

Modeling and Simulation The Impact of Internal Waves on Ship Resistance (CFD)

Dr. Ali Khallouf^{*}
Dr. Nisrinemohamad^{**}
Ali al-mohamad^{***}

(Received 28 / 3/ 2021 . Accepted 9 / 8 / 2021)

□ ABSTRACT □

For sailors, the internal wave phenomenon is a well-known peculiar phenomenon, when a boat evolving on a two-layer fluid feels an extra drag due to waves being generated at the

interface between the two layers. This effect is only observed when the upper part of the fluid is composed of layers of different densities, due to variations in salt concentration or temperature.

The flow around the DTMB 5415, KVLCC2 , ULCC hull form had been simulated using code ANSYS Fluent 2020 R2. Besides, the frictional and the pressure resistance or called as the total resistance for ships hull form, had been calculated at different cb and draft.

It was found that the values of resistance obtained from the ANSYS Fluent 2020 R2 were increasing. For future study, the predicted numerical results for the ships 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) which requires high specification processors and RAM.

Keywords: Free surface, resistance, ship, CFD, flow, draft, internal wave .

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

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

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

نمذجة ومحاكاة أثر الأمواج الداخلية على مقاومة السفينة باستخدام (CFD)

د. علي خلوف *

د. نسرين محمد **

علي حسن المحمد ***

(تاريخ الإيداع 2021/ 3/ 28 . قُبِلَ للنشر في 2021/ 8/ 9)

□ ملخص □

بالنسبة للبحارة فإن ظاهرة الأمواج الداخلية معروفة فعندما يبخر القارب في سائل من طبقتين يتعرض لمقاومة زائدة بفعل الأمواج المتولدة على السطح الفاصل بين الطبقتين. يُلاحظ هذا الأثر عندما يكون الجزء العلوي من السائل مؤلف من طبقات مختلفة الكثافة بسبب الاختلاف تركيز الملح أو درجة الحرارة. تم في هذا البحث إجراء محاكاة للجريان حول نماذج السفن DTMB 5415 ، KVLCC2 ULCC ، وذلك باستخدام برنامج (ANSYS Fluent 2020 R2). تم إجراء حسابات المقاومة الكلية المكونة من مقاومتي الضغط والإحتكاك لنماذج السفن ذات معاملات شكل مختلفة وتقييم غاطس مختلفة بوحود ظاهرة الأمواج الداخلية المتولدة نتيجة وجود طبقتين من المياه العذبة والمالحة مختلفتين بالكثافة. تبين من خلال مقارنة نتائج المحاكاة الرقمية زيادة مقاومة السفينة مع ازدياد قيمة الغاطس، وكذلك عند زيادة معامل الشكل وبالتالي يمكن من خلال انتقاء قيم مثلى لهذه البارامترات تخفيف أثر الأمواج الداخلية على مقاومة السفينة.

يمكن لاحقاً تحسين النتائج الرقمية للمحاكاة من خلال زيادة عدد الخلايا على السطح الفاصل بين الطبقتين واستخدام نماذج اضطراب أعقد وأكثر دقة مثل نموذج الاضطراب (DES) Detached Eddy Simulation والذي يتطلب معالجات ذات مواصفات وذواكر عالية.

الكلمات المفتاحية: جريان، السطح الحر، المقاومة، السفينة، CFD، السرعة، الغاطس، الأمواج الداخلية.

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

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

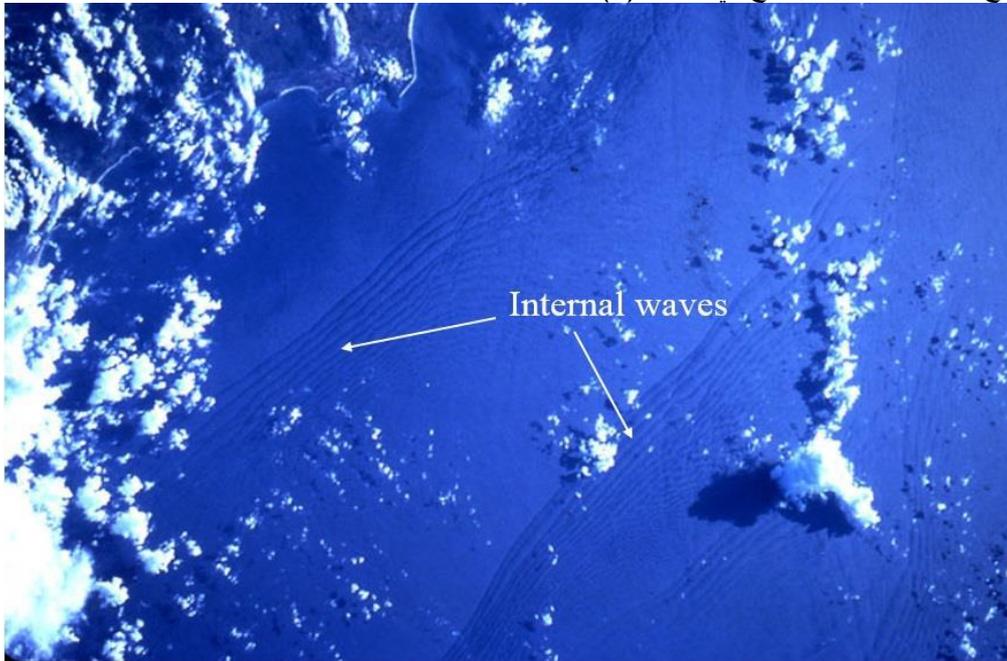
*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق، دمشق، سورية.

1- مقدمة:

تطفو طبقة من المياه العذبة القادمة من الأنهار القريبة أو الثلوج الذائبة فوق سطح ماء البحر الأكثر كثافة ، و عندما يتقدم القارب في هذه الطبقة فإنّ مقدمته تحرض ضغطاً موجباً على سطح التماس مع ماء المحيط المالح الذي يتم تشبيهه بغشاء رقيق ، تولد هذه الاضطرابات سلسلة من الأمواج على السطح الفاصل بين طبقات المياه الحلوة و المالحة التي تنتشر بسرعة أقل بكثير من تلك الخاصة بالسطح الحر و تسمى " الأمواج الداخلية " .

الأمواج الداخلية هي نوع من الأمواج يشبه الأمواج السطحية تتولد نتيجة لتدرج الكثافة، يحدث التقسيم الطبقي بسبب تغيرات الكثافة الناتجة عن التغيرات في درجة الحرارة أو الملوحة أو تركيز أي مادة مذابة أخرى، أو كمزيج من بعضها، ويتأثر هذا التقسيم الطبقي بالظواهر الطبيعية المختلفة بما في ذلك الأمواج السطحية، وقوى كوريوليس والمد والجزر، الأمر الذي ساهم في زيادة الاهتمام بالجريانات في علم المحيطات. يمكن القول أن جميع جريانات السوائل في البيئة طبقية. حيث يمكن أن تحدث التباينات في الكثافة في كل الاتجاهات، ولكن التقسيم الطبقي العمودي هو الوحيد المستقر في حالة عدم وجود تأثيرات أخرى.

عندما يبحر قارب في مائع ثنائي الطبقة، فإنه يواجه مقاومة إضافية بسبب الأمواج التي يتم توليدها في السطح البيني بين الطبقتين، في حين أن السطح الحر يبقى ساكناً، وتكون قوة الإعاقة التي يواجهها القارب المبحر في السائل متعدد الطبقات أكبر بكثير من تلك التي يواجهها في حالة سائل متجانس. ينتج هذا الاختلاف في قوة الإعاقة الناجمة عن الأمواج المتولدة في الطبقة الفاصلة بين طبقتي السائل، والتي تُعزى إلى حركة القارب. ويمكن رؤية الأمواج الداخلية للمحيطات في الصور التي يتم الحصول عليها من أجهزة الاستشعار عن بعد كما هو الحال في رادار الأقمار الاصطناعية (SAR) الذي يمكنه اكتشاف اختلافات طبيعة السطح الحر بسبب الأمواج الداخلية كما هو موضح في الشكل (1).



(الشكل 1: صورة أقمار صناعية للأمواج الداخلية في بحر الصين الجنوبي)

(1) العالم Ekman أول باحث درس ظاهرة الأمواج الداخلية بالتفصيل عام [1]1904 حيث وصف في هذا المجال عدة حالات لهذه الظاهر كما أن للباحث Ekman مساهمة أخرى تتعلق بوصف الأمواج الداخلية وبين أنها تتولد على السطح الفاصل بين الطبقتين، ثم وضع قانون سرعة الموجة بالعلاقة:

$$C_0^m = \sqrt{g \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \frac{h_1 h_2}{h_1 + h_2}} \quad (1)[1]$$

حيث:

ρ_1 : كثافة الطبقة العليا ، h_1 ارتفاع الطبقة العليا.

ρ_2 : كثافة الطبقة السفلى ، h_2 ارتفاع الطبقة السفلى.

g : تسارع الجاذبية الأرضية.

(2) قام Sean Vitousek في عام [2]2013 بنمذجة حالة المحيط الهيدروديناميكية . وقد وجد أن المعادلات من الدرجة الثانية كافية لإعطاء نتائج دقيقة. حيث قدم نموذج جديد لحالة المحيط مما وفر تمثيلاً طبيعياً لفيزياء الأمواج الداخلية.

(3) قام T. Dauxois وآخرون في عام [3]2011 بإعادة النظر في الدراسات التجريبية التي أجراها Ekman على الأمواج الداخلية باستخدام التقنيات الحديثة من أجل تقديم رؤى جديدة حول هذه الظاهرة الغريبة. والتوسع لحالات أكثر عمومية مما يدل على أهمية ظاهرة المياه الميتة. نلاحظ أنه لم يتم التطرق في الدراسات المرجعية السابقة لتأثير بارامترات شكل السفينة على قيم المقاومة بوجود ظاهرة الأمواج الداخلية مما يظهر أهمية هذا البحث والهدف منه.

