

Studying the Strength of Stiffened Panels in Double Bottom of Bulk Carrier under the Influence of Vertical Pressure and Horizontal Axial Forces using FEA

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

(Received 5 / 7 / 2024. Accepted 12 / 8 / 2024)

□ ABSTRACT □

This research focuses on the strength analysis of stiffened panels in the double bottom of a bulk carrier ship, using Finite Element Analysis (FEA). The cross-sectional shape of the ISSC-2000 bulk carrier was considered.

Using two types of Stiffeners, T and L, thirty tests for each type were conducted by FEA to predict the response of stiffened panels with including stress, buckling, and deformation, under vertical pressure and horizontal forces.

It was concluded that it is necessary to use L-section strengthening elements in structure section of ships with longitudinal framing. These stiffeners offer more strength and stiffness than T-Section for the structural panels.

Keywords: FEA, Stiffened Panels, Stress, Strain, Displacement, Bulk Carrier, ISSC.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

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

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

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

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

دراسة متانة الألواح المقواة في القاع المزدوج لسفينة بضائع سائبة تحت تأثير الضغط الشاقولي والقوى المحورية باستخدام طريقة تحليل العناصر المحددة FEA

د. غالب أحمد*

د. هيثم عيسى**

د. سليمان العلي***

علي عصام يوسف****

(تاريخ الإيداع 5 / 7 / 2024. قُبِلَ للنشر في 12 / 8 / 2024)

□ ملخص □

تركز هذا البحث على دراسة متانة الألواح المقواة في القاع المزدوج لسفينة بضائع سائبة، وذلك باستخدام طريقة تحليل العناصر المحددة (Finite Element Analysis) FEA. حيث تم الاعتماد على المقطع العرضي لسفينة البضائع السائبة ISSC-2000. باستخدام نوعين من عناصر التقوية L,T تم إجراء ثلاثون اختبار لكل نوع باستخدام طريقة تحليل العناصر المحددة FEA للتنبؤ باستجابة القطاعات المقواة، والتي تشمل الإجهاد، الانبعاج، والتشوه لهذه القطاعات، تحت تأثير الضغط الشاقولي والقوى المحورية. تم الاستنتاج أنه من الضروري استخدام عناصر التقوية ذات المقطع L في المقاطع الإنشائية للسفن المقواة طويلاً. تقدم عناصر التقوية ذات المقطع L متانة أكبر من تلك التي تقدمها العناصر ذات المقطع T للقطاعات الإنشائية.

الكلمات المفتاحية: تحليل العناصر المحددة، FEA، الألواح المقواة، الإجهاد، الانفعال، التشوه، ISSC سفن البضائع السائبة.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. ايميل:

dr.ghalebyousefahmad@tishreen.edu.sy

** أستاذ مساعد - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. ايميل:

dr.heithamvounessisa@tishreen.edu.sy

* مدرس - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. _____

slimanalali87@gmail.com

** طالب دكتوراه - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

ali.issam.yousef@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تعتبر الألواح المقواة هي العنصر الرئيسي في البنية الهيكلية الإنشائية في السفن، وتعتبر استجابتها الإنشائية تحت مختلف أنواع الأحمال (أحمال الشد والضغط، الأحمال المركزة) موضوعاً ذو أهمية كبيرة في تصميم السفن وخاصة في مرحلة التصميم التفصيلي Detail Design. فخلال العقود الماضية، انتقل التركيز على التصميم الإنشائي من مرحلة دراسة الإجهاد المسموح إلى دراسة الحالة الحدية للقطاعات الإنشائية، لأن هذا النهج يسمح بإنشاء هيكل مصمم بدقة وبنفس الوقت تحقيق اقتصادية عالية لأنه يدرس بشكل مباشر أنماط الانهيار التي يتعرض لها القطاع الإنشائي [1]. قام (Zhang S 2016) [2] بتقديم مراجعة ودراسة لطرق تحليل المتانة النهائية للألواح الفولاذية والألواح المقواة تحت تأثير الضغوط المحورية. حيث توصل إلى صيغة مطورة للمتانة النهائية للعناصر الإنشائية وذلك باستخدام تحليل شامل غير خطي للعناصر المحددة باستخدام 110 نماذج درست متانة العناصر الإنشائية.

وتم تقييم الاستجابة الهيكلية للألواح المقواة تحت تأثير الضغوط الأحادية بهدف تقييم فعالية الأساليب البديلة في الحصول على مجالات الإجهاد الثانوية الدقيقة، من خلال استخدام العلاقات التحليلية (Paik, Schade, CSR, Miller) وأدوات التحليل العددي (طريقة العناصر المنتهية FEM) [3].

درس [4] Dong Hun Lee المتانة النهائية لبدن سفن الحاويات تحت تأثير عزوم الانحناء الشاقولي وعزوم الالتواء مع اختلاف حجم السفينة باستخدام طريقة العناصر المحدودة الذكية ذات الحجم الكبير (Intelligent Supersize Finite Element Method (ISFEM)) كما قام [5] Segen F. Estefen بدراسة تأثير أوضاع النقص الهندسية الأولية على المتانة النهائية لبدن السفينة، من خلال إجراء التحليلات للألواح المقواة في القاع المزدوج لسفينة بضائع سائبة تتعرض لضغط محوري وذلك عن طريق ثني عارضة هيكل البدن.

مشكلة البحث

تتعرض السفينة عند إبحارها لقوى وعزوم تسبب إجهادات وتشوهات لمختلف العناصر الإنشائية. تشكل الألواح المقواة أحد العناصر الأساسية في إنشاء السفينة والتي تساهم في تحقيق المتانة الإنشائية ومنع التشوهات. تتعرض الألواح المقواة في قاع السفينة لضغوط هيدروستاتيكية وقوى محورية تسبب انبعاج هذه الألواح. يتوقف حدوث الانبعاج بشكل رئيسي على عناصر التقوية مما يتطلب أن تكون عنصر التقوية ذات صلابة كافية لمنع انبعاجه، لذلك يتطلب أن تكون عناصر التقوية بحجوم معينة وتباعدات محددة وصلابة كافية للأخذ في الاعتبار انبعاج اللوح المقوى.

أهمية البحث وأهدافه:

يتم تعريف الحالة الحدية للعنصر الإنشائي من خلال وصف الحالة التي يفشل فيها هذا العنصر في أداء الوظيفة المحددة بتحقيق المتانة المطلوبة، حيث أن هناك أربعة أنواع من الحالات الحدية ذات صلة بالعناصر الإنشائية وهي: حالة حد إمكانية الخدمة (Serviceability Limit State (SLS) وحالة الحد النهائي Ultimate Limit State (ULS) وحالة حد التعب (Fatigue Limit State (FLS) وحالة الحد العرضي Accidental Limit State (ALS)، وذلك من وجهة نظر التصميم الإنشائي [1]. ومنه فإن أهمية هذا البحث هو دراسة الحالة الحدية النهائية لهيكل الألواح الفولاذية المقواة تحت تأثير ضغط شاقولي وأحمال أحادية المحور. وعليه يمكن تلخيص أهداف البحث:

- دراسة متانة قطاع انشائي ضمن القاع المزدوج لمنطقة وسط سفينة بضائع سائبة.
- حساب فعالية هذا القطاع تحت تأثير الأحمال أحادية المحور.
- دراسة متانة القطاع باستخدام SolidWorks Simulation (FEA)، وذلك في حالة عنبر فارغ للسفينة وتحت تأثير الضغط الموزع على كامل القطاع.
- التوصل إلى شكل عنصر التقوية الأكثر تحقيقاً للمتانة الإنشائية، وذلك بالمحافظة على نفس مساحة المقطع العرضي لعناصر التقوية.

طرائق البحث ومواده:

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

✓ المقطع العرضي لسفينة بضائع سائبة ISSC-2000.

✓ برنامج الـ SolidWorks.

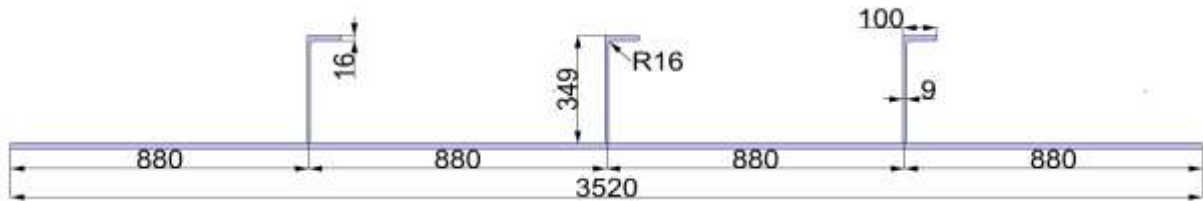
✓ طريقة الـ FEA.

