

حساب منحنيات الاستعدال للسفينة عن طريق التحكم المتتابع بارتفاع سطح الطفو وزاوية ميله - طريقة جديدة

الدكتور هيثم عيسى*

(تاريخ الإيداع 4 / 4 / 2011. قُبل للنشر في 5 / 7 / 2011)

□ ملخص □

يعالج هذا البحث مسألة حساب منحنيات الاستعدال للسفينة، بدلالة زوايا الميلان العرضي، يتم حساب حجم الإزاحة عن طريق تكامل المقاطع العرضية للسفينة المائلة التي تتقاطع مع سطح الماء، عند زاوية ميلان معطاة و سطح ماء معطى، يتم حساب حجوم إزاحة متزايدة للسفينة وفي كل مرة يتم حساب إحداثيات مركز الدفع وبالتالي عزم الاستعدال المتعلق بالشكل يتم بعدئذ الانتقال إلى زاوية أخرى. تتم بعدئذ معالجة جدول المعطيات المحسوبة لحساب حزم المنحنيات بدلالة حجم الإزاحة و زاوية الميلان العرضي.

الكلمات المفتاحية: منحنيات هيدروستاتيكية، رسمة الخطوط النظرية، منحنيات الاتزان.

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

Computation of Righting Curves By A Successive Controlling of The Heel Angle and The Drought

Dr. Heitham Issa *

(Received 4 / 4 / 2011. Accepted 5 / 7 / 2011)

□ ABSTRACT □

This paper deals with the computation of the righting curves as a function of the heel angle for a transversal inclined ship. For a given water plane and heel angle the displacement is calculated by the integrating of the immersed area intersecting with the water plane. By changing the water plane position with a fixed heel angle, variable values of displacements are obtained. At each step, the center of buoyancy is computed. The KN is computed as a function of the buoyancy center position. The computations are repeated for a range of heel angle values. The obtained tables of results are treated in order to draw a net of curves relating the KN to both heel angle and the displacement.

Key words: KN, hydrostatic curves, ship lines, stability curves.

* Assistant professor, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن التمثيل البياني لحالة اتزان السفينة يعطي صورة تقييمية دقيقة وسريعة عن مدى الخطورة على الانقلاب، ومقدار احتياطي الأمان المتوفر لحالة إبحار معينة.

يأتي هذا البحث استكمالاً للبحث المعنون "استخدام كثيرات حدود بثوابت ديناميكية لحساب المنحنيات الهيدروستاتيكية للسفينة" والذي يستخدم طريقة استقراء بدقة من الدرجة الثالثة. تم الاستفادة من التتابع المعدة للبحث المذكور في حساب المساحات والحجوم.

إن العزوم التي تتعرض لها السفينة تؤدي إلى إمالتها عرضياً وطولياً. وينصب الاهتمام بشكل رئيسي على الميلان العرضي، لأنه الأخطر على سلامة السفن، من هنا وجب معرفة قدرة السفينة على استعادة وضعيتها اتزانها عندما تميل بزوايا عرضية مختلفة.

في الطرق التقليدية المتبعة لحساب اتزان السفينة انطلاقاً من حجم إزاحة وزاوية ميلان عرضي معلومين؛ تكون الوضعية الفعلية لسطح الماء غير محددة بدقة، حيث تجرى عمليات حسابية لتصحيحها، وبعدها يكون شكل السفينة المغمر قد أصبح معلوماً، حيث بناءً عليه يتم حساب ذراع الاتزان المتعلق بالشكل. إن المرحلة الأولى هي مرحلة حسابات طويلة معقدة تتراكم فيها الأخطاء الحسابية التي تؤثر في القيمة التي يتم البحث عنها، وهي قيمة طفيفة تمثل مقدار انزياح الموقع الفعلي للسطح الحر عن وضعيته المفترضة.

في هذا البحث لا يتم التركيز على مقدار حجم الإزاحة، وإنما ينتج لدينا انطلاقاً من سطح حر يتم اعتماده عند زاوية ميلان محددة. إن الطيف الواسع المتدرج من حجوم الإزاحة وما يرافقها من نتائج يتيح لنا استقراء قيم ذراع عزم الاستبدال عند زاوية ميلان عرضي وحجم إزاحة محددين.

يعطي هذا البحث أداة جيدة لتقييم اتزان السفينة فهو يعطي شبكة من منحنيات الاتزان المتعلق بالشكل، بدلالة حجم الإزاحة، وكذلك بدلالة زاوية الميلان العرضي. يعطي أيضاً شبكة منحنيات مماثلة لإحداثيات مركز الدفع للسفينة. كل شبكات المنحنيات المذكورة يقوم البرنامج برسمها معاً بمقياس رسم مناسب وتصدير النتيجة على شكل ملف صورة.

من أجل ارتفاع مركز ثقل معطى يقوم البرنامج بحساب ورسم أذرع عزم الاستبدال السكونية، وكذلك ذراع الاتزان الديناميكي ومعرفة مدى مطابقة السفينة المدروسة لمعايير هيئات التصنيف والمنظمة البحرية العالمية IMO.

