

دراسة تأثير الأمواج الطولية المنتظمة على أمان اتزان السفن في ظروف الاستثمار

الدكتور ميشيل بربهان*

(تاريخ الإيداع 23 / 12 / 2009. قُبِلَ للنشر في 3 / 3 / 2010)

□ ملخص □

يُعالج البحث واحدة من القضايا الهامة الخاصة بمراكز الأبحاث و الدراسات البحرية التي تتعلق بطرائق إنشاء ودراسة خصائص منحني أذرع عزوم الاستعدال أثناء الإبحار في ظروف استثمار مختلفة. يتضمن هذا البحث شرح الطرائق التحليلية والتقريبية، والتي تستكمل بطرائق تعتمد على اختبارات تجريبية لنماذج في أحواض توليد الأمواج الجيبية المنتظمة الطولية، بُغية إنشاء منحني أذرع عزوم الاستعدال تحت تأثير هذه الأمواج في ظروف الاستثمار. تمّ إعداد برنامج حاسوبي بلغة (Visual Basic) لتنفيذ الحسابات وفقاً للنموذج الرياضي الذي تمّ إعداده. سمح ذلك بدراسة تأثير بعض البارامترات التصميمية للسفينة والاستثمارية للوسط البحري المحيط (ارتفاع الموجة H_f وطول الموجة λ وسرعة السفينة v وأبعاد أو ضخامة السفينة المرتبط بدورها الوظيفي L, B, \dots) في ظروف الإبحار عبر الأمواج على سلوك منحني أذرع عزوم الاستعدال وبارامتراته المميزة التي تستخدم في معايرة أمان السفن التوازني، وفقاً لمتطلبات المنظمة البحرية الدولية IMO وهيئات الإشراف والتصنيف المعتمدة عالمياً.

الكلمات المفتاحية: اتزان، السفينة على الأمواج، منحني أذرع عزوم الاستعدال، تعديل معايير الاتزان.

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

Studying The Effect of Longitudinal and Regular Waves on The Safety of Ship Stability at Operation Condition

Dr. Michel Barbahan*

(Received 23 / 12 / 2009. Accepted 3 / 3 / 2010)

□ ABSTRACT □

This research discusses one of the important problems related to marine research centers that include methods of drawing and studying of characteristics of righting levers curves upon sailing in different conditions of operation. This research includes an explanation of analytical and approximate methods, which are completed by methods based on tests of experimental models in the basin to generate regular sinusoidal waves in order to drawing of curve of righting levers under the influence of these waves at operation conditions. A Computer program was prepared by (**Visual Basic**) to implement the calculations as per stated mathematical model. This allowed to study the effect of height and length of waves and speed and dimensions of the ship in the conditions of sailing through the waves on the behavior of curve of righting levers and its extinct parameters which are used in evaluating the safety of ships in balance as per requirements of IMO and ICS.

Key Words : Stability, ship in waves, Curve of Righting Levers, modification of stability criterion

*Associate Professor At Marine Engineering Department Mechanical &Electrical Engineering Faculty, Tishreen University, Latakia, Syria

مقدمة:

تتغير قيم أذرع عزوم الاستعداد GZ للسفينة في ظروف الإبحار عبر الأمواج بالمقارنة مع القيم المحددة لهذه الأذرع في المياه الساكنة. في هذه الحالة تكون قيم GZ تابعة لزاوية الميلان العرضي ϕ بالإضافة إلى الزمن t . يعود السبب في ذلك إلى [1]:

- تغير البارامترات الهندسية المميزة لبدن السفينة (المتعلقة بالاتزان العرضي للسفينة) كتابع للزمن وهي: مركز ثقل قوة الطفو وعزم عطالة سطح الطفو، حيث تشير الدراسات إلى أن عزم عطالة سطح الطفو المتعرج بفعل الأمواج يتناقص في حالة الميلان العرضي بصورة ملحوظة، مما يؤدي إلى انخفاض نقطة الميئاسنتر.
- التغير اللحظي للأمواج، وما ينتج عنها من حركات تأرجحية نسبية للسفينة في المستوي الرأسي (التأرجح الشاقولي و التأرجح الطولي للسفينة).

إن حوادث غرق العديد من السفن التي كانت تعتبر متزنة، وفقاً لمعايير الإبحار في المياه الساكنة مثل: حادثة غرق السفينة Irene olden dorff بين ليلة 30 و 31 تشرين الثاني عام 1951 و حادثة غرق السفينة Pomir عام 1962 و كارثة غرق سفينة Finneagle / Ro-Ro في ليلة 1 تشرين الأول عام 1983 عندما كانت تبحر قرب جزر Orkney عبر أمواج طولية باتجاه حركة السفينة، وحادثة غرق سفينة الصيد WLA87 نموذج B-25a عام 1984 في بحر البلطيق قرب السواحل البولونية، دفعت العلماء والباحثين في المجال البحري إلى إجراء اختبارات ودراسات متعلقة بأسباب حدوث هذه الكوارث [1],[2]. بينت نتائج الدراسات والأبحاث التي قام بها عدد كبير من الباحثين خلال حقبة طويلة من الزمن في النصف الثاني القرن الماضي و منهم [3]:

Pauling [1961], Krappinger [1962], Arndt [1962], Blume- Hattendorf [1982], Blume [1990], Tatano –Kim-Kim [1990], Renilson- Thomas [1990], Umeda- Yamakoshi & Tsuchiya [1995] ، الأتي [3]:

- تكون التغيرات المذكورة أعلاه كبيرة، عندما يكون طول الموجة مساوياً بشكل تقريبي لطول السفينة. في هذه الحالة قد تسبب التغيرات الشديدة في قيم أذرع عزوم الاستعداد وارتفاع الميئاسنتر في نشوء ما يُسمى بظاهرة الطنين أو الرنين البارامتري المرتبطة بحدوث تأرجحات عرضية بسعات كبيرة تُهدد أمان السفن التوازني.

- تكون الحالة التوازنية للسفينة ضعيفة عند توضعها على قمة موجة بالقرب من المستوي القطاعي العرضي المنصف للبدن، لفترة زمنية طويلة نسبياً. في هذه الحالة تتناقص قيم أذرع عزوم الاستعداد بشدة مما يؤدي إلى حدوث هبوط مفاجئ لمقدار العمل الواجب بذله لقلب السفينة بفعل أي مؤثر تحريضي إضافي داخلي أو خارجي. يحدث ذلك عند إبحار السفينة بسرعة كبيرة مماثلة تقريباً للسرعة الطورية للموجة، أي عندما يتحقق الشرط التالي [3]:

$$F_n = v / \sqrt{g.L} \approx 1 / \sqrt{2.\pi} = 0.4 \quad (1)$$

- إن أكثر السفن عرضة للمخاطر بفعل المؤثرات الخارجية هي سفن الصيد، يعود السبب في ذلك إلى صغر أبعادها، وتواجدها في البحار لفترات زمنية طويلة، وعلى الأغلب في الأقاليم المائية المضطربة بفعل الأمواج والرياح، وإبحارها بحمولات متغيرة بفعل تواجد الأسماك على سطحها مثلاً، وبقاء فتحات عنابرها مفتوحة لفترات طويلة، وأيضاً نشوء عزوم ميلان إضافية بفعل معدات الصيد المستخدمة. لهذه الأسباب وغيرها اهتمت المنظمة البحرية العالمية (International Maritime Organization) IMO بأمان سفن الصيد من خلال وضع معايير خاصة تُحدد فيها القيم الحدية المسموح بها لأذرع عزوم الاستعداد GZ . تم صياغة هذه المعايير من خلال تحليل قيم GZ في المياه الساكنة لسفن غرقت أثناء الإبحار بسبب العواصف [4].

ينبغي الإشارة إلى أن تأمين الاتزان المطلق للسفينة غير ممكن في ظروف الإبحار المختلفة، ويعود السبب في ذلك إلى ارتباط أمان السفينة التوازني بالأداء الوظيفي لطاقتها وبالخبرة العملية في ظروف الاستثمار، حيث يمكن تجنب السفينة العديد من الحالات الخطرة من خلال التحكم بسرعة السفينة واتجاه خط سيرها، وفقاً لتوجيهات ربانها.

من ناحية أخرى يجب أن تتمتع السفينة بمزايا أو خصائص متعلقة بالأمان التوازني تقيها من الانقلاب والغرق الذي يمكن أن يحدث نتيجة إهمال الطاقم أو اتخاذ قرار غير صائب من قبل ربانها أثناء الإبحار [1].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في معالجته إحدى أهم المسائل المتعلقة بتأمين حيوية السفينة وسلامة إبحارها، وذلك من خلال الحصول على منحنى أذرع عزوم الاستعداد GZ أثناء إبحار السفينة عبر الأمواج الذي يعبر عن الحالة الحقيقية لإمكانات السفينة في المحافظة على أمانها التوازني أثناء إبحارها. يرتبط هذا البحث بصورة مباشرة بمشاكل تقنية و استثمارية تخص سفن الأسطول السوري المسجلة لدى مديرية الموانئ السورية، وسفن الملاكين السوريين المسجلة في الخارج، وقد تجلّى ذلك من خلال حوادث غرق عدة سفن في السنوات الأخيرة عند إبحارها في ظروف مناخية سيئة. يتعلق هذا البحث عموماً بالقضايا التالية:

- اجتماعية إنسانية: تخص سلامة الطاقم والمسافرين أثناء الإبحار.
- اقتصادية: تخص حماية السفينة كمنشأة اقتصادية من الانقلاب والغرق.
- بيئية: تخص حماية البيئة البحرية من خطر التلوث بشحنة السفينة الغارقة، وخصوصاً في حالة ناقلات النفط وسفن البضائع السائبة.
- تتحصر أهداف هذا البحث بما يلي:
- شرح الطرائق التحليلية والتقريبية المستخدمة في إنشاء منحنى أذرع عزوم الاستعداد أثناء الإبحار عبر الأمواج مع التطرق إلى سلبيات استخدامها.
- إعداد نموذج رياضي يعكس، أو يوضح تأثير الأمواج الطولية المنتظمة على سلوك منحنى أذرع عزوم الاستعداد.
- إعداد برنامج حاسوبي لتنفيذ الحسابات وفق النموذج الرياضي الذي تم إعداده.
- دراسة تأثير ارتفاع الأمواج وطول الموجة وسرعة السفينة وأبعاد السفينة المرتبط بدورها الوظيفي على سلوك منحنى أذرع عزوم الاستعداد وبارامتراته المميزة التي تستخدم في معايرة أمان السفن التوازني وفقاً لمتطلبات المنظمة البحرية الدولية، وهيئات الإشراف والتصنيف المعتمدة عالمياً.

