مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (4) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (4) 2013

تصميم المقطع العرضي المتوسط في بدن السفينة

الدكتور طلال خازم*

(تاريخ الإيداع 3 / 4 / 2013. قُبِل للنشر في 30/ 5 / 2013)

∇ ملخّص ∇

يعتبر المقطع العرضي المتوسط أحد المقاطع المميزة في بدن السفينة بوصفه المقطع الذي يقع في منتصف طوله الحسابي، حيث تبلغ عزوم الانحناء المؤثرة عليه قيمها العظمى، وبالتالي تتحدد متانة البدن بشكلٍ عام بمتانة هذا المقطع.

تتضمن عملية تصميم المقطع العرضي المتوسط تحديد أبعاد الألواح وعوارض التدعيم المختلفة وهي تمثل إحدى المراحل الأساسية في عملية تصميم البدن.

يتضمن البحث المقدّم تحديد القيم الحسابية لعزوم الانحناء وعزوم مقاومة وعطالة مساحة سطح هذا المقطع انطلاقاً من شروط تأمين المتانة الحدية ومتانة التعب. ويتضمن أيضاً العلاقات المستخدمة لتحديد أبعاد العناصر الطولية من خلال ما يسمى السماكات المحوَّلة وطريقة توزيع المعدن بينها وتقييم المتانة الطولية العامة للبدن بحسب الإجهادات العمودية والمماسية.

الكلمات المفتاحية: متانة حدية، أضلاع تقوية طولية، عزم انحناء، عزم مقاومة المقطع.

* مدرس– كلية الهندسة الميكانيكية– أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية– حلب– سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (4) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (4) 2013

Design of the mid-Transverse Section in Shiphull

Dr. Talal Khazem*

(Received 3 / 4 / 2013. Accepted 30 / 5 / 2013)

∇ ABSTRACT ∇

The mid-transverse section is considered one of the significant sections in the shiphull, because it exists in the middle of its calculated length, where the bindings moments reach the maximum, in consequence the hull strength can be determined through the strength of this section. Its design process includes the determination of the dimensions of plats and different framing beams and considered one of the important stages in the hull design process. This research includes the estimation of calculated values of binding moments, inertia and resistant's moments of this section area, initiated from the providing conditions of critical strength and fatigue strength. It also includes, the formals used for the determination of longitudinal elements dimensions through the transverse thicknesses and metal distribution type among them. The longitudinal strength of the hull was evaluated according the perpendicular and tangential stresses.

Key words*:* critical strength, longitudinal framing beams, binding's moment, resistant's moment.

* **Assistant professor, Faculty of Mechanical Engineering, Al-Assad Academy for Military Engineering, Aleppo, Syria.**

مقدمة:

بدن السفينة هو إنشاء هندسي متطاول على شكل عارضة صندوقية، كتيم ذو ثخانة قليلة مخصص لاحتواء جميع المعدات والمنظومات الفنية والمحروقات والمياه وأفراد الطاقم وغيرها.

يعتبر البدن أحد أهم العناصر الرئيسة للسفينة التي تكسبها مواصفات فنية- تكتيكية محددة وقدرة على تنفيذ الوظيفة المحددة لها. لبلوغ ذلك يجب أن يكون البدن مصمماً بشكلٍ مناسب ونوعي وأن يلبي مجموعة من المتطلبات نذكر منها المتانة الكافية، عامل الأمان المناسب، خفة الوزن، البنية المناسبة إضافةً إلى تميز معدنه بخصائص ومؤشرات نوعية معينة.

يقصد بمتانة بدن السفينة قدرته كإنشاء كامل متكامل وقدرة بعض إنشاءاته على تحمل تأثير الحمولات الاستثمارية المختلفة والمؤثرات الميكانيكية الخارجية وعدم انهياره أوظهور تشوهات متبقية فيه والمحافظة على مستوى معين من الجاهزية الفنية خلال الفترة الزمنية المحددة لاستثماره.

تقسم متانة البدن إلى متانة عامة ومتانة موضعية. يمكن أن ينجم عن عدم تأمين المتانة العامة الطولية للبدن انشطاره وخسارة السفينة بينما ينجم عن عدم تأمين متانته الموضعية انهيار الجزء المتضرر منه وخروجه من الجاهزية. تعالج أثناء تقييم متانة بدن السفينة ثلاث مسائل أساسية هي:

1- مسألة القوى الخارجية: ماهي المؤثرات الخارجية التي يتعرض لها بدن السفينة وما هي الظروف التي تؤثر خلالها؟

2- مسألة المؤثرات الداخلية: ماهي الإجهادات والتشوهات التي تظهر في بدن السفينة نتيجة تعرضه لتأثير القوى الخارجية؟

3- مسألة الإجهادات المسموحة: ماهي قيم الإجهادات التي ينهار عندها البدن، وبالتالي ما هي قيم عامل الأمان المطلوب اعتمادها في قيم المؤثرات الخارجية والداخلية لتفادي ذلك؟.

أهمية البحث وأهدافه:

يتعرض بدن السفينة أثناء الإبحار لتأثير قوى وعزوم تؤدي إلى تقعره أو تحدبه (التقوس والتدلي) وهو ما يظهر عند توضع المنطقة الوسطى منه على قمة موجة وقاعدتها [1]. في هذه الحالات تظهر في عناصره الطولية إجهادات شد وانضغاط تبلغ قيمها العظمى في العناصر الأكثر بعداً عن محوره الحيادي وهي عادةً ألواح وعناصر السطح والقاع السفلي. كي يستطيع بدن السفينة تحمل تأثير هذه العزوم دون أن ينهار يجب أن يتمتع بمتانة كافية وهو مايتحقق بالاختيار المناسب لمقاطع عناصره الطولية التي يجب أن تؤمن أيضاً خفة الوزن.

يهدف البحث إلىتحديد القيم الحسابية لعزوم الانحناء وعزوم مقاومة وعطالة مساحة سطح المقطع العرضي المتوسط انطلاقا من شروط تأمين المتانة الحدية ومتانة التعب. كما يهدف إلى دراسة عملية اختيار عناصر المقطع العرضي المتوسط (التصميمي) في بدن السفينة عند عدم توافر أنموذج أولي لها وتقييم متانته بحسب المعايير المعتمدة في صناعة السفن.

طرائق البحث ومواده:

لتحقيق الأهداف المذكورة تم في هذا البحث استخدام النماذج الرياضية المناسبة والعلاقات الأساسية المستخدمة في الميكانيك الإنشائي للسفن لتحديد أبعاد العناصر الطولية في المقطع العرضي المتوسط وتقييم متانته بحسب الإجهادات العمودية (الناظمية) والمماسية وتم حل ذلك باستخدام الجداول الالكترونية في بيئة Excel.

1- تصنيف العناصر الطولية في بدن السفينة

تسمى العناصر التي تؤمن المتانة العامة الطولية للبدن بالعناصر الطولية وتتكون من الألواح وعوارض التدعيم الطولية في الأسطح والجوانب والقاع ومن أضلاع التقوية الطولية المركبة على الألواح.

تتعرض هذه العناصر للانحناء أثناء انحناء البدن بكامله في الاتجاه الطولي مما يؤدي إلى ظهور إجهادات عامة فيها وتتعرض أيضاً للانحناء موضعياً تحت تأثير الحمولات الموضعية التي ينجم عنها ظهور إجهادات إضافية فيها، وفي هذه الحالة تتكون الإجهادات الكلية المؤثرة في هذه العناصر من مجموع الإجهادات الناجمة عن التأثيرين المذكورين.

