

## حساب مقاومة السفينة 'DTMB 5415' باستخدام ديناميك الموائع الحاسوبية CFD

د. علي خلوف\*

د. نسرين محمد\*\*

علي حسن المحمد\*\*\*

(تاريخ الإيداع 16 / 11 / 2020. قُبِلَ للنشر في 29 / 3 / 2021)

### □ ملخص □

مقاومة الماء لحركة السفينة هي عبارة عن القوة المتشكلة بين الماء والهواء، وتتأثر بشكل معاكس لحركة السفينة أو المركب. تم في هذا البحث إجراء محاكاة للجريان وحساب مقاومة السفينة DTMB 5415 وذلك من خلال بناء شبكة (Mesh) (ANSYS MOSAIC POLY-HEXCORE MESH) وبالتالي تم إجراء حسابات مقاومة السفينة عند حالات تحميل مختلفة (غواطس مختلفة) وذلك باستخدام برنامج (ANSYS Fluent 2020 R2) حيث تم اختيار نموذج الاضطراب (SST) (K-W).

تم إجراء مقارنة قيم المقاومة الناتجة باستخدام تقنية (CFD) مع القيم التجريبية لهذه السفينة عند الغاطس التصميمي. وأخيراً تم مقارنتها مع قيم المقاومة التقريبية المحسوبة باستخدام برنامج Maxsurf عند قيم الغواطس المختلفة. تبين من خلال مقارنة نتائج المحاكاة الرقمية مع القيم التجريبية لهذه السفينة وجود دقة عالية في نتائج المحاكاة حيث أن أعلى نسبة للخطأ هي 3.79%.

أظهرت المقارنة أن قيم المقاومة تزداد مع ازدياد قيمة الغاطس وأن نسبة الخطأ عند المقارنة مع القيم المحسوبة باستخدام برنامج Maxsurf تزداد بازدياد قيمة الغاطس. كما أن هذه النتائج أظهرت أن الدراسة تمت بشكل صحيح وحقت هدفها الرئيسي.

الكلمات المفتاحية: جريان، الغاطس، المقاومة، السفينة، المحاكاة، السرعة.

\* أستاذ - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق، دمشق، سورية.

\*\* أستاذ مساعد - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

\*\*\* طالب دراسات عليا (دكتوراه) - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق، دمشق، سورية.

## Computation Ship Resistance Using Computational Fluid Dynamics (CFD)

Dr. Ali Khallouf\*  
Dr. Nisrine mohamad\*\*  
Ali al-Muhammad\*\*\*

(Received 16 / 11 / 2020. Accepted 29 / 3 / 2021)

### □ ABSTRACT □

The flow around the DTMB 5415 hull form had been simulated using the finite volume code ANSYS Fluent 2020 R2. Besides, the frictional and the pressure resistance or called as the total resistance for DTMB 5415 hull form, had been calculated at different speed and different draft. The results obtained from the calculation using computational fluid dynamic for model had been compared with it's of experimental result and Maxsurf result (approximate values). It was found that the values of resistance obtained from the ANSYS Fluent 2020 R2 were almost similar with it's of experimental data, as the biggest percentage of error was only 3.79 percent for DTMB 5415 model and the error values obtained from the calculation using Maxsurf result (approximate values) were increasing. For future study, the predicted numerical results for the DTMB 5415 model hulls can be improved by using finer mesh elements on the surface of both units and by utilization of more advanced turbulence models such as Detached Eddy Simulation (DES).

**Keywords:** flow, draft , resistance, ship, simulation, speed.

---

\* Professor – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Damascus University, Damascus, Syria.

\*\* Associate Professor - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*\* Postgraduate Student (PhD) - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Damascus University – Damascus- Syria.

**مقدمة:****1- مركبات مقاومة المياه لحركة السفينة:**

لتبسيط دراسة وتحديد قوة مقاومة المياه لحركة السفينة يتم تحليلها إلى عدة مركبات يفترض جدلاً أنها غير متعلقة ببعضها البعض. يتم التحليل استناداً إلى النقاط التالية:

1- تحدد المركبات بالنسبة للاتجاهات الموازية أو المتعامدة مع اتجاه القوى الهيدروديناميكية الشاقولية ( $y$ ) والأفقية ( $R$ );

2- تفرن المركبات بالخواص الفيزيائية للسائل الذي تتحرك فيه السفينة (اللزوجة، الكثافة،... الخ).