طرائق البحث ومواده:

تتعرض السفن لخطر فقدان اتزانها العرضي عند إبحارها عبر الأمواج الشديدة. إنّ مسألة أمان السفن التوازني في حالة العواصف والبحر المتموج لا تزال تتطلب العديد من الاختبارات النظرية والتجريبية. تُظهر المعايير الجارية

لسلوك السفن الحقيقية، وأيضاً تحليل الكوارث البحرية وجود ثلاث حالات هامة مُتعلّقة بخطر فقدان السفينة لأثرانها العرضي [5]:

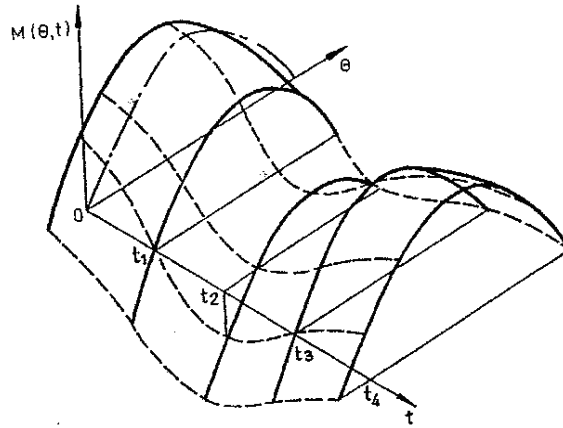
- التناقص الشديد وطويل الأمد لمنحني أذرع عزوم الاستبدال.
- التآرجح العرضي الشديد للسفينة.
- التآرجح العرضي المرتبط بفقدان الاستقرار الاتجاهي الخاص بالمناور.

إذا خضعت السفينة في الحالات المذكورة أعلاه لتأثير عزوم ميلان عرضي ناتج مثلاً عن تأثير الرياح، تراكم المياه على السطح.... الخ، عندئذٍ يتزايد خطر انقلاب السفينة. إن مثل هذه الحالات قد تحدث عند إبحار السفينة عبر أمواج طولية جارية مع السفينة أو بعكس اتجاهها، والتي طولها يساوي بصورة تقريبية طول السفينة. عند توضع منتصف السفينة على قمة الموجة، يحدث تناقص شديد في قيم أذرع عزوم الاستبدال، في حين يحدث تزايد واضح في قيم أذرع عزوم الاستبدال عند توضع السفينة على قعر موجة. إن التغيرات في قيم منحني أذرع عزوم الاستبدال تكون متناسبة مع ارتفاع الموجة بشكلٍ تقريبي، حيث تكون هذه التغيرات واضحة بشدة في حالة الأمواج العاتية والمفاجئة. لا تشكل هذه التغيرات خطراً في حالة السفن المبحرة عبر أمواج جارية بعكس اتجاهها، لأنها ستحصل خلال فترة زمنية قصيرة جداً وبترددٍ ظاهريٍّ للأمواج أكبر بكثير من التردد الذاتي لتأرجحات السفينة. تتغير هذه الحالة تماماً في حالة الأمواج الجارية مع السفينة، حيث أن الترددات الظاهرية المنخفضة (تردد الموجة المقاس بالنسبة للسفينة المبحرة)، تجعل فترة تناقص أو تزايد منحني أذرع عزوم الاستبدال طويلةً بشكلٍ كافٍ. في حالة حدية خاصة، يمكن أن تبحر السفينة وهي قابضة على قمة موجة طولية [5].

يتولد عزم الاستبدال في المياه الساكنة بفعل تأثير الضغوط الهيدروستاتيكية على السطح المبلل من بدن السفينة المائلة عرضياً (لا يتعلق عزم الاستبدال للسفينة في المياه الساكنة بالزمن عند زاوية ميلان عرضي معينة). من جهة أخرى تتسبب المياه المتموجة في جعل الضغوط الهيدروستاتيكية على السطح المبلل من بدن السفينة متغيرةً كتابع للزمن. إضافةً إلى ذلك، تنشأ ضغوط هيدروديناميكية بفعل الأمواج الجارية غير المضطربة، وأيضاً بفعل الاضطرابات الحاصلة للمياه المتموجة بفعل بدن السفينة. أثناء إبحار السفينة عبر المياه المتموجة تنشأ بفعل التآرجحات حركات نسبية للسفينة تتزامن معها تغيرات لحظية في حجم الجزء الغاطس والسطح المبلل من بدن السفينة، وأيضاً تتغير المميزات الهندسية التي يتعلق بها عزم الاستبدال [6]. هذه العوامل تجعل عزم الاستبدال في المياه المتموجة متعلقاً بالزمن بشكلٍ إضافي، كما هو مبين في الشكل (1).

يُحدد عزم الاستبدال في المياه المتموجة بشكلٍ تقريبي كحاصل جمع عزم الاستبدال في المياه الساكنة مع تصحيحات ناتجة عن تأثير الأمواج [7],[6],[5]:

$$M_R(\phi, t) = M_{R0}(\phi) + \delta M_{R1}(\phi, t) + \delta M_{R2}(\phi, t) + \delta M_{R3}(\phi, t) \quad (2)$$



الشكل (1) السطح المميز لتغير عزم الاستعداد في حالة الأمواج الطولية المنتظمة

يأخذ التصحيح الأول بعين الاعتبار القوة الطاردة المركزية التي تسبب في تغير غاطس السفينة. تخضع السفينة المتحركة بالتوافق مع حركة جزيئات الماء على مداراتها لتأثير قوة الثقالة، أي وزنها الذاتي والقوة الطاردة المركزية، تُدعى محصلة هاتين القوتين (التي تتجه عند أية وضعية للموجة وفق الناظم على سطحها) بالوزن الظاهري للسفينة. تخضع السفينة أيضاً لتأثير قوة الطفو الظاهرية التي تتجه باتجاه معاكس للوزن الظاهري وفق الناظم على سطح الموجة كما في الشكل (2). تتغير قيمة واتجاه كل من هاتين القوتين وفقاً لوضعية السفينة بالنسبة للموجة. يُحدّد هذا التصحيح بالعلاقة التالية [5],[6],[7]:

$$\delta M_{R1} = W \cdot \frac{\delta_1 h_o}{h_o} \cdot GZ(\phi) \quad (3)$$

حيث إن:

$$\delta_1 h_o = h_o \cdot \alpha_A \cdot \cos(\omega_E t) \quad (4)$$

W - إزاحة السفينة.

α_A - سعة زاوية انحراف الموجة.

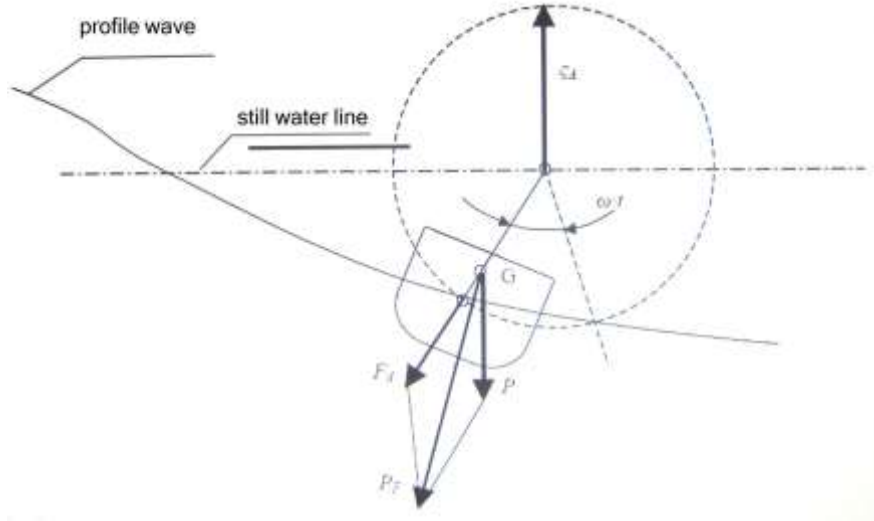
h_o - ارتفاع الميئاسنتر العرضي الأولي للسفينة.

$GZ(\phi)$ - ذراع عزم الاستعداد عند زاوية الميلان العرضي ϕ .

ω_E - التردد الظاهري للموجة.

يأخذ التصحيح الثاني بعين الاعتبار تغير حجم الجزء الغاطس من بدن السفينة بفعل التآرجحات الشاقولية النسبية (بالنسبة لجملة محاور إحداثية مرتبطة ببدن السفينة) كما هو مبين في الشكل (3). يُحدّد هذا التصحيح عند زوايا الميلان العرضية الصغيرة بالعلاقة التالية [5],[6],[7]:

$$\delta M_{R2} = \frac{\delta(W h_o)}{h_o} GZ(\phi) = \frac{W \cdot \delta_2 h_o + h_o \cdot \delta W}{h_o} GZ(\phi) \quad (5)$$



الشكل (2) تغير غاطس السفينة بفعل القوة الطاردة المركزية F_d عند قعر موجة عرضية منتظمة
 P - وزن السفينة، P_F - القوة المحصلة المؤثرة في مركز ثقل السفينة، ζ_A - سعة الموجة

حيث إن:

$\delta_2 h_o$ - تغير ارتفاع الميتاسنتر العرضي الأولي بفعل تغيرات نصف قطر الميتاسنتر الصغير وإحداثيات موضع مركز الطفو. تُحدد هذه التغيرات بصورة تقريبية باستخدام علاقات خاصة بتغير كتلة السفينة.

