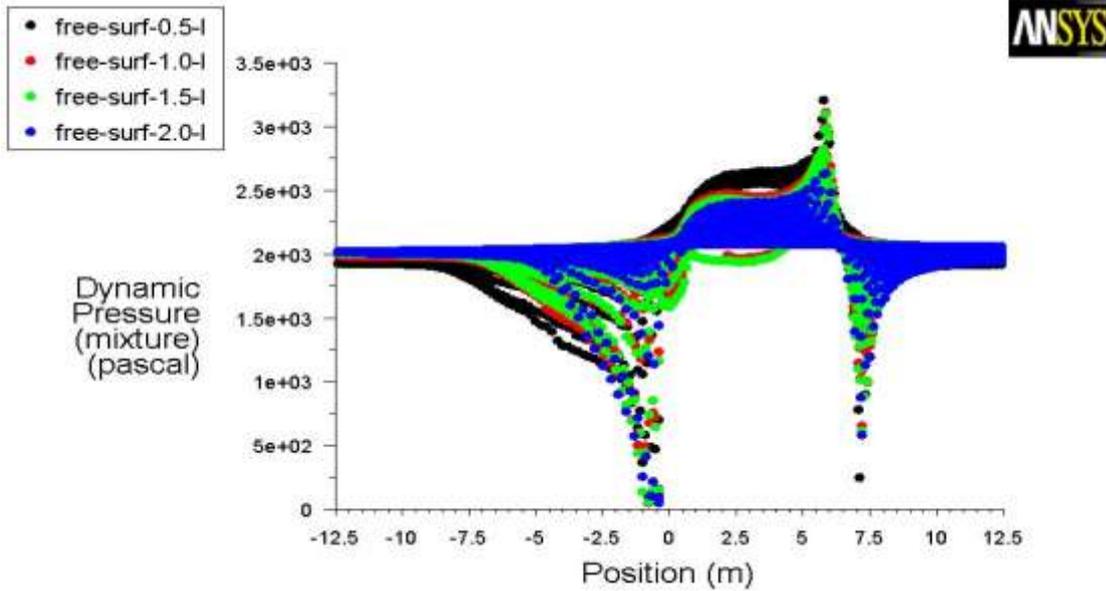
يلاحظ من مخططات تغير الضغط الستاتيكي المبينة أعلاه أنه مع زيادة السرعة للسفينة ينخفض حقل الضغط أسفل السفينة بشكل واضح وهذا هو المسبب لظاهرة ال squat وبالتالي يزداد الغاطس الديناميكي للسفينة مع ازدياد السرعة.

ثالثاً: دراسة تأثير عرض القناة على تشكل حقول الضغط و السرعة في النموذج المدروس:

تم تثبيت سرعة السفينة عند 2 [m/s] وتغيير عرض القناة ضمن المجال: 0.5L , L , 1.5L , 2L لتبيان ذلك تم عرض مخطط الضغط الستاتيكي ومخطط الضغط الديناميكي عند السطح الحر لأربع حالات مختلفة لعرض القناة عند السرعة المعتبرة كما هو مبين في الشكل (17) و(18).