استناداً إلى ما تقدم يمكن أن نعبر عن المركبات الفيزيائية لقوة مقاومة المياه لحركة السفينة على الشكل التالي:

$$R = R_t + R_f + R_v \quad (1)$$

حيث:

$R_t$  - مقاومة الاحتكاك الناجمة عن لزوجة المياه؛

$R_f$  - مقاومة الشكل (مقاومة دوامية أو إعصارية)، ناجمة عن تأثير لزوجة المياه على توزيع الضغط الهيدروديناميكي على مقدمة ومؤخرة القسم الغاطس من بدن السفينة؛

$R_v$  - مقاومة التموج الناجمة عن ثقالة المياه و المتمثلة في إعادة توزيع الضغط الهيدروديناميكي على القسم الغاطس من البدن بسبب الأمواج التي تحدثها حركة السفينة في المياه.

بذلك نرى أنه عندما تكون حركة السفينة مستقيمة منتظمة فإن مقاومة المياه لحركتها تحدد بالعلاقة التالية:

$$R = R_t + R_f + R_v = R_{vyaz} + R_v \quad (2)$$

حيث:

$R_{vyaz}$  - مقاومة لزوجة المياه.

**2- الطريقة التجريبية لتحديد مقاومة المياه لحركة السفينة:**

تعتبر الطريقة التجريبية الطريقة الأساسية لتحديد مقاومة المياه لحركة السفينة، وهي تُستخدم في الأعمال والبحوث العلمية أثناء تنفيذ الدراسات التصميمية لهياكل السفن المراد بناؤها، وكذلك لدراسة وتحليل خواصها الحركية بعد بنائها. يجري تحديد مقاومة المياه لحركة السفينة عن طريق تجارب تُنفذ إما على الهياكل الحقيقية للسفن أو على نماذج (موديلات) هذه الهياكل.

ينحصر جوهر هذه الطريقة في إجراء تجارب على نماذج هياكل السفن في أحواض أو أنفاق مائية اختبارية وتحديد مقاومة المياه لحركة هذه الموديلات، ثم استناداً إلى نظرية التشابه الهيدروديناميكية يجري إعادة حساب هذه النتائج وتحديد مقاومة المياه لحركة الهياكل الحقيقية للسفن.

تتخذ غالبية التجارب في الأحواض الاختبارية بحيث تستخدم موديلات لهياكل السفن بمقاييس مناسبة تضمن عدم تأثير أرضية وجوانب الحوض على نتائج التجارب، تصنع الموديلات استناداً إلى الرسم النظري للسفينة بمقاييس تتراوح بين  $\left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{25}\right)$  وتصل أسطحها بشكل جيد بحيث يمكن اعتبار الموديل "صفحة مكافئة لمساء" أثناء إعادة حساب نتائج التجارب لتحديد مقاومة المياه لهياكل السفن الحقيقية. يثبت في مقدمة الموديل مولد اضطراب للجريان (سلك على شكل حلقة) وذلك لتأمين ثبات الطبقة السطحية للهيكلي الحقيقي.

تتخذ التجارب على جميع السرعات الممكنة باستخدام نوعين من النماذج:

- موديلات (نماذج) بدون أجزاء نافرة (عادية)؛

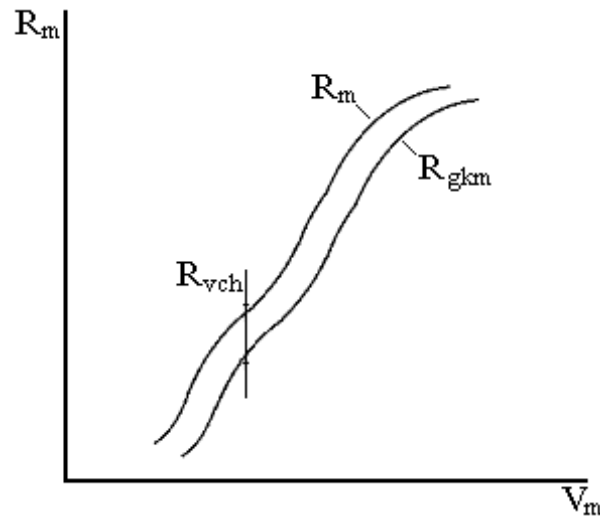
- موديلات (نماذج) بأجزاء نافرة.

حيث نحصل في النتيجة على المنحنيات التي تعبر عن العلاقة بين المقاومة والسرعة للموديل كما هو موضح على

الشكل (1):

$R_m(v_m)$  - مقاومة المياه للموديل مع الأجزاء النافرة على السرعات المختلفة؛

$R_{gkm}(v_m)$  - مقاومة المياه للموديل بدون الأجزاء النافرة (هيكل عادي) على السرعات المختلفة.



