

دراسة السلوك الديناميكي للسفينة المتأرجحة عرضياً على الأمواج الحقيقية (عند الانتشار ثنائي البعد للأمواج)

الدكتور ميشيل بربهان*

رامي علي**

(تاريخ الإيداع 20 / 9 / 2015. قُبِلَ للنشر في 19 / 5 / 2016)

□ ملخص □

تعتبر دراسة السلوك الديناميكي للسفينة المتأرجحة عرضياً على الأمواج من المواضيع ذات الأهمية الخاصة، وذلك نظراً لارتباطها الوثيق بأمان السفينة التوازني، وتأثيرها المباشر على كفاءة عمل بعض الأنظمة والعمليات داخل بدن السفينة.

يتضمن هذا البحث شرحاً للنموذج الرياضي المقترح والخاص بدراسة السلوك الديناميكي للسفينة المتأرجحة عرضياً على الأمواج الحقيقية بهدف حساب منحنيات السعة مع 30% امان كتابع لعرض السفينة عند القيم المختلفة لحالة التحميل وسرعة السفينة وزاوية خط سيرها بالنسبة إلى الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج، وبالتالي تحديد سرعات السفينة وزوايا خط سيرها المسيبة لأشد التأرجحات العرضية عند حالة التحميل المعتمدة، إضافة إلى تحديد العرض الحرج المقابل للسرعة التصميمية المختارة للسفينة. تم إعداد برنامج حاسوبي بلغة (*Visual Studio.net*) لتنفيذ الحسابات وفقاً للنموذج المقترح، مما سمح بدراسة تأثير بعض البارامترات الاستثمارية للسفينة (كسرعة السفينة، وزاوية خط سيرها بالنسبة إلى الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج) على سعة التآرجحات العرضية . تم التوصل من خلال هذا البحث إلى استخراج علاقات رياضية تسمح بوضع تفسير دقيق وواضح للسلوك الديناميكي للسفينة المتأرجحة عرضياً على الأمواج البحرية.

الكلمات المفتاحية: التآرجح العرضي -منحنيات السعة مع 30% امان- الأمواج الحقيقية

*أستاذ - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
**طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Studying the dynamic behavior of the rolling ship on irregular waves (Tow Dimension spreading)

Dr. Michel BARBAHAN*

Rami ALI**

(Received 20 / 9 / 2015. Accepted 19 / 5 / 2016)

□ ABSTRACT □

Studying of the dynamic behavior of the rolling ship on sea waves is one of topics of special interest due to its close association with the ship stability and its direct impact on the efficiency of the work of some of the systems and processes inside the hull. This paper includes an explanation of the proposed mathematical model to study the dynamic behavior of the rolling ship on irregular waves in order to calculate the $\varphi_{A3\%}$ curves as a function of ship breadth at different values of ship speed, bearing angle and metacenter high, and thus determine the ship speed and bearing angle that causing resonance at defined value of metacenter high. In addition to determine the critical breadth coincide with the design speed of the ship. A computer program was prepared to perform calculations according to the proposed model, which allowed studying the effect of some parameters of the investment of the vessel (ship speed, and the angle of its route for the main direction of spread of the waves) on ship rolling. It had been reached through this research to extract mathematical equations which allow a precise and clear explanation of the dynamic behavior of the ship rolling on waves.

Key Words: rolling ship – $\varphi_{A3\%}$ - irregular waves

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

**Postgraduate Student at Marine Engineering Department - Mechanical & Electrical Engineering Faculty –Tishreen University - Lattakia – Syria .

مقدمة:

تخضع السفينة أثناء إبحارها على الأمواج الحقيقية العشوائية إلى تأثير مجموعة من القوى والعزوم الخارجية، تستجيب السفينة لفعل الأمواج، بانزياحات زاوية وخطية عن وضع توازنها الأولي، تعرف هذه الحركات بالحركات التآرجحية أو التذبذبية للسفينة. تعتبر الحركات التآرجحية العرضية من أكثر الحركات التآرجحية خطرا على السفينة، نظرا لارتباطها الوثيق بأمان السفينة التوازني ولكونها سببا مباشرا لانقلاب العديد من السفن البحرية. ينظر للموجة الحقيقية على انها تراكب لمجموعة من الأمواج الجيبية المنتظمة وبالتالي يعبر عن طاقة الموجة الحقيقية باستخدام مفهوم تابع الكثافة الطيفي الذي يبين توزع الطاقة الوسطية الإجمالية للموجة الحقيقية على واحدة المساحة بين المركبات العنصرية الجيبية المركبة لها. يمكن ان تتركز طاقة الموجة الحقيقية في اتجاه واحد وتدعى حينها موجة جبهية (مسطحة)، او ان تتوزع طاقة الموجة على الاتجاهات العنصرية للأمواج المكونة لها فتدعى حينها موجة عشوائية فراغية[1].

تهدف دراسة السلوك الديناميكي للسفينة المتأرجحة عرضيا على الأمواج الحقيقية إلى تحديد منحنيات $\phi_{43\%}$ السعة مع 3% امان كتابع لعرض السفينة عند القيم المختلفة لحالة التحميل، مما يسمح بتحديد قيم العرض الخطرة الموافقة لأشد التآرجحات العرضية عند الإبحار في مختلف الظروف الاستثمارية والمناخية، وبالتالي تقديم النصائح الاستثمارية المتعلقة بالاختيار الأمثل لسرعة السفينة وزاوية خط سيرها وحالة تحميلها والنصائح التصميمية المتعلقة بطريقة تجنب التآرجحات العرضية الشديدة من خلال الابتعاد عن قيم العرض الخطرة. تؤكد جميع الدراسات البحرية والمراجع العلمية على أهمية زيادة سرعة السفينة أو تخفيض زاوية خط سيرها بالنسبة إلى الأمواج من اجل تجنب حالة الطنين [2,3]، إلا أن أحدا منها لم يحدد رياضيا قيمة السرعة المطلوبة لإحداث انخفاض واضح في سعة التآرجحات العرضية عند حالة التحميل المعتدلة. يركز هذا البحث على دراسة السلوك الديناميكي للسفينة المتأرجحة عرضيا على الأمواج الحقيقية المسطحة بهدف تحديد قيمة السرعة الحرجة المطلوبة لإحداث انخفاض واضح في سعة التآرجح العرضي كما يهدف هذا البحث إلى تحديد اخطر زاوية خط سير على السفينة المبحرة بسرعة معينة وحالة تحميل محددة، إضافة إلى وضعه منهجية محددة تساعد المصممين على تجنب قيم العرض الخطرة المسببة لتآرجحات عرضة شديدة خلال المراحل الأولى لتصميم سفينة تبحر بسرعة معينة وحالة تحميل معتدلة.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في معالجته لإحدى القضايا الهامة الخاصة بمراكز الأبحاث وترسانات بناء السفن حول العالم والمتعلقة بإعداد نماذج رياضية متطورة لدراسة السلوك الديناميكي للسفينة المتأرجحة عرضيا على الأمواج المسطحة عند مختلف زوايا خط السير بهدف تحديد السرعات الحرجة وزوايا خط السير الخطرة وبالتالي الابتعاد بالسفينة عن حالة التآرجحات العرضية الشديدة وذلك من خلال الاختيار المناسب والمتزامن لسرعة السفينة وزاوية خط سيرها بالنسبة إلى الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج تبعا لعرض السفينة وحالة تحميلها، وذلك بالاعتماد على علاقات رياضية جديدة مستخرجة ضمن الموديل الرياضي المقترح بالإضافة للبرنامج الحاسوبي المعد خصيصا لهذا الغرض. تنحصر أهداف البحث في ما يلي:

- إعداد نموذج رياضي خاص بدراسة السلوك الديناميكي للسفينة المبحرة على الأمواج المسطحة يسمح بدراسة تأثير كل من البارامترات الاستثمارية للسفينة (سرعة السفينة v_s ، زاوية خط سير السفينة بالنسبة للاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج γ) إضافة الى تأثير عرض السفينة كأحد البارامترات التصميمية على سعة التآرجح العرضي للسفينة.
- تنفيذ الحسابات وفق النموذج الرياضي المقترح، بالاعتماد على برنامج حاسوبي معد خصيصاً لهذا الغرض.
- تحليل وصياغة النتائج ومخرجات البرنامج الحاسوبي، من أجل الوصول إلى استنتاجات متعلقة بالسلوك الديناميكي للسفينة المتأرجحة عرضياً والمرتبطة بالأمان التوازني للسفينة عند مختلف الحالات المدروسة، مع وضع التوصيات المناسبة.

طرائق البحث ومواده:

يُحدد تابع الكثافة الطيفي لاستجابة السفينة المبحرة على الأمواج الحقيقية العشوائية غير المنتظمة عند افتراض أن جميع المركبات العشوائية للموجة الحقيقية تنتشر وفق نفس الاتجاه بحيث تبدو قمة الموجة الحقيقية لانتهائية الطول (موجة مسطحة ثنائية البعد) وفق العلاقة الآتية [4,5]:

$$Y_{\varphi}(\omega, \gamma, v) = \frac{\varphi_m}{\alpha_0} = \sin \gamma \frac{\varphi_{\varphi} \cdot \omega_{\varphi}^2}{\sqrt{(\omega_{\varphi}^2 - \omega_e^2)^2 + 4 \mu_{\varphi}^2 \omega_{\varphi}^2 \omega_e^2}} \quad (1)$$

حيث ان:

$Y_{\varphi}(\omega, \gamma, v)$: هو تابع الخاصية السعوية لاستجابة السفينة المتأرجحة عرضياً على الأمواج الجيبية المنتظمة عند زاوية خط سير γ ، وسرعة ابحار v ، ويُعطى عند إهمال المركبة الإنحرافية بالعلاقة الآتية [6]:

$$Y_{\varphi}(\omega, \gamma, v) = \frac{\varphi_m}{\alpha_0} = \sin \gamma \quad (2)$$

حيث إن:

φ_m - زاوية الميلان العرضي الأعظمية للسفينة المتأرجحة عرضياً على الأمواج الجيبية المنتظمة ذات التردد ω .

α_0 - زاوية الانحدار الأعظمية للموجة وتعطى بالعلاقة الآتية:

ω_{φ} - التردد الذاتي غير المتخادم للتأرجحات العرضية.

ω_e - التردد الفعال (الظاهري) للموجة ويعطى بالعلاقة الآتية [7]:

$$\omega_e = \omega - Kv \cos \gamma$$

حيث إن:

ω - تردد الموجة الجيبية المنتظمة، [rad/sec].

v - سرعة السفينة، [knot].

