

تقييم فعالية طريقة مسح المقاطع العرضية للسفينة في تحديد ذراع عزم الاستبدال للسفن

الدكتور ميشيل بربهان*

الدكتور نسرين محمد**

(تاريخ الإيداع 10 / 12 / 2015. قُبل للنشر في 21 / 4 / 2016)

□ ملخص □

لتحديد منحنى الاتزان العرضي المتعلق بالشكل I_K يتم عادة تحديد خط الماء المتساوي الحجم لكل حالة تحميل، الأمر الذي يتطلب إعادة حسابات رياضية معقدة وطويلة مع اختلاف قيمة الغاطس الموافقة لكل حالة تحميل الهدف من هذا البحث هو بناء نموذج رياضي يسمح بتحديد منحنى الاتزان العرضي المتعلق بالشكل I_K عند جميع حالات التحميل المعتبرة للسفينة اعتماداً على قراءة المقاطع العرضية لبدن السفينة المحددة بالخطوط القطاعية العرضية المشكلة للمسقط الأمامي لرسمه الخطوط النظرية للسفينة. لا تحتاج هذه الطريقة إلى فرضيات مسبقة لإجراء الحسابات وهذا قد يسبب منطقياً رفع دقة الحسابات خلافاً للطرق الأخرى المستخدمة حالياً في تقييم الاتزان العرضي للسفن.

أثبتت فعالية هذه الطريقة في اختصار الوقت والحصول على نتائج جيدة عن طريق مقارنتها مع النتائج التحليلية الخاصة بالسفينة الصندوقية، والسفينة ذات المقطع المثلثي و طريقة Pozdiunin التقريبية المعتمدة عالمياً، وتم أيضاً مقارنة نتائج هذه الطريقة مع قيم منحنيات الاتزان الثابتة الخاصة بوثائق سفينة تجارية حقيقية. إن نتائج تقييم ومعايرة الطريقة المدروسة تسمح باستخدامها في معايرة اتزان السفن، والاستخدام في أعمال بحثية لاحقة.

الكلمات المفتاحية: اتزان سفن- منحنى الاتزان السكوني- منحنى أذرع عزوم الاستبدال

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

Evaluation of the effectiveness of scanning sections method for the calculation of righting lever for ships

Dr. Michel Barbhan*
Dr. Nisrine Mohamad**

(Received 10 / 12 / 2015. Accepted 21 / 4 / 2016)

□ ABSTRACT □

In order to calculate the cross curve of stability related to ship form l_k the water line of equal volume corresponding to each load draught should be determined. Therefore complex and long steps of mathematical calculations should be done for each vessel displacement.

The goal of this research is to build a mathematical model enables the determination of cross curve of stability related to ship form l_k for all ship displacements. This model is based on reading of the transverse sections of the ship projected on to a vertical transverse plane of the body plan.

This method does not need to previous assumptions to perform calculations therefore the calculations accuracy could be increased in comparison with other methods currently in use to evaluate the transvers stability for ships.

The efficiency of this method has been proven in saving time as well as in giving good results by comparing it with the analytical results for ships of box and trigonometric forms. The comparison includes Pozduinin approximate method which is largely used in ship world as well as the stability curves for real commercial ship. The good results of evaluation of cross curves of stability by the proposed method (scanning sections method) allow to generalize its use for validation of ship stability and other works research.

Key Words: Ship Stability – Static Stability Curve - Curve of Righting Levers

* Professor at Marine Engineering Department Mechanical & Electrical Engineering Faculty, Tishreen University, Lattakia, Syria..

** Assistant Professor at Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة:

تمّ قديماً تقييم ائزان السفن استناداً لقيمة ارتفاع الميتاسنتر الأولي h_o فقط، إلا أن العدد الكبير لحوادث غرق السفن دفع الباحثين باتجاه إجراء تحليل دقيق لمثل هذه القضايا. ونتيجةً لذلك تم إدخال ما يُعرف بمنحنى أذرع عزوم الاستعدال إلى حسابات الاتزان، أو ما يُسمى منحني REED (عموماً يُسمى هذا المنحنى بمنحنى الاتزان السكوني) [1]. يُعرف منحني الاتزان السكوني بأنه منحني العلاقة بين ذراع عزم الاستعدال GZ وزاوية الميلان العرضي للسفينة. يسمح هذا المنحنى بتحديد مقدار ذراع عزم الاستعدال عند أي زاوية ميلان عرضي للسفينة عند قوة طفو معينة ومركز ثقل غير متغير.

اهتمت المنظمة البحرية العالمية (IMO) (International Maritime Organization) بأمان السفن التوازني. ومنذ عام 1962 قامت هذه المنظمة بإجراء الأبحاث العلمية البحرية التي تهدف إلى صياغة معايير عالمية خاصة باتزان السفن. تعتمد معايير الاتزان المقدمة من قبل IMO، وأيضاً المعايير المعتمدة كقوانين في العديد من البلدان على الطرائق الحسابية المرتبطة بعلم ائزان السفن. وبشكل خاص يُستخدم منحني أذرع عزوم الاستعدال في عملية المعايرة، من خلال تقييم مسار هذا المنحنى، وبارامتراته المميزة وقيم هذا المنحنى عند زوايا الميلان العرضي المختلفة [2]. لتحديد ذراع عزم الاستعدال يوجد العديد من الطرق، نذكر منها:

- الطرق الحسابية التحليلية لأبدان السفن الصندوقية، و السفن مثلثية المقطع : وهي أبدان بسيطة هندسياً،

حيث تعتمد هذه الطريقة على تحديد عرض خطوط الماء متساوية الحجم في كل مجال من مجالات زوايا الميلان العرضي. يمكن أيضاً تحديد مساحات سطوح الطفو، وأنصاف أقطار الميتاسنتر وإحداثيات مركز الطفو في جملة المحاور الإحداثية المفروضة. تستخدم نتائج هذه الطريقة للمعايرة من خلال المقارنة مع نتائج طرق أخرى مطبقة على أبدان السفن البسيطة (صندوقية أو مثلثية) [3]، [4]، [5].

- طرق العلاقات التقريبية التي تستخدم للقيام بالأعمال البحثية، مثلاً لدراسة تأثير بعض البارامترات الأساسية

التصميمية والاستثمارية للسفينة على سلوك منحني الاتزان السكوني وبارامتراته المميزة. تستند العلاقات التقريبية التجريبية إلى نتائج تخص عدد كبير من النماذج أو الماكينات لسفن حقيقية تم الحصول عليها باستخدام طرائق تجريبية، تعتمد من حيث المبدأ على تمثيل السفينة عرضياً بفعل عزم ميلان عرضي خارجي مساوٍ لعزم الاستعدال عند كل زاوية ميلان. إن العلاقات تقريبية تجريبية تعطي دقة كافية من الناحية العملية. إن أكثر هذه العلاقات استخداماً في عالم تصميم السفن هي كالتالي [6]، [7]: علاقة Pozdiunin وعلاقة Własow وعلاقة Pawlenk.

- الطرق التجريبية : تعتمد هذه الطرق على تمثيل نموذج مصغر للسفينة (مشابه هندسياً للسفينة المعتمدة)

موضوع في حوض مائي صغير، باستخدام ميكانيزم هندسي خاص مؤلف من أذرع و بكرات و حبال و أوزان، و أجهزة خاصة بقياس الأوزان. ثم تحديد عزم الاستعدال المتوازن مع عزم الميلان المطبق عند كل زاوية ميلان عرضي. ومن أكثر هذه الطرق استخداماً لدينا طريقة Kempf [1].

- الطرق الحسابية البحثية: تتطلب الطرق الحسابية البحثية إجراء حسابات طويلة ومعقدة نسبياً وهي تستند إلى

رسمه الخطوط النظرية لبطن السفينة. من أكثر هذه الطرق استخداماً لدينا طريقة Krylow و Matrosow و Bornes. أصبحت الطريقة الأخيرة قليلة الاستخدام، رغم أن نتائجها غير سيئة مقارنةً مع الطرق الحديثة، وكانت قديماً تستخدم بصورة واسعة حيث شكلت الأساس للعديد من الطرق البسيطة التي تمّت صياغتها فيما بعد [1].

تعدُّ طريقة Krylow من أهم الطرق الحسابية البحتة وأكثرها استخداماً لإنشاء منحني أذرع عزوم الاستبدال، انطلاقاً من تحديد أذرع الاتزان السكوني المتعلق بالشكل عند قيمة معينة لحجم الجزء الغاطس من بدن السفينة مقابلة لحالة تحميل معينة.

تعتمد هذه الطريقة على تحديد نصف قطر المبتاسنتر الصغير r_ϕ لكل خط من خطوط الماء متساوية الحجم عند عدة زوايا ميلان عرضي متزايدة ومتتالية عندما $V = const$ ، ثم تحديد إحداثيات مركز الدفع للسفينة المائلة عرضياً، مما يُمكن بالنتيجة من تحديد أذرع الاتزان السكوني المتعلق بالشكل I_K [1]، [2]، [3]، [8]، [9]، [10]. لطريقة Krylow شكلين أو أسلوبين للحل:

- **الشكل الأول:** وهو شكل مبسط يعتمد على إنشاء جميع خطوط الماء المساعدة $W_{o\phi}$ عند زوايا الميلان المختلفة المتتالية انطلاقاً من خط الماء الأولي متساوي الحجم W_o ، بحيث تكون خطوط الماء المذكورة مارة من مركز ثقل خط الماء W_o [1].

