

## تقييم المتانة الإنشائية المتبقية للسفينة بعد حوادث التصادم باستخدام الطرق الرقمية

الدكتور غالب أحمد\*

نوار جورية\*\*

(تاريخ الإيداع 15 / 5 / 2016. قُبل للنشر في 20 / 9 / 2016)

### □ ملخص □

تُعتبر حوادث التصادم التي تتعرض لها السفن من أكثر الحوادث خطورة، وذلك بسبب النتائج الكارثية اللاحقة سواء فيما يخص الخسائر الاقتصادية في السفن والحمولات، والخسائر في الأرواح البشرية بالإضافة إلى التلوث البيئي الكبير الناجم عنها. لذلك تبذل المراكز البحثية على الدوام جهود كبيرة بهدف فهم وتحليل الاستجابة الإنشائية لبطن السفينة المتضررة نتيجة لهذه الحوادث.

يهتم هذا البحث بتقييم المتانة الإنشائية المتبقية لسفينة مصدومة من خلال الطاقة الداخلية والإجهادات الإنشائية المختلفة المتولدة ضمنها. تم نمذجة حالة التصادم لناقلة نفط تتعرض للصدم من قبل المقدمة البصلية لسفينة أخرى عند قيم مختلفة لسرعة السفينة وزاوية الصدم، ثم درست المتانة الإنشائية للمقطع الوسطي للسفينة المصدومة اعتماداً على الطرق الرقمية باستخدام برنامج **Ansys Dynamic Explicit**. مما سمح بوضع تصور واضح لتغيرات الإجهادات الإنشائية والطاقة الداخلية مع الزمن خلال عملية التصادم.

**الكلمات المفتاحية:** متانة متبقية، تصادم، مقدمة بصلية، إجهادات.

\*أستاذ مساعد - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .  
\*\*طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Evaluating the residual structural strength of the ship after the collision accidents using numerical methods

Dr. Ghaleb Ahmad\*  
Nawar Jouriah\*\*

(Received 15 / 5 / 2016. Accepted 20 / 9 / 2016)

### □ ABSTRACT □

Ship collision accidents are considered of the most serious incidents, due to the subsequent disastrous results both in terms of economic losses in ships and cargo, and the loss of human life as well as the great environmental pollution caused by it. Therefore, continuous efforts are being made by research centers in order to understand the structural response of the hull as a result of these incidents and accurately analyzed.

This research is interested in assessing the residual structural strength of a ship exposed to collision through the internal energy and the various structural stresses generated within it. The case is modeled for an oil tanker exposed to collision by the bulbous bow of another vessel moves at different speeds and different angles. The structural strength of the middle section of the struck ship was analyzed based on the numerical methods using Ansys Dynamic Explicit program. Which allowed the development of a clear vision for the structural changes and internal stresses energy with time during the collision process.

**Key Words:** residual strength, collision, bulbous bow, stresses.

---

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

\*\* Postgraduate Student , Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## مقدمة

حظيت دراسة حوادث تصادم السفن بعناية مراكز الأبحاث وترسانات بناء السفن في العالم، وذلك نظراً لخطورة هذه الحوادث بسبب الخسائر الاقتصادية التي تلحق بالسفن وحمولاتها، والخسائر البشرية بالإضافة للتلوث البيئي الكبير الذي يسببه التسرب النفطي الحاصل. أجريت دراسات عديدة استخدمت فيها مختلف الطرق التقريبية والتحليلية والرقمية لتقييم المتانة الإنشائية المتبقية للسفينة بعد حوادث التصادم.

تعتبر الطريقة التي وضعها العالم Paik من أشهر الطرق التقريبية المعتمدة بهدف تقييم المتانة الإنشائية المتبقية للسفينة بعد حوادث التصادم ( collision ) والتشحيط ( grounding )، وذلك بالاعتماد على معامل مقطع وسط السفينة ( section modulus )، ومعامل المتانة الحدية ( ultimate strength modulus ) للسفينة المتضررة، حيث تمثل هذه الطريقة إجراء تصميم سريع لاكتشاف إمكانية حدوث الانهيار في بدن السفينة بهدف البدء بعمليات الإنقاذ والقطر [1],[2].

بالإضافة للطرق التقريبية هنالك الطرق التحليلية والتي ابتدأها العالم Minorsky، وذلك في عام 1959 حيث قام بإيجاد طريقة تحليلية لدراسة التصادمات ذات الطاقة المرتفعة. كما تم تطوير عدة طرق تحليلية أخرى بهدف تقييم الأداء الإنشائي للسفينة بعد حوادث التصادم والتشحيط وذلك من قبل عدد من العلماء والذين قاموا بالمساهمة في تطوير الأسس النظرية لتحليل إنشاءات السفن المعرضة لأحمال التصادم [3],[4].

سيتم في هذا البحث تقييم المتانة الإنشائية المتبقية للسفينة اعتماداً على الطرق الرقمية باستخدام برنامج Ansys من خلال عرض للمعادلات الحاكمة التي يستند عليها البرنامج ونمذجة المقطع المعرض للصدم والقابل للتشوه مع الأخذ بعين الاعتبار معيار انهيار المقطع، وذلك بإجراء الصدم بمقدمة بصلية لسفينة أخرى تسير بسرعات وزوايا صدم مختلفة.

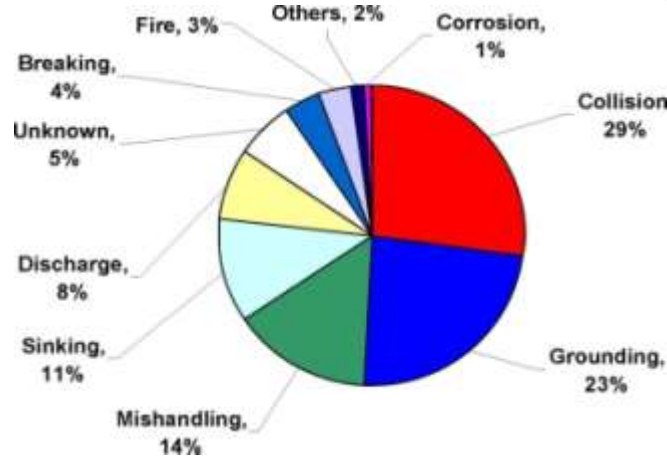
عند استخدام الطرق الرقمية لمحاكاة التصادم لا بد من مواجهة عدد من المشاكل والتي يجب أن تنال الاهتمام والانتباه الكافي وهي:

- اختيار شبكة ملائمة ومناسبة للحصول على النتائج بدقة مقبولة وزمن معقول وذلك اعتماداً على إمكانيات المعالجة الحاسوبية المتوفرة لدينا.
  - الحجم الكبير للسفينة والذي يجب أن تتم نمذجته كبدن قابل للتشوه.
  - نمذجة المواد الداخلة في بناء بدن السفينة.
  - معيار الانهيار للمواد الداخلة في بناء السفينة والذي يجب أن يؤخذ بعناية.
- هناك العديد من البرامج المعتمدة من قبل هيئات التصنيف العالمية لمحاكاة حوادث التصادم نذكر من أهمها: LS – DYNA, ANSYS, ABAQUS حيث سوف نعتمد في هذه الدراسة على برنامج ANSYS لمحاكاة التصادم بين مقدمة سفينة بالغلّاف الجانبي لسفينة أخرى.

## أهمية البحث وأهدافه

تعتبر حوادث تصادم السفن أكثر الحوادث خطورة بسبب نتائجها الكارثية المتمثلة بالخسائر الاقتصادية للسفن وحمولاتها، والخسائر في الأرواح البشرية بالإضافة إلى التلوث البيئي الناجم عنها، حيث بينت النتائج المقدمة من المؤتمر العالمي للتسرب النفطي ( IOPCF ) بأن المسبب الرئيسي للتسرب النفطي حول العالم هو حوادث التصادم

بنسبة 29% من إجمالي حوادث السفن كما هو مبين بالشكل (1)، لذلك فقد حظيت هذه المشكلة بعناية مراكز الأبحاث وترسانات بناء السفن في العالم [2].



