

دراسة تصميمية لتحسين منانة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة

باستخدام برنامج SolidWorks

- * الدكتور غالب أحمد
* الدكتور هيثم عيسى
* الدكتور سليمان العلي
* المهندس علي عصام يوسف

الملخص

تركز هذا البحث على دراسة منانة قائم القرينة الرئيسي Center Girder والقوائم الثانوية Side Girders في القاع المزدوج لسفينة بضائع سائبة، وذلك باستخدام برنامج SolidWorks. حيث تم الاعتماد على المقطع العرضي لسفينة البضائع السائبة ISSC-2000 [1]. تم في هذا البحث التوصل إلى تصاميم معدلة لقائم القرينة، حيث تم استخدام نوع واحد من التقويات الطولية ذات المقطع العرضي Bulb bar. اعتمدت هذه النماذج التصميمية على تقليل عدد عناصر التقوية الطولية وطريقة توزيعها وموقعها الشاقولي على قوائم القرينة. تم إجراء سبع عشرة اختبار لكل نموذج تصميمي مقترح للتنبؤ باستجابة قوائم القرينة بمجموع كلي للاختبارات يقدر بـ 85 اختبار، والتي تشمل الإجهاد، الانبعاج، والتشوه لهذه القطاعات، تحت تأثير الضغط الشاقولي. تم التوصل إلى نموذج تصميمي محسن لقائم القرينة مقارنة مع التصميم المرجعي المستخدم في الدراسة.

الكلمات المفتاحية: SolidWorks، الإجهاد، الانفعال، التشوه، ISSC سفن البضائع السائبة.

- * أستاذ - قسم الهندسة البحرية - جامعة اللاذقية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية. ايميل: dr.ghalebyousefahmad@tishreen.edu.sy
- * أستاذ مساعد - قسم الهندسة البحرية - جامعة اللاذقية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية. ايميل: dr.heithamyounesissa@tishreen.edu.sy
- * مدرس - قسم الهندسة البحرية - جامعة اللاذقية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية. slimanalali87@gmail.com
- * * طالب دكتوراه - قسم الهندسة البحرية - جامعة اللاذقية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية. ali.issam.yousef@tishreen.edu.sy

A Design Study to Improve the Strength of the Girders of a Bulk Cargo Ship Using SolidWorks

- * Prof.Galeb Ahmad
- ** Prof.Heitham Issa
- ***Dr. Souliman AL Ali
- **** Eng. Ali Issam Yousef

Abstract

This research focuses on studying the strength of the center girder and the side girders in the double bottom of a bulk cargo ship, SolidWorks. The study relied on the cross-sectional design of a bulk cargo ship [1] ISSC-2000. Modified designs for the girder were developed in this research, using a single type of longitudinal stiffener with a bulb bar cross-section. These design models aimed to reduce the number of longitudinal stiffening elements and adjust their distribution and vertical positioning on the girder. Seventeen tests were conducted for each proposed design model, with a total of 85 tests to predict the response of the girder, including stress, buckling, displacement and strain of these sections under vertical pressure. An improved design model for the girder was achieved compared to the reference design used in the study.

Keywords: SolidWorks, Stress, Strain, Displacement, Bulk Carrier, ISSC.

* Prof., Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University, Latakia, Syria. Email: dr.ghalebyousefahmad@tishreen.edu.sy

** Assistant prof., Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University, Latakia, Syria. Email: dr.heithamyounesissa@tishreen.edu.sy

***** Dr. Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University, Latakia, Syria.**
slimanalali87@gmail.com

****** PhD Student, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University, Latakia, Syria**
ali.issam.yousef@tishreen.edu.sy

1. مقدمة

تُعدّ عارضة البدن (Hull Girder) التكوين البنيوي الأشمل في السفينة، الناتج عن تكامل الألواح الخارجية (السطح، القاع، الجوانب) مع عناصر التقوية الطولية والعرضية، بما يشكل جسمًا إنشائيًا قادرًا على مقاومة الأحمال الكبرى. وتمثل هذه العارضة العنصر الأكثر أهمية في تقييم المتانة النهائية للسفينة، وذلك تحت تأثير نوعين رئيسيين من الأحمال: الأحمال المنتظمة مثل الضغط الهيدروستاتيكي الناتج عن وزن الماء، والضغط الداخلي الناتج عن وزن الحمولة، حيث تؤدي هذه الأحمال إلى عزم انحناء طولي يكون أعظميًا عند المنتصف مما يفرض أعلى إجهادات طولية عند السطح والقاع. والأحمال المتغيرة مثل تغير توزيع الحمولة، وحالات التشغيل غير المتزنة وأحمال الأمواج المسببة لحالات متعاقبة من الـ Hogging و Sagging تؤدي هذه الحالات إلى تغيرات دورية في عزم الانحناء الطولي وإجهادات الشد والضغط عند الأسطح، وتُحسب باستخدام ما يُعرف بحالات التصميم القصوى Extreme Loading Cases التي تعتمد على معايير التصنيف مثل DNV IACS CSR. وبناء على ذلك، فإن تحليل قائم القرينة يكتسب أهمية خاصة لكونه يشكل جزءًا من النظام البنيوي المتكامل (Hull Girder) والذي يتأثر بعزم الانحناء الأعظمي الناتج عن الأحمال الطولية والأمواج. قام Paik et al 2013 [2] بتطوير صيغة Paik-Mansour لحساب المتانة النهائية لعارضة البدن المعرضة لعزم الانحناء الرأسي. حيث اعتمدت هذه الطريقة على توزيع إجهاد الانحناء على المقطع العرضي للهيكल المفترض، وتم التحقق من دقة هذه الطريقة من خلال مقارنتها مع طرق رقمية مثل طريقة العناصر المحدودة غير الخطية، وطريقة الوحدة الهيكلية المثالية. باستخدام صيغة تصميمية تعتمد على الحل التكراري قام [3] Piscopo et al 2021 بتحديد المتانة النهائية لعارضة البدن نتيجة تآكل الطلاء تحت تأثير الضغط أحادي المحور حيث سمحت الطريقة التكرارية التدريجية بتقييم المتانة النهائية لعارضة البدن بكفاءة عالية جنباً إلى جنب مع التآكل الناتج عن الحفر، وتم التحقق من النتائج من خلال أربع حالات مرجعية لمواقع مختلفة من البدن تعرضت للتآكل الناتج عن الحفر. كما قام الباحثون [4] Zaho et al 2022 بدراسة متانة بدن السفينة مع فتحات السطح، حيث صُمم نموذج بفتحات كبيرة نسبياً في مجموعة من المقصورات، وتم اختبارها حتى أقصى قدرة تحمل تحت عزم انحناء مترهل. حيث تم تحليل وضع الانهيار، ومنحنى الحمل-الإزاحة، والحمل الأقصى للنموذج التجريبي باستخدام طريقة العناصر المحدودة غير الخطية. كما حُسب الحمل الأقصى للنموذج التجريبي

باستخدام طريقة الانهيار التدريجي (طريقة سميث). توصل [5] Ristiyanto et al 2023 إلى اعتبار المتانة النهائية لعارضة البدن (HGUS) Hull girder ultimate strength هي أقصى قدرة انحناء يمكن لعارضة البدن أن تتحملها تحت تأثير الضغوط الطولية. حيث يمكن اعتبار بدن السفينة آمناً عندما تكون المتانة الحديدية لعارضة البدن أكبر من عزم الانحناء الكلي المسبب للانهيار والذي تتعرض له السفينة. قدم [6] Imaduddin et al 2023 دراسة لتقييم المتانة النهائية لعارضة البدن المعتمدة على الوقت مع مراعاة التآكل السميك وظروف الألواح المقواة. حيث تم حساب المتانة النهائية باستخدام طرق تكرارية تعتمد على IACS_ CSR لنموذج سفينة بضائع سائبة. قام [7] Farzaneh et al 2024 بالتحقق من التأثير المشترك لأضرار التشقق والتآكل على المتانة النهائية لعارضة بدن السفينة من خلال استخدامه منهجية Monte Carlo، حيث قام بتحديد مؤشر الموثوقية لهيكل السفينة المتشققة والمتآكلة، واتضح أن مؤشرات الموثوقية لمختلف سيناريوهات الضرر متطابقة تقريباً عندما تكون السفينة في بداية عمرها. درس Joynal Abedin et al 2024 [8] استجابة هيكل لسفينة شحن متعددة الأغراض تحت تأثير أحمال الانحناء والالتواء المشتركة باستخدام تحليل العناصر المحدودة، حيث تم حساب عزوم الانحناء والفتل وفقاً للمعايير والأنظمة التي تعتمد على هيئات التصنيف البحري، كما تم التحقق من نموذج العناصر المحدودة ثلاثي الأبعاد للسفينة باستخدام نظرية العتبة والحسابات المباشرة، بينما تم التأكد من دقة الإجهادات الالتوائية من خلال مقارنة نتائج نظرية الجسور الرقيقة الجدران مع النتائج المباشرة. قام [9] A. Pintilie et al 2025 بتحسين المقطع الأوسط لناقلات البضائع السائبة التي تبلغ حمولتها الساكنة 165,000 طن، من خلال النمذجة الهيكلية والأبعادية، تحت تأثير الإجهادات العامة المركبة (الانحناء الطولي الرأسي، والانحناء العرضي الرأسي، والالتواء الطولي)، مع مراعاة الإجهادات الموضعية المحددة. باستخدام التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD) وطريقة العناصر المحدودة (FEM)، مع توفير أداة حساب تشغيلية.

على الرغم من وجود دراسات مرجعية سابقة تناولت تحسين أداء عوارض بدن السفينة تحت تأثير الأحمال المختلفة، إلا أن معظم تلك الدراسات ركزت بشكل عام على تحليل الاستجابة الكلية للهيكل أو على العوارض العرضية والطولية ذات التوزيع التقليدي، دون التطرق التفصيلي إلى تأثير التكوين الهندسي الداخلي لقوائم القرينة. حيث تتميز هذه الدراسة بأنها تُسلط الضوء على عنصر بنيوي دقيق ومهم في الهيكل الداخلي للسفن، وهو قائم القرينة (Girders)، حيث تم دراسة تأثير

دراسة تصميمية لتحسين متانة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks

توزيع عناصر التقوية الطولية على متانة هذا العنصر تحت ظروف تحميل مركبة تشمل الانحناء والضغط الجانبي والانبعاج. كما اعتمدت هذه الدراسة على نمذجة هندسية ثلاثية الأبعاد دقيقة باستخدام طريقة العناصر المحددة (FEA)، مع الأخذ في الحسبان الشروط الحدية الواقعية والأحمال التشغيلية المستمدة من أنماط الضغط الهيدروستاتيكي والهيدروديناميكي. وتمت مقارنة النتائج بمعايير التصنيف العالمية مثل IACS Common Structural Rules و DNV-RP-C201. كما عملت هذه الدراسة إلى تقديم تحسين هندسي فعلي وقابل للتطبيق على تصميم القائم من خلال إعادة توزيع عناصر التقوية، مما يحقق توازناً بين تقليل الوزن الكلي وزيادة مقاومة الانبعاج والإجهاد، وهو ما يجعل هذه الدراسة تساهم بشكل نوعي في تحسين تصميم البنية التحتية للسفن وفقاً لمتطلبات الأداء والمتانة الحديثة.