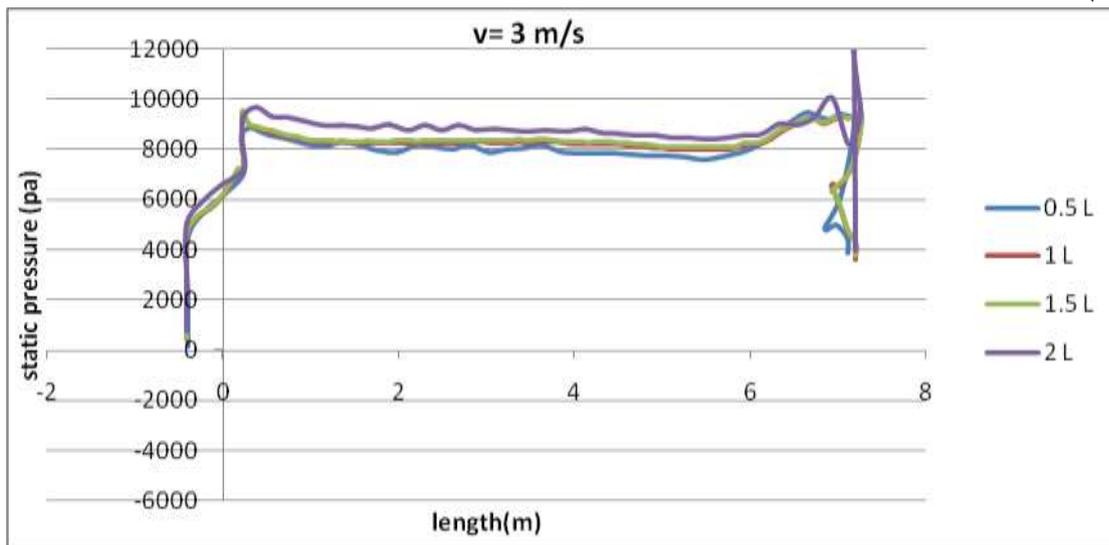


الشكل (17) مخطط الضغط الستاتيكي للأربع حالات لعرض القناة و سرعة 2m/s على السطح الحر



الشكل (18) مخطط الضغط الديناميكي للأربع حالات لعرض القناة و سرعة 2m/s على السطح الحر يلاحظ من مخططات الضغط الستاتيكي المختلفة المبينة أعلاه ازدياد هبوط الضغط كلما نقص عرض القناة ومن مخططات الضغط الديناميكي ازدياد في الضغط الديناميكي والذي يرتبط مع السرعة في منطقة الوسط للسفينة حيث تزداد السرعة في منطقة الوسط للسفينة، وهذه نتيجة منطوية حيث مع تناقص عرض القناة تتناقص المساحة حول بدن السفينة وبالتالي نقل المساحة التي يمر فيها تيار العودة للماء بين مقدمة السفينة والقسم الخلفي منها وبالتالي ستتسارع خطوط الماء حول بدن السفينة ويؤدي ذلك بالنتيجة إلى هبوط الضغط وبالتالي تناقص قوة الدفع للماء على البدن.

سمحت النتائج الخاصة بمخططات الضغط الستاتيكي المحددة من برنامج fluent بإظهار تغيرات الضغط في المستوي القطاعي الطولي للسفينة عند حالات مختلفة لعرض القناة عند قيمة محددة لسرعة السفينة، كما هو مبين في الشكل(19).



الشكل (19) منحنيات قيم الغاطس الستاتيكي عند المستوي المنصف للسفينة عند مختلف حالات عرض القناة وسرعة 3m/s

تؤكد منحنيات هذا الشكل هبوط الضغط الستاتيكي أسفل السفينة في منطقة وسط السفينة مع تناقص عرض القناة.

رابعاً: استثمار نتائج الدراسة الرقمية لاستنتاج مقدار هبوط السطح الحر. تم إجراء الدراسة الرقمية على أربع حالات لعرض القناة 0.5L, 1.5L, 2L و في كل حالة تمت دراسة حركة السفينة عند أربع سرعات 1, 2, 3, 4 m/s

بتطبيق المعادلة (6) على سبيل المثال عند عرض قناة 0.5L وسرعة عند مدخل القناة 1m/s فإنه:
بارامترات النقطة الأولى:

(وفق مقياس الرسم المعتمد 1/15) $P_1=101325$ [pa] , $v_1= 1$ [m/s] , $h_1= H$ (عمق القناة) = 1.3[m]
بارامترات النقطة الثانية:

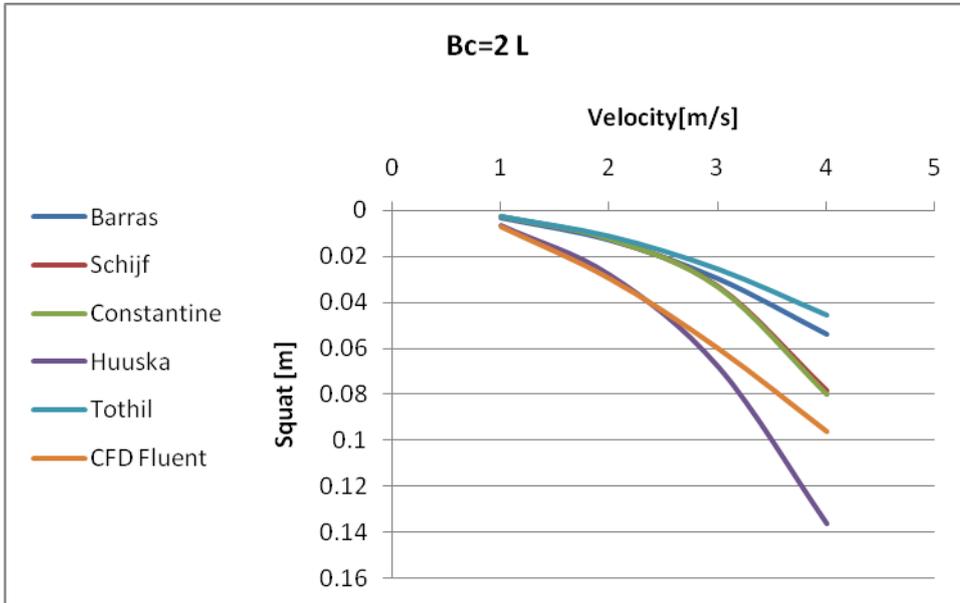
$P_2=101325$ [pa] , $v_2=$ (تحدد من fluent [m/s] , $h_2= (H-h_{fluent})$
 $\rho = 1025 \frac{kg}{m^3}$, $g = 9.81 m/s^2$.