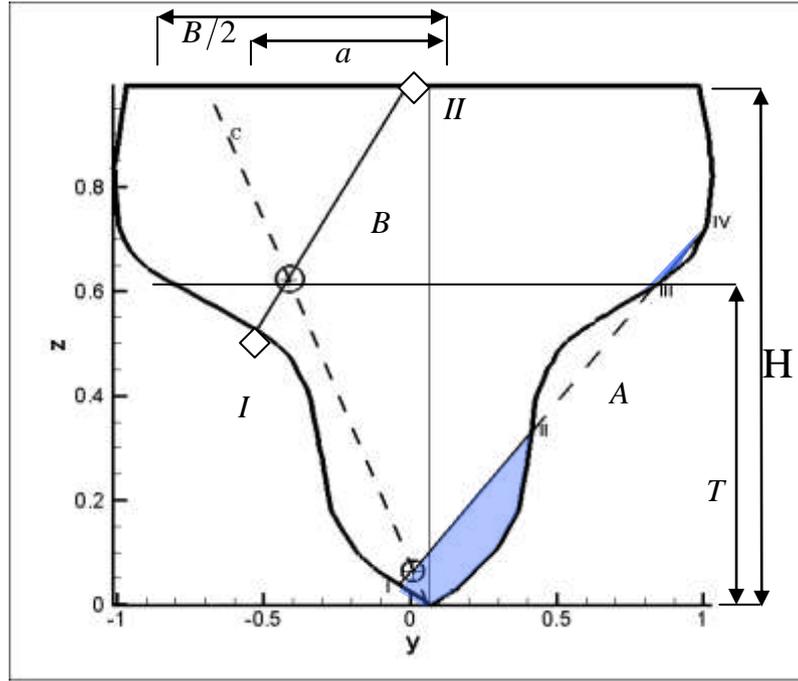
أهمية البحث وأهدافه:

تتبع أهمية هذا البحث من توفيره وسيلة سريعة جداً تعطي نتائج حسابات كثيرة على شكل بياني وبطريقة دقيقة، مما يجعل من مشروع وطني كتزويد وإلزام جميع الزوارق الصغيرة بوثائق الاتزان الضرورية أمراً لا يحتاج للكثير من الوقت، عدا القدرة على التحقق من أمان السفن التي تدخل مرافئنا عند الضرورة، وإعطاء رأي علمي دقيق في التحقيقات التي قد تنشأ في النزاعات حول حوادث متعلقة باحتياطات السلامة البحرية.

طرائق البحث ومواده:

يقوم البحث على تطوير طريقة رياضية جديدة ونمذجتها بشكل يجعلها مرنة وقابلة للتوسع والتطوير، ويعتمد هذا البحث أيضاً على برمجيات معالجة الصورة للحصول على معطيات رقمية انطلاقاً من معطيات غرافيكية تكون موجودة مع السفينة.

النموذج الرياضي:



الشكل (1): المقطع العرضي للسفينة مع خط المسار وخط الماء

خط المسار

من أجل حساب مساحة المقطع العرضي الذي يتقاطع مع سطح الماء المائل بالنسبة لجملة إحدائيات مرتبطة بالسفينة K نقوم بتعريف ما ندعوه بخط المسار: و هو عبارة عن منحنٍ يمتد داخل الإطار المغلق للمقطع العرضي الكلي، ويمتد نحو اليسار انطلاقاً من النقطة السفلى لتلاقي الجزأين المتناظرين للمقطع العرضي . الهدف من المسار هو إيجاد معادلة السطح الحر حيث يتم تحديد الأخير بمعرفة نقطة تقاطع السطح الحر مع المسار والميل عند زاوية ميلان عرضي معطاة. إن أبسط معادلة للمسار هي معادلة مستقيم كما في الشكل (1). إن اقتراب الخط المستقيم المذكور من مستوي التناظر يضيق طيف حجوم الإزاحة الكلي الممكن إجراء الحسابات عندها؛ فمن أجل مسار ينطبق على مستوي التناظر يكون حجم الإزاحة الكلي الممكن إجراء الحسابات عنده مساوياً لنصف الحجم الكلي للسفينة، من أجل الشكل المعطى يكون للمسار معادلة مستقيم $z = -\frac{a}{H}y$ حيث $\frac{B}{2} \geq a \geq 0$ (قيمة معطاة).

معادلة السطح الحر و نقاط تقاطعه مع بدن السفينة

تعطى معادلة السطح الحر بعد الأخذ بعين الاعتبار معادلة المسار السابقة:

$$z = T + \tan(\phi) \left(y + \frac{T \cdot a}{H} \right) \quad (1)$$

T ارتفاع نقطة تقاطع السطح الحر مع خط المسار عن المستوى الاساسي.

تحسب بعد ذلك نقاط تقاطع السطح الحر مع المقطع العرضي عن طريق الاختبار المتتالي لتقاطع السطح الحر مع القطع المستقيمة المتتالية والمشكلة لحدود المقطع العرضي. تعطى نقطة التقاطع باستدعاء التابع:

$$Pg = \text{LinesIntersec}(P1, P2, P3, P4)$$

وهو تابع قمنا بكتابته واختباره، ويأخذ كبارامترات أربعة نقط، أول اثنتين هما أية نقطتين مختلفتين على السطح الحر $P1, P2$ ، وآخر نقطتين تمثلان نقطة بداية ونقطة نهاية القطعة المستقيمة $P3, P4$ المشكلة لحدود المقطع العرضي المدروس.

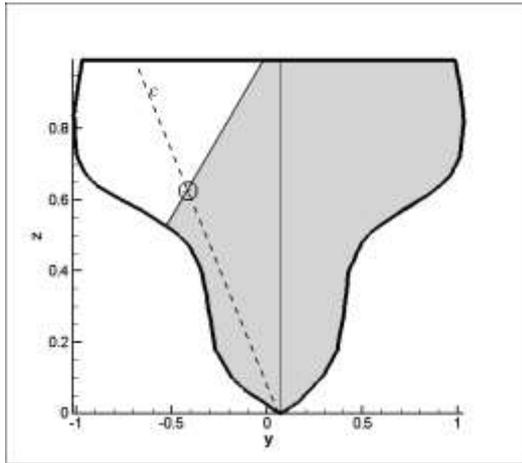
النقط السابقة يتم تعريفها من نوع تكون فيها الاحداثيات ذات دقة مضاعفة. التابع السابق يعيد لنا نقطة التقاطع Pg التي إحداثياتها أيضا هي ذات دقة مضاعفة.

