

Evaluation of the Ship's Panels Weight Reinforced with Structural Elements Based on their Shape and the Distance between them

Ali Issam Yousef*

(Received 4 / 12 / 2022. Accepted 16 / 2 / 2023)

□ ABSTRACT □

Predicting weights is a necessary part of ship design, and an accurate weight estimation is essential. Where the structural elements of the ship's hull are produced from steel, for this reason more accurate methods are applied to calculate the weight in order to determine the better required amount of steel. In this research, the weight of the structural elements of the ship was analyzed by presenting an analytical study of the method of calculating the distribution of weights, in addition to estimating the amount of savings in the weight of the structural elements while preserving the strength of the stiffened panel.

Keywords: Stiffener, Stiffened panel, Panels strength, Space between stiffeners.

* Academic Assistant_ Marine Engineering _ Member of teaching staff at Marine Engineering Department _ Faculty of Mechanical and Electrical Engineering _ Tishreen University _ Lattakia_ Syria.

تقييم وزن ألواح السفينة المقوّاة بعناصر إنشائية بناءً على شكلها والمسافة بينها

علي عصام يوسف*

(تاريخ الإيداع 4 / 12 / 2022. قُبِلَ للنشر في 16 / 2 / 2023)

□ ملخّص □

يعتبر توقع الأوزان جزء ضروري من تصميم السفينة، والتخمين الدقيق للوزن هو أمر ضروري. حيث يتم إنتاج العناصر الإنشائية لبدن السفينة من الفولاذ، لهذا السبب يتم تطبيق أساليب أكثر دقة في حساب الوزن من أجل تحديد الكمية اللازمة من الفولاذ على نحو أفضل. تم في هذا البحث تحليل وزن العناصر الإنشائية للسفينة من خلال تقديم دراسة تحليلية لطريقة حساب توزيع الأوزان بالإضافة إلى تخمين مقدار التوفير في وزن العناصر الإنشائية مع الحفاظ على متانة القطاع اللّوحي.

الكلمات المفتاحية: الألواح المقوّاة، عناصر التّقوية، متانة الألواح، المسافة بين عناصر التّقوية.

* قائم بالأعمال _ قسم الهندسة البحرية _ كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية _ جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

تستند الإجراءات لحساب وزن الفولاذ على وزن الفولاذ لسفن موجودة أو على أوزان الفولاذ المحسوبة والتي يتم الحصول عليها من البناء. كلا الحالتين تتطلب استيفاء وتقدير استقرائي ما بين القيم الأولية للبارامترات، وهذه الإجراءات تتحقق من خلال ما يلي:

- (1) الكتلة الإجمالية للفولاذ $The\ overall\ quantity\ of\ steel$.
- (2) وزن البدن الفولاذ فقط أو الفولاذ المستخدم في الإنشاءات والمنشآت العلوية $the\ superstructure\ and\ deckhouses$.
- (3) مجموعات الوزن الكبيرة المستقلة مثل الغلاف الخارجي، السطوح، القاع المزدوج التي يمكن أن يتشكل منها الوزن الفولاذي الكلي.

يعتبر إنشاء السفينة معقد جداً، حيث أنه مكون من عناصر إنشائية مختلفة وذات تفاصيل ضخمة. إن توفر الحواسيب الحديثة مكن من استخدام طرق وتقنيات عديدة في التحليل الإنشائي للسفن. أجرى العديد من الباحثين دراسات على نماذج مختلفة للألواح المقواة. حيث تم اقتراح صيغة تجريبية دقيقة للتنبؤ بالمتانة النهائية للألواح المقواة المعرضة للضغط الطولي، وذلك من أجل الحصول على سلوك دقيق للمتانة النهائية للألواح المقواة باستخدام برنامج *ANSYS* من خلال تغيير الحجم المناسب للألواح المقواة، (D.K. Kim et al_2019 [1]). كما طور الباحثون صيغة نظرية تأخذ في الاعتبار جميع المكونات الإنشائية التي تتأثر بنتيجة الأحمال التي تتعرض إليها، إلى جانب دراسة تأثير الحمل المشترك للقوة على عناصر التقوية الطولية *Longitudinal Stiffener(LS)* وقوة القص على أجزاء التدعيم الأساسية (T. Okada, Y. Kawamura_2018 [2]). كما اقترح الباحثون نموذج متضرر للتنبؤ بسلوك الانضغاط لثلاث ألواح تقوية من النوع *T-stiffened* خضعت لتأثير انضغاط منقلب منخفض السرعة. وتم إجراء محاكاة للضرر التدريجي لألواح التقوية المتأثرة والضعف الحاصل بالألواح المقواة وذلك باستخدام برنامج *ABAQUS* (WeiSun, et al_2018 [3]). توصل الباحثون إلى صيغة تجريبية متقدمة تعتمد على نسبة النحولة بين الحافة العلوية لعنصر التقوية وعصب عنصر التقوية مع إضافة معاملات تصحيح على هذه النسبة (K. S. Park, et al_2017 [4]). كما قاموا خلال بحثهم بتقديم تصميم جديد لعناصر التقوية أطلق عليه اسم القبة (*Hat+Conventional*)، وهذا التصميم على شكل حرف *Y*. تم اعتماد هذا التصميم بدلا من التشكيلات التقليدية لألواح التقوية *L,T,I*. يقدم التصميم الجديد هامش كبير من السلامة مقاساً إلى نسبة الوزن (Heba Waell, et al_2015 [5]). قام الباحثون بتنفيذ سلسلة من تحليلات الانهيار المطبقة على عنصر محدد ضمن ألواح التقوية تتعرض إلى ضغوط طولية باستخدام برنامج *MSC.Marc* في البحث، حيث توصلوا إلى تحديد نسبة النحولة لعناصر التقوية *Slenderness Rat*، فضلاً عن تحديد نسبة العرض إلى الارتفاع للألواح المقسمة بواسطة الشدادات (*Bars*) (Daisuke, et al_2014 [6]).