الشكل (1) العلاقة بين مقاومة المياه لحركة الموديل وسرعة الموديل

### أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث الى تحديد مقاومة السفينة عن طريق حل معادلات الجريان حول البدن وإجراء محاكاة للجريان حول بدن السفينة من نوع DTMB5415 بسبب توفر البيانات التجريبية [1] لمقاومة هذه السفينة عند الغاطس التصميمي بدون الأجزاء النافرة وذلك من خلال بناء شبكة رقمية تتضمن توصيف بدن السفينة وإجراء حسابات المقاومة عند قيم غاطس مختلفة وذلك باستخدام برنامج (ANSYS Fluent 2020 R2) وباستخدام البرنامج البحري Maxsurf.

### طرائق البحث ومواده:

تم في البداية إجراء دراسة نظرية للتعريف بمقاومة الماء لحركة السفينة ومركباتها الأساسية كما تم التطرق للمعادلات الأساسية اللازمة لحسابات القيمة التقريبية للمقاومة ثم أجريت عملية المحاكاة العددية اللازمة من أجل تحليل وحساب المقاومة وذلك باستخدام برنامج ANSYS Fluent 2020 R2 وبالتالي مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع القيم التجريبية للسفينة المدروسة والقيم التقريبية المحسوبة باستخدام البرنامج البحري Maxsurf.

**النتائج والمناقشة:****1- الموديل الرقمي:**

تم إجراء المحاكاة لسفينة DTMB 5415 (David Taylor Model Basin) لأن البيانات التجريبية لقيم المقاومة على بدن هذه السفينة متوفرة [1]. يوضح الشكل (2) صورة لبدن السفينة المدروسة في هذا البحث [2].



الشكل (2) صورة لبدن السفينة DTMB 5415

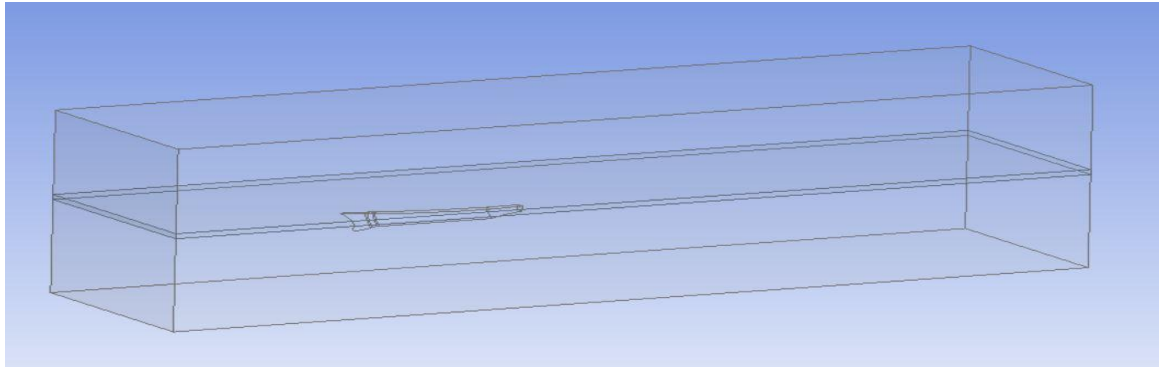
كما يوضح الجدول (1) المعطيات التفصيلية للسفينة النموذج [2]:

الجدول (1) المعطيات التفصيلية للسفينة النموذج

الرمز	البارامتر	النموذج (Model)
$\lambda$	نسبة التحويل	Scale factor = 24.830
(Lpp) (m)	الطول بين العمودين	length between perpendicular
(Lwl) (m)	طول خط الماء	length of waterline
B(m)	العرض	Breadth
D(m)	الغاطس	Draft
(m <sup>2</sup> )	مساحة السطح المبلل	Wetted Surface Area
5.72		
5.726		
0.7242		
0.248		
4.861		

تم إنشاء مجال حسابي **Computational domain definition** كما هو موضح بالشكل (3) بحيث:

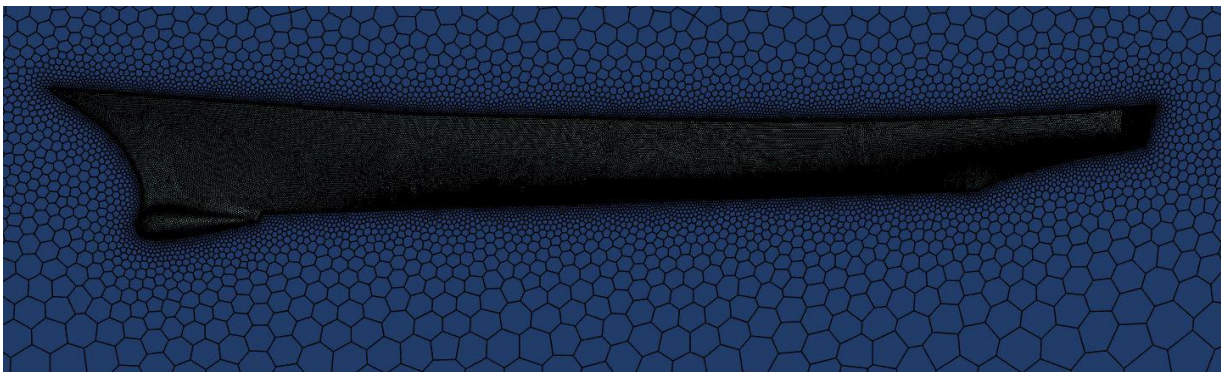
- يبلغ ارتفاع سطحه العلوي عن السطح الحر مسافة (0.7Lpp).
- عمقه تحت السطح الحر يساوي (0.7Lpp).
- يبعد مدخل المجال عن النموذج مسافة تساوي (1.048Lpp).
- يبعد مخرج المجال عن النموذج مسافة تساوي (4.37Lpp).



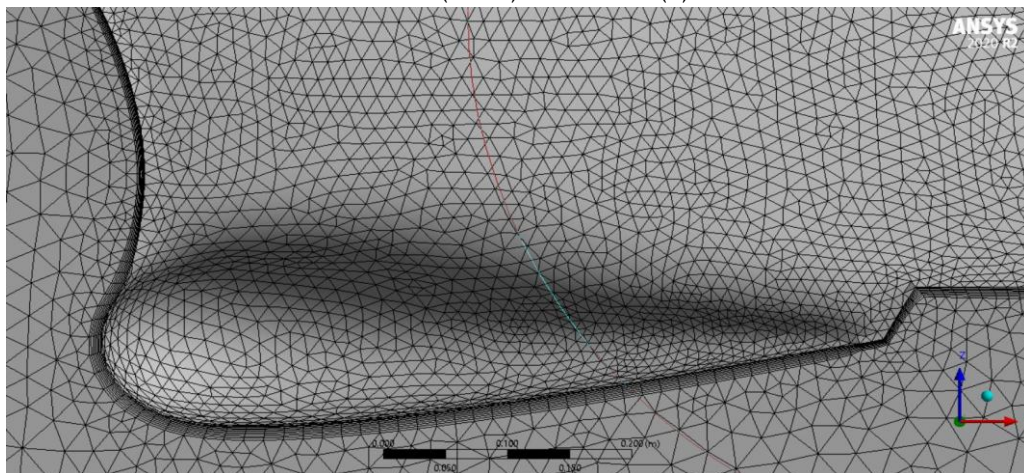
الشكل (3) المجال الحسابي الذي تم إنشاؤه لإجراء المحاكاة

### الشبكة الرقمية Mesh generation

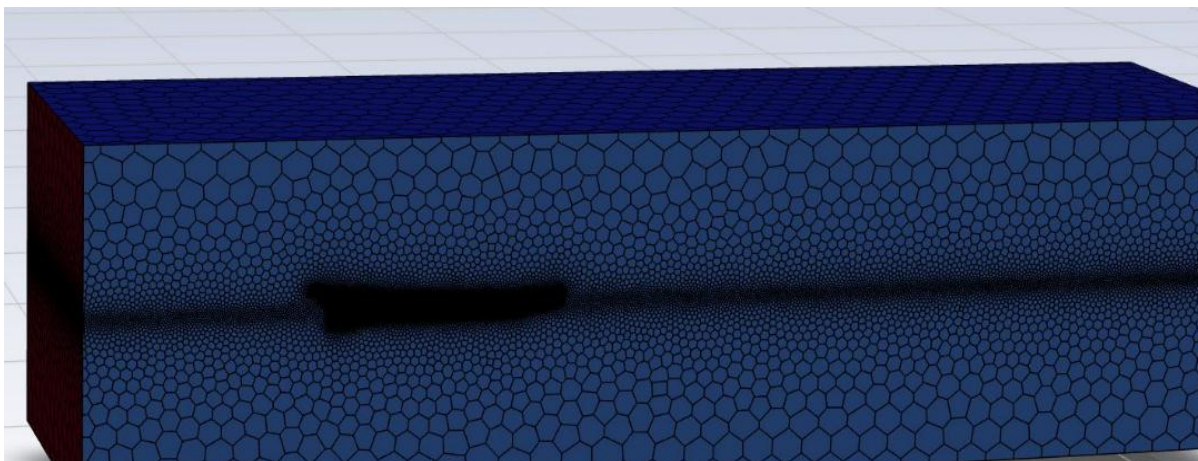
تم إجراء المحاكاة لنصف بدن السفينة وذلك لتقليل عدد الخلايا المستخدمة في الشبكة حيث تم تعميم الشبكة في منطقة السطح الحر وذلك بزيادة عدد الخلايا بشكل كبير في هذه المنطقة للحصول على نتائج دقيقة كما تم زيادة عدد الخلايا على بدن السفينة بالكامل للحصول على أدق قيم ممكنة للمقاومة على البدن. ولذلك فإنه تم اختيار جودة الشبكة بحيث يكون عدد الخلايا 2072454 وعدد العقد 3820817 عقدة.