γ - زاوية خط سير السفينة بالنسبة إلى الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج، [Degree].

K - هو الرقم الموجي ويعطى بالعلاقة $k = \frac{2\pi}{\lambda}$. يرتبط الرقم الموجي k مع التردد الزاوي للموجة الجيبية

المنتظمة ووفق العلاقة [8] $\omega^2 = k \cdot g$.

μ_{φ} - معامل التخادم اللابعدي، يحسب تقريبا على النحو الآتي:

• للسفن بدون قرينة جانبية:

$$2\mu_{\varphi} = 0.05 \div 0.10$$

• للسفن المجهزة بقرينة جانبية:

$$2\mu_{\varphi} = 0.11 \div 0.14$$

• باستخدام علاقة *Nikotajew*:

$$2\mu_{\varphi} = \mu_{\varphi} \frac{\mu_{\varphi}^4}{\mu_{\varphi}(\mu_{\varphi}^2 + \mu_{\varphi}^2)}$$

حيث إن:

k_n - معامل قيمته في حالة السفن البحرية $0.055 \div 0.06$.

φ_m - سعة التآرجح العرضي مقاسة بالراديان وتساوي تقريبا $0.5 \div 0.6$.

L, H, B, D - قوة الطفو والأبعاد الرئيسية لبدن السفينة.

• عند الأخذ بالاعتبار سرعة السفينة:

$$\mu_{\varphi} = \frac{N_{v\varphi}}{\sqrt{(1 + K_{XX})I_X D h_{\varphi}}}$$

حيث إن:

D - قوة الطفو، وتحسب على النحو الآتي $D = \rho \cdot g \cdot V = \rho \cdot g \cdot \delta \cdot L \cdot B \cdot T$

$(1 + K_{XX})I_X$ - عزم العطالة الظاهري، ويحسب باستخدام علاقات تقريبية.

$N_{v\varphi}$ - معامل المقاومة عند السرعة v ، ويحسب بالعلاقة $N_{v\varphi} = N_{0\varphi}(1 + 6Fr)$

Fr - رقم فرويد ويساوي $Fr = \frac{v}{\sqrt{Lg}}$

$N_{0\varphi}$ - معامل المقاومة عند السرعة $v = 0$ [kt]، ويحسب بالعلاقة:

$$2N_{0\varphi} = 0.85K_{\varphi}LB^4\omega_{\varphi}\varphi_m$$

حيث $K_{\varphi} = 0.002$ للسفن ذات الأشكال التقليدية مع وجود الأجزاء البارزة.

$S_{\alpha}(\omega)$: هو تابع الكثافة الطيفي لزاوية انحراف الموجة الذي يرتبط مع تابع الكثافة الطيفي لسعة

الموجة $S_{\zeta}(\omega)$ وفق العلاقة الآتية:

$$(3)$$

حيث إن:

$S_{\zeta}(\omega)$: تابع الكثافة الطيفي لسعة الموجة ويحدد باستخدام علاقة بييرسون ميكوفيتز أحادية البارامترات على

النحو الآتي [9]:

$$(4)$$

حيث إن:

$$a = 8.1 \cdot 10^{-3} \cdot g^2$$

$$b = 3.11 \cdot 10^4 / H_{\frac{1}{3}}^2$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2 \text{ تسارع الجاذبية الارضية}$$

$H_{\frac{1}{3}}$ هو الارتفاع الفعال للموجة الحقيقية. حدد المؤتمر العالمي لأحواض اختبارات النماذج العلاقة بين السرعة

الوسطية للرياح والارتفاع الفعال للموجة الحقيقية، كما يبين الجدول (1).

سمحت الحسابات التي أجريت باستخدام العلاقات (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة..(خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة..(خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة..، خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة..)، (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.. بإنشاء منحنى تابع الكثافة الطيفي لاستجابة السفينة المتأرجحة عرضياً على الأمواج الحقيقية المسطحة، كتابع للتردد الزاوي ω ، عند قيم مختلفة لسرعة السفينة وزاوية خط سيرها بالنسبة الى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج.

الجدول 1 العلاقة بين السرعة والارتفاع الفعال للموجة

| | | | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|------|------|
| $V_{\omega} [kt]$ | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| $H_{\frac{1}{3}} [Cm]$ | 440 | 560 | 810 | 1100 | 1460 |

تُعبّر المساحة $m_{\sigma\zeta}$ اسفل منحنى طيف طاقة الموجة الحقيقية S_{ζ} ، عن الطاقة الكلية للموجة الحقيقية

المسطحة، أي عن توزيع طاقة الموجة الحقيقية على المركبات الجيبية المنتظمة المكونة لها. وفي نفس الوقت فان هذه المساحة تعبر احصائياً عن مربع الانحراف المعياري للمطال اللحظي للأمواج السجل الزمني σ^2 ، أي عن تباين المطال اللحظي للأمواج السجل الزمني المنطوق بالمنطقة البحرية المدروسة عن قيمة وسطى $\zeta = 0$.

في حين تعبر المساحة $m_{\sigma\phi}$ اسفل منحنى طاقة الاستجابة S_{ϕ} للسفينة المتأرجحة عرضياً على الامواج

الحقيقية المسطحة، عن الطاقة الكلية لاستجابة السفينة، أي عن توزيع طاقة استجابة السفينة على الامواج الجيبية المنتظمة المركبة للموجة الحقيقية المسطحة. وفي نفس الوقت فان هذه المساحة تعبر إحصائياً عن مربع الانحراف المعياري σ^2 ، أي عن تباين التآرجحات العرضية للسفينة عن قيمة وسطى تمثل وضع التوازن الاولي للسفينة (مستوي التناظر منطبق على سطح الموجة) $\phi = 0$. تحسب هذه المساحة برمجياً باستخدام الطرق الرقمية المعروفة في علوم الرياضيات وذلك من خلال مكاملة تابع الكثافة الطيفي لاستجابة السفينة S_{ϕ} على كامل مجال التردد وذلك على النحو الاتي:

(5)

$$m_{\sigma\phi} = \int_0^{\infty} \quad (6)$$

يساعد حساب $m_{\sigma\phi}$ في تحديد البارامترات الاحصائية المميزة لاستجابة السفينة المتأرجحة عرضياً على الامواج الحقيقية (السعة الوسطية للتأرجح العرضي ϕ_A ، السعة الفعالة $\phi_{A1/3}$ ، السعة مع 3% امان $\phi_{A3\%}$) وذلك بالاعتماد على العلاقات الآتية [9]:

السعة الوسطية للتأرجحات العرضية العشوائية:

(7)

السعة الفعالة للتأرجحات العرضية العشوائية وهي تمثل السعة الوسطى للثلث الأعلى من التآرجحات في

السجل الزمني لاستجابة السفينة:

(8)

السعة مع 3% امان للتأرجحات العرضية العشوائية وهي سعة التأرجح العرضي التي يبلغ احتمال تجاوزها 3% بمعنى ان كل 100 تأرجح عرضي للسفينة هناك 3 تأرجحات ستتجاوز هذه السعة، وبالتالي فهي تشكل مؤشرا واضحا عن مجال التأرجحات الذي تتغير ضمنه زوايا الميلان العرضي للسفينة مع الزمن:

(9)

سمحت الحسابات التي أجريتها استخدام العلاقات (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. وحتى (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. بدراسة تأثير كل من عرض السفينة وسرعتها وزاوية خط سيرها بالنسبة إلى الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج، إضافة إلى تأثير بارامترات الوسط المحيط كسرعة الرياح v_w والارتفاع الفعال للموجة $H_{\frac{1}{3}}$ على سعة التأرجح العرضي ϕ التي يبلغ احتمال تجاوزها 3%.

النتائج والمناقشة

بناءً على النموذج الرياضي المقترح وباستخدام البرنامج الحاسوبي المصمم لهذه الغاية بلغة (Visual Studio) تم حساب منحنى السعة مع 3% امان لسفينة حاويات تتمتع بالمواصفات التالية:

$$L = 268,38 [m], B = 32,16 [m], T = 9,144 [m], H = 15,24 [m]$$

$$C_w = 0,6413, \delta = 0,5072, \rho = 1,025 t/m^3, h_o = 3,216 [m]$$

حيث L, T, B, H الأبعاد الرئيسية للسفينة، h_o ارتفاع الميتاسنتر العرضي، ρ كثافة المياه، δ معامل امتلاء البدن، C_w معامل امتلاء خط الماء.

استخدم البرنامج لحالات مختلفة من سرعة السفينة وزاوية خط سيرها بالنسبة إلى الأمواج واستنادا لنتائج البرنامج تم دراسة تأثير عرض السفينة إضافة إلى تأثير سرعة السفينة وزاوية خط سيرها على سعة التأرجح العرضي عند إبحار السفينة على الأمواج المسطحة.

1. تأثير سرعة السفينة على سعة التأرجح العرضي عند قيم مختلفة للعرض:

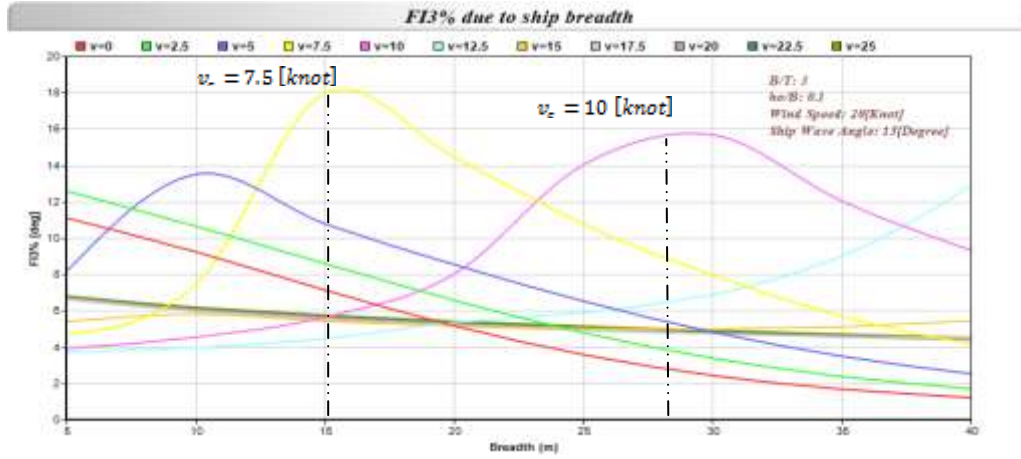
تؤثر سرعة السفينة وبغض النظر عن عرضها، بشكل فعال على سعة التأرجحات العرضية عند القيمة المختارة لعرض السفينة، إلا ان هذا التأثير يختلف تبعا لزاوية خط سير السفينة بالنسبة إلى الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج، لذلك لا بد من دراسة تأثير سرعة السفينة في الحالات الآتية:

1.1. السفينة مبحرة ضمن مجال زوايا خط السير 1.1.1:

سمحت الحسابات التي أجريت باستخدام العلاقات السابقة بإنشاء منحنى تغير السعة مع 3% امان عند قيم متزايدة لسرعة السفينة بمقدار $\Delta v = 2.5 [kt]$ وذلك على كامل مجال زوايا خط السير $\gamma < 90'$ مع مراعاة ثبات باقي بارامترات السفينة المعبرة عن حالة التحميل $\frac{h_o}{B}$ ، وبارامترات الوسط المحيط كسرعة الرياح v_w ، والارتفاع الفعال للموجة الحقيقية $H_{\frac{1}{3}}$.