δW - تغير الإزاحة بفعل التآرجحات الشاقولية النسبية للسفينة، ويُحدد كتابع لتغير الغاطس بالعلاقة العامة

التالية:

$$(6 \delta W = \rho \cdot g \cdot S_w \cdot \bar{z})$$

حيث إن:

ρ - كثافة الماء في منطقة الإبحار.

g - تسارع الجاذبية الأرضية.

S_w - مساحة سطح الطفو.

\bar{z} - التغير اللحظي لغاطس السفينة أثناء التآرجحات الشاقولية النسبية للسفينة، ويُحدد بالعلاقة:

$$(7 \bar{z} = \bar{z}_A \cdot \cos(\omega_E t - \varepsilon_z))$$

حيث إن:

ε_z - إزاحة طوريه بين الموجة واستجابة السفينة أثناء التآرجحات الشاقولية النسبية للسفينة.

\bar{z}_A - سعة التآرجحات الشاقولية النسبية للسفينة في جملة المحاور الإحداثية المرتبطة ببدن السفينة. تُحدد هذه

السعة بحل المعادلة التفاضلية الخطية غير المتجانسة من الدرجة الثانية الخاصة بالتآرجحات الشاقولية النسبية للسفينة.

يأخذ التصحيح الثالث بعين الاعتبار تغير شكل الجزء الغاطس من بدن السفينة بفعل الأمواج الجيبية المنتظمة

الجارية طولياً مع السفينة، كما في الشكل (3). يُحدد هذا التصحيح بالعلاقة التالية [5],[6],[7]:

$$\delta M_{R3} = -W \cdot h_{Ao} \cdot \phi \cdot \cos(\omega_E + \varepsilon_h) \quad (8)$$

حيث إن:

$-h_{Ao}$ - سعة تغيرات ارتفاع الميئاسنتر العرضي للسفينة.

$-\varepsilon_h$ - الإزاحة الطورية بين الموجة وتغيرات ارتفاع الميئاسنتر.

عندما $\lambda \approx L$, $\varepsilon_h = \pi$, $\omega_E = 0$, تتواجد السفينة على قمة موجة و يحدث تناقص شديد في قيم

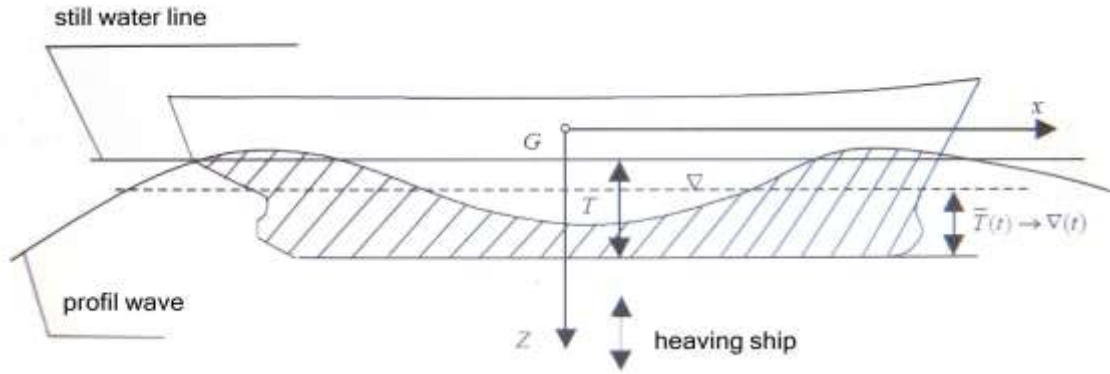
منحني عزم الاستبدال، ولتحقيق هذا الشرط ينبغي أن تكون السفينة مبحرة بسرعة موافقة لرقم فرويد $Fn = 0.4$ [7].

إن التصحيحات المذكورة أعلاه لعزم استبدال سفينة (عند حالة تحميل معينة) تُبحر بسرعة v وبزاوية خط سير

مع الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج تتعلق ببارامترات الموجة المنتظمة مثل السعة ζ_A و التردد ω و الطول

λ و ارتفاع الموجة H_f . يعني هذا أن قيم التصحيحات المذكورة وبالتالي عزم الاستبدال على الأمواج تتغير بشكل

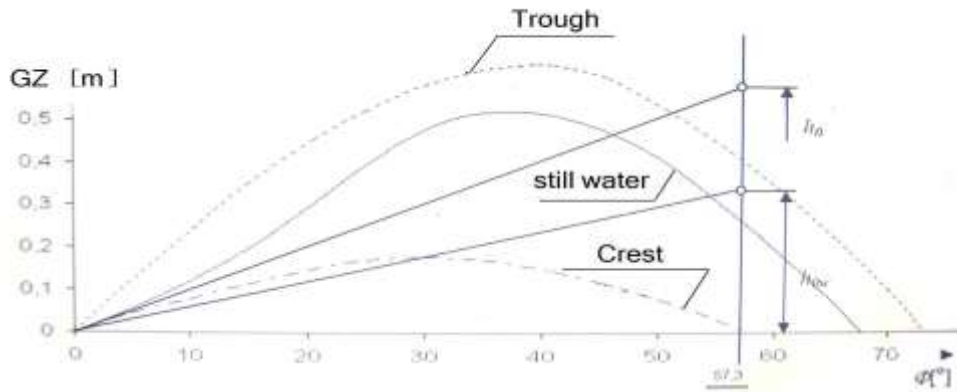
دوري مع الزمن، كما هو مبين في الشكل (1).



الشكل (3) تغير حجم وشكل الجزء الغاطس للسفينة بفعل الحركات النسبية (التأرجحات الشاقولية بشكل أساسي) و بروفيل الموجة (الموجة الطولية المنتظمة). T, V - غاطس وحجم الجزء الغاطس للسفينة في المياه الساكنة، $\bar{T}(t)$ - الغاطس اللحظي الوسطي على الأمواج، $\bar{V}(t)$ - حجم الجزء الغاطس اللحظي على الأمواج

يبين الشكل (4) نموذجاً لتغيرات منحني أذرع عزوم الاستبدال على موجة طولية منتظمة جارية مع السفينة

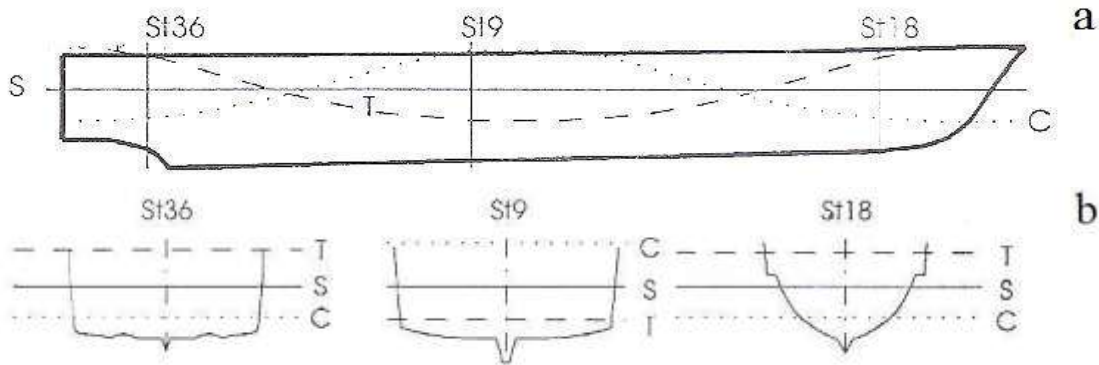
($\beta_w = 0^\circ$) سعتها ζ_A وطولها λ .



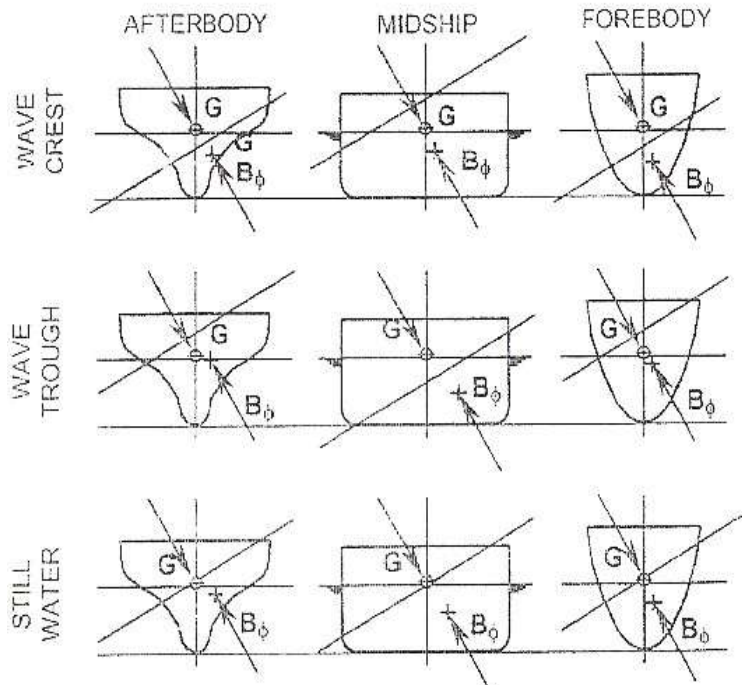
الشكل (4) تغيرات منحنى أذرع عزوم الاستعداد على موجة طولية منتظمة جارية مع السفينة، سعتها K_A وطولها λ

ينبغي الإشارة إلى أن الطريقة العامة المذكورة أعلاه لتحديد التصحيح الإجمالي لعزم الاستعداد تعتمد على عدة فرضيات متعلقة بحساب التغيرات الحاصلة للإزاحة ونصف قطر الميتاسنتر الصغير و الاحداثي الرأسي لمركز الطفو، حيث تُحدد باستخدام علاقات تقريبية خاصة بتغير كتلة السفينة أثناء عمليات الشحن أو التفريغ. أيضاً بارامترات حل المعادلة التفاضلية للتأرجحات الشاقولية للسفينة الخاصة بالتصحيح الثاني لعزم الاستعداد ككتلة المياه المرافقة ومعامل تخامد التأرجحات الشاقولية تُحدد بعلاقات خطية تقريبية وفق فرضيات معينة . عندئذٍ سيعطى عزم الاستعداد للسفينة على الأمواج بعلاقة عامة متعددة البارامترات بدقة منخفضة نسبياً. من جهة أخرى تصبح المعادلة التفاضلية الخاصة بالتأرجحات العرضية للسفينة المرتبطة بعزم الاستعداد معقدة الحل، نظراً لتعلقها ببارامترات عديدة [7].