تُصَّنف العناصر الطولية في البدن تبعاً لعدد الحمولات الموضعية التي يجب أن تؤخذ بالحسبان عند حساب الإجهادات الناتجة فيها إلى أربع مجموعات هي [1]:

1- عناصر المجموعة الأولى: يتبع لها العناصر الطولية في السطح شرط عدم تعرضها لأية حمولة موضعية أخرى، تؤثر في عناصر هذه المجموعة الإجهادات الناتجة عن انحناء البدن بكامله في الاتجاه الطولي فقط.

2- عناصر المجموعة الثانية: يتبع لها العوارض الطولية في القاع والجوانب، وقائم القرينة الرأسي والحزام الحر (الرف الأفقي)، تؤثر فيها إجهادات ناتجة عن انحناء البدن بكامله في الاتجاه الطولي وأخرى ناتجة عن أجزاء من البدن ضمن حدود قاطوعين عرضيين.

3- عناصر المجموعة الثالثة: يتبع لهذه العناصر أضلاع التقوية الطولية، تؤثر فيها إجهادات ناتجة عن تأثير ثلاثة أنواع من الانحناءات في آنٍ واحد هي الإجهادات الناتجة عن الانحناء الطولي العام للبدن، الإجهادات الناتجة عن انحناء أجزاء من البدن ضمن حدود قاطوعين عرضيين والإجهادات الناتجة عن انحناء أضلاع التقوية الطولية ذاتها ضمن حدود المسافات الفاصلة بين العوارض العرضية في القاع.

4- عناصر المجموعة الرابعة: تؤثر فيها إجهادات ناتجة عن تأثير أربعة أنواع من الانحناءات في آنٍ واحد هي الانحناءات المذكورة في المجموعة الثالثة مضافاً إليها الإجهادات الناتجة عن انحناء الألواح (الصفائح) ضمن حدود المسافات الفاصلة بين أضلاع التقوية الطولية.

2- تحديد القيم الحسابية لعزوم الانحناء المؤثرة في المقطع العرضي المتوسط من بدن السفينة

تحدد القيمة الحسابية لعزم الانحناء المؤثر في المقطع العرضي المتوسط من بدن السفينة M_2 الذي يوافق درجة أمان 10^{-5}، أي أنه من بين كل 10^5 حالة يتعرض فيها البدن لعزم انحناء يمكن أن تصادف حالة واحدة تكون فيها قيمة العزم المؤثر مساويةً أو أكبر من للقيمة المحددة بالعلاقة [1] ويكون عندها قادراً على تحمل تأثيره. تعتمد قيمة هذا العزم لتقييم متانة التعب [2]:

$$M_2 = M_T + M_{v2} \qquad (1)$$

حيث انّ:

M_T – عزم الانحناء المؤثر على سطح الماء الساكن،

M_{v2} – عزم الانحناء الموجي.

تحسب قيمة عزم الانحناء المؤثر على سطح الماء الساكن بالعلاقة الآتية [5]:

$$M_T = \frac{DL}{k_T} \quad (2)$$

حيث إنّ:

D – الحمولة الاسمية للسفينة [ton]،

L – طول السفينة [m]،

k_T – معامل تحدد قيمته من وثائق السفينة المعتمدة أنموذجاً أولياً أو من الجدول (1).

الجدول (1) قيم المعامل k_T لبعض أنواع السفن

م	نوع السفينة	k_T
1	كاسحات الألغام	50 – 60
2	الفرقاطات والسفن متعددة المهام	80 – 100
3	المدمرات	130 – 200
4	الطرادات	85 – 95
5	ناقلات النفط التي تتميز بطول يتراوح بين $100 \le L \le 300$ ومعامل ملء حجمي $\delta = 0.75$	105–200
	ناقلات النفط التي تتميز بطول يتراوح بين $100 \le L \le 300$ ومعامل ملء حجمي $\delta = 0.8$	75–130
6	سفن نقل البضائع	70–100

عند عدم توافر معطيات موثوقة وكافية عن إشارة العزم المؤثر على سطح الماء الساكن ينصح باعتمادها سالبة، أي يفترض أن العزم يؤدي إلى تقعر البدن وهو ما يعتبر عامل أمان إضافي.

تحدد قيمة عزم الانحناء الموجي M_{v2} بالعلاقة [2]:

$$M_{v2} = \gamma \frac{h_2}{2} k(\alpha) \chi_0 \chi_1 BL^2 \quad (3)$$

حيث انّ:

$\gamma = 1tf/m^3$ – الوزن الحجمي لماء البحر،

h_2 – ارتفاع الموجة الموافقة درجة أمان 10^{-5} ويحسب بالعلاقة:

$$h_2 = \frac{L}{30} + 2[m] \quad (4)$$

$k(\alpha)$ – معامل يتعلق بشكل مقطع الموجة ومعامل امتلاء خط الماء ويحدد من العلاقة [5]:

- على قاعدة الموجة: $k(\alpha) = 0.054\ \alpha - 0.009$
- على قمة الموجة: $k(\alpha) = 0.07\ \alpha - 0.026$

χ_o – معامل تتعلق قيمته بالنسب $\frac{T}{L}$، $\frac{B}{L}$ وتحدد بالعلاقة:

$$\chi_0 = (1.28 - 2\frac{B}{L})(0.654 - 1.8\frac{T}{L}) \quad (5)$$

B ، T – عرض وغاطس السفينة في منطقة الوسط [m] ،

χ_1 – معامل يأخذ بالحسبان تأثير سرعة السفينة وعزم الانحناء المؤثر على سطح الماء الساكن وتوزع الأوزان على امتداد طول السفينة وتحدد بالعلاقة [5]:

$$\chi_1 = 1.2 - 0.3\,\alpha - (3 + 2.5Fr^{v})(\frac{M_T}{DL}) - (5 - 4.8\,\alpha)Fr^{v} \quad (6)$$

Fr^{v} – رقم فرود في ظروف تموج البحر تحدد قيمته من العلاقة:

$$Fr^{v} = Fr[\,a_1 + 0.12(\frac{L}{100} - 1)^{\frac{2}{3}}] \quad (7)$$

حيث:

$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$ – رقم فرود الموافق للسرعة الاسمية للسفينة على سطح ماء ساكن،

v – السرعة الاسمية للسفينة،

g – تسارع الجاذبية الأرضية،

a_1 – معامل، تعتمد قيمته مساويةً 0.5.

تحدد قيمة عزم الانحناء الحسابي في المقطع العرضي المتوسط من بدن السفينة M_1 الذي يوافق درجة أمان 10^{-8} ويستخدم معياراً لاختبار متانته الحدية من العلاقة:

$$M_1 = M_T + M_{v1} + M_{d1} \quad (8)$$

تحسب قيمة عزم الانحناء الموجي M_{v1} بالعلاقة (3) بعد استبدال قيمة ارتفاع الموجة h_2 بنظيرتها الموافقة درجة أمان 10^{-8} والتي تساوي عادةً ضعف h_2 الموافقة درجة أمان 10^{-5} ، أي:

$$h_1 = 2(\frac{L}{30} + 2)[m] \quad (9)$$

إضافةً إلى ذلك عند حساب المعامل χ_1 من الضروري اعتماد قيمة أخرى لرقم فرود في ظروف التموج Fr^{v} ، تحدد من العلاقة (7) بعد استبدال قيمة $a_1 = 0.5$ بالقيمة $a_1 = 0.25$.