الشكل (1) المسببات الرئيسية للتسرب النفطي

تتصدر أهداف البحث بتقييم المتانة الإنشائية للسفينة المصدومة من خلال ما يلي:

1. التنبؤ بالتشوهات في مقطع وسط السفينة نتيجة التصادم.
2. دراسة تأثير تغير سرعة وزاوية التصادم للمقدمة الصادمة على الاستجابة الإنشائية لمقطع وسط السفينة المصدومة، متمثلة بعدة بارامترات إنشائية مهمة كالطاقة الداخلية، حجم الضرر، توزع الإجهادات على امتداد إنشاء مقطع وسط السفينة المصدومة.
3. مقارنة حالات التصادم المختلفة بهدف معرفة الحالة الأخطر للتصادم.

## طرائق البحث ومواده

تم في هذا البحث محاكاة ظاهرة التصادم باستخدام برنامج **ANSYS Dynamic Explicit** والذي يعتمد على الطرق الرقمية لإجراء ما يلي:

- نمذجة التصادم بين السفن ضمن السرعات والزوايا المختلفة حيث يدرس الظاهرة بشكل ديناميكي تابع للزمن.
- تحديد الاستجابة الديناميكية للمنشأ تحت تأثير ضربة مفاجئة، صدم، تغير مفاجئ بالحمولات، موجة اجهادية سريعة، حيث أنه يعطي نتائج دقيقة في الحالات التي تحتوي تغيرات لا خطية كبيرة.

### 1 . أسباب وأنواع التصادم

من أهم المسببات لحوادث التصادم هي:

1. نمو حركة التجارة العالمية وزيادة الازدحام.
2. الأخطاء البشرية والعوامل الجوية.
3. التأثير المتبادل بين السفن في المياه قليلة العمق.

حيث إن مثل هذه الحوادث تسبب:

1. خسارة في السفن والحمولات.
2. تلوث بيئي كبير.
3. خسارة في الأرواح.

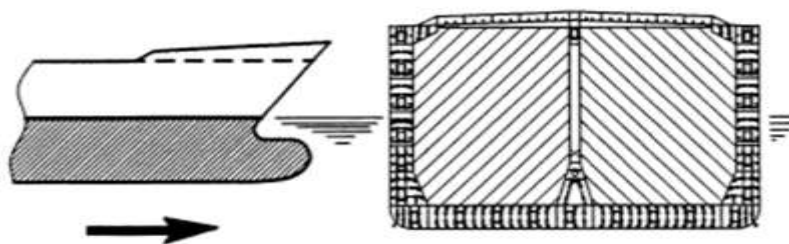
يمكن أن نميز عدة أنواع للتصادم وفق اعتبارات معينة، فمن حيث آلية التصادم يمكن أن نميز بين نوعين

رئيسيين للتصادم [5],[6]:

1. التصادم ذو المستوى الطاقى المنخفض (*soft collision*): يحدث هذا النوع من التصادم عند السرعة المنخفضة نسبياً حيث أن ألواح إنشاء السفينة تتشوه لكن دون حدوث تمزق.
2. التصادم ذو المستوى الطاقى المرتفع (*high collision*): يحدث هذا النوع من التصادم عند السرعة العالية ويؤدي إلى تمزق في ألواح البدن للسفينة.

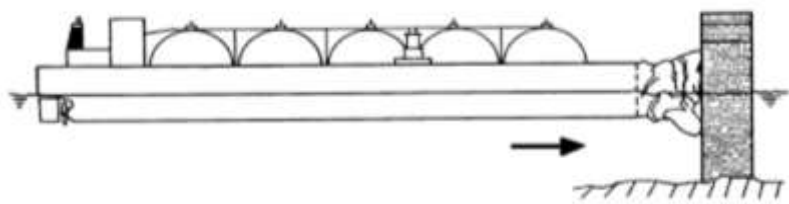
أما من حيث اتجاه التصادم لدينا النوعين التاليين:

1. التصادم الجانبي (*side collision*): هو النوع الذي تصطدم فيه مقدمة السفينة الصادمة بالإنشاءات الجانبية للسفينة المصدومة، وفي هذه الحالة فإن الطاقة الحركية الأولية تستهلك بشكل كامل أو بشكل جزئي عند تشكل الأضرار والانبعاثات على كل من الإنشاء الجانبي للسفينة المصدومة وإنشاءات المقدمة للسفينة الصادمة، وباعتبار أن مقدمة السفن الصادمة تكون عادة أكثر قوة وصلابة من الإنشاء الجانبي للسفن المصدومة، فإن الكمية الأكبر من الخسارة في الطاقة الحركية تصرف على تحقيق الضرر للإنشاء الجانبي كما هو مبين بالشكل (2).



الشكل (2) التصادم الجانبي

2. التصادم الجبهى (*frontal collision*): وهو يمثل بصورة خاصة الحالة التي تصطدم فيها مقدمة السفينة الصادمة بالإنشاءات القاسية المثبتة كرصيف الميناء أو دعائم الجسور، وعند ذلك فإن الكمية الأكبر من الخسارة في الطاقة الحركية تصرف على تشكل الضرر والانبعاث في إنشاءات المقدمة للسفينة الصادمة كما هو مبين بالشكل (3):



الشكل (3) التصادم الجبهى

## 2 . المعادلات الحاكمة

يعتمد البرنامج المستخدم في هذا البحث في الوصول إلى النتائج الرقمية على المعادلات التالية [7],[8],[9]:

1. المعادلة المصفوفية للحل الرقمي: تعطى المعادلة المصفوفية للحل الرقمي بالشكل المبسط الآتي:

$$[M]\ddot{U} + [C]\dot{U} + [K]U = F(t) \quad (1)$$

حيث إن:

$[M]$  - مصفوفة الكتل.

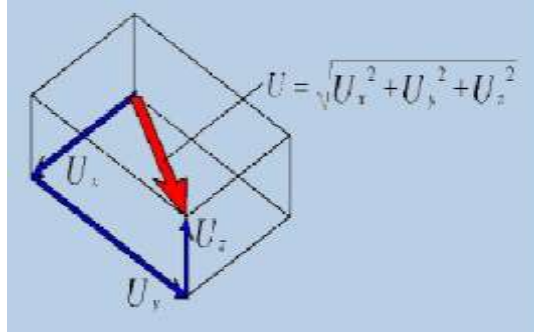
[C]- مصفوفة التخماد.

[K]- مصفوفة الجساءة العنصرية التي تحتوي على الخصائص الهندسية ومعاملات الشكل المناسبة.

F(t)- شعاع التحريض العنصري الذي يحتوي على القوى الخارجية المؤثرة.

$\ddot{U}, \dot{U}, U$  هي عبارة عن الأشعة العقدية لكل من التسارعات والسرع والإزاحات.

2. تشوه الشكل في العناصر ثلاثية الأبعاد (*Deformation*) كما مبين في الشكل (4):

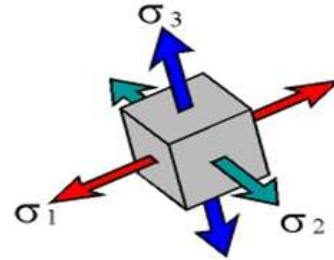


الشكل(4) تشوه الشكل في العناصر ثلاثية الأبعاد

3. الإجهاد المكافئ وذلك اعتماداً على معيار (von Mises) حيث يحسب من العلاقة:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (2)$$

حيث إن الإجهادات  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  تعبر عن الإجهادات الأساسية للعنصر الحجمي، وهي مبينة في الشكل (5):



الشكل(5) الإجهادات الأساسية المؤثرة على العنصر

4. الانفعال اللدن المكافئ ويقوم البرنامج بحسابه اعتماداً على العلاقة التالية:

$$\varepsilon_e = \frac{1}{1+\nu} \left\{ \frac{1}{2} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

حيث إن:

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  - قيم الانفعالات الأساسية.