يمكن إنشاء منحنى أذرع عزوم الاستعداد للسفينة المبحرة عبر الأمواج بطريقة سكونية. يُعد ذلك تبسيطاً للواقع، لأنه لا يأخذ بعين الاعتبار التأثير الديناميكي المتعلق بالحركات التآرجحية المترامنة للسفينة. تعتمد هذه الطريقة على إنشاء منحنى أذرع عزوم الاستعداد للسفينة على الأمواج باعتماد الطرق المستخدمة في المياه الساكنة، حيث يتم التعامل مع سطح طفو فراغي متعرج متوافق مع بروفيل الموجة على امتداد طول السفينة، كما في الشكل (5-a). في هذه الحالة سيكون لكل مقطع من المقاطع العرضية على امتداد طول السفينة خط ماء خاص به بحسب توضع السفينة على الأمواج دون ميلان عرضي، كما هو مبين في الشكل (5-b) [8],[9].



الشكل (5) توضع بروفيل الموجة بالنسبة للسطح الجانبي للبدن والمقاطع العرضية للسفينة.



يعني ذلك أن لكل مقطع من المقاطع العرضية للسفينة عند كل وضعية للسفينة على الأمواج مجموعة خاصة من خطوط الماء أثناء تميل السفينة حول محورها الطولي لتحديد GZ كتابع للميلان العرضي ϕ ، كما هو مبين في الشكل (6) [10]. عند الأخذ بعين الاعتبار: تغير توضع

الموجة بالنسبة للسفينة، وتغير شكل أو بروفيل الموجة على امتداد طول السفينة مع تغير طول الموجة أو ارتفاعها و تغير حالات التحميل للسفينة، وأيضاً عند الأخذ بالحسبان ضخامة العمليات الحسابية والتخطيطية عند إنشاء منحنى أذرع عزوم الاستبدال GZ في المياه الساكنة الشكل (6) توضع خطوط الماء بالنسبة للمقاطع العرضية أثناء الميلان العرضي أصلاً، فيمكن عندئذٍ تخيل مدى التعقيدات والصعوبات التي ترافق تحديد GZ في المياه المتموجة بصورة سكونية.

من ناحية أخرى أوجد الباحثان [1982-1984] Blume –Hattendorff ما يُسمى بمعامل شكل البدن C لمعايرة منحنى أذرع عزوم الاستبدال GZ عند إبحار السفينة عبر الأمواج استناداً إلى اختبارات غرق نماذج سفن معرضة للأمواج في أحواض اختبارات النماذج. يُحدد هذا المعامل وفقاً للعلاقة التالية التي تعتمد على نسب الأبعاد الرئيسية للبدن و معاملات الامتلاء وطول السفينة وارتفاع مركز الثقل فوق القرينة [10]:

$$C = \frac{T.H'}{B^2} - \sqrt{\frac{T}{Z_G}} \cdot \left(\frac{\delta}{\alpha}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{100}{L_{pp}}} \quad (9)$$

حيث إن:

T - غاطس السفينة [m].

B - عرض السفينة عند منتصفها [m].

Z_G - ارتفاع مركز ثقل السفينة عن القرينة [m].

δ - معامل امتلاء البدن [-].

α - معامل امتلاء سطح الطفو [-].

L_{pp} - طول السفينة بين العمودين [m].

H' - الارتفاع الجانبي الفعال للسفينة ويُحدد بالعلاقة التالية:

$$H' = Z_p + \frac{V_C - V_p}{S_p} \quad (10)$$

حيث إن:

V_p, S_p - مساحة سطح الطفو وحجم الجزء الغاطس من بدن السفينة على التوالي عند خط الماء الموازي

للمستوي الأساسي والمماس للسطح في أخفض نقطة عند الارتفاع Z_p . في معظم الحالات يكون الارتفاع Z_p مساوياً للارتفاع الجانبي للسفينة.

V_C - حجم الجزء الغاطس الكلي لبدن السفينة و المستخدم في حساب منحنيات الاتزان الثابتة.

استخدمت المنظمة العلمية البحرية **IMO** بعد عام 1993 معامل شكل البدن C في معايرة اتزان سفن الحاويات والسفن السريعة التي تتميز بقيم منخفضة لمعامل امتلاء البدن (تتراوح بين 0.554-0.675) والتي مقاطعها العرضية Frames منفرجة نسبياً أو مساحة سطح طفوها كبيرة عند الأخذ بعين الاعتبار تأثير الأمواج الطولية المنتظمة. في هذه الحالة يُحدد منحنى أذرع عزوم الاستبدال GZ للسفينة في المياه الساكنة، ومن ثم تُجرى المعايرة وفقاً للجدول التالي (1).

الجدول (1) معايرة الاتزان استناداً لمعامل شكل البدن C

NO	Criterion \geq	Required	Dimension
----	------------------	----------	-----------

1a	e_{30}	$0.009/C$	meter.rad
1b	e_{40}	$0.016/C$	meter.rad
2	e_{30-40}	$0.006/C$	meter.rad
3	$GZ \text{ at } \geq 30^\circ$	$0.033/C$	meter
4	GZ_{\max}	$0.042/C$	meter
5	$e_{GZtotal}$	$0.029/C$	meter.rad

يُمثل e_* في الجدول السابق المساحة أسفل منحنى أذرع عزوم الاستبدال GZ حتى الزاوية المعتبرة (أي ذراع الاتزان الديناميكي).

لتجنب صعوبات وتعقيدات بعض الطرق المذكورة أعلاه، وانخفاض دقة ومحدودية استخدام بعضها في معايرة أمان السفن التوازني في ظروف الإبحار عبر الأمواج الجيبية الطولية المنتظمة، سنعمد إلى تحديد منحنى أذرع عزوم الاستبدال للسفينة المتواجدة على قمة موجة استناداً إلى الطريقة التالية التي تعتمد على اختبارات تجريبية لنماذج سفن معرضة للأمواج طولية منتظمة في أحواض اختبارات النماذج. في هذه الحالة تُحدد قيم منحنى أذرع عزوم الاستبدال للسفينة المتواجدة على قمة موجة باستخدام العلاقة التالية:

$$GZ_f = GZ + \Delta GZ_f \quad (11)$$

حيث إن:

GZ - ذراع عزم الاستبدال في المياه الساكنة.

ΔGZ_f - معامل تصحيح قيمة ذراع عزم الاستبدال الذي يأخذ بعين الاعتبار تغير سطح الماء في جوار بدن السفينة. يُعطى هذا المعامل بالعلاقة التالية استناداً إلى معايير الاتزان المعتمدة من قبل العديد من هيئات التصنيف العلمية كهيئة التصنيف البولونية **PRS** وهيئة التصنيف الإيطالية **RINA** [4],[11]:

$$\Delta GZ_f = -B \cdot \sum_{i=1}^{i=7} A_i \cdot f_i(\phi) \quad (12)$$

حيث إن:

B - عرض السفينة.

$f_i(\phi)$ - معاملات مُحددة تجريبياً، وهي توضح تأثير شكل بدن السفينة، وتأثير شدة انحدار الموجة وسرعة السفينة التي يُعبر عنها بدلالة رقم فرويد عند عدة زوايا ميلان عرضية. قيم هذه المعاملات معطاة في الجدول التالي (2).

الجدول (2) معاملات تغير أذرع منحنى أذرع عزوم الاستبدال على الأمواج

ϕ	$f_1(\phi)$	$f_2(\phi)$	$f_3(\phi)$	$f_4(\phi)$	$f_5(\phi)$	$f_6(\phi)$	$f_7(\phi)$	
							$Fn < 0,28$	$Fn < 0,28$
10°	0,084	0,025	0,013	0,015	0,020	0,027	0,006	-0,026
20°	0,176	0,070	0,024	0,023	0,030	0,045	0,015	-0,069

30°	0,310	0,125	0,035	0,037	0,040	0,050	0,026	-0,053
40°	0,410	0,150	0,042	0,045	0,048	0,055	0,033	-0,023
50°	0,465	0,160	0,043	0,050	0,053	0,058	0,038	-0,017

تحدد المعاملات A_j وفقاً للعلاقات التالية [4],[11]:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{H_f}{\lambda} & , & \quad A_2 = 0,208 - \frac{T}{B} \\ A_3 &= 0,375 - \frac{T}{B} & , & \quad A_4 = \frac{T}{H} - 0,770 \\ A_5 &= 0,700 - \frac{\delta}{\alpha} & , & \quad A_6 = 0,692 - \frac{\delta}{\beta} \\ A_7 &= F_n - 0,28 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

حيث إن:

H_f - ارتفاع الموجة [m].

λ - طول الموجة [m].

L_w - طول السفينة عند خط الماء [m].

T - غاطس السفينة عند المستوى القطاعي المنصف [m].

H - الارتفاع الجانبي للسفينة [m].

β, α, δ - معامل امتلاء البدن، معامل امتلاء خط الماء و معامل امتلاء المقطع العرضي المنصف للسفينة

على التوالي.

F_n - رقم فرويد.

عندما $\frac{L_w}{B} \geq 7,5$ ، يمكن افتراض أن $f_7(\phi) = 0$ ، لأنه في هذه الحالة يكون تأثير سرعة السفينة على

الاتزان ضعيفاً. تُستخدم هذه الطريقة ضمن المجال التالي للبارامترات:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{L_w}{B} > 3,1 & , & \quad 1,6 < \frac{B}{H} < 3,75 \\ \frac{H}{T} > 1,05 & , & \quad 0,55 < \alpha < 0,85 \\ 0,55 < \phi = \delta / \beta < 0,85 & , & \quad 0,22 < F_n < 0,36 \end{aligned} \right.$$

مع ميلان طولي للسفينة لا يتجاوز $0,2 \cdot T$ عند المقدمة أو $0,4 \cdot T$ عند المؤخرة.