من أجل منحني مغلق (يمثل محيط المقطع العرضي) تنشأ نقطتا تقاطع أو أربع نقط تقاطع. في الحالة الثانية يكون جسم السفينة خارقاً للسطح الحر في مناطق بروز. على أية حال إن الطريقة التكاملية المعتمدة لحساب مساحة وإحداثيات مركز ثقل المقطع العرضي لا تتأثر بهذه الحالة، لأن المساحات المتوضعة إلى جانب و خارج السطح الحر يتم طرحها من قيمة التكامل. إن ما يهم في جميع الحالات هو أول وآخر نقطة تقاطع $P_L(y_L, z_L)$ ، $P_R(y_R, z_R)$

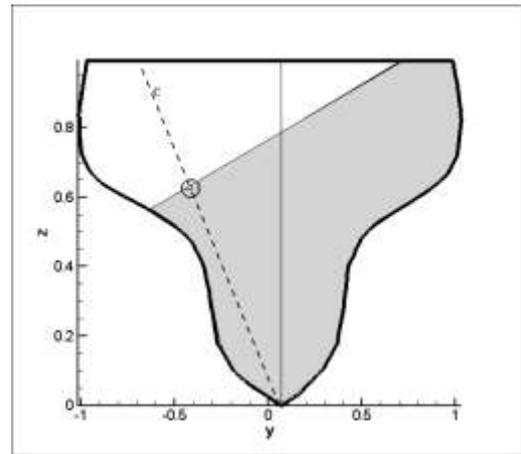
مساحة المقطع العرضي المتوضع تحت السطح الحر لسفينة تميل عرضاً

لحساب مساحة المقطع العرضي ندرس حالتين:

الحالة الأولى: تتوضع فيها نقطة التقاطع الثانية إلى يمين مستوى التناظر (سطح حر يتوزع إلى جانبي مستوى التناظر).



الشكل (2 ب): سطح الماء يقع يسار مستوى التناظر



الشكل (2 أ): سطح الماء يتوزع إلى جانبي مستوى التناظر

في هذه الحالة:

$$S = S^I + S^{II} - S^{III}$$

$$S^I = \sum_{i=I_L}^{I_R} \int_{y_i}^{y_{i+1}} z \, dy = \sum_{i=1}^{i=n} \left[\frac{A_i}{4} (y_{i+1} - y_i)^4 + \frac{B_i}{3} (y_{i+1} - y_i)^3 + \frac{C_i}{2} (y_{i+1} - y_i)^2 + D_i (y_{i+1} - y_i) \right]$$

$$S^{II} = \frac{(|y_L| \cdot z_L)}{2} \tan \phi$$

$$S^{III} = \frac{(z_R \cdot |y_R|)}{2} \tan \phi$$

i هو الدليل الذي يعبر عن كثير الحدود A_i, B_i, C_i, D_i $(y_{i+1}, z_{i+1}), (y_i, z_i)$ المار بين النقطتين I_L, I_R دليل أول و آخر نقطة تقاطع بالتتالي. A_i, B_i, C_i, D_i ثوابت كثير الحدود i .

في الحالة الثانية:

$$S = S^I + S^{IV} - S^V$$

$$S^{IV} = \left| \frac{(y_R - y_L)(z_R - z_L)}{2} \right|$$

$$S^V = |y_R \cdot (z_R - z_L)|$$

إحداثيات مركز ثقل المقطع العرضي المتوضع تحت السطح الحر لسفينة تميل عرضياً في الحالة التي يكون فيها السطح الحر متوضعاً على جانبي مستوى التناظر:

$$y_C = \frac{S^I \cdot y_C^I + S^{II} \cdot y_C^{II} - S^{III} \cdot y_C^{III}}{S}$$

$$y_C^I = \frac{M_z^I}{S^I}, \quad y_C^{II} = \frac{y_L}{3}, \quad y_C^{III} = \frac{y_R}{3}$$

حيث

$$M_z^I = \int_A y \, dA = \sum_{i=I_L}^{I_R} \int_{y_i}^{y_{i+1}} y \cdot z \, dy = \sum_{i=I_L}^{i=I_R} \left[A_i \left[\frac{1}{5} \cdot y^5 - \frac{3}{4} y_i \cdot y^4 + y_i^2 \cdot y^2 - \frac{3}{2} \cdot y_i^3 \right]_{y_i}^{y_{i+1}} + B_i \left[\frac{1}{5} \cdot y^4 - \frac{2}{3} y_i \cdot y^3 + \frac{1}{2} y_i^2 \cdot y^2 \right]_{y_i}^{y_{i+1}} + C_i \left[\frac{1}{3} \cdot y^3 - \frac{1}{2} y_i \cdot y^2 \right]_{y_i}^{y_{i+1}} + D_i \left[\frac{1}{2} \cdot y^2 \right]_{y_i}^{y_{i+1}} \right]$$

$$z_C = \frac{S^I \cdot z_C^I + S^{II} \cdot z_C^{II} - S^{III} \cdot z_C^{III}}{S}$$

$$y_z^I = \frac{M_y^I}{S^I}, \quad z_C^{II} = z_L + \frac{z_R - z_L}{3}, \quad z_C^{III} = z_R - \frac{z_R - z_L}{3}$$

حيث .

$$M_y^I = \int_A z dA = \frac{1}{2} \sum_{i=I_L}^{I_R} \int_{x_i}^{x_{i+1}} z^2 dy =$$

$$\left[\begin{aligned} & \frac{1}{14} A_i^2 (y_{i+1} - y_i)^7 + \frac{1}{6} [A_i \cdot B_i] (y_{i+1} - y_i)^6 + \frac{1}{10} [2A_i \cdot C_i + B_i^2] (y_{i+1} - y_i)^5 \\ & \sum_{i=I_L}^{i=I_R} + \frac{1}{4} [B_i \cdot C_i + A_i \cdot D_i] (y_{i+1} - y_i)^4 + \frac{1}{6} [2B_i \cdot D_i + C_i^2] (y_{i+1} - y_i)^3 \\ & + \frac{1}{2} [C_i \cdot D_i] (y_{i+1} - y_i)^2 + \frac{1}{2} D_i^2 \cdot (y_{i+1} - y_i) \end{aligned} \right]$$