منهجية البحث

المنهجية التي يقوم عليها هذا البحث هي منهجية تحليلية تجريبية في بيئة افتراضية، حيث تم في هذا البحث إجراء ثلاث اختبارات نمذجة على اللوح المقوى ضمن القطاع المدروس باستخدام SolidWorks Simulation Nonlinear، وهي دراسة متانة اللوح المقوى تحت تأثير ضغط شاقولي، وتحت تأثير قوى محورية طولية وعرضية، حيث أنّ كل اختبار يحتوي 10 حالات دراسية، حيث تم إجراء هذه الاختبارات على عناصر التقوية نوع T في البداية، وهذه الاختبارات هي:

1. Nonlinear-Stress
2. Nonlinear –Displacement
3. Nonlinear-Strain
4. Nonlinear-Stress: Shear Force on XY
5. Nonlinear-Stress: Shear Force on XZ
6. Nonlinear-Stress: Shear Force on YZ
7. Triaxial Stress (P1+P2+P3)
8. Nonlinear- Strain: Shear Force on XY
9. Nonlinear- Strain: Shear Force on XZ
10. Nonlinear- Strain: Shear Force on YZ

بعد الانتهاء من هذه الاختبارات تم تعديل اللوح المقوى من خلال استخدام عناصر تقوية ذات شكل حرف L بدل من حرف T وذلك بنبات قيمة مساحة المقطع العرضي لعنصر التقوية، حيث يوضح الشكل 1 شكل اللوح المقوى المعدل. ثم تم إعادة نفس الاختبارات السابقة وإجراء المقارنة بين النتائج.



الشكل 1: اللوح المقوى المعدل.

1. المعادلات الأساسية في الـ FEA

1.1 مفهوم تحليل العناصر المحددة FEA

تحليل العناصر المحددة (FEA) هو أسلوب عددي قوي يستخدم لمحاكاة وتحليل سيناريوهات العالم الحقيقي في مجالات مختلفة مثل الهندسة والفيزياء والميكانيك. ومن خلال تقسيم الهياكل المعقدة إلى عناصر أصغر وأكثر قابلية للإدارة، يسمح لنا FEA بالتنبؤ بدقة بكيفية تصرف هذه الأنظمة في ظل ظروف مختلفة. حيث يتيح ذلك للمهندسين والباحثين تحسين التصميمات وتحسين الأداء وخفض التكاليف دون بناء واختبار نماذج أولية متعددة. يقوم المبدأ الأساسي لـ FEA على أساس تقسيم الجسم المدروس إلى عدد "منته" Finite من الأجزاء تسمى بالعناصر Elements حيث يبدو الجسم على هيئة شبكة من العناصر تسمى Mesh. يتم بعد ذلك وضع مجموعة معينة من الشروط الحدية فيما يخص توابع المتغيرات المختلفة وذلك بالنسبة لجميع العناصر من خلال تعريف الخصائص المادية لهذه العناصر. و بعد ذلك يتم اخضاع الجسم لشروط معينة (أحمال، قوى، عزوم، حرارة....) واستخلاص القيم الناتجة عن توابع المتغيرات وذلك بالنسبة لكل عنصر. وهذه القيم سوف تكون أقرب ما يمكن إلى الحقيقة في أماكن محددة من العنصر والتي تسمى عقد Nodes. خلال هذه العملية يقوم البرنامج أو النظام الحسابي بإعداد مجموعة من المعادلات الجبرية من أجل القيم المجهولة بالنسبة لكل عنصر والتي بحلها نحصل على قيم تقريبية قريبة جداً من الطريقة التحليلية للدراسة. ويسبب أن حجوم العناصر وشكلها والمخططات التقريبية لها يمكن أن تختلف لتلائم المسألة المدروسة فإن هذه الطريقة يمكن أن تعطي حلولاً على درجة عالية من الدقة تُسخر من أجل إيجاد محاكاة Simulation للجسم المدروس خصوصاً إذا كان هذا الجسم معقداً من الناحية الهندسية لغرض دراسة سلوك هذا الجسم وفقاً للشروط المطبقة عليه.

1.2 المعادلة العامة المستخدمة في التحليل باستخدام العناصر المنتهية

$$[F]=[K]*[U] \quad (1)$$

حيث F مصفوفة القوى في العقد، k مصفوفة الصلابة، U مصفوفة الإزاحة في العقد.

$$[F]= \begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{1z} \\ \dots \\ F_{nx} \\ F_{ny} \\ F_{nz} \end{bmatrix} \quad [U]= \begin{bmatrix} U_{1x} \\ U_{1y} \\ U_{1z} \\ \dots \\ U_{nx} \\ U_{ny} \\ U_{nz} \end{bmatrix}$$

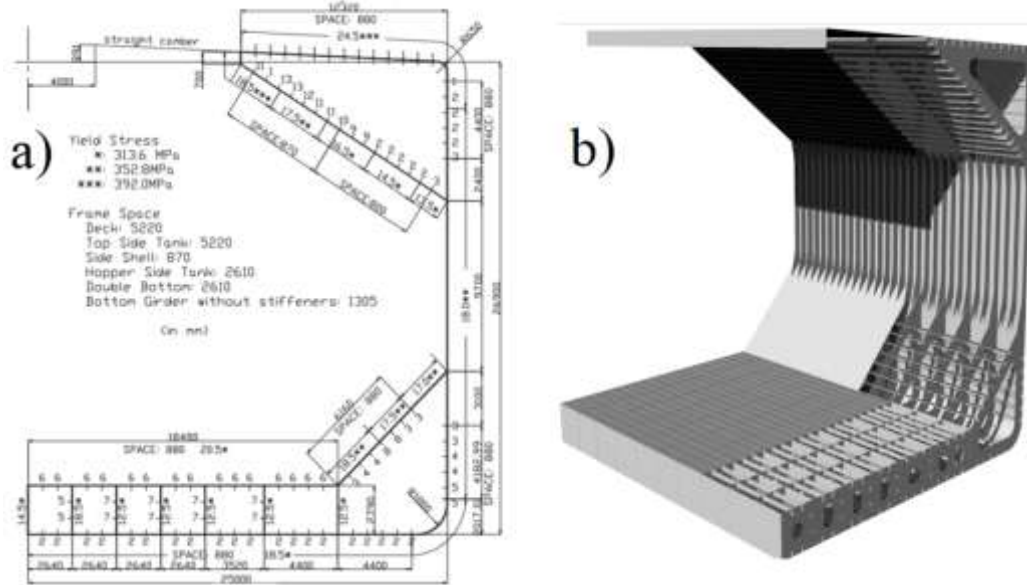
حيث U_x, U_y, U_z الإزاحات على طول المحاور الاحداثية، F_x, F_y, F_z القوى المؤثرة وفق اتجاه المحاور الاحداثية.

2. الأبعاد والخصائص الهندسية والبيئة الرقمية واعتباراتها

2.1 الخصائص التصميمية للقطاع المدروس

إن البدن والمقطع العرضي لسفينة بضائع سائبة المستخدم في هذا البحث تم الحصول عليه من تقرير لـ ISSC Committee V1.2-2000، حيث تم استخدام هذا البدن في عدة أبحاث ودراسات مرجعية تمت مقارنة نتائجها مع

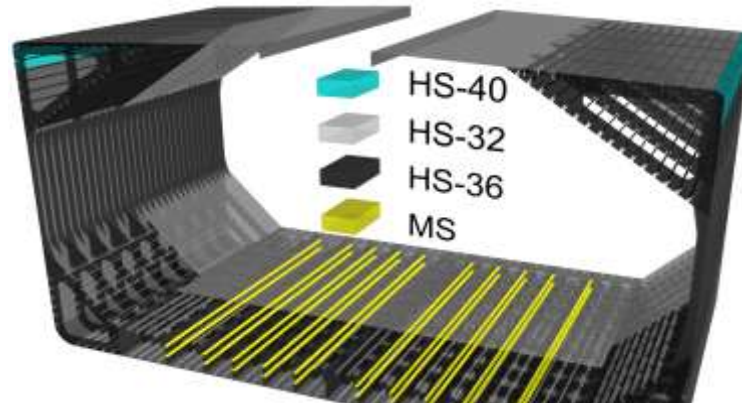
نتائج هذا البحث [10], [9], [8], [7], [6], حيث يوضح الشكل a-2 التصميم المرجعي ISSC-2000 [10] والشكل b-2 تصميم ثلاثي الأبعاد للتصميم المرجعي تم تنفيذه باستخدام برنامج Rhinoceros7.