لتجنب الصعوبات الكبيرة عند تحديد منحنيات أذرع عزوم الاستبدال في المياه الساكنة والمتعلقة باستخدام

مخطط الخطوط النظرية الخاصة بالسفينة المعتبرة، يُمكن استخدام علاقات تقريبية تعطي دقة كافية من الناحية العلمية

البحثية. يمكن و بدقة جيدة استخدام المنحني المكافئ - تُمثل إحداثياته القيمة الوسطية لإحداثيات المنحنيات التقريبية عند كل زاوية ميلان عرضي - للمنحنيات الخاصة بالعلاقات التقريبية. في هذه الحالة تُحدد قيمة ذراع عزم الاستبدال GZ في المياه الساكنة على النحو التالي [12]:

$$GZ(\phi) = [GZ_1(\phi) + GZ_2(\phi) + GZ_3(\phi)]/3 \quad (14)$$

حيث إن:

$GZ_1(\phi)$ - قيمة ذراع عزم الاستبدال في المياه الساكنة و تُحدد وفقاً لعلاقة *Pozdiunin* التالية [12]:

$$GZ_1(\phi) = \left[\frac{r_o}{\sqrt{1+q^2 + \frac{3 \cdot p \cdot q^2}{1+(1-p) \cdot q^2}}} - \frac{h}{\sqrt{1+\frac{1}{S^2} + \frac{3 \cdot p}{1+(1-p) \cdot S^2}}} - (a-h) \right] \cdot \sin \phi \quad (15)$$

تُحدد القيم الخاصة بالعلاقة الأخيرة كما يلي:

$$, q^2 = m^2 \cdot \tan^2 \phi , a = z_G - z_{B_o} , S^2 = \frac{m^4}{k^4} \cdot \frac{1}{q^2} , p = 1 - \frac{k}{m} , m = \frac{r_o}{b} , k = \frac{b}{h}$$

حيث إن:

r_o - نصف قطر الميتاسنتر الصغير.

h, b - بارمترات مميزة لشكل بدن السفينة. تُحدد المقادير (h, b) وفقاً للعلاقات التالية:

$$\left. \begin{aligned} b = y_{90} &= \frac{1}{2} \cdot (1 - 0.972 \cdot \frac{T}{H_1}) \cdot B \\ h = z_{90} - z_{B_o} &= 0.64 \cdot (1 - 1.032 \cdot \frac{T}{H_1}) \cdot H_1 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

H_1 - يُمثل الارتفاع الجانبي الاصطلاحي للبدن و يُحدد وفقاً للعلاقة:

$$H_1 = (1 + \chi \cdot \frac{V_W}{V}) \cdot H \quad (17)$$

B - عرض السفينة.

Z_{B_o} - الاحداثي الرأسى لمركز الطفو.

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 ∞ .

$GZ_2(\phi)$ - قيمة ذراع عزم الاستبدال في المياه الساكنة وتحدد وفقاً لعلاقة *Wlasow* التالية [12]:

$$GZ_2(\phi) = b \cdot f_1(\phi) + h \cdot f_2(\phi) + r_o \cdot f_3(\phi) + r_{90} \cdot f_4(\phi) - a \cdot \sin \phi \quad (18)$$

تُحدد المقادير (h, b) الخاصة بهذه العلاقة تماماً كما في حالة علاقة *Pozdiunin*، أما أن r_{90} الذي

يمثل

نصف قطر الميئاسنتر الصغير عند زاوية الميلان العرضي $\phi = 90^\circ$ فيحدد وفقاً للعلاقة التقريبية التالية:

$$r_{90} = (h/b)^3 \cdot r_o \quad (19)$$

التوابع $[f_4(\phi), \dots, f_1(\phi)]$ غير متعلقة بشكل بدن السفينة وتحدد قيمتها كل 10° وفقاً للجدول (3):

الجدول (3) قيم التوابع $f_i(\phi)$ كتابع للزاوية ϕ

ϕ $f(\phi)$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$f_1(\phi)$	0	0.05	0.34	0.84	1.28	1.36	1.06	0.58	0.21	0
$f_2(\phi)$	0	-0.04	-0.24	-0.56	-0.72	-0.51	0.03	0.60	0.93	1.00
$f_3(\phi)$	0	0.15	0.18	0.08	-0.07	-0.15	-0.13	-0.06	-0.01	0
$f_4(\phi)$	0	0.01	0.06	0.13	0.15	0.07	-0.08	-0.18	-0.15	0

$GZ_3(\phi)$ - قيمة ذراع عزم الاستبدال في المياه الساكنة وتحدد وفقاً لعلاقة **Paulenk** التالية [12]:

$$GZ_3(\phi) = \left[-2 \cdot C \cdot \cos \phi - B' \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) - (a - h) \right] \cdot \sin \phi \quad (20)$$

حيث إن:

$$B' = 2.33 \cdot [2 \cdot b - (r_o + h)]$$

$$C = (b - r_o) - B'$$

تُحدد المقادير (b, h) الخاصة بهذه العلاقة تماماً كما في الحالات السابقة المذكورة.

يسمح النموذج الرياضي المقترح بدراسة تأثير الأمواج الطولية المتحركة مع السفينة على سلوك منحنى أذرع عزوم الاستبدال GZ للسفينة المتواجدة على قمة موجة، وذلك من خلال دراسة تأثير ارتفاع الأمواج وطول الموجة وسرعة السفينة على سلوك هذا المنحني، مع الأخذ بعين الاعتبار الحالات الخطرة. وعند الأخذ بعين الاعتبار أن دور الموجة وتردد الموجة والسرعة الظاهرية للموجة و الرقم الموجي تُحدد جميعها بدلالة طول الموجة فهذا يسمح بدراسة تأثير البارامترات المميزة للموجة المنتظمة المتحركة طولياً مع السفينة على سلوك منحنى GZ .

النتائج والمناقشة:

تتضمن الحسابات التطبيقية لهذا البحث وفقاً للنموذج الرياضي المقترح ما يلي:

- 1- تقييم سلوك منحنيات أذرع عزوم الاستبدال وبارامتراته المميزة تحت تأثير الأمواج الحبيبية المنتظمة الطولية في ظروف الاستثمار عن طريق مقارنتها بمنحنيات أذرع عزوم الاستبدال عند الإبحار في المياه الساكنة.
- 2- دراسة تأثير بعض البارامترات التصميمية للسفينة والاستثمارية للوسط البحري المحيط (ارتفاع الموجة h_f و طول الموجة λ و سرعة السفينة v وأبعاد أو ضخامة السفينة المرتبط بدورها الوظيفي L, B, \dots) في ظروف الإبحار عبر الأمواج على سلوك منحنى أذرع عزوم الاستبدال وبارامتراته المميزة التي تستخدم في معايرة أمان السفن التوازني، وفقاً لمتطلبات المنظمة البحرية الدولية **IMO**. لانجاز الحسابات المقترحة، وفقاً للنموذج الرياضي المقترح، تم إعداد برنامج حاسوبي بلغة **(Visual Basic)**. يتضمن هذا البرنامج عدة واجهات برمجية. يستطيع هذا البرنامج معالجة الحالات المتعلقة بالمسألة

المطروحة، حيث يسمح بتقييم سلوك منحنيات أذرع عزوم الاستبدال تحت تأثير الأمواج الجيبية المنتظمة الطولية في ظروف الاستثمار، ومن ثم دراسة تأثير بعض البارامترات التصميمية للسفينة والاستثمارية للوسط البحري المحيط على الظاهرة المعنونة. تم إجراء الحسابات على أربعة نماذج من سفن ذات أبعاد مختلفة عند حالات تحميل معينة بُغية إعطاء مصادقية وشمولية للنتائج. يبين الجدول (4) البارامترات الرئيسية لنماذج السفن المقترحة.

الجدول (4) المعطيات الخاصة بنماذج السفن المعتمدة

المسميات	النموذج A قاطر موانئ	النموذج B سفينة صيد	النموذج C سفينة بضائع عامة	النموذج D ناقلة نفط
$L_w [m]$ - الطول عند خط الماء	23.72	49.9	130	196
$B [m]$ - العرض الأعظمي	7.18	11.289	18.7	26.5
$T [m]$ - غاطس السفينة	2.7	4.03	8.4	10.4
$H [m]$ - الارتفاع الجانبي	3.5	5.644	10.0	14.0
$r_o [m]$ - نصف قطر الميتاسنتر	2.062	3.009	3.14	5.196
$Z_G [m]$ - ارتفاع مركز الثقل	2.45	3.9950	7.32	7.35
$Z_{Bo} [m]$ - ارتفاع مركز الطفو	1.76	2.291	7.0	5.49
$\alpha [-]$ - معامل خط الماء	0.735	0.8	0.804	0.85
$\beta [-]$ - معامل المقطع العرضي	0.764	0.69	0.98	0.99
$\delta [-]$ - معامل امتلاء البدن	0.44	0.59	0.732	0.8

تأثير طول الموجة على اتزان السفينة عند قيمة معينة لنسبة ارتفاع الموجة إلى طولها:

لدراسة تأثير طول الموجة على الاتزان السكوني للسفينة سيتم مقارنة سلوك منحنيات أذرع عزوم الاستبدال لنماذج السفن المعتمدة عند حالات متعددة لطول الموجة تتراوح بين $\lambda = [0.5 L \div 1.5 L]$ عند قيمة معينة لنسبة ارتفاع الموجة إلى طولها $(H_f / \lambda = 1/20)$ [1]. تبين الأشكال (7) و (8) و (9) و (10) مقارنة بين منحنيات أذرع عزوم الاستبدال لنماذج السفن المعتمدة عند قيم مختلفة لطول الموجة. يُلاحظ من هذه الأشكال ما يلي:

1- إن زيادة طول الموجة عند قيمة معينة لنسبة ارتفاعها إلى طولها يُقلل من التأثير السلبي للأمواج على الأمان التوازني للسفن الصغيرة المرتبط بمنحني أذرع عزوم الاستبدال وبارامتراته المميزة GZ_{max} , ϕ_m , ϕ_r . أما في حالة السفن الكبيرة فيكون تأثير تغير طول الموجة بثبات نسبة ارتفاعها إلى طولها طفيفاً عند زوايا الميلان العرضي الكبيرة.