من أجل الحالة التي يتوضع فيها كامل سطح الطفو إلى يسار مستوى التناظر:

$$y_C = \frac{S^I \cdot y_C^I + S^{IV} \cdot y_C^{IV} - S^V \cdot y_C^V}{S}$$

$$y_C^{IV} = y_R - \frac{y_R - y_L}{3}, \quad y_C^V = \frac{y_R}{2}$$

$$z_C = \frac{S^I \cdot z_C^I + S^{IV} \cdot z_C^{IV} - S^V \cdot z_C^V}{S}$$

$$z_C^{IV} = z_L + \frac{z_R - z_L}{3}, \quad z_C^V = z_R - \frac{z_R - z_L}{2}$$

حجم السفينة الخاضعة لميلان عرضي

يعطى حجم السفينة المائلة عرضياً بتكامل منحني مساحات المقاطع العرضية في حالة الميلان وفق العلاقة

الآتية:

$$V_{\phi=const} = \sum_{i=1}^{N_{wr}} \int_{x_i}^{x_{i+1}} S_i dx = \sum_{i=1}^{i=N_{wr}} \left[\frac{\hat{A}_i}{4} (x_{i+1} - x_i)^4 + \frac{\hat{B}_i}{3} (x_{i+1} - x_i)^3 + \frac{\hat{C}_i}{2} (x_{i+1} - x_i)^2 + \hat{D}_i (x_{i+1} - x_i) \right]$$

حيث:

N_{wr} عدد كثيرات الحدود المستخدمة بين نقطتي تقاطع السطح الحر والمقطع العرضي.

$\hat{A}_i, \hat{B}_i, \hat{C}_i, \hat{D}_i$ ثوابت كثير الحدود i الواصل بين النقطتين (x_i, S_i) و (x_{i+1}, S_{i+1}) المتوضع

على منحني مساحات المقاطع العرضية لسفينة مائلة $S = f(x)$ والذي تأخذ معادلته الشكل الآتي:

$$S(x) = \hat{A}_i (x - x_i)^3 + \hat{B}_i (x - x_i)^2 + \hat{C}_i (x - x_i) + \hat{D}_i$$

حساب إحداثيات مركز الدفع للسفينة المائلة عرضياً :

• الإحداثي الطولي لمركز الدفع لسفينة مائلة عرضياً

يعطى الإحداثي الطولي لمركز الدفع بالعلاقة:

$$x_F = \frac{\int_L x S(x) dx}{V}$$

حيث:

$$\int_L x S(x) dx = \sum_{i=1}^{i=N_{wr}} \left[\hat{A}_i \left[\frac{1}{5} x^5 - \frac{3}{4} x_i x^4 + x_i^2 x^2 - \frac{3}{2} x_i^3 \right]_{x_i}^{x_{i+1}} + \hat{B}_i \left[\frac{1}{5} x^4 - \frac{2}{3} x_i x^3 + \frac{1}{2} x_i^2 x^2 \right]_{x_i}^{x_{i+1}} + \hat{C}_i \left[\frac{1}{3} x^3 - \frac{1}{2} x_i x^2 \right]_{x_i}^{x_{i+1}} + \hat{D}_i \left[\frac{1}{2} x^2 \right]_{x_i}^{x_{i+1}} \right]$$

• الإحداثي العرضي لمركز الدفع:

يعطى الإحداثي العرضي لمركز الدفع بالعلاقة:

$$y_F = \frac{\int y dV}{V} = \frac{\int y_C S dx}{V} = \frac{1}{V} \int_L M_z dx = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^{i=N_{wr}} \left[\tilde{A}_i (x_{i+1} - x_i)^4 + \frac{\tilde{B}_i}{3} (x_{i+1} - x_i)^3 + \frac{\tilde{C}_i}{2} (x_{i+1} - x_i)^2 + \tilde{D}_i (x_{i+1} - x_i) \right]$$

حيث:

$(x_{i+1}, M_{z_{i+1}})$ و (x_i, M_{z_i}) ثوابت كثير الحدود i الواصل بين النقطتين

المتوضع على منحنى العزوم السكونية حول المحور الرأسي للمقاطع العرضية لسفينة مائلة $M_z = f(x)$ و الذي

تأخذ معادلته الشكل الآتي:

$$M_z(x) = \tilde{A}_i (x - x_i)^3 + \tilde{B}_i (x - x_i)^2 + \tilde{C}_i (x - x_i) + \tilde{D}_i$$

• ارتفاع مركز الدفع:

يعطى ارتفاع مركز الدفع بالعلاقة:

$$y_F = \frac{\int z dV}{V} = \frac{\int z_c S dx}{V} = \frac{1}{V} \int_L M_y dx = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^{i=N_{nr}} \left[\frac{\ddot{A}_i}{4} (x_{i+1} - x_i)^4 + \frac{\ddot{B}_i}{3} (x_{i+1} - x_i)^3 + \frac{\ddot{C}_i}{2} (x_{i+1} - x_i)^2 + \ddot{D}_i (x_{i+1} - x_i) \right]$$

حيث:

$(x_{i+1}, M_{y_{i+1}})$ و (x_i, M_{y_i}) ثابت كثير الحدود i الواصل بين النقطتين للمقاطع العرضية لسفينة مائلة $M_y = f(x)$ ، والذي تأخذ معادلته الشكل الآتي:

$$M_y(x) = \ddot{A}_i (x - x_i)^3 + \ddot{B}_i (x - x_i)^2 + \ddot{C}_i (x - x_i) + \ddot{D}_i$$