- **الشكل الثاني:** وهو الشكل الأكثر دقة ولكن الأكثر تعقيداً حيث يتم إنشاء كل خط ماء مساعد $W_{o\phi_i}$ حالي انطلاقاً من خط الماء متساوي الحجم السابق $W_{\phi_i - \Delta\phi}$ ، ويميل بالنسبة إليه بزاوية $\Delta\phi$ ، ثم يتم تحديد خط الماء الحقيقي W_{ϕ_i} بإزاحة خط الماء المساعد $W_{o\phi_i}$ للأسفل أو للأعلى بحسب قيمة سماكة طبقة التصحيح g_{ϕ_i} . أيضاً ضمن هذا الشكل أو الأسلوب للحل يمكن تمييز طريقتين لمتابعة إجراء الحسابات:

الطريقة الأولى: تفترض للتبسيط أن التغير الحاصل في شكل سطح الطفو المقابل لخط الماء المساعد $W_{o\phi_i}$ صغير عند إزاحته شاقولياً بمقدار g_{ϕ_i} ، وبالتالي يمكن اعتبار أن مركز ثقل سطح الطفو المقابل لخط الماء الحقيقي متساوي الحجم W_{ϕ_i} يقع على الخط الشاقولي المار بمركز ثقل سطح الطفو المقابل لخط الماء المساعد $W_{o\phi_i}$ [8]، [9]، [10].

الطريقة الثانية: لرفع دقة الحسابات تأخذ هذه الطريقة بالاعتبار حقيقة أن مركز ثقل سطح الطفو المقابل لخط الماء الحقيقي متساوي الحجم W_{ϕ_i} لا يقع على الخط الشاقولي المار بمركز ثقل سطح الطفو المقابل لخط الماء المساعد $W_{o\phi_i}$ ، وأن وقيم مساحات وعزوم عطالة خط الماء الحقيقي متساوي الحجم W_{ϕ_i} وخط الماء المساعد $W_{o\phi_i}$ ليست متساوية. يتطلب الأمر في هذه الحالة إيجاد العلاقات الخاصة بتحديد البارامترات الهندسية المميزة لخط الماء متساوي الحجم W_{ϕ_i} (مساحة و عزم العطالة لخط الماء الحقيقي متساوي الحجم W_{ϕ_i} ، وسماكة طبقة التصحيح، و إحداثي مركز ثقل لخط الماء متساوي الحجم W_{ϕ_i} ، أي بعده عرضياً عن مركز خط الماء متساوي الحجم السابق $W_{\phi_i - \Delta\phi}$) وفقاً لاعتبارات وفرضيات خاصة بهذه الطريقة، مما يسمح بالحصول على نتائج أكثر دقة، ولكن مع ازدياد تعقيدات الموديل الرياضي والأعمال البرمجية اللازمة [2]، [3].

يجب الأخذ بالاعتبار الصعوبات الجمة التي ترافق عملية تحديد خط الماء متساوي الحجم W_ϕ عند كل زاوية ميلان، ووجود العديد من الفرضيات التي تبسط العمليات الحسابية الخاصة بآلية الانتقال من خط الماء المساعد إلى خط الماء متساوي الحجم W_ϕ عند كل زاوية ميلان، لتحديد نصف قطر المبتاسنتر الصغير r_ϕ لكل خط من خطوط الماء متساوية الحجم وفقاً للطرق التقليدية المذكورة أعلاه.

سنعمل في هذا البحث إلى استخدام فكرة طريقة تعتمد على قراءة المقاطع العرضية لبدن السفينة المحددة بالخطوط القطاعية العرضية المشكلة للمسقط الأمامي لرسمة الخطوط النظرية للسفينة، و تحديد منحنى الاتزان المتعلق بالشكل I_x عند جميع حالات التحميل المعتبرة للسفينة، بدون الحاجة لتحديد خط الماء المتساوي الحجم لكل حالة تحميل تقابل قيمة معينة لغاطس السفينة، خلافاً لبقية الطرق المذكورة أعلاه. هذه الطريقة أيضاً لا تحتاج فرضيات مسبقة لإجراء الحسابات، وهذا قد يسبب منطقياً برفع دقة الحسابات خلافاً للطرق الأخرى. ويقسم البحث إلى أربعة مقاطع:

المقطع الأول يوضح طريقة بناء نموذج رياضي يوصف هندسياً وتحليلياً الطريقة المعتبرة، ويقود إلى وضع برنامج حاسوبي يستخدم عموماً لأبدان السفن الحقيقية ويهدف إلى حساب ذراع عزم الاستعداد المتعلق بالشكل عند كل زاوية ميلان عرضية للسفينة وعند كل حالة تحميل للسفينة التي تقابل بدورها خط ماء محدد.

المقطع الثاني يشمل معايرة هذه الطريقة للتأكد من فعاليتها حيث تتم المعايرة مع النتائج التحليلية الخاصة بالسفينة الصندوقية، والسفينة ذات المقطع المثلي، وطريقة Pozdiunin والمعتمدة عالمياً.

المقطع الثالث يشمل عرض منحنيات الاتزان الثابتة الخاصة بوثائق سفينة تجارية حقيقية ونطبق عليها طريقة مسح المقاطع، ومن ثم نختم هذا المقطع بتحليل للنتائج المدروسة.

المقطع الرابع هو عبارة عن خاتمة يتم فيه تلخيص النقاط الأساسية في هذا البحث، وعرض بعض التوصيات.

أهمية البحث وأهدافه:

تتم أهمية البحث في معالجته واحدة من أهم المسائل المتعلقة بتأمين حيوية السفينة وسلامة إبحارها وذلك من خلال الحصول على منحنى الاتزان السكوني الذي يعبر عن الحالة الحقيقية لإمكانات السفينة في المحافظة على أمانها التوازني أثناء استثمارها.

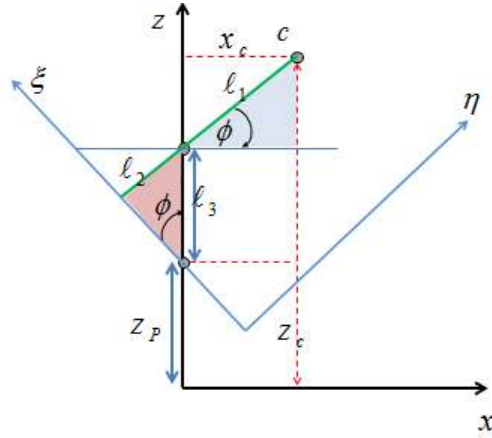
تتخصر أهداف هذا البحث بما يلي:

1. بناء نموذج رياضي يوصف هندسياً وتحليلياً لطريقة مسح المقاطع العرضية المستخدمة في إنشاء منحنى الاتزان السكوني.
2. إعداد برنامج حاسوبي لتنفيذ الحسابات وفق النموذج التي تم إعداده.
3. معايرة هذه الطريقة للتأكد من فعاليتها حيث تتم المعايرة مع النتائج التحليلية الخاصة بالسفينة الصندوقية، والسفينة ذات المقطع المثلي، وطريقة Pozdiunin والمعتمدة عالمياً، وأيضاً مع وثائق السفن الحقيقية.

طرائق البحث ومواده:

الموديل الرياضي لطريقة مسح المقاطع العرضية المستخدمة في تحديد ذراع عزم الاستعداد:

لا تتطلب هذه الطريقة حساب وتحديد خطوط الماء متساوية الحجم كما هو الحال في الطرق المعروفة عالمياً. وفقاً لهذه الطريقة يُحسب ويُنشأ منحنى المساحة والعزم السكوني لهذه المساحة بالنسبة للمحور الشاقولي ξ العمودي على مستوي سطح الماء كتابع لارتفاع المقاطع العرضية من أجل كل مقطع عرضي للسفينة، وعند عدة زوايا ميلان عرضية متزايدة بـ 5° أو 10° .



الشكل (1) جملة المحاور الإحداثية المعتمدة

لإنشاء جملة المحاور الإحداثية المعتبرة نختار نقطة P واقعة في مستوي التناظر ذات الإحداثي الرأسي z_p ، ونشكل جملة الإحداثيات (η, ξ) بحيث يكون المحور η مماس لمحيط المقطع العرضي ومتعامد مع المحور ξ المار بالنقطة P كما هو في الشكل (1).

تعتمد طريقة مسح المقاطع على الخطوات التالية [2]:

استناداً إلى رسمه الخطوط النظرية للسفينة يرسم المقطع العرضي الموافق لإحدى التقسيمات العشرية كما هو مبين في الشكل (2)، ثم نبدأ بمسح هذا المقطع عند فواصل ثابتة $\xi \Delta$ ، وعند عدة زوايا ميلان عرضي للسفينة ضمن المجال $\phi \in [0, 90]$ وفي كل مرة يتم تحديد:

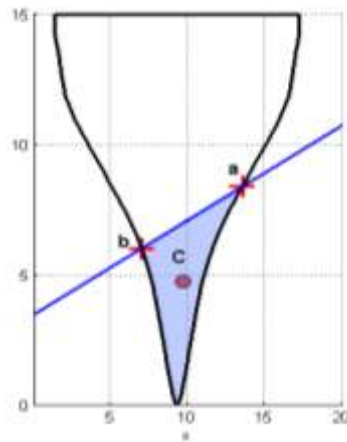
تغطي التقاطع a و b .

مساحة المقطع العرضي $A(\phi, \xi)$ عند خط الماء المعتبر والزاوية المعتبرة ϕ .

المركز الهندسي لسطح المقطع العرضي عند خط الماء المعتبر والزاوية المعتبرة ϕ ، باستخدام

نفس البرنامج لحساب $A(\phi, \xi)$.

تقاس قيم الإحداثيات η في الجملة المعتبرة عند فواصل ثابتة $\xi \Delta$.