أما قيمة عزم الانحناء الديناميكي المؤثر في المقطع العرضي المتوسط الذي يظهر في الظروف الجوية السيئة عندما ترتفع مقدمة السفينة مع الموج إلى الأعلى ثم ترتطم بالموجة التالية (الدق) M_{d1}^{p} فتحدد بالعلاقة التالية [4]:

$$M_{d1}^{p} = -B^2 L \frac{h}{\bar{\lambda}_p} \cdot \frac{a}{5} \quad (10)$$

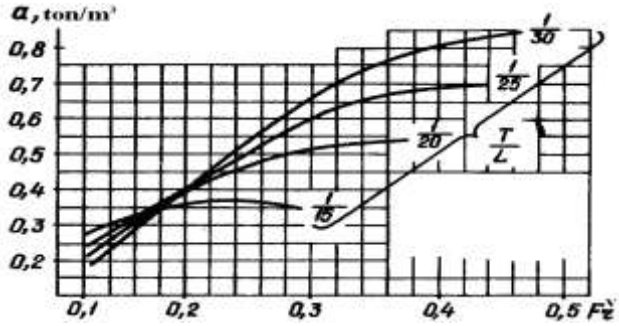
حيث انّ:

$a[ton/m^3]$ – يتعلق برقم فرود في ظروف التموج والنسبة بين غاطس السفينة وطولها وتحدد من الشكل (1).

$\bar{\lambda}_p$ – الطول النسبي لموجة الطنين الحسابية ويحدد بالعلاقة:

$$\sqrt{\bar{\lambda}_p} = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{T}{L}} + \sqrt{\frac{9T}{4L} + 7.5Fr\sqrt{\frac{T}{L}}} \quad (11)$$

تعتمد قيم L، B وT بالنسبة لخط الماء الموافق للحمولة الطبيعية للسفينة.



الشكل (1) منحنيات تحديد المعامل a

وتحدد قيمة عزم الانحناء الديناميكي المؤثر في المقطع العرضي المتوسط M^{v}_{d1} عند وجود السفينة على قمة الموجة بالعلاقة:

$$M^{v}_{d1} = 0.6\ \delta\ M^{p}_{v1} \qquad (12)$$

حيث انّ:

δ – معامل الامتلاء الحجمي (الكلي) للسفينة.

يجب التنويه إلى أن إشارات عزوم الانحناء الموجية والديناميكية عند وجود السفينة على قاعدة الموجة سالبة وعلى قمة الموجة موجبة. نتيجة الحسابات نحصل على قيمتين حسابيتين لعزوم الانحناء إحداها توافق درجة ضمان 10^{-5} تستخدم لتقييم متانة تعب البدن بوساطة الإجهادات الناتجة في عناصره أثناء انحنائه بالكامل في الاتجاه الطولي والأخرى توافق درجة أمان 10^{-8} تستخدم لتقييم متانته الحدية.

3-3- تحديد القيم الحسابية لعزوم مقاومة وعطالة مساحة سطح المقطع العرضي المتوسط استناداً إلى شروط المتانة الحدية ومتانة التعب

يكتب شرط تأمين المتانة الحدية لبدن السفينة على الشكل التالي:

$$\frac{M_{pr}}{M_1} \geq n \qquad (13)$$

$$n = 1.2 - 1.3$$

$$M_{pr} = \sigma_y W_T \qquad (14)$$

حيث انّ:

σ_y – حد خضوع المعدن،

W_T – عزم المقاومة الحدي لبدن السفينة.

من العلاقتين (13) و (14) نجد:

$$W_T \geq \frac{nM_1}{\sigma_y} \qquad (15)$$

عند حساب W_T بوساطة هذه العلاقة يجب اعتماد القيمة العظمى لعزم الانحناء التي توافق عادةً قيمة العزم M_1 الذي يؤثر على السفينة عند توضعها على قاعدة الموجة.

في التقريب الأولي يمكن افتراض أن قيمة عزم المقاومة الحدي W_T تساوي قيمة عزم مقاومة المقطع العرضي W.

أما شرط متانة تعب البدن فيكتب على الشكل التالي:

$$\sigma_{max} = \frac{M_2}{W} \le [\sigma] \qquad (16)$$

ومنه:

$$W \ge \frac{M_2}{[\sigma]} \qquad (17)$$

حيث:

$[\sigma]$ – الإجهادات المسموحة التي تحدد استناداً إلى متانة تعب الإنشاء والإجهادات الديناميكية الناجمة عن تعرض البدن لعزم الانحناء عند خروج مقدمته مع الموجة وارتطامها بالماء من جديد وتحدد قيمتها بالعلاقة:

$$[\sigma] = (0.3 - 0.4)\ \sigma_y \qquad (18)$$

أثناء تصميم العناصر الطولية في البدن (تحديد أبعادها) يتم اختيار القيمة العظمى W_{max} من بين قيم عزوم المقاومة التي تم الحصول عليها. تكون مساحة سطح المقطع العرضي للعارضة أصغر ما يمكن عندما يتوضع محوره الحيادي في منتصف ارتفاعه. بسبب ظهور إجهادات في العناصر الطولية في قاع السفينة عند تعرضها للانحناء الذاتي، والتي يتم عادةً جمعها مع الإجهادات الناجمة عن الانحناء الطولي العام للبدن فإنه من المناسب أن تكون قيم الإجهادات الناتجة في القاع أصغر من الإجهادات الناتجة في سطح السفينة. لهذا السبب ينصح استناداً إلى الخبرة المكتسبة من تصميم السفن اعتماد البعد بين المحور الحيادي والمستوي الأساسي للبدن ضمن المجال:

$$z_c = (0.45 - 0.49)H \qquad (19)$$

حيث:

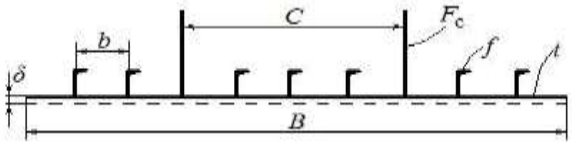
H – ارتفاع جانب السفينة [m].

عندئذٍ تكون قيمة عزم العطالة المطلوب للمقطع العرضي للعارضة المكافئة التي تكافئ متانتها متانة بدن السفينة مساويةً:

$$I_{tr} = W_{max}(H - z_c) \qquad (20)$$

بعد تحديد قيم عزم العطالة المطلوب I_{tr} والمسافة بين المحور الحيادي للمقطع والمستوي الأساسي للبدن z_c يتم صياغة العلاقات اللازمة لتحديد السماكات المحوَّلة لعناصر البدن.

السماكة المحوَّلة δ هي عبارة عن سماكة رمزية يتم الحصول عليها بجمع السماكة الفعلية للوح (الصفيحة) مع السماكة الناتجة عن تحويل مساحات أسطح المقاطع العرضية للعوارض المركبة عليها إلى سماكة موزعة بانتظام على كامل عرض الصفيحة كما هو موضح على الشكل (2).



الشكل (2) السماكة المحوَّلة δ

تحدد قيمة السماكة المحوَّلة من العلاقة [4]:

$$\delta = t + \frac{f}{b}(1 - \frac{b}{B}) + \frac{F_c}{C}(1 - \frac{C}{B}) \quad (21)$$

حيث انّ:

t – سماكة اللوح (الصفيحة)،

f – المساحة الإجمالية لأسطح المقاطع العرضية لأضلاع التقوية الطولية *Longitudinal stiffeners*.

b – المسافة بين أضلاع التقوية الطولية.

F_c – المساحة الإجمالية لأسطح المقاطع العرضية للعوارض الطولية في القاع.

c – المسافة بين العوارض الطولية في القاع.