2. مشكلة البحث

تتعرض السفن أثناء عملها في البحر إلى أنواع متعددة من الأحمال، منها الأحمال الطولية الكبيرة الناتجة عن ظاهرتي Hogging و Sagging، واللتين تنشآن إما بسبب عدم التوازن في توزيع الحمولات على طول البدن، أو نتيجة تفاعل السفينة مع أمواج ذات أطوال تعادل طول السفينة، مما يؤدي إلى توليد عزم انحناء طولي أعظمي (Maximum Longitudinal Bending Moment) يؤثر على مناطق السطح والقاع، ويُنتج إجهادات شد وضغط متناوبة. في المقابل، تتعرض السفينة كذلك إلى ضغوط هيدروستاتيكية ساكنة ناتجة عن عمق الغاطس، وهذه تؤثر بشكل عرضي على البدن، وتُسبب إجهادات جانبية مستمرة تضغط الجوانب نحو الداخل. عند تراكم هذه الأحمال الطولية والعرضية ضمن ظروف تشغيل حقيقية تتعرض العناصر البنيوية، لا سيما قائم القرينة (Girder)، إلى حالات تحميل مركبة قد تؤثر سلباً على استقرارها المحلي ومقاومتها للانبعاج. بناءً على ذلك تظهر الحاجة الملحة إلى تحليل سلوك قائم القرينة تحت تأثير الأحمال المركبة باستخدام أدوات رقمية متقدمة تقدمها البرامج التصميمية مثل بهدف الوصول إلى تصميم هندسي مُحسّن قادر على مقاومة الإجهادات والانفعالات ضمن حدود السلامة التي تفرضها هيئات التصنيف البحرية الدولية.

3. أهمية البحث وأهدافه

يتم تصميم عارضة السفينة لتتحمل مختلف حالات الانهيار التي قد تتعرض لها والتي تحكم مدى قوة ومثانة هذه العارضة. حيث تندرج أوضاع الفشل الإنشائي في الهياكل البحرية عادة ضمن فئتين أساسيتين: الأولى تُعرف بحد المقاومة القصوى (ULS_ Ultimate Limit State) ، حيث يحدث الانهيار نتيجة تجاوز مقاومة المادة، والثانية تُعرف بحدود الخدمة (SLS, Serviceability Limit State)، حيث يحدث الفشل بسبب تشوهات مفرطة أو اهتزازات غير مقبولة تؤثر على كفاءة التشغيل. تعتمد حالات حد المقاومة على اعتبارات السلامة والقدرة القصوى لعارضة البدن على تحمل الأحمال وتشتمل على المرونة واللدونة والانبعاج. أما حالات حد الخدمة تشير إلى أداء هيكل عارضة البدن تحت تأثير أحمال الخدمة العادية وتشمل الانحراف والخضوع الأولي. وبما أن قائم القرينة الرئيسي والقوائم الجانبية هي أكبر العناصر الشاقولية بهيكل عارضة البدن، فإن أهمية هذا البحث هو دراسة المثانة الحدية النهائية لقائم القرينة الرئيسي والقوائم الجانبية من خلال تقديم عدة نماذج تصميمية لكيفية تدعيم هذه القوائم بعناصر تقوية من النوع Bulb bar. وعليه يمكن تلخيص أهداف البحث:

1. دراسة مثانة عارضة البدن باستخدام (FEA) SolidWorks Simulation، وذلك في حالة عنبر فارغ للسفينة وتحت تأثير الضغط الموزع على كامل السفينة المرجعية، حيث يتم إجراء التعديلات على العارضة المركزية وعلى عناصر التقوية وحساب مثانتها.
2. دراسة المثانة الحدية لقوائم القرينة ضمن القاع المزدوج لمنطقة وسط سفينة بضائع سائبة.
3. تقديم نماذج تصميمية لطريقة تدعيم القوائم تهدف إلى تحقيق المثانة المطلوبة عند أقل وزن ممكن.

4. طرق ومواد البحث

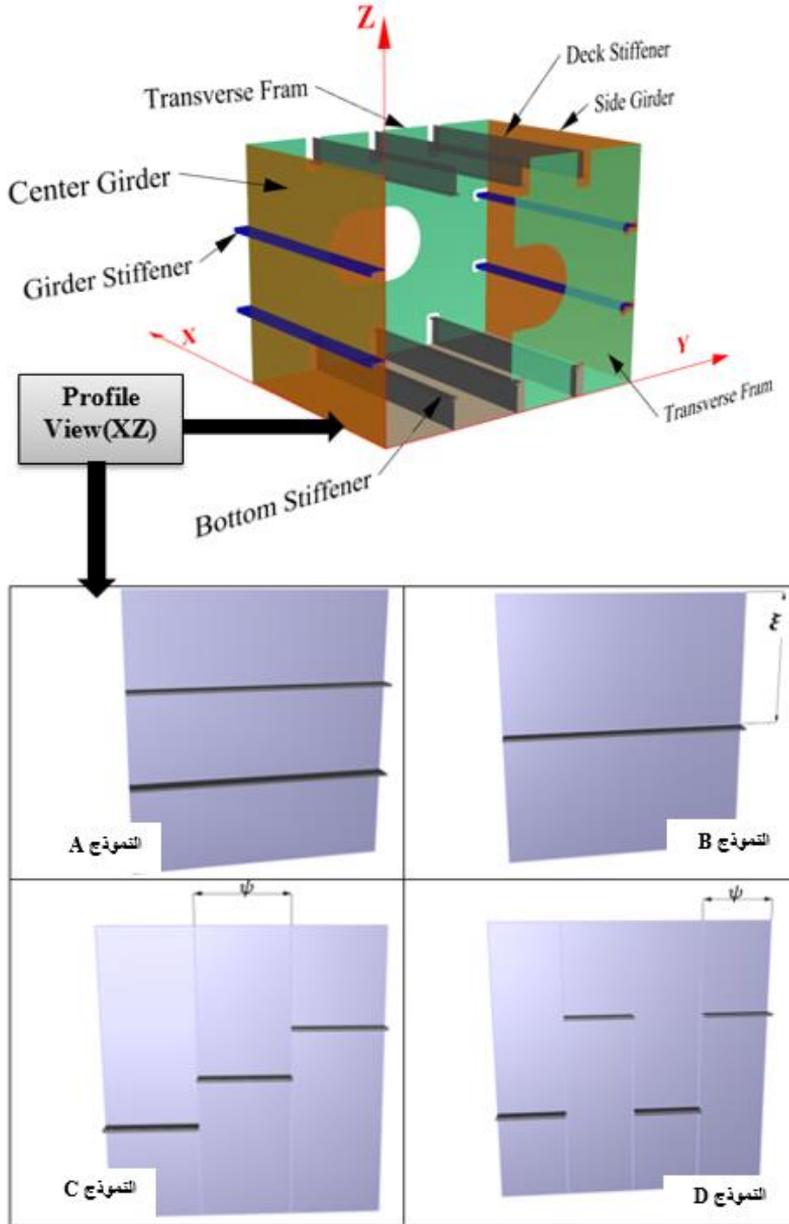
الطرق والمواد التي تم استخدامها في هذا البحث يمكن تلخيصها في الأمور التالية:

✓ المقطع العرضي لسفينة بضائع سائبة ISSC-2000 [1].

5. منهجية البحث

المنهجية التي يقوم عليها هذا البحث هي منهجية تحليلية تجريبية في بيئة افتراضية، حيث تم في هذا البحث إجراء اختبارات نمذجة على قائم القرينة ضمن القطاع المدروس باستخدام SolidWorks Simulation Static تحت تأثير ضغط شاقولي موزع بانتظام، وهذه الاختبارات هي: الإجهاد، الانفعال، الإزاحة والانبعاج.

يبين الشكل 1 قطاع جزئي ضمن القاع المزدوج للسفينة المرجعية المدروسة، والذي يحتوي على مجموعة من العناصر الإنشائية المدعمة بعناصر تقوية من النوع Bulb Bar. كما أنه يوضح النماذج التصميمية التي تمت دراستها في هذا البحث بهدف الوصول الى التصميم الأكثر تحقيقاً للمتانة، حيث يكمن الاختلاف الرئيسي بين هذه التصاميم بعدد عناصر التقوية الطولية وتوزعها الشاقولي والأفقي على قائم القرينة Girders.



الشكل 1: التصاميم المقترحة لتدعيم قائم القرينة بعناصر التقوية.

حيث أن:

النموذج A : التصميم المرجعي للسفينة المدروسة.

النموذج B : التصميم المعدل باستخدام عنصر تقوية طولي واحد.

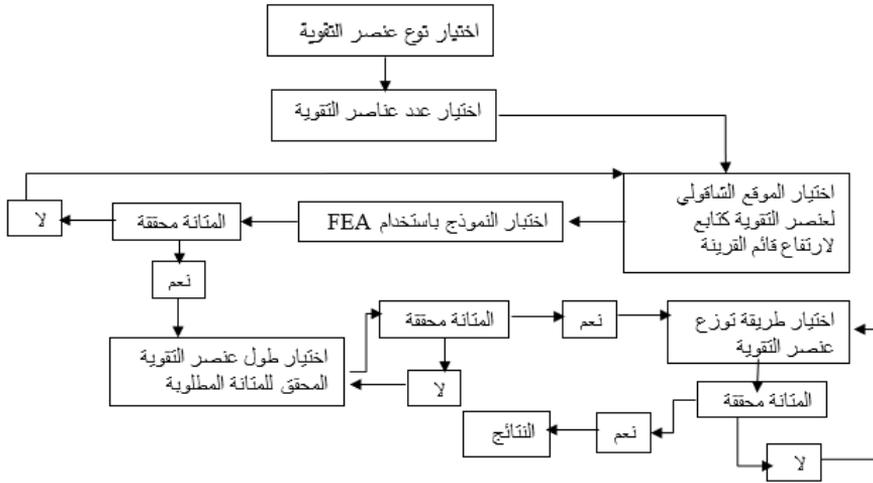
النموذج C : التصميم المعدل باستخدام عنصري تقوية طوليين.