$\nu$  - نسبة بواسون.

5. الطاقة الداخلية (*Internal Energy*)، وهي الطاقة التي يحصل عليها الجسم من عملية الصدم

وحدوث الانفعال والتشوه.

$$E_{INT} = \int \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} dV \quad (4)$$

حيث إن:

$\sigma_{ij}$  - الإجهاد في العنصر الحجمي.

$\varepsilon_{ij}$  - الانفعال في العنصر الحجمي.

## 3 . النموذج الهندسي

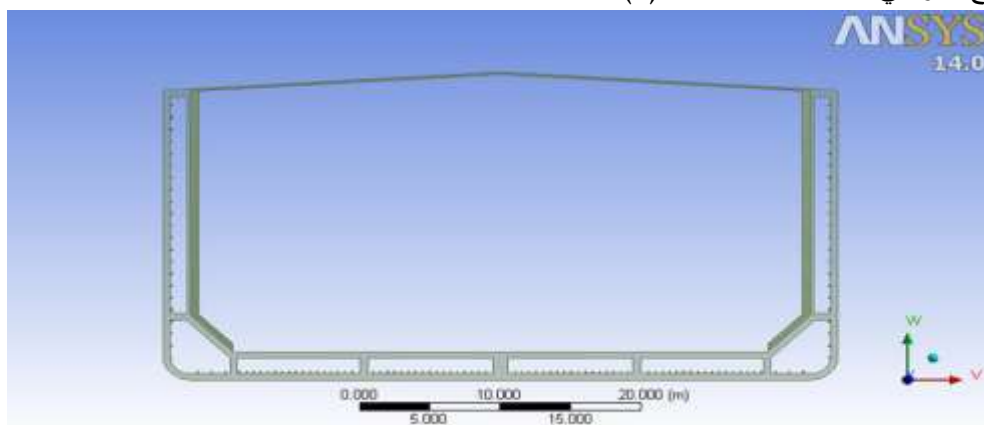
إن السفينة المدروسة هي عبارة عن ناقلة نפט، حيث إن البارامترات الأساسية لهذه السفينة موضحة بالجدول

(1).

جدول (1) البارامترات الأساسية للسفينة المصدومة

Deadweight	150,000 tons
Displacement	178800 tons
Length	264 m
Breadth	42 m
Depth	20 m
Draft	16 m
Double bottom	2.3 m
Double Hull Width	2 m

المقطع العرضي للسفينة مبين بالشكل (6):



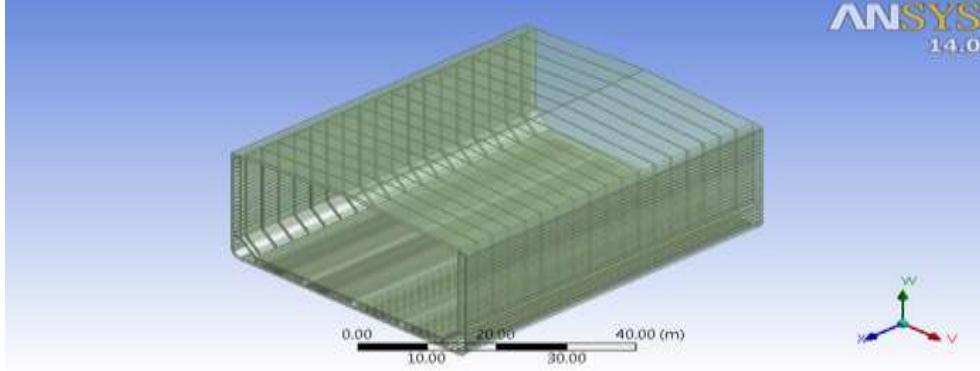
الشكل (6) المقطع العرضي للسفينة المدروسة

لتسهيل عملية التحليل الرقمي وجعلها ممكنة ضمن إمكانيات المعالجة المتوفرة لدينا تم دراسة مقطع وسط السفينة والذي هو القطاع الأهم في السفينة كونه يحوي على خزانات الحمولة. وأي ضرر يحدث في هذا القسم يؤدي الى نتائج اقتصادية وبيئية كارثية. تم نمذجة مقطع وسط السفينة بشكل ثلاثي الأبعاد كما في الشكل (7) وذلك وفق تعليمات هيئة التصنيف الأمريكية ABS [10]. يبين الجدول (2) أبعاد المقطع المدروس وكيفية تدعيمه.

جدول (2) الأبعاد الرئيسية للمقطع المدروس

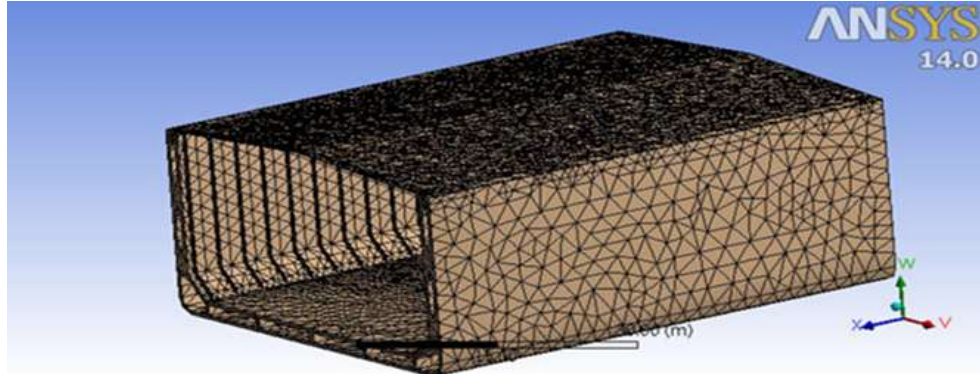
Length m	60 m
Breadth m	42 m
Depth m	20 m
Draft m	16 m
Bilge radius m	1.5 m
Transverse web frame space m	1 m

Transverse web frame thickness m	0.025 m
Longitudinal web frame space m	0.45 m
Longitudinal web frame Thickness m	0.018 m
Inner shell thickness m	0.05 m
Outer shell thickness m	0.05 m



الشكل (7) المقطع الوسطي للسفينة المدروسة

تم استخدام برنامج **ANSYS** لتوليد الشبكة العنصرية المناسبة، حيث تم استخدام العناصر الهرمية ثلاثية الأبعاد بحيث كان العدد الكلي للعناصر المستخدمة 77160 عنصر، والعدد الكلي للعقد 23329 عقدة. الشبكة العنصرية موضحة بالشكل (8).



الشكل (8) الشبكة العنصرية للمقطع المدروس

السفينة الصادمة هي ناقلة بضائع صب (*Bulk Carrier*) وتم تركيز كتلتها في قسم المقدمة البصلية منها، وذلك بزيادة كثافتها وفق العلاقة التالية:

$$\rho_{bow} = \rho \cdot \frac{m_{ship}}{m_{bow}} \quad (5)$$

حيث إن:

$\rho_{bow}$  - الكثافة الجديدة للمقدمة.