B – عرض اللوح (الصفيحة).

4- تحديد السماكات المحوَّلة للعناصر الطولية في البدن

في الحسابات العملية تعتمد السماكات المحوَّلة للعناصر الطولية في قاع السفينة δ_0 وفي سطحها العلوي δ_1 أساساً لصياغة العلاقات الضرورية التي يتم بوساطتها حساب السماكات الفعلية للعناصر المختلفة في البدن. أما السماكات المحوَّلة لبقية العناصر الطولية فتؤخذ على شكل نسبة من السماكات المذكورة δ_0 و δ_1.

استناداً إلى الخبرات المكتسبة من صناعة واستثمار السفن ينصح باعتماد النسب التالية بين السماكات المحوَّلة للعناصر المختلفة في البدن والسماكتين δ_0 و δ_1:

- القاع الثاني: $(0.5 - 0.6)\ \delta_0$
- جانب السفينة: $0.4(\delta_0 + \delta_1)$
- القواطع الطولية: $(0.7 - 0.8)\ \delta_0$
- العوارض الطولية في القاع: $(0.6 - 0.7)\ \delta_0$

تعتمد سماكات كل من اللوح الجانبي في السطح العلوي الذي يجاور جانبها (صف مداد السطح) وأعلى لوح في الجانب (صف ألواح القص) وأيضاً القرينتين الأفقية والطولية أكبر بحوالي $(20 - 40)\%$ من سماكات الألواح المجاورة لها. يوضح الشكل (3) مخطط توزيع السماكات المحوَّلة بين عناصر المقطع العرضي للبدن. أثناء تصميم البدن يجب التنويه إلى أن السماكات الفعلية لألواح السطح العلوي والجانب والقاع يجب ألا تقل عن قيمة محددة تراعي تعرضها للاهتراء (التآكل) مع مرور الزمن. يمكن تحديد السماكة الصغرى المسموحة من العلاقة التجريبية الآتية [2]:

$$\delta_{min} = (\frac{L}{30} + 2)[mm] \geq 4[mm] \quad (22)$$

حيث:

L – طول السفينة $[m]$.

تُصاغ العلاقات الضرورية لتحديد قيم السماكات المحوَّلة δ_0 و δ_1 انطلاقاً من تحقق الشرطين الآتيين:

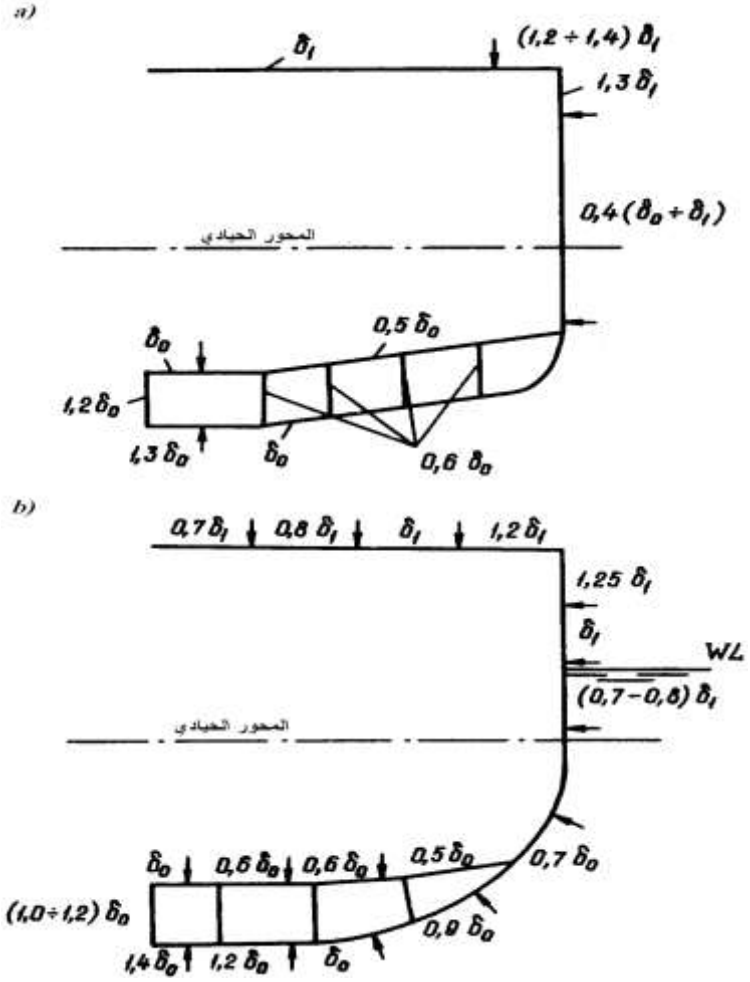
1- أن لا تقل قيمة عزم عطالة سطح المقطع العرضي للبدن I بالنسبة للمحور الحيادي المعتمد على أساس العلاقة (19) عن قيمة عزم العطالة المطلوب المحدد بالعلاقة (20)،

2- أن تكون قيمة العزم الستاتيكي لسطح المقطع العرضي للبدن بالنسبة لهذا المحور مساويةً الصفر.

بما أن بدن السفينة متناظر بالنسبة للمستوي الطولي(الخط المنصّف *center line*) فإن الحسابات تنفذ بالنسبة لنصف محيط المقطع العرضي وبعد ذلك تضاعف النتائج. استناداً إلى ما تقدم يمكن صياغة الشرطين الأخيرين على الشكل الأتي:

$$I = \frac{1}{2} I_{tr} \qquad (23)$$
$$S_y = 0$$

يفضل إجراء الحسابات في جدول كما هو موضح في الجدول (2).



الشكل (3) مخطط توزيع السماكات المحوَّلة بين عناصر المقطع العرضي

بعد تدوين كافة المعطيات الضرورية في الجدول (2) وجمع القيم في الأعمدة (3)، (5)، (6) و (7) يتم صياغة جملة المعادلات (23) على الشكل الأتي:

$$\sum (f_i z_i^2 + i_i) = \frac{1}{2} I_{tr} \qquad (24)$$
$$\sum f_i z_i = 0$$

بحل جملة المعادلات (24) يتم الحصول على قيم السماكات المحوَّلة δ_0 و δ_1، بعدئذٍ تحسب المساحات الفعلية لأسطح مقاطع العناصر الطولية وتدون في العمود رقم 8 في الجدول (2) كونها تعتبر ضروريةً عند تصميم العناصر الطولية.

في الحالات التي يتوافر فيها أنموذج أولي للسفينة المصممة يمكن اتباع التسلسل التالي:

يتم رسم المقطع العرضي لبدن السفينة استناداً إلى مقطع السفينة المعتمدة أنموذجاً أولياً ويحدد موقع محوره الحيادي على أساس العلاقة (19) وبعد ذلك تحسب قيم العزم الستاتيكي لمساحة سطحه S_y^0 وعزم عطالته I^0 بالنسبة للمحور المذكور كما هو موضح في الجدول (2).