الشكل (2) تمثيل لآلية عمل طريقة مسح القاطع العرضية

تعرف ϕ بالزاوية التي يصنعها المحور η مع المحور x وتأخذ قيم ضمن المجال $\phi \in [0, 90]$ يحسب ذراع العزم السكوني لمساحة المقطع العرضي بالنسبة للمحور ξ كما يلي، الشكل (1):

$$l = l_1 + l_2$$

$$l_1 = \frac{x_c}{\cos \phi} \quad (1)$$

تمثل النقطة $C(x_c, z_c)$ المركز الهندسي لسطح المقطع العرضي عند خط الماء المعتبر والزاوية المعتبرة.

$$l_2 = l_3 \sin \phi$$

$$l_3 = z_c - z_p - x_c \tan \phi$$

$$l_2 = (z_c - z_p - x_c \tan \phi) \sin \phi$$

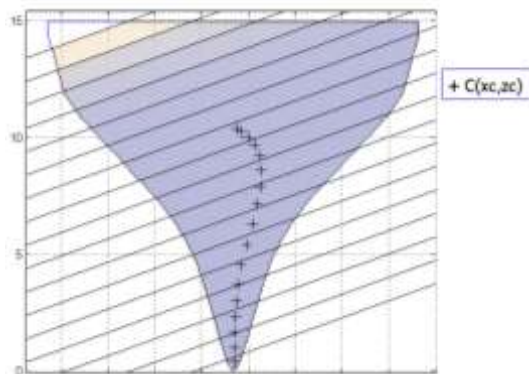
$$l_2 = z_c \sin \phi - z_p \sin \phi - x_c \frac{\sin^2 \phi}{\cos \phi} \quad (2)$$

يعطى البعد l بالعلاقة التالية :

$$l = \frac{x_c}{\cos \phi} + z_c \sin \phi - \eta \sin \phi - x_c \frac{\sin^2 \phi}{\cos \phi} \quad (3)$$

يتم تكرار هذه الحسابات من أجل نفس الزاوية حتى يتم مسح المقطع بالكامل بتزايد تدريجي مقداره $\Delta \xi$ كما هو

مبين في الشكل (3).



الشكل (3) المسح الكامل لإحدى القطاعات العرضية للسفينة

لتحديد العزم السكوني للمساحات العرضية الممسوحة للمقطع المدروس، عند زاوية محددة ϕ ، حيث $\phi \in [0, 90]$ ينظم الجدول الآتي:

الجدول (1) تحديد العزم السكوني للمساحات العرضية الممسوحة لمقطع عرضي ما عند زاوية محددة ϕ

رقم المقطع المدروس			
ξ	$l(\phi, \xi)$	المساحة $A(\phi, \xi)$	العزم $M(\phi, \xi) = l(\phi, \xi) \times A(\phi, \xi)$
0	$l(\phi, 0)$	$A(\phi, 0)$	$M(\phi, 0)$
$\Delta \xi$	$l(\phi, \Delta \xi)$	$A(\phi, \Delta \xi)$	$M(\phi, \Delta \xi)$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$T = i \times \Delta \xi$	$l(\phi, i \times \Delta \xi)$	$A(\phi, i \times \Delta \xi)$	$M(\phi, i \times \Delta \xi)$

بمكاملة قيم المساحات عند خط الماء المُعطى المقابل لغاطس معطى على امتداد طول بدن السفينة وفق المحور الطولي للسفينة نحصل على حجم الجزء الغاطس عند زاوية الميلان العرضية المعتبرة Φ :

$$V_\phi = \int_0^L A(\phi, \xi) d\xi = \frac{2}{3} d \sum_{i=0}^{n=10} A_i(\phi, \xi) \cdot C_{si} \quad (4)$$

بمكاملة قيم العزوم السكونية لمساحات المقاطع العرضية عند خط الماء المُعطى على امتداد طول السفينة وفق المحور الطولي للسفينة، نحصل على العزم السكوني للحجم بالنسبة للمستوي المحدد من خلال المحور ξ عند زاوية الميلان العرضية المعتبرة Φ :

$$M_{V\phi} = \int_0^L M(\phi, \xi) d\xi = \frac{2}{3} d \sum_{i=0}^{n=10} M_i(\phi, \xi) \cdot C_{si} \quad (5)$$

حيث أن :

d - طول قطاع التقسيم للسفينة، عند استخدام طريقة سيمبسون في التكامل.

C_{si} - معاملات سيمسون المقابلة للتقسيم العشري للسفينة، مع وجود قطاعات إضافية منصفة عند المقدمة

والمؤخرة للسفينة.

عند اختيار طريقة تشيشف في التكامل يتم تكرار العمليات الحسابية السابقة من أجل 8 مقاطع تخص التقسيم العشري المستخدم عادةً للخطوط النظرية، هذه القاطع هي $(9\frac{1}{2}, 8, 7, 5\frac{1}{2}, 4\frac{1}{2}, 3, 2\frac{1}{2})$. تُحدد التكاملات السابقة كما يلي:

$$V_\phi = \int_0^L A(\phi, \xi) d\xi = \frac{L_{pp}}{n} \sum_{i=0}^{n=8} A_i(\phi, \xi) \quad (6)$$

$$M_{V\phi} = \int_0^L M(\phi, \xi) d\xi = \frac{L_{pp}}{n} \sum_{i=0}^{n=8} M_i(\phi, \xi). \quad (7)$$

حيث أن :

L_{pp} - طول السفينة بين المتعامدين.

n - عدد المقاطع العرضية المختارة.

يُحدد ذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل بالنسبة للقطب P على النحو الآتي:

$$l_{p\phi} = \frac{M_{V\phi}}{V_\phi} \quad (8)$$

أما بالنسبة للنقطة k الواقعة على الحافة العليا للقرينة فيُعطى هذا الذراع بالعلاقة:

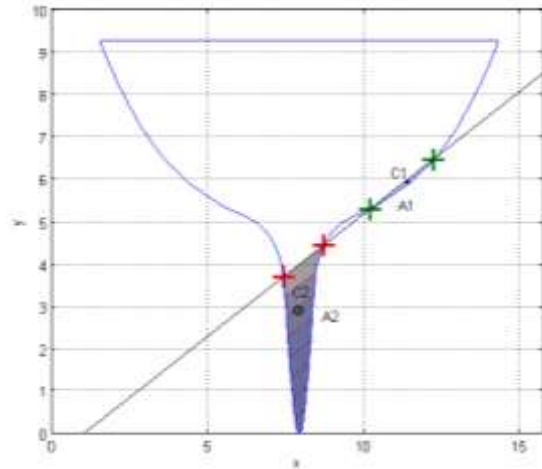
$$l_k = l_{p\phi} + z_p \cdot \sin \phi \quad (9)$$

وأخيراً يُحدد ذراع عزم الاستبدال للسفينة عند خط ماء مُعطى (حالة التحميل) وزاوية معينة ϕ على النحو الآتي:

$$GZ = l_k - z_G \cdot \sin \phi \quad (10)$$

هذه الحسابات ينبغي إجراؤها من أجل كل زاوية ميلان عرضي ϕ ومن أجل عدة قيم لحجم الجزء الغاطس، أي من أجل عدة خطوط ماء متتالية. قيم زاوية الميلان العرضية تتراوح من 5° حتى 90° بتزايد مقداره 5° أو 10° مما يسمح بإنشاء منحنيات الاتزان الثابتة.

ينبغي الإشارة إلى أنه في بعض الأحيان (خصوصاً عند المقاطع العرضية الحدية عند مقدمة ومؤخرة السفينة) تحدث عدة تقاطعات لخط الماء مع الخطوط القطاعية العرضية للسفينة كما في الشكل (4).



الشكل (4) الحالة الموافقة لعدة تقاطعات لخط الماء مع بدن السفينة

في هذه الحالة يتم تحديد موضع مركز الثقل المحصل للمساحات المعينة فقط بنقاط تقاطع خط الماء مع الخطوط القطاعية العرضية للسفينة كما في الشكل (4)، باستخدام معادلة العزوم السكونية للمساحات. الموديل الرياضي للطرق التحليلية المرجعية المستخدمة لمعايرة طريقة مسح المقاطع العرضية الخاصة بحساب ذراع عزم الاستبدال:

• علاقة Pozdiunin التقريبية التجريبية:

تُعطى هذه العلاقة قيماً تقريبية لأذرع الاتزان السكوني كتابع لثلاثة بارامترات مميزة لشكل بدن السفينة $h = z_{90} - z_{F_0}$ ، $b = y_{90}$ وأيضاً نصف قطر الميتاسنتر الصغير r_0 . تُحدد المقادير (h, b) وفقاً للعلاقات التالية [6], [7]:

$$\left. \begin{aligned} b = y_{90} &= \frac{I}{2} \cdot \left(1 - 0.972 \cdot \frac{T}{H_1}\right) \cdot B \\ h = z_{90} - z_{F_0} &= 0.64 \cdot \left(1 - 1.032 \cdot \frac{T}{H_1}\right) \cdot H_1 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

حيث إن:

H_1 - الارتفاع الجانبي الاصطلاحي للبدن ويُحدد وفقاً للعلاقة:

$$H_1 = \left(1 + \chi \cdot \frac{V_W}{V}\right) \cdot H \quad (12)$$

T - غاطس السفينة

B - عرض السفينة

V - حجم الجزء الغاطس من البدن

V_W - حجم الأجزاء الكتيمة من بدن السفينة الواقعة أعلى خط الماء المقابل للغاطس $T = H$

χ - معامل الامتلاء الشاقولي للبدن $\chi = \delta/\alpha$

H - الارتفاع الجانبي للبدن عند المستوى القطاعي العرضي المنصّف.