الشكل 2: (b) تصميم ثلاثي الأبعاد للأبعاد للتصميم المرجعي. (a) التصميم المرجعي ISSC-2000.

2.2. خصائص المواد المستخدمة في بناء القطار [10]

تم استخدام أربعة أنواع من الفولاذ في بناء السفينة. حيث تم استخدام الفولاذ العالي المتانة (HS-40) في ألواح القص وعلى ارتفاع 2m بدءاً من السطح الرئيسي للسفينة Main Deck، والفولاذ الطري (MS) في التقويات من النوع Bulb (Stiffener7) وتم استخدام كل من (HS-32), (HS-36) في باقي الأجزاء. حيث يبين الشكل 3 توزيع المواد المستخدمة في بناء التصميم المرجعي، كما يوضح الجدول 1 خصائص هذه المواد.



الشكل 3: المواد المستخدمة في البناء.

الجدول 1: خصائص المواد المستخدمة في التصميم المرجعي.

	Yield stress (MPa)	Young's modulus E (MPa)	Strain	Poisson ratio
MS	235	210.000	825	0.3
HS-32	313.6	210.000	625	0.3
HS-36	352.8	210.000	675	0.3
HS-40	392	210.000	600	0.3

حيث أن:

Yield stress (MPa): الإجهاد.

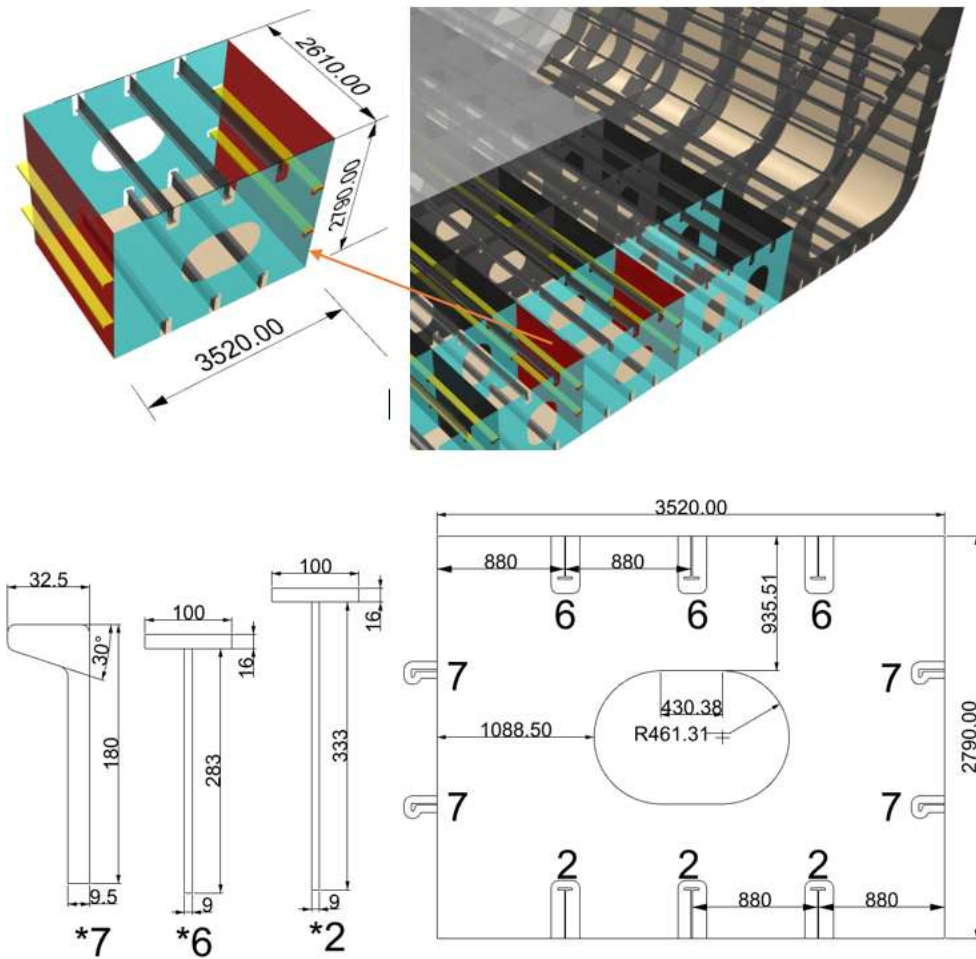
Young's modulus (MPa): E: معامل المرونة.

Strain: الانفعال.

Poisson Ratio: نسبة بواسون.

2.3 خصائص القطاع المستخدم في الدراسة

تم اختيار القطاع الموضح في الشكل 4 لإجراء الدراسة عليه، حيث يحتوي على نوعين من التقويات الطولية المستخدمة في التدعيم ذي المواصفات المحددة في الجدول 2.



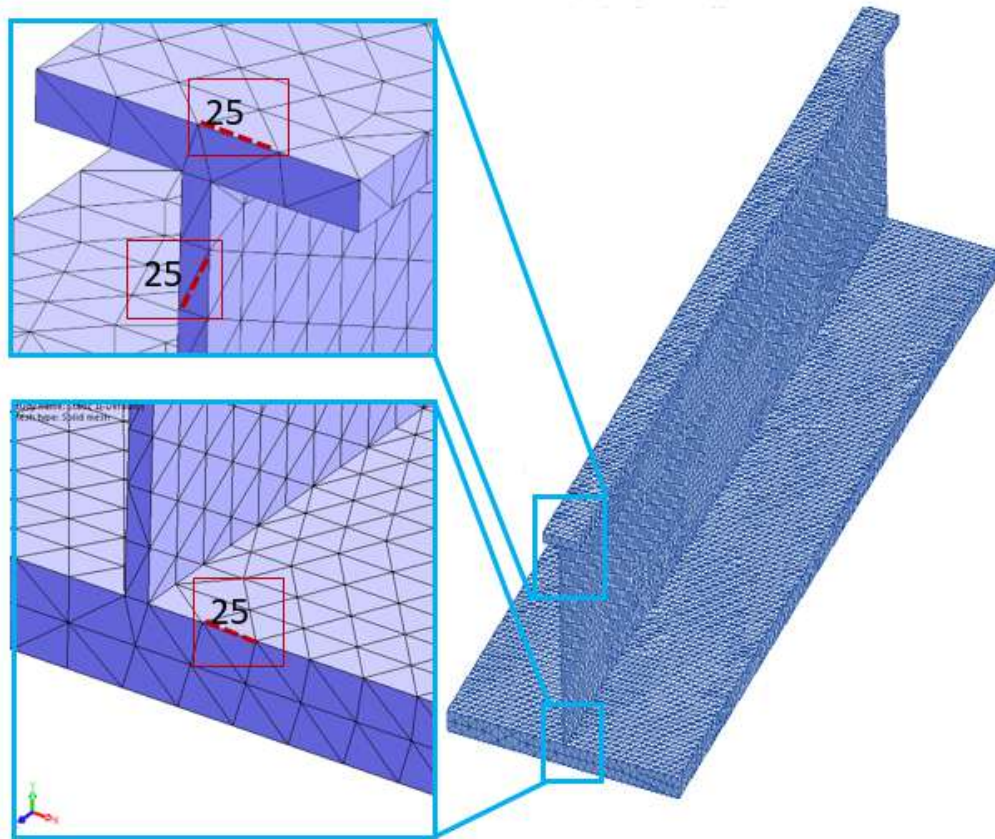
الشكل 4: القطاع المستخدم في الدراسة.

الجدول 2: خصائص عناصر التقوية المستخدمة في تدعيم الألواح المقواة [10].