الشكل (4) الشبكة الرقمية (mesh) للسفينة DTMB



الشكل (5) الشبكة الرقمية (mesh) للسفينة DTMB



الشكل (6) الشبكة الرقمية (mesh) للسفينة DTMB

توضح الأشكال (4)، (5) و (6) صور للشبكة (Mesh) التي تم إنشاؤها حول بدن السفينة. يبين الجدول (2) نتائج المحاكاة للسفينة النموذج وقيم معامل المقاومة عند سرعات مختلفة كما يوضح مقارنة هذه القيم مع القيم التجريبية وقيم النسبة المئوية للخطأ التي تحسب من العلاقات التالية:

$$\text{error}\% = \frac{\text{CT}(\text{exp}) - \text{CT}(\text{fluent})}{\text{CT}(\text{exp})} \quad (3)$$

$$\text{error}\% = \frac{\text{Force}(\text{exp}) - \text{force}(\text{Maxsurf})}{\text{Force}(\text{exp})} \quad (4)$$

الجدول (2) نتائج المحاكاة للسفينة النموذج وقيم معامل المقاومة التجريبية

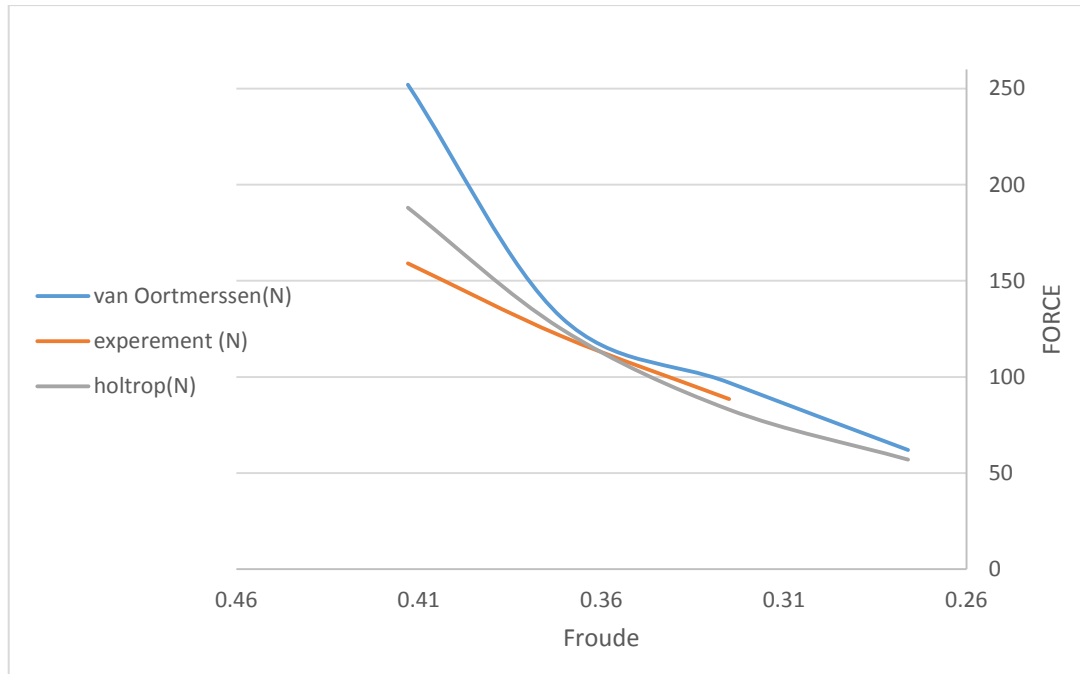
Froude	0.276	0.325	0.371	0.413
V(m/s)	2.0637	2.4345	2.7791	3.0937
$Ct(\text{Fluent}) * 10^{-3}$	5.849	6.1537	6.472	6.85
$Ct(\text{EXP}) * 10^{-3} [1]$	5.92	6.24	6.55	7.12
Error%	1.2	1.38	1.19	<u>3.79</u>

