

## التصميم الأمثل لمقطع وسط السفن اعتمادا على أبعاد عناصر التقوية

د. غالب أحمد\*

(تاريخ الإيداع 18 / 4 / 2021. قُبِلَ للنشر في 5 / 8 / 2021)

### □ ملخص □

تعتبر السفن من الانشاءات المعقدة، تتكون بشكل عام من ألواح مقواة، ألواح قاع، سطوح بينية، اطارات، قواطيع، وذو نظام تقوية معقد أيضا. تعتمد المتانة الطولية للسفينة على معامل مقطع وسط السفينة. يعتمد معامل المقطع بدوره على أبعاد ومخطط العناصر الانشائية في منطقة وسط السفينة وتمتد منطقة وسط السفينة لمسافة ربع طول السفينة أمام وخلف الوسط، في حين تبقى أبعاد العناصر الانشائية ثابتة على كامل هذا الطول. يختبر عزم الانحناء الأعظمي على بدن السفينة ضمن منطقة وسط السفينة، لذلك يلعب مقطع وسط السفينة دورا هاما بالنسبة للمتانة الطولية، كما يتم توصيف المخطط الانشائي اعتمادا على نوع البضاعة التي تنقلها السفينة، حيث أنّ للأنواع العديدة من السفن مقاطع مختلفة لوسط السفينة.

هناك متطلبات عديدة (كالوزن الانشائي للسفينة، التكاليف الانشائية، وأمان السفينة) مرتبطة بتصميم السفن يمكن حلها بخيارات متعددة. يحقق التصميم الأمثل لأبعاد مقطع وسط السفينة (الألواح وعناصر التقوية) أهدافا متعددة، كالوزن الأقل، تكاليف الانتاج الأصغرية، وعزم العطالة الأعظمي.

يتم في هذا البحث تحديد الأبعاد المثلى لمقطع وسط السفينة باستخدام برنامج حاسوبي. اجريت الحسابات على عناصر تقوية طولية بأشكال وأبعاد مختلفة، وبسماكات مختلفة للألواح مع تحديد عدد ومواقع عناصر التقوية. كما تمّ حساب عزوم العطالة لعناصر التقوية التي تمكّن من حساب المتانة الطولية لبدن السفينة التي تتحقق بأفضل أبعاد للمقطع العرضي، وتمّ حساب أوزان هذه العناصر بوحدة الطول، لذلك يمكن اختيار العناصر التي تحقق المتانة الطولية بأقل وزن فارغ.

**الكلمات المفتاحية:** المتانة الطولية، التصميم الأمثل ، مقطع وسط السفينة، أبعاد عناصر التقوية، سماكات الألواح. الوزن الانشائي للسفينة، الكلفة الانشائية.

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

## Optimum Design of Amidships Section Based on Scantlings of Stiffeners

Dr. Ghaleb Ahmad\*

(Received 18 / 4 / 2021. Accepted 5 / 8 / 2021)

### □ ABSTRACT □

Ships are indeed complex structures and their stiffening is also sophisticated, generally composed of stiffened plates, deck plates, bottom plates, and sometimes intermediate decks, frame, bulkheads. The longitudinal strength of hull girder depends on the section modulus of amidships section. This in turn depends on the scantlings and layout of the structural members in the Amidships region. The Amidships region extends one forth length of the ship forward and aft of midship. Over this amidships region the scantlings of the structural members are kept the same. Maximum longitudinal bending moment is experienced by a hull girder within this Amidships zone. Therefore, Amidships section plays an important role from longitudinal strength point of view, at the same time it depicts the structural layout depending on the type of cargo the is going to carry. Thus different types of ships have different midship sections.

There are several requirements ( such as, structural weight, structural production cost, and safe of ship) related to ship design can be solved by various alternatives. The optimization design of amidships section scantlings ( plates and stiffeners) realizes a multi- objectives such as, minimum weight, minimum production cost, and maximum moment of inertia.

In this research, the optimization of Amidships section involves a number of variables such as plate thickness, scantlings of stiffeners, and number of stiffeners, was performed using a developed computer program. The Moment of inertia of the mid ship section is computed, then the hull girder ultimate strength is determined to evaluate the optimum design of a midship section scantlings, namely minimization of the structural weight and cost and maximization of moment of inertia.

**Keywords:** ultimate strength, Optimum design, midship section, Scantlings of stiffeners, Plate thicknesses, Structural ship weight, Structural cost.

---

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

**مقدمة:**

يتزايد الطلب على السفن الحديثة لتقابل أكبر كفاءة واقتصادية، لذلك يتزايد أيضا الاهتمام بالتصميم الانشائي الأمثل للسفن. عندما تبنى السفن، هناك متطلبات للتكامل الانشائي يجب انجازها للحصول على سفينة آمنة يمكنها تحمل الأحمال التي تتعرض لها. كما يجب الأخذ بالاعتبار معايير المالك الخاصة بالسفينة، كالحجم الخاص وكمية البضاعة المراد تحميلها، والريح الذي يجب أن تحققه ترسانة بناء السفن.

يجب أن يتم التصميم الأمثل في مرحلة التصميم الأولي لأنها المرحلة الأكثر مناسبة لتقدير كلفة الانشاء، والأقل كلفة للتعديل في الأبعاد التصميمية، مقارنة بتالي التصنيع وإيجاد الأبعاد المناسبة لتقليل تكاليف العمر الزمني للسفينة. يتم انجاز الأبعاد الأساسية للسفينة ومعاملات الشكل في مرحلة التصميم الأولي، لذلك يصبح التصميم الانشائي الناجح لمقطع وسط السفينة ذو اعتبار هام. يتم اعتبار مقطع وسط السفينة كمشكلة أولية أساسية. عندما يحدد مقطع وسط السفينة، سيتبعه تصميم الجزء الغالب من بدن السفينة. بما أن عزوم الانحناء وقوى القص تكون أعظمية لمسافة ربع طول السفينة أمام وخلف الوسط، لذلك تحتاج أبعاد السفينة باتجاه النهايات لتعطي كتعديلات فقط اعتمادا على مقطع وسط السفينة.

هناك مشاكل عديدة متعارضة مرتبطة بتصميم السفن، كتكاليف الانتاج الأصغرية، الوزن الأصغري، عزم العطالة الأعظمي ( عناصر التقوية) يمكن حلها بخيارات عديدة. لذلك يجب أن يكون هناك حل متعدد الأهداف ليقابل هذه المتطلبات. يتطلب تصميم السفينة محاولات معقدة للتوصل الى الأبعاد المثلى لمقاطع السفينة. يتضمن التصميم الأمثل لمقطع وسط السفينة عدد ضخم من المتحولات كسماكة الألواح، أبعاد عناصر التقوية وعدد هذه العناصر. ينشأ التعقيد في التصميم من تقييد عناصر التقوية والألواح باجهادات الخضوع والانبعاج تحت تأثير حالات تحميل مختلفة وتقييدها بقواعد التصميم العملية.

اجريت العديد من الدراسات لإنجاز أنواع متعددة من الأهداف المثلى الموجودة بتطوير وسائل مختلفة للوصول الى هذه الأهداف. ركزت معظم الدراسات في المجال الانشائي على المقارنة بين الخوارزميات المتاحة وتطوير الوسائل التي تعتمد على القواعد الانشائية العامة (*Common Structural Rules (CSRs)*)، بالرغم من بساطتها في التطبيق، لكنها تقدم امكانيات عالية في انتاج الحل الأمثل.

قدم *Philippe RIGO(2001)* [1] حزمة تصميم باستخدام الحاسب لتحديد الأبعاد المثلى لمقطع وسط السفينة ( الألواح، العناصر الطولية والاطارات). يوضح البرنامج امكانية اجراء التصميم الأمثل لمرحلة التصميم الأولي بتحليل انشائي عددي ثلاثي البعد باستخدام ابعاد عناصر التقوية الطولية والعرضية، سماكات الألواح والمسافة بين عناصر التقوية، كمتحولات للتصميم.

*J-D. Caprace, et al (2010)* [2] أجروا تحسينات لوسيلة عددية من أجل أمثلة متعددة الأهداف لأبعاد مقاطع ناقلة غاز مسال *LNG* لتوضيح عملية التحليل في مرحلة التصميم الأولي للسفينة، بالأخذ في الاعتبار كلفة الانتاج، الوزن وعزم العطالة.

*Lina Marie Storås (2013)* [3] أجرت دراسة على أمثلة وزن الفولاذ بالنسبة للمسافة بين عناصر التقوية وسماكة الألواح لانشاء وسط السفينة لسفن البضائع. هدفت الدراسة للحصول على الأبعاد المثلى للمقطع العرضي للوصول الى أقل وزن بأقل كلفة. أجريت الأمثلة على القاع المزدوج لسفينة بضاعة عامة باستخدام برنامج حاسوبي يحسب معامل

المقطع لمقطع وسط السفينة، متطلبات المتانة الموضوعية من قبل هيئات التصنيف، وتم التحقق من أن الأبعاد المختارة تحقق المتانة المطلوبة.

(2014) Ryota Nonami, et al [4] قدموا دراسة عن أمثلة انشاء السفينة اعتمادا على مخطط عناصر التقوية باستخدام طريقة العناصر المنتهية *FEM* في التحليل. تم تقييم المتانة الحدية للإنشاء بتغيير عدد ومواقع عناصر التقوية. Ming Ma, et al [5] استخدموا تحليل ثلاثي البعد بطريقة العناصر المنتهية *3D-FEM* لأمثلة أبعاد المقطع العرضي لعارضة البدن اعتمادا على المتانة الحدية للوح مقوى. بينت النتائج العديدة بأن الطريقة المقترحة مفيدة للحصول على المتانة الحدية اعتمادا على الحل الانشائي الأمثل للسفينة بأهداف متعددة، كتقليل الوزن الانشائي والتكلفة بأمان انشائي أعظمي.