يبين خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (منحنيات تغير السعة مع 3% امان كتابع لعرض السفينة عند قيم مختلفة لسرعة السفينة المبحرة على زاوية خط سير $\gamma = 15'$ بالنسبة إلى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج في

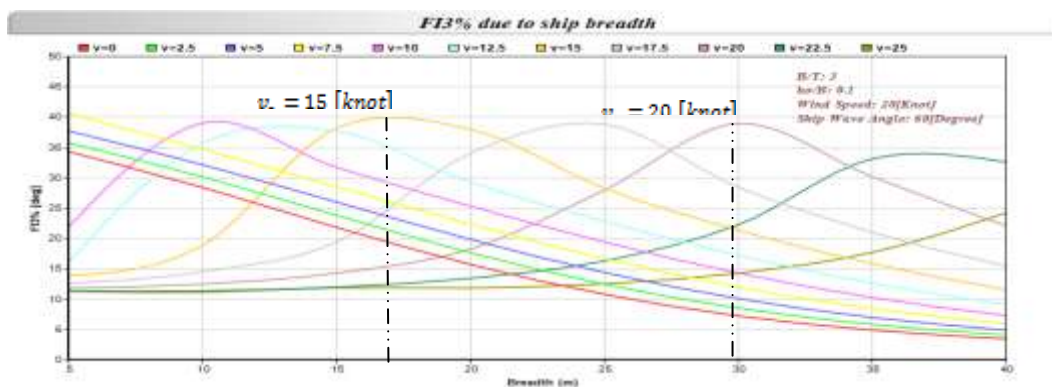
ظروف مناخية متمثلة برياح سرعتها $v_w = 20 [kt]$ ، وأمواج ارتفاعها الفعال $H_{\frac{1}{3}} = 4.318 [m]$ ، وبحالة تحميل متمثلة بـ $\frac{h_0}{B} = 0.1$.



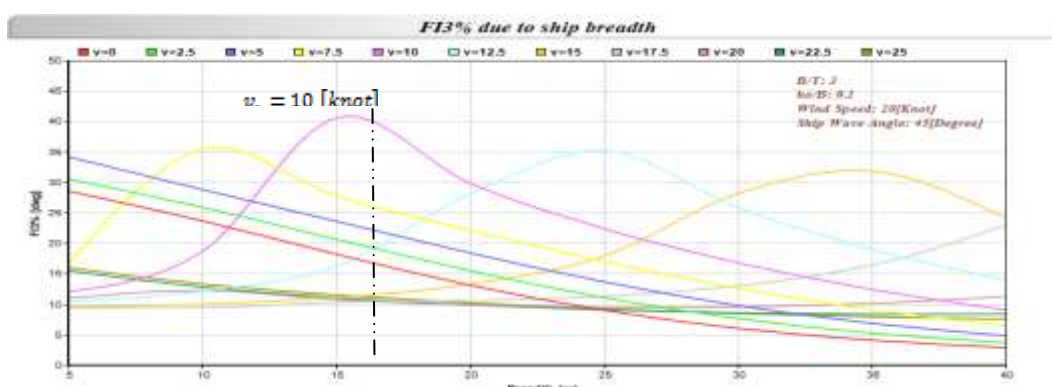
الشكل (1) السعة مع 3% امان كتابع لعرض السفينة عند $v=15^\circ$ وقيم مختلفة لسرعة السفينة.

تظهر منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) انه من اجل كل سرعة إبحار مفروضة هناك مجال معين من العرض التصميمي تكون عنده التآرجحات العرضية أعظمية، في حين تكون التآرجحات في حدودها الدنيا خارج هذا المجال، ينزاح هذا المجال باتجاه القيم الأعلى للعرض عند زيادة السرعة.

لا تؤدي بالضرورة زيادة السرعة الاستثمارية للسفينة عند العرض التصميمي المختار إلى تناقص سعة التآرجحات العرضية. حيث أن زيادة السرعة الاستثمارية للسفينة عند قيمة معينة للعرض تؤدي إلى زيادة السعة مع 3% امانحتى بلوغ السفينة سرعة معينة v_c تعرف بالسرعة الحرجة حيث تبدأ بعدها التآرجحات العرضية بالانخفاض. تزداد قيمة السرعة الحرجة اللازمة لإحداث انخفاض واضح في التآرجحات العرضية تصميمياً تبعاً لزيادة عرض السفينة، حيث تبلغ حوالي $v_c = 7.5 [kt]$ عند العرض $B = 16 [m]$ في حين تبلغ $v_c = 10 [kt]$ عند العرض $B = 28 [m]$. كما تزداد قيمة السرعة v_c استثمارياً عند نفس العرض تبعاً لزيادة زاوية خط سير السفينة بالنسبة إلى الامواج، فمن اجل سفينة عرضها $B = 16 [m]$ تكون قيمة السرعة $v_c = 7.5 [kt]$ عند ابحار السفينة بزاوية خط سير $\gamma = 15^\circ$ بالنسبة إلى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج وذلك كما تبين منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.)، في حين تصبح قيمة السرعة الحرجة $v_c = 15 [kt]$ عند زاوية خط سير $\gamma = 60^\circ$ على سبيل المثال، وذلك كما تبين منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.)



الشكل (2) السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند وقيم مختلفة لسرعة السفينة.



الشكل (3) السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند وقيم مختلفة لسرعة السفينة.

تبقى النتائج السابقة صحيحة عند مختلف زوايا خط السير الواقعة ضمن المجال $\gamma < 90^\circ$ ، وذلك كما تؤكد منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. لسفينة مبحرة بزواوية خط سير $\gamma = 60^\circ$ ، وخطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. لسفينة مبحرة بزواوية خط سير $\gamma = 45^\circ$.

ينبغي الإشارة أيضا إلى ان التآرجحات العرضية للسفن العريضة تبقى أقل من تآرجحات السفن الأصغر المبحرة بنفس السرعة وزواوية خط السير وذلك طالما ان سرعة الإبحار اصغر من السرعة الحرجة v_c للسفينة الاصغر.

تعطى السرعة الحرجة الموافقة للقيمة العظمى لتردد الذروة الطنينية الأولى من منحنى الخاصية السعوية لسفينة تبحر بزواوية خط سير معينة على أمواج منتظمة بالعلاقة الآتية [6]:

$$10)$$

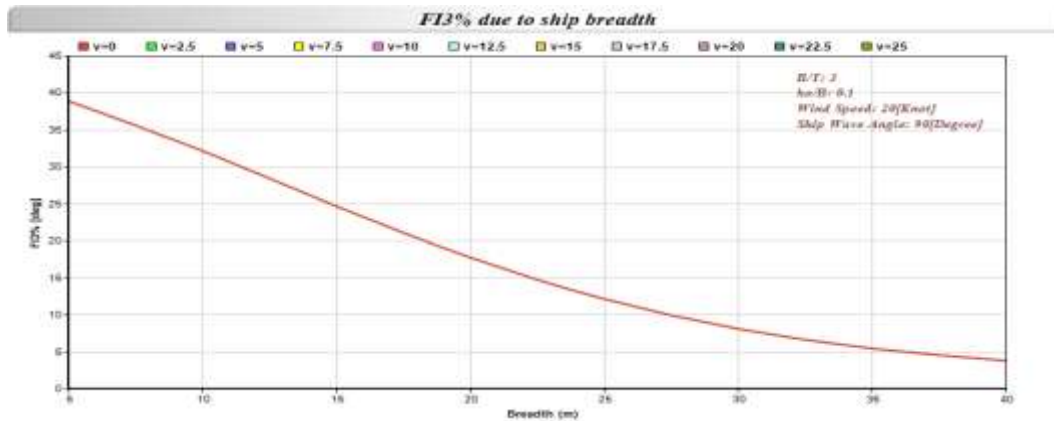
لوحظ عند استخدام هذه العلاقة لتخمين السرعة الحرجة لسفن تبحر على أمواج مسطحة أنها تعطي قيما تتفق إلى حد كبير مع القيم المستنتجة من منحنيات الأشكال السابقة، حيث تبلغ السرعة الحرجة اللازمة لتخفيض التآرجحات العرضية وبحسب منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (حوالي $v_c = 20 [kt]$ لسفينة عرضها $B = 30 [m]$ مبحرة على امواج مسطحة بزواوية خط سير $\gamma = 60^\circ$ بالنسبة الى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج في حين ان قيمة السرعة الحرجة اعتمادا على العلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. تبلغ $v_c = 20.5 kt$. كما تبلغ السرعة الحرجة اللازمة لتخفيض التآرجحات العرضية وبحسب منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير

معروفة.) حوالي $v_c = 10 [kt]$ وذلك لسفينة عرضها $B = 15 [m]$ مبحرة على امواج مسطحة بزواوية خط سير $\gamma = 45^\circ$ بالنسبة الى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج في حين ان قيمة السرعة الحرجة اعتمادا على العلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. تبلغ $v_c = 10.27 [kt]$.

بناء على ذلك يمكن اعتماد العلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. لتخمين قيمة السرعة الحرجة الموافقة لذروة التآرجحات العرضية لسفينة مبحرة على أمواج حقيقية مسطحة عند حالة تحميل محددة وزاوية خط سير معينة تقع ضمن المجال $\gamma < 90^\circ$.

2. 1 . السفينة مبحرة بشكل متعامد مع الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج . 1 . 1 :

يبين خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) منحنيات تغير السعة مع 3% امان كتابع لعرض السفينة عند قيم مختلفة لسرعة السفينة المبحرة على زاوية خط سير $\gamma = 90^\circ$ بالنسبة الى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج في ظروف مناخية متمثلة برياح سرعتها $v_w = 20 [kt]$ ، وأمواج ارتفاعها الفعال $H_{\frac{1}{3}} = 4.318 [m]$ ، وبحالة تحميل $\frac{h_0}{B} = 0.1$.