• حساب منحنى الاتزان المتعلق بالشكل (KN)

يحسب ذراع الاتزان المتعلق بالشكل بدلالة زاوية الميلان العرضي، وإحداثيات مركز الدفع من العلاقة الآتية (راجع [4] و [5]):

$$KN = y_F \cdot \cos(\phi) + z_F \cdot \sin(\phi)$$

يتم حساب العناصر الهندسية للسفينة الخاضعة لميلان عرضي بأخذ زاوية ميلان عرضي معينة، وعند هذه الزاوية يتم تغيير قيمة الغاطس من حد أدنى $z = z_1$ إلى حد أعلى $z = z_2$ بخطوة Δz يمكن التحكم بها، وعندما يأخذ المجال $[z_1, z_2]$ أقصى قيمة له ينزلق في هذه الحالة السطح الحر موازيا لنفسه من النقطة $(0,0)$ إلى النقطة $(-a, H)$ يتم تكرار العملية نفسها من أجل مجال زاوية يتم اختياره $\phi_2 \geq \phi \geq \phi_1$ بخطوة $\Delta \phi$ يمكن التحكم بها. ضمن هذا المجال يتم رسم العلاقة بين ذراع الاتزان المتعلق بالشكل بدلالة حجم الإزاحة و زاوية الميلان العرضي $KN(V, \phi)$ وكذلك يتم رسم شبكة منحنيات أخرى لإحداثيات مركز الدفع بدلالة حجم الإزاحة و زاوية الميلان العرضي $y_F(V, \phi)$ و $z_F(V, \phi)$.

• منحنى ذراع عزم الاستبدال

يعطى منحنى ذراع عزم الاستبدال l بدلالة ذراع الاتزان المتعلق بالشكل KN ، و بمعرفة ارتفاع مركز ثقل السفينة z_G عن المستوي الأساسي بالعلاقة [6]:

$$l = KN - z_G \cdot \sin \phi$$

• منحنى ذراع الاتزان الديناميكي

يعطى ذراع الاتزان الديناميكي l_d بدلالة زاوية الميلان العرضي من أجل حجم إزاحة معطى و ارتفاع مركز ثقل السفينة z_G بالعلاقة:

$$l_d(\phi) = \int_0^\phi l(\phi) d\phi = \sum_{i=1}^{N_\phi} \int_{x_i}^{x_{i+1}} l_i d\phi = \sum_{i=1}^{i=N_\phi} \left[\frac{\bar{A}_i}{4} (\phi_{i+1} - \phi_i)^4 + \frac{\bar{B}_i}{3} (\phi_{i+1} - \phi_i)^3 + \frac{\bar{C}_i}{2} (\phi_{i+1} - \phi_i)^2 + \bar{D}_i (\phi_{i+1} - \phi_i) \right]$$

حيث:

N_ϕ عدد القطاعات الزاوية المحصورة بين الزاوية 0 و الزاوية ϕ .

منحني العزوم السكونية حول المحور العرضي للمقاطع العرضية لسفينة مائلة $l = f(\phi)$ و الذي تأخذ معادلته الشكل التالي [1]:

$$l(\phi) = \bar{A}_i (\phi - \phi_i)^3 + \bar{B}_i (\phi - \phi_i)^2 + \bar{C}_i (\phi - \phi_i) + \bar{D}_i$$

حيث تقاس الزوايا بالراديان.

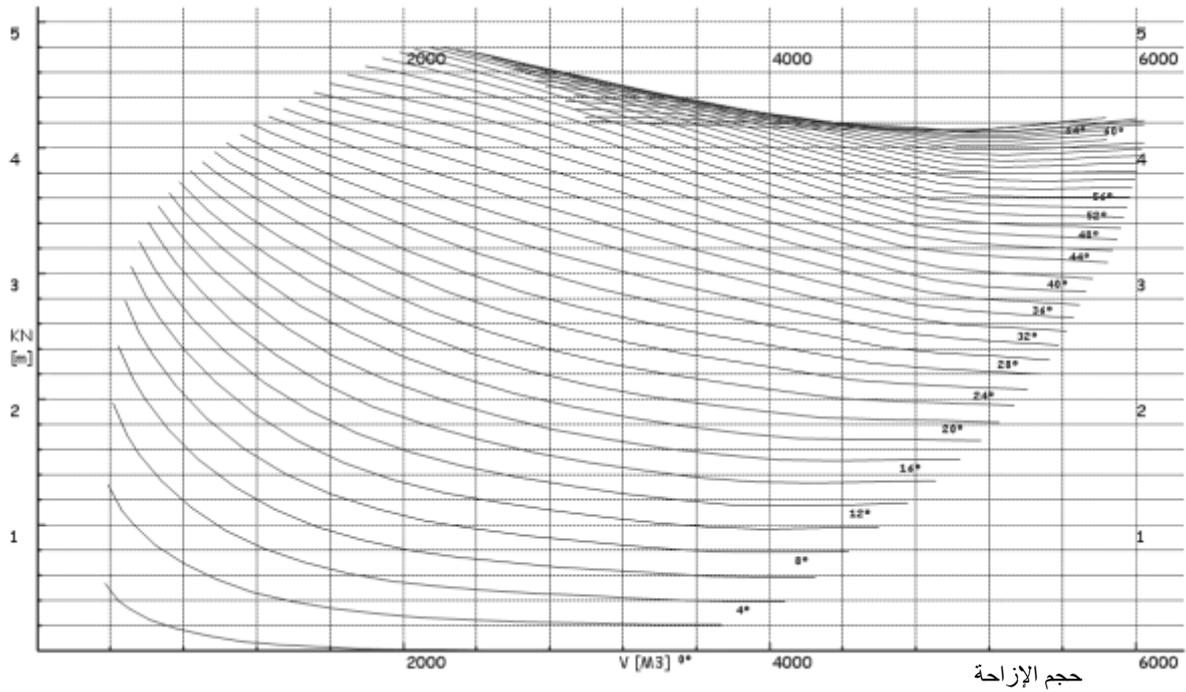
النتائج والمناقشة:

تم حساب شبكة منحنيات الاتزان المتعلق بالشكل للسفينة ASTILLEROS JOSE VALIÑA ، والممثلة لقيم ذراع الاتزان المتعلق بالشكل من أجل غاطس $T \in [0m \ 5m]$ ، وزاوية ميلان عرضي $\phi \in [0^\circ \ 85^\circ]$ ، بحيث يقوم البرنامج برسم الشكل بمقياس رسم مناسب ويمكنه تصدير النتائج على شكل صورة.