الموديل الرياضي

إن المعادلات الرئيسية النازمة لتدفق موائع بكثافات مختلفة تُعطى وفق مايلي:

معادلات نافيه ستوكس:

$$(2) \rho \frac{D\vec{U}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \mu \vec{\nabla}^2 \vec{U} + \rho \vec{F}$$

معادلة الاستمرار:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

معادلة الكثافة :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + w \frac{\partial \rho_0}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

حيث:

(u, v, w) : مركبات السرعة على المحاور الإحداثية.

P : ضغط السائل.

ρ_0 : الكثافة المرجعية وهي تعبر عن الكثافة في حالة التوازن عند السطح الفاصل بين الطبقتين

μ : اللزوجة الديناميكية للسائل.

ρ : كثافة السائل.

\vec{F} : القوة التي يخضع لها السائل وهي قوة الجاذبية وقوة كوريوليس الناتجة عن دوران الأرض.

$\mu \vec{\nabla}^2 \vec{U}$: محصلة قوى اللزوجة في المائع.

$$\vec{F} = \vec{g} - 2\vec{\Omega} \wedge \vec{U} \quad (5)$$

$$\vec{g} = -g\vec{k} \quad (6)$$

$$\vec{\Omega} = \frac{1}{2} f \vec{k} \quad (7)$$

\vec{g} : تسارع الجاذبية الأرضية.

$\vec{\Omega}$: السرعة الزاوية للأرض.

\vec{k} : شعاع الواحدة بالاتجاه الشاقولي.

f : تردد كوريوليس.

بالتالي تصبح معادلة نافيه ستوكس :

$$\rho \frac{D\vec{U}}{Dt} + 2\rho\vec{\Omega} \wedge \vec{U} = -\vec{\nabla}P + \mu\vec{\nabla}^2U + \rho\vec{g} \quad (8)$$

2- أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث الى تحديد قيم مقاومة السفينة (المقاومة الكلية مكونة من مقاومتي الضغط والاحتكاكوهي تؤثر بشكل معاكس لحركة السفينة أو المركب) عن طريق حل معادلات الجريان حول البدن بوجود طبقتي مياه مختلفتي الكثافة حيث تم استخدام نماذج السفن من نوع DTMB5415KVLCC2, ULCC وذلك من خلال بناء شبكة رقمية تتضمن توصيف البدن لنماذج السفن الثلاث وإجراء حسابات المقاومة الكلية للسفن عند معاملات شكل مختلفة والموافقة لقيم مختلفة للغاطس بوحودطبقتين من المياه العذبة والمالحة الأمر الذي يولد أمواجاً داخلية في السطح الفاصل بين الطبقتين وذلك باستخدام برنامج (ANSYS Fluent 2020 R2).

3- طرائق البحث ومواده:

تم إجراء عملية المحاكاة العددية اللازمة للسفن المدروسة في هذا البحث من أجل قيم مختلفة لمعامل الشكل بهدف تحليل وحساب المقاومة وذلك باستخدام برنامج ANSYS Fluent 2020 R2 كما تم تحليل النتائج التي تم الحصول عليها للسفن المدروسة.

4- الموديل الرقمي

تم إجراء محاكاة للأمواج الداخلية باستخدام ثلاثة موديلات سفن مختلفة بمعامل الشكل (معامل الشكل C_B هو بارامتر ثابت يعطى لكل سفينة حسب أبعادها الرئيسية) لنماذج السفن التالية :

$$1- \text{السفينة DTMB} [4] - C_B = 0.507$$

$$2- \text{السفينة KVLCC2} [5] - C_B = 0.8098$$

$$3- \text{السفينة ULCC} [6] - C_B = 0.92$$

وذلك عند أربع قيم مختلفة لغاطس السفينة وهي (0.15, 0.2, 0.248, 0.3) (T(m))

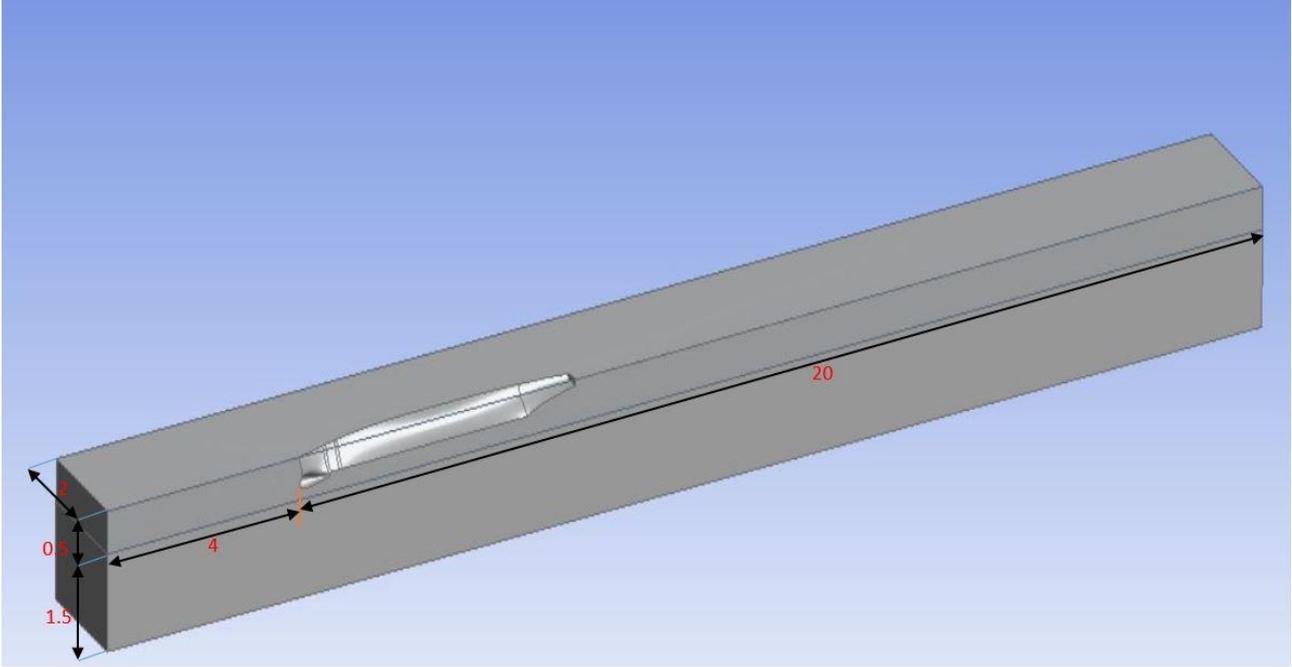
$$1- \text{السفينة DTMB} - C_B = 0.507$$

تم إنشاء مجال حسابي خارجي (Computational domain definition) كما هو موضح بالشكل (2)

بحيث:

- العمق الكلي للمجال الحسابي تحت مستوي الغاطس يساوي (2m).
- ارتفاع طبقة الماء العذب (0.5m)، ارتفاع طبقة الماء المالح (1.5m).
- الطول الكلي للمجال (24m)، أمام المقدمة (4m)، خلف المقدمة (20m).

• العرض الكلي للمجال (2m).



(الشكل 2: المجال الحسابي (Domain) للسفينة (DTMB))

الشبكة الرقمية لنماذج السفن Mesh generation

تم إجراء المحاكاة لنصف بدن السفينة وذلك لتقليل عدد الخلايا المستخدمة في الشبكة (Mesh) حيث تم تعميم الشبكة في منطقة السطح الفاصل بين الطبقتين تم استخدام شبكة unstructured tetrahedral cells لكامل المجال أما لحساب الطبقة الحدية حول بدن السفينة يجب أن تكون قيمة y^+ صغيرة بما يكفي. أجريت العديد من التجارب لدراسة وتوضيح خصائص الجريان المضطرب وخاصة في منطقة الطبقة الحدية ، و أظهرت هذه التجارب أن المنحني اللابعدى لتوزيع السرعة (u^+, y^+) يملك تقريباً نفس الشكل لكل أنواع الجريانات ، انظر الشكل (3) .

و في نظام المحاور اللوغاريتمية يمكن تقسيم الطبقة الحدية إلى الأجزاء التالية:

•منطقة تأثير اللزوجة (The viscous sub-layer) .

• المنطقة الهجينة (The buffer Layer) .

•منطقة الاضطراب الكامل، (المنطقة اللوغاريتمية، (The log-law or fully turbulent region) .

في الشكل (3) يمثل المحور الأفقي y^+ المسافة اللابعدية عن الجدار ، يمثل المحور الشاقولي السرعة

$$u^+ = u/u_\tau$$

$$y^+ = (u_\tau \cdot y)/\nu$$

u_τ : سرعة الاحتكاك والتي يمكن أن تحسب بالاعتماد على إجهاد القص عند الجدار :

$$U_\tau = \sqrt{\frac{|\tau_w|}{\rho}} \quad (9)$$

حيث : $\tau_w = \rho \nu (du/dy)/w$.