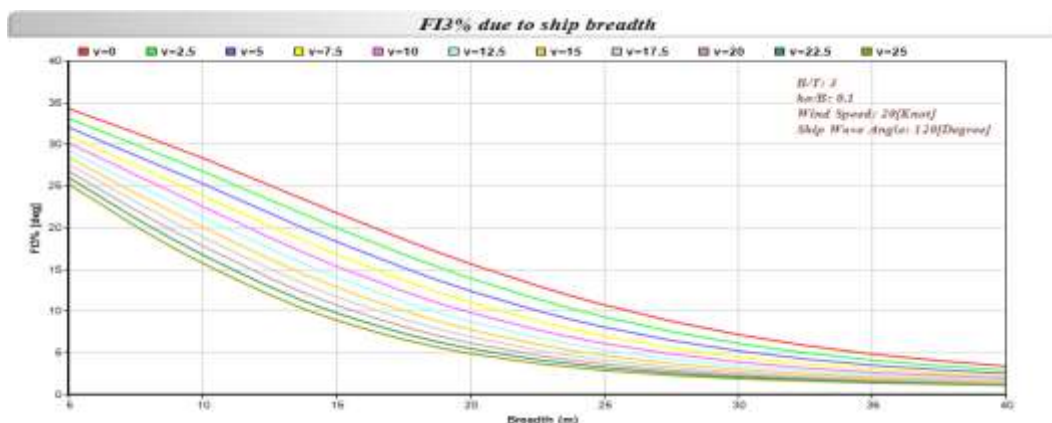


الشكل (4) السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند قيم مختلفة لسرعة السفينة.

يلاحظ من خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) ان سرعة السفينة لا تؤثر على سعة التآرجح العرض عند إبحار السفينة بشكل متعامد مع الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج وذلك مهما كان عرض السفينة.

3. 1 . السفينة مبحرة ضمن مجال زوايا خط السير $\gamma < 90^\circ$. 1 . 1 :

يبين خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) منحنيات تغير سعة التآرجح العرضي كتابع لعرض السفينة عند قيم مختلفة لسرعة السفينة المبحرة على زاوية خط سير $\gamma = 120^\circ$ بالنسبة الى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج في ظروف مناخية متمثلة برياح سرعتها $v_w = 20 [kt]$ ، وأمواج ارتفاعها الفعال $H_{\frac{1}{3}} = 4.318 [m]$ ، وبحالة تحميل متمثلة ب $\frac{h_0}{B} = 0.1$.



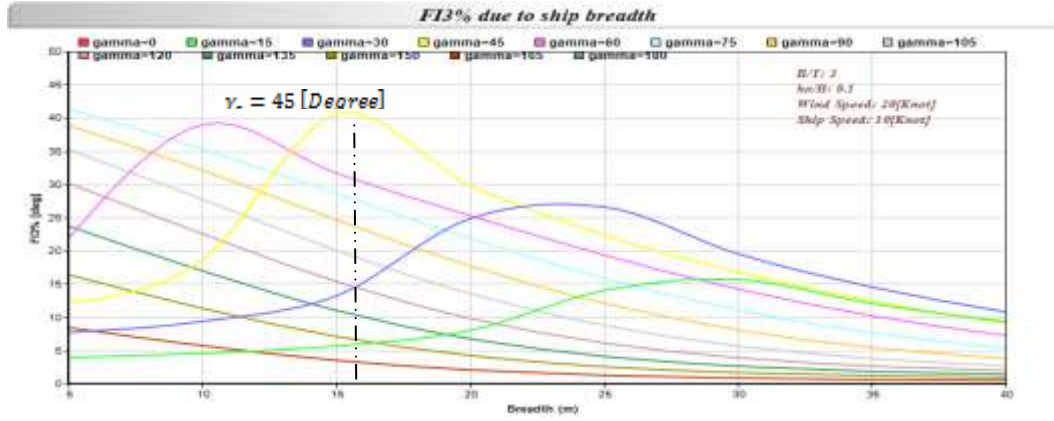
الشكل (5) السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند وقيم مختلفة لسرعة السفينة.

تظهر منحنيات الشكل السابق ان زيادة سرعة السفينة تؤدي بالعموم إلى تناقص سعة التآرجحات العرضية عند أي قيمة مفروضة لعرض السفينة، إلا ان هذا التأثير يكاد يكون مهملا عند القيم الكبيرة لعرض السفينة، في حين يكون أكثر وضوحا عند القيم الصغيرة لعرض السفينة. إن زيادة سرعة سفينة عرضها $B = 30 [m]$ من $v = 0 [kt]$ إلى $v = 25 [kt]$ ستؤدي إلى انخفاض التآرجحات العرضية بحدود 5° فقط، لكن من أجل سفينة اصغر عرضها $B = 15 [m]$ ، ستؤدي نفس الزيادة السابقة في السرعة إلى حدوث تناقص واضح في التآرجحات العرضية بحدود 15° ، وهذا ما يشير إلى ان استخدام عامل السرعة في السفن الاصغر يكون أكثر فاعلية مقارنة مع استخدامه في السفن الاكبر، طبعاً لا بد من الإشارة هنا إلى ان السفن الكبيرة بطبيعة الحال تكون أقل تأثراً بالظروف المناخية والبحرية من السفن الصغيرة حيث لا تتعدى التآرجحات العرضية للسفن الضخمة 5° حتى بعد اطفاء المحركات في ظروف مناخية متمثلة برياح تصل سرعتها إلى $v_w = 20 [kt]$ ، في حين تصل إلى 25° في السفن الصغيرة عند نفس الظروف المناخية.

2 . تأثير زاوية خط سير السفينة على سعة التآرجحات العرضية:

لا تعتبر دراسة تأثير زاوية خط السير على سعة التآرجحات العرضية كتابع لعرض السفينة ذات ثقل علمي كبير إذ ان السفينة تمتلك حرية الإبحار ضمن كامل مجال زوايا الخط السير مهما كان عرضها. إلا ان دراسة هذا الجانب يعطي فكرة اوسع عن تغيرات منحنى السعة مع 3% امان عند مختلف زوايا خط السير، كما تعطي مؤشر واضح عن سعة التآرجحات العرضية المتوقعة عند مختلف زوايا خط السير خصوصاً وان المنحنيات المعدة هي منحنيات لا بعيدة صالحة للتطبيق عند مختلف بارامترات السفينة والوسط المحيط، كما تساهم تغطية تأثيرات زاوية خط السير في تأكيد ما تم الوصول إليه من استنتاجات سابقة اثناء دراسة تأثير سرعة السفينة عند مختلف زوايا خط السير. يمكن الوصول إلى نفس الاستنتاجات السابقة عند تمثيل منحنى تغير سعة التآرجح العرضي كتابع لعرض السفينة عند قيم متزايدة لزاوية خط السير γ بمقدار $\Delta\gamma = 15^\circ$ وذلك عند أي قيمة مختارة لسرعة السفينة.

يبين خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) منحنيات تغير سعة التآرجح العرضي كتابع لعرض السفينة عند قيم مختلفة لزاوية خط سير السفينة بالنسبة إلى الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج، وذلك لسفينة مبحرة على امواج حقيقية جبهية عند سرعة $v = 10 [kt]$ في ظروف مناخية متمثلة برياح سرعتها $v_w = 20 [kt]$ ، وامواج يصل ارتفاعها الفعال إلى $H_s = 4.318 [m]$ ، وبحالة تحميل متمثلة بـ $\frac{h_0}{B} = 0.1$.



الشكل (6) السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند وقيم مختلفة لزواية خط السير.

ليس من الضروري ان تكون السفن المعرض هي الاقل استجابة للأمواج المسطحة من السفن الاقل عرضاً عند ابحارها بنفس السرعة وزاوية خط السير، فمن اجل قيمة معينة لزواية خط السير γ يلاحظ وجود مجال معين من العرض تكون عنده التآرجحات العرضية أعظمية، في حين تكون في حدودها الدنيا خارج هذا المجال، ينزاح هذا المجال باتجاه القيم الادنى للعرض عند زيادة زاوية خط السير.

كما يبدو أيضا ان التآرجحات العرضية لسفينة عرضها B ستزداد مع زيادة زاوية خط سير السفينة بالنسبة الى الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج الى ان تبلغ زاوية خط السير قيمة معينة تعرف بالزاوية الحرجة γ_c تبدأ بعدها التآرجحات العرضية بالتناقص.

يكون زيادة سعة التآرجحات العرضية مع زيادة زاوية خط السير على شكل قفزات واسعة عند ابحار السفينة ضمن مجال الزوايا $\gamma < \gamma_c$ ، في حين يكون تناقص شدة التآرجحات منسابة وتدرجياً عند ابحار السفينة بزوايا خط سير $\gamma > \gamma_c$ وذلك بغض النظر عن عرض السفينة.

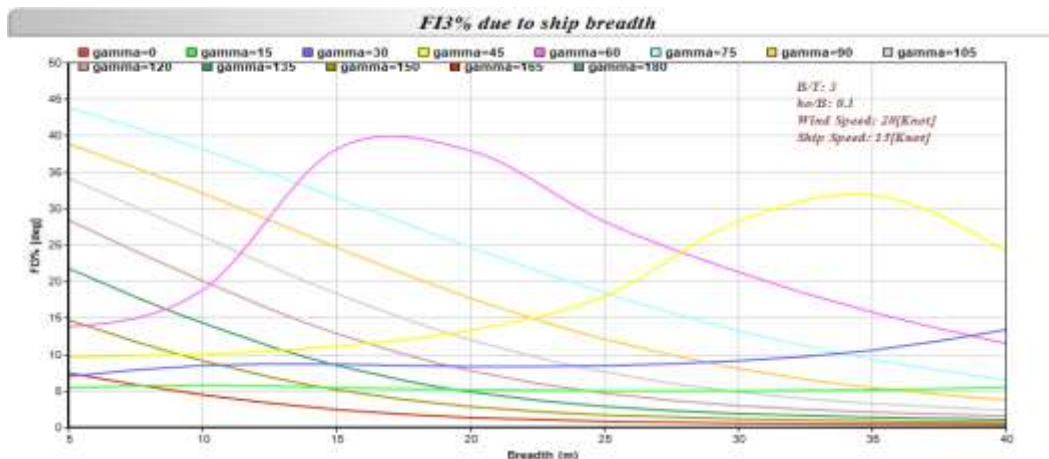
تختلف قيمة الزاوية γ_c تصميماً تبعاً لعرض السفينة المبحرة بسرعة معينة، كما تختلف استثمارياً أيضاً تبعاً لسرعة ابحار السفينة ذات العرض المعبر، فكما تبين منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (فان التآرجحات العرضية للسفينة ذات العرض $B = 15 [m]$ والمبحرة بسرعة $v = 10 [kt]$ ستبدأ بالتناقص بالابتعاد عن زاوية خط السير $\gamma_c = 45^\circ$ ، أما عند ابحار السفينة بسرعة $v = 15 [kt]$ فان التآرجحات العرضية ستبدأ بالتناقص بالابتعاد عن زاوية خط السير $\gamma_c = 60^\circ$ ، وذلك كما هو مبين في خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.)