وبالتالي $h_{fluent} = \Delta T = 0.016$ [m]

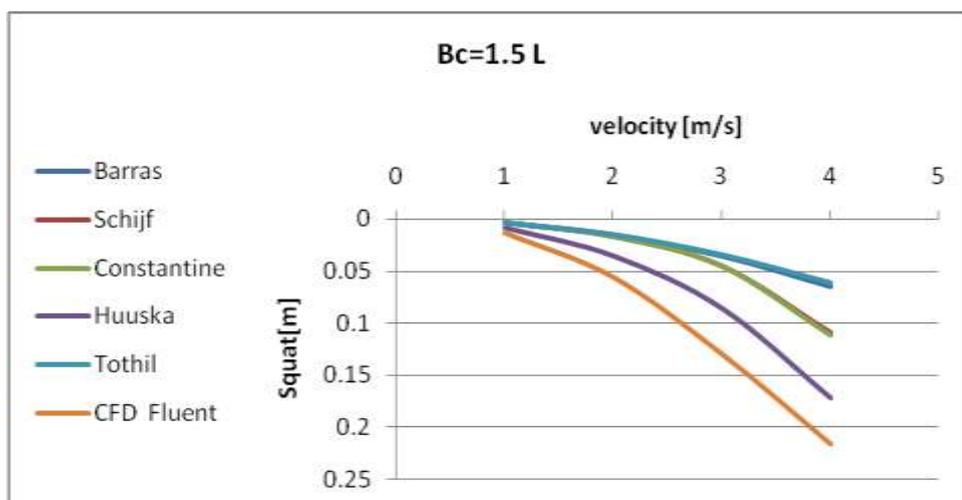
تكرر الحسابات لكل الحالات لعرض القناة ولمختلف السرعات. الجدول (1) يبين نتائج الحسابات لمختلف الحالات لعرض القناة ولمختلف السرعات:

لتقييم النتائج التي تم الحصول عليها للغاطس الديناميكي باستخدام برنامج fluent ستقارن مع عدة طرق تقريبية منسوبة لعدة علماء [6],[7],[8],[9],[10] .

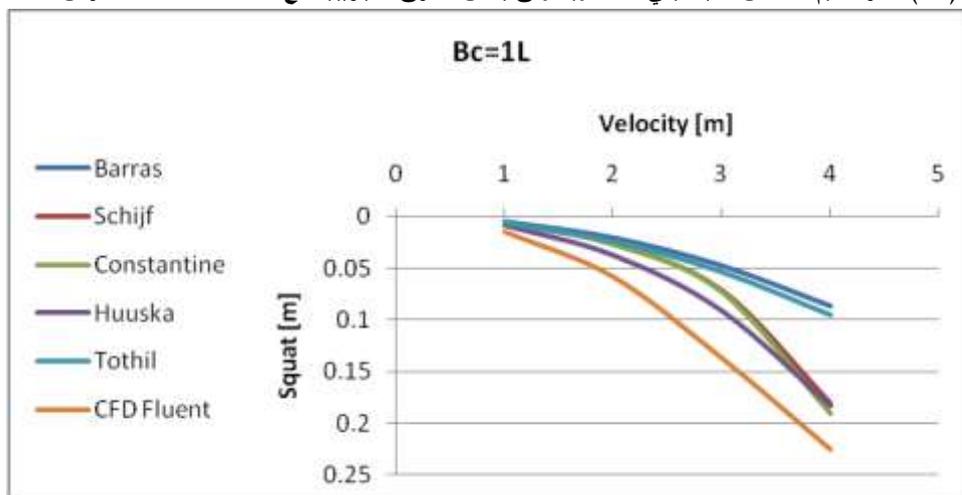
تبين الأشكال (20) و(21) و(22) و(23) مقارنة قيم الغاطس الديناميكي باستخدام طريقة الـ CFD مع القيم الخاصة بالطرق التقريبية المنسوبة لعدة علماء:



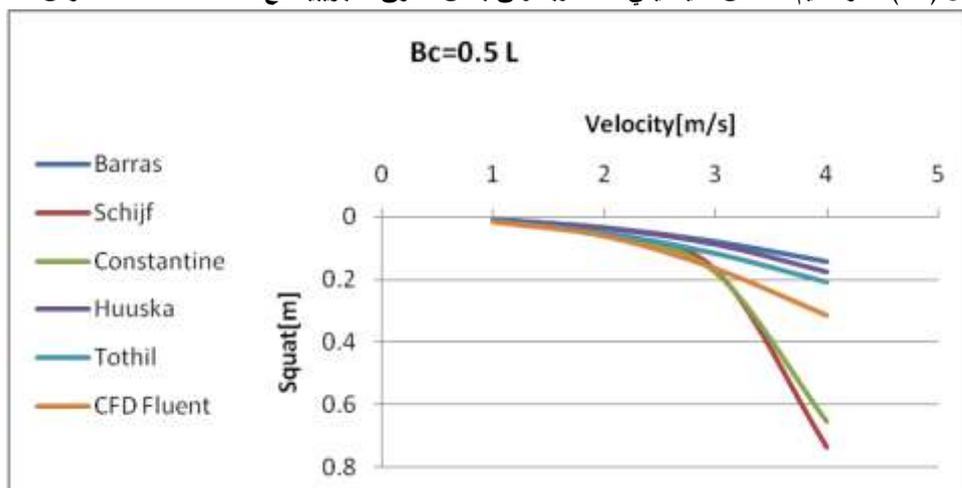
الشكل (20) مقارنة قيم الغاطس الديناميكي المحسوبة وفق بعض الطرق التجريبية مع cfd fluent عند عرض قناة 2l



الشكل (21) مقارنة قيم الغاطس الديناميكي المحسوبة وفق بعض الطرق التجريبية مع cfd fluent عند عرض قناة 1.5l



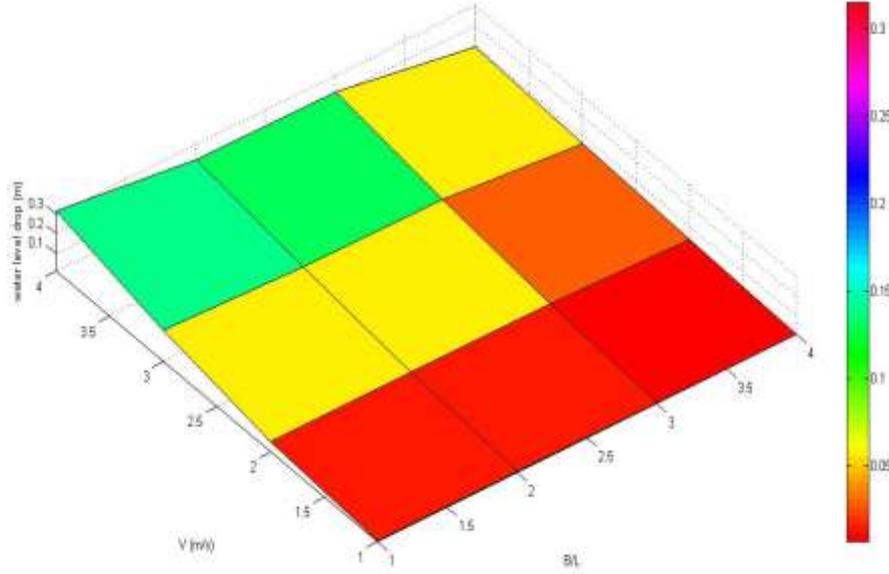
الشكل (22) مقارنة قيم الغاطس الديناميكي المحسوبة وفق بعض الطرق التجريبية مع cfd fluent عند عرض قناة 1



الشكل (23) مقارنة قيم الغاطس الديناميكي المحسوبة وفق بعض الطرق التجريبية مع cfd fluent عند عرض قناة 0.5l

يُلاحظ من مخططات الأشكال السابقة المختلفة أن الطريقة التجريبية لـ huuska تتقارب بالنتائج مع نتائجنا مستخدمين الـ fluent. وبشكل عام هناك توافق لنتائجنا وفق CFD مع بقية الطرق لحساب الغاطس الديناميكي للسفينة.

وأخيراً تم إنشاء برنامج تنفيذي في برنامج الـ MATLAB للغاطس الديناميكي للسفينة كتابع لعرض القناة B_C وسرعة السفينة v وعند النسبة $H/T = 1.5$ (نسبة عمق القناة إلى الغاطس للسفينة) الشكل (24).