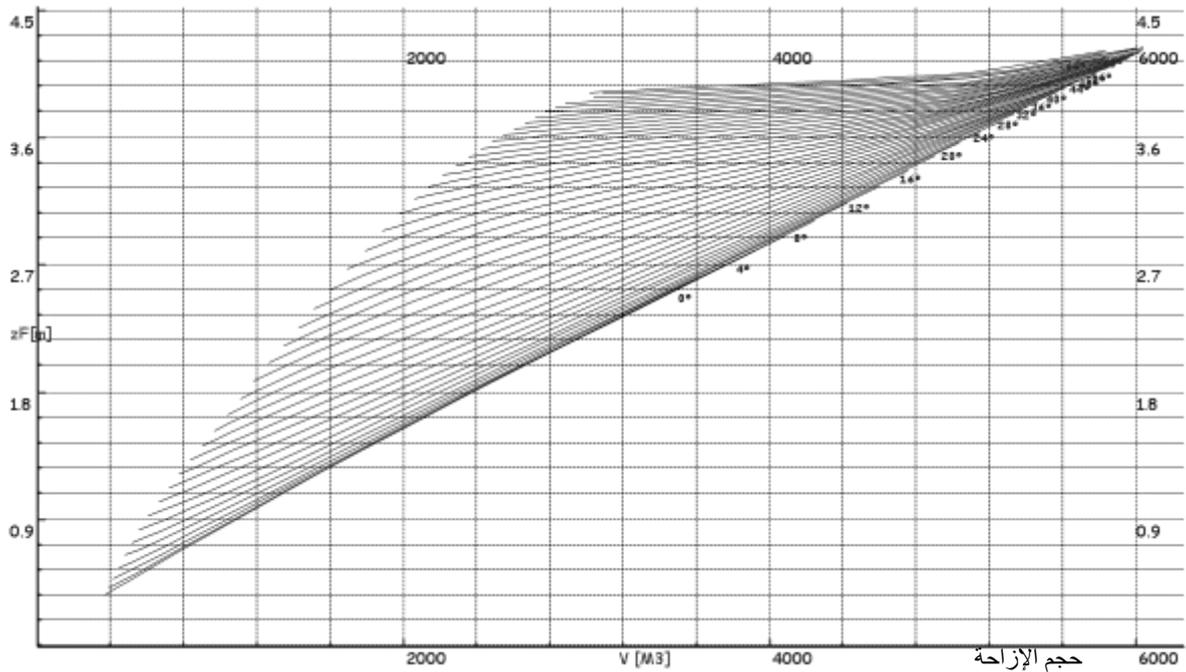
الشكل (3) يبين أن ذراع الاتزان المتعلق بالشكل يتعلق بحجم الإزاحة وزاوية الميلان العرضي، فمن أجل زاوية ميلان عرضي ثابتة يتناقص ذراع الاتزان المتعلق بالشكل بزيادة حجم الإزاحة (أو بزيادة الغاطس)، ويكون هذا التناقص أشد حدة من أجل حجوم الإزاحة الصغيرة. أما من أجل حجم إزاحة ثابتة فيتغير ذراع الاتزان المتعلق بالشكل بزيادة زاوية الميلان العرضي حتى زاوية معينة (لاحظ هذه القيم على الشكل (3))، تمثل نقطة الذروة، وبعدها تبدأ قيمة ذراع الاتزان المتعلق بالشكل بالتناقص مع زيادة زاوية الميلان العرضي.

على الشكل (4) تم رسم شبكة منحنيات تمثل تغير إحداثيات مركز الدفع بدلالة حجم الإزاحة وزاوية الميلان العرضي لنفس السفينة :