الجدول (2) تحديد عزوم مقاومة وعطالة سطح المقطع العرضي للبدن بواسطة السماكات δ_0 و δ_1

م	اسم العنصر	مساحة سطح المقطع العرضي f_i	البعد عن المحور الحيادي z_i	العزم الستاتيكي لسطح المقطع $f_i.z_i$	عزم عطالة المقطع بالنسبة لمحور المقارنة $f_i.z_i^2$	عزم العطالة الذاتي i_i	المساحة الحقيقية لسطح المقطع
1	2	3	4	5	6	7	8
2	السطح العلوي	$b_b\delta_1$					
3	اللوح الجانبي في السطح	$1.2b_s\delta_1$					
	.....	.....					
	القرينة الأفقية	$1.2b_k\delta_0$					
n	القاع السفلي	$b_d\delta_0$					
	$\sum$	$\sum f_i$		$S_y = \sum f_i.z_i$	$I = \sum (f_i z_i^2 + i_i)$		F

لتأمين قيم عزوم المقاومة والعطالة المطلوبة يتم إضافة كمية من المعدن إلى الحزامات السفلية والعلوية للعارضة المكافئة.

بفرض أن المساحات الإضافية الناجمة عن إضافة كمية من المعدن إلى السطح العلوي والقاع هي S_b، S_d وبعد مراكز ثقلها عن المحور الحيادي للمقطع z_b، z_d. عندئذٍ تكتب العلاقات التي تحدد هذه الإضافات ستكون:

$$\begin{aligned} S_b z_b^2 + S_d z_d^2 &= \frac{1}{2} I_{tr} - I^0 \\ S_b z_b + S_d z_d &= -S_y^0 \end{aligned} \qquad (25)$$

بالنسبة للسفن الصغيرة يمكن الحصول بنتيجة الحسابات على قيم صغيرة للسماكات، لكن بالرغم من ذلك يجب اعتماد القيمة الصغرى المسموحة المحسوبة بالعلاقة (22).

5- توزيع المعدن بين ألواح البدن وعناصر التدعيم الطولية

يتم توزيع المعدن بشكلٍ مثالي بين الألواح وعناصر تدعيمها الطولية (أضلاع التقوية الطولية) انطلاقاً من شروط تأمين استقرار ومتانة عناصر الإنشاءات الأساسية في البدن (القاع، القاع الثاني، السطح العلوي، الجوانب، العوارض الطولية في القاع) ومراعاة قيم δ_0 و δ_1 (أو S_b ، S_d) التي تم الحصول عليها استناداً إلى شروط تأمين المتانة الحدية العامة ومتانة التعب.

أثناء تصميم العوارض الطولية في القاع وأضلاع التقوية الطولية المركبة على ألواحه الخارجية يجب الأخذ بالحسبان ضرورة تحقق متطلبات المتانة الطولية العامة بحسب الإجهادات العمودية الكلية الناتجة في عناصر القاع.

كقاعدة يتم تصميم السطح العلوي والقاعين السفلي والثاني في معظم السفن وفق نظام التدعيم الطولي، ويمكن أيضاً اعتماد هذا النظام لتدعيم جوانب السفن أحادية السطح [3].

5-1- تصميم السطح العلوي للسفينة

عند تصميم السطح العلوي في السفينة من الضروري السعي لبلوغ ما يلي:

1- تأمين استقرار أضلاع التقوية الطولية عند بلوغ قيم الإجهادات الناتجة فيها حد خضوع المعدن أي:

$$\sigma_{cr}^{p} = \sigma_y$$

عند تحديد قيم الإجهادات الحرجة للعوارض σ_{cr} يجب مراعاة تأثير التباين عن قانون هوك.

2- تأمين استقرار ألواح (صفائح) السطح العلوي عند بلوغ الإجهادات الناتجة فيها القيم الأتية:

- اللوح الجانبي المجاور للجانب (صف مواد السطح): $\sigma_{cr} \approx \sigma_e = \sigma_y$

- بقية الألواح (الصفائح): $\sigma_{cr} \approx \sigma_e = 0.4\ \sigma_y$

حيث انّ:

σ_e - إجهادات إيلر.

يُصمم السطح العلوي في بدن السفينة وفق التسلسل الأتي:

1- تخصص لأسطح المقاطع العرضية لأضلاع التقوية الطولية حوالي (10 – 20)% من المساحة الكلية لسطح المقطع العرضي للسطح العلوي المحددة في العمود رقم 8 من الجدول (2) ويوزع المعدن المتبقي على سماكات الألواح بما يوافق السماكات الموضحة على الشكل (3).

2- تحدد المسافة الصغرى الضرورية بين أضلاع التقوية انطلاقاً من شروط تأمين استقرار الألواح. تحدد إجهادات إيلر في نظام التدعيم الطولي بالعلاقة:

$$\sigma_e = 800\ \frac{E}{E_c}\left(\frac{100\ \delta}{c}\right)^2 \geq 0.4\ \sigma_y \left[\frac{kgf}{cm^2}\right] \qquad (26)$$

حيث:

E_c - معامل مرونة الفولاذ ($E_c = 2.10^6\ kgf/cm^2$)،

E - معامل مرونة المادة المدروسة،

δ - سماكة اللوح [mm]،

c - المسافة الفاصلة بين أضلاع التقوية الطولية.

من العلاقة (26) نجد:

$$c \le 100\ \delta \sqrt{\frac{800\ \frac{E}{E_c}}{0.4\ \sigma_y}} \qquad (27)$$

في هذه العلاقة يجب اعتماد أصغر سماكة لوح δ من بين سماكات ألواح السطح العلوي.

ومن شرط تأمين استقرار اللوح الجانبي في السطح المجاور للجانب نحصل على المسافة الصغرى بين أضلاع التقوية الطولية المركبة عليه:

$$c \le 100\ \delta \sqrt{\frac{800\ \frac{E}{E_c}}{0.4\ \sigma_y}} \qquad (28)$$

حيث:

δ – سماكة اللوح المذكور [mm].

يجب التنويه إلى أنه يفضل اعتماد مسافة واحدة بين جميع أضلاع التقوية الطولية في السطح لأن ذلك يسهل عملية التجميع والبناء.

3– تحدد الأبعاد الضرورية لأضلاع التقوية الطولية التي تعتمد عادةً من زوايا مدلفنة برأس ذي كتلة.

يكتب شرط تأمين استقرار أضلاع التقوية الطولية على الشكل:

$$\sigma_{cr} = \eta \frac{EI\ \pi^2}{l^2 (f + c\delta)} \ge \sigma_y \qquad (29)$$

حيث انّ:

η – معامل تصحيح يأخذ بالحسبان تأثير التباين عن قانون هوك على استقرار الأضلاع، وتعتمد قيمته عند $\sigma_{cr} = \sigma_y$ مساويةً $\eta = 0.4$ ،

l – المسافة بين العوارض العرضية في السطح. في السفن المصمم بدنها وفق نظام التدعيم الطولي تكون المسافة بين العوارض العرضية في السطح والجوانب ضعف مثيلتها في القاع،

f – مساحة سطح المقطع العرضي لضلع التقوية الطولي،

I – عزم العطالة الذاتي لسطح المقطع العرضي لضلع التقوية مع الحزام الملحق به من اللوح.

تعتمد القيمة الصغرى من بين القيمتين التاليتين عرضاً للحزام الملحق بالضلع وهي:

$$b_{inp} = \min(c,\ \frac{l}{6}) \qquad (30)$$

من (29) نجد أن:

$$\frac{I}{f + c\delta} \ge \frac{2.5\ \sigma_y l^2}{\pi^2 E} \qquad (31)$$

استناداً إلى هذه العلاقة يتم اختيار رقم ضلع التقوية الطولي من الجداول والمراجع الخاصة [3].