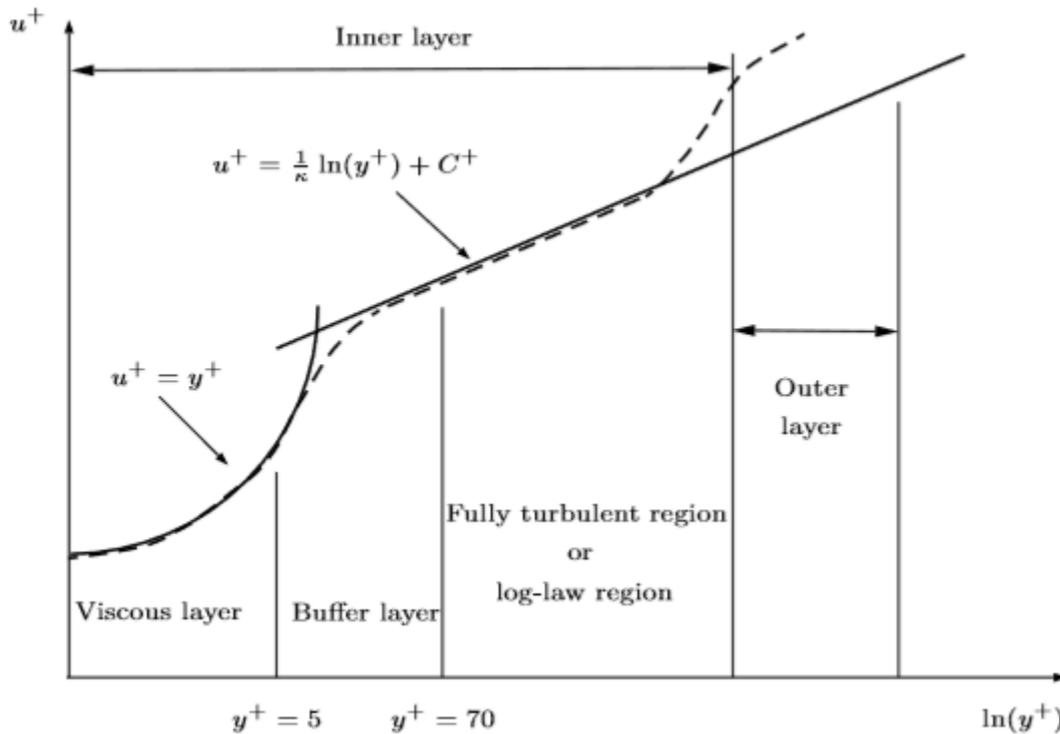
y : البعد عن الجدار.

v : لزوجة المائع.

تمتد المنطقة الأولى ، حيث يسيطر تأثير اللزوجة و تكون المعادلة $u^+ = y^+$ محققة ضمن المجال $0 < y^+ < 5$ ، أما المنطقة الهجينة والتي يحدث فيها الانتقال من العلاقة الخطية بين u^+ و y^+ إلى العلاقة اللوغاريتمية تمتد ضمن المجال $5 \leq y^+ \leq 70$. ضمن المجال $5 < y^+ < 30$ تكون كل من الإجهادات الناتجة بفعل اللزوجة و الإجهادات الناتجة بفعل الاضطراب في حالة توازن ، وتبقى العلاقة خطية بين u^+ و y^+ وعند القيمة $y^+ = 30$ تبدأ المنطقة اللوغاريتمية و التي يسيطر فيها الاضطراب بشكل كامل ، ويعطى توزيع السرعة ابتداء من هذه القيمة بالشكل التالي:

$$u^+(y^+) = (1/\kappa) \ln y^+ + C^+ \quad (10)$$

حيث C^+ ثابت يأخذ بعين الاعتبار تأثير خشونة السطح على توزيع السرعة ، ووفقاً للكثير من التجارب فإن القيمة ($C^+ = 5$) هي أفضل قيمة له . أما : $\kappa = 0.41$ ثابت كارامان.

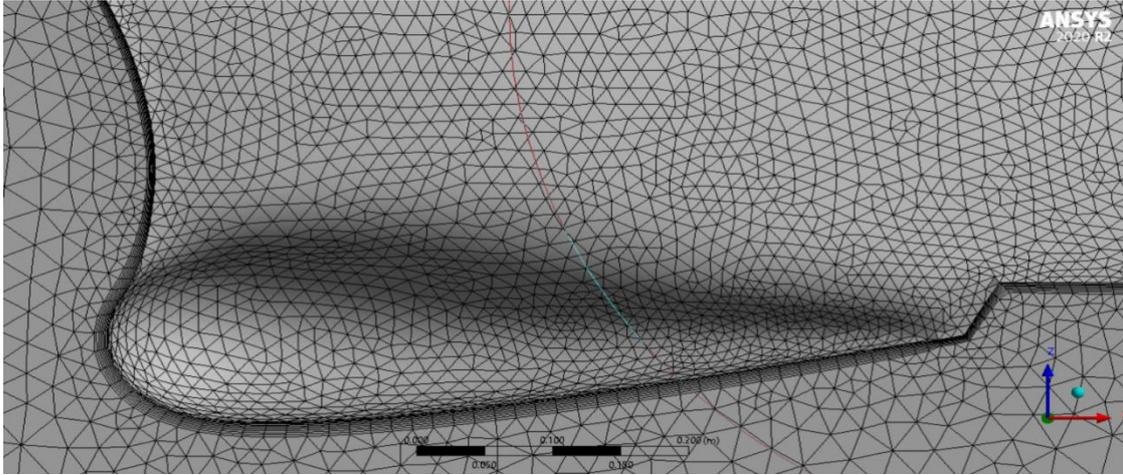


(الشكل 3: توزيع السرعة $u^+(y^+)$ في الطبقة الحدية المضطربة) [7]

لذلك واستناداً إلى مخطط توزيع السرعة $u^+(y^+)$ في الطبقة الحدية المضطربة تم اختيار قيمة $y^+ = 20$ الموافقة لارتفاع مركز أول خلية متاخمة للجدار ($9.2 \cdot 10^{-4} m$) لأن هذه القيمة تعطي نتائج دقيقة لحسابات الطبقة الحدية حول السفينة ولكن هذا سيؤدي إلى زيادة عدد خلايا الشبكة الرقمية بشكل كبير مما يتطلب معالجات ذات مواصفات وذواكر عالية في حال تم اختيار قيمة أقل من ذلك وبالتالي تم بناء شبكة structured hexahedral cells عشر طبقات بمعدل نمو للخلايا 1.1 كما هو مبين في الشكل (4). وعدد الخلايا والعقد حسب الجدول (1).

(الجدول 1: عدد خلايا وعقد الشبكة (Mesh) للسفينة DTMB)

عدد العقد	عدد الخلايا	قيم الغاطس T (m)
303960	1377595	0.3
252200	1016327	0.248
232281	1091713	0.2
214149	1021934	0.15

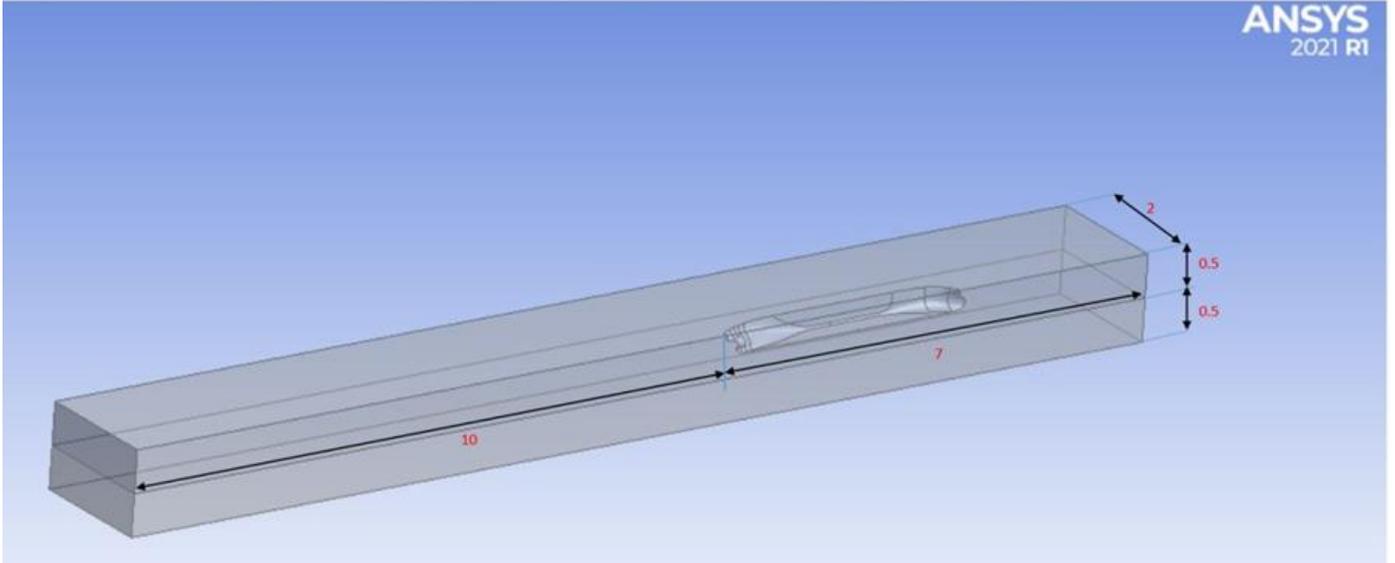


(الشكل 4: الشبكة الرقمية (mesh) للسفينة DTMB قرب البدن)

2- السفينة KVLCC2 - $C_B=0.8098$

تم إنشاء مجال الحساييخارجي (Computational domain definition) كما هو موضح بالشكل (5) بحيث:

- العمق الكلي للمجال الحسابي تحت مستوي الغاطس يساوي (1m).
- ارتفاع طبقة الماء العذب (0.5m)، ارتفاع طبقة الماء المالح (0.5m).
- الطول الكلي للمجال (17m)، أمام المؤخرة (7m)، خلف المؤخرة (10m).
- العرض الكلي للمجال (2m).