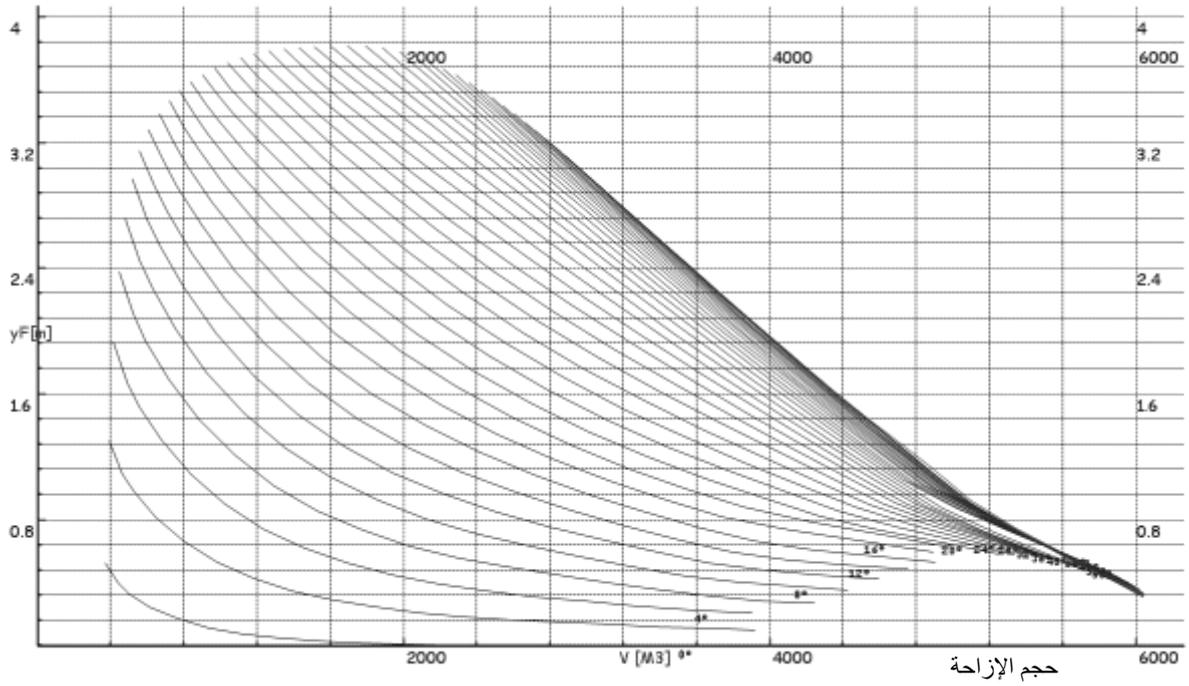
إن أهم اختبار لصحة النتائج هو حالة الغمر الكلي التي تكون للسفينة عندها ارتفاع مركز دفع ثابت لا يتغير بتغير زاوية الميلان العرضي، وهو ما يلاحظ جلياً على الشكل (4). كما أنه وفي حالة الغمر الكلي يكون مركز دفع السفن المتناظرة تماماً واقعاً على مستوى التناظر، ويكون بالتالي الإحداثي العرضي معدوماً، وهو ما يلاحظ على الشكل (5)، حيث تتناقص قيمة الإحداثي العرضي بازدياد حجم الإزاحة، وتتقارب متناهية نحو الصفر (إحداثي عرضي معدوم).



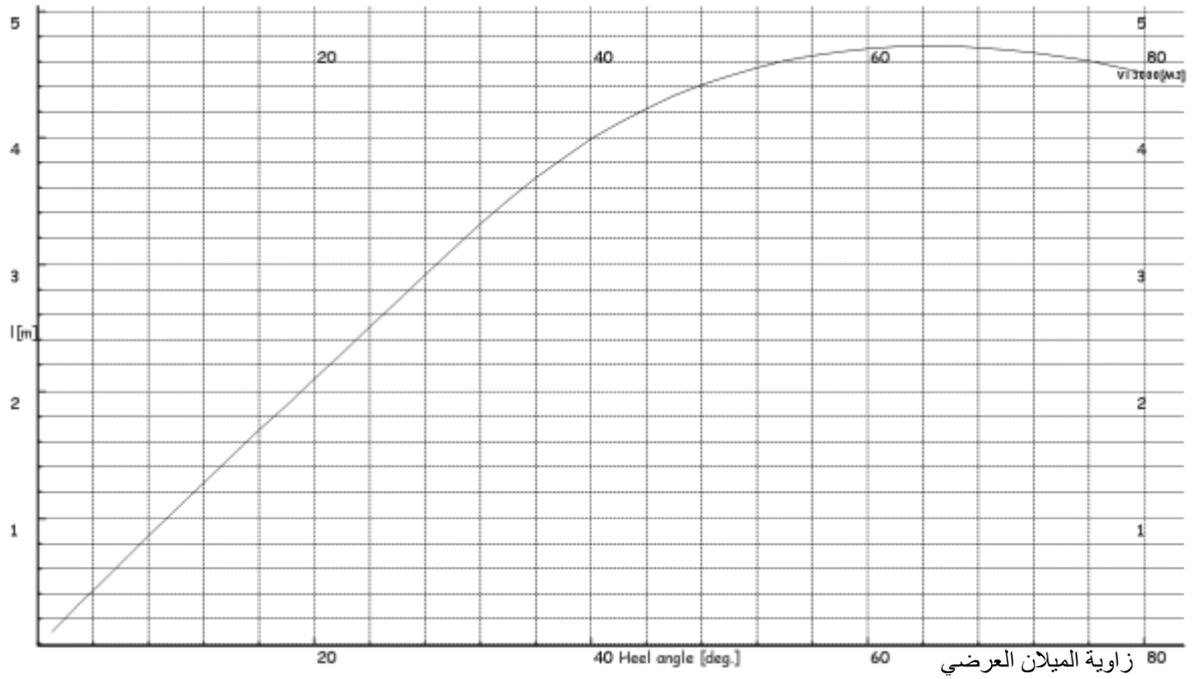
الشكل (3) منحنيات ذراع الاتزان المتعلق بالشكل للسفينة ASTILLEROS JOSE VALIÑA بدلالة حجم الازاحة (المحور الافقي) و زاوية الميلان العرضي (الزوايا المدونة على المنحنيات)



الشكل (4) ارتفاع مركز الدفع للسفينة ASTILLEROS JOSE VALIÑA بدلالة حجم الازاحة (المحور الافقي) و زاوية الميلان العرضي (الزوايا المدونة على المنحنيات)