أهمية البحث وأهدافه:

يتألف هيكل بدن السفينة من عدد من الألواح المقواة مثل إنشاءات القاع وإنشاءات الألواح الجانبية وإنشاءات السطح العلوي والقواطع العرضية الخ، تعتمد التكلفة الدنيا للإنشاء على الطريقة المتبعة في تصميم الألواح المقواة حيث تتطور الطرق المتبعة في الإنشاء عاما بعد عام لتتخفف معها التكلفة الإنشائية للسفينة. يعتبر الوزن الفارغ للسفينة عامل هام

في الوزن الكلي للسفينة وفي تكاليف الإنشاء. ومن هنا تكمن أهمية البحث في تحقيق التصميم الأمثل للألواح المقوّاة، حيث تتحقق هذه المثاليّة من خلال الحصول على أقل وزن للعناصر الإنشائية مع الحفاظ على المتانة، وعليه يمكن تلخيص أهداف البحث بالأمر التّالية:

- تقديم طريقة حسابية لتوزيع الأوزان على السفينة.
- تحديد شكل ومساحة عناصر التّقوية الأكثر تحقّقاً للمتانة بالإضافة إلى حساب عددها والمسافة بينها.
- تحديد الوزن الأقلّ للألواح المقوّاة مع الحفاظ على المتانة الإنشائية.

طرائق البحث ومواده:

تمّ في هذا البحث إجراء الدراسة على مجموعة من السفن تضم 40 سفينة حقيقية [7]، حيث تمّ إنشاء قاعدة بيانات تضم معلومات أساسية لهذه السفن مبينة بالشكل (1)، بهدف مقارنة النتائج الحسابية مع المخططات الإنشائية للسفينة المدروسة والتحقّق من صحة الحسابات، وذلك باستخدام برنامج حاسوبي تمّ إنشاؤه باستخدام لغة VisualBasic.net.

name	id	L	B	D	T	CB	DISP	Dist	SPSPEED	Wt
Arabian1	T	242.19	43.28	23.8	15.82	0.849	142529	121109	13	8.130
Australian Sky	T	171	26.8	16.4	10.87	0.804	49492	33208	14.78	8.188
Collette	T	91319	66.8	28.8	18.44	0.849	381320	288376	18	8.133
Coler-Coleen	T	288.81	46.21	23.83	17.82	0.842	156566	152388	18	8.148
COLAR CORDEL	T	315.82	87.21	30.41	23.83	0.849	247079	304622	18	8.13
OLYMPIC Seventy	T	222.12	42	20.3	14.2	0.835	113948	86733	16	8.355
ACHILLES	T	218.82	32.2	18.3	13.2	0.828	78031	63000	14.5	8.343
AMELIA	B	295.82	43.01	23.42	17.2	0.835	159962	139000	14.5	8.355
ANPINS	B	188	28.4	16.8	11	0.819	48888	38887	14.4	8.179
ANGEL FEATHER	B	172	38.8	18.8	11.23	0.823	48838	42448	13.8	8.17
CLARITA	B	288	43	24.11	17.82	0.842	170812	152068	18	8.143
Dahla	B	308	58	28.7	18.82	0.852	23784	20782	15.78	8.125
YEDMAN BURN	B	235	32.2	20.1	14	0.834	80848	77000	14.81	8.187
ARCTIC OCEAN	B	148.81	22.01	13.21	8.38	0.858	18800	18800	22.5	8.114
DEL MONTE HA	B	138.83	22.81	12.78	8.2	0.818	15882	10000	18.8	8.281
DEL MONTE CO	B	147.88	23.81	12.78	8	0.838	20848	12700	20	8.889
HORRADO BEG	B	148	28.6	12.8	8.42	0.81	15776	11822	18	8.288
ARCOAN REEFER	B	138.88	23.8	15.8	10.82	0.832	21887	14872	18	8.258
HOWAR	B	138	18.5	10.85	7.2	0.831	11828	7188	18	8.255

الشكل (1) قاعدة بيانات لسفن حقيقية

1_التوزيع الطولي لوزن العناصر الإنشائية

يقدم هذا البحث طريقة حسابية رقمية لكيفية حساب توزيع الأوزان على السفينة، حيث يكون توزيع الأحمال على السفينة بإحدى الطرق التّالية:



1_أحمال موزعة بشكل منتظم.



2_أحمال موزعة بشكل مثلثي.



3_أحمال موزعة بشكل شبه منحرف.