يُعطى ذراع عزم الاستبدال (ذراع الاتزان السكوني) وفقاً للعلاقة التالية:

$$GZ = \left[\frac{r_o}{\sqrt{1+q^2 + \frac{3 \cdot p \cdot q^2}{1+(1-p) \cdot q^2}}} - \frac{h}{\sqrt{1+\frac{1}{S^2} + \frac{3 \cdot p}{1+(1-p) \cdot S^2}}} - (a-h) \right] \cdot \sin \phi \quad (13)$$

تُحدد بعض القيم الخاصة بالعلاقة الأخيرة كما يلي:

$$q^2 = m^2 \cdot \tan^2 \phi, \quad a = z_G - z_{F_o}, \quad S^2 = \frac{m^4}{k^4} \cdot \frac{1}{q^2}, \quad p = 1 - \frac{k}{m}$$

$$\text{حيث إن: } m = \frac{r_o}{b}, \quad k = \frac{b}{h}$$

r_o - نصف قطر الميناسنتر الصغير

z_{F_o} - الإحداثي الرأسى لمركز الطفو

• العلاقة الخاصة لنموذج السفن الصندوقية [3]، [4]:

نميز حالتين (وفقاً لحالة التحميل):

$$- 1 \quad T \leq H/2, \text{ والزوايا الحدية هي:}$$

$$\phi_1 = \tan^{-1} \frac{2 \cdot T}{B}, \quad \phi_2 = \tan^{-1} \frac{H^2}{2 \cdot B \cdot T}$$

عندئذٍ يُحدد ذراع عزم الاستبدال كما يلي:

- من أجل $\phi \in [0 \div \phi_1]$:

$$GZ = \left[\frac{B^2}{12 \cdot T} \cdot \left(1 + \frac{\tan^2 \phi}{2}\right) - a \right] \cdot \sin \phi \quad (14)$$

يمثل المقدار a المسافة الشاقولية الفاصلة بين مركز ثقل السفينة ومركز الطفو F_o في الحالة الأولية من دون

أي ميلان عرضي $\phi = 0$ ، ويساوي: $a = z_G - z_{F_o}$

- من أجل $\phi \in [\phi_1 \div \phi_2]$:

$$GZ = \left[\frac{B}{2} \cdot \cot \phi - \frac{1}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot B \cdot T} \cdot (\sqrt{\cot^3 \phi} - \sqrt{\tan \phi}) - \frac{T}{2} - a \right] \cdot \sin \phi \quad (15)$$

- من أجل $\phi \in [\phi_2 \div \phi_3]$ ، حيث $\phi_3 \geq 90^\circ$:

$$GZ = \left[\frac{H-T}{2 \cdot H} \cdot (B \cdot \cot \phi + H) - \frac{H^3}{12 \cdot B \cdot T} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cot^3 \phi + \cot \phi\right) - a \right] \cdot \sin \phi \quad (16)$$

- 2 $T \geq H/2$ ، والزوايا الحدية هي:

$$\phi_1 = \tan^{-1} \frac{2 \cdot (H-T)}{B}, \quad \phi_2 = \tan^{-1} \frac{H^2}{2 \cdot B \cdot (H-T)}$$

عندئذٍ يُحدد ذراع عزم الاستبدال كما يلي:

- عندما $\phi \in [0 \div \phi_1]$: يُحدد ذراع عزم الاستبدال وفقاً للعلاقة (14).

- عندما $\phi \in [\phi_1 \div \phi_2]$:

$$GZ = \left[\frac{H-T}{T} \cdot \left(\frac{B \cdot \cot \phi}{2} - \frac{1}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot B \cdot (H-T)} \cdot (\sqrt{\cot^3 \phi} - \sqrt{\tan \phi}) - \frac{H-T}{2} \right) - a \right] \cdot \sin \phi \quad (17)$$

- عندما $\phi \in [\phi_2 \div \phi_3]$: يُحدد ذراع عزم الاستبدال وفقاً للعلاقة (16).

• العلاقة الخاصة لنموذج السفن مثلثية المقطع [3]، [4]:

نميز حالتين (وفقاً لحالة التحميل):

$$\phi_1 = \tan^{-1} \frac{2 \cdot H \cdot (H^2 - T^2)}{B \cdot (H^2 + T^2)} \quad - \quad 1 \quad T \geq H/2$$

والزاوية الحدية الأولى هي:

عندئذٍ يُحدد ذراع عزم الاستبدال كما يلي:

- عندما $\phi \in [0 \div \phi_1]$:

$$GZ = \left[\frac{b^2}{6 \cdot T} \cdot \left(2 \cdot H \cdot \frac{(4 \cdot H^2 + B^2)}{B^2 \cdot \sqrt{4 \cdot H^2 - B^2 \cdot \tan^2 \phi}} - \frac{4 \cdot H^2}{B^2} \right) - a \right] \cdot \sin \phi \quad (18)$$

حيث أن: $b = \frac{B \cdot T}{H}$ عرض سطح الطفو عند الغاطس المفروض.

- عندما $\phi \in [\phi_1 \div \phi_3]$:

(19)

$$GZ = \left[\frac{H^2 - T^2}{T^2} \cdot \left(\frac{B \cdot \cot \phi}{2} - \frac{H}{3} - \sqrt{2 \cdot B \cdot (H^2 - T^2)} \cdot \frac{(B \cdot \cot \phi + H \cdot \cot^2 \phi - H)}{3 \cdot H \cdot \sqrt{B + 2 \cdot H \cdot \cot \phi}} \right) + \frac{2}{3} \cdot (H - T) - a \right] \cdot \sin \phi$$

- 2 $T < H/\sqrt{2}$:

عندئذٍ يُحدد ذراع عزم الاستبدال كما يلي:

- عندما $\phi \in [0 \div \phi_1]$: يُحدد ذراع عزم الاستبدال وفقاً للعلاقة (18).

- عندما $\phi \in [\phi_1 \div \phi_2]$:

$$\phi_2 = \cot^{-1} \frac{(H^2 - 2 \cdot T^2) \cdot B}{2 \cdot H^3}$$

حيث إن:

يُحدد ذراع عزم الاستبدال وفقاً للعلاقة (20).

- عندما $\phi \in [\phi_2 \div \phi_3]$ ، حيث $\phi_3 \geq 90^\circ$:

(20)

$$GZ = \left[\frac{B \cdot \cot \phi}{2} + H - \frac{2 \cdot T}{3} - \frac{\sqrt{2 \cdot B \cdot T}}{3 \cdot H \cdot \sqrt{B - 2 \cdot H \cdot \cot \phi}} \cdot (B \cdot \cot \phi - H \cdot \cot^2 \phi + H) - a \right] \cdot \sin \phi$$

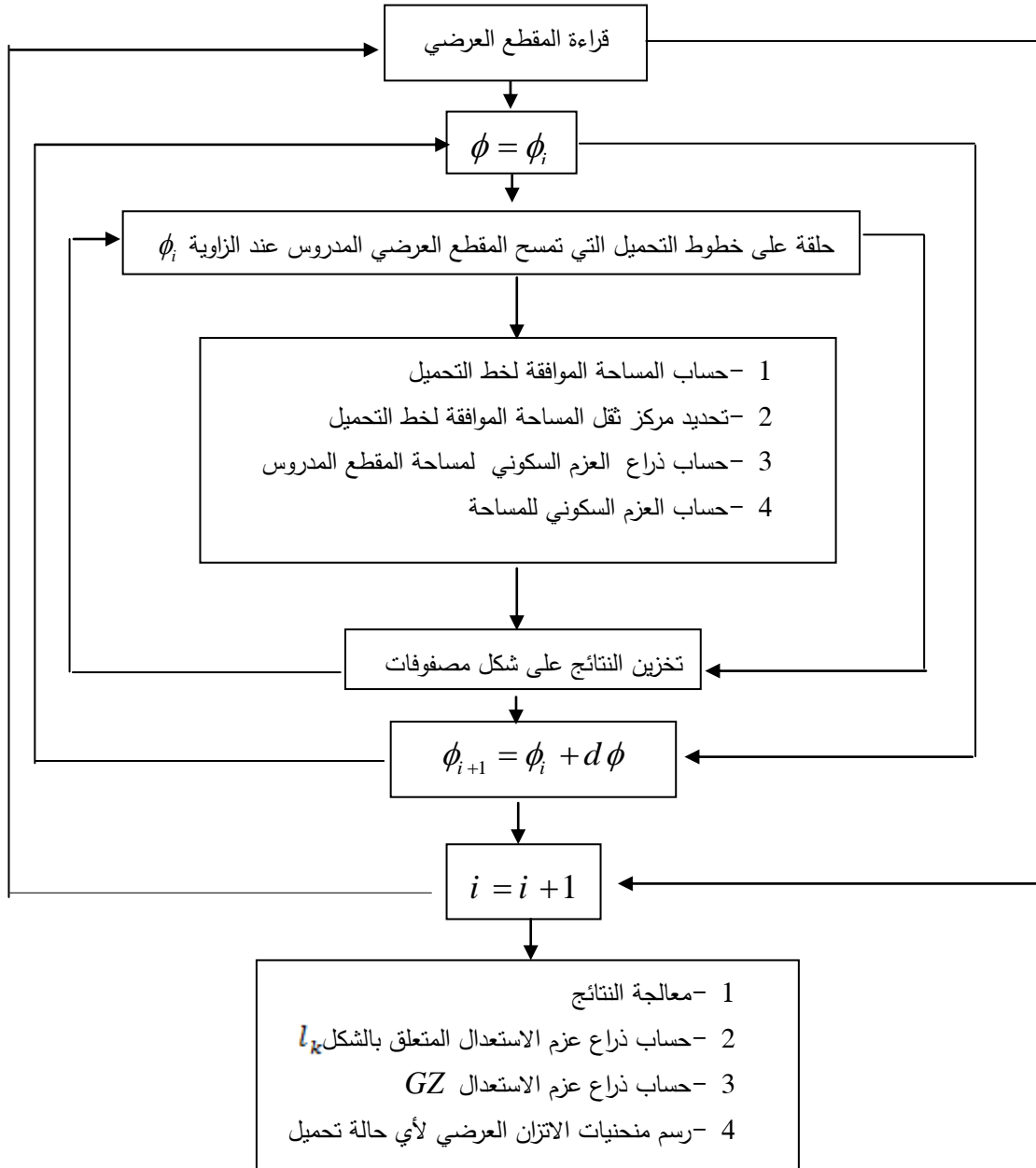
النتائج والمناقشة:

تتضمن الحسابات التطبيقية لهذا البحث وفقاً للنموذج الرياضي المقترح تقييم ومعايرة طريقة مسح المقاطع العرضية الخاصة بإنشاء منحنيات أذرع عزوم الاستبدال عن طريق مقارنة النتائج وفقاً لهذه الطريقة مع نتائج تحليلية خاصة بنماذج أو ماكينات لسفن صندوقية وأخرى مثلثية المقطع، ومن ثم المقارنة مع نتائج أكثر العلاقات التقريبية

التجريبية استخداماً (علاقة Pozdiunin)، وأخيراً المقارنة مع نتائج سفينة تجارية حقيقية، حيث تم إنشاء منحنيات أذرع عزوم الاستبدال الخاصة بها وفقاً لطريقة Krylow.