(2020) Saybani, et al [6] طوروا وسيلة تعتمد على علاقات القواعد الانشائية العامة *CSRs* للتحليل الانشائي للحالة الحدية باستخدام الماتلاب *MATLAB software*. تم تقييم الوسيلة الحسابية بتحليل مقطع وسط السفينة لناقلة كيميائية. أظهرت نتائج الوسيلة المطورة بأنها نقلت الوزن والتكلفة للسفينة في الحل الأمثل بالنسبة الى التصميم الأولي. T.I.S Raja, J.S. Rajandurai (2018) [7] ركزوا في دراستهم على تحديد السماكة الفعالة لإنشاء البدن بمقاطع مختلفة من الفولاذ الطري والفولاذ الخليطي لسفينة حاويات طولها 120 m. تم نمذجة السفينة ببرنامج *Solidworks* باعتبار الوزن المحمول، الأحمال الهيدروستاتيكية والهيدروديناميكية أثناء المحاكاة الانشائية. تم تحديد أفضل مقطع لوسط السفينة بالسماكة المثالية والمادة المناسبة.

(2018) Yuan Wang, Jia-meng Wu [8] قدموا طريقة متاحة وفعالة لأمثلة انشاء مقطع وسط ناقلة نفط اعتمادا على التحليل التوصيفي للقواعد الانشائية العامة. Kazouhiko MATSUOKA, et al (2004) [9] قدموا نظرية لأمثلة جزئية كتقنية مثلى لإنشاء البدن، للتمكّن من تطوير تطبيق يسهل استخدام أقل البارامترات كدخل.

في حقل التصميم الانشائي الأمثل للسفن، تستخدم أغلب التطبيقات قيود تجريبية بسيطة، كالأبعاد والاجهادات الحدية المعتمدة والمحددة من قبل هيئات التصنيف. هناك طريقتين لتقييم الحالات الحدية للألواح المقواة. تستخدم الأولى طرق التحليل اللاخطي لطريقة العناصر المحددة، والأخرى طرق التحليل نصف التحليلي. بالرغم من أن طريقة العناصر المحددة *FEM* متاحة بشكل واسع وتقدم نتائج موثوقة لتحليل عدم استقرار الإنشاء، لكن يمكن أن يعيق الوقت الحسابي الذي تستهلكه من تطبيقها، لذلك يمكن استبدالها بتقنيات تقريبية.

تم في هذا البحث تحقيق متطلبات الإنشاء الأمثل للسفينة من خلال انشاء برنامج حاسوبي، لحساب معامل مقطع وسط السفينة، وذلك للتمكين من حساب اجهاد الانحناء الأعظمي الذي يتعرض له بدن السفينة وتقدير الوزن الانشائي لهذا المقطع. استخدمت عناصر تقوية بأشكال وأبعاد مختلفة للوصول الى المقطع العرضي للسفينة الذي يحقق أقل وزن انشائي بأكبر عامل أمان. أجريت الأمثلة على ألواح وعناصر التقوية في السطوح والقاع المزدوج لسفينة بضاعة عامة. يمكن اختيار عناصر التقوية بأشكال وأبعاد مختلفة، يتم تحديد مساحة المقطع العرضي وعزوم العطالة التي تحقق متطلبات المتانة المطلوبة الموضوعية من قبل هيئات التصنيف.

## أهمية البحث وأهدافه:

عندما تبنى السفن، هناك متطلبات انشائية يجب انجازها للحصول على سفينة آمنة. كما أنّ لمالك السفينة معايير خاصة تتعلق بحجم السفينة وكمية البضاعة المراد تحميلها، بالإضافة للريح الذي يجب أن تحققه ترسانات بناء السفن. تعتبر المتانة العالية لإنشاءات بدن السفينة بتكلفة معتبرة احدى التحديات لمصممي السفن. لقد وضعت هيئات تصنيف السفن منذ سنوات عديدة مضت معايير تصميمية عديدة لضمان التشغيل الآمن للسفن تمكّنها تحمّل مختلف الأحمال التي تتعرض لها في ظروف مختلفة. تعتمد هذه المعايير على بناء السفينة وفق الأبعاد المطلوبة بصيغ بسيطة اعتمادا على بضعة بارامترات أساسية.

يهدف هذا البحث الى تحقيق متطلبات الانشاء الأمثل للسفينة، الوزن الانشائي الأقل والمتانة الانشائية العالية ( عزم العطالة الأعظمي). تعتمد المتانة الانشائية على معامل المقطع لمقطع وسط السفينة والذي بدوره يعتمد على أبعاد العناصر الانشائية في منطقة وسط السفينة. يتطلب انجاز التصميم الأمثل للمقطع العرضي لوسط السفينة تزويد المصممين بأفضل أبعاد للمقطع العرضي، سماكة الألواح، أبعاد عناصر التقوية والمسافة بين هذه العناصر، للحصول على أفضل وزن فارغ ممكن لبدن السفينة.

## طرائق البحث ومواده:

لتحقيق الأهداف المذكورة أعلاه، تمّ في هذا البحث انشاء برنامج حاسوبي يعتمد على تحديد المقطع العرضي لوسط السفينة ( عمقه وعرضه)، وعلى سماكة الألواح وأبعاد عناصر التقوية وعدد هذه العناصر. يتم في هذا البرنامج تحديد موقع المحور الحيادي لمقطع وسط السفينة، حساب عزم العطالة ومعامل المقطع لمقطع وسط السفينة. بناء عليه يتم حساب اجهادات الانحناء التي يتعرّض لها هذا المقطع. كما يتم تغيير التصميم لسماكة الألواح وأبعاد عناصر التقوية للحصول على عزوم العطالة ووزن الفولاذ المستخدم لكل عنصر من عناصر التقوية. يتم اختيار عناصر التقوية التي تعطي الحل الأمثل بأكبر عزم عطالة وأقل وزن انشائي.

### 1- المتانة الطولية لبدن السفينة

لإجراء التحليل الانشائي لمتانة البدن، من الضروري تحديد الأحمال التي تتعرض لها السفينة عند مقطعها العرضي المتوسط. تصنّف هذه الأحمال الى عزوم الانحناء بسبب الماء الساكن وعزوم الانحناء بسبب الأمواج. يجب على السفينة أن تتحمل الاجهادات التي تسببها هذه العزوم. يساهم معامل المقطع لمقطع وسط السفينة في المتانة الطولية. يشمل معامل المقطع عناصر التقوية الطولية، السطوح والانشاء الجانبية. عند النظر الى متطلبات معامل المقطع لمقطع وسط السفينة، تركّز قواعد هيئات التصنيف بشكل رئيسي على مساحة وسط السفينة حيث تكون الأبعاد ثابتة. تعطي غالبية هيئات التصنيف IACS القيم المرجعية العامة لعزم الانحناء في الماء الساكن عند وسط السفينة لحالتي التقوس والتدلي بالعلاقتين  $I-a$  و  $I-b$  التاليتين [10]:

$$M_{Stw,hog} = C \cdot L^2 \cdot B \cdot (122.5 - 15C_B) [N.m] \quad (1 - a)$$

$$M_{Stw,sag} = C \cdot L^2 \cdot B \cdot (45.5 + 65C_B) [N.m] \quad (1 - b)$$

كما تقدم هيئات التصنيف IACS قيم مرجعية أعظمية للمركبة الشاقولية لعزم الانحناء الذي تسببه الأمواج  $M_{WV}$  كتابع لأبعاد السفينة الرئيسية. مثل هذه القيم المرجعية مبينة بالعلاقتين  $2-a$  و  $2-b$  لحالتي التقوس والتدلي [10].

$$M_{WV,hog} = 190 C \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B [N.m] \quad (2 - a)$$

$$M_{WV,sag} = -110C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) [N.m] \quad (2 - b)$$

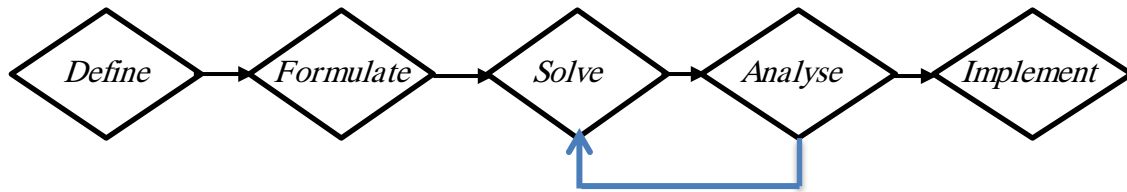
حيث:  $L, B = [m]$  : طول وعرض السفينة،  $C_B$  : معامل امتلاء السفينة،  $C$  : معامل الموجة، ويعطى بالجدول 1 .

الجدول (1) معامل الموجة بالنسبة لطول السفينة [10]

Ship Length [m]	Wave Coefficient C
$90 \leq L \leq 300$	$10.75 - \left[\frac{300 - L}{100}\right]^{3/2}$
$300 \leq L \leq 350$	10.75
$350 \leq L$	$10.75 - \left[\frac{300 - L}{150}\right]^{3/2}$

## 2- أمثلة أبعاد المقطع العرضي لوسط السفينة

يتم في الأمثلة جمع البارامترات التي تتعرض غالبا لمجموعة من القيود بهدف إيجاد أفضل قيمة للتابع المستهدف. عند انشاء المشكلة المراد أمثلتها، يجب إيجاد المتحولات والقيود التي تؤثر في التابع المستهدف. يمكن اتباع المخطط المبين بالشكل (1) لحل المشكلة [3].