$$\beta = (x_2 - x_1) \left(x - \frac{x_2 + x_1}{2} \right) \quad (4)$$

$$\delta = (x_2 - x_1) \left[\frac{2}{3} (x_2 - x_1) - x \right] \quad (5)$$

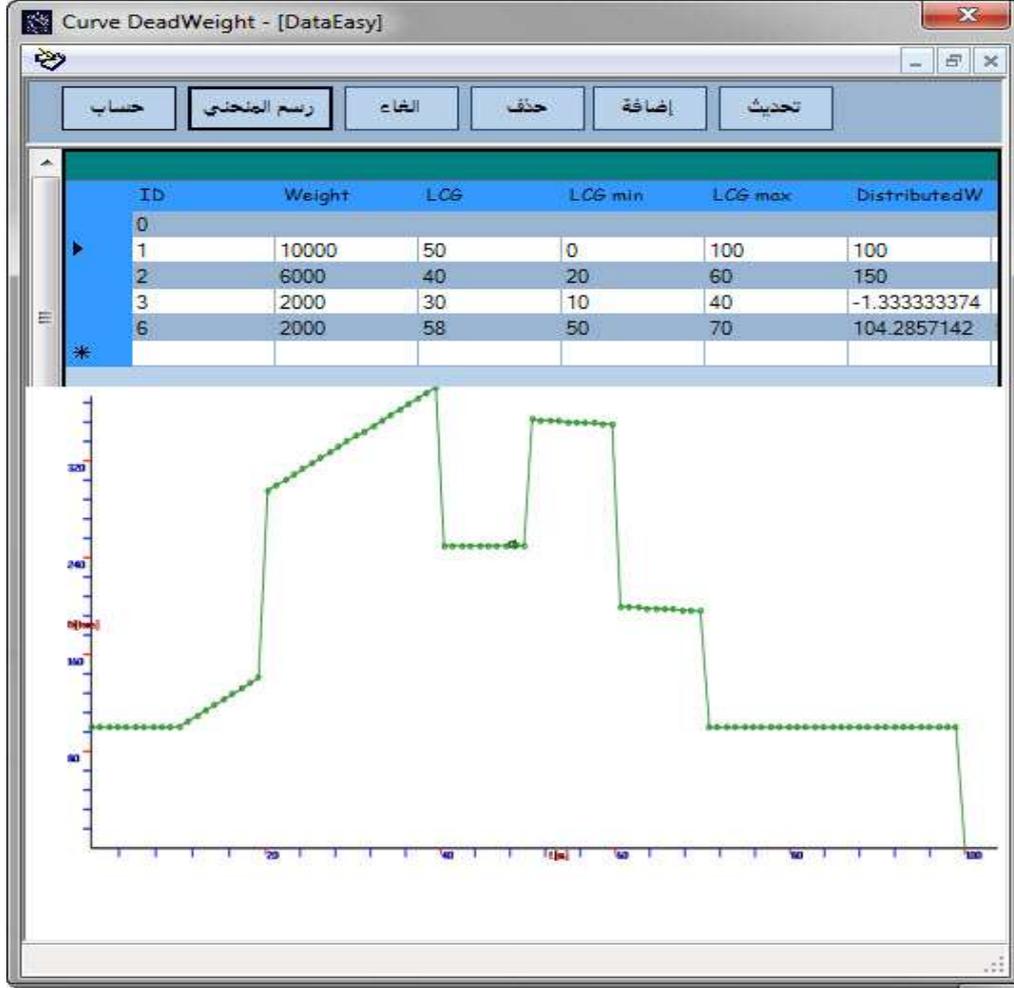
$$\gamma = p(x_2 - x_1) \left[\frac{2}{3} (x_2 - x_1) - x \right] \quad (6)$$

من الممكن بهذه الطريقة معالجة التوزيع غير المنتظم للعناصر المستقلة ويطلب تحديد الطول الذي يجب أن يتوزع فوقه العنصر نصف المركز، وبالتالي يمكن جمع عدد كبير من الأحمال غير المنتظمة والحصول على منحنى الحمولة الساكنة، وبإضافة هذا المنحنى إلى منحنى الإزاحة (منحنى الطفو) نحصل على منحنى الوزن. وكتطبيق عملي على ما سبق يبين الجدول (1) توزيع لمجموعة من الأحمال المختلفة.

الجدول(1): الأوزان ومراكز ثقلها الطولي.

Number	Weight	LCG	LCG min	LCG max
1	10000	50	0	100
2	6000	40	20	60
3	2000	30	10	40
4	2000	58	50	70

تم إجراء هذه الحسابات ضمن البرنامج الحاسوبي الذي تم إنشاؤه، حيث يظهر الشكل (3) منحنى توزيع الأحمال.



الشكل (3) منحنى توزيع الأحمال

2_ حساب مساحة المقطع العرضي لعنصر التقوية وأبعاده كتابع لمساحة المقطع العرضي للوح المقوى
تعتبر هذه المرحلة من المراحل الهامة في عملية البحث كونها ستشكل ركيزة أساسية في إيجاد القيم المثالية لأبعاد عناصر التقوية وبالتالي حساب وزنها بالاعتماد على مساحة المقطع العرضي لعنصر التقوية. تم في هذه المرحلة استخدام الاحتمال الرياضي حيث تم اقتراح حوالي 2400 قيمة لمساحة المقطع العرضي لعنصر تقوية وحيد، والتي هي عبارة عن مجموع كل من مساحة عصب عنصر التقوية A_w ومساحة الحافة العليا Flange لعنصر التقوية A_f ، وهذه القيم مرتبطة بنسبة مئوية مع مساحة المقطع العرضي للوح المقوى A_p ، والمعبر عنها بمجال الدراسة التالي:

$$A_s = (0.5 - 12.5)A_p \% [8].$$

تحدد هيئة التصنيف الأمريكية ABS [9] حدود أبعاد للمتحولات ($T_f, B_f, T_w, H_w, T_p, B_p$) كما في الجدول (2)، وذلك بهدف تقليل الوزن والتكلفة وزيادة عامل الأمان. يجب توصيف الحدود العليا والدنيا لأبعاد اللوح وعناصر التقوية بواسطة مستخدمين اعتماداً على الخبرة التصميمية والمفاضلة بين التقنيات التكنولوجية ومتطلبات الأمان. كما يبين الجدول (3) النسب بين أبعاد عناصر التقوية كتابع لأبعاد اللوح المقوى .

الجدول (2): القيم الحدية لأبعاد عنصر التقوية، [10].

changer	Min Value (mm)	Max Value (mm)
B_p	480	4370
T_p	8	40
H_w	120	500
T_w	9	35
B_f	90	500
T_f	8	35

الجدول (3): النسب بين أبعاد عنصر التقوية واللوح المقوى .

Design Ratio	Min Value (mm)	Max Value (mm)
T/B	1/100	1/25
S/B	1/6	1/2
H_w/B	1/15	1/4
T_w/t	1/2	1
a/B	0.5	6

2_1 تحديد القيم المثالية لأبعاد عنصر التقوية (H_w, T_w, B_f, T_f)

يتم حساب القيم المثالية لأبعاد عنصر التقوية (H_w, T_w, B_f, T_f) وفق العلاقات التالية:

$$A_s = A_w + A_f \quad (7)$$

$$A_w = H_w * T_w \quad (8)$$

$$A_f = B_f * T_f \quad (9)$$

حيث أن:

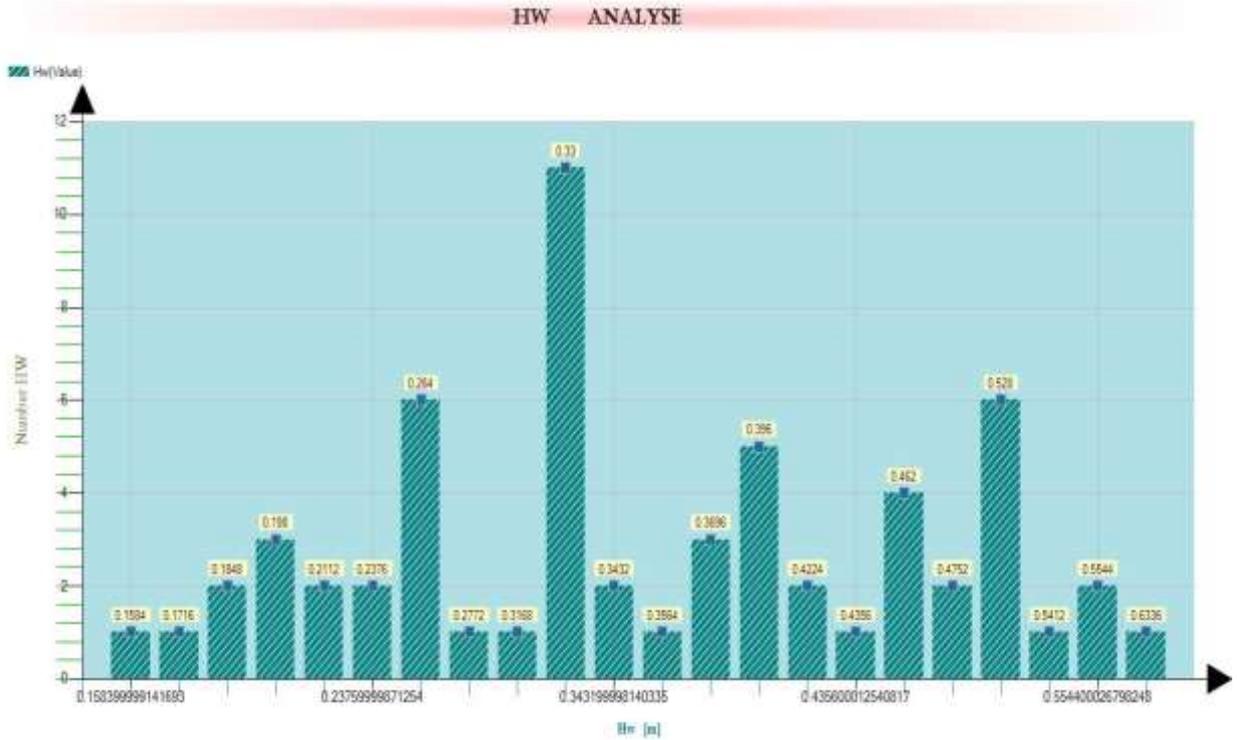
A_s, A_w, A_f : مساحة المقطع العرضي لكل من عنصر التقوية، عصب عنصر التقوية، كتفية عنصر التقوية على التوالي.

سيقوم البرنامج بعد إدخال الشروط الحدية الواردة في الجدول (2) والجدول (3) بحساب H_w والنسبة $\frac{H_w}{B_p}$ المبيّنة

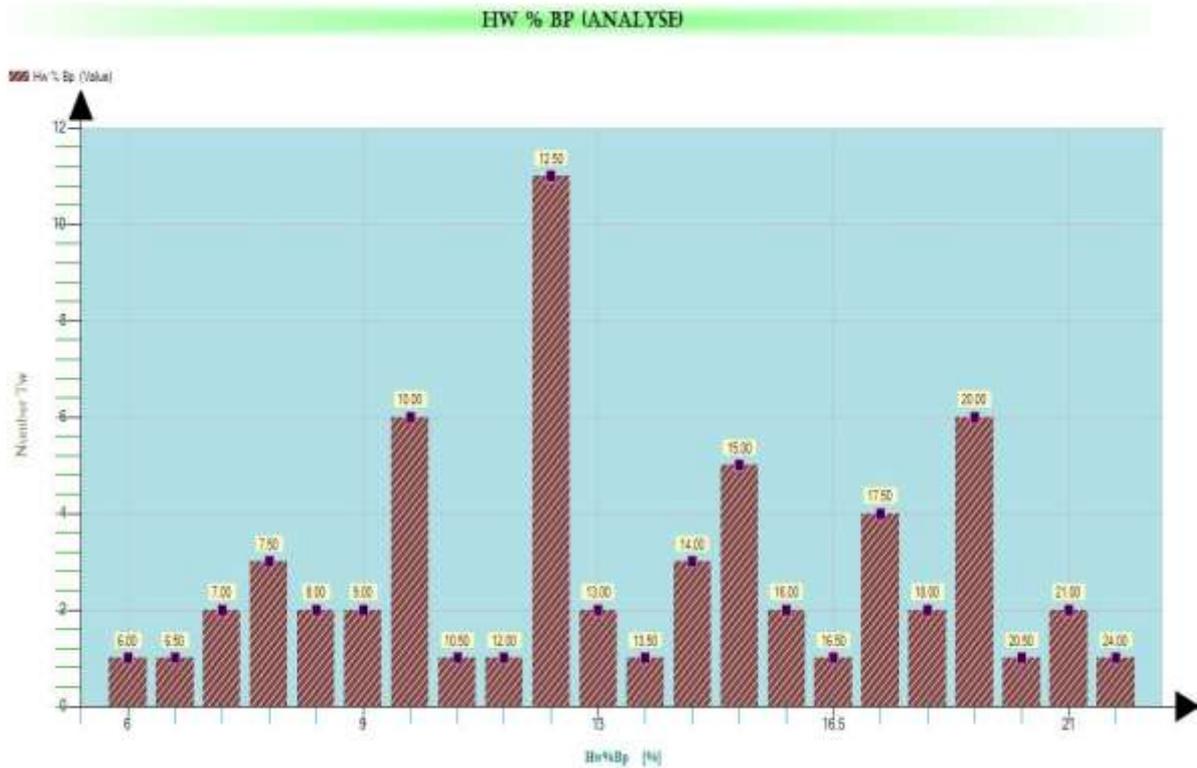
بالشكل (4) والشكل (5)، حيث يظهر أن القيمة المثالية لـ H_w توافق النسبة $\frac{H_w}{B_p} = 12.5\%$ ، وبالتالي نتوصل إلى