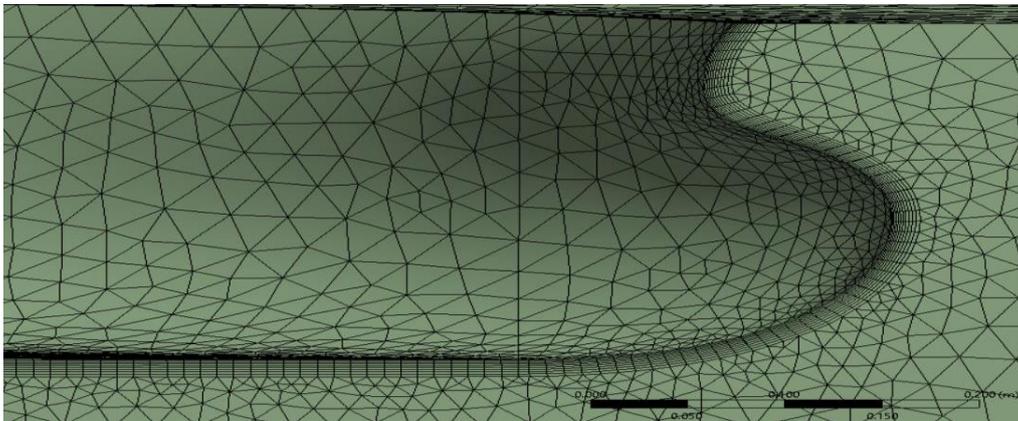
(الشكل 5: المجال الحسابي (Domain) للسفينة KVLCC2)

الشبكة الرقمية Mesh generation

تم بناء شبكة structured hexahedral cells عشر طبقات بمعدل نمو للخلايا 1.1 كما هو مبين في الشكل (6). وعدد الخلايا والعقد حسب الجدول (2).

(الجدول 2: عدد خلايا وعقد الشبكة (Mesh) للسفينة KVLCC2)

عدد العقد	عدد الخلايا	قيم الغاطس T (m)
274391	1290956	0.3
263024	1211517	0.248
248952	1156956	0.2
315370	1276581	0.15



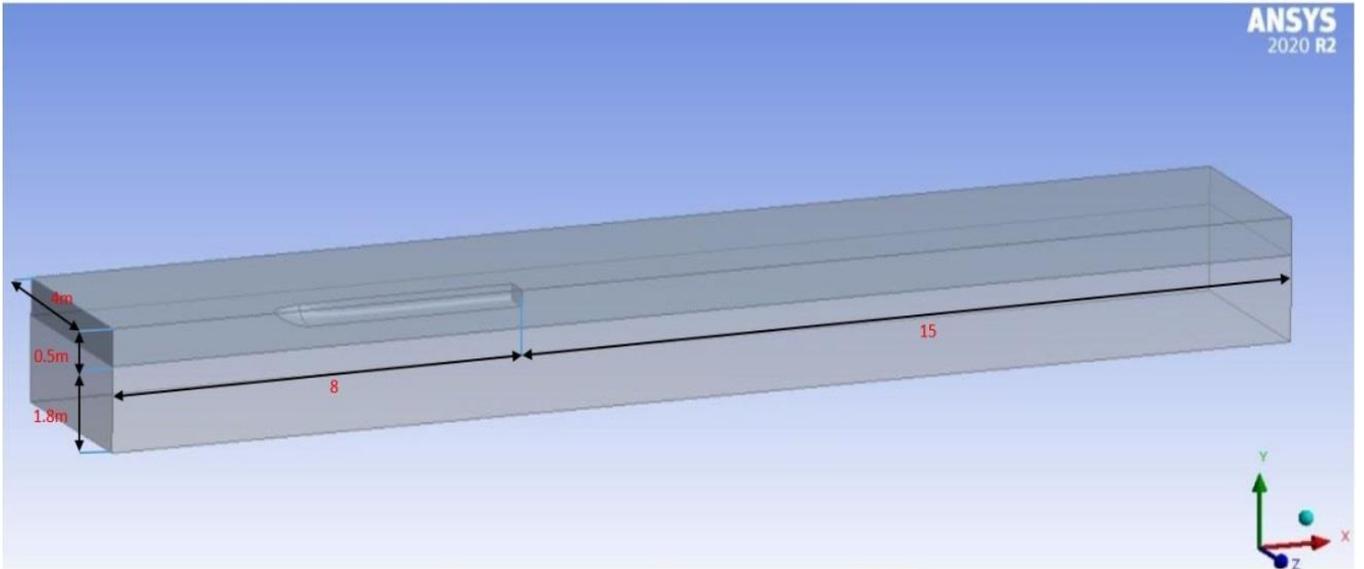
(الشكل 6: الشبكة الرقمية (mesh) للسفينة KVLCC2 قرب البدن)

3- السفينة ULCC - $C_B=0.92$

تم إنشاء مجال حسابي خارجي (Computational domain definition) كما هو موضح بالشكل (7)

بحيث:

- العمق الكلي للمجال الحسابي تحت مستوي الغاطس يساوي (2.3m).
- ارتفاع طبقة الماء العذب (0.5m)، ارتفاع طبقة الماء المالح (1.8m).
- الطول الكلي للمجال (23m)، أمام المؤخرة (8m)، خلف المؤخرة (15m).
- العرض الكلي للمجال (4m).



(الشكل 7: المجال الحسابي (Domain) للسفينة ULCC)

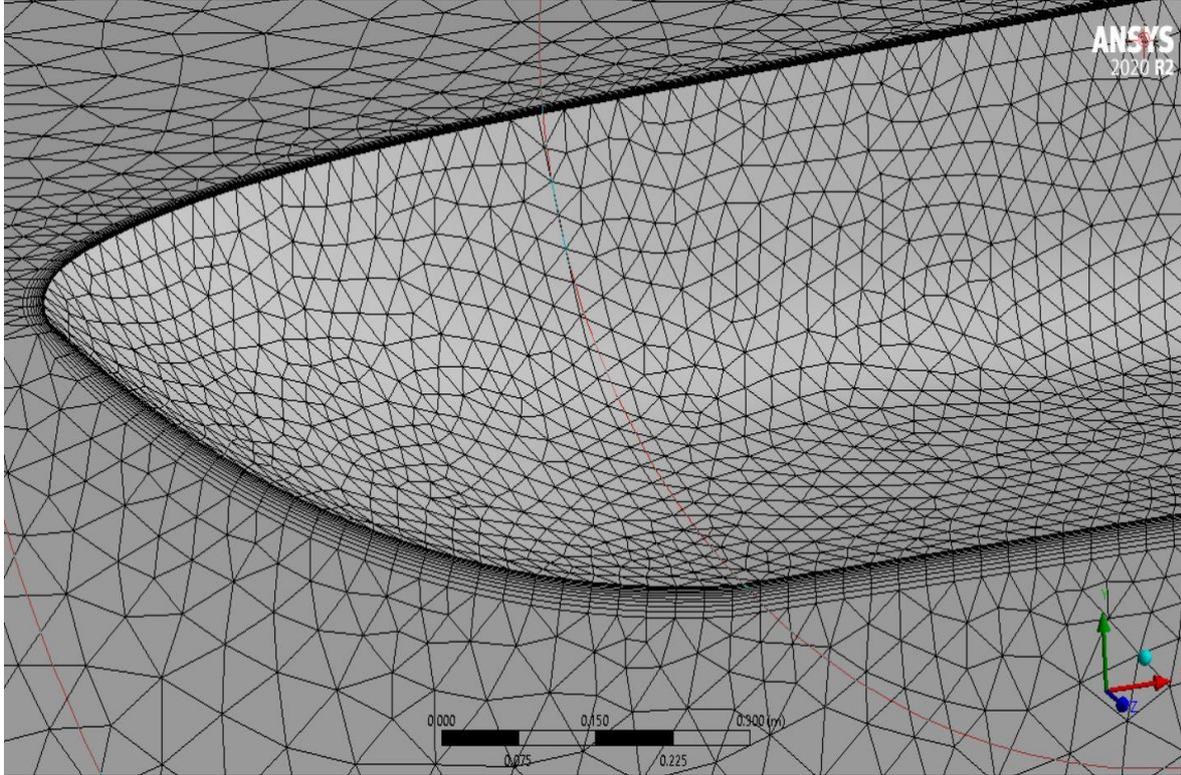
الشبكة الرقمية Mesh generation

تم بناء شبكة structured hexahedral cells عشر طبقات بمعدل نمو للخلايا 1.1 كما هو مبين في الشكل

(8). وعدد الخلايا والعقد حسب الجدول (3).

(الجدول 3: عدد خلايا وعقد الشبكة (Mesh) للسفينة ULCC)

قيم الغاطس T (m)	عدد الخلايا	عدد العقد
0.3	1177958	244614
0.248	1250327	269909
0.2	1134200	232635
0.15	1108830	239382



(الشكل 8: الشبكة الرقمية (mesh) للسفينة ULCC قرب البدن)

الشروط الحدية Boundary conditions

تم إجراء المحاكاة بوجود طبقتين من المائع :

- طبقة الماء العذب (Density=998.2 -Viscosity=0.001003 kg/m.s) (kg/m^3)
- طبقة الماء المالح (Density=1030 -Viscosity=0.001233 kg/m.s) (kg/m^3)

عند مدخل (inlet) ومخرج (outlet) المجال الحسابي تم اعتماد ارتفاع طبقة الماء العذب عن مستوي غاطس السفينة (0.5 m) وسرعة الجريان (0.5 m/s).

كما تم تعريف بدن السفينة Wall، الجريان على بدن السفينة بدون وجود انزلاق (no slip) ، السطح العلوي للمجال (top) ، سطح التناظر للسفينة (symmetry) ، السطح الجانبي (side) والسفلي (bottom) للمجال (wall-slip).

أخيراً تم اختيار موديل الاضطراب (SST) (K-W) وخوارزمية Coupled لحل قيم السرعة والضغط معاً في معادلات نافيه ستوكس.

الموديل k-ε:

يعتبر من أكثر موديلات الاضطراب شيوعاً ، و عموماً يوجد صيغتين رئيسيتين للموديل [8], [9] . الموديل المقدم من قبل Launder and Sharma يعتبر النموذج التقليدي وهو يتضمن معادلتين انتقال و التي بدورها تصف تأثيرات الاضطراب في الجريان ، المتغير الأول في هذا النموذج هو الطاقة الحركية

للاضطراب k و التي تحدد طاقة الاضطراب ، والمتغير الثاني هو معامل انتشار الاضطراب ε (انتشار الطاقة الحركية للاضطراب)، والذي يحدد مدى انتشار الاضطراب.