الشكل (1) مخطط عملية الأمثلة

من خلال التحليل يلاحظ بأن التغذية الرجعية، تسمح بإعادة توصيف المشكلة ومعايرة الأخطاء، لذلك تقدم الاختيارات بطريقة صحيحة. تعرف المشكلة في صناعة السفن بتوصيفها من قبل المالك، اعتمادا على طلبه سفينة بسعر منخفض أو بوزن منخفض. وتترك صياغة المشكلة للمصممين الذين يعرفون العلاقات بين المتطلبات الانشائية والتكاليف للاختيارات المختلفة. عند حل المشكلة، يمكن إيجاد التحسينات لوزن وكلفة السفينة مع المحافظة على مسار التحسينات. أثناء تحليل مشكلة الأمثلة، يجب على المصممين تضمين القيود المنفذة من قبل الترسانة والتي تعتبر هامة لجعل عملية البناء أسهل. تتلخص الصيغ الرياضية لمشكلة الأمثلة في تمثيل تابع الهدف  $f(x)$ ، الذي يمكن أن يكون أعظما أو أصغريا أي البحث عن أعلى أو أقل قيم مسموحة، وتابع القيود  $g(x)$  بالعلاقات الخطية التالية [3]:

$$Max. Z = f(x) = \sum_i C_i x_i \quad (3 - a)$$

$$Max. Z = f(x) = \sum_i C_i x_i \quad (3 - b)$$

$$g_j(x) = \sum_i a_{ij} x_i \leq b_j, x_i \geq 0 \quad (3 - c)$$

يعتمد التابع في العلاقات 3 على متحولات التصميم  $x_i$ ، والتي تتقل بعوامل الوزن  $C_i$ ، تحدد هذه العوامل تأثير المتحولات على النتيجة. قيود المشكلة  $g(x)$ ، تقيد الحل ضمن منطقة قابلة للتنفيذ اعتمادا على القيمة الحدية  $b_j$

وبارامتر الوزن  $a_{ij}$ . بتطبيق العلاقات أعلاه على بناء السفينة وربطها بالقيود والقواعد التي تأخذ بالاعتبار التكامل الانشائي للسفن، سيتم الحصول على تابع الهدف بأقل كلفة أو وزن. يحتاج تابع الهدف لتعريف المتحولات والمساهمة الوزنية لعناصر التقوية، الألواح، والاطارات في التكلفة والوزن. بما أن كلا من الوزن والتكلفة للمقطع العرضي يعتمدان على مساحة الألواح وعناصر التقوية، وأيضا على عدد عناصر التقوية، لذلك يستنتج بأن متحولات التصميم يجب أن تكون سماكة الألواح والمسافة بين عناصر التقوية لكل قطاع. بالأخذ في الاعتبار، بأن الترسانة لن تضع عناصر تقوية خاصة، لذلك يجب أخذ الأبعاد المتاحة والمعقولة لعناصر التقوية. في عملية الأمثلة، سيكون المستخدم قادر على تحديد قيم أبعاد المقطع العرضي المراد اختياره. يتم ذلك بتعريف مجموعة القيم القابلة للتنفيذ لكل متحول مستخدم في عملية الأمثلة. يتم جميع متطلبات أمثلة المقطع العرضي وفقا لما يلي:

- تابع الهدف: الوزن والكلفة.
- عوامل التنقل لتابع الهدف: بارامترات التكلفة للفولاذ، الجهد المبذول والاستهلاك للمادة، الشكل الهندسي للمقطع العرضي.
- القيود: المتطلبات المتصلة بالتكامل الانشائي (قواعد هيئات التصنيف).
- المتحولات: سماكة الألواح والمسافة بين عناصر التقوية لكل قطاع.

## 1-2 تابع الوزن

يتم الحصول على أقل وزن عندما يكون الانشاء ذو ألواح رقيقة وعناصر تقوية متقاربة. لكن الانشاء ذو التكلفة الأقل سيكون ذو ألواح أسمك وعناصر تقوية أقل، منتجا انشاء أثقل. تعتبر عناصر التقوية هامة لكل من الوزن والتكلفة. تساهم عناصر التقوية والألواح بإنجاز معامل المقطع المطلوب للمقطع العرضي  $Z_{built}$ ، المقيد من قبل هيئات التصنيف بالعلاقة التالية:

$$Z_{CS} = \frac{M_S + M_W}{\sigma_l} \cdot 10^3 \text{ [cm}^3\text{]} \quad (4)$$

حيث،  $M_S$ ،  $M_W$ : عزوم الانحناء للماء الساكن والأمواج لأي من حالتَي التقوس والتدلي.  
 $\sigma_l$ : اجهاد الانحناء المسموح به.

يتم حساب الوزن الكلي من مساهمة الألواح، عناصر التقوية والاطارات كما يلي [3]:

$$W_p(i) = \rho_{steel} \cdot L(i) \cdot (t(i) + t_c(i)) \quad [\text{Kg/m}] \quad (5 - a)$$

$$W_s(i) = \rho_{steel} \cdot L(i) \cdot \frac{A_s(i)}{s(i)} \quad [\text{Kg/m}] \quad (5 - b)$$

$$W_F(i) = \frac{\rho_{steel} \cdot S(j) \cdot t_w(j) \cdot W_h(j)}{l_s} \quad [\text{Kg/m}] \quad (5 - c)$$

$$W = \sum_i W_p + \sum W_s + \sum_j W_F \quad [\text{Kg/m}] \quad (5 - d)$$

حيث،  $i$ : عدد القطاعات  $Panels$ ،  $j$ : عدد العوارض في الجانب والقاع،  $W_p$ : وزن اللوح، يشمل اضافة التآكل،  $P_{steel}$   $[\text{Kg/m}^3]$ : كثافة الفولاذ،  $L$  [m]: طول القطاع،  $t$  [m]: سماكة القطاع،  $t_c$  [m]: التآكل المضاف،  $W_s$ : وزن عنصر التقوية،  $A_s$  [m<sup>2</sup>]: مساحة عنصر التقوية،  $s$  [m]: المسافة بين عناصر التقوية،  $W_F$ : وزن الاطار العرضي،  $S$  [m]: طول العارضة،  $t_w$  [m]: سماكة العصب  $Web$ ،  $h_w$  [m]: ارتفاع العصب  $Web$ ،  $l_s$  [m]: طول عنصر التقوية.

## 2-2 تابع التكلفة

ليس سهلا الحصول على الاسعار المتعلقة ببناء السفن حيث تحتفظ بها ترسانات بناء السفن لنفسها لأسباب تتعلق بالمنافسة. فبالإضافة لتكلفة الفولاذ الفعلية، يجب الأخذ في الاعتبار كلفة لحام عناصر التقوية على الألواح. حيث تتغير تكلفة الجهد المبذول اعتمادا على مكان اجراء العمل، فنكلفة ساعة العمل في النرويج أكثر ثمنا بكثير من تلك التي تكون في تركيا أو بولونيا [3]. كما أنّ التكلفة تتغير وفقا لطريقة اللحام والتعقيد في عمل اللحام. تختلف تكاليف الفولاذ بين عناصر التقوية والألواح، فكل قطاع سيشمل مساهمتين مرتبطتين بتكاليف الفولاذ كما هو مبين بالعلاقة 6.

$$C_{Steel} = (A_{Plate} + A_{Stiffener} \cdot n_S \cdot C_{Stiffenerr}) \cdot \rho \quad [euro/m] \quad (6)$$

يستخدم البارامتر  $K$  في الجدول 2 في حساب تكاليف الجهد المبذول مع البارامترات المرتبطة بجهد العمل لكل مهمة. تعتمد هذه البارامترات على قدرة الترسانات لإنتاج المادة المطلوبة. تقدر تكلفة العمل المبذول على إنتاج المادة المطلوبة بالعلاقة 7 [3].

$$C_l = K \cdot C_{plate} \cdot L_i \cdot \left( \frac{1}{S} \cdot P_4 + P_{10} \right) \quad (7-a)$$

$$P_4 = P_4^0 (1 + (d_x - E_{0x}) 10^3 \delta P_4) \quad (7-b)$$

$$P_{10} = P_{10}^0 (1 + (\delta - E_0) 10^3 \delta P_{10}) \quad (7-c)$$

يبين الجدول 2 تكاليف المواد وساعات العمل التي يتطلبها انجاز الوزن أو المتر الطولي أو مساحة المقطع العرضي.

الجدول 2 بارامترات التكاليف [3]

المتحول	التكلفة وساعات العمل	الواحدة	التوصيف
$C_{Plate}$	0.8	$Euro/kg$	التكلفة لكل كغ مستخدم لأجل الألواح
$C_{Stiffener}$	1.6	$Euro/kg$	التكلفة لكل كغ مستخدم لأجل عناصر التقوية
$K$	80	$kg/hour$	معامل يربط الجهد المبذول بالساعات على اعداد ومعالجة المواد
$P_4^0$	2.5	$hour/m$	العمل المبذول للحام عناصر التقوية الطولية
$\delta P_4$	0.02	$hour/m$	الكلفة الاضافية للانحراف عن السماكة المفضلة لعنصر التقوية
$P_{10}^0$	0.15	$hour/m^2$	العمل المبذول لتحضير لوح بمساحة $1m^2$
$\delta P_{10}$	0.04	$hour/m^2$	الكلفة الاضافية للانحراف عن السماكة المفضلة للوح
$C_{8x}^0$	2	$Euro/m$	تكلفة الاستهلاكات لكل $m$
$\delta C_{8x}$	0.05	$Variation of C_{8x} per mm$	التكلفة الاضافية للاستهلاكات بسبب الانحراف عن السماكة المعيارية
$E_0$	0.010	$m$	السماكة المعيارية للوح
$E_{0x}$	0.010	$m$	السماكة المعيارية لعنصر التقوية

ترتبط تكلفة الاستهلاكات بالمادة المراد لحامها، فتعتمد على عدد اللحامات. يتوقع أن تكون كلفة الاستهلاكات قليلة مقارنة مع التكاليف الأخرى المشمولة وتعطى بالعلاقات التالية [3]:

$$C_C = L_i \cdot \frac{1}{S} \cdot C_{8x}^0 \cdot (1 + \delta C_{8x} (d_x - E_{0x} \cdot 10^3)) \quad (8)$$

$$C_{total} = \sum (C_{steel} + C_l + C_C) + \sum W_F \cdot C_{Plate} \quad (9)$$



حيث،  $C_{Steel}$ : تكلفة القطاع بالمتراً،  $C_l = [euro/m]$ : تكلفة الجهد،  $C_c = [euro/m]$ : تكلفة الاستهلاكات،  $C_{total} = [euro/m]$ : التكلفة الكلي،  $A [m^2]$ : المساحة،  $C$ : التكلفة لكل كغ من المادة،  $n_s$ : عدد عناصر التقوية المثبتة على القطاع،  $\rho [Kg/m^3]$ : كثافة الفولاذ،  $C_{Plate}$ : تكلفة اللوح،  $L_i$ : طول العنصر.  $P_4^0$ : جهد التشغيل للحام عنصر تقوية طولي،  $P_{10}^0$ : جهد التشغيل للحام المطلوب لاصلاح لوح بمساحة  $1m^2$ ،  $\delta P_4$ : عامل الانحراف عن سماكة عنصر التقوية،  $\delta P_{10}$ : عامل الانحراف عن سماكة اللوح،  $E_{0x}$ : السماكة المعيارية لعنصر التقوية،  $E_0$ : السماكة المعيارية للوح،  $d_x$ : السماكة الفعلية لعنصر التقوية،  $C_{8x}^0$ : تكلفة الاستهلاكات بالمتراً،  $C_{8x}$ : تكلفة الانحراف عن السماكة المعيارية،  $\delta$ : السماكة الفعلية للوح،  $W_F$ : وزن الاطار.