تم إعداد برنامج حاسوبي بلغة الـ Matlab يتضمن هذا البرنامج عدة واجهات برمجية. يستطيع البرنامج معالجة كافة الحالات المتعلقة بالمسألة المطروحة بحيث يُمكن من إنشاء منحنيات أذرع عزوم الاستبدال المحددة استناداً للطريقة المعتادة.

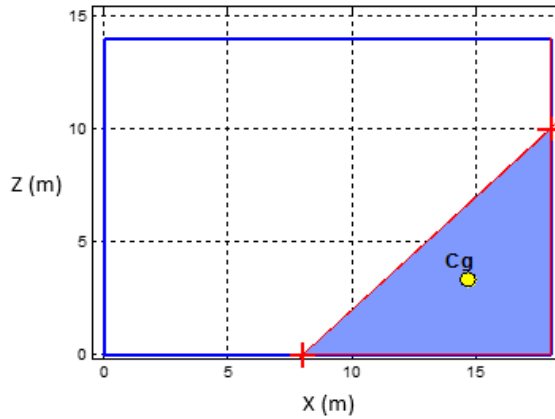
يبين الشكل (5) مخطط يوضح آلية عمل برنامج الـ Matlab لتقييم ذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل وذراع عزم الاستبدال بطريقة مسح المقاطع العرضية من رسمه الخطوط النظرية لبطن السفينة.



الشكل (5) المخطط العام لآلية عمل البرنامج

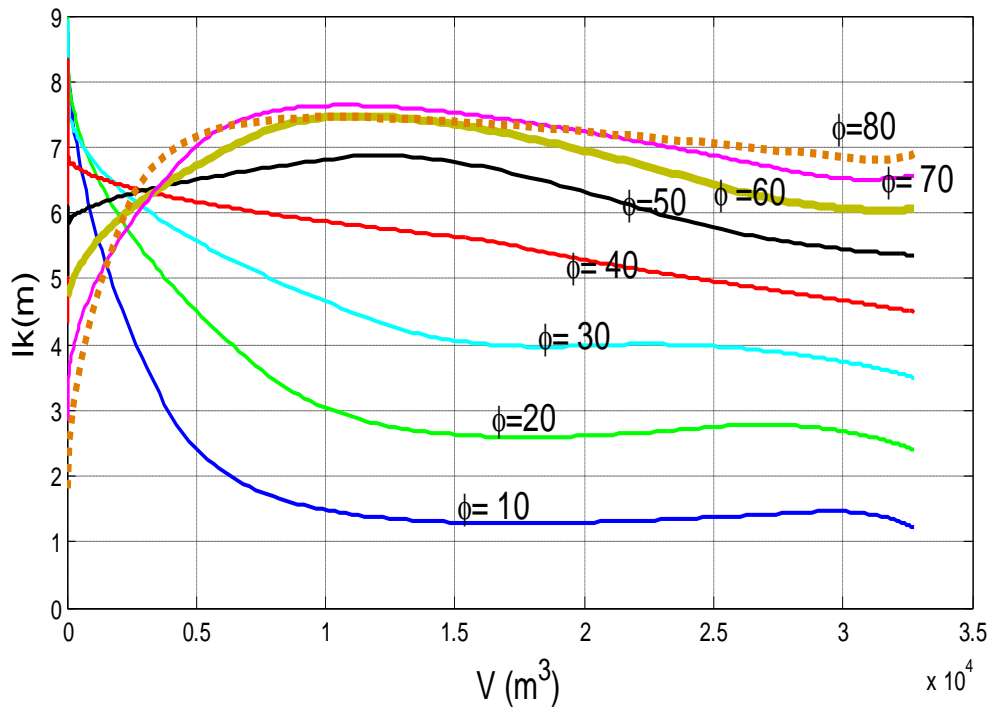
نتائج المقارنة مع العلاقة التحليلية الخاصة بالسفينة الصندوقية:

لتقييم ومعايرة طريقة مسح المقاطع العرضية الخاصة بإنشاء منحنيات أذرع عزوم الاستبدال، سيتم مقارنة النتائج وفقاً لهذه الطريقة مع النتائج التحليلية الخاصة بنموذج لسفينة صندوقية. تم اختيار نموذج لسفينة صندوقية أبعادها: $L_{pp} = 130m$, $B = 18m$, $H = 14m$ كما هو مبين في الشكل (6):



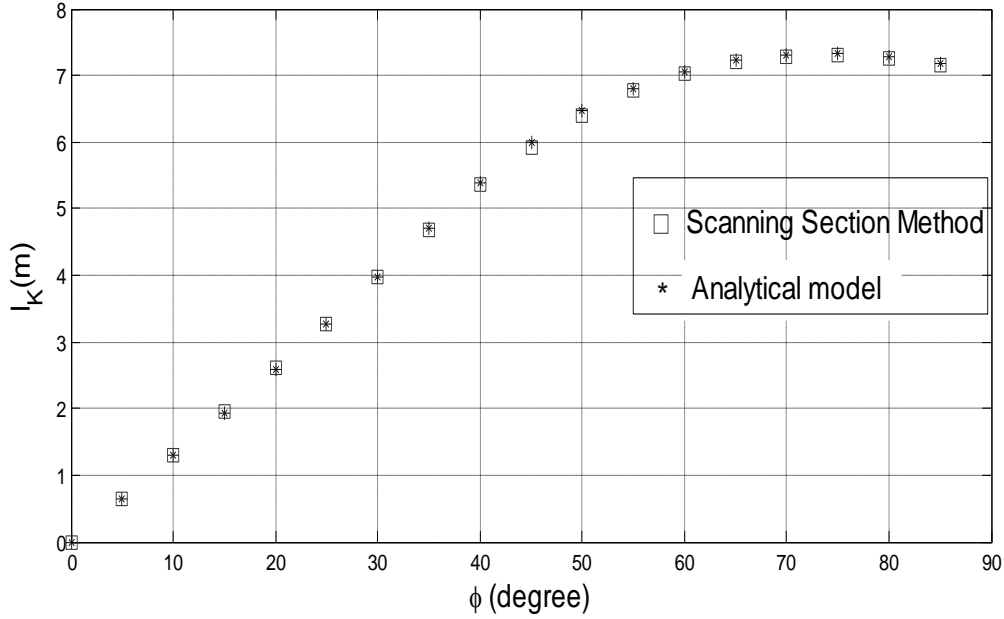
الشكل (6) تطبيق طريقة مسح المقاطع العرضية على السفينة الصندوقية

يبين الشكل (7) منحنيات أذرع عزوم الاستبدال المتعلقة بالشكل I_k كتابع للإزاحة الحجمية للسفينة، والتي تدعى بمنحنيات الاتزان الثابتة ضمن مجال زوايا ميلان عرضي $\phi \in [0, 80^\circ]$ المنشأة بتطبيق طريقة مسح المقاطع العرضية على السفينة الصندوقية المدروسة.

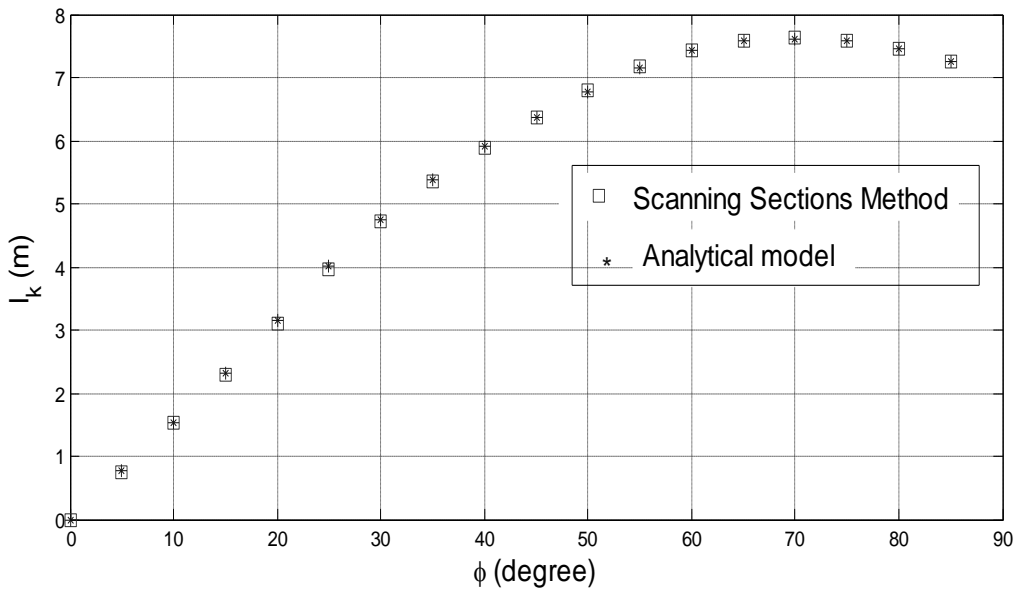


الشكل (7) منحنيات أذرع عزوم الاستبدال المتعلقة بالشكل I_k كتابع لإزاحة للسفينة الصندوقية

للتأكد من صحة هذه النتائج تم إنشاء منحنى تغير ذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل كتابع لزاوية الميلان العرضي من أجل قيمة ثابتة للإزاحة الحجمية للسفينة الموافقة لقيمة معينة للغاطس ومقارنتها مع نتائج العلاقة التحليلية للسفينة الصندوقية. يبين الشكل (8) مقارنة منحنى تغير ذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل للسفينة الصندوقية المحدد باستخدام طريقة مسح المقاطع العرضية مع منحنى تغير ذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل للسفينة الصندوقية المحدد بالعلاقة التحليلية الخاصة بها عند الغاطس المفروضة. يلاحظ من هذا الشكل وجود توافق تام بين نتائج طريقة مسح المقاطع العرضية ونتائج العلاقة التحليلية للسفينة الصندوقية.