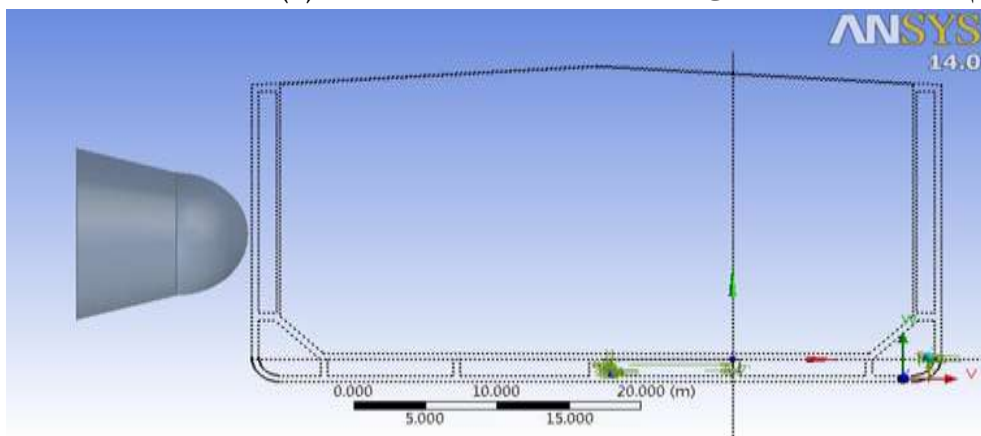


$\rho$  - كثافة المعدن المستخدم.

$m_{ship}$  - كتلة السفينة.

$m_{bow}$  - كتلة المقدمة قبل الزيادة.

حيث تم اختيار مقدمة بصلية على شكل نصف كرة كما هو مبين بالشكل (9).



الشكل (9) المقدمة البصلية

#### 4 . خواص المواد

تم استخدام الفولاذ العالي المقاومة (*Higher – Strength Steel*) من أجل بدن السفينة المصدومة مع سلوك مرن ولدن طبيعي وفق الخصائص المبينة في الجدول (3).  
أما بالنسبة للمقدمة البصلية تم اعتبارها كجسم صلب غير قابل للتشوه (*Rigid Body*) وذلك للتركيز على الحالة الحدية التي تتمثل بانتقال كافة طاقة الصدم للسفينة المصدومة [12].

جدول(3) خواص الفولاذ المستخدم

Density	7850 kg/m <sup>3</sup>
Young's module	2.1 e5 MPa
Poisson's rate	0.3
Yield strength	315 MPa
Tangent modulus	500 MPa
Maximum Equivalent Plastic Strain	0.35 m/m

#### 5 . إعدادات الحل الرقمي

تم استخدام عدد من الشروط الحدية لتبسيط الحل ومقارنته للحالة الواقعية قدر المستطاع مع الحفاظ على دقة جيدة، حيث وضعنا عدة فرضيات وشروط للانطلاق بالحل وهي على الشكل التالي:  
1. سرعة السفينة المصدومة لحظة الصدم معدومة.  
2. اعتبار الجسم الصادم كجسم صلب غير قابل للتشوه (*Rigid Body*) وذلك للتركيز على الحالة الحدية التي تتمثل بانتقال كافة طاقة الصدم للسفينة المصدومة ودراسة خطر انهيار هذه السفينة.

3. التغيرات في زوايا الدوران للسفينتين خلال التصادم تعتبر صغيرة ويمكن إهمالها.
4. بعد حصول التصادم اللدن، السفينة الصادمة تلتصق بالسفينة المصدومة وتتحرك كلا السفينتين معاً وكأنهما جسم واحد في اتجاه حركة السفينة الصادمة.
5. تم اعتبار السفينة المصدومة بفضل كتلتها الكبيرة وقوة الطفو المستخدمة موثقة في مكانها من القاع.
6. استخدام معيار التشوه اللدن الأعظمي كمعيار لإيقاف الحل الرقمي ومؤشر على حدوث ثقب في جدار السفينة المصدومة وبالتالي تسرب المواد المحمولة كما تصبح السفينة غير صالحة للإبحار تماماً. حيث يتوقف الحل ضمن فترة زمنية محددة أو حدوث الانهيار الإنشائي للمادة أيهما يحدث أولاً.
7. تم تفعيل تسارع الجاذبية الأرضية والضغط الهيدروستاتيكي على السطوح الخارجية للبدن.
8. تم إعطاء المقدمة الصادمة سرعة ابتدائية متغيرة حسب الحالة المدروسة  $(1,2,4,6[m/s])$  وبزوايا مختلفة  $(90^\circ, 60^\circ, 30^\circ)$ .
9. تم استخدام معامل احتكاك استاتيكي بقيمة 0.2 ومعامل احتكاك ديناميكي بمقدار 0.43 للأجسام بعد لحظة بدء عملية الصدم.

## النتائج والمناقشة

تم استعراض النتائج بطريقتين مختلفتين وذلك لتبيان نتائج ظاهرة التصادم وسهولة المقارنة بين الحالات المختلفة:

• السطوح متساوية المناسيب (Contours): حيث يتم استعراض النتائج على شكل سطوح ملونة حسب قيمة المتغير المطلوب وتدرج الألوان الطيفية من اللون الأزرق للقيمة الدنيا للمتغير المحسوب وحتى اللون الأحمر الذي يمثل القيمة العظمى.

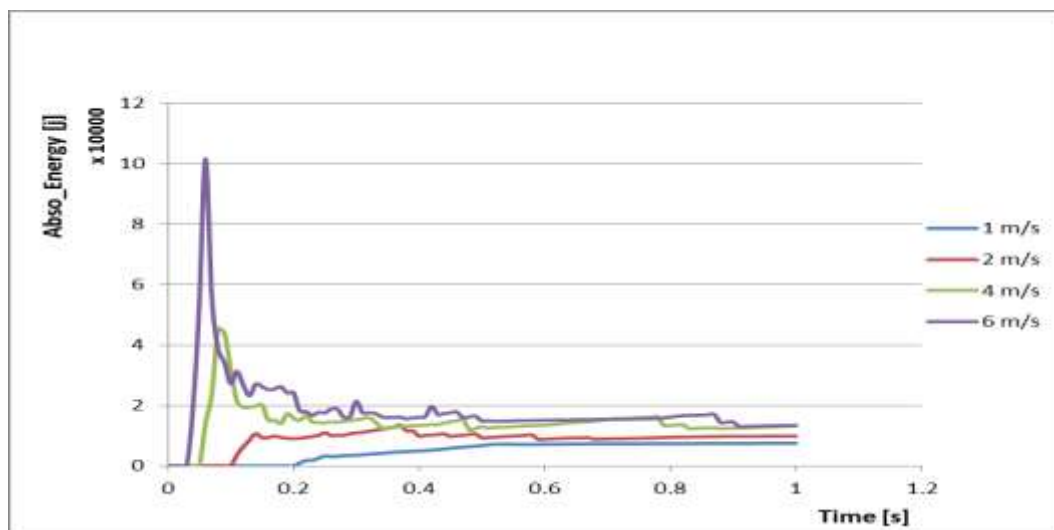
• المنحنيات البيانية والتي تظهر سلوك المتغيرات المختلفة بالنسبة إلى بعضها وإلى الزمن.