### 3- المساحة المسموحة لمعامل المقطع

بشكل عام، العناصر التي تشمل في حساب معامل المقطع هي عناصر طولية مستمرة كألواح السطح، ألواح الغلاف الخارجي، ألواح القاع الداخلي، القواطع الطولية وعناصر التقوية الطولية. ولكي يكون العنصر فعال يجب أن يمتد فوق طول كاف ليكون جزءاً من حقل الاجهاد الطولي للعنصر. وكي تكون عناصر التقوية الطولية فعالة، يجب أن يكون لها نفس معامل مرونة عارضة البدن أو أكبر، كما يجب أن تحقق نفس الاستطالة أو الانضغاط الذي يحدث لعارضة البدن عند نفس الارتفاع.

في معظم الحالات، يكون المقطع العرضي الحرج لعارضة البدن *Hull girder* هو المقطع الذي يحوي أقل كمية من المادة الفعالة، أي أنه المقطع الذي يحوي أكبر الفتحات.

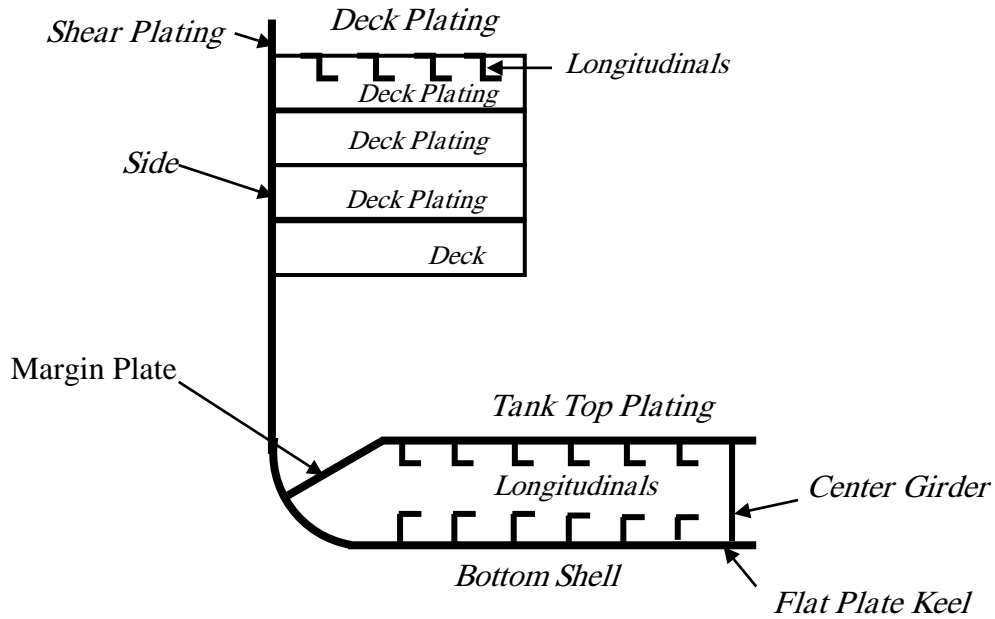
يجب أن تستخدم بشكل عام المساحة العرضية الصافية للعناصر الطولية في حساب معامل المقطع. ويبين الشكل (2) المادة الطولية الفعالة للمقطع الانشائي الطولي. حيث يوجد كميّتان يجب حسابهما، موقع المحور الحيادي للمقطع وعزم العطالة للمقطع حول المحور الحيادي. يفضل اجراء الحسابات في تحديدهما بشكل جدولي كما هو مبين بالجدول 3. ان موقع خط الأساس خيارى، لكن موقعه على القرينة الأكثر مناسبة لأن موقع المحور الحيادي سيكون فوق القرينة. تدخل الأبعاد لكل عنصر، ثم تتبع الخطوات التالية في حساب معامل المقطع:

- 1- تحسب المساحة لكل عنصر (a).
- 2- يحسب ارتفاع مركز الثقل لكل عنصر فوق خط الأساس (h).
- 3- يحسب العزم الأول للمساحة لكل عنصر حول خط الأساس (ah).
- 4- يحسب العزم الثاني للمساحة (عزم العطالة) لكل عنصر حول خط الأساس ( $ah^2$ ).
- 5- يحسب عزم العطالة لكل عنصر حول محور افقي يمر من مركز ثقله ( $I_{CG} = bd^3/12$ )، حيث  $b$  عرض العنصر و  $d$  عمقه.

$$6- \text{ يحسب ارتفاع المحور الحيادي بالعلاقة: } h_{NA} = \frac{\sum a_i h_i}{\sum a_i}$$

$$7- \text{ يحسب عزم العطالة الكلي للمقطع حول المحور الحيادي وفق العلاقة: } I_{NA} = I_{BL} - Ah_{NA}^2, \text{ حيث } I_{BL} = \sum_i (I_{CG})_i + \sum_i a_i h_i^2$$

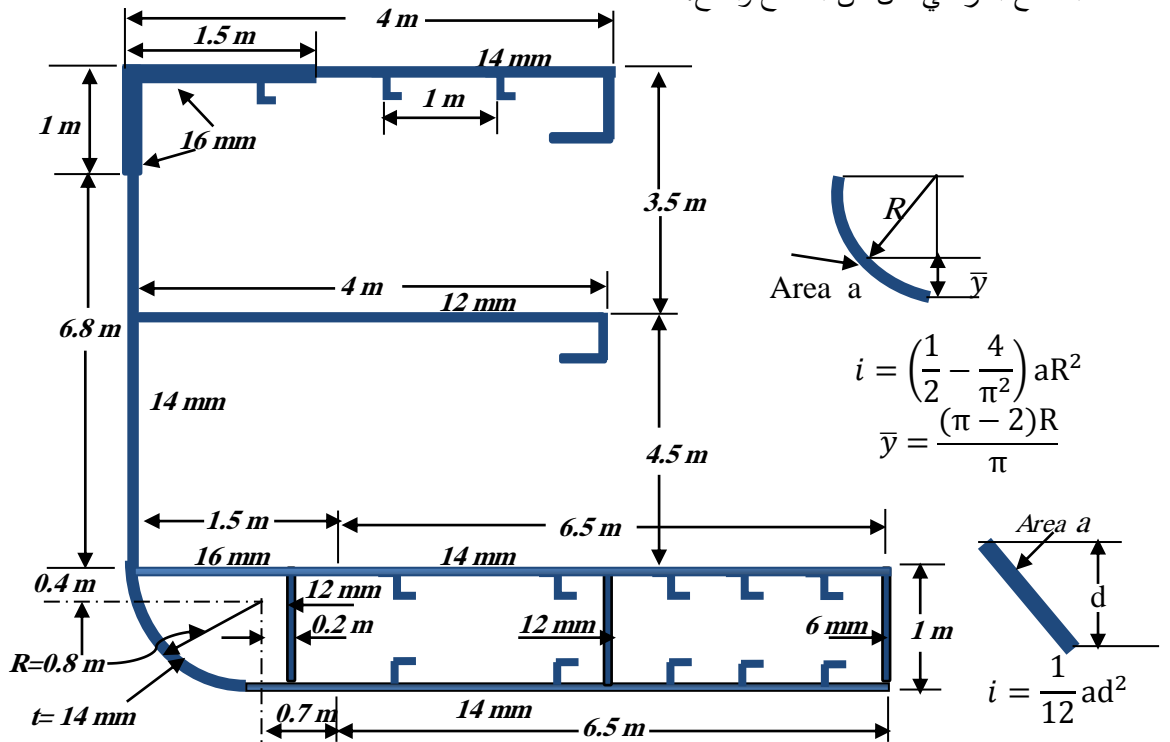
$$8- \text{ يحسب معامل المقطع للسطح والقاع وفق العلاقات التالية: } Z_{deck} = \frac{I_{NA}}{Y_{deck}} [m^3], Z_{keel} = \frac{I_{NA}}{h_{NA}} [m^3]$$



الشكل ( 2 ) مقطع يبين المادة المستمرة في حساب معامل المقطع

4- التصميم الانشائي لمقطع وسط السفينة.

لتوضيح اجراء تحقيق التصميم الأمثل للمقطع العرضي لوسط السفينة، تم أخذ المقطع العرضي المبين بالشكل 3. وتم اجراء الحسابات باستخدام البرنامج الحاسوبي المبين بالشكل 4، يبين الجدول 3 نتائج الحساب التي تتضمن معامل المقطع العرضي لكل من السطح والقاع.



شكل ( 3 ) المقطع الانشائي الطولي ( المادة الفعالة الطولية)

الجدول ( 3 ) حساب معامل المقطع

Item	Scantlings m × mm	Area a(m <sup>2</sup> )	Height h (m)	Moment of Area ah(m <sup>3</sup> )	2 <sup>nd</sup> Moment of Area ah <sup>2</sup> (m <sup>4</sup> )	Moment of inertia @ own neutral axis (m <sup>4</sup> )
Strength deck plating	2.5×14	0.035	9	0.315	2.835	—
Strength deck plating	1.5×16	0.024	9	0.216	1.944	—
Strength deck longitudinals	W <sub>160×14</sub> , F <sub>40×14</sub>	0.0084	8.9	0.0748	0.666	—
Shear Strake	1×16	0.016	8.5	0.136	1.156	0.001
Side Plating	7.2×14	0.1008	4.4	0.4435	1.951	0.435
2 <sup>nd</sup> Deck Plating	4×12	0.048	5.5	0.264	1.452	—
Bilge( Curved Portion)	R=0.8m,t=14mm	0.0176	0.29	0.0051	0.001	0.001
Inner bottom plating	6.5×14	0.091	1	0.091	0.091	—
Inner bottom Margin plate	1.5×16	0.024	1	0.024	0.024	—
Inner bottom Longitudinal (mm)	W <sub>200×10</sub> , F <sub>66×15</sub>	0.015	0.86	0.0129	0.011	—
Side Girder	1×12	0.024	0.5	0.012	0.006	0.002
Center Girder(1/2)	1×6	0.006	0.5	0.003	0.001	0.001
Bottom plating	7.2×14	0.1008	0.0	0	0	—
Bottom Longitudinals (mm)	W <sub>200×10</sub> , F <sub>66×15</sub>	0.015	0.14	0.0021	0.000	—
Upper hatch side girder	W <sub>0.5×25</sub> , F <sub>0.4×25</sub>	0.0225	8.64	0.1944	1.68	—
Lower hatch side girder	W <sub>0.5×25</sub> , F <sub>0.4×25</sub>	0.0225	5.14	0.1157	0.595	—
Total for half section		0.5706		1.9095	12.413	0.44
Height of Neutral Axis	1.9095/0.5706=3.346 m					
1/2 I <sub>BL</sub> , I <sub>NA</sub>	1/2 I <sub>BL</sub> =12.413+0.44=12.853m <sup>4</sup> , I <sub>NA</sub> =(12.853-2×0.5706×3.346 <sup>2</sup> )=12.93m <sup>4</sup>					
Z <sub>Deck</sub> , Z <sub>Keel</sub>	Z <sub>Deck</sub> = 2.287 m <sup>3</sup> , Z <sub>Keel</sub> =3.864m <sup>3</sup>					