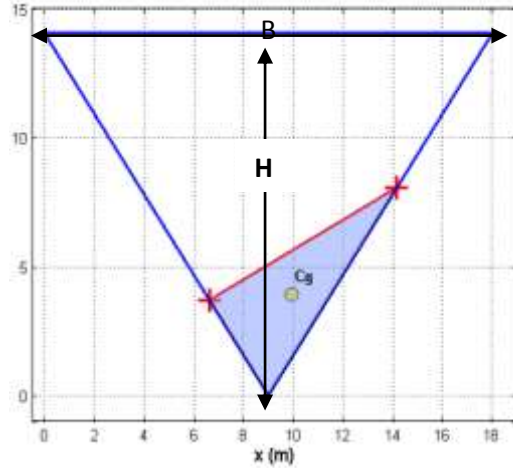
الشكل (8-a) مقارنة منحنيات أذرع عزوم الاستبدال المتعلقة بالشكل عند الغاطس $T = 8m$ في حالة السفينة الصندوقية



الشكل (8-b) مقارنة منحنيات أذرع عزوم الاستبدال المتعلقة بالشكل عند الغاطس $T = 4m$ في حالة السفينة الصندوقية

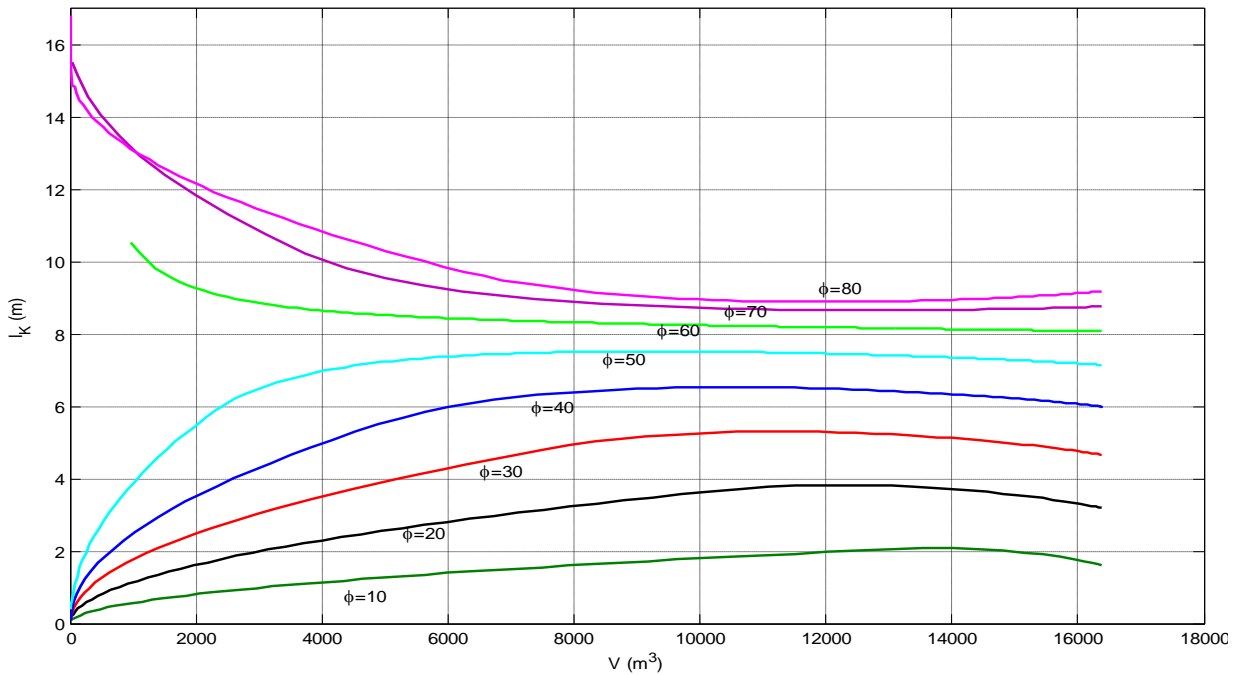
نتائج المقارنة مع العلاقة التحليلية الخاصة بالسفينة مثلثية المقطع:

لتقييم ومعايرة طريقة مسح المقاطع العرضية الخاصة بإنشاء منحنيات أذرع عزوم الاستبدال، سيتم أيضاً مقارنة النتائج وفقاً لهذه الطريقة مع النتائج التحليلية الخاصة بنموذج لسفينة مثلثية المقطع. تم اختيار نموذج لسفينة مثلثية المقطع أبعادها: $L_{pp} = 130m$, $B = 18m$, $H = 14m$ كما هو مبين في الشكل (9):



الشكل (9) تطبيق طريقة مسح المقاطع على السفينة المثلثية

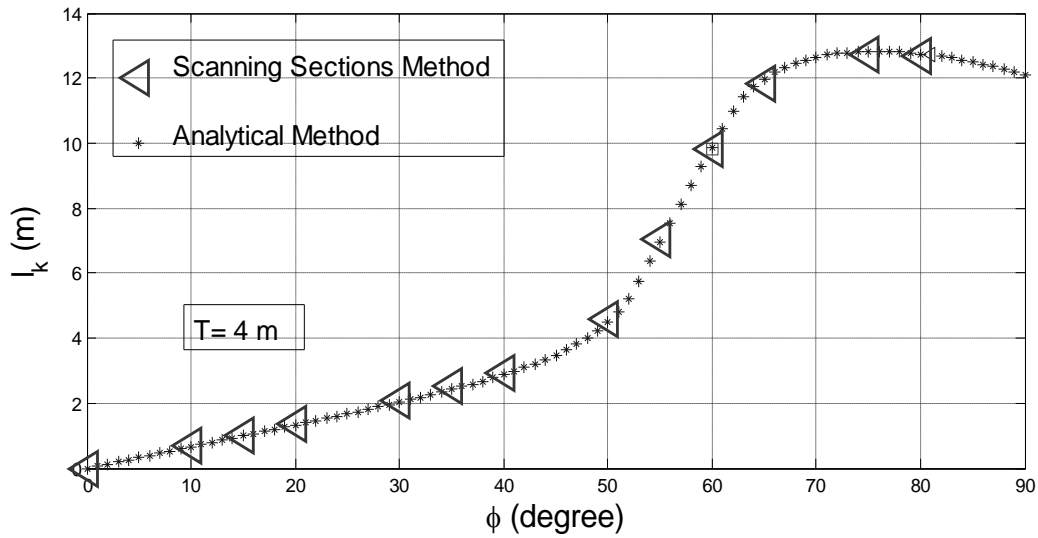
يبين الشكل (10) منحنيات أذرع عزوم الاستبدال المتعلقة بالشكل I_k كتابع للإزاحة الحجمية للسفينة، والتي تدعى بمنحنيات الاتزان الثابتة ضمن مجال زوايا ميلان عرضي $\phi \in [0, 80^\circ]$ المنشأة بتطبيق طريقة مسح المقاطع العرضية على السفينة مثلثية المقطع.



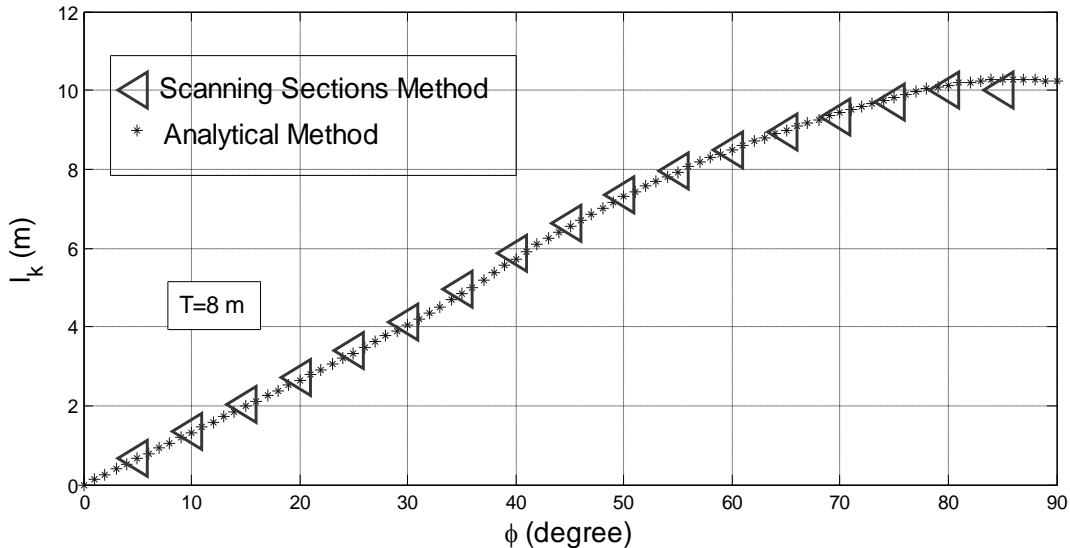
الشكل (10) منحنى أذرع عزوم الاستبدال المتعلقة بالشكل كتابع لإزاحة السفينة المثلثية

للتأكد أيضاً من صحة هذه النتائج تم إنشاء منحنى تغير ذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل كتابع لزاوية الميلان العرضي من أجل قيمة ثابتة للإزاحة الحجمية للسفينة الموافقة لقيمة معينة للغاطس ومقارنتها مع نتائج العلاقة التحليلية للسفينة مثلثية المقطع.