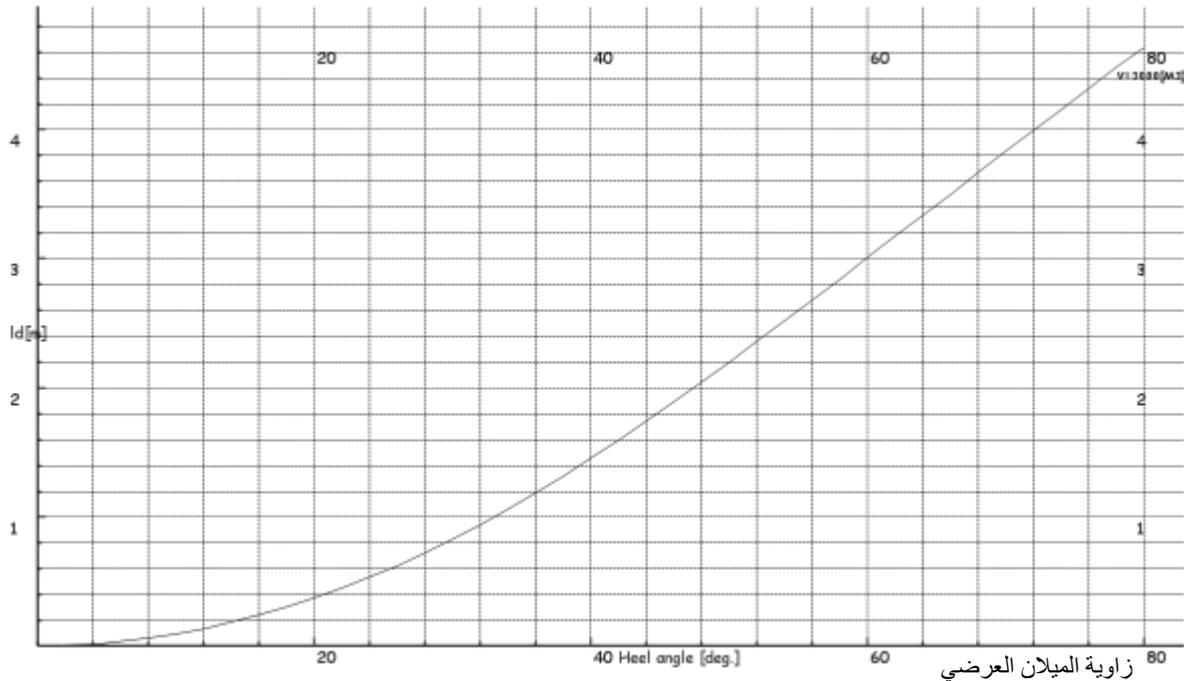


الشكل (5) الإحداثي العرضي لمركز الدفع للسفينة ASTILLEROS JOSE VALIÑA بدلالة حجم الإزاحة (المحور الأفقي) و زاوية الميلان العرضي (الزوايا المدونة على المنحنيات)



الشكل (6) منحنى ذراع عزم الاستعداد للسفينة ASTILLEROS JOSE VALIÑA عند حجم إزاحة ($3000m^3$) وارتفاع مركز ثقل $z_G = 2m$.

على الشكل (6) يظهر أن الارتفاع الأعظمي لذراع عزم الاستبدال يقع عند الزاوية $30^\circ < 64^\circ$ وهو أحد شروط المنظمة البحرية العالمية IMO (راجع [3]).



الشكل (7) منحنى ذراع الاتزان الديناميكي للسفينة ASTILLEROS JOSE VALIÑA

عند حجم إزاحة $(3000m^3)$ وارتفاع مركز ثقل $z_G = 2m$.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث تقديم طريقة قادرة على حساب منحنيات الاتزان للسفينة، انطلاقاً من رسمة الخطوط النظرية. فهي تقوم بحساب شبكة من المنحنيات بدلالة حجم الإزاحة ومدى عريض من زوايا الميلان العرضي، وكذلك هي تعطي شبكة منحنيات عزوم الاستبدال بمعرفة ارتفاع مركز الثقل، وكذلك تقوم بحساب ذراع الاتزان الديناميكي وإحداثيات مركز الدفع، أي أنها تقدم كل ما يهم دراسة اتزان السفينة. إن أهمية هذا البحث تكمن في أنه يقدم طريقة تعطي حلاً شاملاً بدون ملاحظة أية نقاط ضعف مع مرونة كبيرة وقابلية للتطوير. تتميز الطريقة عن غيرها من الطرق بأنها تعتمد على أسس رياضية بدون إدخال أية معاملات تقريبية، وحافظت على بساطتها وانسجامها دون التضحية بدقة الحل.

البرنامج حالياً قيد التطوير وقد خطا خطوات عريضة في مجال التمثيل الهندسي للسفينة المدروسة وتظهر شكلها ثلاثي الأبعاد مع مساقطها.

الخطوة المقبلة هي جعل البرنامج قادراً على تغيير الشكل الأولي للسفينة، وتأثير ذلك في الاتزان، بالإضافة إلى تطوير البرنامج لجعله قادراً على حساب المقاومات الهيدروليكية وتأثير الشكل فيها، واتخاذ القرار المناسب بخصوص الشكل؛ بحيث يكون القرار مراعيًا التحسن في اتزان السفينة دون أن يكون ذلك على حساب زيادة المقاومات الهيدروليكية إلا إذا اقتضت معايير السلامة التضحية بالمقاومة الهيدروليكية على حساب أمان السفينة على الاتزان.

المراجع:

- [1] ISSA, H., “*L’Etude numérique d’un bassin à houle par la résolution directe des équations de Navier Stokes*”, Thèse doctorat de l’Université de Poitiers -France, 006, 00-110.
- [2] GUILBAUD, M, “*Écoulement de la surface libre*”, Polycopie des Etudiant de SEAT/ENSMA/SP2MI- Faculté de Science Fondamentale et Appliquée (SFA)- Université de Poitiers, France, 2007, 47.
- [3] BIRAN, A. B., “*Ship Hydrostatics and Stability*”, Butterworth-Heinemann, London, 2003, 08-100.
- [4] DERRETT, D.R., “*Ship Stability for Masters and Mates*”, Butterworth-Heinemann, OXFORD, 2006, 75-90.
- [5] د. هيثم عيسى، محاضرات اتزان السفن، قسم الهندسة البحرية- جامعة تشرين، 2009.
- [6] د. ميشيل بريهان، اتزان السفن2، قسم الهندسة البحرية -جامعة تشرين، 1، 2006-600