The software interface is designed for calculating the properties of a ship's hull section. It features several input panels for defining different components of the hull, such as plating, girders, and bilge. Each component is defined by its name, dimensions (width and height), area, and its contribution to the overall first and second moments of area. A central diagram shows a cross-section of the hull with various components labeled and their dimensions indicated. On the right side, there are buttons for 'SAVE', 'Add Item', 'Report', 'Calculate', and 'Excel', along with fields for 'H deck', 'Sum Area', '+1 Moment', '+2 Moment', 'Moment of inertia ONA(m<sup>4</sup>)', 'Height of neutral axis from base', '0.5I<sub>x</sub>', '0.5I<sub>na</sub>', 'I<sub>na</sub>', 'Z<sub>deck</sub>', and 'Z<sub>keel</sub>'. At the bottom, there is a table summarizing the input data for each item.

item	Scantlings (m*mm)	Num Item	Area (m <sup>2</sup> )	Height(m)	First Moment of Area(m <sup>3</sup> )	Second Moment of Area(m <sup>4</sup> )	Moment of inertia about own neutral axis(m <sup>4</sup> )
Horizontal_Plate	(2*0.015)	1	0.03	3	0.09	0.27	0

الشكل ( 4 ) البرنامج الحاسوبي المستخدم

### 5- المساحة وعزوم العطالة لعناصر التقوية.

تحدد الأمثلة *Optimization* القيم المثالية للمتحويلات ( $t_p, b_f, t_f, h_w, t_w, n_s$ ) المبينة على الشكل (3)، حيث تقلل الوزن والتكلفة وتزيد مقياس الأمان. يجب توصيف الحدود العليا والدنيا لأبعاد اللوح وعناصر التقوية بواسطة مستخدمين اعتماداً على الخبرة التصميمية والمفاضلة بين التقنيات التكنولوجية ومتطلبات الأمان (تعتمد الأبعاد التي تعتمد عليها هيئات التصنيف على قواعد مفرطة في زيادة الأبعاد وفولاذ زائد يشكّل تكلفة هامة لتجنب الانهيار الانشائي [5]).

$$\begin{aligned} t_{p1} &\leq t_p \leq t_{p2} & b_{f1} &\leq b_f \leq b_{f2} \\ t_{f1} &\leq t_f \leq t_{f2} & h_{w1} &\leq h_w \leq h_{w2} \\ t_{w1} &\leq t_w \leq t_{w2} & n_{s1} &\leq n_s \leq n_{s2} \end{aligned}$$

لتوضيح أمثلة المقطع العرضي للسفينة ذو المقطع العرضي المبين بالشكل 3، تم أخذ القاع المزدوج لهذا المقطع ودراسة تأثير أبعاد عناصر التقوية ذات المقطع العرضي بشكل L وبشكل مستطيل على قيم عزوم العطالة (المتانة الانشائية)، قيم القيود الحدية العليا والدنيا معطاة كما يلي [5]:

$$\begin{aligned} 8 \text{ mm} &\leq t_p \leq 40 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} &\leq b_f \leq 500 \text{ mm} \\ 8 \text{ mm} &\leq t_f \leq 35 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} &\leq h_w \leq 1000 \text{ mm} \\ 8 \text{ mm} &\leq t_w \leq 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

باستخدام البرنامج الحاسوبي المبين بالشكل 4، تم حساب مساحة المقاطع العرضية وعزوم العطالة لعناصر التقوية لكل من القاع الداخلي والخارجي. حيث استخدمت في الدراسة عناصر تقوية ذات المقطع بشكل L وبشكل مستطيل بأبعاد مختلفة. كما يبين الجدول 4 مساحة وعزوم العطالة لعناصر التقوية بشكل L، كما يبين الجدول 5 مساحة وعزوم العطالة لعناصر التقوية بشكل مستطيل.

الجدول 4 مساحة وعزوم العطالة لعناصر التقوية في القاع الداخلي والخارجي بشكل L

Inner bottom Longitudinals- L Shape					
Web Dimensions [mm×mm]	Flange Dimensions [mm×mm]	Height [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	1 <sup>st</sup> moment of area [m <sup>3</sup> ]	2 <sup>nd</sup> moment of area [m <sup>4</sup> ]
300×10	80×15	0.7975	0.021	0.0169	0.0136
	100×15	0.7712	0.0225	0.0179	0.0143
	200×15	0.7555	0.03	0.023	0.0178
	300×15	0.805	0.0375	0.02833	0.0214
Outer bottom Longitudinals- L Shape					
300×10	80×15	0.195	0.021	0.004	0.000798
	100×15	0.2025	0.0225	0.00455	0.000992
	200×15	0.2288	0.03	0.0068	0.00157
	300×15	0.2445	0.0375	0.0091	0.00224
Inner bottom Longitudinals- L Shape					
300×12	80×15	0.81	0.024	0.0194	0.0157
	100×15	0.8	0.0225	0.0204	0.0163

	200×15	0.778	0.033	0.0256	0.0199
	300×15	0.7625	0.0405	0.0308	0.0235
Outer bottom Longitudinals- L Shape					
300×12	80×15	0.189	0.024	0.00435	0.00085
	100×15	0.196	0.0225	0.004998	0.00097
	200×15	0.221	0.033	0.00729	0.00161
	300×15	0.2375	0.0405	0.0096	0.00228
Inner bottom Longitudinals- L Shape					
300×15	80×15	0.816	0.0285	0.0232	0.0189
	100×15	0.81	0.03	0.0243	0.0197
	200×15	0.787	0.0375	0.0295	0.0232
	300×15	0.771	0.045	0.03469	0.0267
Outer bottom Longitudinals- L Shape					
300×15	80×15	0.183	0.0285	0.0052	0.00095
	100×15	0.189	0.03	0.00567	0.00107
	200×15	0.213	0.0375	0.00639	0.00136
	300×15	0.228	0.045	0.0102	0.00234
Inner bottom Longitudinals- L Shape					
300×20	80×15	0.777	0.036	0.0279	0.0217
	100×15	0.773	0.0375	0.02898	0.0224
	200×15	0.757	0.045	0.034	0.0257
	300×15	0.746	0.0525	0.0391	0.0292
Outer bottom Longitudinals- L Shape					
300×20	80×15	0.222	0.036	0.00799	0.0017
	100×15	0.2268	0.0375	0.0085	0.0019
	200×15	0.243	0.045	0.0109	0.00265
	300×15	0.253	0.0525	0.01328	0.0033

الجدول 5 مساحة وعزم العطالة لعناصر التقوية ذات الشكل المستطيل في القاع الداخلي والخارجي .

Rectangular Longitudinals Shape	Web Dimensions [mm×mm]	Height [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	1 <sup>st</sup> moment of area [m <sup>3</sup> ]	2 <sup>nd</sup> moment of area [m <sup>4</sup> ]
Inner bottom Longitudinals	120×10	0.94	0.006	0.008	0.00564
	200×10	0.9	0.01	0.009	0.0081
	250×10	0.875	0.0125	0.0109	0.0095
	300×10	0.85	0.015	0.01275	0.0108
	400×10	0.8	0.02	0.016	0.0128
Outer bottom Longitudinals	120×10	0.06	0.006	0.00036	0.0000216
	200×10	0.1	0.01	0.001	0.0001
	250×10	0.125	0.0125	0.00156	0.000195
	300×10	0.15	0.015	0.00225	0.0003375
	400×10	0.2	0.02	0.004	0.0008
Inner bottom Longitudinals	120×12	0.94	0.0072	0.00676	0.006362
	200×12	0.9	0.012	0.0108	0.00972
	250×12	0.875	0.015	0.013125	0.0114
	300×12	0.85	0.018	0.0153	0.013
	400×12	0.8	0.024	0.0192	0.01535

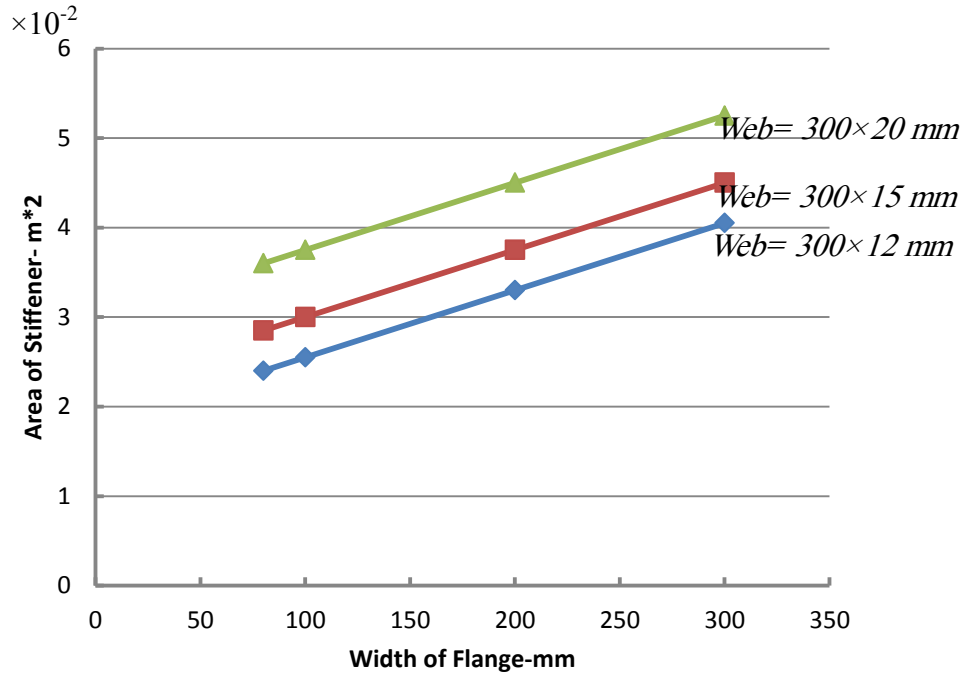
Outer bottom Longitudinals	120×12	0.06	0.0072	0.000432	0.000026
	200×12	0.1	0.012	0.00128	0.00012
	250×12	0.125	0.015	0.001875	0.000234
	300×12	0.15	0.018	0.0027	0.0004
	400×12	0.2	0.024	0.0048	0.00096
Inner bottom Longitudinals	120×15	0.94	0.009	0.00846	0.00795
	200×15	0.9	0.015	0.0135	0.01215
	250×15	0.875	0.01875	0.0164	0.01435
	300×15	0.85	0.0225	0.019125	0.01625
	400×15	0.8	0.03	0.024	0.0192
Outer bottom Longitudinals	120×15	0.06	0.009	0.00054	0.000032
	200×15	0.1	0.015	0.0015	0.00015
	250×15	0.125	0.01875	0.00243	0.0003
	300×15	0.15	0.0225	0.003775	0.0005
	400×15	0.2	0.03	0.006	0.0012
Inner bottom Longitudinals	120×20	0.94	0.012	0.01128	0.0106
	200×20	0.9	0.02	0.018	0.0162
	250×20	0.875	0.025	0.0218	0.0191
	300×20	0.85	0.03	0.0255	0.0216
	400×20	0.8	0.04	0.032	0.0256
Outer bottom Longitudinals	120×20	0.06	0.012	0.00072	0.000043
	200×20	0.1	0.02	0.002	0.0002
	250×20	0.125	0.025	0.003125	0.00039
	300×20	0.15	0.03	0.0045	0.000675
	400×20	0.2	0.04	0.008	0.0016