2- في حالة السفن الكبيرة يتحسن الاتزان العرضي الأولي المرتبط بارتفاع الميتاسنتر h_o عند إبحار السفينة عبر الأمواج الطولية، بحيث تصبح السفينة أكثر استقراراً أثناء إبحارها عبر الأمواج الطولية.

تأثير ارتفاع الموجة على اتزان السفينة عند قيمة معينة لطولها:

لدراسة تأثير ارتفاع الموجة على الاتزان السكوني للسفينة سيتم مقارنة سلوك منحنيات أذرع عزوم الاستعداد لنماذج السفن المعتمدة عند قيم متعددة لارتفاع الموجة تتراوح بين $H_f = [2.0m \div 6m]$ عند قيمة معينة لطولها $\lambda = L$. تبين الأشكال (11) و (12) و (13) و (14) مقارنة بين منحنيات أذرع عزوم الاستعداد لنماذج السفن المعتمدة عند قيم مختلفة لارتفاع الموجة. يُلاحظ من هذه الأشكال ما يلي:

1- إن تزايد ارتفاع الموجة عند قيمة معينة لطولها يُؤثر بشكل سلبي وواضح على الأمان التوازني للسفن الصغيرة، حيث يحدث تناقص واضح في قيمة: GZ_{max} والزاوية المقابلة له ϕ_m و مدى الاتزان ϕ_r و ارتفاع الميتاسنتر h_o . أما في حالة السفن الكبيرة فيكون تأثير تغير ارتفاع الموجة عند قيمة معينة لطولها محدود نسبياً.

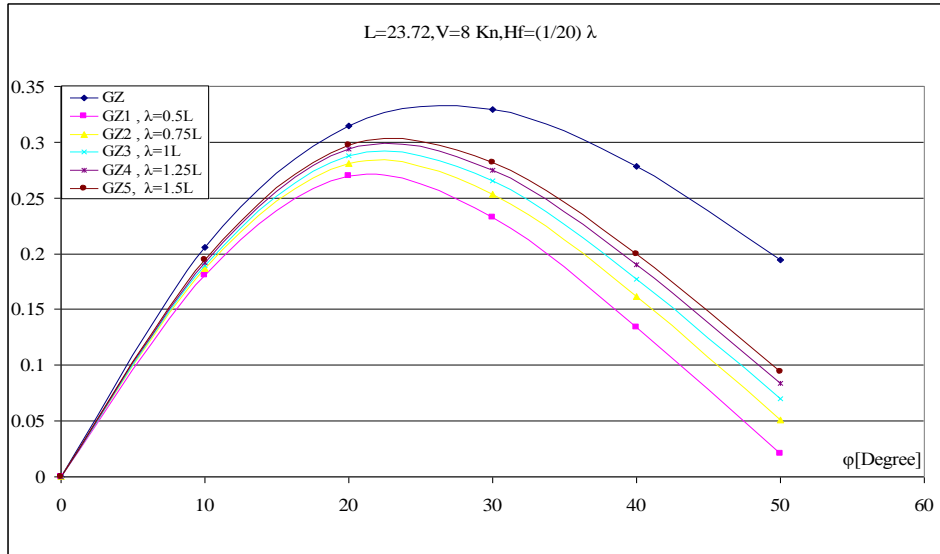
2- إن تغير ارتفاع الموجة بثبات طولها يعني أن نسبة ارتفاع الموجة إلى طولها متغيرة، حيث يكون تأثير هذه النسبة موافق لتأثير ارتفاع الموجة في هذه الحالة. يعني هذا أن تغير هذه النسبة بشكل مستقل مع تغير طول الموجة يؤثر على أمان السفن التوازني بشكل مختلف عن الحالة الأولى المدروسة، وفقاً لآلية تغير هذه النسبة و تغير طول الموجة. فعلى سبيل المثال لا الحصر، إذا تناقص طول الموجة وازدادت هذه النسبة سيكون التأثير السلبي على سلوك منحنيات GZ أكثر خطورة بالمقارنة مع حالة تناقص طول الموجة ذاته ولكن مع تناقص نسبة الارتفاع إلى الطول.

تأثير سرعة السفينة الموافقة لسرعة الموجة (حالة انعدام السرعة النسبية) على اتزان السفينة:

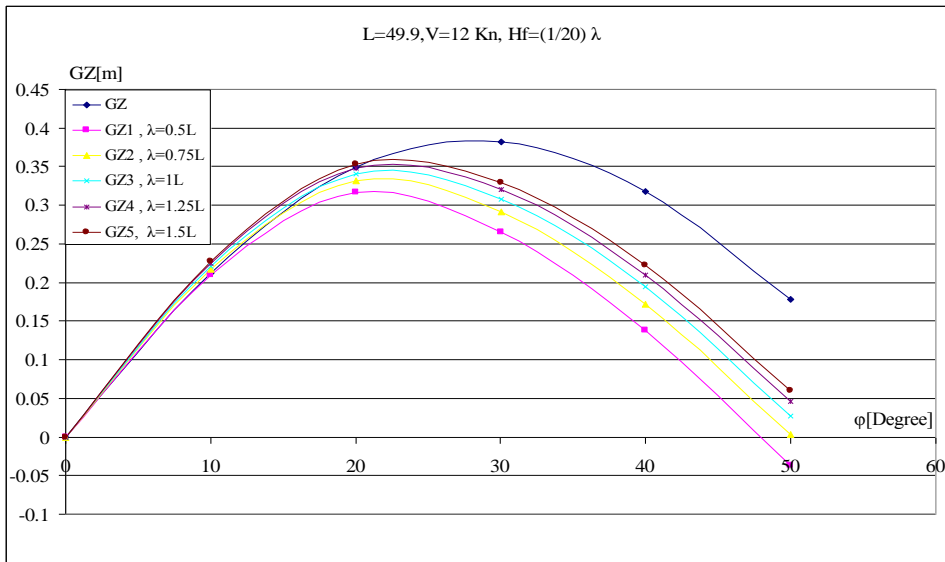
لدراسة تأثير سرعة السفينة الموافقة لسرعة الموجة على الاتزان السكوني للسفينة، سيتم مقارنة سلوك منحنيات أذرع عزوم الاستعداد لنماذج السفن المعتمدة عند قيم متعددة لسرعة السفينة ضمن مجالها الاستثماري الموافق لرقم فرويد في النموذج الرياضي عند قيمة معينة لطول الموجة وارتفاعها. تبين الأشكال (15) و (16) و (17) و (18) مقارنة بين منحنيات GZ لنماذج السفن المعتمدة عند قيم مختلفة للسرعة. يُلاحظ من هذه الأشكال أن تأثير تغير سرعة السفينة الموافق لسرعة الموجة على سلوك منحنيات GZ ضعيف جداً بحيث يمكن إهماله.

تأثير أبعاد السفينة أو ضخامتها على اتزان السفينة:

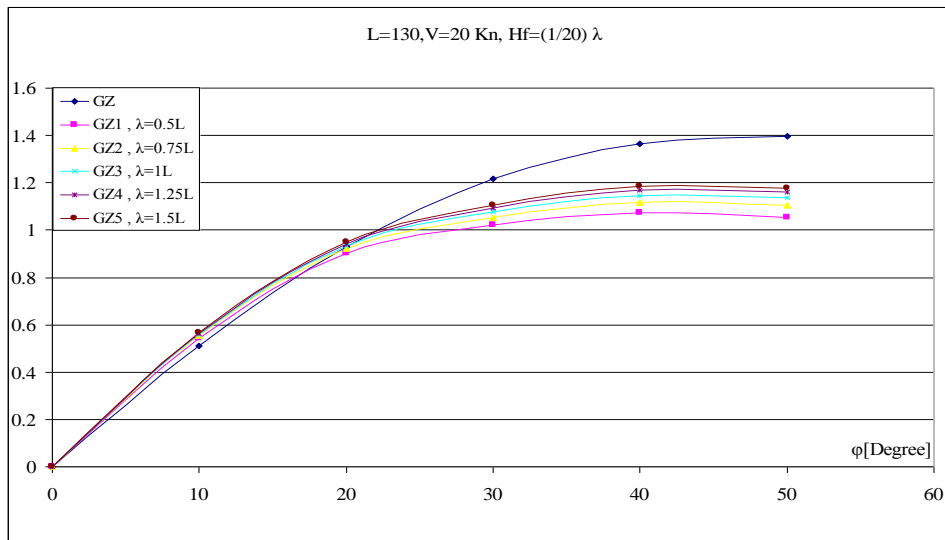
بالعودة لمنحنيات الأشكال السابقة من الشكل (7) إلى الشكل (18) يُلاحظ بشكل واضح أنه بالنسبة للسفن الصغيرة كالقواطر وسفن الصيد فإن اتزانها السكوني يتأثر بفعل الأمواج الطولية بشكل سلبي واضح، خصوصاً عند زوايا الميلان العرضي الكبيرة، أما في حالة السفن الكبيرة الضخمة فيتحسن اتزانها العرضي الأولي المتمثل بارتفاع الميتاسنتر h_o عند زوايا الميلان العرضي الصغيرة بفعل الأمواج بغض النظر عن تغير البارامترات المميزة للموجة. أما اتزانها عند زوايا الميلان العرضي الكبيرة فيتأثر بشكل طفيف.