الموديل $k-\omega$

يعتبر هذا الموديل أيضاً من الموديلات الشائعة لحل الاضطراب ، و هو يتضمن معادلاتي انتقال تصف تأثيرات الاضطراب في الجريان، و المتغير الأول في هذا النموذج هو الطاقة الحركية للاضطراب k ، والمتغير الثاني هو معامل الانتشار ω المحدد [10], [11] .

الموديل $k-\omega$ SST

قدم هذا النموذج الذي يعتمد على مفهوم اللزوجة الدوامية من قبل (Menter 1993)، وهو يعتبر دمج لخصائص النموذجين $k-\varepsilon$ و $k-\omega$ ، حيث يتم فيه استخدام الموديل $k-\omega$ ضمن الأجزاء الداخلية للطبقة الحدية (بالقرب من الجدار) حيث يقدم هذا الموديل ($k-\omega$) أفضل النتائج ضمن هذه المنطقة ، والموديل $k-\varepsilon$ في منطقة الجريان الحر ، بعيداً عن الجدار. و يفضل المختصون في هذا المجال استخدام نموذج ال SST بسبب النتائج الجيدة في حال دراسة الجريانات ذات تدرج الضغط العكسي والجريانات الانفصالية [12] ، [13].

5- النتائج والمناقشة

تم في هذا البحث حساب معامل المقاومة CD لنماذج السفن المدروسة باستخدام برنامج ANSYS الذي يعتمد الطريقة الرقمية (الحجوم المنتهية) لتقريب معادلات نافيه ستوكس عند قيم مختلفة للغاطس وتوضيح قيم المقاومة لموديلات السفن في الجدول (4).

$$F = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot V^2 \cdot A \quad (11)$$

حيث:

F : قوة مقاومة السفينة (النموذج) الكلية (N)

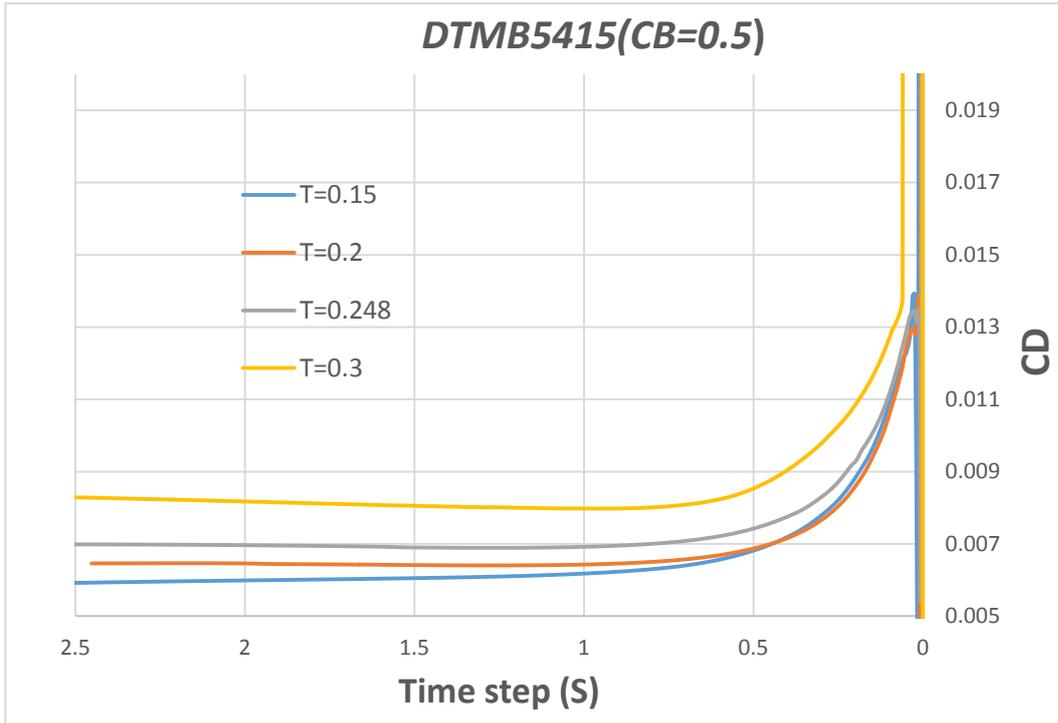
A : مساحة السطح المبلل للسفينة (m^2)

ρ : كثافة المائع (kg/m^3)

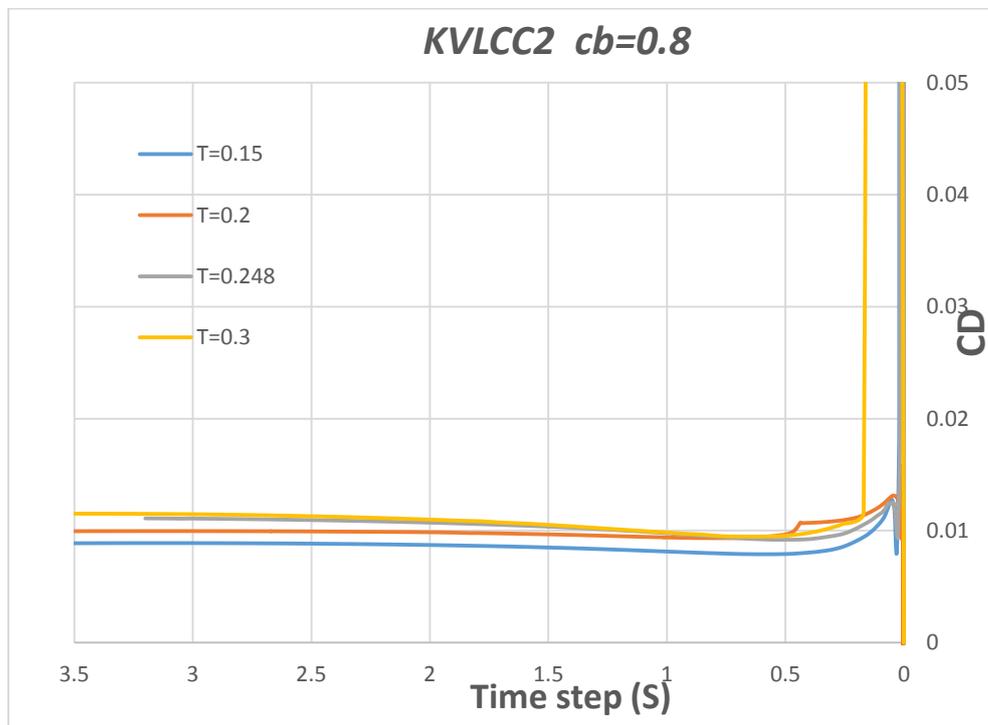
V : سرعة السفينة (m/s)

C_D : معامل المقاومة.

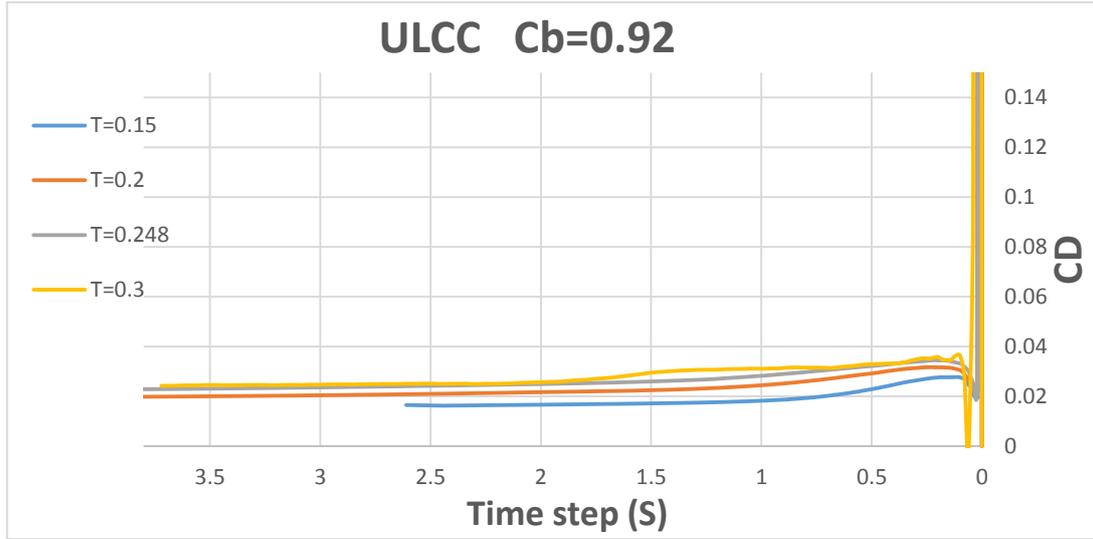
يوضح الشكل (9) تغير معامل المقاومة CD لنموذج السفينة DTMB5415 (CB=0.5) والشكل (10) تغير معامل المقاومة لنموذج السفينة KVLCC2 (CB =0.8) . أما الشكل (11) يبين تغير معامل المقاومة لنموذج السفينة (ULCC CB =0.92).