العلاقة الرياضية المحددة للقيمة المثالية لـ H_w والمعبر عنها كما يلي:

$$H_w = 0.125 * B_p \quad (10)$$



الشكل (4) أبعاد H_w الأكثر تحقيقاً للشروط المثالية



الشكل (5) أبعاد $\frac{H_w}{B_p}$ % الأكثر تحقيقاً للشروط المثالية

بتحليل النتائج باستخدام البرنامج الحاسوبي تمّ التوصل إلى العلاقات التالية :

$$T_W = (0.375 - 0.5) * T_p \quad (10)$$

$$B_F = (0.038 - 0.063) * B_P \quad (11)$$

$$T_F = (0.56 - 0.9) * T_P \quad (12)$$

ولإيجاد العلاقة بين مساحة المقطع العرضي لعنصر التّقوية ومساحة المقطع العرضي للوح المقوّى نعوض العلاقات السابقة (9)،(10)،(11)،(12) في العلاقات (7)،(8)،(9) نحصل على العلاقة الرياضية المعبرة عن مساحة المقطع العرضي لعنصر تقوية وحيد A_S مع مساحة المقطع العرضي للوح المقوّى A_P :

$$A_S = 0.0726 * A_P \quad (13)$$

$$A_S = 0.1192 * A_P \quad (14)$$

3_ حساب الإجهاد الحرج للوح المقوّى واختباره

تعطى المعادلة الرياضية النّاطمة لتحديد عدد عناصر التّقوية اللازم استخدامه لتقوية لوح ذو أبعاد محدّدة كما يلي: مساحة المقطع العرضي لعنصر تقوية وحيد x عدد الفراغات بين عناصر التّقوية للوح المقوّى $\approx 21\%$ من مساحة المقطع العرضي للوح المقوّى [11].

$$\text{Section Area of Stiffener } *(N+1)=0.216* B*T \quad (15)$$

$$N \approx \frac{0.216 * B * T}{A_S} - 1 \quad (16)$$

$$S = \frac{B}{n + 1} \quad (17)$$

حيث أنّ:

N : عدد عناصر التّقوية، B : عرض اللّوح المقوّى ، T : سماكة اللّوح المقوّى ، A_S : مساحة المقطع العرضي لعنصر التّقوية، S : المسافة بين عناصر التّقوية.
تعطى العلاقة النّاطمة في حساب الإجهاد الكلي للوح المقوّى مع عناصر التّقوية الطولية بالعلاقتين: العلاقة الأساسية [12]:

$$\sigma_{CR} = \frac{\pi^2 (DBL^2 \left(\frac{1}{L^2} + \frac{1}{B^2} \right)^2 + \frac{EI(n+1)}{L^2}}{BT + a(n+1)} \quad (18)$$

النّموذج الرياضي المستنتج بتعويض العلاقات من (9) وحتى العلاقة (17) ضمن العلاقة (18) [13]:

$$\sigma_{CR} = \frac{17.32L^2BD + 28.8EI}{L^2(BT + 0.62)} \quad (19)$$

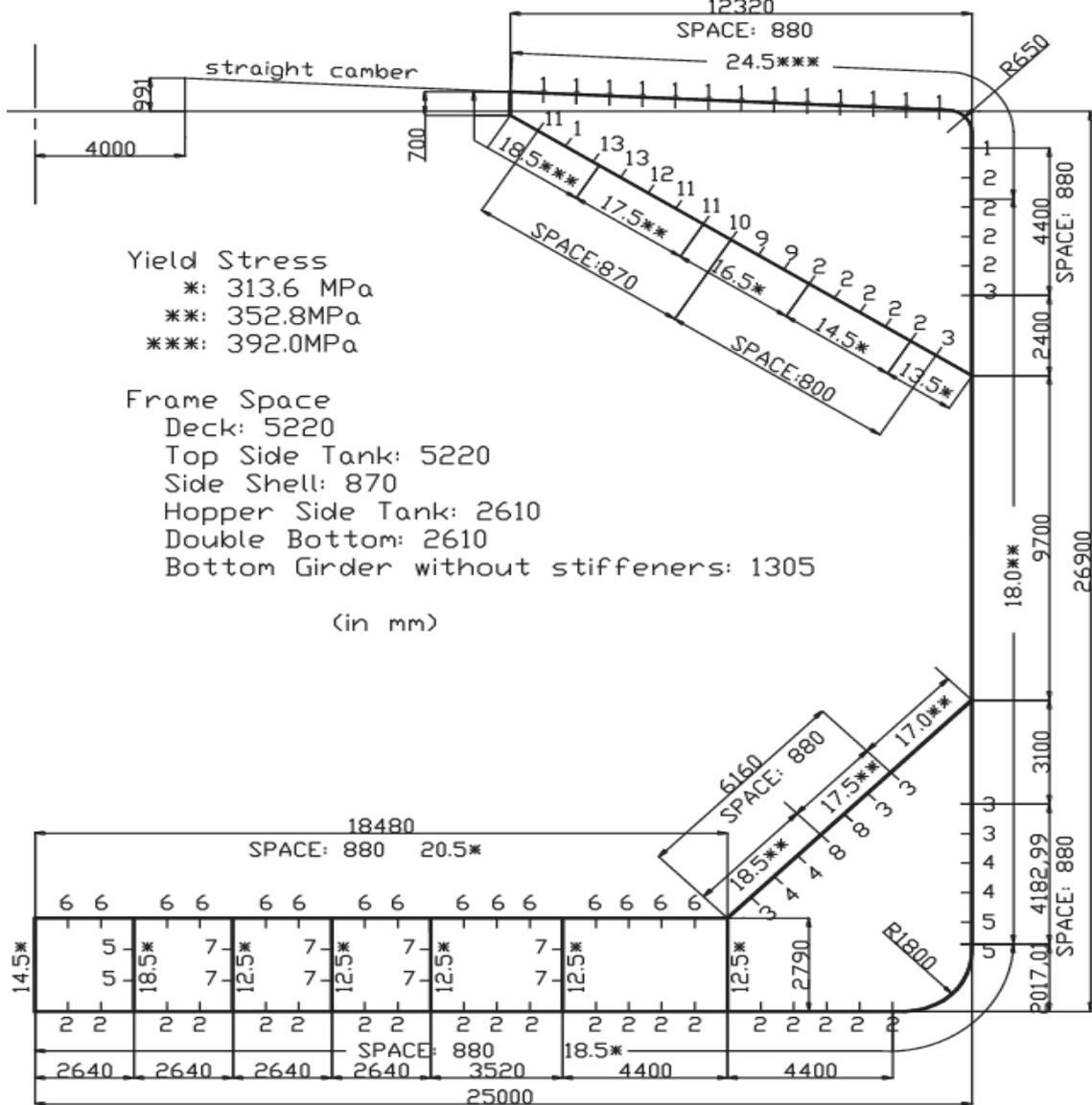
حيث أنّ:

L : طول اللّوح المقوّى ، B : عرض اللّوح المقوّى ، T : سماكة اللّوح المقوّى ، D : معامل الصلابة ويعطى بالعلاقة التالية: $D = \frac{E.T^3}{12(1-\nu^2)}$ ، E : معامل المرونة، I : عزم العطالة للوح المقوّى مع عناصر التّقوية المستخدمة في التدعيم.

4_ تحديد وزن اللّوح المقوّى بعناصر إنشائية مختلفة

يعتبر تحديد وزن اللّوح المقوّى بعناصر التّقوية من المعايير الهامة في تحديد التكلفة الإنشائية، إضافة إلى إجهاد اللّوح المقوّى . يعتبر مفهوم الوزن الربحي من الأهداف التي تمّ العمل عليها ضمن هذا البحث، بحيث كان من أهداف البحث الوصول إلى المتانة الإنشائية المثالية للوح المقوّى عند أقل عدد ممكن من عناصر التّقوية وبأقل وزن، بشرط تحقيق المتانة المطلوبة للوح المقوّى . سيتم حساب الإجهاد الكلي والحمل الكلي للوح المقوّى تبعاً لزيادة عدد عناصر التّقوية.

سيتم إجراء الاختبار على اللوح المقوى من المقطع العرضي للسفينة الحقيقية المبين بالشكل (6) ذي العرض 2640mm، حيث سيقوم البرنامج بتحليل اللوح المقوى وتقديم مجموعة من المقترحات للأبعاد التصميمية الإنشائية من خلال تحديد مساحة المقطع العرضي لعنصر التقوية وبالتالي تحديد أبعاد عنصر التقوية.



الشكل (6) المقطع العرضي لسفينة حقيقية

يظهر الجدول (4) نتائج تطبيق المعادلة (15) على اللوح المقوى ، حيث تم التأكد من صحة العلاقة من خلال الحصول على نفس النتائج الموضحة بالشكل (6)، حيث نلاحظ أن عدد عناصر التقوية المحدد بعنصري تقوية وخصائصها (330x9+100x16 mm) المستخدم في السفينة الحقيقية للوح المقوى السابق هو نفسه ما تم الحصول عليه في نتائج تحليل البرنامج للوح المقوى والمشار إليه بالصنف B.

الجدول (4) الخصائص الإنشائية لعناصر التّقوية وفق تحليل البرنامج للوح المقوّى.

عدد العناصر	الصف	مساحة المقطع العرضي لعنصر تقوية واحد $(mm)^2$	TW (mm)	HW (mm)	TF (mm)	BF (mm)	SPACE (mm)
1	A	6855	14	495	24	150	1320
2	B	4570	9	330	16	100	880
3	C	3428	7	248	12	75	660
4	D	2742	6	198	10	60	528

سيتمّ حساب قيم كل من الإجهاد الحرج الكلي والحمل الحرج الكلي ووزن اللّوح المقوّى تبعاً لزيادة عناصر التّقوية، حيث سيتمّ اختبار اللّوح المقوّى المبين بالشكل (6)، حيث سيتمّ اختبار عنصر التّقوية ذي العرض 2640mm. يظهر الجدول (5) نتائج التّحليل الذي تمّ إجراؤه على اللّوح المقوّى السّابق.

الجدول (5) قيم الإجهاد الحرج الكلي وعزم العطالة ووزن اللّوح المقوّى تبعاً لزيادة عناصر التّقوية.

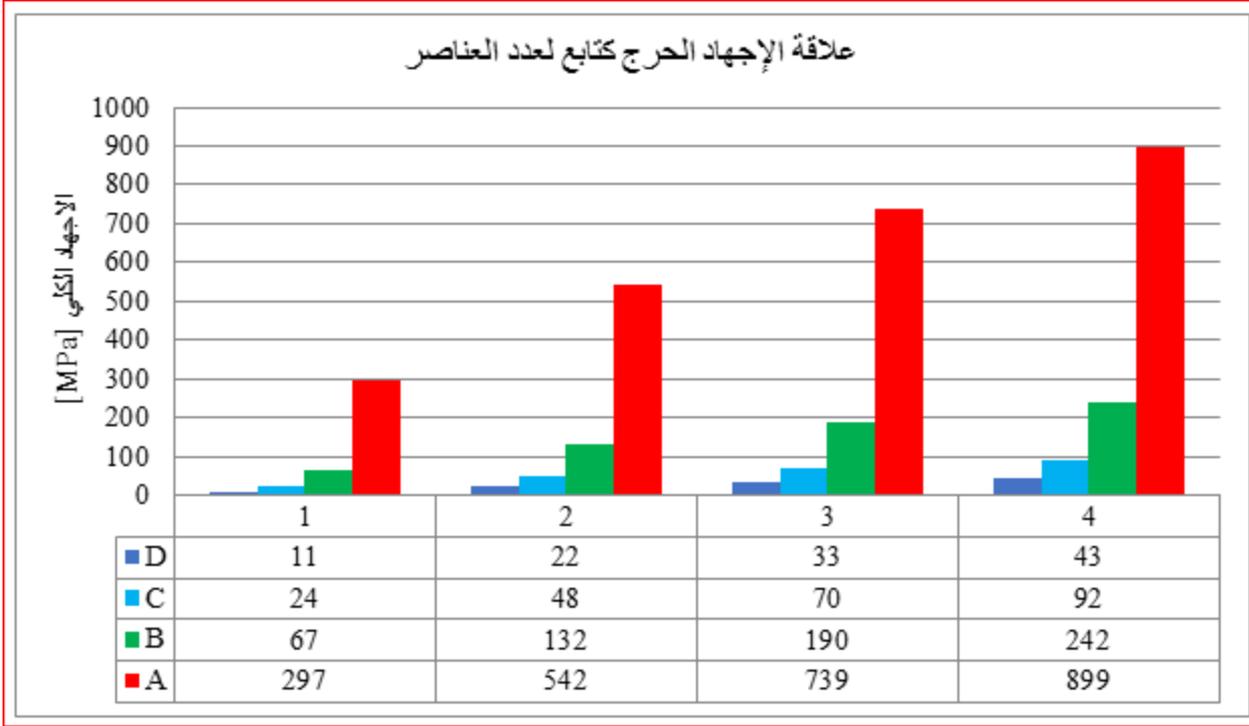
D	C	B	A	الصف	
				عدد العناصر	
11	24	67	297	1	الإجهاد الكلي [MPa]
22	48	132	542	2	
33	70	190	739	3	
43	92	242	899	4	
1300	1320	1340	1380	1	وزن اللّوح المقوّى مع عناصر التّقوية [Kg]
1360	1380	1430	1520	2	
1410	1450	1520	1650	3	
1460	1520	1610	1790	4	
0.00008	0.00018	0.0005	0.0023	1	عزم العطالة $Kg.m^3$
0.00016	0.00036	0.001	0.0041	2	
0.00024	0.00052	0.0014	0.0054	3	
0.00031	0.00066	0.0017	0.0065	4	