النموذج D : التصميم المعدل باستخدام ثلاثة عناصر تقوية طولية.

ع: الموقع الشاقولي لعنصر التقوية.

l : طول عنصر التقوية.

تمت عملية التوصل الى التصاميم المعدلة من خلال المخطط الصندوقي الموضح في الشكل 2.



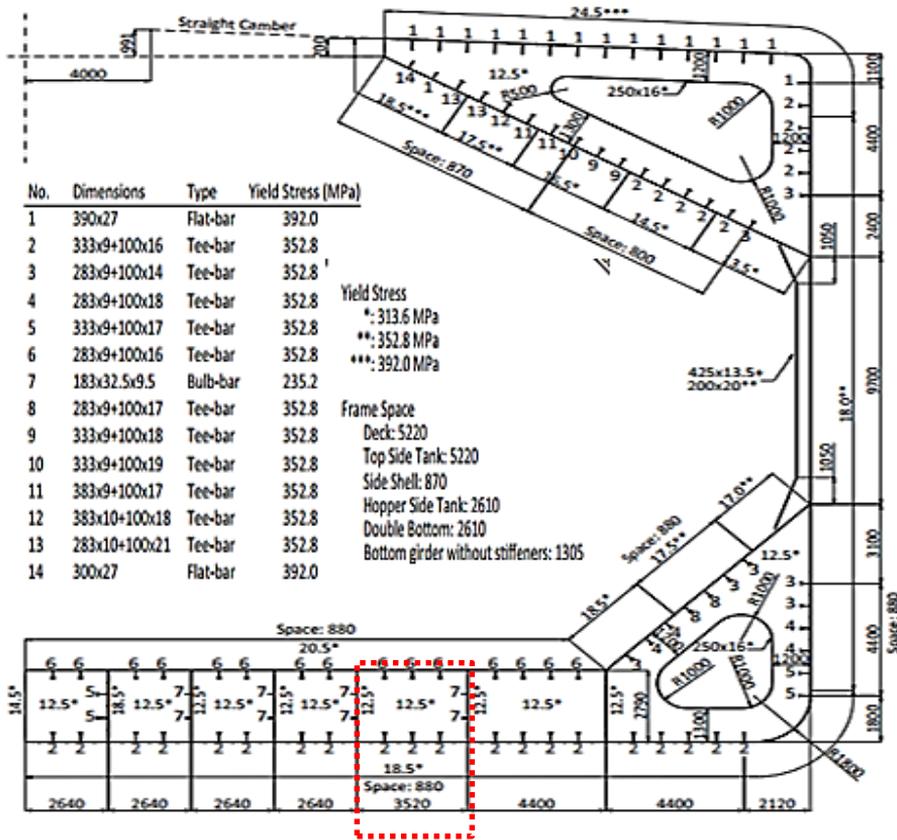
الشكل 2: المخطط الصندوقي المستخدم في عملية التصميم.

حيث تم اختبار نماذج من خلال مقارنة نتائجها مع نتائج التصميم الأولي للقطاع المدروس للسفينة المرجعية الشكل 1 النموذج A.

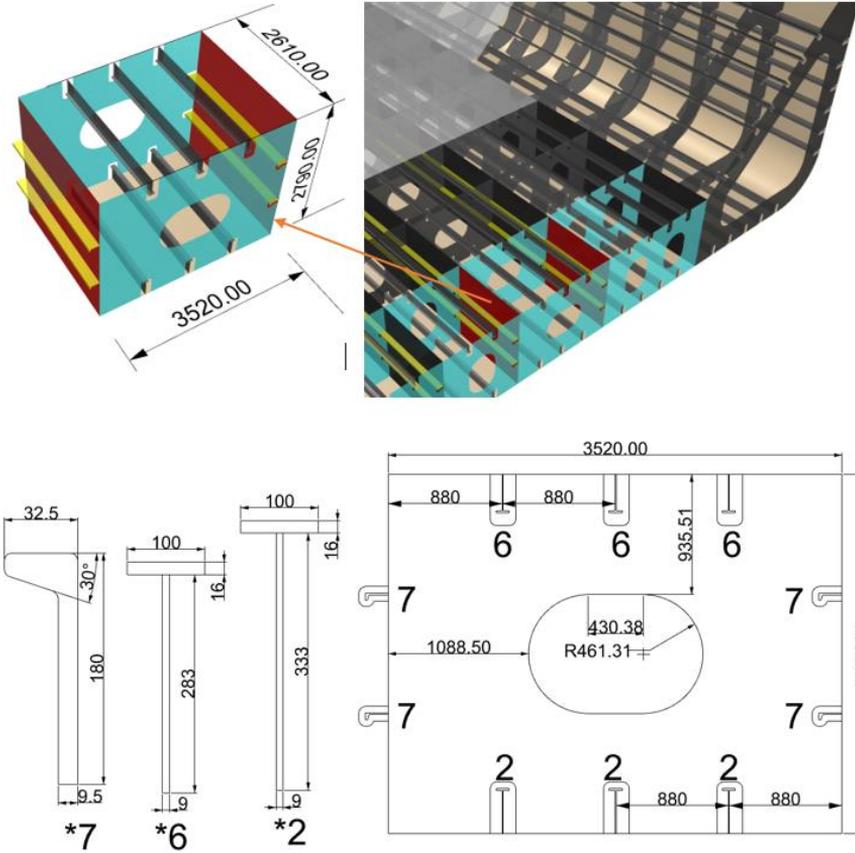
6. الأبعاد والخصائص الهندسية والبيئة الرقمية واعتباراتها

6.1. الأبعاد التصميمية للقطاع المدروس

يعتبر البدن المرجعي المستخدم في هذه الدراسة هو البدن المستخدم في جميع سفن البضائع السائبة والتي تملك نفس المقطع العرضي للسفينة. حيث تم الحصول عليه من المؤتمر الدولي The International Ship and Offshore Structures Congress 2000 (ISSC-2000) حيث يوضح الشكل 3 التصميم المرجعي ISSC-2000 [1]. كما يوضح الشكل 4 قطاع جزئي ضمن القاع المزوج يحتوي على قائم القرينة الذي تتم دراسته [1] [10].



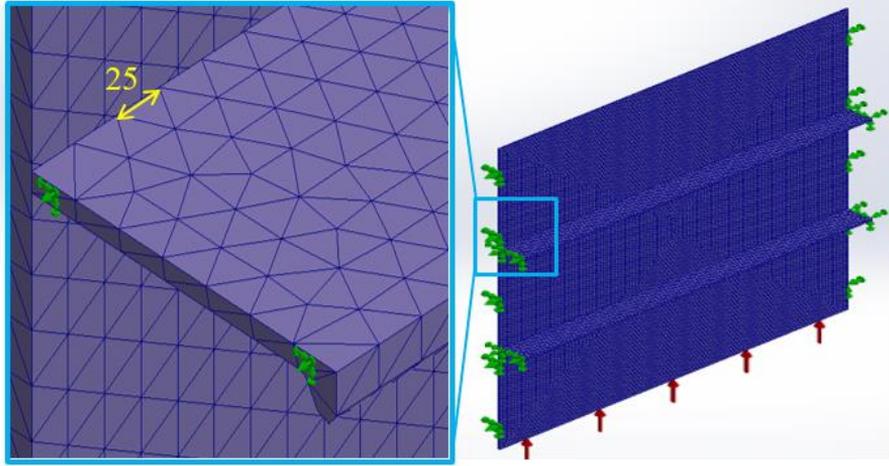
الشكل 3: المقطع العرضي للسفينة المرجعية المدروسة ISSC-2000.



الشكل 4: المقطع العرضي لقطاع جزئي من القاع المزدوج ضمن السفينة المرجعية [1].

6.2. الشبكة الرقمية

تم استخدام برنامج SolidWorks Simulation لبناء الشبكة الخاصة بـ FEA، حيث أن العنصر المستخدم بالشبكة هو عنصر هرمي الشكل وطول ضلعه هو (E25) والذي يبلغ 25mm. يوضح الشكل 5 الشبكة الرقمية التي تم الحصول عليها بتطبيقها على قائم القرينة للسفينة المدروسة. حيث بلغ عدد العقد 188792 عقدة، وعدد العناصر 93736 عنصراً.



الشكل 5: خصائص الشبكة المستخدمة في الدراسة.

إنّ عملية اختيار عناصر موحدة الحجم في جميع الاتجاهات لم تتم بطريق عشوائية، بل تم تبنيها بناءً على المبررات الآتية:

- تحقيق توازن بين دقة النتائج وكفاءة الحسابات العددية.
- ضمان استقرار النموذج العددي.
- تقليل حجم الحسابات وتجنب تعقيد غير ضروري قد يُحدث بطئاً أو أخطاء في الحلول.

6.3. الشروط الحدية

تعتبر عملية تحديد الشروط الحدية أمر مهم جداً في عملية النمذجة، فبالاعتماد على البيانات الرئيسية للسفينة المرجعية المدروسة والموضحة في الجدول 1 تم تحديد الشروط الحدية.

الجدول 1: البارامترات الرئيسية للسفينة المرجعية [1].

Length (B.P) [m]	Length (0.97 L_{LWL}) [m]	Breadth (MLD) [m]	Depth (MLD) [m]	Draft (Design ,MLD) [m]	Draft (Scantling, MLD) [m]
285	281.3	50	26.7	19.808	19.83

1- تم اعتبار أن الدراسة تمت على السفينة وهي فارغة من الحمولة. حيث أن الحالة التي تكون فيها السفينة غير محملة هي حالة تشغيلية شائعة، وتستخدم كمرجع مرن للقياس. وهي تماثل ما يسمى بـ Design Scantling Condition المعتمدة في معايير IACS & .

2- تم حساب الضغط الهيدروستاتيكي عند عمق يعادل الغاطس التصميمي ($h=19.808$ m)، وهو العمق التقريبي لموقع القاع المزوج، بهدف تطبيق هذا الضغط كقيمة مرجعية على سطح العنصر المدروس، ولا يُقصد بها تمثيل التوزيع الكامل للضغط على ارتفاع بدن السفينة وهو يمثل الحالة الفارغة للسفينة (Ballast Condition)، وذلك باستخدام المعادلة التالية:

$$P = \rho gh = 1025 \times 9.81 \times 19.83 \approx 0.2 \text{ [MPa]} \quad (1)$$

حيث أن:

ρ : كثافة المياه. 1025.

g : تسارع الجاذبية الأرضية.

h : غاطس السفينة.