(الشكل 9 : مخطط تغير معامل المقاومة أثناء المحاكاة لموديل السفينة DTMB)



(الشكل 10 : مخطط تغير معامل المقاومة أثناء المحاكاة لموديل السفينة KVLCC2)



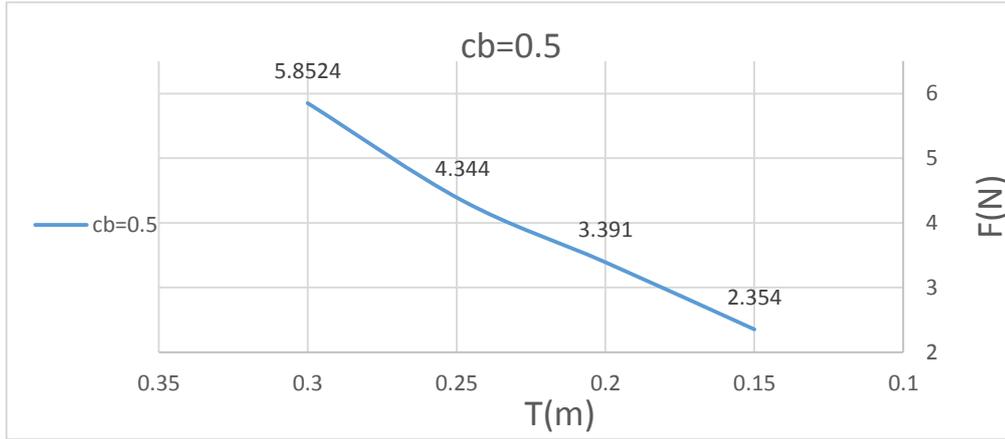
(الشكل 11 : مخطط تغير معامل المقاومة أثناء المحاكاة لموديل السفينة ULCC)

نلاحظ من الأشكال السابقة استقرار قيم معامل المقاومة خلال الزمن كما يتبين زيادة قيمة CD مع زيادة قيمة غاطس موديلات السفن المدروسة.

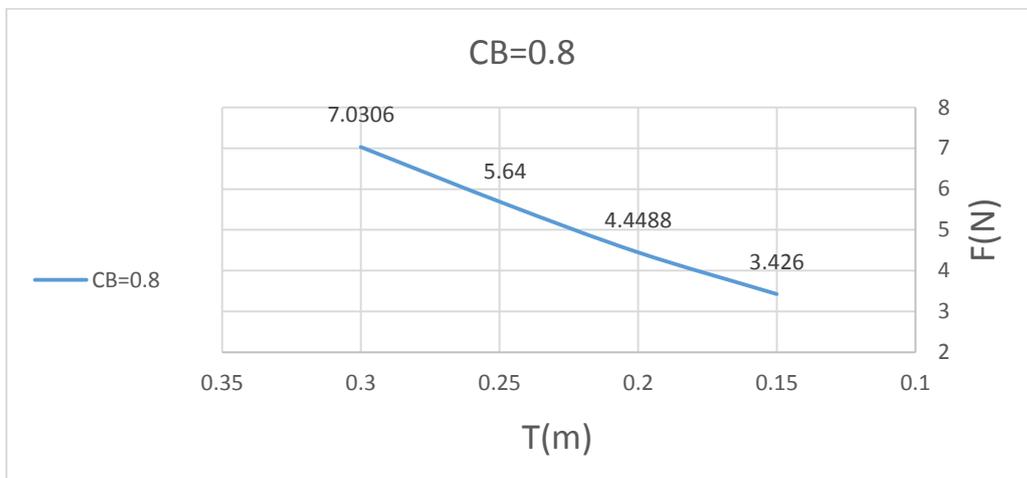
(الجدول 4 : نتائج المحاكاة للسفن DTMB ، KVLCC2 ، ULCC)

الغاطس T(m) (النموذج)	السفينة (النموذج) DTMB CB=0.507		السفينة (النموذج) KVLCC2 CB=0.8098		السفينة (النموذج) ULCC CB=0.92	
	معامل المقاومة Cd	قوة المقاومة F(N)	معامل المقاومة Cd	قوة المقاومة F(N)	معامل المقاومة Cd	قوة المقاومة F(N)
0.3	0.008271	5.8524	0.012417	7.0306	0.024226	21.7213
0.248	0.00702	4.344	0.011101	5.64	0.022837	18.8965
0.2	0.00646	3.391	0.009863	4.4488	0.019328	14.6362
0.15	0.005502	2.354	0.008693	3.426	0.016505	11.3056

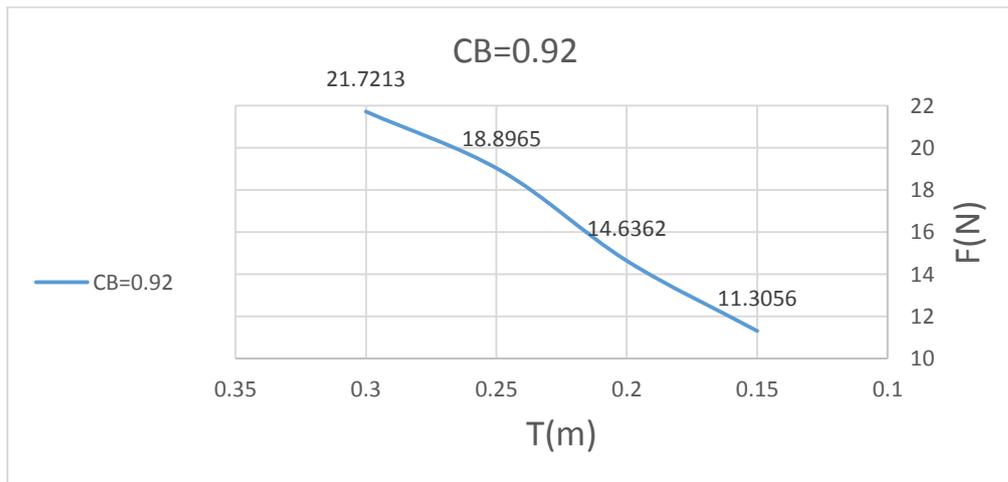
يتبين تغير مقاومة السفينة بتغير الغاطس للسفن المدروسة من أجل قيم معاملات الشكل السابقة في الأشكال (12)، (13) و(14).



(الشكل 12: مخطط تغير المقاومة أثناء المحاكاة للسفينة (DTMB))



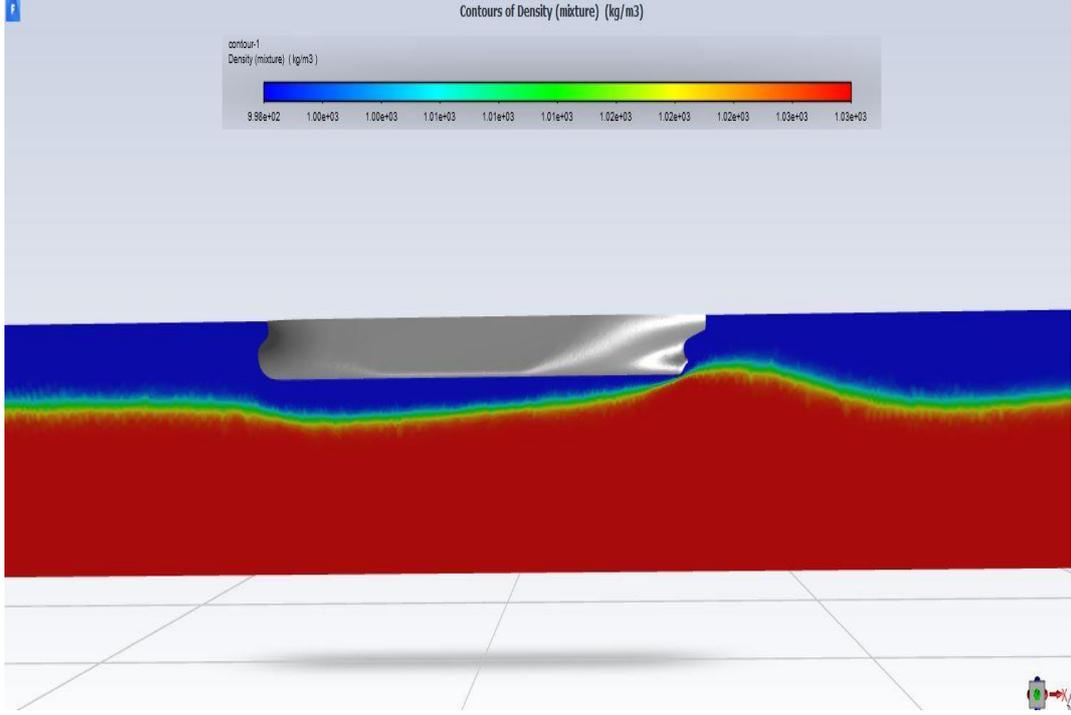
(الشكل 13: مخطط تغير المقاومة أثناء المحاكاة للسفينة (KVLCC2))



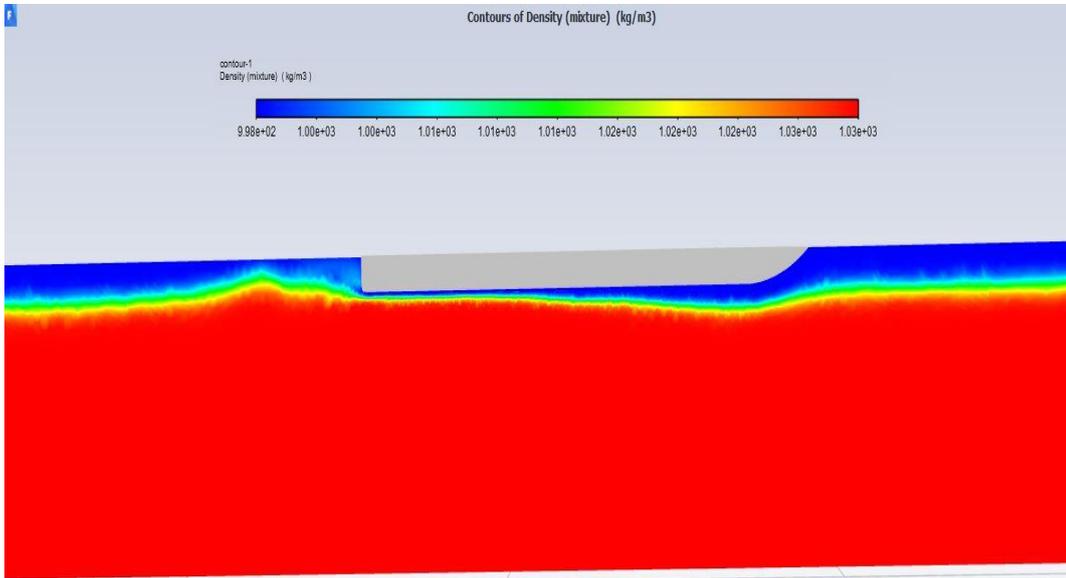
(الشكل 14 : مخطط تغير المقاومة أثناء المحاكاة للسفينة (ULCC))

نلاحظ من خلال الأشكال السابقة تزايد قيمة مقاومة السفن المدروسة مع تزايد معامل الشكل CB.