No.	Dimensions	Type	$\sigma_Y (MPa)$
2	333x9+100x16	Tee-bar	352.8
6	283x9+100x16	Tee-bar	352.8
7	180x32.5x9.5	Bulb-bar	235.2

2.4. 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 التي تم الحصول عليها بتطبيقها على عنصر تقوية واحد. حيث بلغ عدد العناصر 16 عنصر بـ Web Stiffener، و4 عناصر بـ Flange Stiffener، حيث بلغ عدد عناصر الشبكة للقطاع المقوى بعناصر تقوية T 35179 عنصراً، و 34688 عنصراً للقطاع المقوى بعناصر التقوية نوع L.



الشكل 5: خصائص الشبكة المستخدمة في الدراسة.

2.5. الشروط الحدية

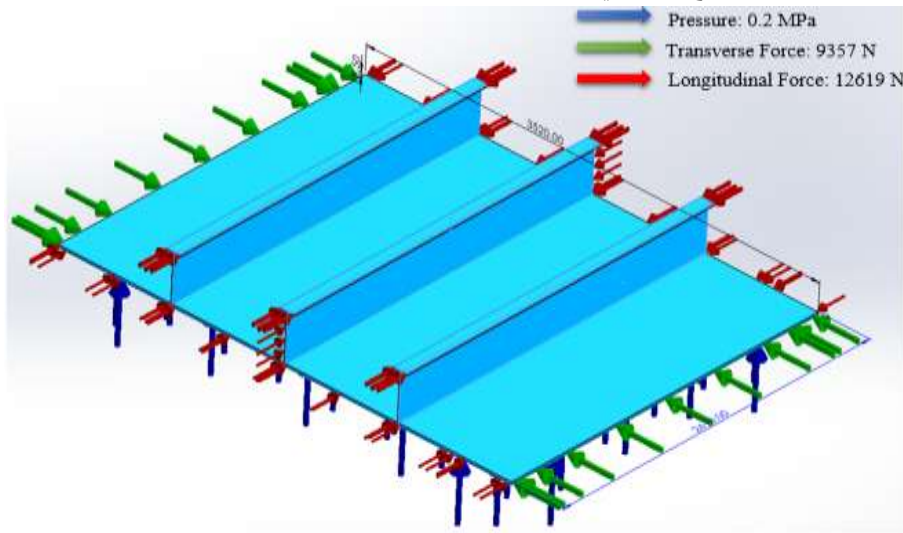
تعتبر عملية تحديد الشروط الحدية تحدياً رئيسياً في عملية النمذجة، ونظراً لأن الضغط البحري وضغط البضائع متماثل في المستوي الشاقولي، وبالتالي سيتم إجراء دراسة النمذجة على القطاع الانشائي المدروس تحت تأثير الضغط البحري. ومنه فإن قيمة ضغط المياه المطبق على السفينة يحسب بالمعادلة (2):

$$P = \rho gh \quad (2)$$

حيث تبلغ قيمة ضغط المياه المطبق عند غاطس السفينة 0.2MPa. وباستخدام المعادلة (3) تم حساب قيمة القوى المحورية المؤثرة.

$$F = P \times A \quad (3)$$

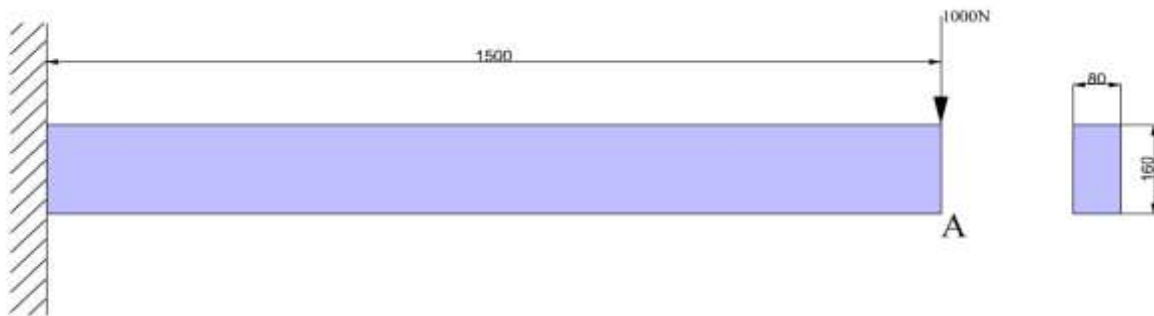
حيث بلغت قيمة القوى المؤثرة بالاتجاه الطولي 12619N، وبالاتجاه العرضي 9357N. حيث يوضح الشكل 6 الشروط الحديدية المطبقة على القطاع الانشائي المدروس.



الشكل 6: الشروط الحديدية.

2.6. معايرة الشبكة والإعدادات الرقمية

قبل البدء بإجراء الاختبارات على برنامج SolidWorks سوف نقوم بمعايرة الشبكة التي سيتم بناؤها من قبل البرنامج. ولتحقيق هذا الأمر سوف نقوم بإجراء تحليل عددي يدوي لحساب الإجهاد الأعظمي ومقدار الإزاحة لجائز بسيط يتعرض لقوة مركزة على نهاية الجائز وقيمتها 1000N إذا كان $Elastic Modulus = 210000 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$. حيث يوضح الشكل 7 الجائز البسيط وتوزع القوة عليه.



الشكل 7: جائز بسيط يتعرض لقوة مركزة بنهايته.

الحل:

يبين الشكل 8 توزيع ردود الأفعال والعزم حول المسند البسيط ومقدار القوة المطبقة على الجائز.



الشكل 8 : توزيع ردود الأفعال والعزم حول المسند البسيط.

$$\sum Fx = 0, \text{ then } Fx_B = 0 \quad (4)$$

$$\sum Fy = 0, \text{ then } Fy_B - 1000 = 0 \text{ then } Fy_B = 1000N \quad (5)$$

$$M_B = FL = 1000 \times 1.5 = 1500N.m \quad (6)$$

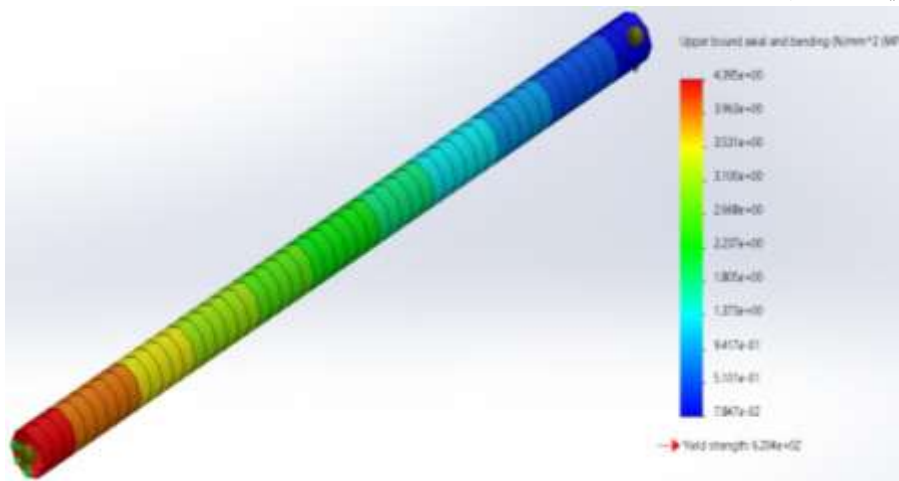
نحسب أقصى إجهاد انحناء axial and bending Upper bound والمعبر عنه بالمعادلة (7)، حيث أن M هي العزم الأقصى، و Z معامل المقطع العرضي للجائز.