تؤكد منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (انه ليس بالضرورة ان تتعرض السفينة المبحرة على الأمواج الحقيقية المسطحة، مهما كان عرضها، إلى اشد التآرجحات العرضية خطراً على امانها التوازني عند زاوية خط سير $\gamma_c = 90^\circ$ ، وانما قد تحدث اشد التآرجحات خطراً عند زوايا خط سير γ_c تقع تحديداً ضمن المجال $\gamma < 90^\circ$.

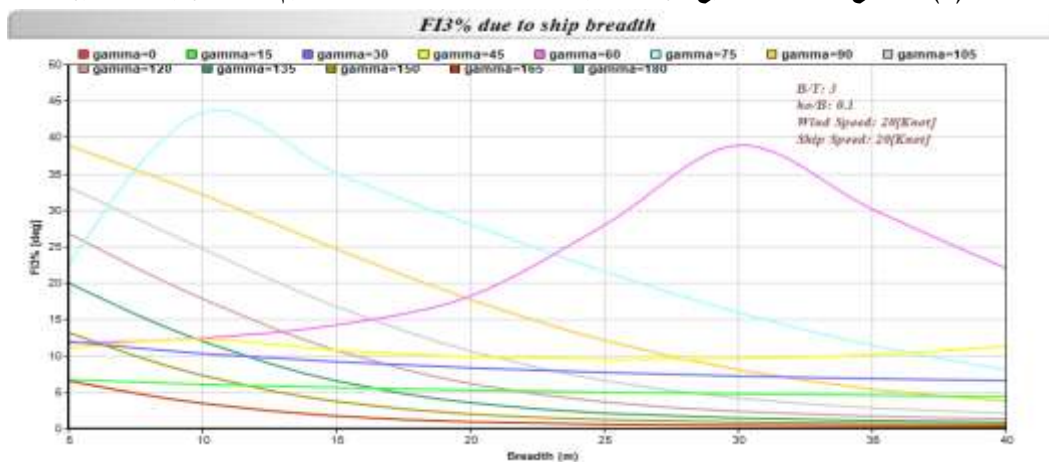
يبدو من منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (على سبيل المثال ان السفن ذات العرض $B = 15 [m]$ والمبحرة بسرعة $v = 10 [kt]$ ستخضع لأشد التآرجحات العرضية خطراً عند زاوية خط السير $\gamma_c = 45^\circ$ ، كما تؤكد منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (الا ان نفس السفن ستخضع لأشد التآرجحات

العرضية خطراً عند زاوية خط السير $\gamma_c = 60^\circ$ ، وفي كلتا الحالتين تكون سعة التآرجحات العرضية عند إبحار السفينة بشكل متعامد مع الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج اقل. وبالتالي يعتبر الإبحار عموماً ضمن مجال زوايا خط السير $90^\circ < \gamma < 180^\circ$ اقل عرضة لخطر التآرجحات العرضية الشديدة لجميع أنواع السفن مهما كان عرضها.

تبقى النتائج السابقة صحيحة عند مختلف زوايا خط السير، وذلك كما تؤكد منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة). لسفينة مبحرة بسرعة $v = 15 [kt]$ ، وخطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة). لسفينة مبحرة بسرعة $v = 20 [kt]$.



الشكل (7) السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند وقيم مختلفة لزاوية خط السير.



الشكل (8) السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند وقيم مختلفة لزاوية خط السير.

لا بد من الإشارة إلى ان التبدل في سلوك منحنيات السعة مع 3% امان كتابع لعرض السفينة المبحرة بسرعة v ، سيحدث دائما عند الزاوية الحرجة γ_c ، حيث ان زيادة عرض السفينة عند أي قيمة لزاوية خط السير $\gamma > \gamma_c$ ستؤدي الى تناقص التآرجحات العرضية على كامل مجال العرض في حين انها ستؤدي الى ظهور مجال معين من العرض تكون عنده التآرجحات العرضية أعظمية عند إبحار السفينة عند زاوية خط سير $\gamma < \gamma_c$ ، وذلك كما هو مبين في الشكل السابق.

تحتسب الزاوية الحرجة الموافقة لذروة التآرجحات العرضية لسفينة تبحر بسرعة معينة v بإجراء بعض التعديلات الرياضية على العلاقة (10)، وذلك على النحو الآتي:

(11)

تتوافق القيم المحسوبة بالعلاقة السابقة مع القيم المقروءة من منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) عند القيم المختلفة لعرض السفينة، حيث ان الزاوية الحرجة بحسب منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (لسفينة عرضها $B = 15 [m]$ مبحرة بسرعة $v = 10 [kt]$ حوالي $\gamma_c = 45$ في حين تبلغ $\gamma_c = 43.4$ اعتماداً على العلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) ، كما تبلغ الزاوية الحرجة وبحسب منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (لسفينة عرضها $B = 30 [m]$ مبحرة بسرعة $v = 20 [kt]$ حوالي $\gamma_c = 60$ في حين تبلغ $\gamma_c = 59.1$ اعتماداً على العلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.)

3 . تأثير عرض السفينة على سعة التآرجح العرضي عند قيم مختلفة للسرعة:

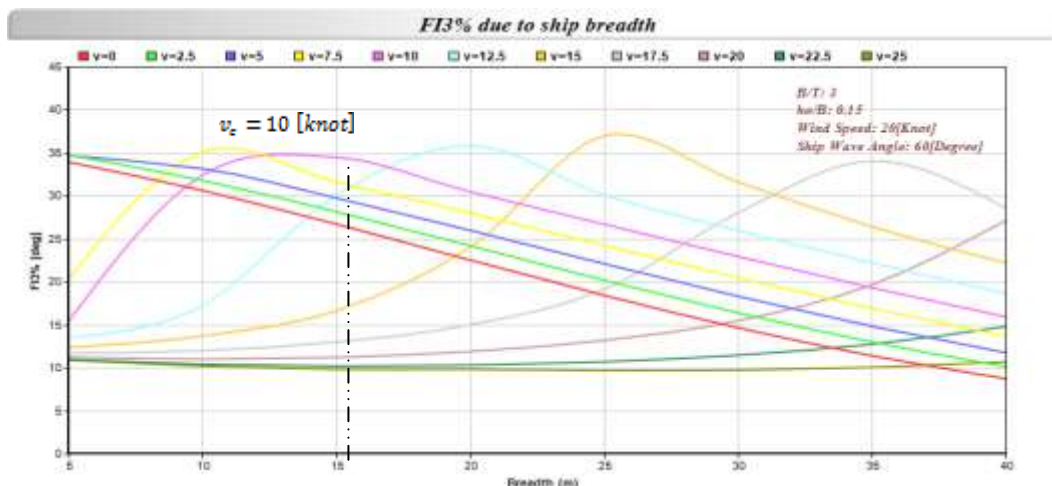
يؤثر عرض السفينة بشكل فعال على سعة التآرجحات العرضية، الا ان هذا التأثير يختلف تبعاً لسرعة السفينة وزاوية خط سير السفينة بالنسبة إلى الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج، لذلك لابد من دراسة تأثير عرض السفينة في الحالات الآتية:

3 . 1 . السفينة مبحرة ضمن مجال زوايا خط السير 1 . 1 :

سمحت الحسابات التي أجريت باستخدام العلاقات السابقة بإنشاء منحنى تغير السعة مع 3% امان عند قيم متزايدة لسرعة السفينة بمقدار $\Delta v = 2.5 [kt]$ وذلك على كامل مجال زوايا خط السير $\gamma < 90$ مع مراعاة ثبات باقي بارامترات السفينة المعبرة عن حالة التحميل $\frac{h_0}{B}$ ، وبارامترات الوسط المحيط كسرعة الرياح v_w ، والارتفاع الفعال للموجة الحقيقية $H_{\frac{1}{3}}$.

يبين خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (منحنيات تغير السعة مع 3% امان كتابع لعرض السفينة عند قيم مختلفة لسرعة السفينة المبحرة على زاوية خط سير $\gamma = 60$ بالنسبة الى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج في ظروف مناخية متمثلة برياح سرعتها $v_w = 20 [kt]$ ، وامواج ارتفاعها الفعال $H_{\frac{1}{3}} = 4.318 [m]$ ، وبحالة تحميل

$$\frac{h_0}{B} = 0.15$$



الشكل (9) السعة مع امان عند ، ، وقيم مختلفة لسرعة السفينة.

تظهر منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) انه لكل سفينة مهما كان عرضها قيمة معينة للسرعة v تكون عندها التآرجحات العرضية اعظمية، تزداد قيمة هذه السرعة مع زيادة عرض السفينة، حيث تبلغ قيمة السرعة الحرجة حوالي $v_c = 10 [kt]$ للسفينة ذات العرض $B = 15 [m]$ ، عند ابحارها على زاوية خط سير قدرها $\gamma = 60^\circ$ ، في حين تبلغ حوالي $v_c = 17.5 [kt]$ للسفينة ذات العرض $B = 35 [m]$.