3- تم تحديد خصائص المواد المستخدمة في تركيبه القطاع المدروس كما هو موضح في الجدول 2.

الجدول 2: خصائص المواد المستخدمة في تركيبه القطاع المدروس [11].

Properties	Value	Unit
Material Name	AH32	-
Yield strength	3.136e+08	N/m ²
Tensile strength:	4.4e+08	N/m ²
Elastic modulus	2.1e+11	N/m ²
Poisson's ratio	0.3	-
Mass density	7850	Kg/m ³
Shear modulus	7.9e+10	N/m ²

4- تم استخدام التثبيت الأحادي الذي يعكس الواقع الإثنائي لقائم القرينة الذي يرتبط بلوحات السطح أو القاع في أحد طرفيه فقط، حيث تُستخدم هذه الفرضية في العديد من الأبحاث مثل:

➤ استخدم تثبيت أحادي الجانب في دراسة الانبعاج [4].

➤ نموذج ثلاثي الأبعاد تحت حمل شاقولي فقط (بغيب الأمواج الجانبية) [8].

6.4. معايرة الشبكة والإعدادات الرقمية

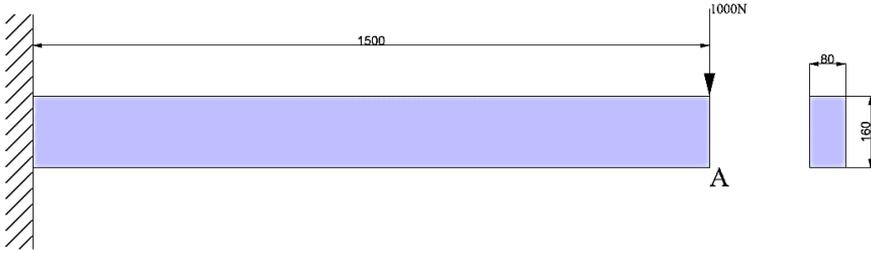
قبل البدء بإجراء الاختبارات على برنامج SolidWorks لا بد من معايرة الشبكة والإعدادات الرقمية التي تم اعتمادها في هذه الدراسة للتأكد من أن النتائج التي سيتم الحصول عليها ستكون صحيحة ومطابقة للواقع. هنا لا بد من التنويه إلى أن برنامج الـ SolidWorks معتمد عالمياً في الكثير من المجالات الأكاديمية والصناعية والنتائج التي يتم الحصول عليها من هذا البرنامج تكون قريبة جداً من الواقع، على سبيل المثال لا الحصر تشير إلى بعض الدراسات الحديثة التي تعتمد على استخدام هذا البرنامج [17]–[12]. بالرغم من ذلك لا بد من التأكد في البداية من دقة الحسابات التي يتم الحصول عليها باستخدام هذا البرنامج، ولهذا السبب تم اعتماد إجراء تحقق عددي أولي (Numerical Verification) من خلال مقارنة نتائج التحليل العددي لطريقة العناصر المحددة مع الحلول التحليلية لمثال مرجعي كلاسيكي، يتمثل في جائز مثبت من أحد طرفيه ومعرض لحمل مركز عند الطرف الحر. يُعد هذا المثال من المسائل القياسية ذات الحل التحليلي، حيث يمكن حساب الإزاحة العظمى بدقة وفق العلاقة (6) وهو ما يجعله مناسباً للتحقق من:

1. كفاءة إعدادات الشبكة العددية (Mesh Quality) .

2. تكامل نموذج العناصر المحددة (FE Model Integration)،

3. صحة تثبيت الشروط الحدية والتحميل.

وتجدر الإشارة إلى أن هذا المثال لا يُمثل النموذج الهندسي الخاص بقائم القرينة من حيث الشكل أو شروط التثبيت، وإنما يُستخدم كخطوة معيارية لضمان موثوقية البرنامج وتوافقه مع النتائج التحليلية المعروفة قبل البدء بتطبيقات معقدة ذات شروط حدية هندسية غير مثالية. ولتحقيق هذا الأمر تم إجراء حساب تحليلي لقيمة الإجهاد الأعظمي ومقدار الإزاحة لجائز بسيط يتعرض لقوة مركزة على نهاية الجائز وقيمتها 1000N إذا كان $E = 210000 \frac{N}{mm^2}$. حيث يوضح الشكل 6 الجائز البسيط وتوزع القوة عليه، حيث أن جميع الأبعاد هي [mm].



الشكل 6: جائز بسيط يتعرض لقوة مركزة بنهايته.

الحل التحليلي:

يبين الشكل 7 توزيع ردود الأفعال والعزم حول المسند البسيط ومقدار القوة المطبقة على الجائز.



الشكل 7: توزيع ردود الأفعال والعزم حول المسند البسيط.

$$\sum Fx = 0, \quad \text{then } Fx_B = 0 \quad (2)$$

$$\sum Fy = 0, \quad \text{then } Fy_B - 1000 = 0 \quad \text{then } Fy_B = 1000N \quad (3)$$

$$M_B = FL = 1000 \times 1.5 = 1500N.mm \quad (4)$$

نحسب أقصى إجهاد انحناء Upper bound axial and bending والمعبر عنه بالمعادلة (5)، حيث أن M هي العزم الأقصى، و Z معامل المقطع العرضي للجائز .

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{Fl}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{1000 \times 1500}{\frac{80 \times 160^2}{6}} = 4.394 N/mm^2 \quad (5)$$

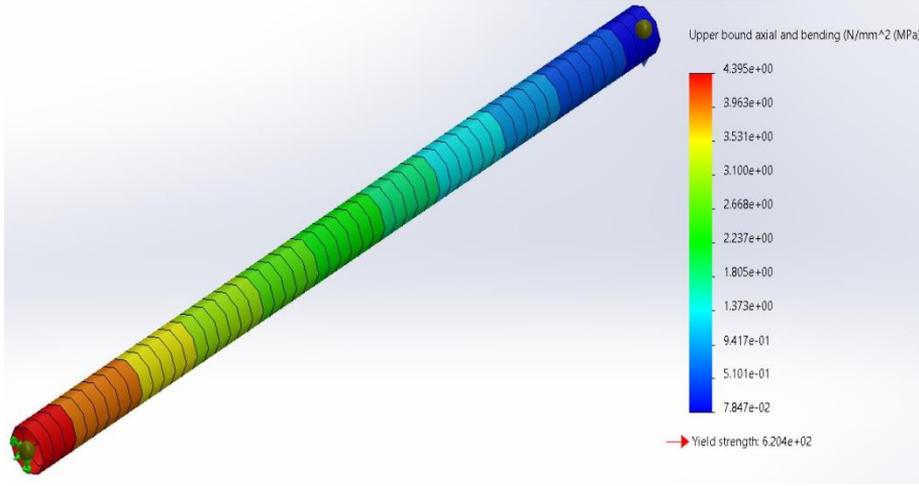
يتم حساب قيمة الإزاحة باستخدام المعادلة.

$$y = \frac{Fl^3}{3EI} = \frac{Fl^3}{3E \frac{bh^3}{12}} = 0.196 mm \quad (6)$$

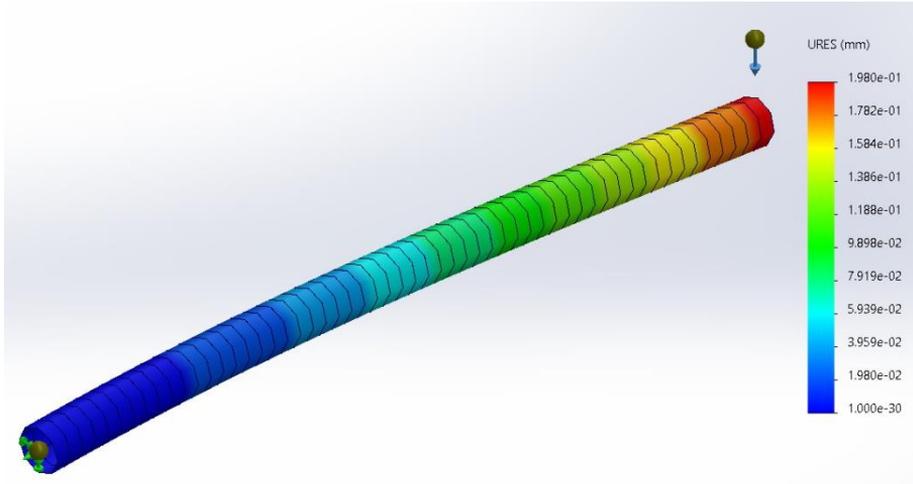
بإجراء الاختبار على نفس الجائز السابق باستخدام طريقة الـ FEM ضمن برنامج الـ SolidWorks، حيث أنّ الشبكة التي تم استخدامها هي شبكة تترا هيدرات رباعية الوجوه (Tetrahedral Mesh) والعنصر المستخدم هو عنصر رباعي هرمي الشكل وأبعاد العنصر هو 25 مم. يظهر الشكل 8 قيمة الإجهاد الأعظمي والبالغة $4.395N/mm^2$ ، و الشكل 9 قيمة

دراسة تصميمية لتحسين متانة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks

الإزاحة والبالغة 0.198mm . بالمقارنة بين الحل العددي التحليلي والحل الرقمي باستخدام SolidWorks نجد أن مقدار الفرق بقيمة إجهاد الانحناء يبلغ 1% ، والفرق بقيمة الإزاحة يبلغ 2% . وهذا يدل على دقة الحل الرقمي باستخدام SolidWorks، وبالتالي فإن الشبكة والإعدادات الرقمية المستخدمة تعطيان نتائج صحيحة ومطابقة للواقع.



الشكل 8 : نتائج اختبار الإجهاد الأعظمي للجائز.



الشكل 9 : نتائج اختبار الإزاحة للجائز.

7. النتائج والمناقشة

تم في هذا البحث إجراء اختبارات النمذجة على قائم القرينة للقطاع المدروس باستخدام SolidWorks Simulation، وشملت هذه الاختبارات أربع حالات دراسية، وهي: الإجهاد، الانفعال، الإزاحة والانبعاج.