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{Fl}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{1000 \times 1500}{\frac{80 \times 160^2}{6}} = 4.394 N/mm^2 \quad (7)$$

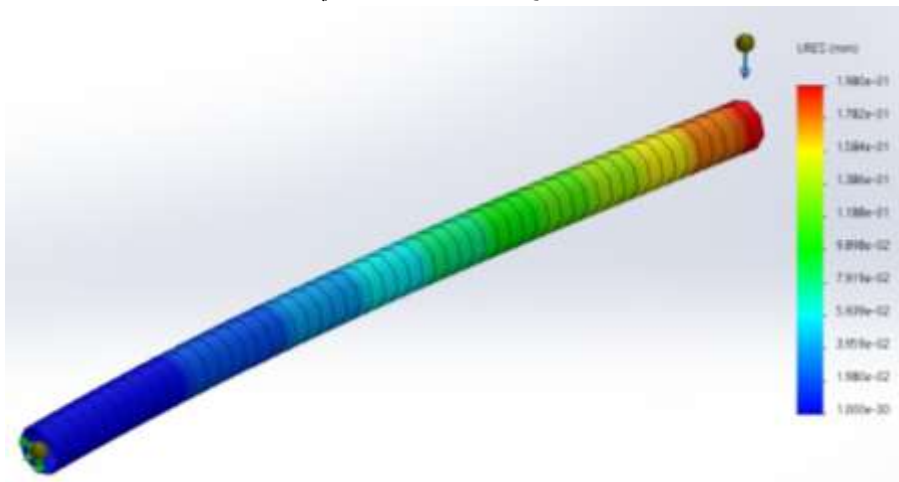
يتم حساب قيمة الإزاحة باستخدام المعادلة.

$$y = \frac{Fl^3}{3EI} = \frac{Fl^3}{3E \frac{bh^3}{12}} = 0.196 mm \quad (8)$$

بإجراء الاختبار باستخدام برنامج SolidWorks، يظهر الشكل 9 قيمة الإجهاد الأعظمي والبالغة $4.395N/mm^2$ ، و الشكل 10 قيمة الإزاحة والبالغة 0.198mm. بالمقارنة بين الحل العددي اليدوي 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.



الشكل 9 : نتائج اختبار الإجهاد الأعظمي للجائز.



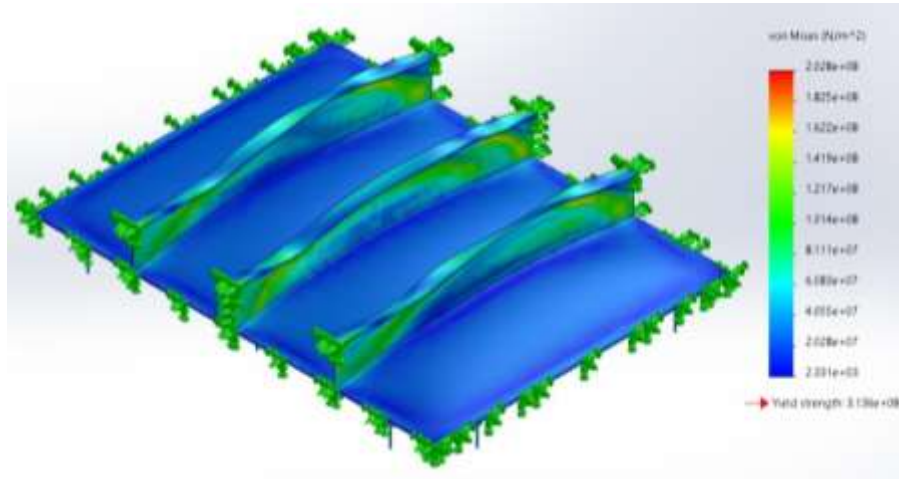
الشكل 10 : نتائج اختبار الإزاحة للجائز.

النتائج والمناقشة:

2.7. حالة اللوح المقوى بعناصر تقوية ذات مقطع T

• اختبارات النمذجة Nonlinear-Stress تحت تأثير ضغط شاقولي

يظهر الشكل 11 نتائج اختبار Nonlinear-Stress، حيث تظهر أن عناصر التقوية الطولية هي التي تتعرض للقيمة الكبرى من الضغط المطبق على اللوح المقوى والمقدرة قيمته 0.2 MPa.

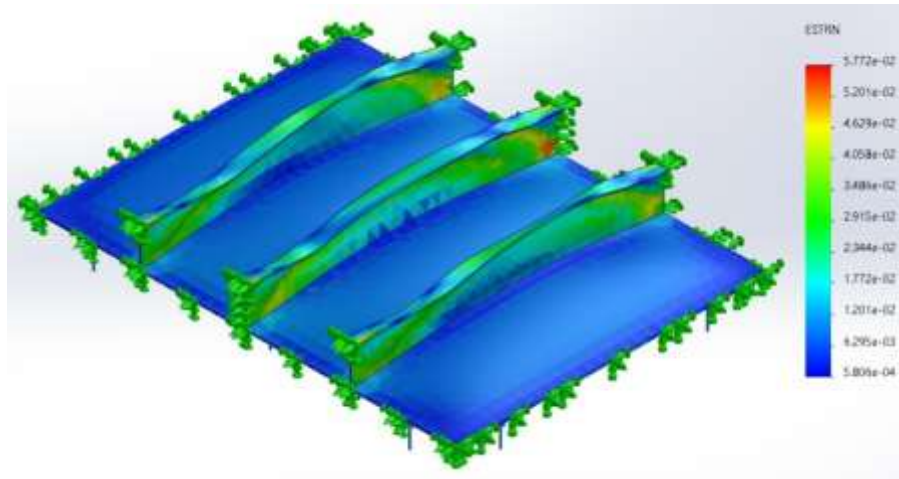


الشكل 11: Nonlinear-Stress.

نلاحظ من الشكل 11 أن الضغط يتوزع في منطقة عصب عنصر التقوية ومنطقة اتصال عنصر التقوية مع اللوح. حيث تبلغ القيمة العظمى للإجهاد $2.02e + 08 \left[\frac{N}{m^2} \right]$.

• اختبارات النمذجة Nonlinear-Strain تحت تأثير ضغط شاقولي

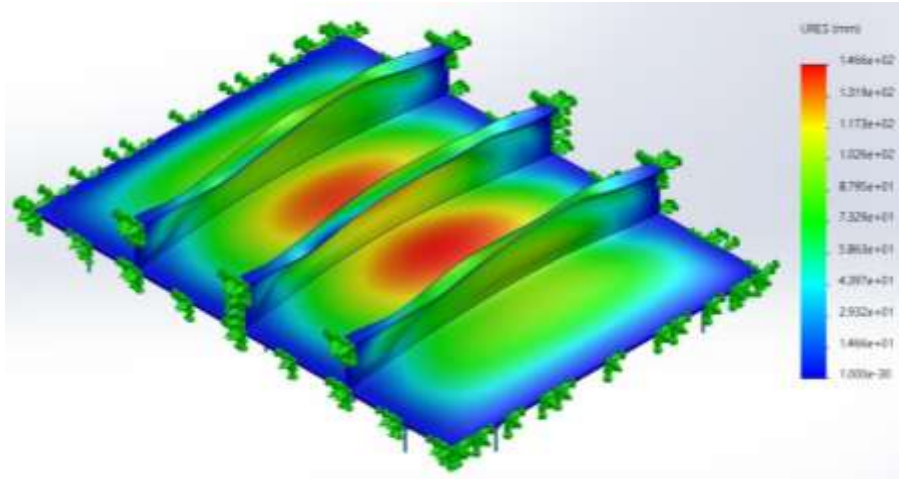
يظهر الشكل 12 أن قيمة الانفعال تكون أكبر ما يمكن في منطقة الاتصال بين عصب عنصر التقوية واللوح. وهذه المنطقة تكون متواجدة على أطراف اللوح المقوى بالاتجاه الطولي لعنصر التقوية. حيث تبلغ القيمة العظمى للإجهاد 0.0577.



الشكل 12: Nonlinear-Strain.

• اختبارات النمذجة Nonlinear- Displacement تحت تأثير ضغط شاقولي

يحدد اختبار الإزاحة Displacement مقدار تشوه العنصر الإنشائي المدروس وذلك في حالتي الشد والضغط بأعلى وأسفل العنصر.



الشكل 13: Nonlinear-Displacement.