ليس من الضروري ان تؤدي زيادة عرض السفينة عند قيمة معينة للسرعة v وزاوية خط السير γ الى تناقص التآرجحات العرضية، حيث قد تؤدي زيادة العرض عند سرعة ما الى زيادة التآرجحات العرضية حتى قيمة معينة للعرض تعرف بالعرض الحرج B_c لوحظ انه بالإمكان حسابها بإجراء بعض التعديلات الرياضية على العلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. مع الاخذ بالحسبان ان التردد الذاتي للتآرجحات العرضية يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\omega_{0\phi} = \frac{2\pi}{T_\phi} = \frac{2\pi\sqrt{h_0}}{CB} = \frac{2\pi}{C} \sqrt{\frac{h_0/B}{B}}$$

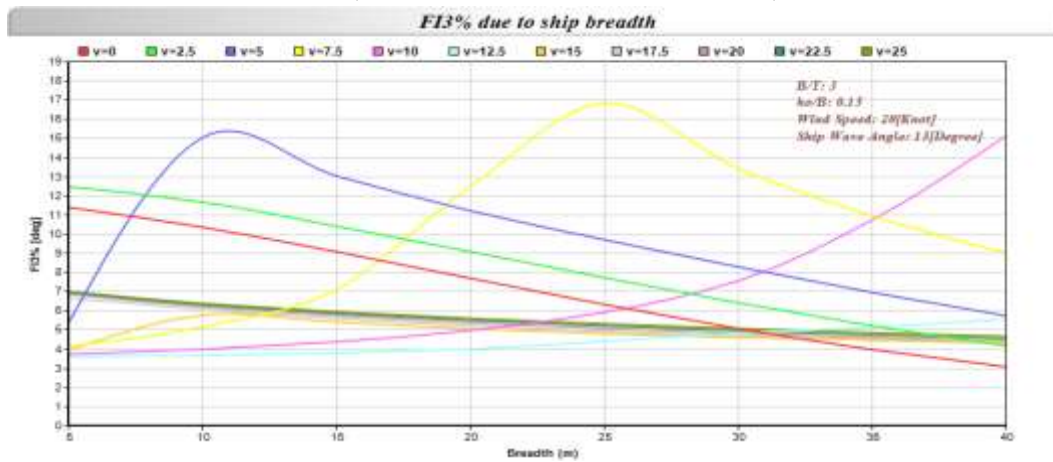
ومنه:

$$B_c = \frac{2\pi}{C} \sqrt{\frac{h_0}{\omega_{0\phi}^2}} \quad (12)$$

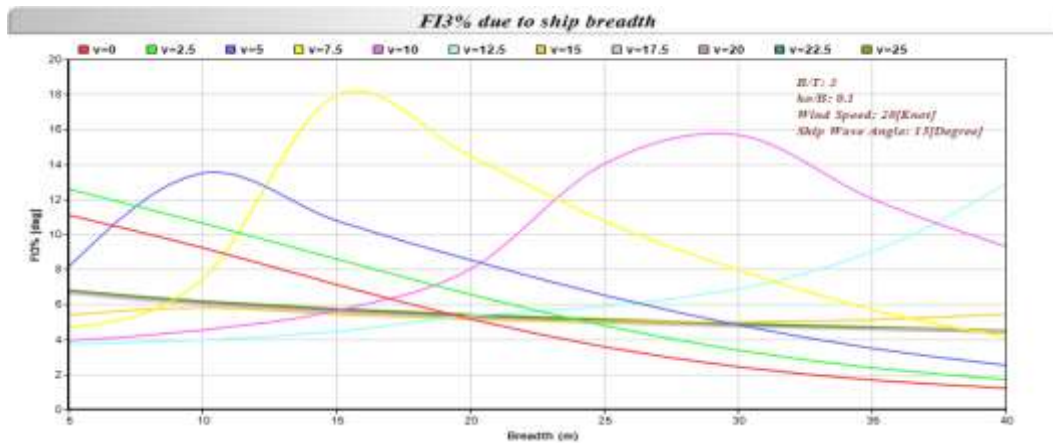
حيث C معامل العطالة. تعطى القيم الوسطى لهذا المعامل جدولياً.

تتفق قيمة العرض المحسوبة باستخدام هذه العلاقة وتقريب مقبول مع قيمة العرض المقابل لذروة التآرجحات العرضية عند السرعة وزاوية خط السير وحالة التحميل المعتبرة. تسبب زيادة العرض التصميمي للسفينة فوق هذه القيمة تناقص التآرجحات العرضية عند السرعة وزاوية خط السير المعتبرة. يعتبر تأثير زيادة العرض التصميمي للسفينة عن قيمة اولية B_0 ايجابيا طالما ان السرعة التصميمية للسفينة اصغر من السرعة الحرجة v_c عند زاوية خط السير المعتبرة، في حين ان التفكير في زيادة عرض سفينة سرعتها التصميمية اكبر من السرعة الحرجة سيضع السفينة في احتمالية التعرض لتآرجحات عرضية شديدة، فعلى اعتبار ان السرعة التصميمية للسفينة ذات العرض $B = 15 [m]$ هي $v = 15 [kt]$ أي اكبر من السرعة الحرجة $v_c = 10 [kt]$ ، فان زيادة العرض الاولي للسفينة المذكورة عن قيمته الاولية سيؤدي إلى زيادة التآرجحات العرضية للسفينة.

تبقى النتائج السابقة صحيحة من اجل مختلف الظروف المناخية والاستثمارية وذلك بحسب ما تبينه منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) وخطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.)



الشكل (10) السعة مع امان عند ، ، وقيم مختلفة لسرعة السفينة.



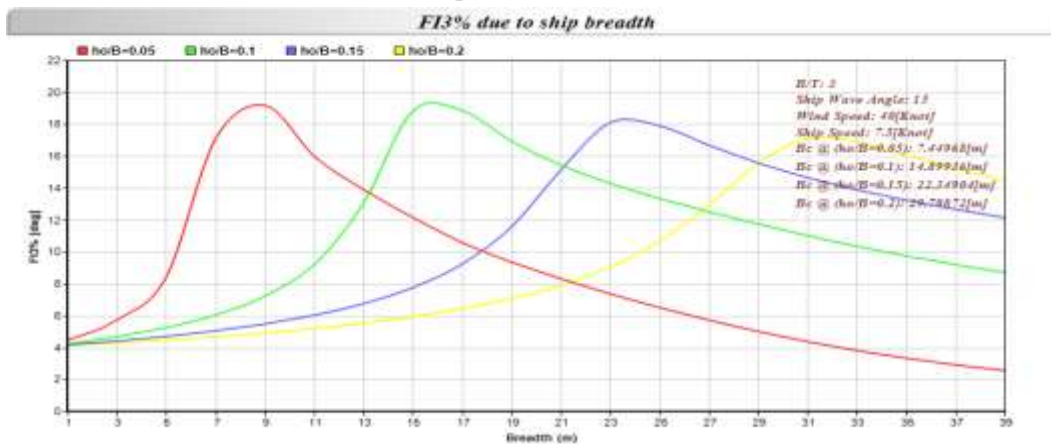
الشكل (11) السعة مع امان عند ، ، وقيم مختلفة لسرعة السفينة.

لابد من الإشارة هنا إلى ان السرعة الحرجة للسفينة ذات العرض B تتعلق بشكل مباشر بزواوية خط السير γ ، لذلك ينصح اولاً بتحديد اخطر زاوية خط سير على السفينة المدروسة عند القيمة المطلوبة للسرعة التصميمية وذلك عند مختلف الظروف المناخية اعتماداً على العلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) ، ثم تحديد العرض الحرج الموافق لهذه الزاوية اعتماداً على العلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) واتخاذ القرار المناسب بشأن مقدار التغيير المطلوب للعرض التصميمي الاولي للسفينة B_0 . علماً ان زيادة عرض السفينة في حال كان اصغر من العرض الحرج تؤدي إلى زيادة التآرجحات العرضية في حين تؤدي إلى تخفيضها في حال كان عرض السفينة اكبر من العرض الحرج، وذلك كما تبينه منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.)

كما سمحت أيضا الحسابات التي أجريت باستخدام العلاقات السابقة بإنشاء منحنى تغير السعة مع 3% امان عند قيم متزايدة لحالة التحميل $\frac{h_0}{B}$ بمقدار $\frac{h_0}{B} = 0.05$ وذلك على كامل مجال زوايا خط السير $\gamma < 90^\circ$ مع مراعاة

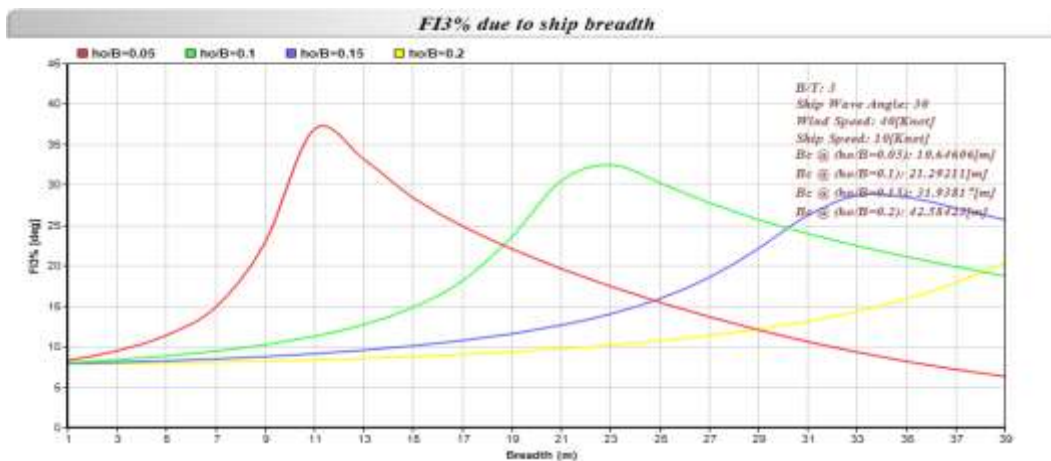
القيم المختلفة لسرعة السفينة، وذلك بثبات بارامترات الوسط المحيط كسرعة الرياح v_w ، والارتفاع الفعال للموجة الحقيقية $H_{\frac{1}{3}}$.

يبين خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (منحنيات تغير سعة التآرجح العرضي كتابع لعرض السفينة عند قيم مختلفة للنسبة $\frac{h_o}{B}$ وذلك لسفينة مبحرة بسرعة $v = 7.5 [kt]$ على زاوية خط سير $\gamma = 15^\circ$ بالنسبة الى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج في ظروف مناخية متمثلة برياح سرعتها $v_w = 40 [kt]$ ، واماوج يصل ارتفاعها الفعال إلى $H_{\frac{1}{3}} = 7.977 [m]$.)