### النتائج والمناقشة:

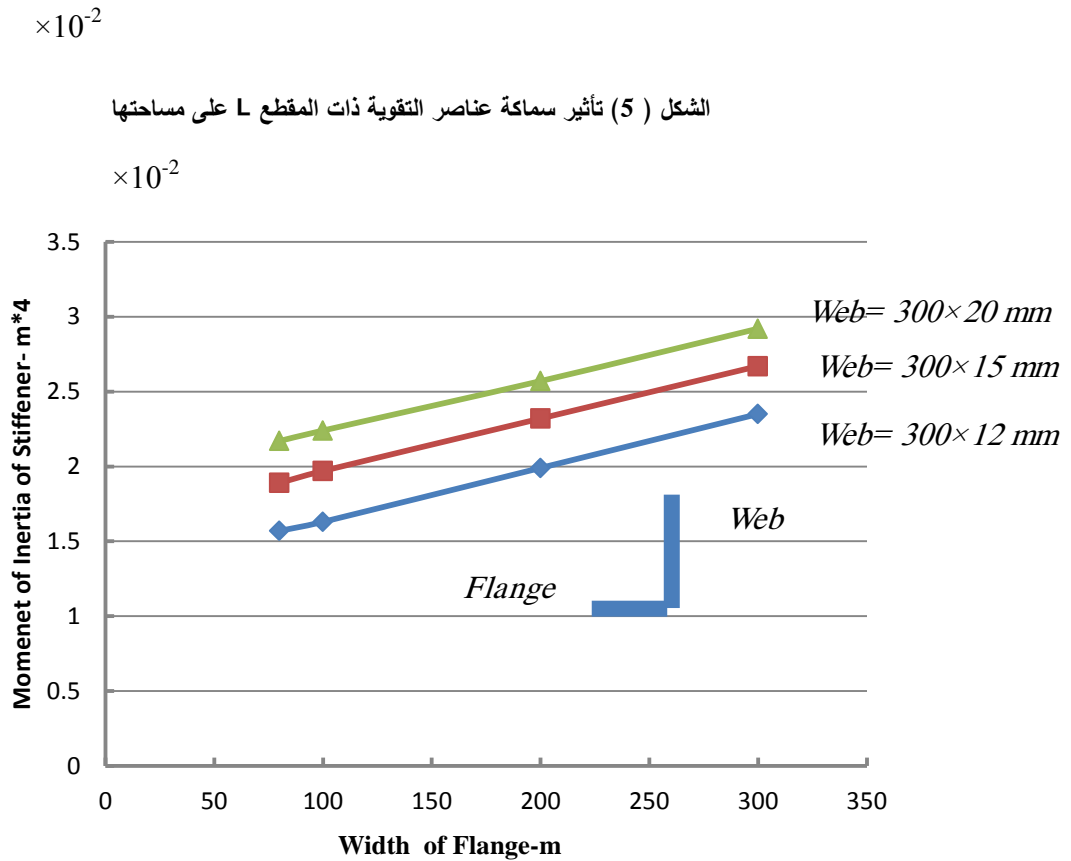
تمّ حساب مساحة المقاطع العرضية وعزوم العطالة لعناصر التقوية في القاع المزدوج للشكل 3 لكل من القاع الداخلي والخارجي. للأخذ في الاعتبار الاختيار الأمثل لعناصر التقوية، وتمّ أخذ شكلين لعناصر التقوية، شكل L وشكل مستطيل، بأبعاد مختلفة ودراسة تأثير هذه الأبعاد على عزوم العطالة وعلى الوزن الإنشائي. كما تمّ دراسة أي من الشكلين يفضّل لكل من القاع الداخلي والخارجي.

#### 1- تأثير سماكة عناصر التقوية على المساحة وعزوم العطالة لمقطع بشكل L

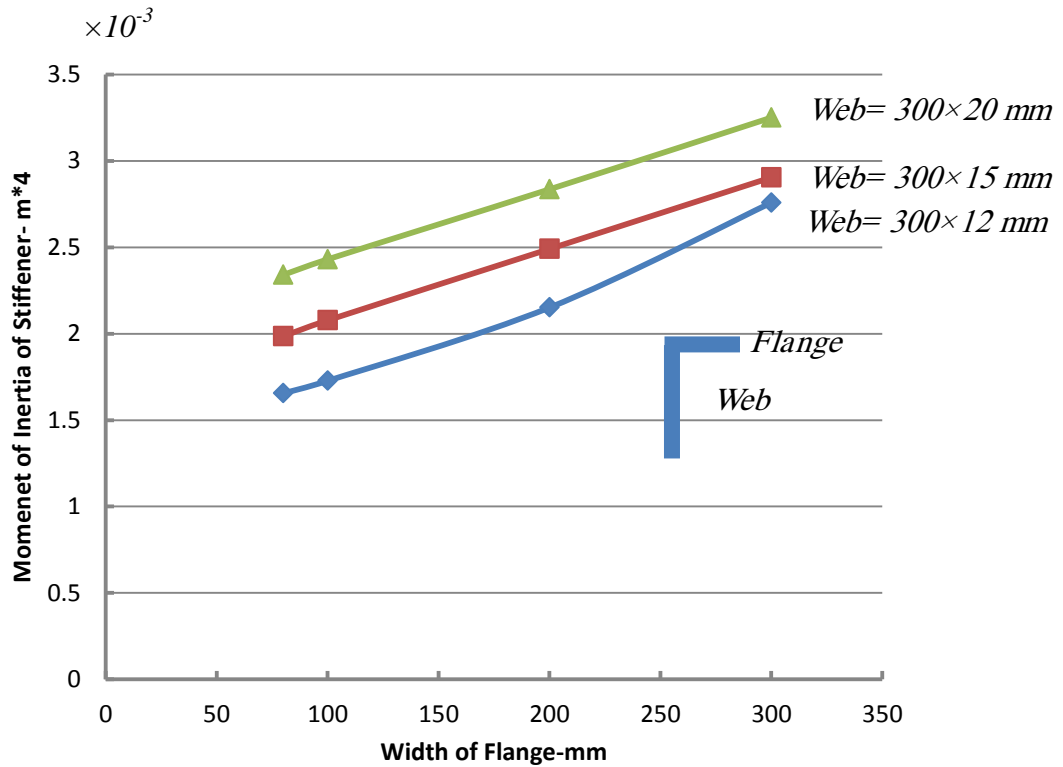
يبين الشكل 5 علاقة مساحة المقطع العرضي لعنصر التقوية بأبعاد العصب *Web* والحافة الناتئة *Flange*، حيث تتأثر بعرض الحافة أكثر من تأثرها بسماكة العصب. كما يزداد عزم العطالة بزيادة عرض الحافة الناتئة أو زيادة سماكة العصب، يمكن الحصول على عزم عطالة أكبر من خلال زيادة سماكة العصب عند نفس مساحة المقطع العرضي كما هو مبين بالشكل 6. كما أنّ عزوم العطالة لعناصر التقوية في القاع الداخلي أكبر منها لتلك التي في القاع الخارجي، لأنّ عزوم العطالة المحسوبة هي حول محور يمر من القرينة كما يبين الشكلين 6 و 7.



الشكل ( 5 ) تأثير سماكة عناصر التقوية ذات المقطع L على مساحتها



الشكل ( 6 ) تأثير سماكة عناصر التقوية ذات المقطع L على عزم عطالة عناصر التقوية للقاع الداخلي.