كما تبين الأشكال (15) و(16) حقل الأمواج الداخلية المتولدة على السطح الفاصل بين الطبقتين للسفینتین KVLCC2 و ULCC.



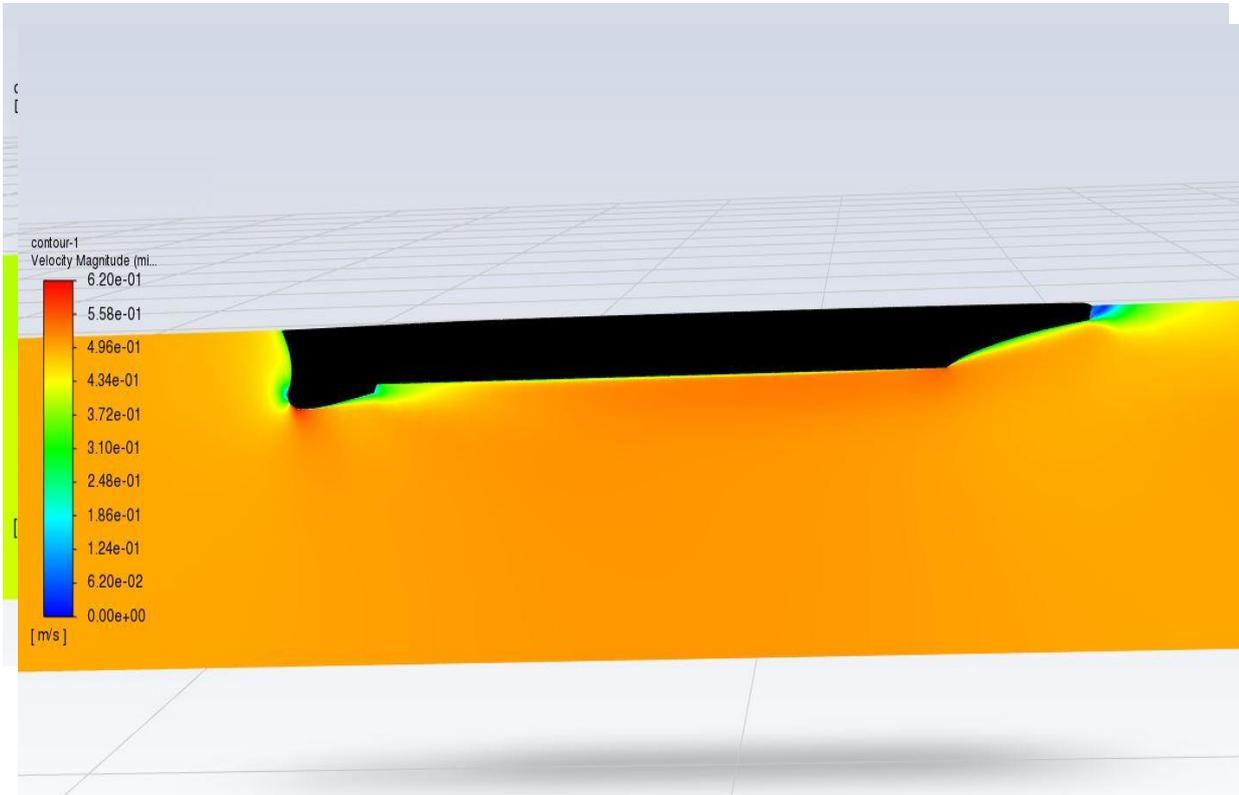
(الشكل 15 : حقل الأمواج الداخلية المتولدة على السطح الفاصل بين الطبقتين للسفينة KVLCC2)



(الشكل 16: حقل الأمواج الداخلية المتولدة على السطح الفاصل بين الطبقتين للسفينة ULCC)

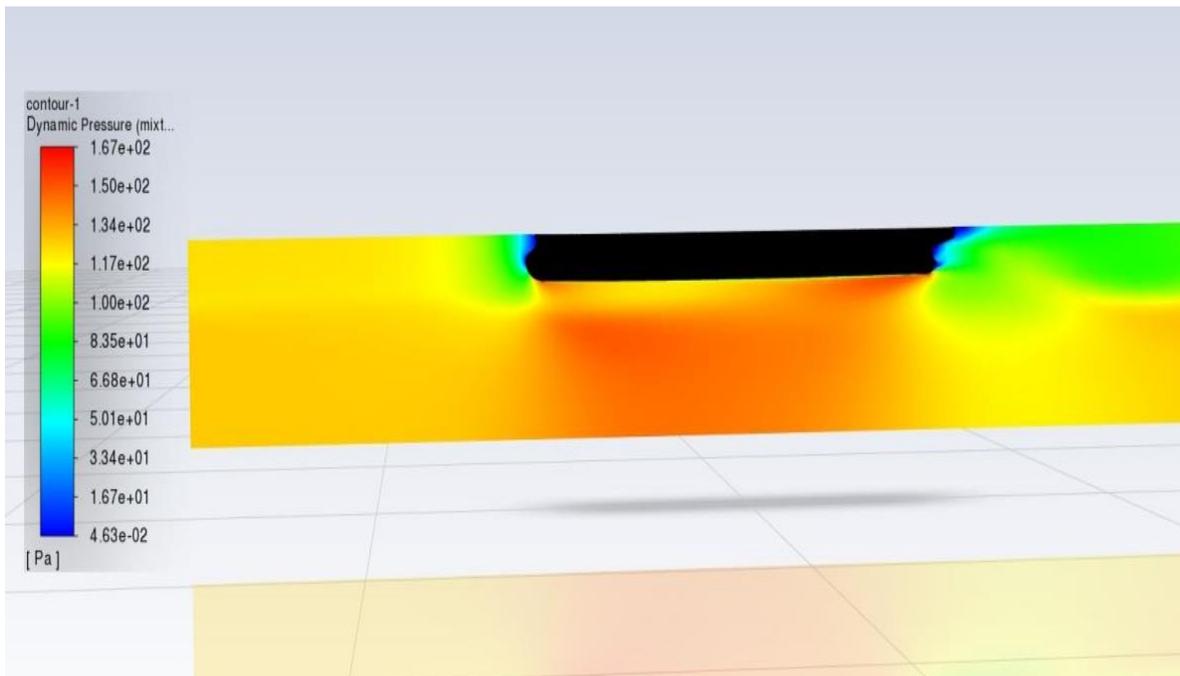
نلاحظ من الأشكال (15) و(16) المأخوذة في لحظة استقرار الحل الرقمي (ثبات قيمة معامل المقاومة) في برنامج ANSYS وهي اللحظة 7 sec ويخطوة زمنية مقدارها 0.0001sec تولد الأمواج الداخلية على السطح الفاصل بين الطبقتين الأمر الذي يسبب كبح لحركة السفن من خلال زيادة مقاومة السفينة نتيجة هذه الظاهرة بدون الأخذ بالإعتبار دراسة الأمواج السطحية الخارجية كونها ليست جزء من هدف البحث.

يوضح الشكل (17) و الشكل (18) حقل الضغط والسرعة لنموذج السفينة DTMB5415(CB=0.5).
(الشكل 17 : حقل الضغط لنموذج السفينة DTMB5415)

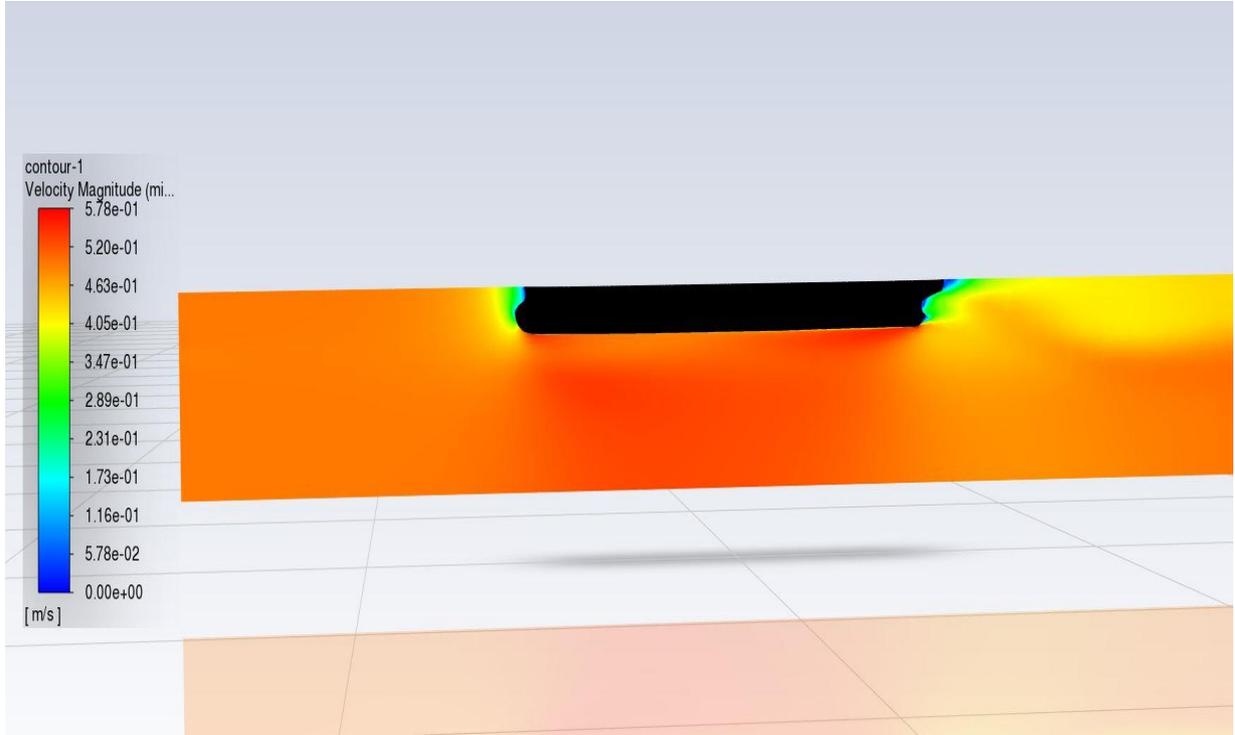


(الشكل 18 : حقل السرعة لنموذج السفينة DTMB5415)