### 1 . تأثير تغير السرعة عند زاوية تصادم ثابتة 9 . 1

#### 1. 1 . التأثير على الطاقة الممتصة

يبين الشكل (10) منحنيات تغير الطاقة الممتصة مع الزمن وذلك عند سرعات مختلفة للمقدمة الصادمة وزاوية تصادم ثابتة  $90^\circ$  حيث نلاحظ من الشكل أن عملية التصادم يمكن تقسيمها إلى عدة مراحل:

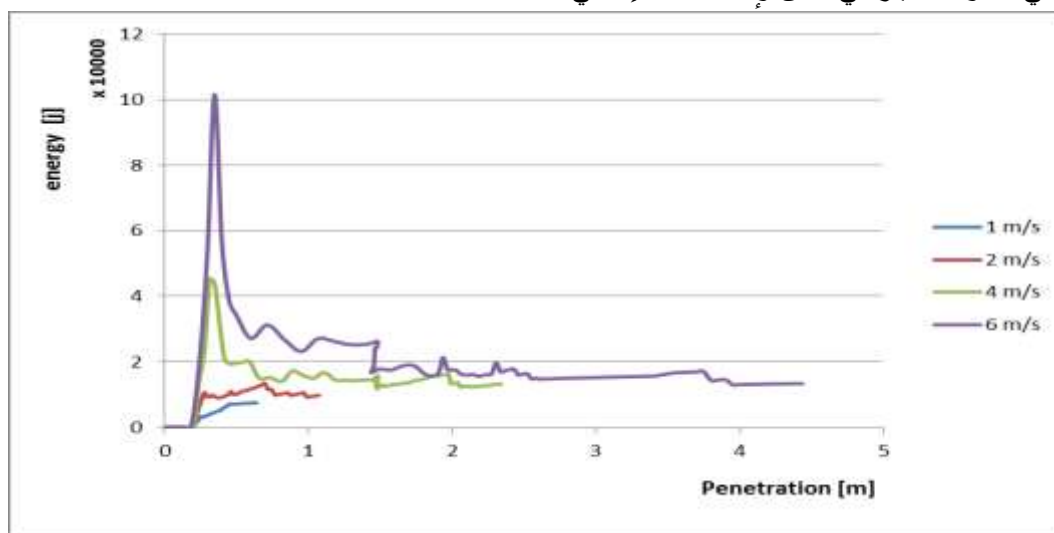
1. مرحلة ما قبل التصادم: وفي هذه المرحلة تكون الطاقة الممتصة من قبل البدن المصدوم معدومة.
2. مرحلة التصادم المباشر (لحظة التصادم): ونلاحظ فيها ارتفاع مفاجئ وكبير في الطاقة الممتصة للبدن المصدوم.
3. مرحلة ما بعد لحظة التصادم: وفيها تنخفض الطاقة الممتصة عن نقطة القمة حتى تستقر مع مرور الزمن عند قيمة معينة، حيث تنتزع الطاقة في هذه المرحلة بشكل أفقي على بقية صفائح البدن.



الشكل (10) منحنيات تغير الطاقة الممتصة بالنسبة للزمن عند سرع مختلفة

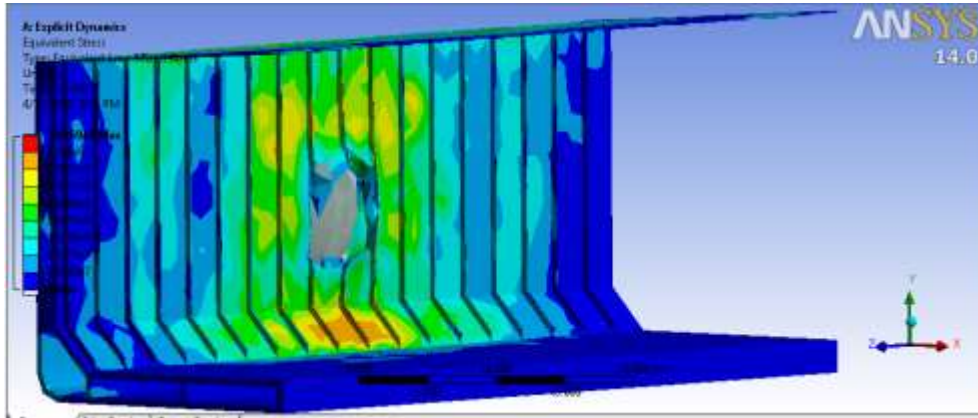
يبين الشكل (11) مقارنة بين منحنيات تغير الطاقة الممتصة كتابع للاختراق وذلك عند عدة سرعات للمقدمة الصادمة وزاوية تصادم ثابتة  $90^\circ$  حيث نلاحظ من الشكل أنه مع ازدياد سرعة المقدمة الصادمة من  $1[m/s]$  حتى  $6[m/s]$ ، تزداد كمية الطاقة الممتصة وتزداد مسافة الاختراق المحوري الذي يقوم به الجسم الصادم لبدن السفينة.

كما نلاحظ أنه في الحالتين  $1[m/s]$ ،  $2[m/s]$  يكون الاختراق أقل من  $2[m]$  وبالتالي لا يؤدي إلى حدوث ثقب إنشائي في الجدار الداخلي للبدن المصدوم. بينما في الحالتين  $4[m/s]$ ،  $6[m/s]$  فإن الاختراق يكون كبيراً بما يكفي لحدوث انهيار في البدن وإحداث ثقب إنشائي.

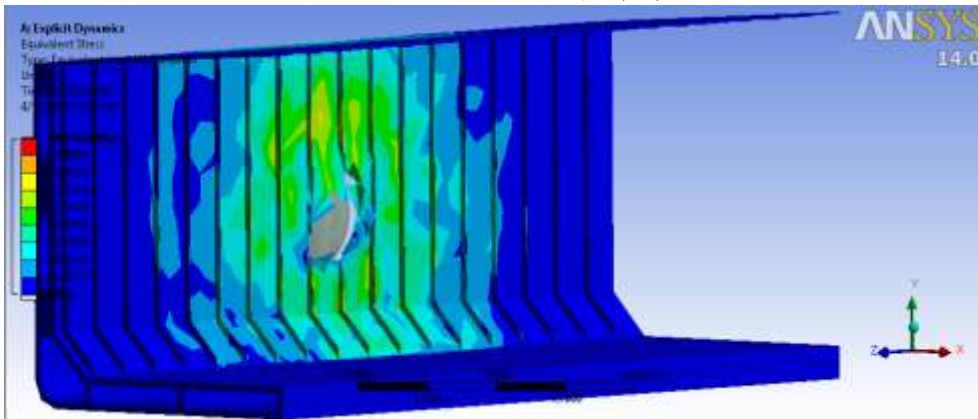


الشكل (11) منحنيات تغير الطاقة الممتصة بالنسبة للاختراق عند سرع مختلفة

يبين الشكل (12) حجم الضرر الحاصل في حالة السرعة  $6 m/s$ ، والشكل (13) في حالة السرعة  $4 m/s$  حيث نلاحظ أنه في كلا الحالتين هناك ثقب إنشائي ولكن الاختراق في الحالة الأولى  $6 m/s$  يكون بشكل أكبر بالمقارنة مع الحالة الثانية  $4 m/s$ .



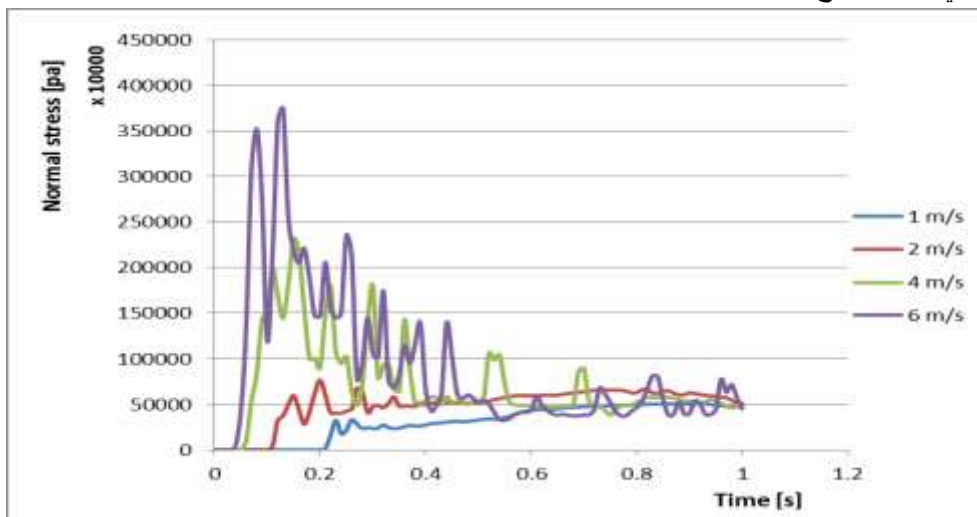
الشكل (12) حجم الضرر الحاصل عند السرعة 6m/s