5-2- تصميم العناصر الطولية الأخرى في البدن

تحدد سماكات ألواح القاع وأرقام أضلاع التقوية الطولية والمسافة بينها بشكلٍ مشابه تماماً لما ذكر بالنسبة للسطح العلوي. لكن يجب التنويه هنا إلى أن المسافة بين العوارض العرضية في القاع هي عادةً أصغر بمرتين من المسافة الفاصلة بين عوارض السطح والجوانب ولذلك يمكن أن تكون قياسات أضلاع التقوية الطولية المركبة في القاع أصغر من أضلاع السطح. أثناء تصميم الجانب يجب الأخذ بالحسبان زيادة سماكة الألواح بعض الشيء وزيادة عدد أضلاع التقوية الطولية المركبة في مستوى خط الماء لإكساب البدن المتانة الكافية عند تعرضه لتأثير الجليد.

6- تقييم المتانة الحدية للبدن في التقريب الثاني

عندما تفقد بعض العناصر المرنة في البدن استقرارها، أي تتموج ويتغير شكلها الأولي (وهذا يخص بشكلٍ رئيس ألواح السطح العلوي، القاع والقاع الثاني- السطح العلوي للقاع) نتيجة تأثير عزوم الانحناء الحدية يتم تقييم المتانة الحدية للبدن مع الأخذ بالحسبان هذه المسألة باستخدام معاملات التخفيض. تنفذ الحسابات بالنسبة لوضعيتي السفينة على قمة الموجة وعلى قاعدتها. يوضح الجدول (3) تسلسل حساب عزم المقاومة الحدي للبدن في التقريب الثاني عند وجود السفينة على قاعدة الموجة (في هذه الوضعية تكون العناصر الموجودة فوق المحور الحيادي في حالة انضغاط).

الجدول (3) حساب عزم المقاومة الحدي للبدن في التقريب الثاني عند توضع السفينة على قاعدة الموجة

رقم العنصر	اسم العنصر	المساحة المخفضة f_{pi}, cm^2	معامل التخفيض φ_{2i}	z_i, m	$\Delta f_i = f_{pi}(\varphi_{2i} - \varphi_{1i})$	$z_i \Delta f_i$	$z_i^2 \Delta f_i$	عزم العطالة الذاتي المفقود i_i^n
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
					ΔF	ΔS_y	ΔI	

بعد حساب مجموع القيم في الأعمدة (6 ÷ 9) يجري تحديد ما يلي:

1- بعد المحور الحيادي للمقطع في التقريب الثاني عن المحور الحيادي في التقريب الأولي:

$$\Delta z_c = -\frac{\Delta S_y}{F - \Delta F} \quad (32)$$

حيث:

F- المساحة الإجمالية لأسطح مقاطع العناصر الطولية للعارضة المكافئة في التقريب الأولي، تؤخذ من العمود 8 في الجدول (2).

2- عزم العطالة الذاتي لسطح المقطع العرضي للعارضة المكافئة مع الأخذ بالحسبان تخفيض مساحات أسطح مقاطع بعض العناصر (في التقريب الثاني):

$$I_2 = I - \Delta I - (\Delta z_c)^2 (F - \Delta F) \quad (33)$$

3- عزم المقاومة الحدي:

$$W_T = \frac{I_2}{z_{max}} \quad (34)$$

يختبر شرط تأمين المتانة الحدية وفق العلاقة (15) وفي حال تحققه يجب إضافةً إلى ذلك التأكد من تحقيق الشرط الأتي:

$$\frac{W_T}{W} \geq 0.75 \qquad (35)$$

حيث:

W –عزم مقاومة مقطع البدن في التقريب الأولي، أي بدون تخفيض مساحات أسطح مقاطع العناصر.

7- تقييم المتانة الطولية العامة للبدن بحسب الإجهادات العمودية الإجمالية الناتجة في العناصر الطولية في القاع

يفترض أن ضغط الماء المؤثر على إنشاءات القاع عند وجود السفينة على قمة الموجة وعلى قاعدتها موزعٌ بشكلٍ منتظم وتحدد قيمته بالعلاقات الأتية [4]:

$$P_v = \gamma\left(T + k\frac{h}{2}\right) - P_g$$
$$P_p = \gamma\left(T - k\frac{h}{2}\right) - P_g \qquad (36)$$

حيث انّ:

k – معامل تصحيح،

γ – الوزن الحجمي لماء البحر،

T – غاطس السفينة،

P_g – الضغط المعاكس لضغط الماء الناجم عن تأثير الأحمال المركبة في القاع،

h – القيمة الحسابية لارتفاع الموجة الموافقة درجة أمان 10^{-5}.

يسمح في مراحل التصميم الأولى بدراسة العوارض الطولية في القاع كعوارض مركبة ذات مقاطع على شكل I، طول كل منها يساوي طول القطاع المدروس، مثبتة في نهاياتها على القواطع العرضية في البدن وتتعرض لتأثير حمولة منتظمة شدتها:

$$q_c = Pb_{cp} \qquad (37)$$

حيث انّ:

P – الضغط المؤثر على العارضة، تحدد قيمته من العلاقة (36)،

b_{cp} – المسافة الفاصلة بين العوارض الطولية في القاع المجاورة للعارضة المدروسة.

كقاعدة تعتمد العارضة الطولية الأولى المجاورة للقرينة الشاقولية عارضةً حسابية.

تحسب المواصفات الهندسية للعارضة الطولية في القاع (عزم المقاومة والعطالة وغيرها) مع الأخذ بالحسبان أضلاع التقوية الطولية المركبة عليها وأيضاً الحزامات الملحقة بها من ألواح القاع السفلي والقاع الثاني. تعتمد القيمة الصغرى من بين القيمتين التاليتين عرضاً للحزام الملحق بالعارضة الطولية:

$$b_s = \min(b_{cp}, \frac{l_c}{6}) \qquad (38)$$

حيث:

l_c – طول العارضة الطولية بين قاطوعين عرضيين (طول القطاع).

تحدد قيم عزوم الانحناء في المقاطع الحسابية للعارضة الطولية من العلاقات:

- في المساند (عند القاطع العرضي):

$$M_n = \frac{q_c l_c^2}{12} \quad (39)$$

-

- في منتصف القطاع:

$$M_{np} = -\frac{q_c l_c^2}{24} \quad (40)$$

تحسب الإجهادات الناتجة في المقاطع الحسابية للعارضة بالعلاقة:

$$\sigma_c = \frac{M}{I_c} z \quad (41)$$

حيث انّ:

I_c – عزم العطالة الذاتي لسطح مقطع العارضة الطولية،

z – بعد الليف الطولي (الطبقة) المدروس من المقطع عن المحور الحيادي.

تحسب الإجهادات الكلية الناتجة في الألياف الحدية في العارضة عند المساند (القواطيع العرضية) وفي منتصف القطاع وذلك بالنسبة لوضعيتي السفينة على قمة الموجة وقاعدتها.

تتحقق متانة العارضة الطولية في القاع عندما يتحقق الشرط الأتي:

$$\sigma_c = \sigma_c^o + \sigma_c^m \le [\sigma] \quad (42)$$

$$[\sigma] = (0.55 - 0.6)\ \sigma_y \quad (43)$$

حيث انّ:

σ_c^o – الإجهادات الناجمة في مقطع العارضة نتيجة الانحناء الطولي العام للبدن،

σ_c^m – الإجهادات الناجمة في مقطع العارضة نتيجة انحنائها الذاتي ضمن بنية أجزاء القاع.

إذا لم تحقق الإجهادات الكلية الناتجة شروط المتانة المحددة بالعلاقة (42) ينصح قبل البدء بتغيير وتعديل بنية الإنشاء تحديد الإجهادات الناتجة في العارضة بشكلٍ دقيق باستخدام الطرق المستخدمة في حساب متانة أجزاء (قطاعات) البدن.