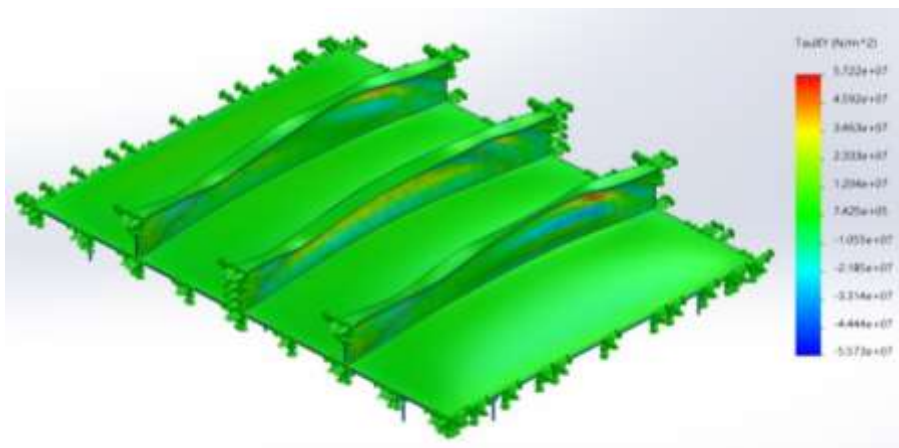
يظهر الشكل 13 أنّ مقدار الإزاحة التي يتعرض لها عناصر التقوية للوح المقوى أكبر منها مقارنة مع اللوح الواقع بين عنصري التقوية، وهذا يفسر أهمية وجود عناصر التقوية كعنصر أساسي مقاوم للتشوه الذي تتعرض له الألواح. حيث بلغت القيمة العظمى للإزاحة التي يتعرض لها القطاع المدروس 146mm.

• **اختبارات النمذجة Nonlinear-Stress: Shear Force تحت تأثير ضغط شاقولي**

يعتبر اختبار Nonlinear-Shear Force من الاختبارات الهامة التي تدرس قيم قوى القص التي يتعرض لها العنصر الإنشائي. ففي هذا البحث استخدام هذا الاختبار لتجديد قيم قوى القص الأعظمية التي يتعرض لها اللوح المقوى ضمن القطاع المدروس. حيث شمل هذا الاختبار تحديد قيم قوى القص وفق الاتجاهات الثلاثة x,y,z.

• **Nonlinear-Stress -Shear Force-XY**

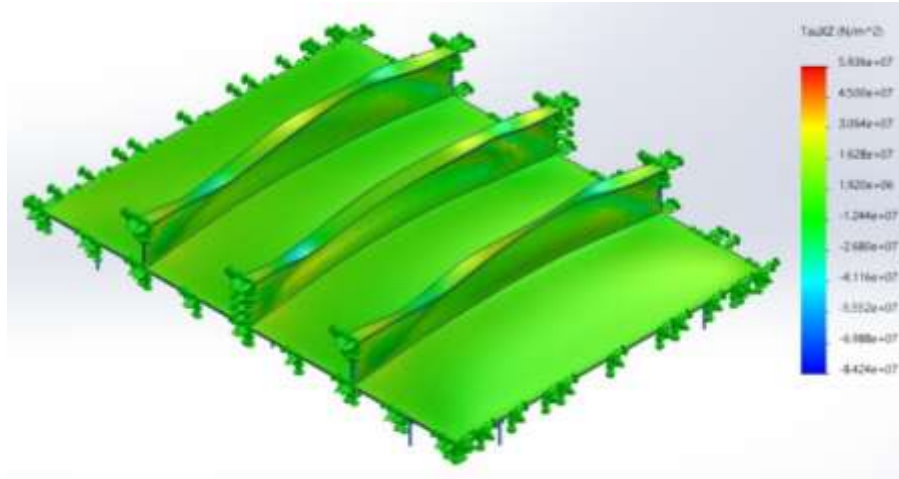
يظهر الشكل 14 اختبار الإجهاد بفعل قوى القص المطبقة على اللوح المقوى وفق المستوي XY. حيث بلغت القيمة $5.722e + 07 \left[\frac{N}{m^2} \right]$



الشكل 14: Nonlinear-Shear Force-XY.

• **Nonlinear-Stress -Shear Force-XZ**

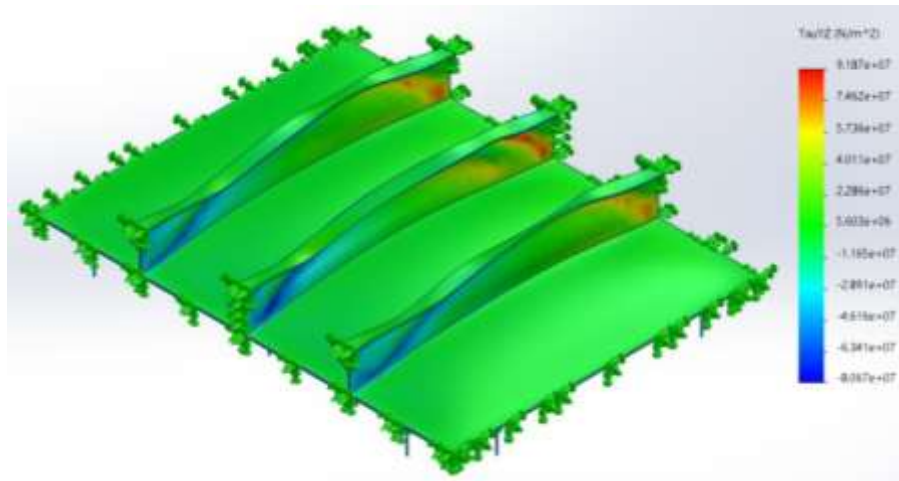
يظهر الشكل 15 اختبار الإجهاد بفعل قوى القص المطبقة على اللوح المقوى وفق المستوي XY. حيث بلغت القيمة $5.936e + 07 \left[\frac{N}{m^2} \right]$



الشكل 15: Nonlinear-Shear Force-XZ.

• Nonlinear-Stress -Shear Force-YZ

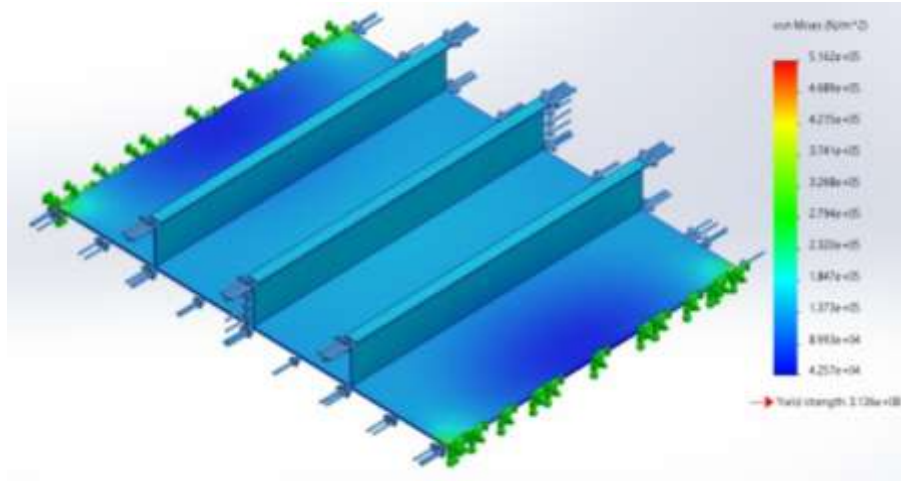
يظهر الشكل 16 اختبار الإجهاد بفعل قوى القص المطبقة على اللوح المقوى وفق المستوي YZ. حيث بلغت القيمة $.9.187e + 08 \left[\frac{N}{m^2} \right]$



الشكل 16: Nonlinear-Shear Force-YZ.

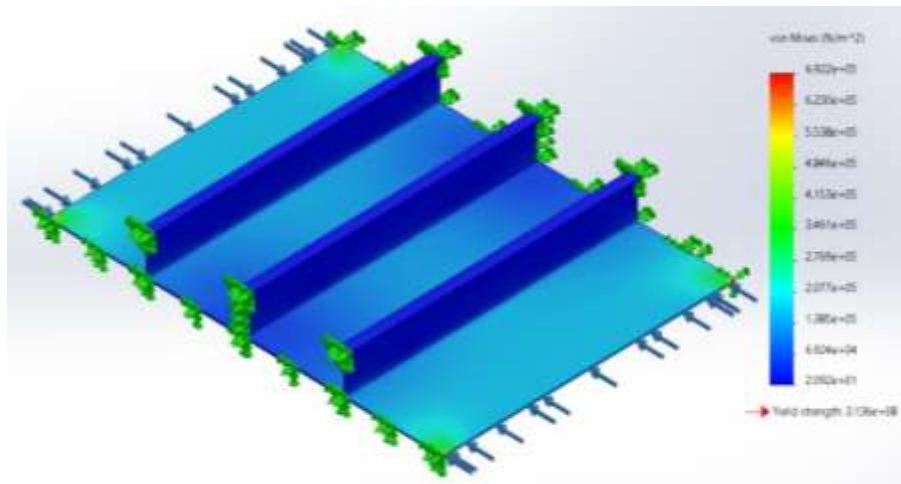
• اختبارات النمذجة Nonlinear تحت تأثير قوى أحادية المحور بالاتجاه الطولي والعرضي

تم في هذا البحث إجراء اختبارات على اللوح المقوى تحت تأثير قوى أحادية المحور بالاتجاه الطولي والعرضي والموضحة في الشكل 17. يظهر الشكل 17 نتائج الاختبار على اللوح المقوى تحت تأثير القوى الطولية والمقدرة بـ $.12629N$. حيث بلغت قيمة الاجهاد الأعظمية $.5.162e + 05 \left[\frac{N}{m^2} \right]$



الشكل 17: Nonlinear-Stress Under Longitudinal Force.