يبين الشكل (11) مقارنة منحنى تغير ذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل للسفينة مثلثية المقطع المحدد باستخدام طريقة مسح المقاطع العرضية مع منحنى تغير ذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل للسفينة مثلثية المقطع بالعلاقة التحليلية الخاصة بها عند الغواطس المفروضة. يُلاحظ من هذا الشكل وجود توافق تام بين نتائج طريقة مسح المقاطع العرضية والموديل التحليلي للسفينة مثلثية المقطع.



الشكل (11-أ) مقارنة منحنيات أذرع عزم الاستبدال المتعلقة بالشكل عند الغاطس $T = 4m$ في حالة السفينة مثلثية المقطع



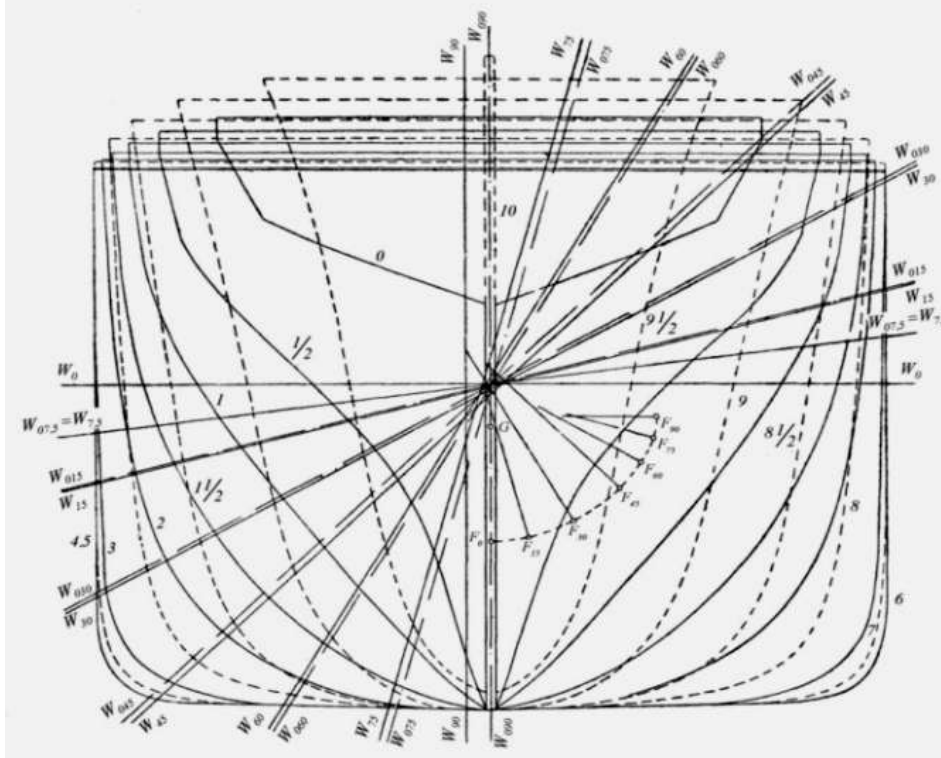
الشكل (11-ب) مقارنة منحنيات أذرع عزم الاستبدال المتعلقة بالشكل عند الغاطس $T = 8m$ في حالة السفينة مثلثية المقطع

نتائج المقارنة مع العلاقة التحليلية التقريبية التجريبية (علاقة Pozdiunin):

تم اختيار نموذج لسفينة تجارية ثنائية المراوح. المسقط الأمامي لرسمه الخطوط النظرية الخاص بالمقاطع العرضية مبين في الشكل (12). المعطيات الأساسية لهذه السفينة عند حالة تحميل معينة مبينة في الجدول (2):

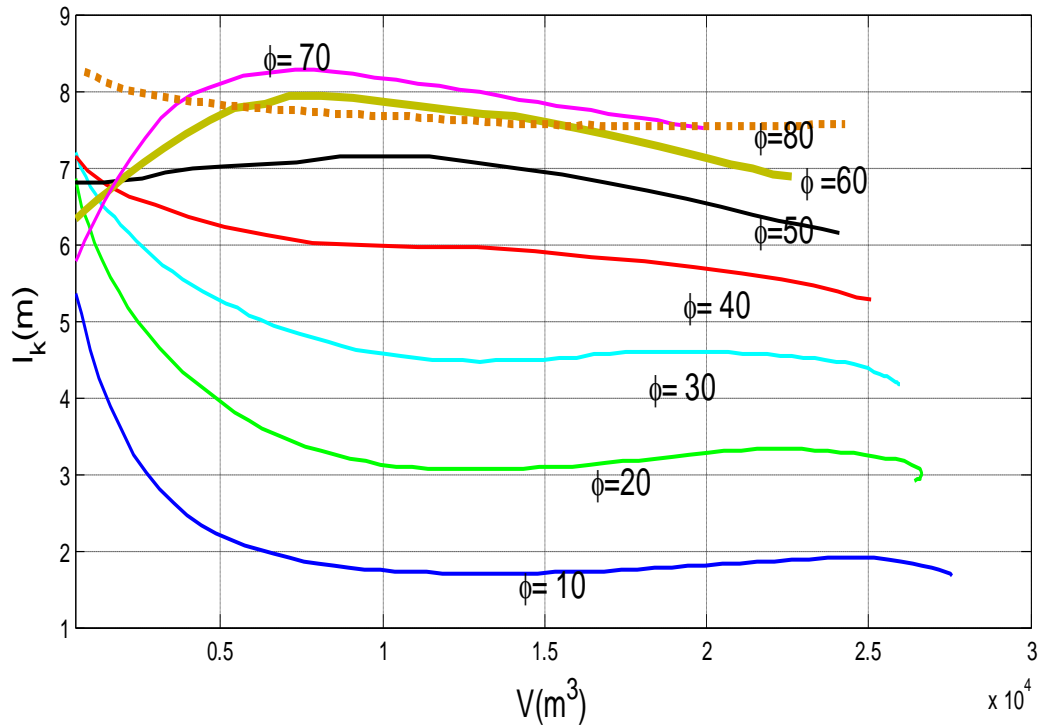
الجدول (2) المعطيات الأساسية للسفينة التجارية المدروسة

$L = 130m$	$H = 14m$	$B = 18,7m$	$T = 8,4m$
$V = 14950m^3$	$Z_{F_0} = 4,36m$	$Z_G = 7,32m$	$r_o = 3,41m$



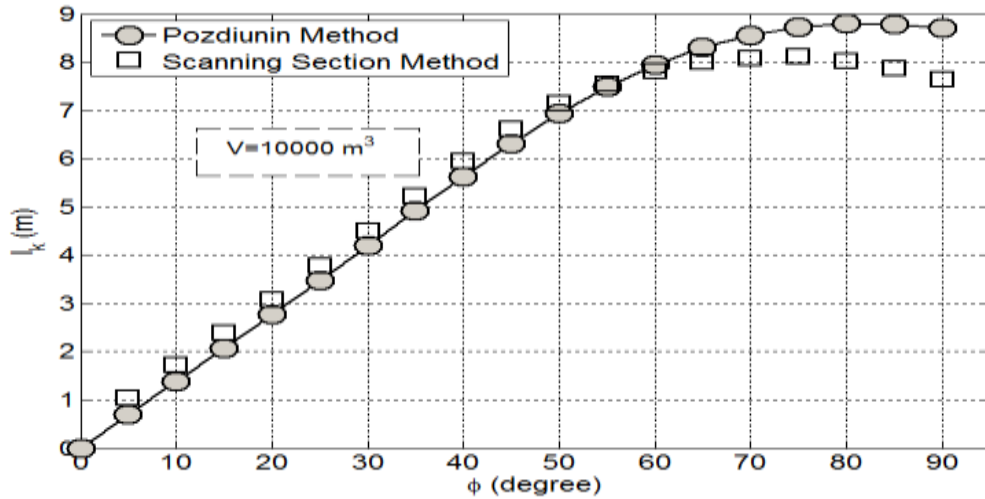
الشكل (12) المسقط الأمامي لرسمه الخطوط النظرية

تم حساب أذرع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل I_k عند عدة غواطس للسفينة، أي عند خطوط ماء مختلفة، باستخدام طريقة مسح المقاطع العرضية، ضمن مجال زوايا ميلان عرضي $\phi \in [0, 80^\circ]$ بخطوة مقدارها 10° كما هو مبين في الشكل (13).