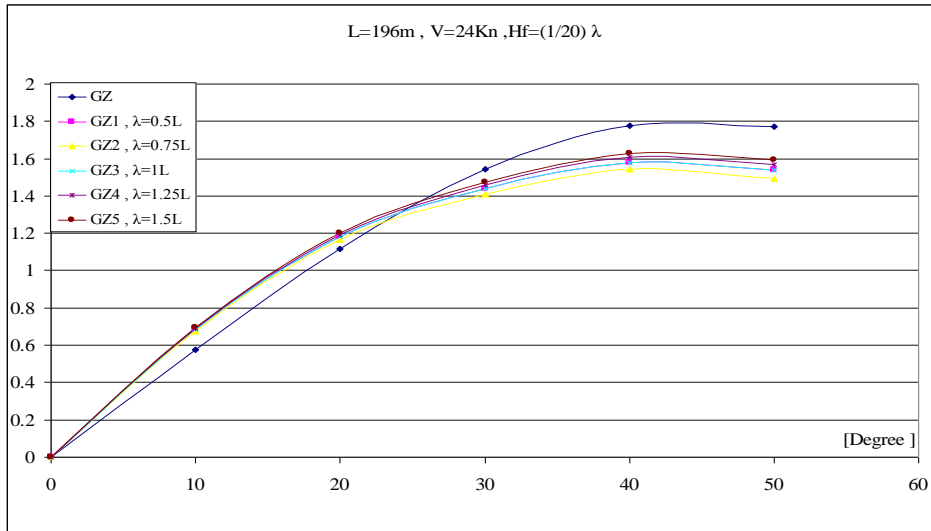
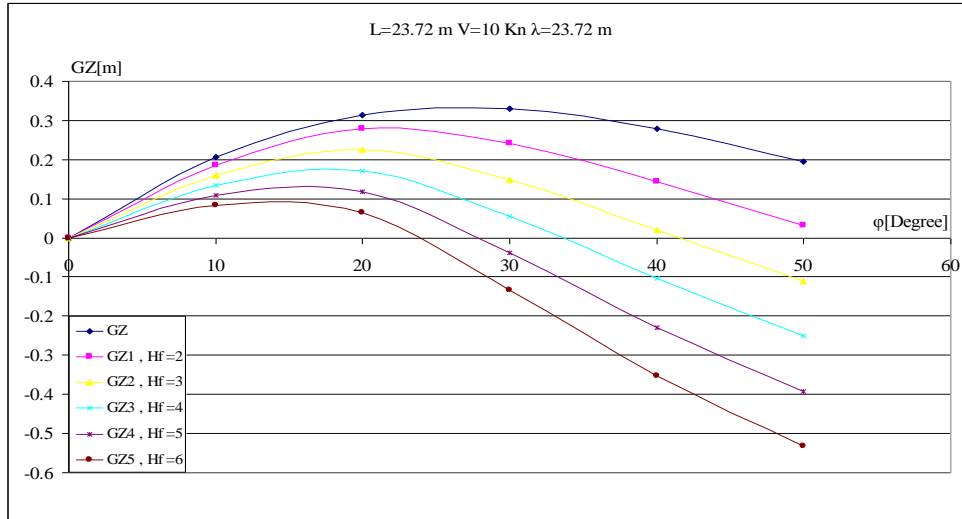
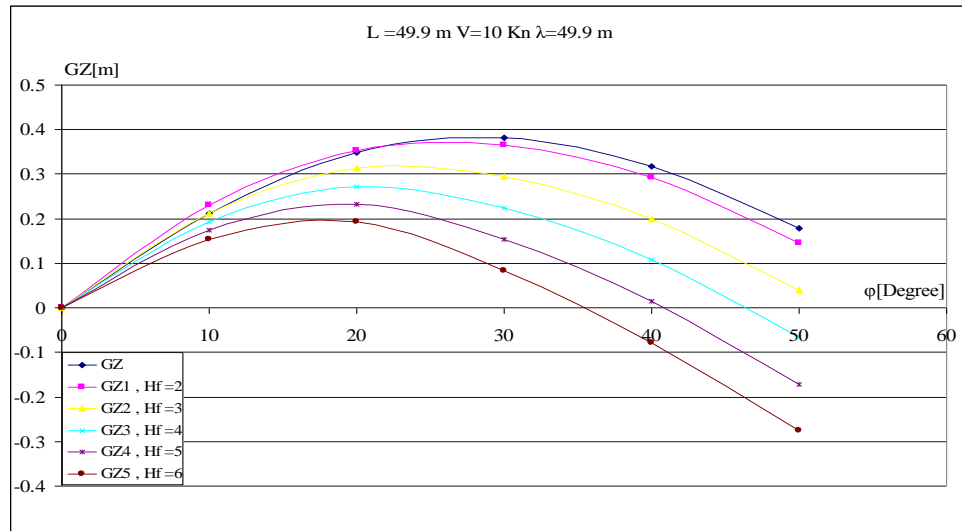


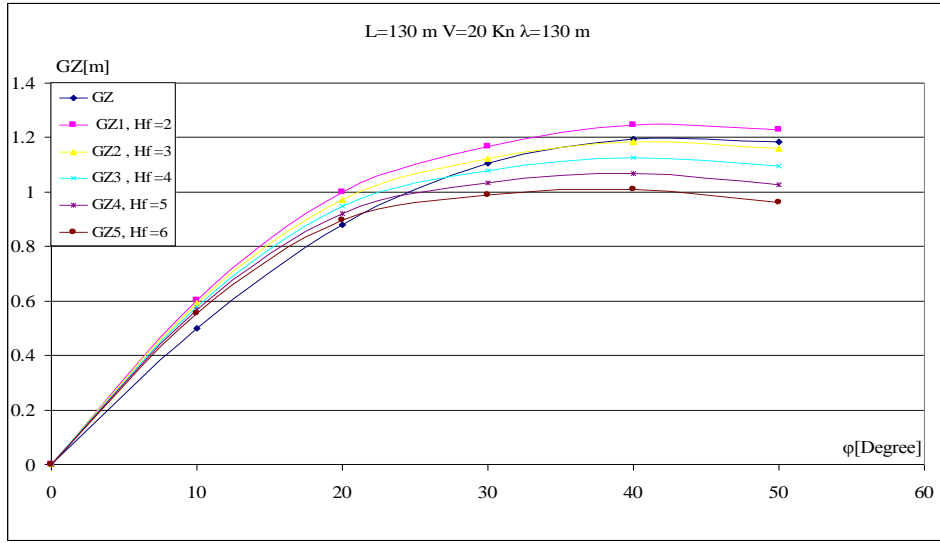
الشكل (7) تأثير تغير طول الموجة على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج A



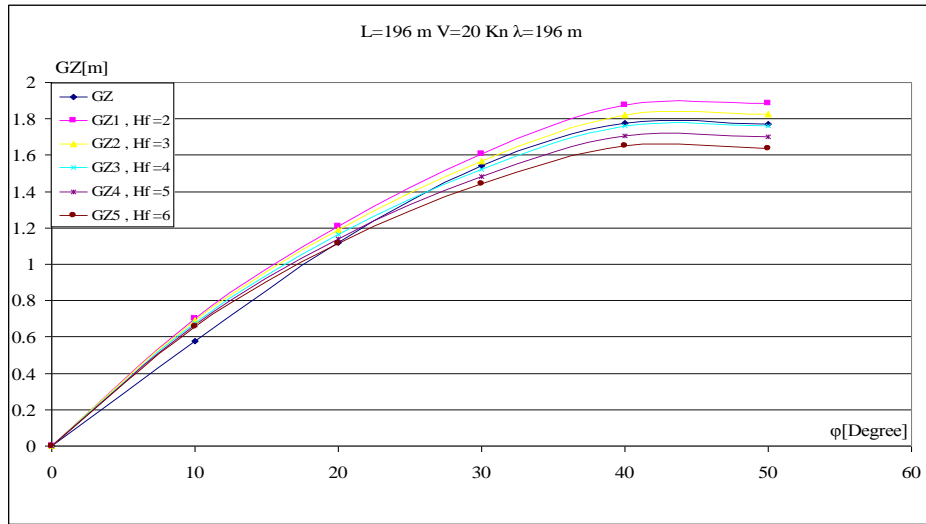
الشكل (8) تأثير تغير طول الموجة على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج B



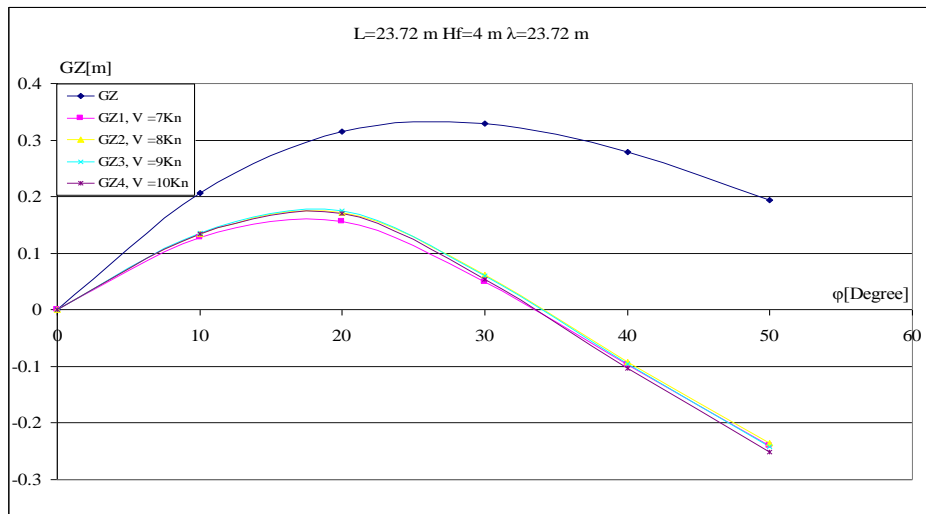
الشكل (9) تأثير تغير طول الموجة على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج C الشكل (10) تأثير تغير طول الموجة على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج D الشكل (11) تأثير تغير ارتفاع الأمواج على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج A الشكل (12) تأثير تغير ارتفاع الأمواج على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج B