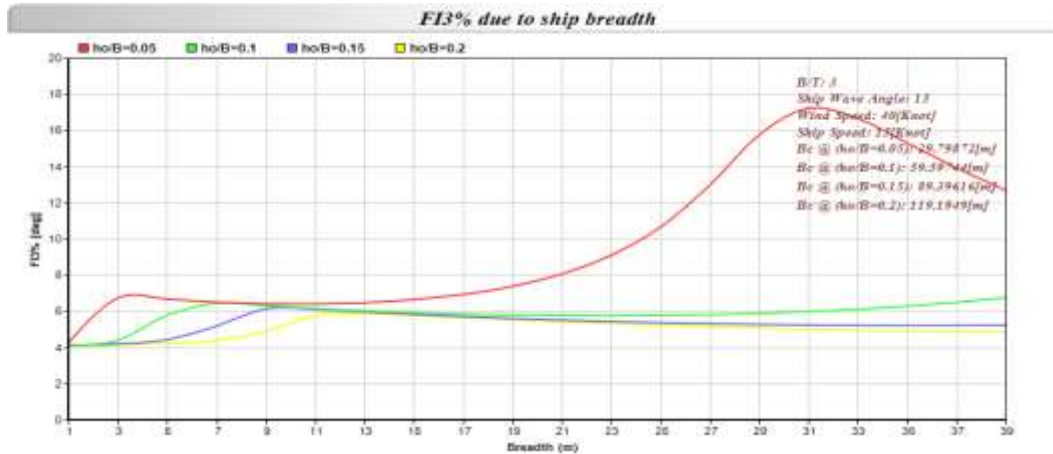


الشكل (12) السعة مع عند ، قيم مختلفة لحالة التحميل

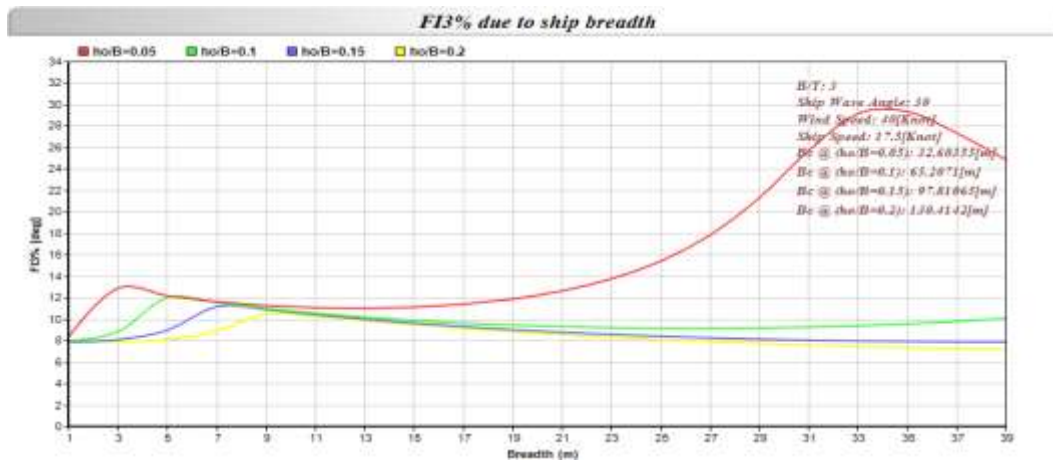
تبين منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (انه من اجل كل قيمة لحالة التحميل $\frac{h_o}{B}$ يوجد مجال معين من العرض تكون عنده التآرجحات العرضية اعظمية، يعرف العرض الموافق لذروة التآرجحات العرضية في هذا المجال بالعرض الحرج وبحسب بالعلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. . تبقى النتيجة السابقة صحيحة عند القيم المختلفة لسرعة السفينة وزاوية خط سيرها بالنسبة إلى الأمواج وذلك بحسب ما تبينهمنحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.)



الشكل (13) السعة مع عند ، قيم مختلفة لحالة التحميل



الشكل (14) السعة مع عند ، قيم مختلفة لحالة التحميل



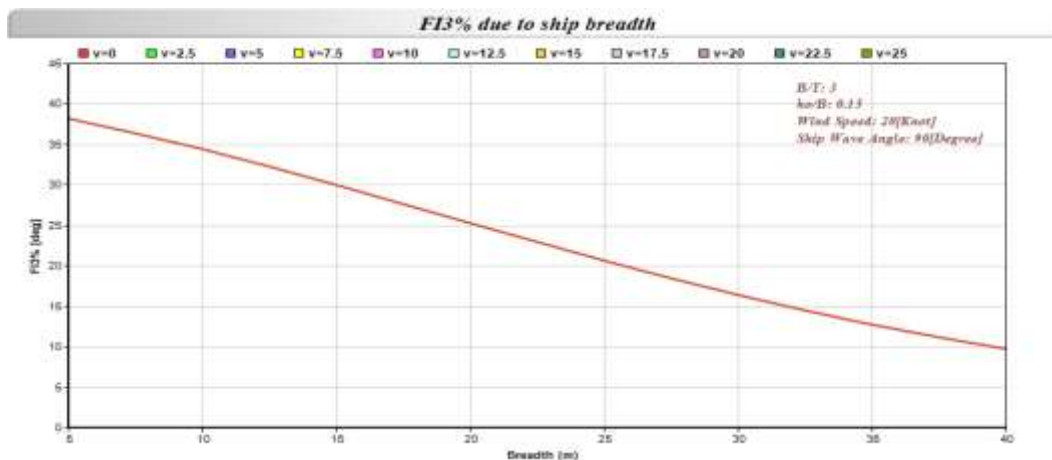
الشكل (15) السعة مع عند ، قيم مختلفة لحالة التحميل

يُعطى استخدام العلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة). عند زوايا خط السير المنخفضة والقيم العالية لسرعة السفينة قيمة كبيرة جداً للعرض الحرج B_c تقع خارج مجال القيم المقبولة لعرض السفينة، وبالتالي غياب العرض الحرج وذروة التآرجحات العرضية المقابلة له عن منحنيات استجابة السفينة، وهذا بدوره يؤكد على أن إجراء مترام لتخفيض زاوية خط السير مع زيادة سرعة السفينة وارتفاع الميناسنتر الاولي سيؤدي إلى الابتعاد عن حالة التآرجحات العرضية الشديدة لجميع السفن بغض النظر عن عرضها، كما أن إجراء كهذا سيحيد عامل العرض جانباً بحيث تستجيب السفينة الصغيرة بتأرجح عرضي مساو تقريباً لاستجابة السفينة الكبيرة المبحرة عند نفس الظروف المناخية والاستثنائية، وذلك كما هو مبين في خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (، وخطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة).

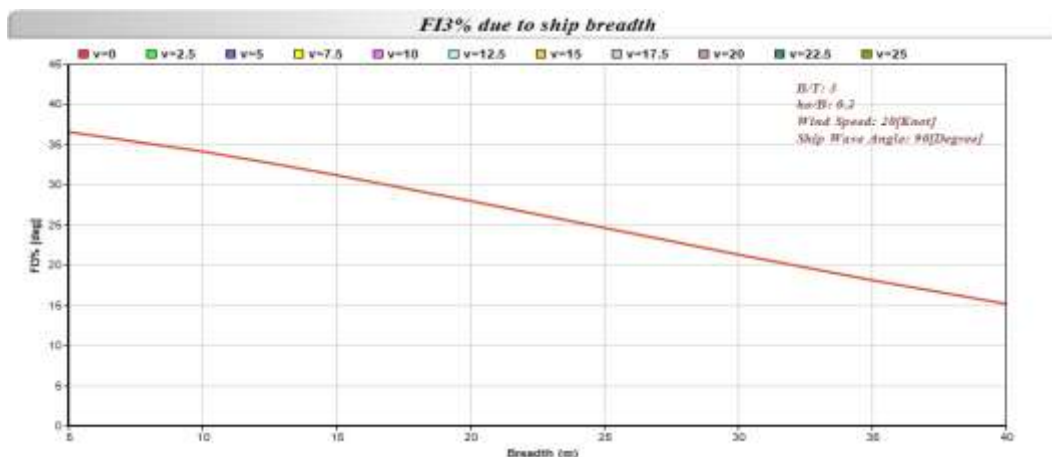
3. 2. السفينة مبحرة بشكل متعامد مع الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج (1.1.1):

يبين خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (منحنيات تغير السعة مع 3% امان كتابع لعرض السفينة عند قيم مختلفة لسرعة السفينة المبحرة على زاوية خط سير $\gamma = 90^\circ$ بالنسبة الى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج في

ظروف مناخية متمثلة برياح سرعتها $v_w = 20 [kt]$ ، واماوج ارتفاعها الفعال $H_{\frac{1}{3}} = 4.318 [m]$ ، وبحالة تحميل متمثلة بـ $\frac{h_0}{B} = 0.15$



الشكل(16)السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند ، وقيم مختلفة لسرعة السفينة. في حين يبين خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (نفس المنحنيات السابقة لكن عند إبحار السفينة بحالة تحميل $\frac{h_0}{B} = 0.2$



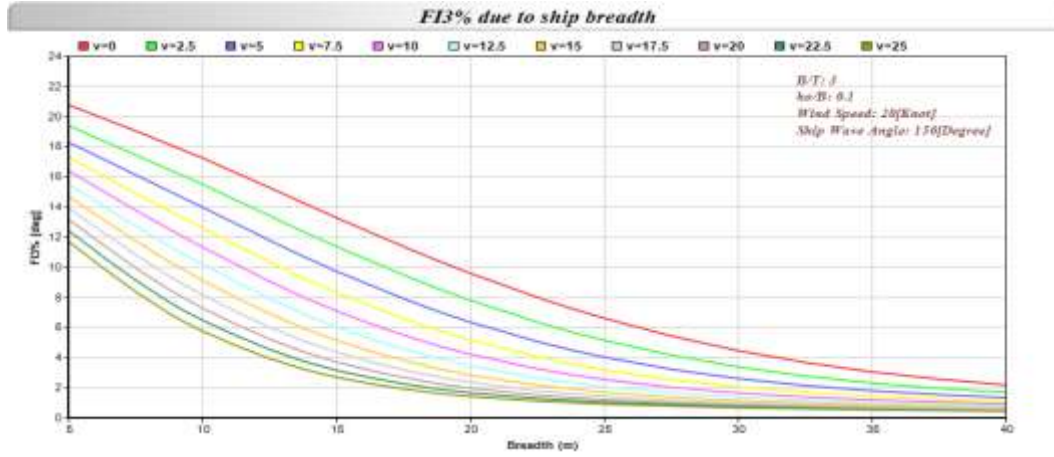
الشكل(17)السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند ، وقيم مختلفة لسرعة السفينة.

تظهر منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (وخطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) ان تأثير زيادة عرض السفينة على سعة التآرجحات العرضية ايجابيا بغض النظر عن سرعة السفينة او حالة تحميلها، وذلك عند إبحار السفينة بشكل متعامد مع الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج.