كما يبين الجدول (3) نتائج قيم مقاومة السفينة التجريبية عند الغاطس التصميمي  $T=0.248\text{m}$  وقيمها المحسوبة باستخدام المعادلات التقريبية حسب البرنامج البحري Maxsurf .

الجدول (3) نتائج حساب ومقارنة قيم مقاومة السفينة التجريبية عند الغاطس التصميمي  $T=0.248\text{m}$  مع قيم Maxsurf

Froude	0.276	0.325	0.371	0.413
V(m/s)	2.0637	2.4345	2.7791	3.0937
Maxsurf -van Oortmerssen(N)	62	97	131	252
Maxsurf-holtrop(N)	57	83	125	188
Force experement	60.55	88.486	121.28	159.058
erorr%(van Oortmerssen)	-2.394715	-9.62186	-8.01451	-58.43277
erorr%(holtrop)	5.862923	6.199851	-3.06728	-18.19588

يوضح الشكل (7) الرسم البياني لتغيرات المقاومة بالنسبة لرقم فرود حسب القيم للتجريبية لموديل السفينة DTMB 5415 والقيم المحسوبة باستخدام البرنامج البحري Maxsurf.



الشكل (7) مخطط تغير المقاومة بالنسبة لرقم فرود

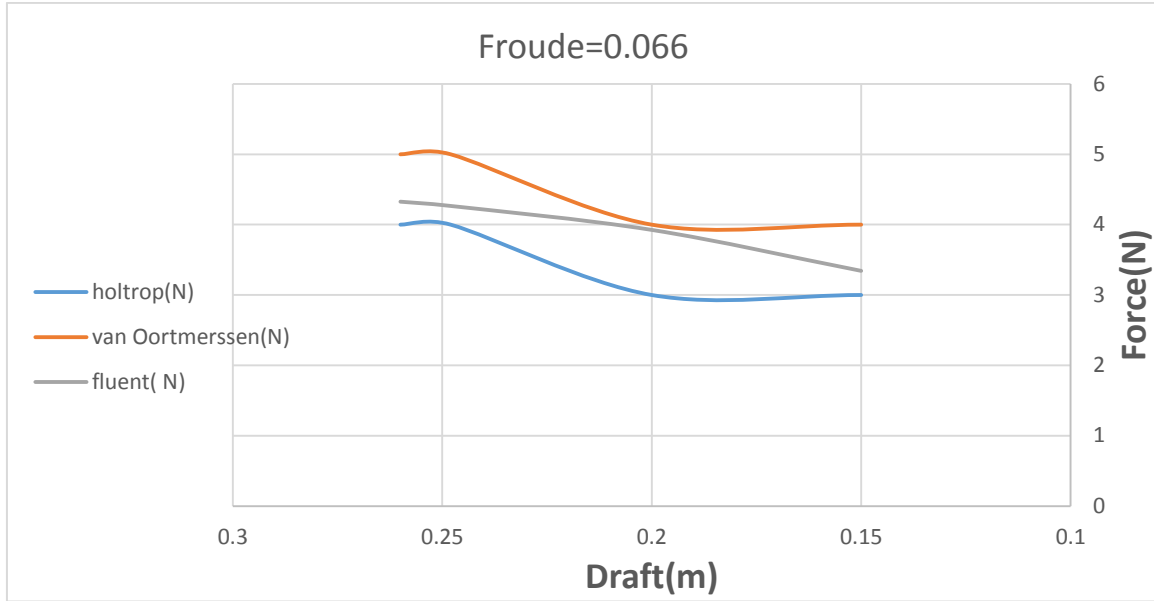
كما يبين الجدول (4) نتائج قيم مقاومة السفينة باستخدام CFD وباستخدام المعادلات التقريبية حسب البرنامج البحري Maxsurf عند قيم غواطس مختلفة وقيمة ثابتة لرقم فرويد  $Fr=0.066$  مع قيم نسب الخطأ المئوية في كل حالة تحميل.