الشكل (13) حجم الضرر الحاصل عند السرعة 4m/s

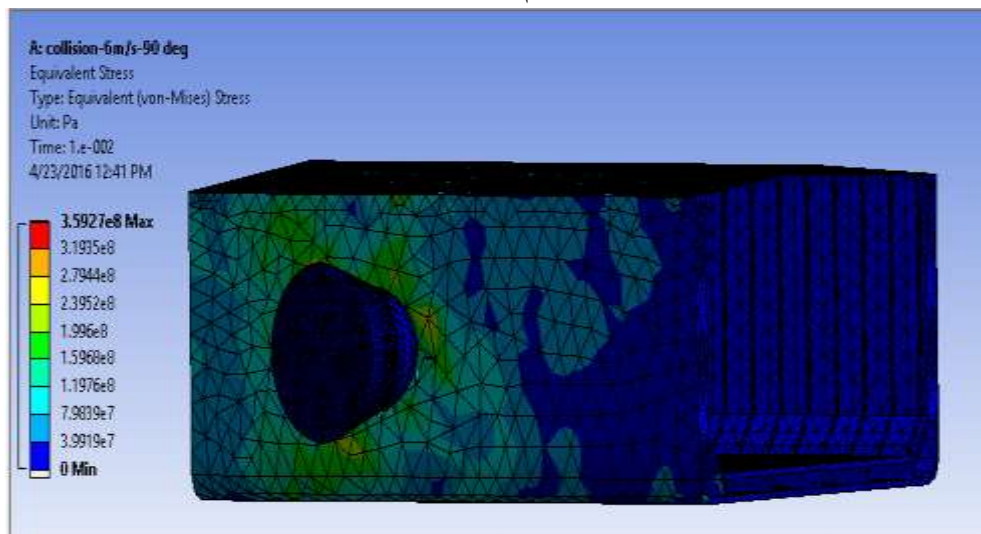
### 2. 1 . التأثير على الإجهادات الناعمية

يبين الشكل ( 14 ) منحنيات تغير الإجهاد الناعمي كتابع للزمن حيث نلاحظ أنه مع زيادة سرعة المقدمة الصادمة ترتفع قيمة الإجهاد الناعمي الأعظمي حيث يصل إلى نقطة عظمى ومن ثم ينخفض تدريجياً إلى قيمة وسطية وينتشر في بقية صفائح البدن.



الشكل (14) منحنيات تغير الإجهاد الناعمي كتابع للزمن عند سرع مختلفة

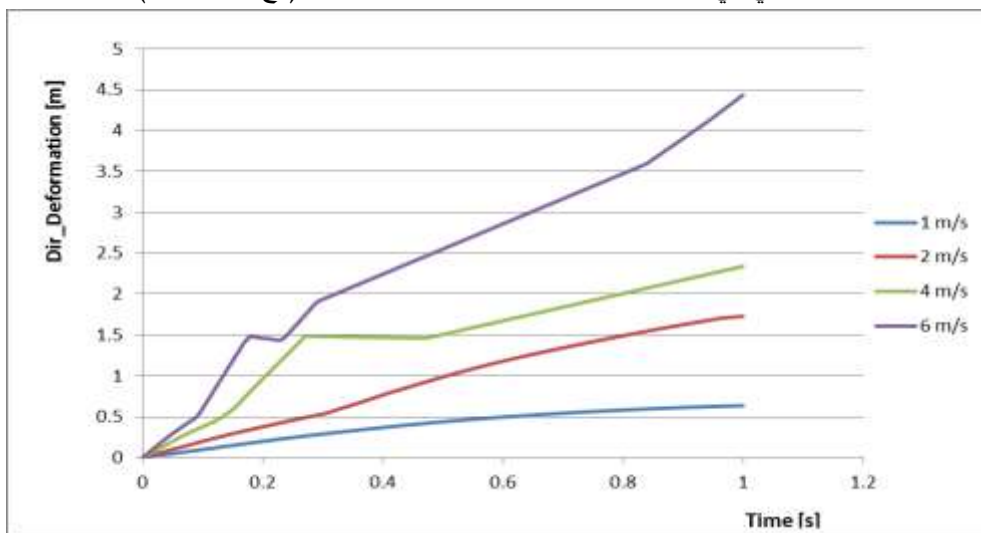
يبين الشكل (15) كيفية توزع الإجهادات الناظمية على امتداد إنشاءات البدن المصدوم حيث نلاحظ أن القيم العظمى للإجهادات الناظمية تكون بالقرب من مكان التصادم.



الشكل (15) كيفية توزع الإجهادات الناظمية

### 3.1 . التأثير على التشوه الاتجاهي

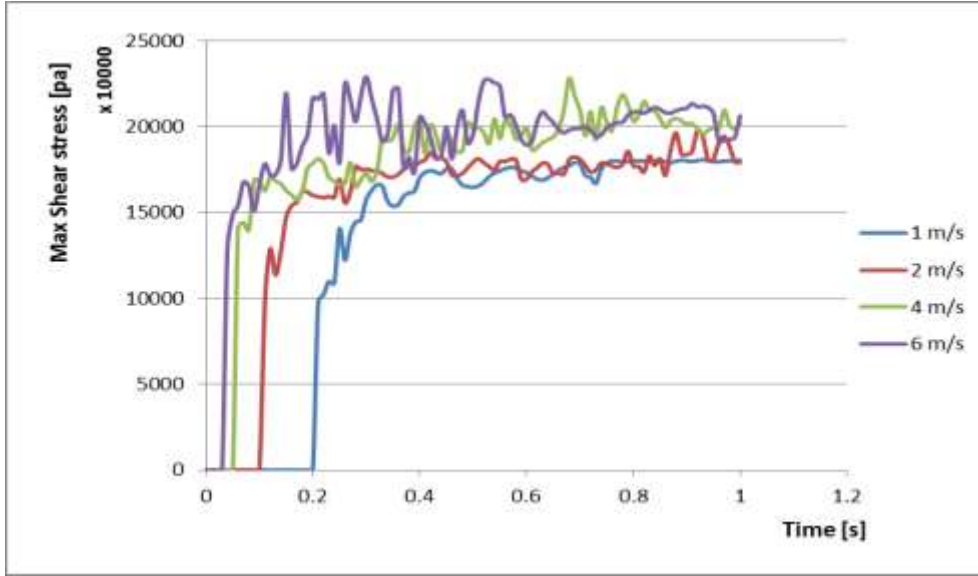
يبين الشكل (16) منحنيات تغير التشوه الاتجاهي بالنسبة للزمن حيث نلاحظ أنه مع زيادة سرعة المقدمة الصادمة يزداد مقدار التشوه الاتجاهي في البدن كما يزداد سرعة حدوث هذا التشوه (مع زيادة الميل).



الشكل (16) منحنيات تغير التشوه الاتجاهي بالنسبة للزمن عند سرع مختلفة

### 4.1 . التأثير على إجهادات القص

يبين الشكل (17) منحنيات تغير إجهاد القص الأعظمي بالنسبة للزمن حيث نلاحظ أنه يزداد بشكل كبير ومفاجئ ابتداء من لحظة الصدم حتى يصل إلى نقطة أعظمية ومن ثم في بقية لحظات الصدم يحافظ على قيمة وسطية وينتشر في بقية صفائح الجسم حتى يصل إلى القاع والسطح. كما نلاحظ أنه مع زيادة سرعة المقدمة الصادمة تحدث القيمة العظمى لإجهاد القص بشكل أسرع وتزداد قيمة النقطة العظمى لإجهاد القص. مع العلم أن التذبذبات الموجودة في المخطط السابق ناتجة عن انتقال إجهاد القص بين مناطق مدعمة وأخرى غير مدعمة حيث تتشكل قفزات لإجهاد القص عندما يصل إلى الدعامات ضمن الصفائح.