بسبب تشابه وتماثل أضلاع التقوية الطولية المركبة على ألواح القاع والحمولة المؤثرة عليها يتم حساب الإجهادات الناجمة فيها نتيجة انحنائها موضعياً ضمن حدود المسافة الفاصلة بين مسندين فقط.

تعتمد أضلاع التقوية الطولية مثبتة في نهاياتها وتتعرض لتأثير حمولة عرضية شدتها:

$$q = pc \quad (44)$$

حيث انّ:

c – المسافة بين أضلاع التقوية،

p – الضغط المؤثر على الضلع، تحدد قيمته بالعلاقة (36).

عزوم الانحناء المؤثرة في المقاطع الحسابية لضلع التقوية:

- في المساند (عند العارضة العرضية في القاع):

$$M_f = \frac{ql^2}{12} \quad (45)$$

- في منتصف المسافة الفاصلة بين مسندين:

$$M_{sh} = -\frac{ql^2}{24} \quad (46)$$

حيث:

l- المسافة بين العوارض العرضية في القاع.

تحسب الإجهادات الناتجة في الألياف الحدية في المقاطع الحسابية لضلع التقوية (الألواح الخارجية والنهاية الحرة للضلع) بالعلاقة:

$$\sigma_p^m = \frac{M}{I_p} z \quad (47)$$

حيث انّ:

I_p - عزم العطالة الذاتي لضلع التقوية الطولي مع الحزام الملحق به من اللوح بعرضٍ يحدد من العلاقة (30).

تحسب الإجهادات الكلية الناتجة في الألياف الحدية للمقاطع الحسابية لضلع التقوية الطولي (في المساند وفي منتصف المسافة بينها) ضمن حدود مسافتين فاصلتين بين أضلاع التقوية إحداها تجاور القاطوع العرضي والثانية في منتصف القطاع. تنفذ الحسابات بالنسبة لوضعيتي السفينة على قمة الموجة وقاعدتها.

تتحقق متانة ضلع التقوية الطولي إذا تحقق الشرط التالي:

$$\sigma_p = \sigma_p^o + \sigma_p^c + \sigma_p^m \le [\sigma] \quad (48)$$

$$[\sigma] = (0.7 - 0.8)\ \sigma_y \quad (49)$$

حيث انّ:

σ_p^c - الإجهادات الناتجة في ضلع التقوية الطولي الناجمة عند انحناء العارضة الطولية في القاع،

σ_p^m - الإجهادات الناتجة في ضلع التقوية الطولي الناجمة عند انحنائه موضعياً وتحدد بالعلاقة (47).

بالنسبة للسفن التي تتحقق لها شروط المتانة (42) و(48) يتحقق لها أيضاً شرط المتانة بحسب الإجهادات الكلية الناتجة في صفائح القاع إذا كان بدنها مصمماً وفق نظام التدعيم الطولي وبالتالي لاتوجد ضرورة لاختبار متانة هذه الألواح.

3-8- تقييم المتانة الطولية العامة لبدن السفينة بحسب الإجهادات المماسية

ينفذ اختبار المتانة الطولية العامة لبدن السفينة بحسب الإجهادات المماسية وفقاً لمعيار متانة التعب الذي يقتضي تحقق ما يلي:

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max2}}{\Omega} \le [\tau] \quad (50)$$

$$[\tau] = (0.3 - 0.4)\ \tau_T \quad (51)$$

$$\tau_T = 0.57\ \sigma_y \quad (52)$$

حيث انّ:

τ_T – حد خضوع المعدن (بالنسبة للإجهادات المماسية)،

Ω – المساحة الإجمالية لأسطح المقاطع العرضية لألواح الجوانب والقواطيع الطولية في البدن،

Q_{max2} – قوة القص العظمى الموافقة للموجة ذات درجة الأمان 10^{-5} وتحسب بالعلاقة [2]:

$$Q_{max2} = \frac{4M_2}{L} \qquad (53)$$

حيث:

M_2 – عزم الانحناء المؤثر تحدد قيمته من العلاقة (1).

تبلغ قوى القص قيمها العظمى 5في المقاطع التي تقع على مسافات تتراوح بين $L(\frac{1}{3} - \frac{1}{4})$من مقدمة ومؤخرة السفينة.

تكون قيمة Ω في مراحل التصميم الأولى عادةً مجهولة، لكن وبسبب عدم تغير سماكات ألواح الجوانب والقواطيع الطولية كثيراً ضمن حدود المنطقة الوسطى من بدن السفينة فإنه يمكن بشكلٍ تقريبي تقييم متانته العامة بحسب الإجهادات المماسية بوساطة العلاقة (50) باعتماد قيمة Ω في المقطع المتوسط منه.

النتائج والمناقشة:

تمّت صياغة نتائج البحث من خلال الحسابات المنفذة باستخدام الجداول الإلكترونية في بيئة Excel على سفينة متوسطة الإزاحة تتمتع بالمواصفات الفنية التالية:

- الطول، العرض، الغاطس، ارتفاع الجانب: $L \times B \times T \times H = 120 \times 12 \times 4 \times 8[m]$،
- معامل الامتلاء الحجمي $\delta = 0.55$ ومعامل امتلاء خط الماء $\alpha = 0.7$،
- طول القطاع في منطقة المقطع المتوسط: $l_c = 12m$،
- ارتفاع القرينة الشاقولية: $h = 1.2m$
- عدد العوارض الطولية في السطح: 2،
- عدد العوارض الطولية في القاع بما فيها القرينة الشاقولية: 7،
- شكل وأبعاد عناصر العوارض الطولية في السطح والجانب: $\frac{400 \times 8}{140 \times 12}[mm]$ ⊤،
- البدن مصنوع من فولاذ ذي حد خضوع: $\sigma_y = 3000kgf/cm^3$.

بنتيجة البحث تبين ما يلي:

1- القيمة الحسابية لعزم الانحناء المؤثر في المقطع العرضي المتوسط التي تستخدم لتقييم متانة تعب البدن تساوي $|M_2| = 17.9 \times 10^3 t.m$،

2- القيمة الحسابية لعزم الانحناء المؤثر في المقطع العرضي المتوسط التي تستخدم لتقييم المتانة الحدية للبدن $|M_1| = 43.8 \times 10^3 t.m$،