يوضح الشكل (19) و الشكل (20) حقل الضغط والسرعة لنموذج السفينة KVLCC2 (CB =0.8)

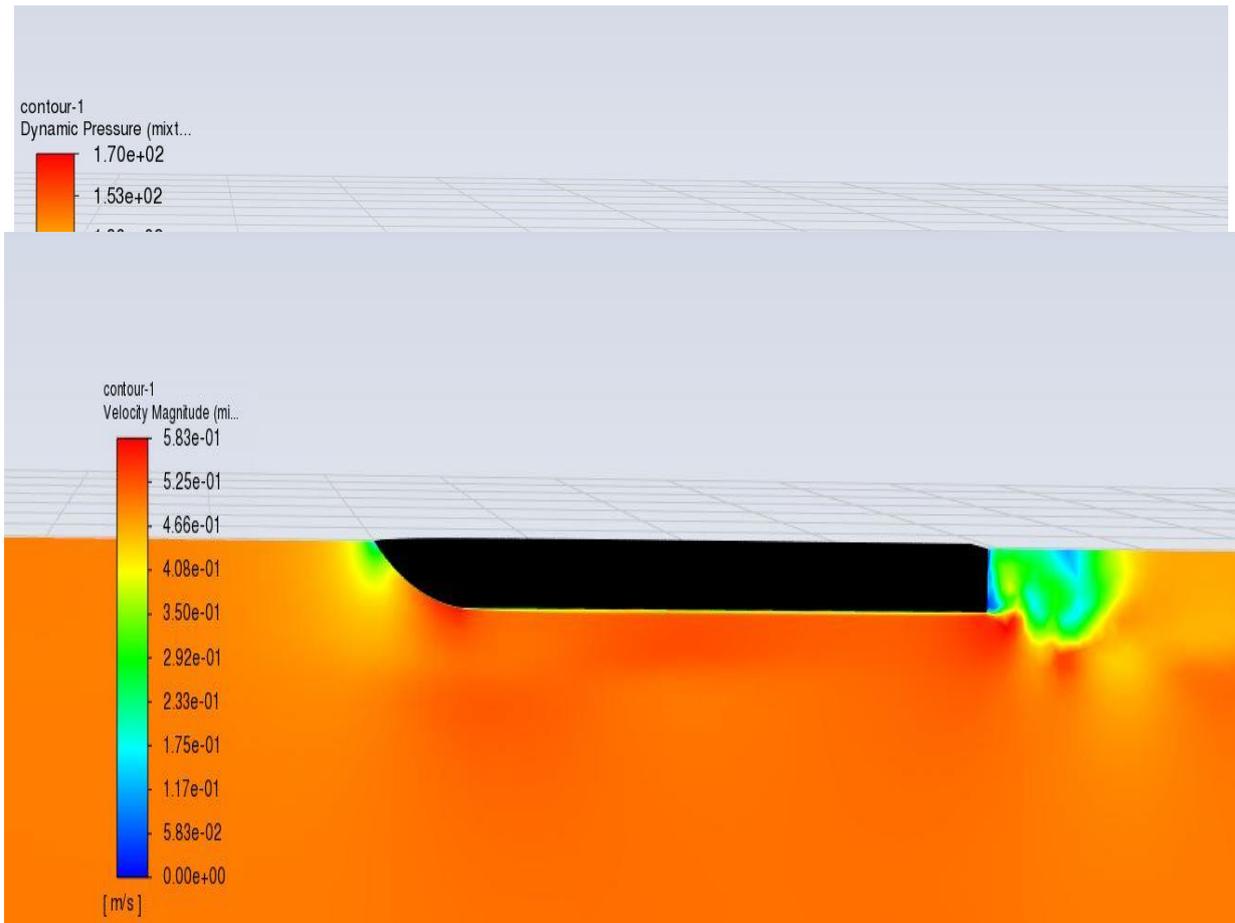


(الشكل 19 : حقل الضغط لنموذج السفينة KVLCC2)



(الشكل 20 : حقل السرعة لنموذج السفينة KVLCC2)

يوضح الشكل (21) و الشكل (22) حقل الضغط والسرعة لنموذج السفينة $C_b=0.92$ ULCC (الشكل 21 : حقل الضغط لنموذج السفينة ULCC)



(الشكل 22 : حقل السرعة لنموذج السفينة ULCC)

1-5 - الاستنتاجات والتوصيات:

1-1-5 - الاستنتاجات:

نلاحظ من خلال تحليل نتائج المحاكاة مايلي:

- 1- نلاحظ تشكل الأمواج الداخلية عند السطح الفاصل بين طبقتي الماء العذب والمالح وبالتالي محاولة فرملة حركة السفينة والتأثير على خصائص الإبحار.
- 2- زيادة غاطس السفينة مع بقاء قيمة معامل الشكل ثابتاً تؤدي لزيادة المقاومة نتيجة الإبحار بوجود الأمواج الداخلية الناجمة عن تحريض مقدمة السفينة للضغط على السطح الفاصل بين طبقتي المائع.
- 3- زيادة معامل الشكل تلعب دوراً إضافياً لزيادة المقاومة عند الإبحار بوجود الأمواج الداخلية
- 4- يمكن اختيار بارامترات شكل السفينة الأساسية بحيث يكون معامل الشكل CB أقل مايمكن عندما تكون هذه السفن مخصصة للإبحار في مناطق متغيرة الكثافة.
- 5- كما يمكن عند العمل بوجود ظاهرة الأمواج الداخلية تقليل قيمة الغاطس حسب الإمكانية وبالتالي تخفيف أثر هذه الأمواج على مقاومة السفينة وبالتالي على استطاعة المحركات العاملة.

2-1-5 - المقترحات:

- دراسة أثر هذه الأمواج على مقاومة المياه لحركة السفينة في ظروف تغير بارامترات أخرى سواء كانت مرتبطة ببارامترات الشكل الأخرى أو تصميم بدن السفينة (بناء المقدمة و المؤخرة مثلاً).
- إجراء دراسات على نماذج لقوارب ذات معاملات شكل منخفضة
- دراسة تولد وانتشار الأمواج الداخلية في ظروف الإبحار المختلفة (درجة الحرارة أو سرعة الرياح مثلاً).
- اختيار نماذج اضطراب متقدمة مثل Detached Eddy Simulation (DES) وزيادة عدد الخلايا في (mesh) التي تحتاج إلى مواصفات عالية لأجهزة الحاسب بالإضافة إلى حجم كبير من الذاكر.
- يمكن المحافظة على الغاطس و على قيمة معامل الشكل أيضاً من خلال التحكم بتغيير أحد البارامترات الأساسية للسفينة في مرحلة التصميم و بالتالي الحصول على معامل شكل من اسبل تخفيف أثر هذه الظاهرة على مقاومة السفينة

6- References:

- [1] M. J. Mercier^{1,*}, R. Vasseur^{1,**}, and T. Dauxois¹⁻. Resurrecting dead-water phenomenon.2011.
- [2] Sean Vitousek, TOWARDS INTERNAL WAVE RESOLVING SIMULATIONS OF THE OCEAN, 2013
- [3] James K.E. Tunaley:SIMULATION OF INTERNAL WAVE WAKES AND COMPARISON WITH OBSERVATIONS.
- [4] http://www.simman2008.dk/5415/5415_geometry.
- [5] http://www.simman2008.dk/KVLCC/KVLCC2/kvlcc2_geometry.
- [6] <http://www.bentley>.
- [7] N. Abbas, “Determination of Unsteady Loadings on Marine Propellers Using Hybrid URANS/LES Methods,” 2016..
- [8] W. P. Jones and B. E. Launder, “The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, 1972, doi: 10.1016/0017-9310(72)90076-2.
- [9] B. E. Launder and B. I. Sharma, “Application of the energy-dissipation model of turbulence to the calculation of flow near a spinning disc,” *Lett. Heat Mass Transf.*1974, doi: 10.1016/0094-4548(74)90150-7.
- [10] “Wilcox’s k-omega model - CFD-Wiki, The free CFD reference.” https://www.cfdonline.com/Wiki/Wilcox%27s_k-omega_model (accessed May 27, 2020).
- [11] D. C. Wilcox, “Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models,” *AIAA J.*, 1988, doi: 10.2514/3.10041.
- [12] F. R. Menter, “Zonal two equation κ - ω turbulence models for aerodynamic flows,” in *AIAA 23rd Fluid Dynamics, Plasmadynamics, and Lasers Conference*, 1993.
- [13] CFD Online, “k-omega SST model -- CFD-Wiki, the free CFD reference,” 2011. https://www.cfd-online.com/Wiki/SST_k-omega_model (accessed Apr. 07, 2020).