في الأشكال (10-12) تم تمثيل نتائج تحليل العناصر المحددة باستخدام ألوان تشير إلى توزيع مجموعة من البارامترات الهندسية، والتي تم توضيحها كما يلي:

a. Von Mises: الإجهاد المكافئ وفق معيار فون ميسيس، يُستخدم لتحديد قرب المادة من الفشل.

b. Yield Strength: مقاومة الخضوع للمادة AH32 وتُستخدم كحد مرجعي لمقارنة الإجهادات.

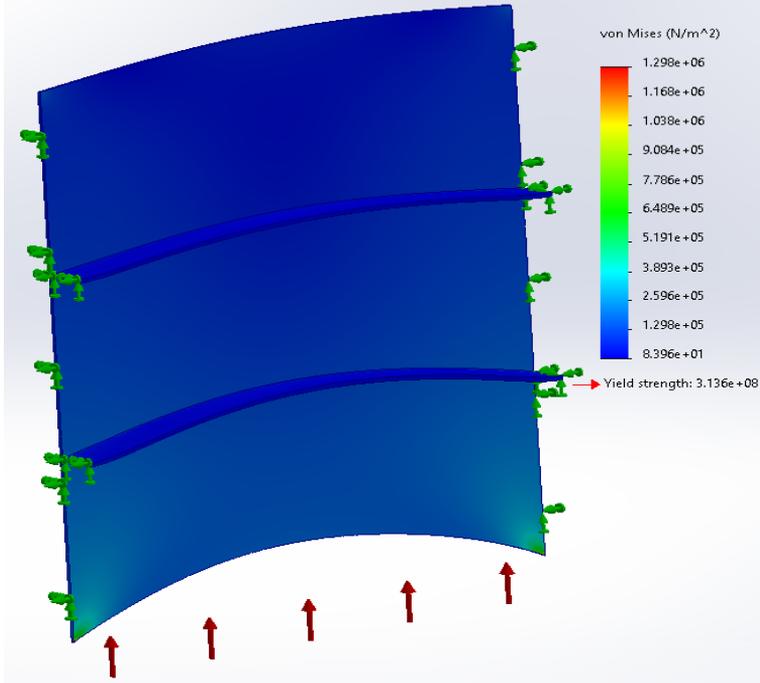
c. URES: الإزاحة الكلية الناتجة عن القوى المؤثرة، وتشمل جميع الاتجاهات الثلاثية.

d. ESTRN: الانفعال المكافئ الناتج عن التشوه المرن أو البلاستيكي.

وتُقاس هذه القيم بالمليمتر (للإزاحة) أو ميغاباسكال (للإجهاد)، أو تُعطى بلا وحدة في حالة الانفعال.

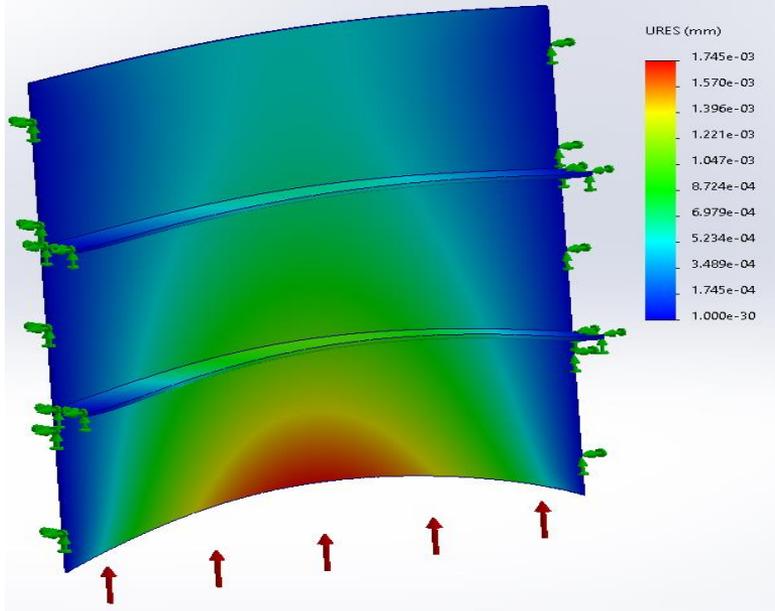
7.1. اختبارات النمذجة لقائم القرينة المرجعي

أجريت الاختبارات الأربعة على قائم القرينة للسفينة المرجعية للحصول على نتائج معيارية سيتم استخدامها كقيم مرجعية، بحيث يتم تحديد قيم إجهاد الانحناء والإزاحة والانفعال والانبعاج للنموذج المدروس، والتي ستم مقارنتها مع نتائج اختبار التصميم المعدل بهدف التأكد من دقة التصميم من أجل تحقيق وتحسين المئانة عند أقل عدد ممكن لعناصر التقوية. يظهر الشكل 10 نتائج اختبار Stress Test، حيث تظهر أنّ قيمة الإجهاد المكافئ Von Mises بلغت $129.6 [MPa]$ ، وهي أقل من قيمة إجهاد الانبعاج للمادة المدروسة Yield Strength AH32 والتي قيمتها $313 [MPa]$.



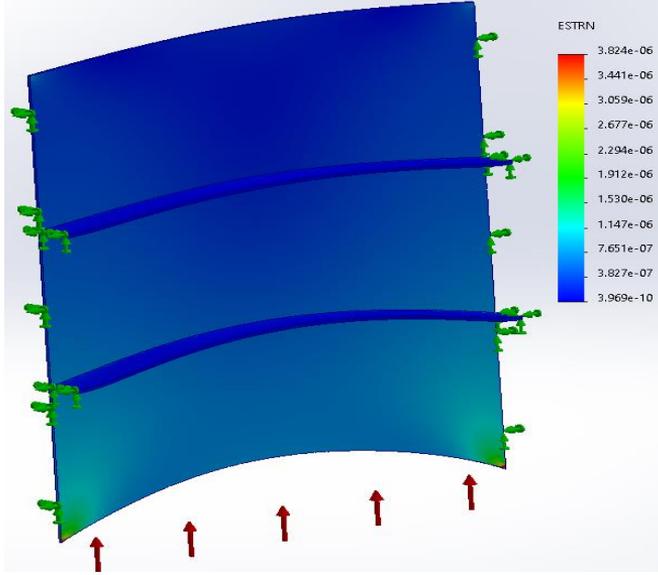
الشكل 10: نتائج اختبار الـ Stress Test.

يحدد اختبار الإزاحة الكلي Displacement (URES) مقدار تشوه العنصر الإنشائي المدروس وذلك في حالتي الشد والضغط بأعلى وأسفل العنصر في حالتي التقوس والتدلي & Sagging Hogging. حيث يوضح الشكل 11 مقدار الإزاحة الذي يتعرض له النموذج المدروس، حيث بلغت قيمة الإزاحة 0.001745 mm.



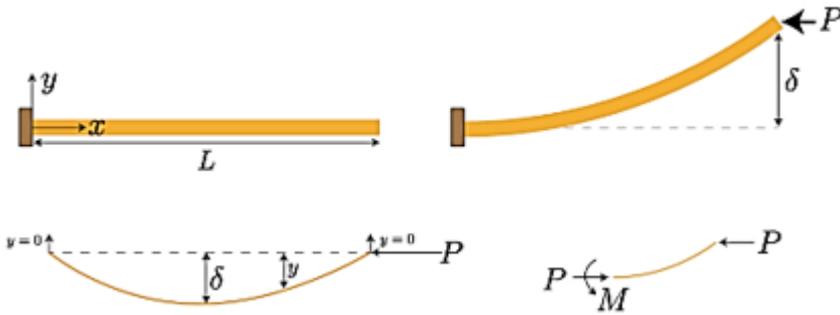
الشكل 11: نتائج اختبار الـ Displacement Test.

يظهر الشكل 12 مقدار الانفعال الذي يتعرض له النموذج المدروس، حيث بلغت القيمة العظمى للانفعال $3.824e-06$ في حين أن القيمة الدنيا بلغت $3.969e-10$.



الشكل 12: مقدار الانفعال الذي يتعرض له النموذج المدروس.

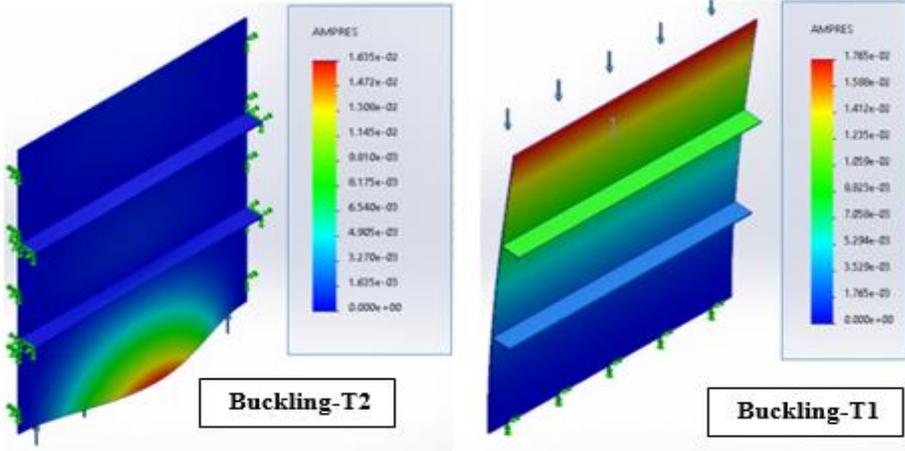
يعتبر اختبار Buckling من أهم اختبارات النمذجة لدراسة متانة الألواح الشاقولية من خلال دراسة متانتها تحت تأثير القوى والضغط الشاقولية. يقوم اختبار Buckling Test ضمن برنامج SolidWorks Simulation بحساب قيمة الانحراف δ كما في الشكل 13.



الشكل 13: مخطط توضيح الانحراف الذي يتعرض له قائم القرينة بفعل الانبعاج

يظهر الشكل 14 قيمة الانحراف الذي يتعرض له النموذج المدروس تحت تأثير الضغط الشاقولي. تم إجراء هذا الاختبار وفق شرطين حدين مختلفين لتثبيت قائم القرينة، ففي الاختبار الأول Buckling-T1 تم تثبيت قائم القرينة من جهة واحدة (تثبيت من الأسفل عن طريق ألواح القاع

الخارجي ويتطبيق ضغوط شاقوليه من الأعلى_ تثبيت من الأعلى عن طريق ألواح القاع الداخلي تحت تأثير ضغوط شاقوليه من الأسفل) حيث بلغت قيمة الانحراف وفق هذا الاختبار $\delta = 0.01765$. كما تم تثبيت قائم القرينة وفق الاختبار الثاني Buckling-T2 من الجانبين بواسطة Transverse Floors وبلغت قيمة الانحراف وفق هذا الاختبار $\delta = 0.01635$.