النتائج والمناقشة:

1_النتائج

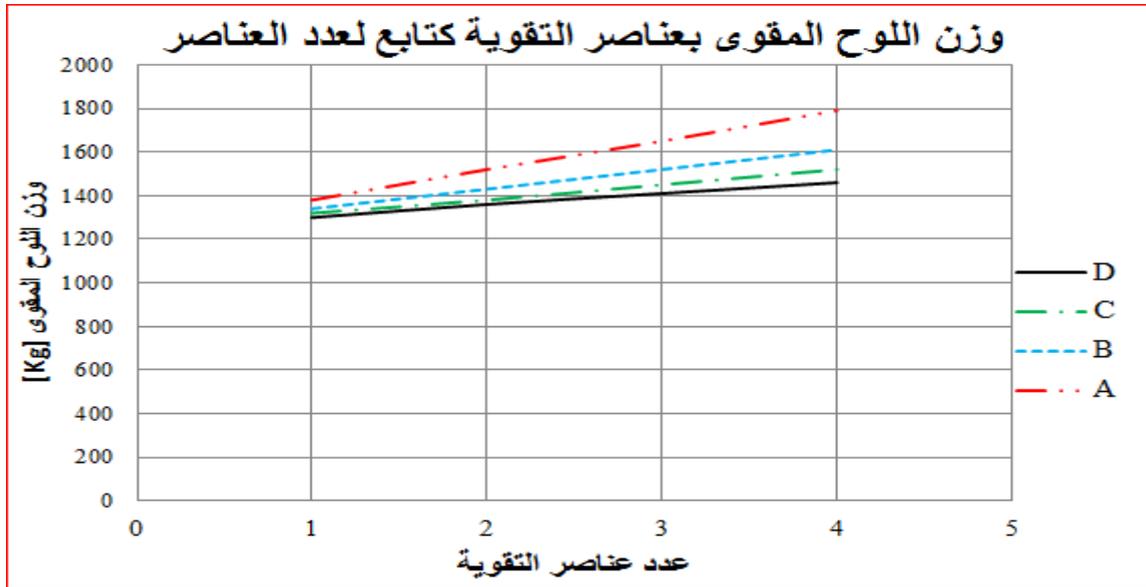
يعتبر مفهوم تقليل وزن العناصر الإنشائية الذي تمّ استخدامه في هذا البحث كمفهوم جديد سيتمّ الاعتماد عليه لتقييم التكلفة الإنشائية التي تعتمد على عدد عناصر التّقوية، وبالتالي العمليات الإنتاجية التي تفرضها هذه العناصر، حيث تتمثل هذه العمليات باللحام والوقت اللازم للعمل إضافة إلى التكلفة المادية الناتجة عن وجود كميات الفولاذ الزائدة بنتيجة عدد عناصر التّقوية الزائدة عن الحد المطلوب. حيث أنّ اختيار العدد سيتمّ بناء على تحقيق المتانة المطلوبة للوح المقوّى عند أقل وزن.

ولتحديد عدد عناصر التّقوية المثالي للوح المقوّى قمنا بتحليل النتائج التي تمّ الحصول عليها بالجدول (5)، حيث يظهر الشكل (7) علاقة الإجهاد الحرج لعدد العناصر لكل صنف محدد بالجدول (4).



الشكل (7) قيمة الإجهاد الحرج كتابع لعدد عناصر التقوية

يظهر الشكل (8) وزن اللوح المقوى بعناصر التقوية وذلك لكل صنف من العناصر المحددة بالجدول (4).



الشكل (8) وزن اللوح المقوى كتابع لعدد عناصر التقوية

2_ المناقشة

✓ يظهر الشكل (7) العلاقة بين الإجهاد الحرج وعدد عناصر التقوية. حيث نجد أنّ قيم الإجهاد الحرج التي تنتج باستخدام عنصر تقوية من الصنف A ذي الأبعاد (495x14+150x24 mm) المحددة بالجدول (4) أكبر من قيم الإجهاد لباقي العناصر من الأصناف الأخرى. حيث نجد أنّ قيمة الإجهاد الحرج للوح المقوى بعنصر تقوية

من الصنف A $\sigma_{cr} = 297[MPa]$ أكبر من قيمة الإجهاد فيما لو استخدمنا ثلاثة عناصر من الأصناف الأخرى، والسبب في ذلك مردّه إلى أنّ قيمة عزم العطالة لعنصر التقوية من الصنف A أكبر من قيم عزم العطالة لباقي الأصناف، وهذا بسبب قيمة ارتفاع عصب عنصر التقوية من الصنف A والتي تبلغ $H_w = 495mm$ أكبر من باقي الأصناف، حيث أنّ ارتفاع عصب عنصر التقوية هو الأكثر تأثيراً على زيادة عزم عطالة عنصر التقوية.