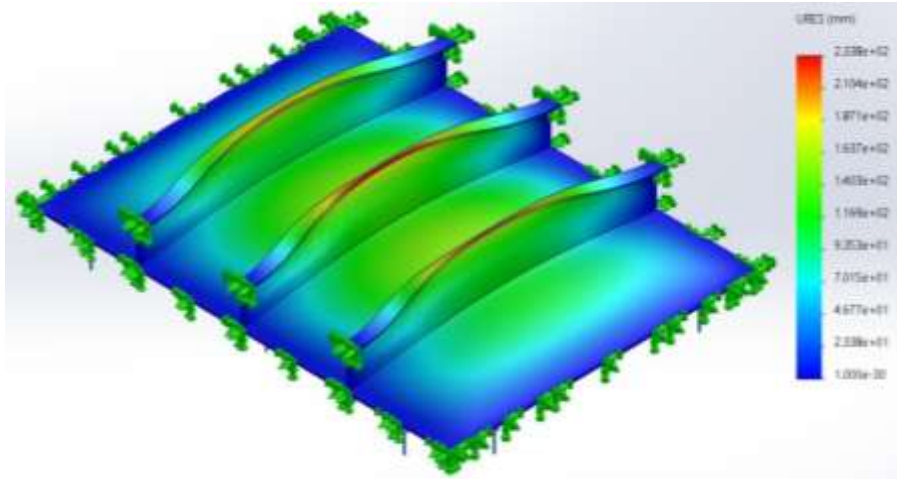
يظهر الشكل 18 نتائج الاختبار على اللوح المقوى تحت تأثير القوى الطولية والمقدرة بـ 9357N. حيث بلغت قيمة الاجهاد الأعظمية $6.922e + 05 \left[\frac{N}{m^2} \right]$.



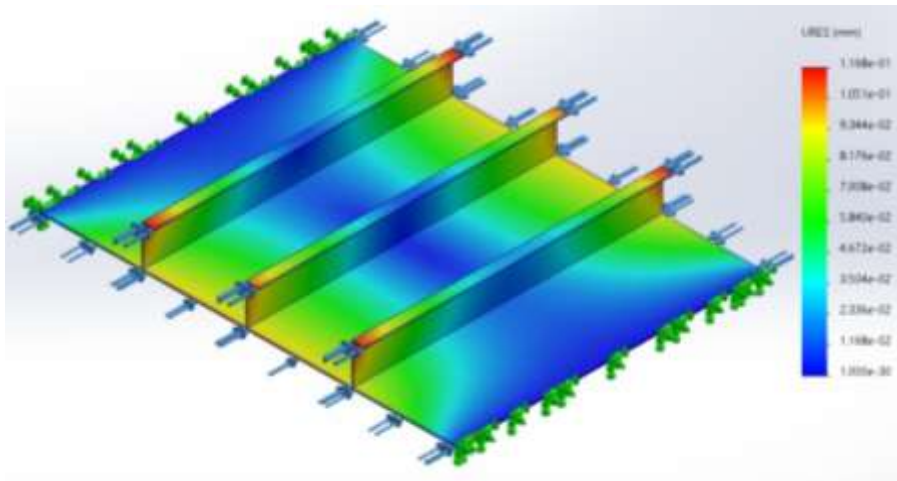
الشكل 18: Nonlinear-Stress Under Transvers Force.

2.8. اختبارات النمذجة على اللوح المعدل باستخدام عناصر تقوية نوع L

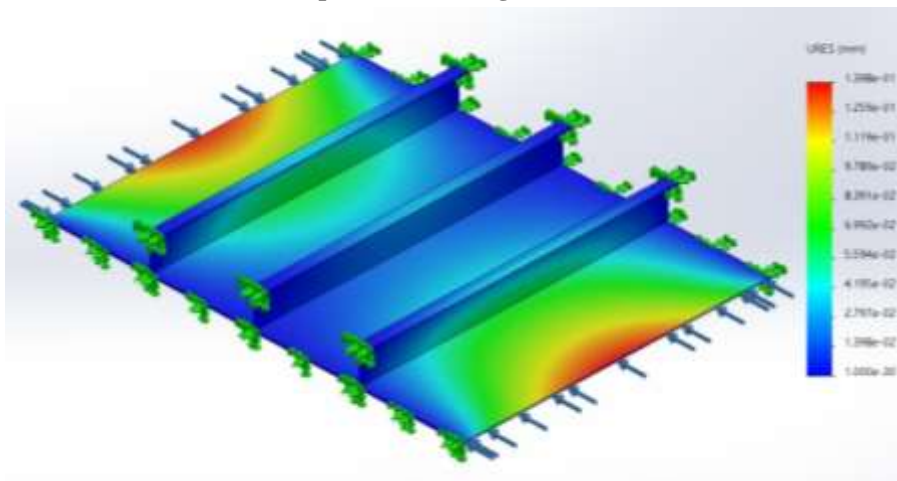
تم دراسة متانة اللوح المقوى المعدل باستخدام نفس حالات التحميل ونفس الشروط الحدية للوح المقوى الأصلي. حيث يهدف التعديل الى دراسة مقدار تأثر المتانة للوح المقوى بتغيير شكل عناصر التقوية. حيث يوضح الشكل 19 اختبار Nonlinear-Displacement: Pressure تحت تأثير ضغط شاقولي، والشكل 20 اختبار Nonlinear-Displacement:Longitudinal Force تحت تأثير قوى محورية طولية، والشكل 21 اختبار Nonlinear-Displacement:Transverse Force تحت تأثير قوى محورية عرضية.



الشكل 19: Nonlinear_Displacement: Pressure



الشكل 20: Nonlinear- Displacement: Longitudinal Force



الشكل 21: Nonlinear- Displacement: Transverse Force

تم في هذا البحث إجراء 60 حالة دراسية لاختبار متانة اللوح المقوى بعناصر تقوية طولية مع تغيير شكل المقطع العرضي لعنصر التقوية، وتم تلخيص نتائج هذه الاختبارات وفق الجدول 3 والجدول 4 والجدول 5 والتي تظهر قيم الإجهاد والانفعال وقوى القص تحت تأثير ضغوط وقوى مؤثرة بالاتجاه الطولي والعرضي أحادة المحور.

الجدول 3: نتائج الاختبارات تحت تأثير الضغط الشاقولي

Pressure Test					
Nonlinear Case Study	Unit	T Stiffener		L Stiffener	
		Max Value	Min Value	Max Value	Min Value
Nonlinear-Stress	N/m^2	2.028e+08	2.331e+03	1.736e+08	2.16e+03
Nonlinear -Displacement	mm	1.466e+02	0	2.38e+02	0
Nonlinear-Strain	-	5.772e-02	5.806e-04	6.474e-02	6.148e-04
Nonlinear- Stress: Shear Force on XY	N/m^2	5.722e+07	-5.57e+07	5.386e+07	-3.75e+07
Nonlinear- Stress: Shear Force on XZ	N/m^2	5.936e+07	-8.42e+07	9.448e+07	-9.269e+07
Nonlinear- Stress: Shear Force on YZ	N/m^2	9.187e+07	-8.06e+07	8.888e+07	-9.086e+07
Triaxial Stress	N/m^2	2.692e+08	-3.43e+08	3.22e+08	-3.801e+08
Nonlinear- Strain: Shear on XY	-	7.084e-02	-6.90e-02	6.668e-02	-4.648e-02
Nonlinear- Strain: Shear on XZ	-	7.349e-02	-1.04e-01	1.17e-01	-1.148e-01
Nonlinear- Strain: Shear on YZ	-	1.137e-01	-9.98e-02	1.099e-01	-1.125e-01