الشكل 14: نتائج اختبار الـ Buckling Test.

تم إجراء باقي الاختبارات على التصميم المرجعي للسفينة المدروسة ووضع النتائج ضمن الجدول 6.

7.2. اختبارات النمذجة على التصاميم المعدلة لقائم القرينة

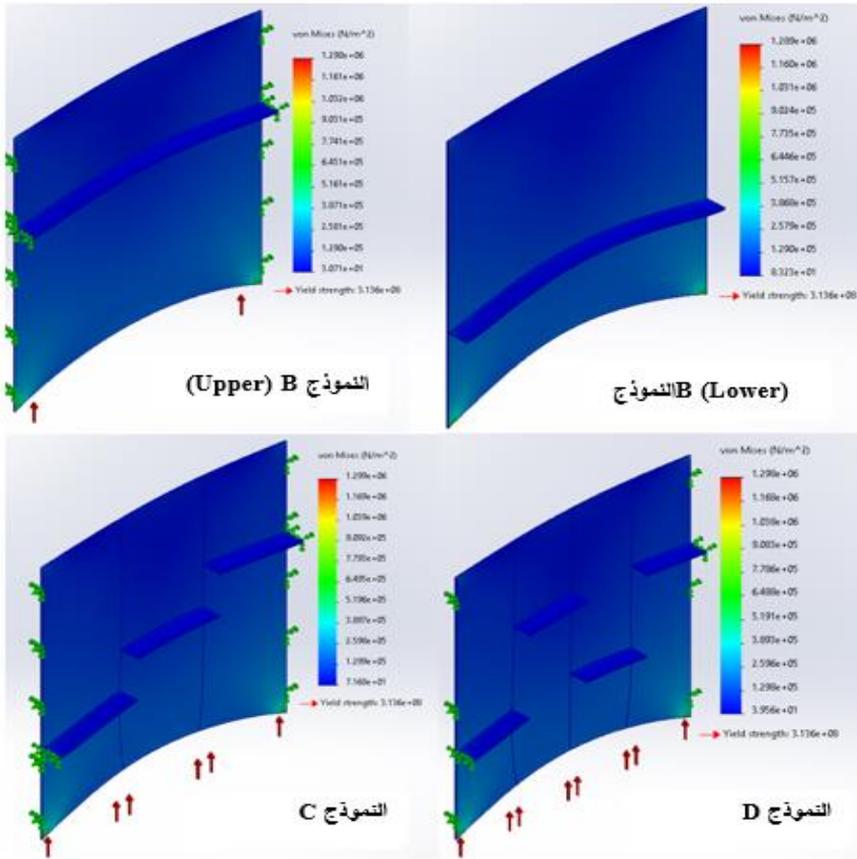
تم تثبيت قيمة الموقع الشاقولي لعنصر التقوية $\xi = 930mm$ في جميع التصاميم المعدلة، وتم تغيير المعامل الآخر ψ كما هو موضح في الجدول 3.

الجدول 3: قيم المعامل ψ للتصاميم المعدلة.

التصميم	ψ [mm]
الشكل B-1 (Upper, Lower)	2610
الشكل C-1	870
الشكل D-1	652.5

1.1.1.1 نتائج اختبار إجهاد الانحناء

خضعت التصميمات الثلاثة المعدلة إلى اختبار إجهاد الانحناء وذلك بهدف مقارنة قيمة الإجهاد لكل تصميم مع القيمة المرجعية للإجهاد الموضحة في الشكل 10. أجريت الاختبارات الأربعة على قائم القرينة للسفينة المرجعية للحصول على نتائج معيارية سيتم استخدامها كقيم مرجعية، بحيث يتم تحديد قيم إجهاد الانحناء والازاحة والانفعال والانبعاج للنموذج المدروس، والتي سنتم مقارنتها مع نتائج اختبار التصميم المعدل بهدف التأكد من دقة التصميم من أجل تحقيق وتحسين المتانة عند أقل عدد ممكن لعناصر التقوية. يظهر الشكل 15 نتائج اختبار الإجهاد للتصاميم المعدلة.



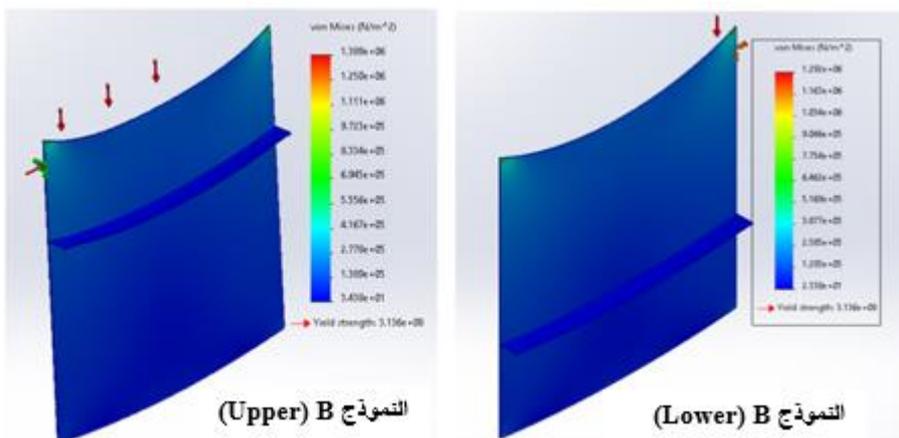
الشكل 15: نتائج اختبار الإجهاد للتصاميم المعدلة.

الجدول 4: نتائج اختبار الاجهاد للتصاميم ومقارنتها مع القيمة المرجعية.

التصميم	Stress Value [MPa]
النموذج A (القيمة المرجعية)	129.8
النموذج B (Upper)	129
النموذج B (Lower)	128.9
النموذج C	129.9
النموذج D	129.8

من الجدول 4 نلاحظ أن قيمة الإجهاد الذي تتعرض له للتصاميم المعدلة قريبة جدا من قيمة الإجهاد المرجعية، حيث تظهر النتائج أن النموذج B (Lower) في الشكل 15 هو الذي يتعرض لقيم إجهاد [MPa] 128.9 أقل مقارنة مع باقي النماذج وبالتالي هو الأفضل من ناحية مقاومته للضغوط الشاقولية التي يتعرض لها في الأسفل.

تم حساب قيمة الإجهاد الذي يتعرض له النموذج B نتيجة للضغوط الشاقولية المطبقة من الأعلى كما يظهر في الشكل 16، حيث بلغت قيمة إجهاد الانحناء للنموذج B (Lower) 129.2 [MPa]، وبلغت القيمة للنموذج B (Upper) 138.9 [MPa].



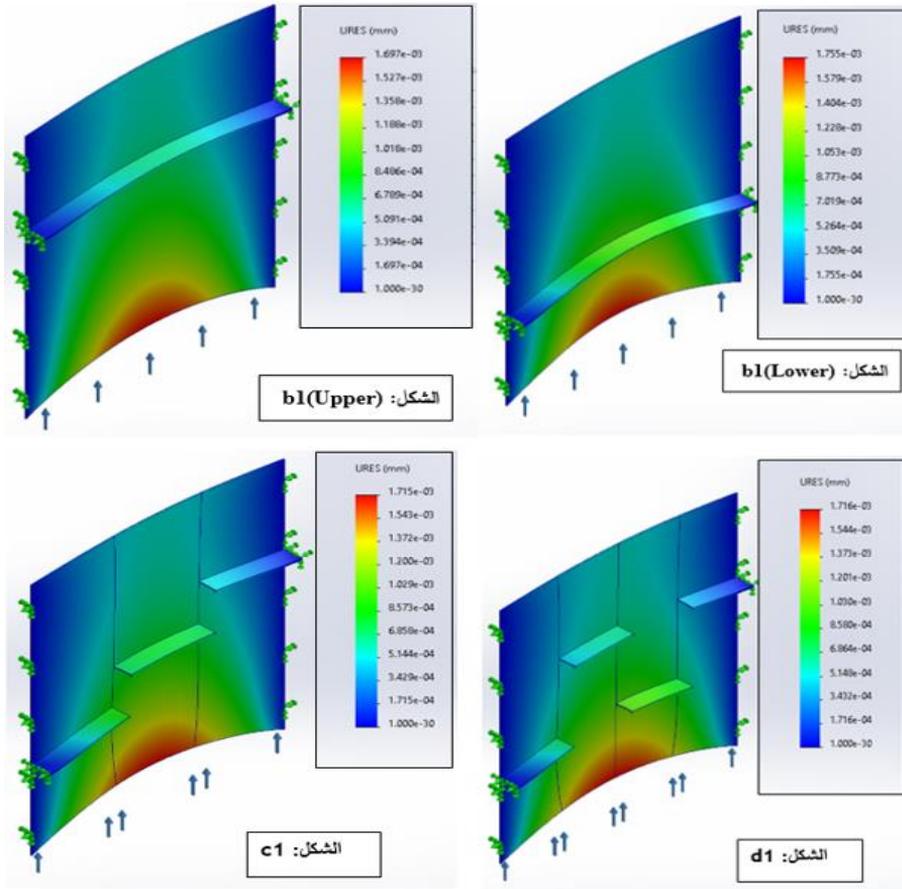
الشكل 16: قيمة إجهاد الانحناء للنموذج B نتيجة للضغوط الشاقولية المطبقة من الأعلى.

دراسة تصميمية لتحسين مائة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks

نتيجة تناظر تموضع عنصر التقوية الطولي على قائم القرينة في النموذج C والنموذج D، فإن قيمة إجهاد الانحناء الذي يتعرض له قائم القرينة بفعل الضغوط الشاقولية من الأعلى والأسفل ستكون نفسها والمعبر عنها ضمن الجدول 4.

1.1.1.2 نتائج اختبار (URES) Displacement

خضعت التصميمات الثلاثة المعدلة إلى اختبار الإزاحة وذلك بهدف مقارنة قيمة الإزاحة لكل تصميم مع القيمة المرجعية للإزاحة الموضحة في الشكل 11 وبالبالغة قيمتها 0.001745 mm. يظهر الشكل 17 نتائج اختبار الإزاحة للتصاميم المعدلة.



الشكل 17: نتائج اختبار الإزاحة للتصاميم المعدلة.

الجدول 5: نتائج اختبار الإزاحة للتصاميم ومقارنتها مع القيمة المرجعية.