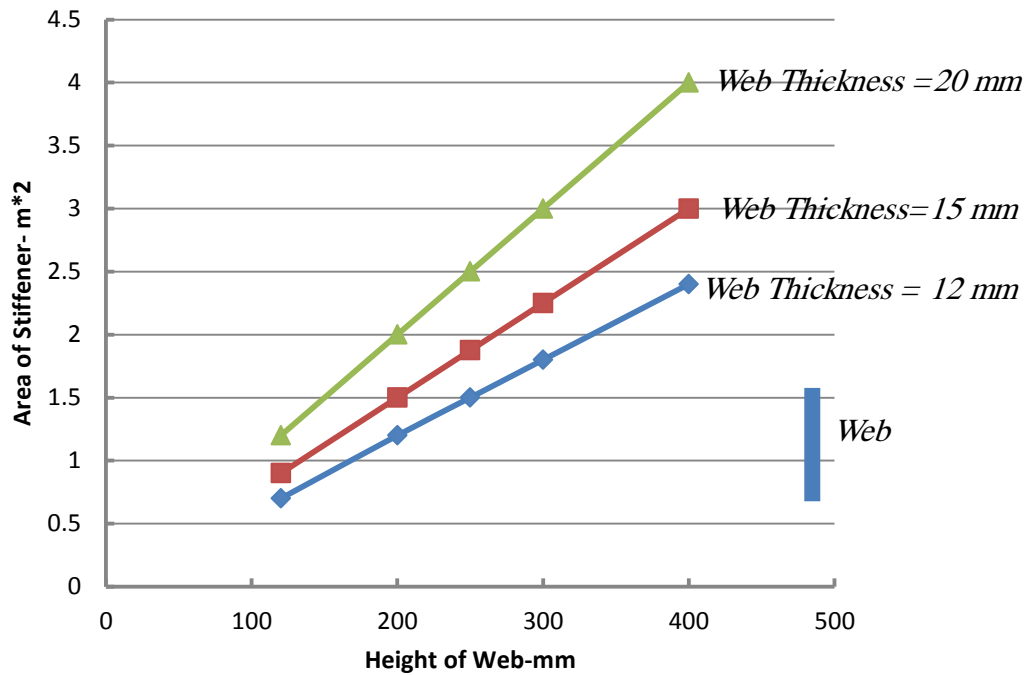


الشكل (7) تأثير سماكة عناصر التقوية ذات المقطع L على عزم عطالة عناصر التقوية للقاع الخارجي.

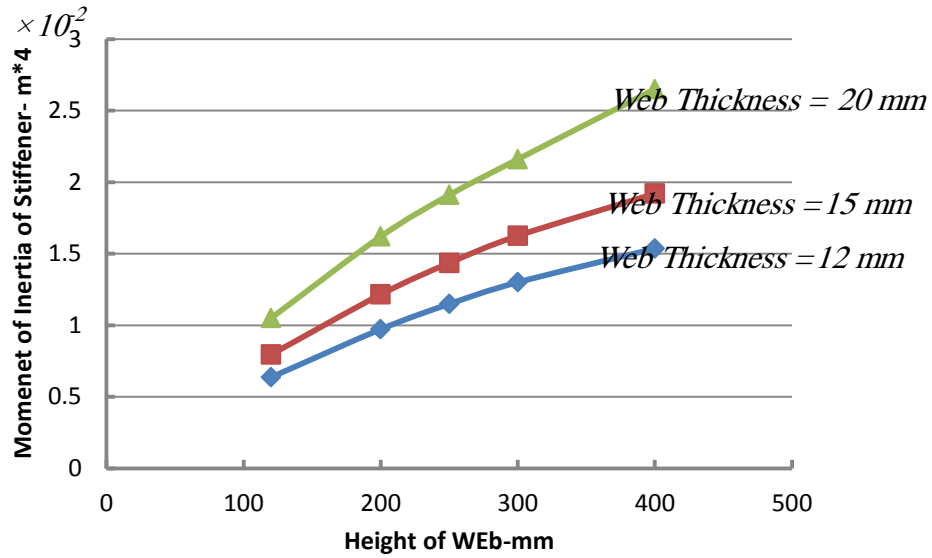
## 2- تأثير سماكة عناصر التقوية على المساحة وعزوم العطالة لمقطع مستطيل

يبين الشكل 8 تأثير سماكة وارتفاع عنصر التقوية على مساحة المقطع العرضي لعنصر التقوية، يلاحظ بأن ارتفاع عنصر التقوية أكثر تأثيراً من السماكة على مساحة المقطع العرضي. كما بين الشكل 9 أن عزوم العطالة تتزايد مع تزايد الارتفاع بمقدار كبير من أجل نفس السماكة، كما يمكن الحصول على عزوم عطالة أكبر عند نفس مساحة المقطع العرضي من خلال الاختيار المناسب للأبعاد كما يلاحظ من الجدول 5. كما أن عزوم العطالة لعناصر التقوية في القاع الداخلي أكبر منها لتلك التي في القاع الخارجي، لأن عزوم العطالة المحسوبة هي حول محور يمر من القرينة كما يبين الشكلين 9 و 10.

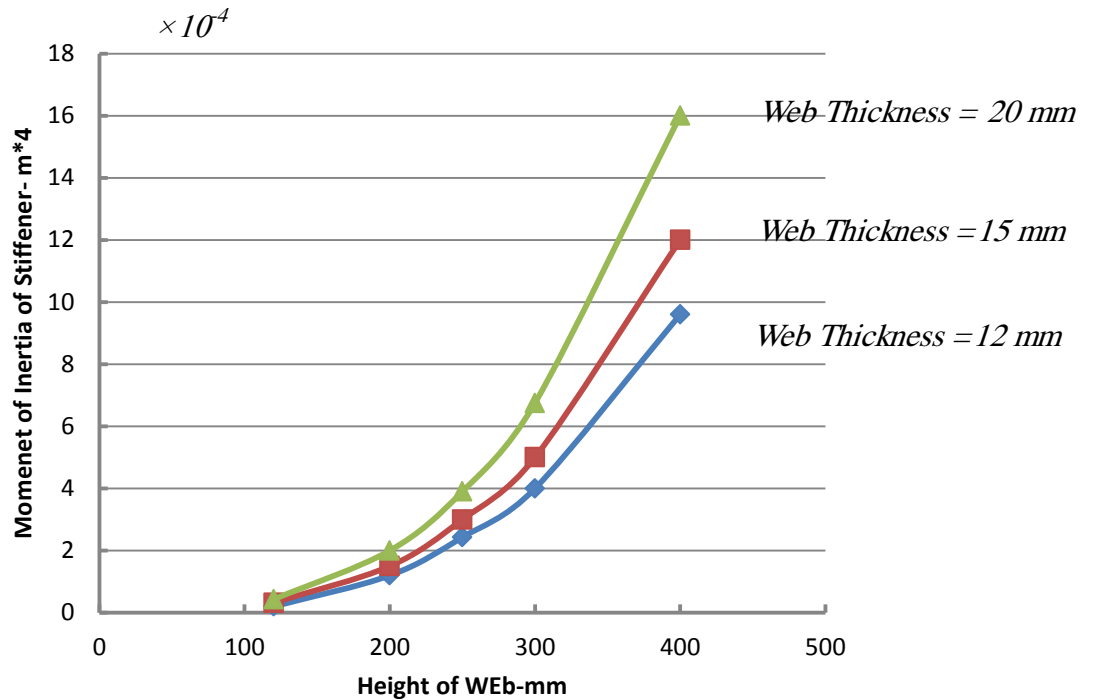




الشكل ( 8 ) تأثير سماكة عناصر التقوية ذات المقطع المستطيل على المساحة



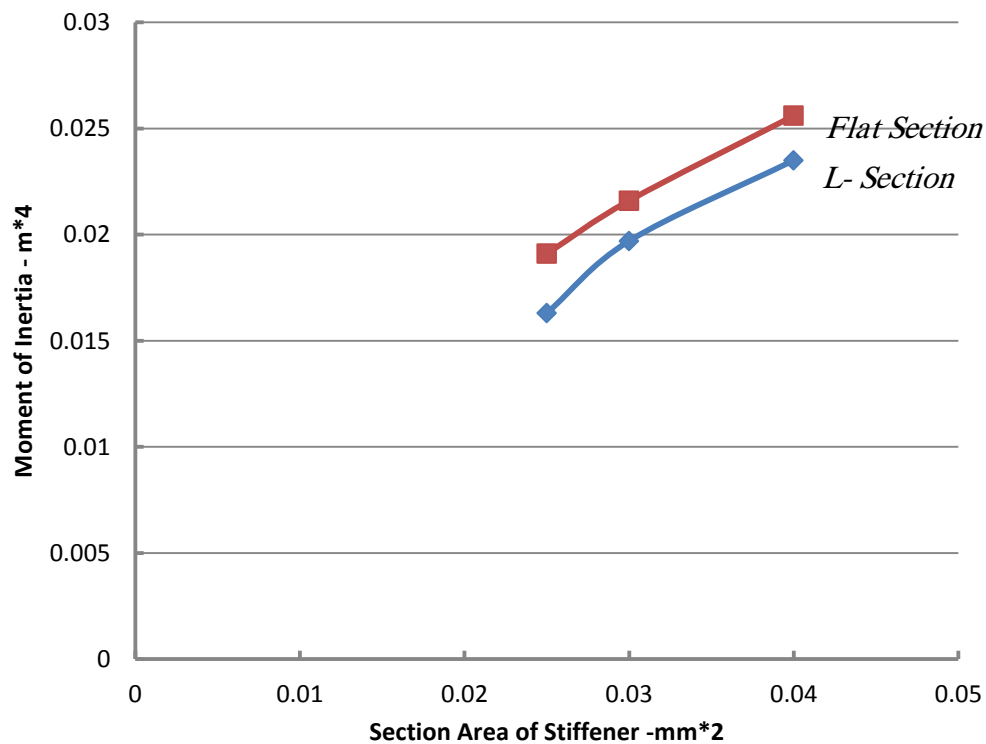
الشكل ( 9 ) تأثير سماكة عناصر التقوية ذات المقطع المستطيل على عزم عطالة عناصر التقوية للقاع الداخلي.



الشكل (10) تأثير سماكة عناصر التقوية ذات المقطع المستطيل على عزم عطالة عناصر التقوية للقاع الخارجي.

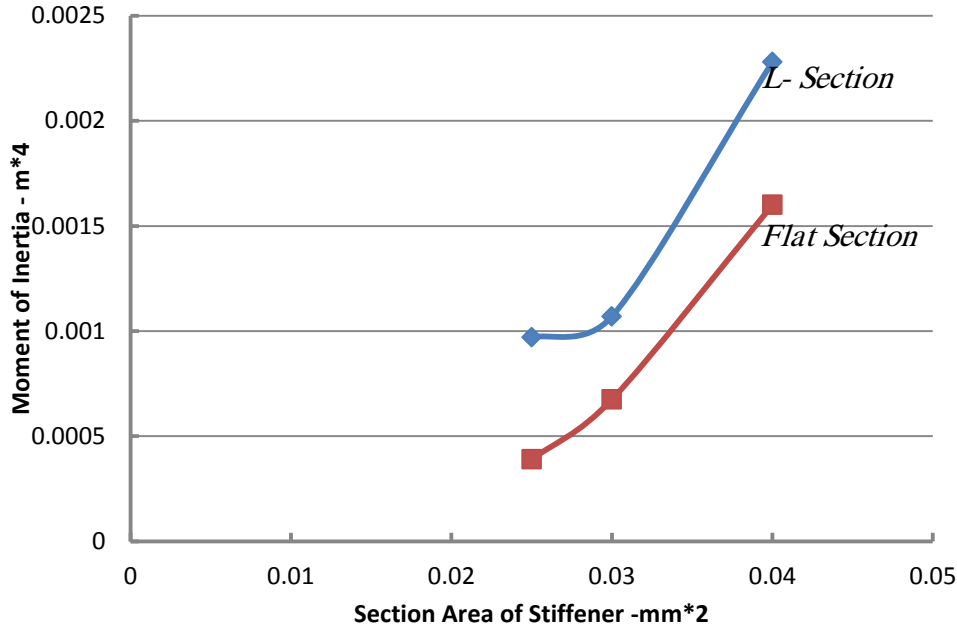
### 3- تأثير نوع عناصر التقوية على عزوم العطالة.