الجدول 4: نتائج الاختبارات تحت تأثير القوى الطولية أحادية المحور

Longitudinal Force Test					
Nonlinear Case Study	Unit	T Stiffener		L Stiffener	
		Max Value	Min Value	Max Value	Min Value
Nonlinear-Stress	N/m^2	5.162e+05	4.257e+04	5.310e+05	4.142e+04
Nonlinear -Displacement	mm	1.094e-01	0	1.168e-01	0
Nonlinear-Strain	-	1.478e-04	2.064e-05	1.516e-04	2.056e-05
Nonlinear- Stress: Shear Force on XY	N/m^2	2.455e+04	-2.41e+04	2.106e+04	-1.935e+04
Nonlinear- Stress: Shear Force on XZ	N/m^2	2.488e+05	-2.37e+05	2.544e+05	-2.434e+05
Nonlinear- Stress: Shear Force on YZ	N/m^2	2.305e+04	-3.06e+04	2.074e+04	-2.080e+04
Triaxial Stress	N/m^2	9.225e+05	-2.53e+05	9.430e+05	-2.636e+05
Nonlinear- Strain: Shear on XY	-	3.039e-05	-2.98e-05	2.608e-05	-2.396e-05
Nonlinear- Strain: Shear on XZ	-	3.080e-04	-2.93e-04	3.150e-04	-3.013e-04
Nonlinear- Strain: Shear on YZ	-	2.854e-05	-3.79e-05	2.568e-05	-2.576e-05

الجدول 5: نتائج الاختبارات تحت تأثير القوى العرضية أحادية المحور

Transverse Force Test					
Nonlinear Case Study	Unit	T Stiffener		L Stiffener	
		Max Value	Min Value	Max Value	Min Value
Nonlinear-Stress	N/m^2	6.922e+05	2.09e+01	7.165e+05	2.943e+01
Nonlinear -Displacement	mm	1.337e-01	0	1.398e-01	0
Nonlinear-Strain	-	2.016e-04	2.071e-08	2.072e-04	1.521e-08
Nonlinear- Stress: Shear Force on XY	N/m^2	3.533e+04	-3.85e+04	2.684e+04	-2.662e+04
Nonlinear- Stress: Shear Force on XZ	N/m^2	3.247e+05	-3.10e+05	3.345e+05	-3.193e+05
Nonlinear- Stress: Shear Force on YZ	N/m^2	2.955e+04	-3.46e+04	2.814e+04	-2.897e+04
Triaxial Stress	N/m^2	1.309e+06	-3.23e+05	1.366e+06	-3.323e+05
Nonlinear- Strain: Shear on XY	-	4.374e-05	-4.77e-05	3.323e-05	-3.296e-05
Nonlinear- Strain: Shear on XZ	-	4.020e-04	-3.84e-04	4.142e-04	-3.953e-04
Nonlinear- Strain: Shear on YZ	-	3.658e-05	-4.28e-05	3.484e-05	-3.587e-05

من خلال النتائج المبينة في الجدول 3 والجدول 4 والجدول 5 يمكننا التوصل إلى مجموعة من الاستنتاجات:

1. اللوح المقوى بعناصر تقوية طولية T مقاومته للإجهاد الناتج عن القوى الطولية المطبقة على اللوح أكبر من مقاومته للإجهاد الناتج عن القوى العرضية.
2. اللوح المقوى بعناصر تقوية طولية L مقاومته للإجهاد الناتج عن القوى الطولية المطبقة على اللوح أكبر من مقاومته للإجهاد الناتج عن القوى العرضية.
3. مقاومة اللوح المقوى بعناصر تقوية طولية L للإجهادات الناتجة بفعل الضغوط الشاقولية أكبر مقارنة مع اللوح المقوى بعناصر تقوية طولية T.
4. مقاومة اللوح المقوى بعناصر تقوية طولية L للإجهادات الناتجة بفعل القوى المحورية الطولية أكبر مقارنة مع اللوح المقوى بعناصر تقوية طولية T.
5. مقاومة اللوح المقوى بعناصر تقوية طولية L للإجهادات الناتجة بفعل القوى المحورية العرضية أقل مقارنة مع اللوح المقوى بعناصر تقوية طولية T.

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات:

من خلال هذه الدراسة يمكن الوصول إلى الاستنتاجات التالية:

- يعتبر الإجهاد الناتج عن ضغط المياه الشاقولي هو الأكثر تأثيراً على الألواح المقواة مقارنة مع الإجهاد الناتج بفعل القوى المحورية الطولية والعرضية.
- تعتبر الألواح المقواة بعناصر تقوية من النوع L أكثر متانة من الألواح المقواة بعناصر تقوية من النوع T، حيث بلغت قيمة الإجهاد المطبق نتيجة الضغط الشاقولي على عناصر التقوية L 173.6MPa مقارنة مع 202.8MPa للنوع T. تتم عملية تقييم المتانة من خلال مقارنة القيمة العظمى للإجهاد المطبق على اللوح المقوى مع القيمة المرجعية Yield Stress والمحددة بـ 313.6MPa. فكلما اقتربت قيمة الإجهاد المطبق من القيمة المرجعية كلما كان أكثر عرضة للانهياب وبالتالي تكون متانته أقل.

التوصيات:

من خلال نتائج هذه الدراسة نوصي بالأمور التالية:

- ✓ تم في هذا البحث اقتراح تصميم للوح المقوى بعناصر تقوية من النوع L مع المحافظة على نفس العدد ونفس مساحة المقطع العرضي وذلك للحفاظ على قيمة الوزن. ومنه للحصول على ميزة استخدام عناصر التقوية L في تدعيم الألواح المقواة نقترح بدراسة عناصر تقوية بأبعاد مختلفة للوصول إلى تحقيق المتانة المطلوبة باستخدام عدد أقل من العناصر، وبالتالي تقليل الوزن.

التوصيات للأعمال اللاحقة

- ✓ تم التركيز في هذا البحث على دراسة لوح مقوى لقطاع صغير ضمن القاع المزدوج، لذلك نوصي في الدراسات اللاحقة بإجراء الدراسات على قطاع جزئي كامل ضمن القاع المزدوج مزود بمختلف العناصر الانشائية والمتمثلة بالألواح القاع الداخلي والخارجي، Girders وعناصر التقوية.

References:

- [1] J. K. Paik, *Ultimate Limit State Analysis and Design of Plated Structures*. 2018. doi: 10.1002/9781119367758.
- [2] S. Zhang, "A review and study on ultimate strength of steel plates and stiffened panels in axial compression," *Ships Offshore Struct.*, vol. 11, no. 1, pp. 81–91, 2016, doi: 10.1080/17445302.2014.992610.
- [3] E. L. Platypodis and K. N. Anyfantis, "On the Modeling of Ship Stiffened Panels Subjected to Uniform Pressure Loads," *Appl. Mech.*, vol. 3, no. 1, pp. 125–143, 2022, doi: 10.3390/applmech3010010.
- [4] D. H. Lee and J. Kee Paik, "Ultimate strength characteristics of as-built ultra-large containership hull structures under combined vertical bending and torsion," *Ships Offshore Struct.*, vol. 15, no. S1, pp. S143–S160, 2021, doi: 10.1080/17445302.2020.1747829.
- [5] S. F. Estefen, J. H. Chujutalli, and C. Guedes Soares, "Influence of geometric imperfections on the ultimate strength of the double bottom of a Suezmax tanker," *Eng. Struct.*, vol. 127, pp. 287–303, 2016, doi: 10.1016/j.engstruct.2016.08.036.
- [6] Y. M. Lutfi, R. Adiputra, A. R. Prabowo, N. Muhayat, H. Carvalho, and T. Fazerres-Ferradosa, "Ultimate strength value of stiffened panel designs under initial displacement and applied pressure: FE analysis vs. IACS-CSR," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 47, pp. 660–667, 2023, doi: 10.1016/j.prostr.2023.07.055.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] H. K. K. Amlashi and T. Moan, "Ultimate strength analysis of a bulk carrier hull girder under alternate hold loading condition, Part 2: Stress distribution in the double bottom and simplified approaches," *Mar. Struct.*, vol. 22, no. 3, pp. 522–544, 2009, doi: 10.1016/j.marstruc.2008.12.005.
- [10] 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.