3. 3 . السفينة مبحرة ضمن مجال زوايا خط السير $\gamma < 90^\circ . 1 . 1$:

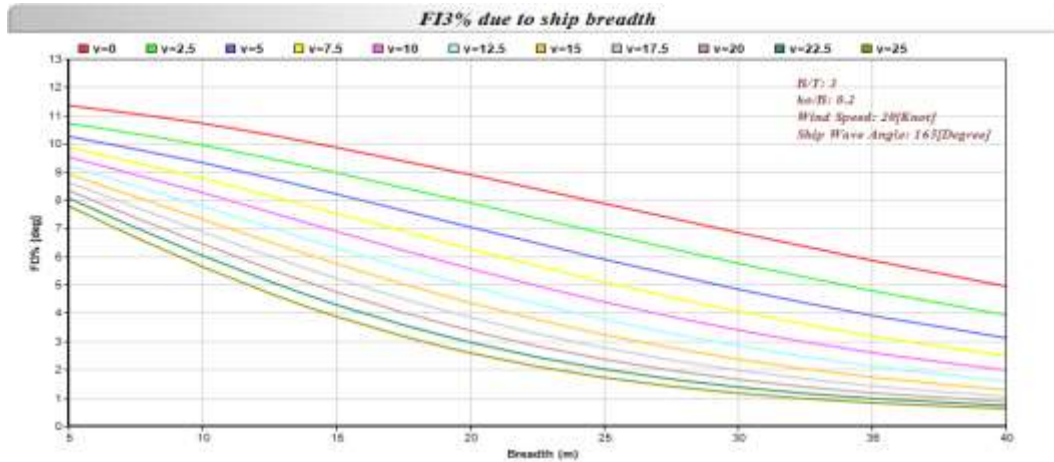
يبين خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (منحنيات تغير سعة التآرجح العرضي كتابع لعرض السفينة عند قيم مختلفة لسرعة السفينة المبحرة على زاوية خط سير $\gamma = 150^\circ$ بالنسبة الى الاتجاه الرئيسي لانتشار الامواج في

ظروف مناخية متمثلة برياح سرعتها $v_w = 20 [kt]$ ، واماوج ارتفاعها الفعال $H_{\frac{1}{3}} = 4.318 [m]$ ، وبحالة تحميل متمثلة ب $\frac{h_0}{B} = 0.1$.



الشكل (18) السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند ، وقيم مختلفة لسرعة السفينة.

في حين يبين خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) نفس المنحنيات السابقة لكن عند إبحار السفينة بحالة تحميل $\frac{h_0}{B} = 0.2$ على زاوية خط سير ' $\gamma = 165$.



الشكل (19) السعة مع امان كتابع لعرض السفينة عند ، وقيم مختلفة لسرعة السفينة.

تظهر منحنيات خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) وخطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة. (ان زيادة عرض السفينة تسبب تناقص في التآرجحات العرضية على كامل مجال العرض وذلك بغض النظر عن سرعة السفينة المبحرة ضمن مجال زوايا خط السير ' $90^\circ < \gamma < 180$.

الاستنتاجات والتوصيات

بناءً على الدراسة التحليلية والنمذجة الرياضية تم الوصول إلى الاستنتاجات الآتية:

1. ليس من الضروري ان تبدي السفن الأعرضتأرجحات عرضية اقل من تأرجحات السفن الأصغر عرضا حيث:
 - تتأرجح السفن الأعرض بسعات زاوية اصغر من السفن الأقل عرضا فقط في الحالات التي تبجر فيها السفن بشكل متعامد مع الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج $\gamma = 90^\circ$ او عندما تبجر ضمن مجال زوايا خط السير $90^\circ < \gamma < 180^\circ$.
 - يعطى الحرج B_c الموافق لذروة التآرجحات العرضية عند ابحار السفن بسرعة معينة وحالة تحميل محددة ضمن مجال زوايا خط السير $\gamma < 90^\circ$ بالعلاقة (خطأ!) وسيطة رمز تبديل غير معروفة..
2. ان تخفيض زاوية خط السير بشكل متزامن مع زيادة سرعة السفينة وارتفاع الميتاسنتر الأولي يحدد عامل العرض جانبا، بحيث تستجيب السفينة الصغيرة بتأرجح عرضي مساو تقريبا لاستجابة السفينة الكبيرة المبحرة عند نفس الظروف المناخية والاستثمارية.
3. لا تؤدي بالضرورة زيادة سرعة السفينة المبحرة بحالة تحميل معينة ضمن مجال زوايا خط السير $\gamma < 90^\circ$ الى تناقص سعة التآرجحات العرضية، حيث:
 - تعطى السرعة الحرجة v_c الموافقة لذروة التآرجحات العرضية بالعلاقة (خطأ!) وسيطة رمز تبديل غير معروفة..
 - تزداد قيمة السرعة الحرجة v_c اللازمة لإحداث انخفاض واضح في التآرجحات العرضية عند زاوية خط السير المعتبرة تبعا لزيادة عرض السفينة.
 - تزداد قيمة السرعة الحرجة v_c اللازمة لإحداث انخفاض واضح في التآرجحات العرضية من اجل سفينة ذات عرض معين تبعا لزيادة زاوية خط سير السفينة بالنسبة إلى الأمواج.
4. لا تؤثر سرعة السفينة على سعة التآرجح العرضي عند إبحار السفينة بشكل متعامد مع الاتجاه الرئيسي لانتشار الأمواج وذلك مهما كان عرض السفينة.
5. تؤدي زيادة سرعة السفينة المبحرة ضمن مجال زوايا خط السير $90^\circ < \gamma < 180^\circ$ بشكل عام إلى تناقص سعة التآرجحات العرضية عند أي قيمة مفروضة لعرض السفينة، لكن:
 - يكاد يكون تأثير زيادة سرعة السفينة مهملا عند القيم الكبيرة لعرض السفينة، في حين يكون أكثر وضوحا عند القيم الصغيرة لعرض السفينة.
 - ان استخدام عامل السرعة في السفن الأصغر يكون أكثر فاعلية مقارنة مع استخدامه في السفن الأكبر.
6. ليس بالضرورة ان تتعرض السفينة المبحرة على الأمواج الحقيقية المسطحة، مهما كان عرضها، إلى اشد التآرجحات العرضية خطرا على امانها التوازني عند زاوية خط سير $\gamma = 90^\circ$.
7. تحدث اشد التآرجحات العرضية خطرا عند زاوية خط سير تعرف بالزاوية الحرجة γ_c تقع تحديدا ضمن المجال $\gamma_c < 90^\circ$ وتحسب بالعلاقة (خطأ!) وسيطة رمز تبديل غير معروفة..
8. تختلف قيمة الزاوية γ_c تصميميا تبعا لعرض السفينة المبحرة بسرعة معينة، كما تختلف استثماريا ايضا تبعا لسرعة ابحار السفينة ذات العرض المعتبر.

9. يكون زيادة سعة التآرجحات العرضية مع زيادة زاوية خط السير على شكل قفزات واسعة عند إبحار السفينة ضمن مجال الزوايا $\gamma < \gamma_c$ ، في حين يكون تناقص شدة التآرجحات منسابة وتدرجياً عند إبحار السفينة بزاوية خط سير $\gamma > \gamma_c$ وذلك بغض النظر عن عرض السفينة.

التوصيات:

تتعلق قيمة العرض الحرج B_c عند السرعة التصميمية للسفينة بشكل مباشر بزاوية خط السير γ ، لذلك ينصح اولاً بتحديد اخطر زاوية خط سير على السفينة المدروسة عند القيمة المطلوبة للسرعة التصميمية وذلك عند مختلف الظروف المناخية من خلال انشاء منحنيات استجابة السفينة المبحرة بالسرعة التصميمية وحالة التحميل المعتبرة عند قيم متزايدة لزاوية خط السير، ثم تحديد اخطر زاوية سير على سعة التآرجحات العرضية وقراءة قيمة العرض الحرج الموافق لهذه الزاوية أو حسابه اعتماداً على العلاقة (خطأ! وسيطة رمز تبديل غير معروفة.) ، ثم إجراء التغيير المناسب في العرض الأولي للسفينة من خلال زيادته اذا كان اكبر من العرض الحرج أو انقصه في حال كانت قيمته اصغر من قيمة العرض الحرج.

يؤدي الابتعاد بعرض السفينة زيادة او نقصاناً عن قيمة العرض الحرج إلى تخفيض التآرجحات العرضية للسفينة المبحرة على الأمواج الحقيقية المسطحة، وهذا ما يسمح باختيار الاتجاه الصحيح لإجراء التعديلات الضرورية على الأبعاد الرئيسية لسفينة التصميم، مع الأخذ بالحسبان التأثير الإيجابي لتخفيض العرض عند السرعة التصميمية على المقاومات الهيدروليكية للسفينة وبالتالي على استهلاك الوقود الأمر الذي يخفض الاستطاعة المطلوبة من مكناات الدفع وبالتالي وزنها وحجمها مما يحسن من استيعابية السفينة ويخفض من تكلفتها الإنتاجية والاستثمارية.

4 . المراجع

- [1] KOBYLINSKI, L. K; KASTNER, S. *Stability and Safety of Ship*. Elsevier, USA, 2003, 412.
- [2] BLAGOVESHCHENSKY, S. N. *Theory of ship motions*. Dover, New York, 1962, 649.
- [3] MOLLAND, A. F. *Maritime Engineering Reference Book*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2008, 907.
- [4] ZAOJIAN, Z. *Ship maneuvering and seakeeping*. Shanghai Jiao University, 2006, 64.
- [5] JOURNEE, J. M. J; MASSIE, W. W. *Offshore Hydrodynamics*. Delft University of Technology, Netherlands, 2001, 570.

[6] بريهان، ميشيل؛ علي، رامي.، دراسة السلوك الديناميكي للسفينة المتأرجحة عرضياً على الأمواج الجيبية المنتظمة. منشورات مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، 2015، 20.

[7] BERTRAM,V. *Practical Ship Hydrodynamics*. Butterworth–Heinemann, Oxford, 2000, 280.

[8] RAWSON,K.J;TUPPER,E.C.*Basic Ship Theory*. Butterworth–Heinemann, Oxford, 2001, 400.

[9] بريهان، ميشيل.، التحديد التقريبي للبارامترات الإحصائية المميزة للتأرجحات العرضية للسفن المبحرة عبر الأمواج الحقيقية غير المنتظمة . منشورات مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، المجلد 27، العدد 2، 2005، 20.