يبين الشكل 11 أنّ توضع عناصر التقوية ذات المقطع المستطيل في القاع الداخلي يزيد من عزم العطالة عن تلك التي ذات المقطع بشكل L من أجل نفس الوزن بوحدة الطول ونفس مساحة المقطع العرضي.



الشكل (11) تأثير شكل عنصر التقوية على عزم العطالة في القاع الداخلي.

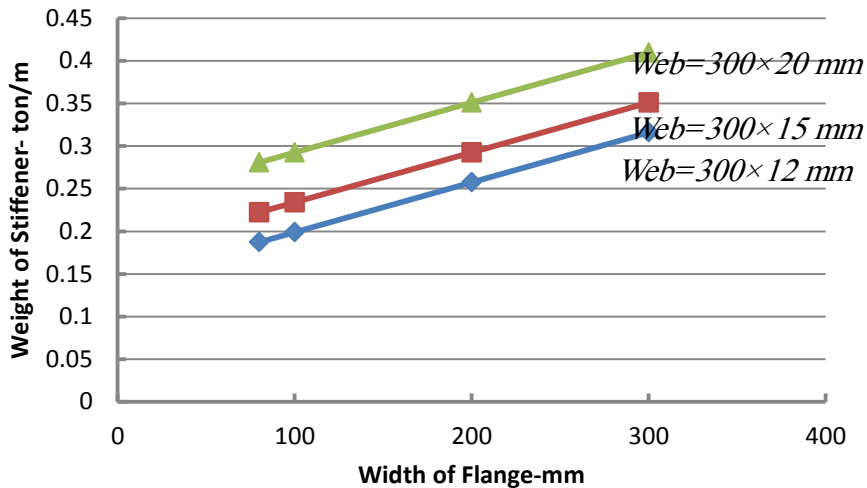
كما يبين الشكل 12 انّ توضع عناصر التقوية ذات المقطع بشكل L يزيد من عزم العطالة عن تلك التي ذات المقطع المستطيل في القاع الخارجي من أجل نفس الوزن بوحدة الطول ونفس مساحة المقطع العرضي.



الشكل ( 12 ) تأثير شكل عنصر التقوية على عزم العطالة في القاع الخارجي.

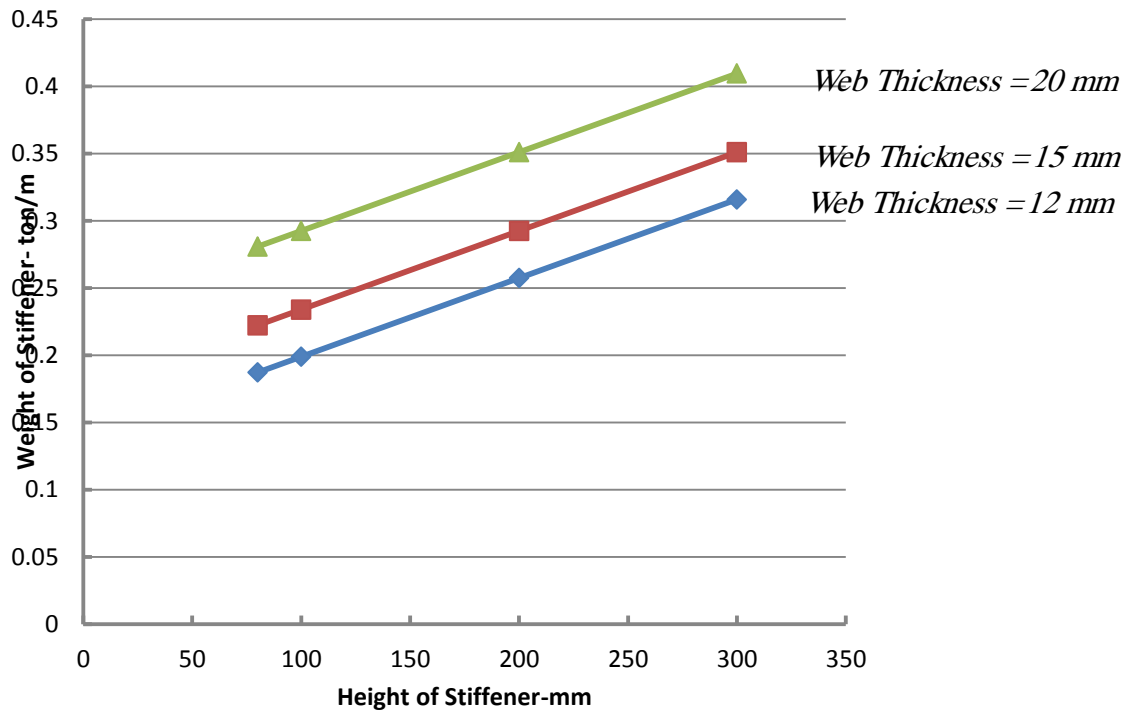
#### 4- تأثير سماكة عناصر التقوية على الوزن الانشائي لعناصر التقوية.

يبين الشكل 13 العلاقة بين الوزن الانشائي بوحدة الطول لعنصر التقوية ذو المقطع العرضي بشكل L وكلّ من سماكته من أجل سماكة ثابتة وعرض مختلف للحافة الناتئة. يلاحظ بأنه يتم تقليل الوزن الانشائي بتقليل أبعاد الحافة الناتئة أو بتقليل أبعاد الـ Web.



الشكل ( 13 ) الوزن بوحدة الطول لعنصر التقوية ذو مقطع بشكل L بارتفاعات مختلفة وسماكات ثابتة للحافة الناتئة.

كما يبين الشكل 14 العلاقة بين الوزن الانشائي بوحدة الطول لعنصر التقوية ذو المقطع المستطيل وذات الارتفاعات المختلفة وسماكته. يلاحظ بأنه يتم تقليل الوزن الانشائي بتقليل أبعاد الـ *Web*.



الشكل (14) الوزن بوحدة الطول لعنصر التقوية ذو مقطع مستطيل بارتفاعات مختلفة عند سماكات ثابتة.

### الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تم التحقق من أن البرنامج المستخدم يعطي نتائج دقيقة في حساب عزوم العطالة ومعامل المقطع لمقطع وسط السفينة.
- 2- تم استخدام البرنامج في حساب المساحات، عزوم العطالة، معاملات المقطع لمقطع وسط السفينة، وبالتالي حساب الاجهادات التي تتعرض لها السفينة عند وسطها. كما يمكننا من اختيار الابعاد المناسبة لعناصر التقوية، عدد هذه العناصر، وأشكالها، حيث تمكّنتنا من حساب المتانة والتحقق من المتانة المطلوبة. كما يمكن تحديد أوزان عناصر التقوية المستخدمة وتقدير أمانها.
- 3- يتم وضع عناصر التقوية ذات المقطع المستطيل في القاع الداخلي لأنها تقدّم عزم عطالة أكبر من تلك التي تقدّمه عناصر التقوية ذات المقطع بشكل L، مما يزيد من متانة السفينة من أجل نفس مساحة المقطع العرضي لكلا الشكلين ونفس الوزن بوحدة الطول.
- 4- يتم وضع عناصر التقوية ذات المقطع بشكل L في القاع الخارجي لأنها تقدّم عزم عطالة أكبر من تلك التي تقدّمه عناصر التقوية ذات المقطع المستطيل، مما يساهم في زيادة متانة السفينة من أجل نفس مساحة المقطع العرضي لكلا الشكلين ونفس الوزن بوحدة الطول.

**References:**

- 1- *Philippo RIGO, Least Cost Structural Optimizaton Oriented Preliminary Design, Ship Production Symposium, June 13-15, 2001.*
- 2- *J. D. Caprace, et all, Scantling multi- objective optimization of a LNG Carrier, Marine Structures, 2014.*
- 3- *Lina Marie Storas, Steel weight optimization with respect to stiffener spacing and plate thickness of mid ship structure for cargo vessels, Norwegian University of Science and Tecnology- Deparment of Marine Technology, 2013.*
- 4- *Ryota Nonami, et all, A Study on Optimization the Structure of Ship in Consideration of Layout of the Stiffeners, International Socciety of Offshore and Polar Engineer, (2014).*
- 5- *Ming Ma, et al, Hull Girder Cross Sectional Structural Design Using Ultimate Limit States (ULS) Based Multi- Objective Optimization, Design Systems & Technologies, Antibes/ France, [ndar@ndar.com](mailto:ndar@ndar.com).*
- 6- *Saybani, et al, Weight and Cost Optimizationof Midship Section Using Common Structural Rules., Journal of Ship Production & Design, Vol. 36, Issue 3, Aug 2020.*
- 7- *T.I.S Raja, J.S. Rajandurai, Design of Mid Ship Section Based on Hydrostatic & Hydrodynamic Loads, International Journal for Scientific Research & Development., Vol. 6, Issue 05, 2018.*
- 8- *Yuan Wang, Jia-meng Wu, Mid- Section Structure Optimization of Oil Tanker Based on CSR Prespective Analysis, EngOpt 2018 Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Conference on Engineering Optimization.*
- 9- *Kazouhiko MATSUOKA, et al, A Study on Optimization Design System for Midship Section of Hull Structure Using Sub optimization, The 109<sup>th</sup> West- Japan Society of Naval Architects Meeting in Japan, 2004.*
- 10- *OWEN F. HUGHES, Ship Structural Design, A Rationally-Based, Computer - Adided Optimization Approach, Published by the Society of Naval Architects and Marine Engineering 601 Pavonia Avenue Jersey City , New Jersey 07306, 1988.*