التصميم	Displacement (URES) Values [mm]
النموذج A (القيمة المرجعية)	0.001745
النموذج B (Upper)	0.001697
النموذج B (Lower)	0.001775
النموذج C	0.001715
النموذج D	0.001716

من الجدول 5 نلاحظ أن قيمة الإزاحة التي تتعرض له للتصاميم المعدلة قريبة من قيمة الإزاحة المرجعية، حيث تظهر النتائج أن النموذج B (Upper) في الشكل 17 هو الذي يتعرض لقيمة إزاحة أقل مقارنة مع باقي النماذج، وبالتالي هو الأفضل من ناحية مقاومته للضغوط الشاقولية التي يتعرض لها في الأسفل.

يوضح الجدول 6 قيم نتائج الاختبارات التي أجريت على قائم القرينة للسفينة المرجعية المدروسة وعلى النماذج المعدلة، حيث شملت هذه الاختبارات:

- I. Stress - Lower Pressure [MPa]: إجهاد الانحناء بفعل الضغوط الشاقولية من الأسفل.
- II. Stress - Upper Pressure [MPa]: إجهاد الانحناء بفعل الضغوط الشاقولية من الأعلى.
- III. Displacement (URES) [mm]: اختبار الإزاحة الكلي المكافئ.
- IV. Strain: الانفعال.
- V. Buckling T1 - Upper Pressure: اختبار الانبعاج تحت تأثير الضغوط الشاقولية من الأعلى حيث تم تثبيت قائم القرينة من الأسفل بألواح القاع الخارجي Outer Shell Plating.
- VI. Buckling T1 - Lower Pressure: اختبار الانبعاج تحت تأثير الضغوط الشاقولية من الأسفل حيث تم تثبيت قائم القرينة من الأعلى بألواح القاع الداخلي Inner Shell Plating.
- VII. Buckling T2 - Upper Pressure: اختبار الانبعاج تحت تأثير الضغوط الشاقولية من الأعلى حيث تم تثبيت قائم القرينة من الجانبين باستخدام Solid Floor.

دراسة تصميمية لتحسين متانة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks

- VIII. Buckling T2 - Lower Pressure: اختبار الانبعاج تحت تأثير الضغوط الشاقولية من الأسفل حيث تم تثبيت قائم القرينة من الجانبين باستخدام Solid Floor.
- IX. SX: X Normal Stress [MPa]: إجهاد الانحناء الناتج عن تطبيق ضغوط محورية وفق الاتجاه الطولي للسفينة X.
- X. SY: Y Normal Stress [MPa]: إجهاد الانحناء الناتج عن تطبيق ضغوط محورية وفق الاتجاه العرضي للسفينة Y.
- XI. SZ: Z Normal Stress [MPa]: إجهاد الانحناء الناتج عن تطبيق ضغوط محورية وفق الاتجاه الشاقولي للسفينة Z.
- XII. TXY: Shear Stress [MPa]: إجهاد القص الناتج عن تطبيق ضغوط محورية على السطح XY.
- XIII. TXZ: Shear Stress [MPa]: إجهاد القص الناتج عن تطبيق ضغوط محورية على السطح XZ.
- XIV. TYZ: Shear Stress [MPa]: إجهاد القص الناتج عن تطبيق ضغوط محورية على السطح YZ.
- XV. UX: X Displacement [mm]: الإزاحة تحت تأثير ضغوط محورية وفق X.
- XVI. UY: Y Displacement [mm]: الإزاحة تحت تأثير ضغوط محورية وفق Y.
- XVII. UZ: Z Displacement [mm]: الإزاحة تحت تأثير ضغوط محورية وفق Z.

الجدول 6: نتائج الاختبارات الأخرى التي أجريت على التصاميم المعدلة.

الاختبار	النموذج A	النموذج B(Upper)	النموذج B(Lower)	النموذج C	النموذج D
.I	129.8	129	128.9	129.8	129.9
.II	129.8	138.9	129.2	129.8	129.9
.III	0.00174	0.00169	0.00175	0.00171	0.001716
.IV	3.824e-06	4.414e-06	4.415e-06	4.395e-06	3.822e-06
.V	17.65	17.63	17.7	17.72	17.72
.VI	17.65	17.7	17.63	17.72	17.72
.VII	16.35	16.47	16.38	16.43	16.41
.VIII	16.35	16.38	16.47	16.43	16.41
.IX	66.21	65.97	65.98	65.86	66.23

.X	66.21	65.97	65.98	65.86	66.23
.XI	154.5	153.9	154	153.7	154.5
.XII	4.43	5.809	5.811	5.883	3.858
.XIII	7.519	7.528	7.576	7.911	7.685
.XIV	54.21	54.38	54.34	54.68	54.41
.XV	6.485e-06	9.824 e-06	9.827 e-06	9.715 e-06	1.184 e-05
.XVI	1.694e-03	1.697 e-03	1.695 e-03	1.696 e-03	1.696 e-03
.XVII	3.601e-04	3.578 e-04	3.607 e-04	3.589 e-04	3.59 e-04

7.3. مناقشة النتائج

- تظهر نتائج الاختبارات السابقة أن النموذج المعدل B يمتلك خصائص تصميمية وإنشائية أفضل مقارنة مع باقي النماذج A,C,D، وهذا مرده إلى الخصائص التالية:
 - يمتلك قيم أقل لإجهاد الانحناء الذي يتعرض له النموذج B وفق الاختبارين I، II.
 - يمتلك قيمة إزاحة أقل وفق الاختبارات III، XV، XVI، XVII.
 - يمتلك قيمة أقل للانفعال وفق الاختبار IV.
 - يمتلك قيم منخفضة للانحراف δ وفق اختبارات الانبعاج V، VI، VII، VIII.
- بمقارنة نتائج الاختبارات B(Upper)، B(Lower) نجد أن النموذج B(Lower) هو الأفضل من ناحية المتانة التي يحققها تحت تأثير الضغوط الشاقولية والمحورية.
3. تعطى العلاقة العامة للإجهاد المكافئ Von Mises Stress

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_z - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)} \quad (7)$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(66.23 - 66.23)^2 + (154.5 - 66.23)^2 + (66.23 - 154.5)^2] + 3(4.43^2 + 7.519^2 + 54.21^2)}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{7784 + 9024} \approx 129.6 \text{ [MPa]}$$

دراسة تصميمية لتحسين متانة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks

هذه القيمة الحسابية تطابق القيمة الرقمية المحسوبة في الشكل 18 وهي أقل من حد الخضوع للمادة $Yield\ Strength\ AH32 = 313 [MPa]$ ، وهو ما يدل على أن التصميم يتحمل الإجهاد المطبق عليه دون الدخول في مرحلة الخضوع.

4. يتم التحقق من حدود الأمان بناء على قيمة الإجهاد المحسوبة من خلال معامل الأمان SF والمعطى بالعلاقة:

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_{VM}} = \frac{313}{129.6} = 2.43 \quad (8)$$

حيث تنص القواعد الموحدة IACS CSR-B (Common Structural Rules[18]) على أن الحد الأدنى لمعامل الأمان (على إجهاد الخضوع) في حالات التشغيل الدائم هو: $SF \approx 1.5$ - 2 حسب نوع العنصر ووظيفته. في حين أن قيمة معامل الأمان وفق [19] DNV-RP-C201 يجب أن تكون: $SF \geq 1.67$ لحالات التشغيل العادية، $SF \geq 2.0$ للحالات الحرجة أو غير المتكررة ومنه فإن قيمة معامل الأمان تتوافق مع توصيات DNV تمامًا.

5. يتم حساب الإزاحة الطولية المحورية الموزعة على كامل الطول نتيجة إجهاد طولي منتظم بالعلاقة التالية:

$$\delta = \frac{\sigma L}{E}, \quad \delta = \frac{FL^3}{3EI} \quad (9)$$

ومنه فإن قيمة الإزاحة للنموذج B_Lower $\delta = \sigma L/E = 1.289 \times 10^6 \times 2.610 / (2.1 \times 10^{11}) \approx 0.016 [mm]$

تنص القواعد العامة IACS CSR-B Rules على أن الإزاحة المسموح بها للعناصر الهيكلية يجب ألا تتجاوز $\delta_{max} = L/200 = \frac{2610}{200} = 13.05 [mm]$ كما توصي DNV-RP-C201 بأن الإزاحة القصوى $\delta_{max} = L/(250 \sim 300) = 2610/250 = 10.44 [mm]$ وبالتالي فإن قيمة الإزاحة للنموذج B (Lower) الناتجة عن الضغط الشاقولي الموزع على قائم القرينة تحت ظروف تشغيلية تماثل الحالة الفارغة (Ballast) تقع بالكامل ضمن المجال المرن للمادة AH32، ولا تشير إلى أي فشل أو تشوه دائم، بل تعكس استجابة مرنة طبيعية.

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية والكهربائية والمعلوماتية
مما يثبت أن النموذج الإنشائي المقترح يحقق كفاءة ممتازة من ناحية مقاومة التشوه تحت الضغط التصميمي، ويظهر توافقًا تامًا مع حدود الأمان الدولية.

6. تعطى معادلة أولير لحساب الانبعاج بالعلاقة التالية:

$$\delta = \frac{P_{cr}}{k}, P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}, k = 48EI/L^3 \quad (10)$$

حيث:

K: معامل الطول الفعال (يعتمد على نوع تثبيت الأطراف).

K=1 لتثبيت بسيط ، K=0.5 لتثبيت من الجانبين.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^{11} \times 4.07 \times 10^{-5}}{(2.61 \times 1)^2} = 1.242 \times 10^7 N$$

$$k = \frac{48EI}{(L)^3} = \frac{48 \times 2.1 \times 10^{11} \times 4.07 \times 10^{-5}}{(2.61)^3} = 9.3 \times 10^8 N/m$$

$$\delta = \frac{1.242 \times 10^7}{9.3 \times 10^8} \approx 13.3 [mm]$$

بمقارنة قيمة الانبعاج التحليلية مع القيمة العددية FEA في الجدول 6 والتي تبلغ [mm] 17.7 نجد أن الفرق هو [mm] 4.4، أي أن قيمة الانبعاج العددي أكبر من التحليلي بـ 1.3 وهو أمر متوقع تمامًا. يعزى هذا الفرق إلى أن النماذج العددية تأخذ في الحسبان التأثيرات الهندسية الثلاثية، توزيع السماكات، الشروط الحدية الواقعية، في حين أن التحليل النظري يفترض حالات مثالية مبسطة. ورغم ذلك، تبقى القيم متقاربة وفي نفس الرتبة، مما يعزز مصداقية النمذجة العددية ودقة الشبكة المستخدمة.