الجدول (4) نتائج قيم مقاومة السفينة باستخدام CFD وباستخدام المعادلات التقريبية حسب البرنامج البحري Maxsurf

Draft(m)	0.15	0.2	0.248	0.26
Maxsurf -van Oortmerssen(N)	4	4	5	5
Maxsurf-holtrop(N)	3	3	4	4
Fluent CFD( N)	3.343153	3.925258	4.26553	4.32629
erorr%(van Oortmerssen)	-19.64754	-1.90414	-17.2188	-15.57247
erorr%(holtrop)	10.26435	23.57189	6.22496	7.5420279

المخطط البياني الموضح لهذه القيم مبين في الشكل (8).

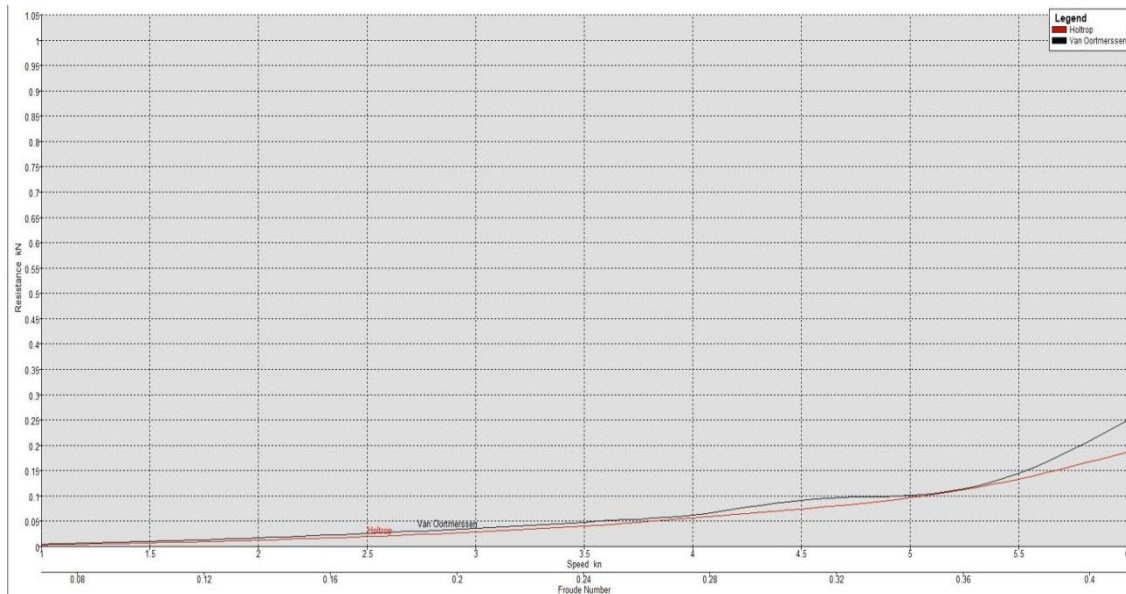




الشكل (8) مخطط تغير المقاومة مع تغير قيمة الغاطس (حالات التحميل المختلفة)

نلاحظ أن قيم المقاومة المحسوبة وفق Maxsurf –van Oortmerssen أكبر من قيم CFD حيث أن أعلى نسبة خطأ هي 19.64754 أما وفق Maxsurf–holtrop فإن قيم المقاومة أقل من قيم CFD حيث أن أعلى نسبة خطأ هي 23.57189 .

يبين الشكل (9) قيم المقاومة المحسوبة في واجهة البرنامج البحري Maxsurf.



الشكل (9) قيم المقاومة المحسوبة في واجهة البرنامج البحري Maxsurf

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

- من خلال تحليل ومقارنة نتائج المحاكاة الرقمية مع القيم التجريبية لهذه السفينة تبين وجود دقة عالية في نتائج المحاكاة.
- إن أعلى نسبة للخطأ هي 3.79% وذلك عند مقارنة قيمة المقاومة حسب (CFD) مع القيم التجريبية عند للغاطس التصميمي.
- نلاحظ أن قيم المقاومة المحسوبة عند قيم مختلفة للغاطس وفق Maxsurf -van Oortmerssen أكبر من قيم CFD حيث أن أعلى نسبة خطأ هي 19.64754.
- تبين أن قيم المقاومة المحسوبة عند قيم مختلفة للغاطس وفق Maxsurf-holtrop أقل من قيم CFD حيث أن أعلى نسبة خطأ هي 23.57189.
- ترتبط تغيرات المقاومة بغاطس السفينة وبالتالي وجدنا أن دقة نتائج تقنية ديناميك الموائع الحسابية (CFD) عالية مقارنة مع الطرق التقريبية أو باستخدام البرامج البحرية.
- باستخدام برنامج Maxsurf يمكن حساب قيم المقاومة وفق مُحددات تفرضها أبعاد السفينة ومعاملات امتلاؤها ونسب الأبعاد الرئيسية، أي شكل بدنها. بينما تقنية ديناميك الموائع الحسابية CFD تصلح للاستخدام لكافة أشكال الأبدان بشرط التوصيف الصحيح للبدن وشروط الجريان حول البدن.