✓ يظهر الشكل (8) العلاقة بين وزن اللّوح المقوّى بعناصر التقوية وعددها، حيث يزداد الوزن بزيادة عدد العناصر. ولتحديد قيمة التّوفير في الوزن للوح المقوّى سيتمّ تحديد عنصر التقوية ذي المواصفات المحقّقة للمتانة المطلوبة عند أقل عدد للعناصر. وبالعودة إلى الشكل (7)، حيث تمّ استخدام عنصري تقوية من الصنف B المحدّد بالجدول (4) حيث بلغ وزن اللّوح المقوّى بعنصري التقوية حسب نتائج الجدول (5) $W=1430Kg$ عند قيمة للإجهاد الحرج $\sigma_{cr} = 132[MPa]$ ، بينما في حال تمّ استخدام عنصر تقوية من الصنف A فإنّ وزن اللّوح المقوّى بعنصر تقوية واحد يبلغ $W=1380Kg$ عند قيمة للإجهاد الحرج $\sigma_{cr} = 297[MPa]$. وبالتالي فإنّ الوزن الاقتصادي الذي سيتمّ توفيره عند استخدام عنصر التقوية من الصنف A والمحقق لقيم إجهاد حرج أكبر من استخدام عناصر تقوية من الصنف B سيكون $W=1430-1380=50 Kg$.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

- يتمّ اختيار عدد عناصر التقوية والمسافة بينها بالاعتماد على مساحة المقطع العرضي لعنصر التقوية.
- تعتمد مساحة المقطع العرضي لعنصر التقوية على أبعاده H_w, T_w, B_f, T_f ، بحيث تحقق أكبر قيمة للمتانة عند أقل عدد ممكن من العناصر.
- يتمّ زيادة متانة عنصر التقوية بزيادة عزم عطالة عنصر التقوية عن طريق زيادة قيمة ارتفاع عصب عنصر التقوية H_w .
- يتمّ الحصول على أقل وزن ممكن للوح المقوّى عند أقل عدد ممكن لعناصر تقوية وذلك من خلال اختيار عناصر تقوية من الصنف A .
- يعتبر وزن فولاذ اللّوح المقوّى بعناصر تقوية جزء من التكلفة الإنشائية للوح المقوّى، وبالتالي فإنّ اختيار أقل عدد ممكن لعناصر التقوية محققاً للمتانة المطلوبة سيوفر في وزن اللّوح إضافة إلى التوفير في ساعات العمل المتعلقة بالعمليات الإنتاجية على اللّوح المقوّى.

التوصيات

- ✓ يمكن استخدام العلاقات الرياضية التي تمّ التوصل إليها في هذا البحث (9)،(10)،(11)،(12) كعلاقات ناظمة لتحديد أبعاد عنصر التقوية كتابع لأبعاد اللّوح المقوّى.
- ✓ تعتبر العلاقة (15) معياراً يمكن استخدامه في تحديد عدد عناصر التقوية وخصائصها الإنشائية.
- ✓ يمكن استخدام العلاقة (19) في تحديد الإجهاد الحرج الكلي للعنصر المقوّى بعد تمّ التأكد من صحتها بمقارنتها مع العلاقة الأساسية (18)، وذلك بتطبيقها على السفينة الحقيقية الموضحة بالشكل (7).

References:

- [1]_Do KyunKim_Hui LingLim_Su YoungYu “Ultimate strength prediction of T-bar stiffened panel under longitudinal compression by data processing: A refined empirical formulation” Ocean Engineering Volume 192 (2019).
- [2]_TetsuoOkada, YasumiKawamura “Strength evaluation of intersection between stiffeners and primary supporting members considering the effect of shear force on the primary member web” Marine Structures Volume 59 (2018) Page 25–46 .
- [3]_ WeiSun , ZhidongGuan , ZengshanLi , TianOuyang , YeJiang “Modelling and simulating of the compressive behavior of T-stiffened composite panels subjected to stiffener impact “Journal of Composite Structures Volume 186, 15 February 2018, Pages 221-232 .
- [4]_D.K. Kim , K.S. Park,O.J. Hwang , M.S. Kim , H.L. Lim “An empirical formulation for predicting the ultimate strength of stiffened panels subjected to longitudinal compression “Journal of Ocean Engineering Volume 140, 1 August 2017, Pages 270-280.
- [5]_HebaWael Leheta,SherifFarouk Badran,AhmedShawki Elhanafi ,” Ship structural integrity using new stiffened plates “Journal of Thin-Walled Structures Volume 94, September 2015, Pages 545-561.
- [6]_ SatoyukiTanaka , DaisukeYanagihara , AyaYasuoka , MinoruHarada, ShigenobuOkazawa , MasahikoFujikubo , TetsuyaYao “Evaluation of ultimate strength of stiffened panels under longitudinal thrust “Journal of Marine Structures Volume 36, April 2014, Pages 21-50 .
- [7]_ David G.M. Watson” Practical Ship Design” Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 1 ,1998
- [8]_ GL,Germanischer Lloyd SE” Rules for Classification and Construction, Ship Technology” Edition 2011.
- [9] ABS” Rules for building and classing steel vessel”. US: American Bureau of Shipping, 2012.
- [10]_ Ming Ma, et al, Hull Girder Cross Sectional Structural Design Using Ultimate Limit States (ULS) Based Multi- Objective Optimization, Design Systems & Technologies, Antibes/ France .
- [11]_ Galeb Ahmad, . Heitham Issa, Ali Issam Yousef “Effect of Stiffeners Type I on the Strength of Stiffened Panels of Ships” Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (14) No. (5) 2019
- [12]_ Yasuhisa Okumoto · Yu Takeda · Masaki Mano · Tetsuo Okada “Design of Ship Hull Structures A Practical Guide for Engineers” Springer-Verlag Berlin Heidelberg 200.
- [13]_ Ghaleb Ahmad , Heitham Issa , Ali Yousef “ Optimum design of stiffened panels of ship structure of bulk carrier” Master thesis_Marine Engineering Department_ Tishreen University2022