الشكل (24) الغاطس الديناميكي كتابع لعرض القناة و لسرعة السفينة

يبين الشكل (24) معدل تغير انخفاض مستوى سطح الماء عند منتصف السفينة كتابع لسرعة السفينة وعرض القناة المنسوب للطول.

يُلاحظ من الشكل انه عند زيادة السرعة بثبات العرض تزداد قيمة معدل انخفاض السطح الحر، وكذلك عند زيادة العرض وبثبات السرعة يقل معدل انخفاض السطح الحر. والقيم الأعظمية توافق أقل عرض وهو 0.51 وأعلى سرعة 4 m/s.

الاستنتاجات والتوصيات:

- تم التوصل بدراسة تأثير السرعة للسفينة ومعامل الانسداد للقناة على ظاهرة الغاطس الديناميكي إلى أن الغاطس الديناميكي للسفينة يزداد مع ازدياد السرعة وأنه يتناقص مع ازدياد عرض القناة .
- بمقارنة نتائج هذا البحث مع نتائج أخرى لطرق تجريبية تبين لنا أن الطريقة التجريبية لـ (Huuska) كانت نتائجها مطابقة أو قريبة للنتائج عند استخدام برنامج fluent. وبشكل عام كانت نتائجنا متوافقة مع بقية الطرق التجريبية والحسابية لحساب الغاطس الديناميكي للسفينة في الأفنية.
- تم تقييم معدل الانخفاض في السطح الحر عند منتصف السفينة من أجل بارامترات مختلفة لعرض القناة وسرعة الجريان وذلك باستخدام تقريب رقمي ثنائي البعد للبارامترات التي تم اعتمادها للنماذج التي تمت دراستها.

– أظهرت نتائج البحث أن برنامج الـ fluent جيد بشكل فعال للتنبؤ بظاهرة الغاطس الديناميكي، ولكن الأخذ بالاعتبار أمور أخرى مؤثرة على الظاهرة كالقاع غير المنتظم أو تغير في شكل القناة جدير بالدراسة في المستقبل.

المراجع:

1. MICHAEL J .BRIGGS , ‘*Ship Squat Predictions for Ship /Tow Simulator* ’, US Army Corps of Engineers, US, August 2006, P. 1-4.
2. DEBAILLON P., EMMANUEL LEFRANCOIS, PHILIPPE SERGENT ,GOURI DHATT, ‘*Numerical Modelling of Ship Squat in Shallow Restricted Water* ’, France, 2004, P. 1-10.
3. DEBAILLON P., ‘*Système de Modélisation de l’enfoncement dynamique des bateaux*’, Thesis of the Université de Technologie de Compiègne, 2005, P. 1-5.
4. DEBAILLON P., ‘*Numerical investigation to predict ship squat*’, Journal of Ship Research, 54, N.2, 133 - 140, June, 2010, P. 133-140.
5. MICHAEL J .BRIGGS , MARC VANTORRE ,KLEMENS ULLICZKA, PIERRE DEBAILLON , ‘*Prediction of Squat For Underkeel Clearance*’, 2008, P. 1-3.
6. H.G.BLAUW , F.M.C VAN DER KNAAP , ‘*prediction of squat of ships sailing in restricted water*’, presented at the 8 th International Harbour Congress , Antwerp , Belgium, June,1977, P. 13-17 .
7. BARRASS, C. B. 1979 ‘*The phenomenon of ship squat*’, International Shipbuilding Progress, No. 26, P. 44-47.
8. CONSTANTINE T., ‘*On the movement of ships in restricted waterways*’, Journal of Fluid Mechanics. 1960, P. 247–256.
9. ERYUZLU N. F, HAUSSER R., ‘*Experimental investigation into some aspects of large vessel navigation in restricted waterways*’, Symposium on Aspects of Navigability of Constraint Waterways Including Harbor Entrances, Delft, Hollande,1978, P.1-15.
10. TOTHIL JT., ‘*Ships in restricted channels- a correlaion of model Tests, field measurements and theory*’, Meeting of the Eastern Canadian Section of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1966, P.111–128.
11. Prof. Dr.-Ing. HABIL. NIKOLAI KORNEV, ‘*Lectures on ship manoeuvrability*’ Faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology Chair of Modelling and Simulation, Rostock, 2013.
12. CFD-Wiki <http://www.cfd-online.com/Wiki/Main Page>, 2014.
13. FLUENT Tutorial Guide, Fluent Inc, 2009.