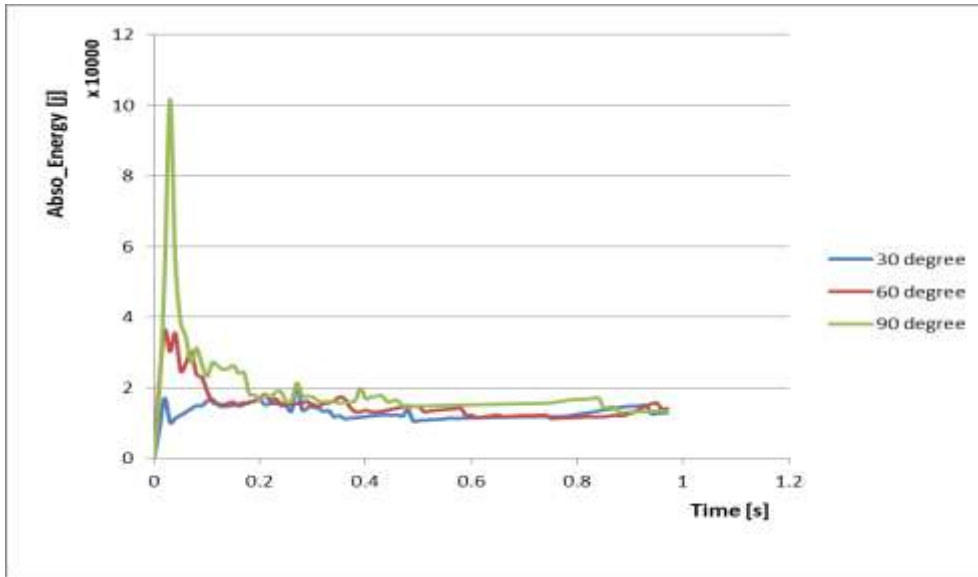


الشكل (17) منحنيات تغير إجهاد القص الأعظمي بالنسبة للزمن

2 . التصادم عند زوايا مختلفة وسرعة ثابتة 6 m/s

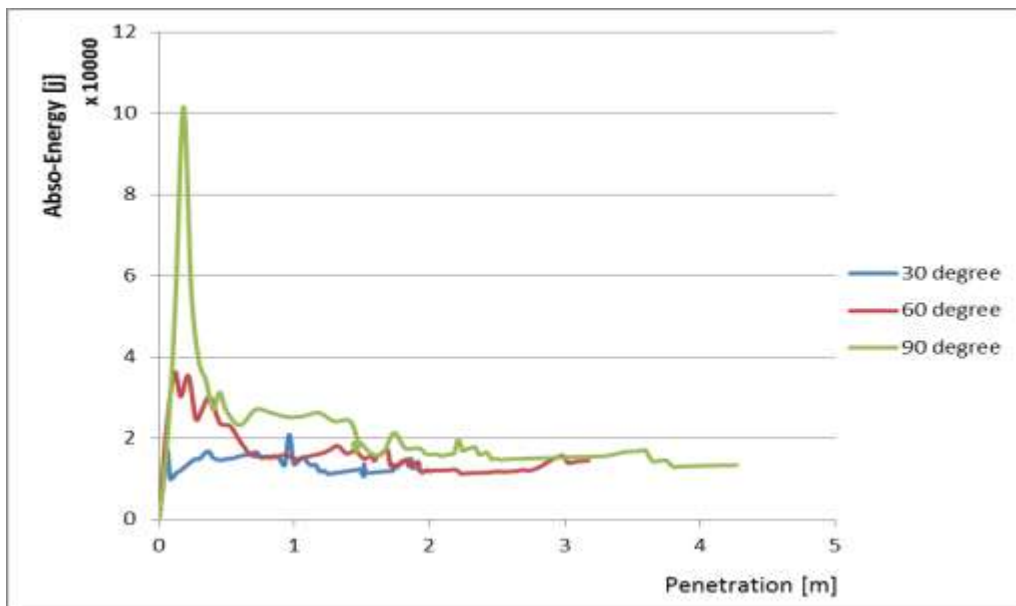
1.2 . التأثير على الطاقة الممتصة

يبين الشكل ( 18 ) منحنيات تغير الطاقة الممتصة مع تغير الزمن وذلك عند زوايا تصادم مختلفة ( $90^\circ, 60^\circ, 30^\circ$ ) وعند سرعة ثابتة 6m/s حيث نلاحظ أنه مع زيادة الزاوية تزداد كمية الطاقة الممتصة لتصل إلى الحالة الأخطر والتي تكون عند الزاوية  $90^\circ$  مع العلم أنه تمت الدراسة ابتداء من لحظة الصدم مباشرة.



الشكل(18) منحنيات تغير الطاقة الممتصة بالنسبة للزمن عند زوايا مختلفة

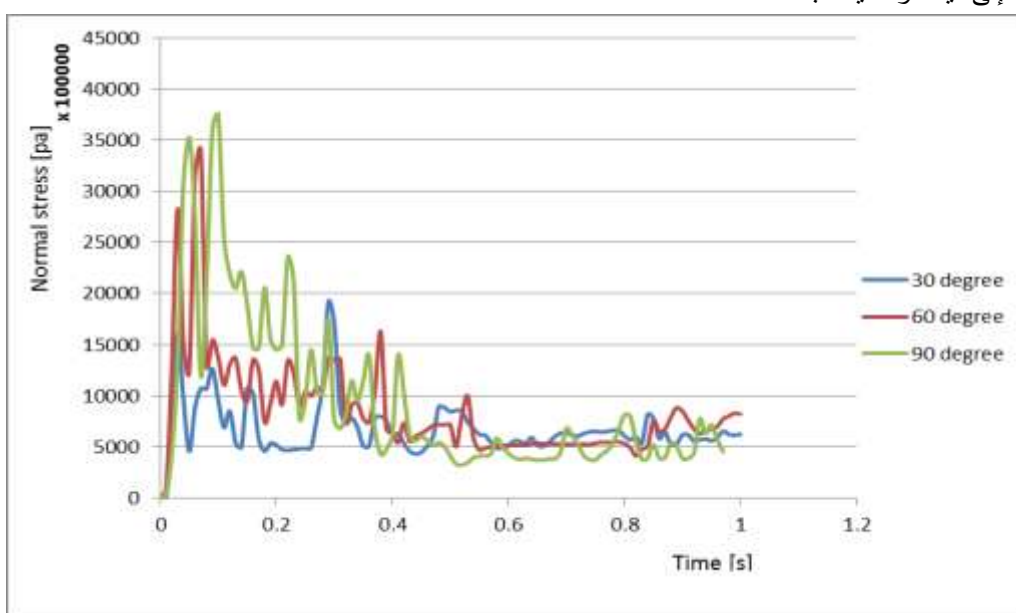
يبين الشكل ( 19 ) منحنيات تغير الطاقة الممتصة كتابع للاختراق وذلك عند عدة زوايا وسرعة ثابتة حيث نلاحظ أنه مع ازدياد الزاوية تزداد قيمة الاختراق ففي الحالتين  $90^\circ, 60^\circ$  يكون الاختراق أكبر من 2 m وبالتالي يحدث ثقب إنشائي في ألواح البدن الداخلية أما في الحالة  $30^\circ$  لا يحصل ثقب إنشائي.