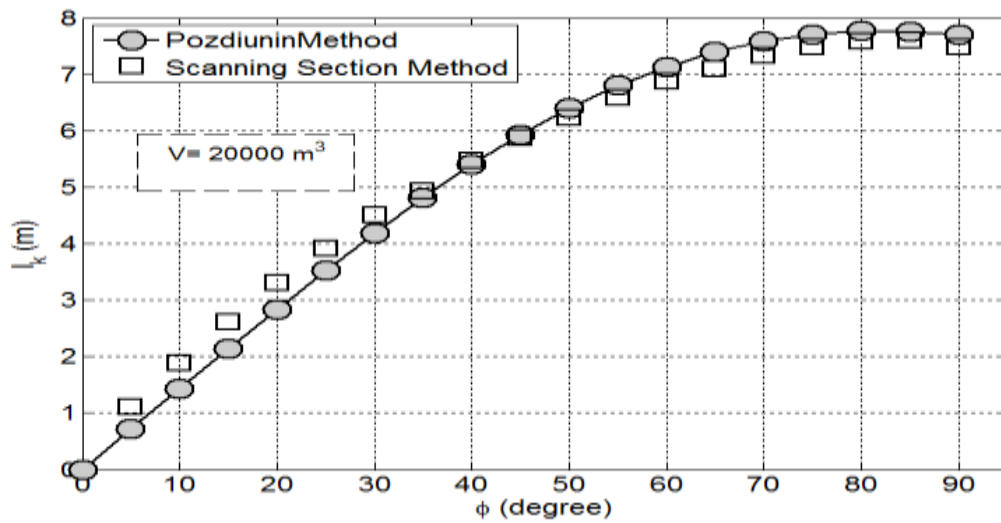


الشكل (13) منحنى أذرع عزوم الاستبدال المتعلق بالشكل كتابع لإزاحة السفينة التجارية

للمعايرة تم إنشاء منحنى تغير ذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل كتابع لزاوية الميلان العرضي عند قيمتين للإزاحة الحجمية للسفينة الموافقة لقيم معينة للغاطس ومقارنتها مع نتائج العلاقة التحليلية التقريبية الخاصة بطريقة Pozdiunin للسفينة المدروسة، كما هو مبين في الشكل (14) والشكل (15).



الشكل (14) مقارنة منحنيات أذرع عزوم الاستبدال المتعلقة بالشكل عند الإزاحة الحجمية $V = 10000 m^3$ للسفينة التجارية

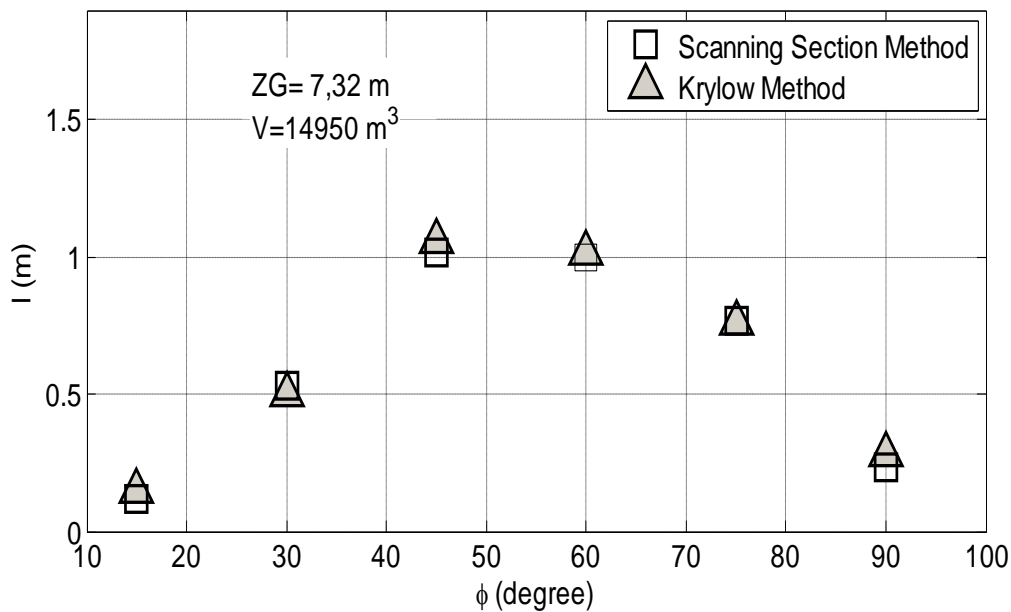


الشكل (15) مقارنة منحنيات أذرع عزوم الاستبدال المتعلقة بالشكل عند الإزاحة الحجمية $V = 20000 \text{ m}^3$ للسفينة التجارية

يلاحظ وجود توافق جيد في النتائج، مع ملاحظة أن الطريقة التقريبية (علاقة Pozdiunin) تُعطي عادةً قيمةً أكبر لأذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل I_k عند زوايا الميلان العرضي الكبيرة (وفقاً لخصائصها)، وهذا ما تؤكدُه منحنيات الشكل (14) والشكل (15).

نتائج المقارنة مع طريقة Krylow التقليدية ذات الاستخدام الواسع:

من أجل ذات البارمترات الموضحة في الجدول (2) للسفينة التجارية ثنائية المحاور تمت مقارنة نتائج طريقة مسح المقاطع العرضية مع نتائج طريقة Krylow من أجل حالة التحميل الموافقة لـ $V_0 = 14950 \text{ m}^3$ ، كما هو مبين في الشكل (16).



الشكل (16) مقارنة منحنيات أذرع عزوم الاستبدال عند الإزاحة الحجمية $V_0 = 14950 \text{ m}^3$ للسفينة التجارية

يُلاحظ من هذا الشكل وجود توافق جيد بين نتائج طريقة مسح المقاطع العرضية و نتائج طريقة Kryłow عند حالة التحميل المعتبرة للسفينة التجارية المدروسة.

الاستنتاجات والتوصيات:

من الدراسة التحليلية المنفذة في هذا البحث يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

1- إن فكرة استخدام طريقة مسح أو قراءة المقاطع العرضية لبدن السفينة (المحددة بالخطوط القطاعية العرضية الخاصة بالمسقط الأمامي لرسمه الخطوط النظرية للسفينة) لتحديد منحنى الاتزان المتعلق بالشكل I_k عند جميع حالات التحميل المعتبرة للسفينة، لا تتطلب تحديد خطوط الماء المساعدة وخطوط الماء متساوية الحجم لكل حالة تحميل، خلافاً لبقية الطرق المذكورة أعلاه في هذا البحث. هذا الأمر يسهل ويختصر وضع البرامج الحاسوبية لإجراء العمليات الحسابية المطلوبة.

2- إن فكرة استخدام طريقة مسح المقاطع العرضية لبدن السفينة لا تحتاج وضع فرضيات مسبقة لتبسيط العمليات الحسابية خلافاً للطرق الأخرى المذكورة أعلاه في هذا البحث، وهذا يسبب منطقياً برفع دقة الحسابات، حيث أظهرت نتائج البحث وجود توافق تام بين نتائج طريقة مسح المقاطع العرضية المطبقة على نماذج سفن بسيطة الشكل (صندوقية ومثلثية المقطع) ونتائج العلاقة التحليلية للسفينة الصندوقية والسفينة مثلثية المقطع. أيضاً بينت نتائج البحث أن الطريقة التقريبية (علاقة Pozdiunin) تُعطي قيمة أكبر لذراع عزم الاستبدال المتعلق بالشكل l_k عند زوايا الميلان العرضي الكبيرة بالمقارنة مع طريقة مسح المقاطع العرضية لبدن السفينة، وهذا يتوافق تماماً مع خصائص الطريقة التقريبية (علاقة Pozdiunin). وأخيراً أظهرت النتائج وجود توافق جيد بين طريقة مسح المقاطع العرضية لبدن السفينة وطريقة Kryłow ذات الاستخدام الواسع (متوسط الانحراف النسبي المئوي بين قيم المنحنيين 7.039%، ومعامل شدة الارتباط بين المنحنيين $R = 0.9921$).

3- للمحافظة على أعلى دقة ممكنة عند استخدام طريقة مسح المقاطع العرضية لبدن السفينة يفضل أن يكون عدد المقاطع العرضية المقروءة أو الممسوحة أكبر ما يمكن. عملياً يكفي استخدام رسمه خطوط النظرية ذات تقسيم عشري مع وجود مقاطع إضافية منصفة عند المقدمة والمؤخرة للسفينة أو استخدام رسمه الخطوط النظرية ذات تقسيم عشري.

المراجع:

- 1- KAŻMIERCZAK, J . Pływalność I Stateczność okrętu , Wydawnictwo Komunikacyjne , Warszawa 1984, 431.
- 2- FRĄCKOWIAK, M. Statyka Okrętu , Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej , Gdańsk 1999, 239.
- 3- PAWŁOWSKI, M . Ćwiczenia Z Hydromechaniki Okrętu ,Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej , Gdańsk 1978, 394.
- 4- KABACIŃSKI, J . Stateczność I Niezatapialność statku ,Wyższa szkoła Morska , Szczecin 1995, 269.
- 5- KABACIŃSKI, J . Stateczność I Niezatapialność statku , Zbiór Zadań , Wyższa Szkoła Morska , Szczecin 2001, 215.
- 6- KRĘŻLEWSKI, M . Zbiór Zadań Z Teorii okrętu , Panstwowe Wydawnictwo Naukowe , Poznan 1987, 247.
- 7- MICHALSKI, J. Podstawy Teorii Projektowania Okrętów, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej , Gdańsk 2013, 325.
- 8- STALIŃSKI,J. Teoria okrętu , Wydawnictwo Morski , Gdańsk 1979, 507.
- 9- DUDZIAK, J . Teoria Okrętu , Wydawnictwo Morski , Gdańsk 1988, 618.
- 10- DUDZIAK, J . Teoria Okrętu , Fundacja Promocja Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej , Gdańsk 2008, 674.