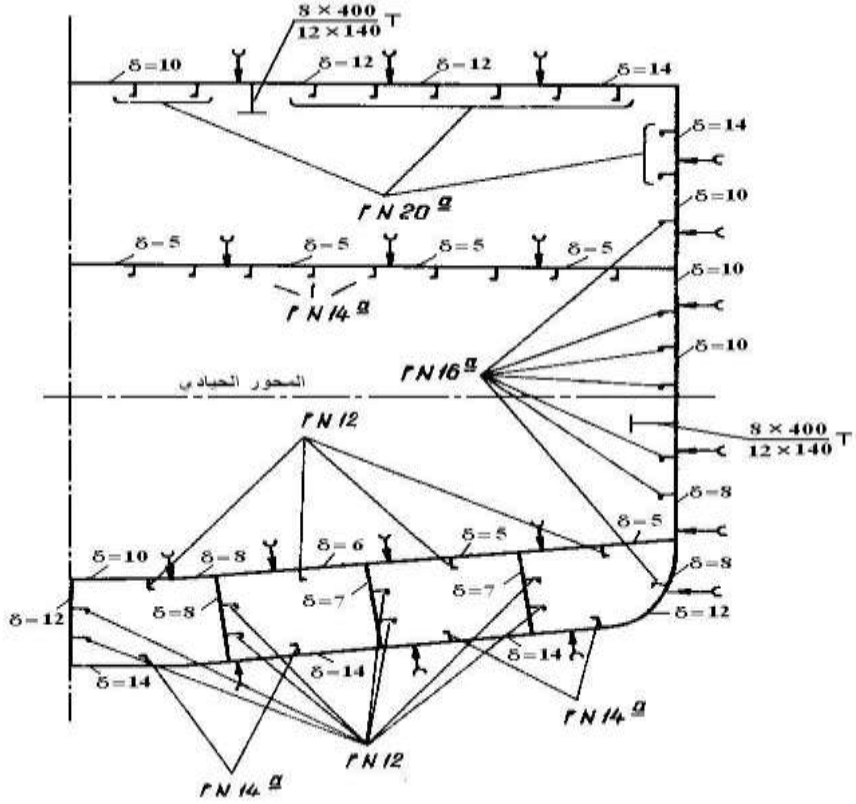
3- في التقريب الأولي اعتمدت قيمة عزم المقاومة الحدي للمقطع العرضي مساويةً عزم المقاومة المطلوب $W_T = 1.9m^3$ وقيمة عزم عطالته مساويةً قيمة عزم العطالة المطلوب أيضاً $I_{tr} = 8.09m^4$،

4- تم الحصول على قيم السماكات المحوَّلة للسطح $\delta_1 = 13.8mm$ والقاع $\delta_0 = 14.4mm$،

5- استناداً إلى القيم الإجمالية لمساحات أسطح المقاطع العرضية للسطح والقاع والجانب (بالنسبة لنصف المقطع) التي تم الحصول عليها من خلال السماكات المحوَّلة يُقترح اعتماد الألواح وأضلاع التقوية الطولية التالية الموضحة على الشكل (4) وهي:

في السطح العلوي:

- ثلاثة ألواح أبعادها $12 \times 1500[mm]$، $12 \times 1500[mm]$، $10 \times 1600[mm]$ لوح رابع مجاور للجانب أبعاده $14 \times 1400[mm]$،
- 8 أضلاع تقوية طولية رقم 20^a بفاصل بين الضلع والآخر مقداره $c = 600mm$،
- عارضة على شكل حرف ⊤ أبعاد عناصرها $\frac{8 \times 400}{12 \times 140}[mm]$،
- تعتمد المسافة بين العوارض العرضية مساويةً $l = 3m$.



الشكل (5) مخطط المقطع المتوسط العرضي

في السطح السفلي:

- أربعة ألواح قياس $5 \times 1500[mm]$،
- 9 أضلاع تقوية طولية رقم 14^a.

في الجانب:

- ستة ألواح أبعادها: أعلى لوح في الجانب $14[mm] \times 950$، الثاني والثالث $10[mm] \times 1000$، الرابع $10[mm] \times 1500$، الخامس والسادس $8[mm] \times 1000$،
- 2 ضلع تقوية طولي رقم 20^a و7 أضلاع رقم 16^a،
- عارضة على شكل حرف ⊤ أبعاد عناصرها $\frac{8 \times 400}{12 \times 140}[mm]$،
- تعتمد المسافة بين العوارض العرضية نفس المسافة في السطح $l = 3m$.

في القاع السفلي:

- القرينة الأفقية $16[mm] \times 1500$، اللوح الأول $14[mm] \times 1750$، اللوح الثاني $14[mm] \times 1750$، الثالث $12[mm] \times 950$،
- القرينة الشاقولية $12[mm] \times 1200$،
- 3 عوارض طولية أبعاد كل منها $8[mm] \times 1200$،
- 4 أضلاع تقوية رقم 14^a و 8 أضلاع رقم 12 تركب على العوارض الطولية والقرينة الشاقولية،
- تعتمد المسافة بين العوارض العرضية نصف المسافة الفاصلة بين عوارض السطح $l = 1.5m$.

في القاع الثاني:

- خمسة ألواح أبعادها: اللوح الأول $10[mm] \times 850$، الثاني $8[mm] \times 1000$، الثالث والرابع والخامس $5[mm] \times 1500$.
- 4 أضلاع تقوية طولية رقم 14^a.

6- أظهرت نتائج الحسابات المنفذة على المقطع المكون من العناصر المذكورة أعلاه أن عزوم مقاومته وعطالته تساوي على التوالي $W = 1.91m^3$، $I = 8.12m^4$ وهي أكبر من القيم المطلوبة.

7- تم تقييم متانة المقطع بحسب الإجهادات العمودية الإجمالية الناتجة في العناصر الطولية في القاع (العوارض وأضلاع التقوية) وتبين أن أعظم قيمة بينها أصغر من قيمة الإجهادات العمودية المسموحة.

8- تم تقييم متانة المقطع بحسب الإجهادات المماسية وتبين أن قيمة الإجهادات المماسية الناتجة أصغر من الإجهادات المماسية المسموحة.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث دراسة تسلسل حسابات المقطع العرضي المتوسط في بدن السفينة واستنتاج العلاقات التي تحدد أبعاد عناصره الطولية وتقييم متانته باستخدام بعض المعايير المعتمدة في صناعة السفن.

عند تصميم مقاطع العناصر الطولية في بدن السفينة من الضروري التقيد بمجموعة من التوصيات والإرشادات منها:

1- يفضل اعتماد مسافات متساوية بين عوارض التدعيم الطولية في السطح والقاع لأن ذلك يسهل عملية تصميم القواطيع العرضية وتركيب عوارض تدعيمها وتثبيتها مع أضلاع التقوية الطولية،

2- لا يسمح باعتماد سماكات العناصر التي يتم الحصول عليها حسابياً عندما تكون قيمها أصغر من القيم الصغرى المسموحة المحددة في الوثائق والمتطلبات المعتمدة في صناعة السفن ويعود ذلك إلى ضرورة الأخذ بالحسبان تعرضها للتآكل مع مرور الزمن وتأمين العمر الفني المطلوب للإنشاءات،

3- إن وجود قيم محددة للسماكات الصغرى المسموحة يجعل من استخدام الفولاذ الذي يتميز بمتانة عالية أمراً مناسباً في صناعة السفن ذات الأبعاد الكبيرة فقط, لأنه في الحالة المعاكسة لا يمكن الاستفادة من الخصائص الميكانيكية العالية لهذا النوع من الفولاذ.

4- يفضل أثناء اختيار أبعاد مقاطع العوارض المستخدمة في تدعيم البدن، وبشكلٍ خاص المصنوعة منها بوساطة اللحام أن تكون جميعاً ذات أبعاد موحدة إذا كان ذلك ممكناً.

المراجع:

1-ШЛЕМОВ, Ф.С; МАСЯГИН, А.В. *Строительная механика надводного корабля*, Москва, 1956,621.

2- ИПАТОВЦЕВ, Ю.Н; КОРОТКИН, Я.И. *Строительная механика и прочность корабля*, Ленингад, 1991,288.

3- БЕЛКИН, В.П. *Конструкция корпуса надводных кораблей*, Ленингад, 1970,273.

4- РОДОССКИЙ, В.А. *Строительная механика надводного корабля*, Ленингад, 1988,288.

5- ЗАХВАТОВ, А.С. *Расчет общей продольной прочности корпусов надводных водоизмещающих кораблей*-С.Петербург, 2000,254.

6- ШИМАНСКИЙ, Ю.А. *Справочник по строительной механике корабля*, Ленингад, 1960,799.