الشكل (19) منحنيات تغير الطاقة الممتصة كتابع للاختراق عند زوايا مختلفة

## 2. 2 . التأثير على الإجهادات الناعمية

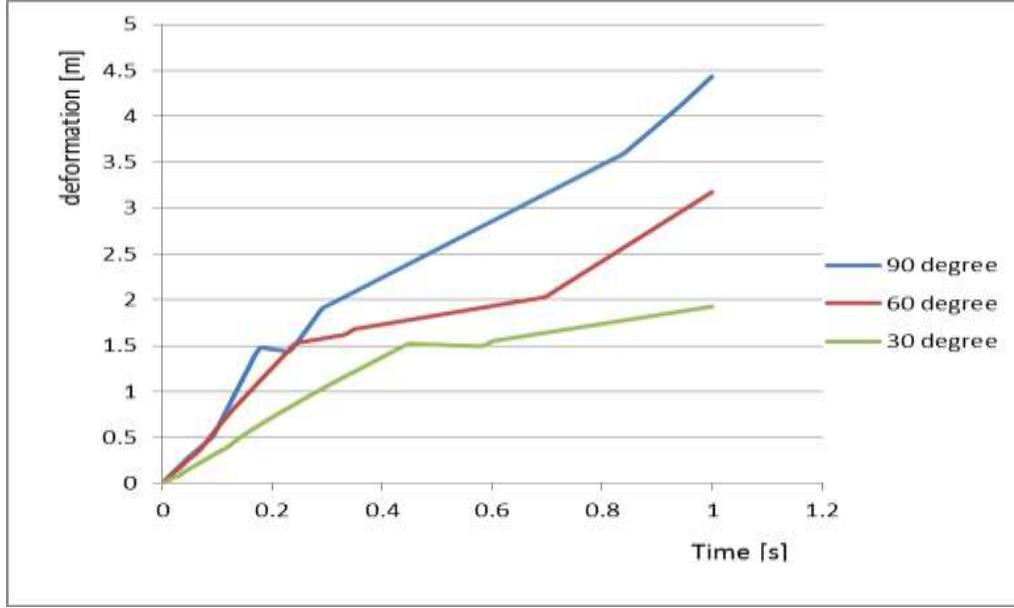
يبين الشكل (20) منحنيات تغير الإجهادات الناعمية مع الزمن عند زوايا مختلفة حيث نلاحظ أنه مع ازدياد قيمة الزاوية تزداد قيمة الإجهادات الناعمية حيث تصل إلى قيمة عظمى مباشرة بعد لحظة الصدم لتتخف مع تقدم الزمن وتصل إلى قيمة وسطية ثابتة.



الشكل (20) منحنيات تغير الإجهادات الناعمية بالنسبة للزمن عند زوايا مختلفة

## 2. 3 . التأثير على التشوه الاتجاهي

يبين الشكل (21) منحنيات تغير التشوه الاتجاهي كتابع للزمن حيث نلاحظ أنه مع ازدياد الزاوية تزداد قيمة التشوه الاتجاهي كما تزداد سرعة حدوث هذا التشوه مع زيادة الميل.



الشكل (21) منحنيات تغير التشوه الاتجاهي كتابع للزمن عند زوايا مختلفة

### الاستنتاجات والتوصيات

من الدراسة المنفذة في هذا البحث يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

- يؤدي ازدياد سرعة المقدمة الصادمة (زيادة الطاقة الحركية للجسم الصادم) إلى ازدياد الطاقة الممتصة من قبل البدن المصدوم، والذي سيتحول بدوره إلى ازدياد في حجم الضرر الإنشائي للبدن (مقدار الاختراق، وحجم مساحة الضرر).
  - يقوم بدن السفينة بامتصاص حد أعظمي من طاقة الصدم أثناء اللحظات الأولى من الصدم ومن ثم تقل الكمية الممتصة مع زيادة الاختراق حتى تصل إلى قيمة ثابتة في نهاية عملية الاختراق.
  - يلاحظ أن الإجهادات الناعمية هي الإجهادات الأكثر تأثيراً، حيث نلاحظ إن قيمتها تقارب ضعفي إجهاد القص المؤثر على البدن.
  - تصل الإجهادات الناعمية إلى قيمة أعظمية ومن ثم مع زيادة الاختراق تتخفف هذه الإجهادات وتتراوح حول قيمة معينة مع وجود قفزات موضعية للإجهاد تتعلق بتوزيع الدعائم الطولية والعرضية ضمن صفائح البدن. بينما نلاحظ أن إجهادات القص المتولدة في البدن تزداد مع زيادة الاختراق حتى تصل إلى قيمة عظمى وتبقى تتراوح حول هذه القيمة، حيث يتوزع هذا الإجهاد على بقية الصفائح في القاع والسطح.
  - يلاحظ أن الإجهادات الناعمية الأعظمية تكون قريبة من منطقة الصدم أما إجهادات القص تكون أعظمية في مناطق الاتصال أو الوثاقات.
  - يلاحظ أنه مع ثبات السرعة (الطاقة الحركية) للمقدمة الصادمة فإن الطاقة الممتصة تكون أعظمية عند الحالة الأخطر وهي عند التصادم بزواوية  $90^\circ$  حيث يمتص البدن كمية طاقة أكبر عند لحظات الصدم الأولى والتي بدورها تتحول إلى شكل آخر متمثل بالتشوهات في إنشئات البدن.
- يوصى بما يلي:



- إجراء البحث على نماذج ثلاثية الأبعاد كاملة للسفينة الصادمة والمصدومة مع تأمين إمكانات المعالجة الحاسوبية توجيهاً للدقة.
- يوصى في الحالات التي لا يمكن فيها تجنب التصادم بين السفينتين بإنقاص السرعة قدر الإمكان لتقليل الضرر الإنشائي الحاصل.
- يوصى بتقليل زاوية الصدم قدر الإمكان عبر المناورة المشتركة للسفينتين.
- المسارعة إلى التأكد من الضرر الحاصل على السفينة قبل أي عملية تشغيل أو تحريك وذلك لتقليل آثار التصادم، وتقييم فيما إذا كانت السفينة صالحة للإبحار أم لا.

### المراجع

- [1] PAIK, J.K; YANG, S.H. Residual Strength Assessment of Ships after Collision and Grounding. Marine Technology, 1998, 370.
- [2] PAIK, J.K. Ultimate Strength of Ship Hulls under Combined Vertical bending Horizontal bending and Shear Forces. Transaction SNAME, 1996, 317.
- [3] HONG, L. Simplified Analysis and Design of Ships subjected to Collision and Grounding. NTNU, Norway, 2008, 220.
- [4] ZHANG, S. The Mechanics of Ship Collisions. Department of Naval Architecture and Offshore Engineering, Denmark, 1999, 284.
- [5] CHEN, D. Simplified Ship Collision Model. Virginia, January 2000, 104.
- [6] PAIK, J.K; PEDERSEN, P.T. Modeling of the Internal Mechanics in Ship Collisions. Ocean Engineering, Vol. 23, No. 2, 1996, pp. 107-142.
- [7] WANG, G; SPONG, R. Using Numerical Simulation to Analyze Ship Collision. 3rd International Conference on Collision and Grounding of Ships, Izu, Japan, October 25-27, 2004, 270.
- [8] ODEFY, M. Simulation of Collisions between RORO Vessels with Improved Double-Hull Designs. Chalmers University Of Technology, Sweden, 2011, 84.
- [9] KUROIWA, T. Numerical Simulation of Actual Collision and Grounding Experiments. International Conference on Design and Methodologies for Collision and Grounding Protection of Ships, San Francisco, 1996, 120.
- [10] DONG, W; ZHANG, S. Residual Strength Analysis of Damaged ship. American Bureau of Shipping, USA, 2000, 247.
- [11] WANG, G; YONGJUN, C. Longitudinal Strength of Ships with Accidental Damages. North chase Drive, Houston, USA, 2001, 415.
- [12] YAMADA, Y; ENDO, H. Collapse Strength of the Buffer Bow Structure in Oblique Collision. Third International Conference on Collision and Grounding of Ships, Izu, Japan, 2004, 213.