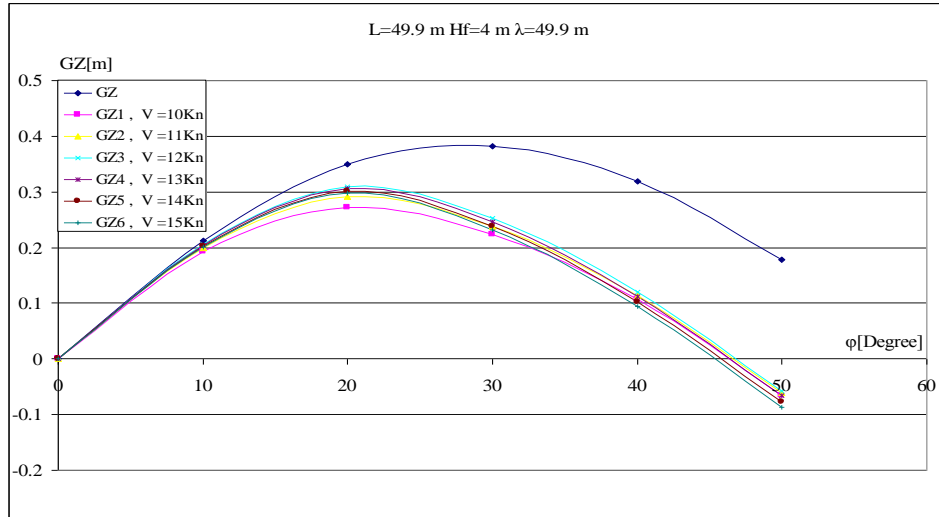
الشكل (13) تأثير تغير ارتفاع الأمواج على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج C



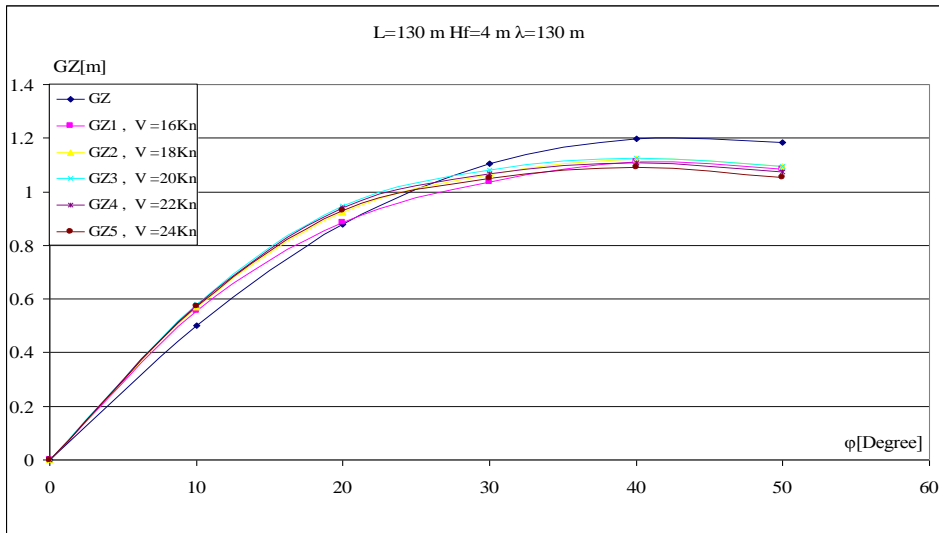
الشكل (14) تأثير تغير ارتفاع الأمواج على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج D



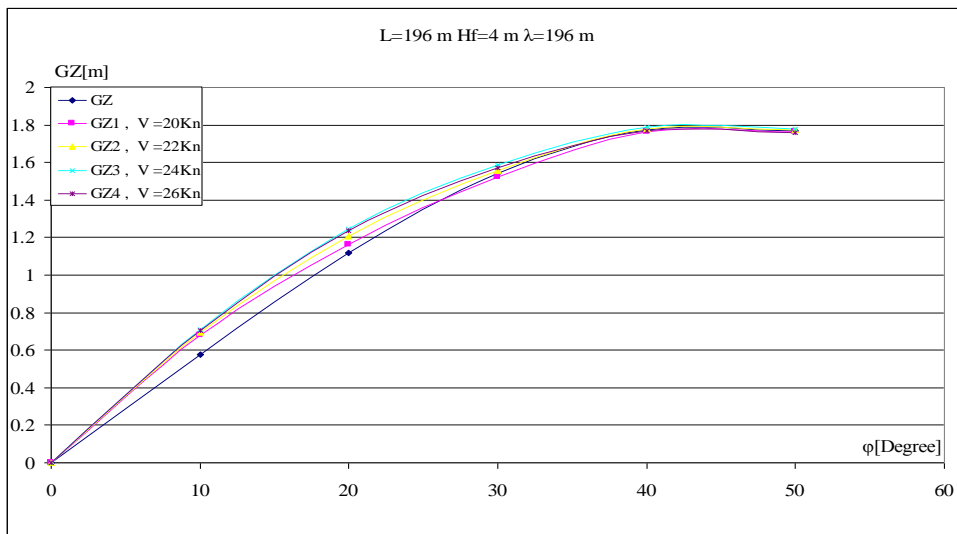
الشكل (15) تأثير تغير سرعة السفينة الموافقة لسرعة الموجة على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج A



الشكل (16) تأثير تغير سرعة السفينة الموافقة لسرعة الموجة على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج B



الشكل (17) تأثير تغير سرعة السفينة الموافقة لسرعة الموجة على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج C



الشكل (18) تأثير تغير سرعة السفينة الموافقة لسرعة الموجة على سلوك منحنيات GZ لسفينة نموذج D

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- يُعتبر إبحار السفينة عبر الأمواج المتعاقبة أحد أكثر المخاطر التي تهدد أمان السفينة التوازني، خصوصاً عندما تكون سرعتها قريبة من سرعة الموجة. وتتم السفينة في حالة خطرة عندما يصبح طول الموجة مساوياً بشكلٍ تقريبي لطول السفينة، وقمة الموجة مُتواجدة بالقرب من المستوى القطاعي العرضي المنصف.
- 2- أظهرت النتائج أن لتغير طول الموجة بثبات نسبة ارتفاعه إلى طولها، و لتغير ارتفاع الموجة عند قيمة معينة لطول الموجة تأثيراً ملحوظاً على سلوك منحنيات GZ في حالة السفن الصغيرة، في حين يكون لتغير هذا الطول تأثير طفيف نسبياً على السفن الكبيرة.
- 3- يتحسن في حالة السفن الكبيرة الاتزان العرضي الأولي المرتبط بارتفاع الميتاسنتر h_0 عند إبحار السفينة عبر الأمواج الطولية، بغض النظر عن تأثير تغير طول الموجة أو ارتفاعها، مما يجعلها أكثر جساءة سكونياً.
- 4- أن تأثير تغير سرعة السفينة الموافق لسرعة الموجة على سلوك منحنيات GZ ضعيف جداً بحيث يمكن إهماله.
- 5- إن أكثر السفن الصغيرة عرضة للمخاطر بفعل المؤثرات الخارجية هي سفن الصيد، و يعود السبب في ذلك - خلافاً للأنواع الأخرى من السفن الصغيرة - إلى تواجدها في البحار لفترات زمنية طويلة، وعلى الأغلب في الأقاليم المائية المضطربة بفعل الأمواج والرياح، وإبحارها بحمولات متغيرة بفعل تواجد الأسماك على سطحها مثلاً، وبقاء فتحات عابرها مفتوحة لفترات طويلة، وأيضاً نشوء عزوم ميلان إضافية بفعل معدات الصيد المستخدمة.
- 6- بالنسبة للسفن الكبيرة يكون التأثير السلبي للأمواج على أمانها التوازني غير مباشر، حيث قد تتسبب هذه الظاهرة في حدوث ميلانات عرضية بسعات كبيرة مع دور تآرجح عرضي صغير بفعل جساءة السفينة على الأمواج، الأمر الذي قد يسبب في حدوث انتقالات لحمولات داخل السفينة أو على سطحها تؤثر كعزوم ميلان إضافية على اتزانها بشكلٍ سلبي.
- 7- استناداً للنتائج نقتراح تعديل معايير الاتزان خصوصاً في حالة السفن الصغيرة نظراً لانخفاض اتزانها بنسبة تتراوح بين 25% إلى 30% بالمقارنة مع اتزانها المحدد في المياه الساكنة.

المراجع:

1. FRĄCKOWIAK, M. *The Righting arms of small fishing vessels on the longitudinal wave*, Prace Badawcze IO PG NR 424, , Gdańsk 1999, 14.
2. BIRAN, B. *Ship hydrostatics and stability*, Butterworth- Heinemann, Oxford 2006,344.
3. BŁOCKI, W. *Bezpieczeństwo stateczności statku w sytuacjach rezonansowych*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2000, 97.
4. FRĄCKOWIAK, M. *Statyka okrętu* ,Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej,Gdańsk 1999, 239.
5. GIRTLE, J. *Bezpieczeństwo okrętu na morzu*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005, 171.
6. SZELANGIEWICZ, T. *A Proposal for calculation of minimal initial metacentric height for a ship in waves*, Zeszyty Naukowe NR 2,74, Szczecin 2004, 9.
7. DUDZIAK, J . *Teoria okrętu* , Wydawnictwo Morski , Gdańsk 1988, 618.
8. YOUNIS, G . *Computer aided intact stability of ships in still waters* , 1st International Conference, Port Said 1995, 20.

9. YOUNIS, G . *The Effects of ships speed and wave characteristics on intact stability of ships in head and following seas* , 1st International Conference, Port Said 1995, 21.
10. KOBYLINSKI, L ., KASTNER, S. *Stability and safety of ships*, Volume I: Regulation and Operation, Elsevier Ocean Engineering Book Series, Oxford 2003, 412.
11. *Przepisy Kasyfikacji i Budowy Statków Morskich, Część IV, Stateczność I Niezatapialność*, PRS, Gdańsk 2007, 210.
12. KRĘŻLEWSKI, M . *Zbiór zadań z teorii okrętu* , Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Poznan 1987, 247.