8. الاستنتاجات والتوصيات

8.1. الاستنتاجات

من خلال هذه الدراسة يمكن الوصول إلى الاستنتاجات التالية:

- ✓ أظهرت نتائج الاختبارات السابقة للنماذج التصميمية المقترحة ومقارنتها مع التصميم المرجعي بأن استخدام عنصر تقوية واحد وفق النموذج التصميمي B1 يحقق خصائص إنشائية أفضل مقارنة مع النماذج الأخرى المقترحة.
- ✓ يتميز النموذج B1 بمميزات إنشائية مقارنة مع التصميم المرجعي A1 وخاصة فيما يتعلق باختبارات الإجهاد والانفعال والإزاحة والانبعاج.
- ✓ إن استخدام النموذج B1 يحقق توفيراً في الوزن مقارنة مع التصميم المرجعي A1، وهذا من شأنه يقلل من تكاليف إنتاج السفينة [20], [10].
- ✓ تم حساب معامل الأمان لجميع النماذج التصميمية، وقد بيّنت النتائج أن جميع القيم تقع ضمن النطاق المسموح به وفقاً لمعايير IACS CSR-B و DNV-RP-C201. النموذج الأفضل (B-Lower) حقق معامل أمان قدره 2.43، وهو أعلى من القيم الدنيا المطلوبة (1.67-2.0)، مما يدل على كفاءة التصميم المقترح.
- ✓ القيم الناتجة ضمن المجال الأمان المحدد بواسطة معايير [IACS, 2022] و [DNV]، حيث أن إجهاد فون ميسيس لم يتجاوز 41% من قيمة الخضوع لمادة AH32، مما يضمن الأمان التصميمي المطلوب.

8.2. التوصيات

استناداً إلى النتائج العددية والتحليلية التي تم التوصل إليها في هذا البحث، يُوصى باعتماد النموذج (Lower) B كتصميم مقترح لقوائم القرينة في السفن من نوع Bulk Carrier، وذلك نظراً لما أثبتته من أداء إنشائي متميز من حيث:

- انخفاض قيم الإجهاد المكافئ (Von Mises) مقارنة بالنموذج المرجعي،

تحسين سلوك الانبعاج بشكل ملحوظ ضمن الحدود المسموح بها حسب معايير التصنيف (IACS CSR-B)، (DNV-RP-C201)،

- تقليل الإزاحة الكلية مع الحفاظ على صلابة كافية لتحمل الأحمال المركبة.
- كما يتميز النموذج المقترح بكفاءة في توزيع عناصر التقوية الطولية بما يساهم في تحقيق توازن بين تقليل الوزن الكلي ورفع مستوى المتانة والاستقرار المحلي.

وعليه، توصي الدراسة بدمج هذا التصميم ضمن مراحل التطوير الهندسي الأولي لتصاميم الهياكل الجانبية في السفن، كما يُقترح إجراء دراسة إضافية على تأثير هذا التصميم ضمن نموذج كامل الهيكل (Global Model) في المستقبل للتأكد من توافقه مع متطلبات الأداء الشامل للسفينة.

8.3. التوصيات للأعمال المستقبلية

تم في هذا البحث تثبيت قيمة الموقع الشاقولي لعنصر التقوية ξ وتغيير قيمة طول عنصر التقوية المستخدم ψ وبالتالي عدد هذه العناصر، لذلك نوصي من خلال نتائج هذه الدراسة بالأمر التالي:

✓ إعادة نفس الاختبارات على النماذج المقترحة بتثبيت قيمة المعامل ψ وتغيير قيمة المعامل ξ .

✓ تغيير شكل عنصر التقوية Bulb Bar واستخدام عناصر تقوية ذات مقاطع عرضية أخرى [21]T,L وباستخدام نفس المنهجية المتبعة في هذه الدراسة من خلال تغيير قيم المعاملات ξ و ψ .

✓ تم الاقتصار على الحالة الستاتيكية الشاقولية للسفينة ولم تُدرج الأحمال الجانبية أو الديناميكية لسببين: السبب الأول: لتثبيت الفروقات التصميمية في نموذج واحد فقط دون تعقيد متعدد المتغيرات. وأما السبب الثاني: لأن الأمواج الجانبية تتطلب إدخال الزمن في الحسابات (Transient/Dynamic) وهذا خارج نطاق البحث الحالي. ومنه يمكن التوصية ببحث مستقبلي يعتمد نمذجة الأمواج الجانبية باستخدام Spectrum Wave Loads أو تطبيق الأحمال الديناميكية بواسطة معامل التضخيم الديناميكي σ_{dyn}

حيث أن: σ_{dyn} الإجهاد الديناميكي الفعلي الناتج عن حمل متغير بمرور الزمن. σ_{stat} الإجهاد الناتج عن نفس الحمل في حالته الساكنة (الاستاتيكية). γ معامل تضخيم ديناميكي (Dynamic Amplification Factor).

References:

- [1] H. K. K. Amlashi and T. Moan, "Ultimate strength analysis of a bulk carrier hull girder under alternate hold loading condition - A case study. Part 1: Nonlinear finite element modelling and ultimate hull girder capacity," *Mar. Struct.*, vol. 21, no. 4, pp. 327–352, 2008, doi: 10.1016/j.marstruc.2007.12.006.
- [2] J. K. Paik, D. K. Kim, D. H. Park, H. B. Kim, A. E. Mansour, and J. B. Caldwell, "Modified Paik-Mansour formula for ultimate strength calculations of ship hulls," *Ships Offshore Struct.*, vol. 8, no. 3–4, pp. 245–260, 2013, doi: 10.1080/17445302.2012.676247.
- [3] V. Piscopo and A. Scamardella, "Incidence of Pitting Corrosion Wastage on the Hull Girder Ultimate Strength," *J. Mar. Sci. Appl.*, vol. 20, no. 3, pp. 477–490, Sep. 2021, doi: 10.1007/s11804-021-00218-x.
- [4] N. Zhao, B. Q. Chen, Y. Q. Zhou, Z. J. Li, J. J. Hu, and C. Guedes Soares, "Experimental and numerical investigation on the ultimate strength of a ship hull girder model with deck openings," *Mar. Struct.*, vol. 83, p. 103175, May 2022, doi: 10.1016/J.MARSTRUC.2022.103175.
- [5] R. Adiputra, T. Yoshikawa, and E. Erwandi, "Reliability-based assessment of ship hull girder ultimate strength," *Curved Layer. Struct.*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.1515/cls-2022-0189.
- [6] I. Faqih, R. Adiputra, A. R. Prabowo, N. Muhayat, S. Ehlers, and M. Braun, "Hull girder ultimate strength of bulk carrier (HGUS-BC) evaluation: Structural performances subjected to true inclination conditions of stiffened panel members," *Results Eng.*, vol. 18, no.

- [7] F. Ahmadi and A. R. Ranji, "Reliability assessment of ship hull girders considering pitting corrosion and crack," *Eng. Res. Express*, vol. 6, no. 1, Mar. 2024, doi: 10.1088/2631-8695/ad2641.
- [8] J. Abedin, F. Franklin, and S. M. I. Mahmud, "Linear Longitudinal Strength Analysis of a Multipurpose Cargo Ship under Combined Bending and Torsional Load," *J. Mar. Sci. Eng. 2024, Vol. 12, Page 59*, vol. 12, no. 1, p. 59, Dec. 2023, doi: 10.3390/JMSE12010059.
- [9] A. Pintilie *et al.*, "Optimization of bulk carrier hull design through CAD modelling and FEM structural analysis – a case study," *Results Eng.*, vol. 26, p. 104846, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.RINENG.2025.104846.
- [10] A. I. Yousef, "Evaluation of the Ship's Panels Weight Reinforced with Structural Elements Based on their Shape and the Distance between them," *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 45, no. 1, pp. 77–91, 2023.
- [11] Z. Shu and T. Moan, "Ultimate hull girder strength of a bulk carrier under combined global and local loads in the hogging and alternate hold loading condition using nonlinear finite element analysis," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 1, pp. 94–113, Mar. 2012, doi: 10.1007/s00773-011-0147-9.
- [12] H. P. Singh, A. Rawat, A. R. Manral, and P. Kumar, "Computational analysis of a gas turbine blade with different materials," *Mater. Today Proc.*, vol. 44, pp. 63–69, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2020.06.486.
- [13] M. Yadav, A. Misra, A. Malhotra, and N. Kumar, "Design and analysis of a high-pressure turbine blade in a jet engine using advanced materials," *Mater. Today Proc.*, vol. 25, pp. 639–645, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.MATPR.2019.07.530.
- [14] S. Mishra and A. V. Ullas, "Concept Modelling of Small Scale Device for Continuous Production of Graphene using Solidworks,"

- Mater. Today Proc.*, vol. 79, pp. 345–348, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.12.034.
- [15] A. Arora, A. Pathak, A. Juneja, P. Shakkarwal, and R. Kumar, “Design & analysis of progressive die using SOLIDWORKS,” *Mater. Today Proc.*, vol. 51, pp. 956–960, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.06.335.
- [16] R. Abdallah *et al.*, “The use of SolidWorks in the evaluation of wind turbines in Palestine,” *Energy Nexus*, vol. 7, p. 100135, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.NEXUS.2022.100135.
- [17] K. Vardaan and P. Kumar, “Design, analysis, and optimization of thresher machine flywheel using Solidworks simulation,” *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 3651–3655, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.12.348.
- [18] M. W. Nieuwenhuijs, J. F. Segretain, and P. Baumans, “IACS common structural rules for bulk carriers,” *RINA, R. Inst. Nav. Archit. Int. Conf. - Des. Oper. Bulk Carriers*, vol. 2005, no. January 2006, pp. 11–21, 2005.
- [19] Det Norske Veritas, “Buckling strength of plated structures, DNV-RP-C201,” *Recomm. Pract. DNV-RPC201, Høvik, Norw.*, no. OCTOBER, 2002.
- [20] G. Ahmad, H. Issa, S. AL Ali, and A. Issam Yousef, “Studying the Strength of Stiffened Panels in Double Bottom of Bulk Carrier under the Influence of Vertical Pressure and Horizontal Axial Forces using FEA,” *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. Sci. Ser.*, vol. 46, no. 4, p. 2024.
- [21] A. E. Yousef, “Effect of Stiffeners Type I on the Strength of Stiffened Panels of Ships,” *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 41, no. 5, pp. 579–601, 2019.