### التوصيات:

- يشجع هذا البحث حول حسابات مقاومة المياه لحركة السفينة العلماء والمهندسين على استكشاف الموضوع والبحث عن حلول لمشاكل إبحار السفن والغواصات في ظروف تزايد المقاومة، والتي لا تزال تعد من المسائل ذات الأهمية الكبيرة الأمر الذي زاد الاهتمام بهذه الظواهر الهيدروديناميكية.
- في الوقت الحاضر، تمنحنا التكنولوجيا المتقدمة الفرصة لاكتساب فهم أعمق للأثر المتبادل بين سرعة السفينة ومقاومة حركتها في حالات تحميل مختلفة (قيم غواطس مختلفة)، وتحسين معرفتنا للشروط المثلى للإبحار من خلال الدراسة والمحاكاة بزيادة عدد الخلايا في الشبكة الرقمية واختيار نماذج اضطراب متقدمة مثل **Detached Eddy Simulation (DES)** التي تحتاج إلى مواصفات عالية لأجهزة الحاسب بالإضافة إلى كم أعلى من الذواكر.
- كما يمكننا إجراء محاكاة الجريان حول بدن السفينة وبالتالي تحديد مقاومة السفينة في ظروف تغير بارامترات أخرى متعلقة بالبدن أو بالشروط الخارجية المتعددة.

## References:

- [1] Larsson, L., Stern, F. and Bertram, V., "Benchmarking of Computational Fluid Dynamics for Ship Flows: The Gothenburg 2000 Workshop", Journal of Ship Research, 47, No.1, pp. 63-81. (2003)
- [2] [http://SIMMAN2008.dk/5415/5415\\_geometry.htm](http://SIMMAN2008.dk/5415/5415_geometry.htm)
- [3] Yasser M. Ahmed a, c, O. B. Yaakoba, b,\*, M. F. A. Rashid a, A. H. Elbatran a, d Determining Ship Resistance Using Computational Fluid Dynamics (CFD), Journal of Transport System Engineering 2 : 1, 20-25. (2015)
- [4] Hino, T. (ed.), "Proceedings of the CFD Workshop Tokyo 2005", Tokyo, Japan. (2005)
- [5] Montgomery, D. (2005) Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons, Inc.

- [6] Leo Lazauskas, Cyberiad, First Draft: 16 Dec. Resistance and Squat of Surface Combatant DTMB Model 5415: Experiments and Predictions. (2009),
- [7] Burg, C.O.E, Sreenivas, K., Hyams, D.G. and Mitchell, B., “Unstructured Nonlinear Free Surface Simulations for the Fully-Appended DTMB Model 5415 Series Hull Including Rotating Propulsors”, Proceedings of the 24th Symposium on Naval Hydrodynamics, Fukuoka, Japan, 8-13. (2002)
- [8] Suleyman Duman<sup>1</sup> ve Sakir Bal<sup>2</sup>, NUMERICAL INVESTIGATION OF SCALE EFFECTS ON MANEUVERING COEFFICIENTS OF DTMB 5415 HULL.2017
- [9] S. Bal, “Prediction of wave pattern and wave resistance of surface piercing bodies by a boundary element method,” Int. J. Numer. Methods Fluids, vol. 56, no. 3, pp. 305–329, Jan. 2008.
- [10] S. He, P. Kellett, Z. Yuan, A. Incecik, O. Turan, and E. Boulougouris, “Manoeuvring prediction based on CFD generated derivatives,” J. Hydrodyn. Ser B, vol. 28, no. 2, pp. 284–292, Apr. 2016.
- [11] S. Duman and S. Bal, “Numerical Investigation of Viscous Effects on the Static PMM Tests of Ships,” presented at the A. Yücel Odabaşı Colloquium Series - 2nd International Meeting on Recent Advances in Prediction Techniques for Safe Manoeuvring of Ships and Submarines, Istanbul, Turkey, 2016.
- [12] ITTC, “Practical Guidelines for Ship CFD Applications,” presented at the Proceedings of 26th ITTC, Hague, 2011.