

تقييم دقة بعض الطرق التقريبية المستخدمة في تحديد منحنى مقاومة الجر لأبدان بعض السفن، عن طريق المقارنة بنتائج برنامج Delftship

الدكتور المهندس: ميشيل بريهان*

(تاريخ الإيداع 16 / 2 / 2012. قُبل للنشر في 3 / 4 / 2012)

□ ملخص □

يُعالج البحث واحدة من القضايا الهامة الخاصة بمراكز الأبحاث البحرية، وترسانات بناء السفن المتعلقة بالتحديد الأمثل من حيث الدقة لمنحنى مقاومة الجر لبدن السفينة كتابع لسرعة إبحارها في ظروف الاستثمار الحقيقية. يتضمن هذا البحث تقييم دقة منحنيات الطرق التقريبية المستخدمة عن طريق إجراء مقارنة تحليلية إحصائية بين منحنيات الطرق التقريبية مع مكافئاتها ومنحنيات طريقة Delft Series الخاصة ببرنامج Delftship المعتمد عالمياً من قبل العديد من المراكز البحثية، والأكاديميات البحرية، وذلك من خلال تحديد المعدل العام الوسطي لمعامل شدة الارتباط، وتحديد أيضاً المعدل العام الوسطي للانحراف النسبي الوسطي للمقاومات المحددة، وفق الطرق المعتمدة بالمقارنة مع المقاومات المحددة وفق طريقة Delft Series، من أجل عدة سفن مدروسة، عند حالات عديدة تحميل محتملة، ضمن مجالات محددة للسرعة. أظهرت النتائج أن مقدار التباين (من حيث قيم r و قيم $(\Delta R/R)\%$) لمنحنيات الطرق الأنسب أو الأقرب إلى منحنيات طريقة Delft Series يقع ضمن مجال مقدار الإضافة الملاحية (الزيادة في مقدار المقاومة) المتعلقة بعوامل عشوائية تخص الظروف المناخية المسيطرة على الخطوط الملاحية التي تعمل عليها السفينة.

الكلمات المفتاحية: مقاومة الجر - مقاومة الأمواج - مقاومة الاحتكاك - المقاومة المتبقية - استطاعة الجر - حوض تجارب.

*أستاذ في قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

The Evaluation of the Accuracy of Some Approximating Methods Used in Specifying the Curve of Hull Resistance of Some Ship Bodies by Comparing With Delftship Programme Results

Dr. Michel Barbahan*

(Received 11 / 11 / 2011. Accepted 9 / 5 / 2012)

□ ABSTRACT □

This research deals with one of the important issues related to the maritime research centers and shipyards which are related to the optimal specification concerning the accuracy of specifying the curve of hull resistance of the ship body in accordance with its speed during the actual investment conditions. The research includes an evaluation of the accuracy extent of the already used curves of the approximating methods.

This evaluation is done by conducting an analytical and calculating comparison between the curves of the approximating methods and their equivalence on the one hand and the curves of Delft Series method, on the other. The latter is exclusive of Delftship program which is approved of internationally by a few research centers and maritime academies.

The comparison is done by specifying the general medial average of the coefficient correlation, in addition to the specification of the general medial average of the relative medial inclination of the specified resistance according to the considered methods in contrast to the resistances appointed by Delft Series methods. All these procedures are applied on several studied ships during a few situations of potential loading cases on speed fields.

The research conclusions reveal that the value of difference (the values of r and the values of $(\Delta R/R \%)$) of the most appropriate method curves or those which are closest to Delft Series curve method is within the scope of the value of maritime addition (an increase in the value of resistance) which is connected with random factors related to the climate conditions that control maritime lines on which these ships are invested.

Keywords: Hull Resistance; Wave Resistance; Frictional Resistance; Residuary resistance; Effective Horsepower; Model Tank.

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

مقدمة:

يتعلق مقدار استطاعة محركات الدفع للسفن - بشكل رئيسي - بالسرعة المطلوبة للسفينة، وأيضاً بمقاومة الجر الكلية (مقاومة البدن الهيدروليكية) التي تتعلق بأبعاد السفينة المعنية، وشكل بدنها. يؤدي التصميم الأمثل لبدن السفينة من حيث علاقته بمقاومة الجر الكلية إلى إنقاص مقدار الاستطاعة اللازمة لتأمين السرعة المطلوبة للسفينة. تتولد المقاومة الهيدروليكية لبدن السفينة نتيجة الاضطرابات الحاصلة في توازن كتل الماء بفعل بدن السفينة المتحركة. تظهر هذه الاضطرابات بثلاثة أشكال مختلفة [1],[2],[3]:

1. نشوء مجموعات من الأمواج على سطح الماء تنتشر بدءاً من مقدمة بدن السفينة ومؤخرته نتيجة مناطق الضغط المرتفع عند مقدمة السفينة ومؤخرتها. يتم الحصول على الطاقة اللازمة لتوليد هذه الأمواج من السفينة المتحركة، وتدعى المقاومة الهيدروليكية المتناسبة مع هذه الطاقة مقاومة الأمواج $\overrightarrow{R_w}$.
2. نشوء قوى عنصرية مماسه لبدن السفينة تتجه في اتجاه معاكس لحركة السفينة نتيجة لزوجة الماء. تدعى القوة المحصلة لمجموعة القوى المماسية المؤثرة في كامل سطح الجزء الغاطس من البدن مقاومة الاحتكاك $\overrightarrow{R_f}$.
3. نشوء مناطق ضغط منخفض عند مؤخرة السفينة، وتشكل دوامات خلف بدن السفينة المتحركة نتيجة انفصال الطبقة الحدية. يؤدي فرق الضغط المتولد بين مقدمة بدن السفينة، ومؤخرته، إلى نشوء قوة متجهة في اتجاه معاكس لحركة السفينة، تدعى هذه القوة مقاومة الضغط $\overrightarrow{R_p}$.

إضافة إلى المقاومات المذكورة تتولد أيضاً مقاومات إضافية بفعل عوامل أخرى متعلقة بظروف الاستثمار الحقيقية للسفينة. تنتمي إلى هذه المقاومات المقاومة بفعل الرياح، والمقاومة بفعل الأجزاء البارزة من البدن، والمقاومة بفعل تدهور الأحوال الجوية ونشوء الأمواج، والمقاومة بفعل تشكل الحشف، والنباتات على بدن السفينة.... الخ.

لتأمين السرعة المطلوبة للسفينة المراد تصميمها ينبغي على المصمم تحديد استطاعة محركات الدفع، بعد تحديد مقاومات حركة السفينة خلال مراحل التصميم الأولية. يستخدم حالياً العديد من الطرق لتحديد هذه المقاومات. إن أكثر هذه الطرق انتشاراً، واستخداماً في تحديد المقاومات هي طريقة اختبارات النماذج التي تعطي نتائج أقرب ما يمكن إلى الواقع. تعتمد هذه الطريقة على قياس مقاومة نموذج مشابه هندسياً للسفينة المدروسة، ثم تحويل هذه النتائج باستخدام قوانين التشابه (قانون فرويد في التشابه) لتصبح معتمدة للسفينة المدروسة. إن تحديد مقاومة السفينة باستخدام اختبارات النماذج يصبح ممكناً بشكل تام بعد إنشاء رسمه الخطوط النظرية للسفينة المحددة، الأمر الذي يسمح ببناء النماذج المشابهة لها. لتحديد مقاومات السفينة بصورة مبكرة في مراحل التصميم الأولية تُستخدم طرق تقريبية تجريبية تستند إلى معطيات إحصائية، أو نتائج اختبارات النماذج المنهجية لسلسلة من النماذج. يتعلق اختيار هذه الطرق بنقطتين أساسيتين؛ هما: الدقة العالية للنتائج التي تم الحصول عليها (بصورة نسبية)، وسهولة استخدامها [4],[5],[6].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في معالجته لوحدة من القضايا الهامة الخاصة بمراكز الأبحاث البحرية، وترسانات بناء السفن المتعلقة بالتحديد الأمثل، من حيث الدقة لمنحني مقاومة جر بدن السفينة كتابع لسرعة إبحارها في ظروف الاستثمار الحقيقية على خطوط ملاحية معينة. يسمح ذلك بتحديد الاستطاعة الفعلية لمحركات السفينة، لتأمين إبحارها بالسرعة الاستثمارية المطلوبة.

يتعلق هذا البحث بعدة محاور اختصاصية متداخلة هي كالآتي:

- هيدروديناميك السفن، من حيث دراسة، وتحليل الظواهر المسببة لنشوء المقاومات، وطرق تحديدها.
- تصميم السفن، من حيث البحث عن التصميم الأمثل لبطن السفينة (من حيث أبعاد السفينة المعنية، وشكل بدنها) بغية إنقاص مقاومة الجر الكلية ، وبالتالي إنقاص مقدار الاستطاعة اللازمة لتأمين السرعة المطلوبة للسفينة.
- تصميم محطة الدفع ووسيلة الدفع، من حيث دراسة وتحليل التأثير المتبادل بين مروحة الدفع وبدن السفينة، الذي يؤدي إلى تغير مقاومة السفينة، وتغير شروط عمل المروحة، بحيث يؤثر في مقدار الاستطاعة المتولدة بفعل مراوح الدفع.

تتضمن أهداف هذا البحث بما يلي:

- عرض أهم الطرق التقريبية التجريبية - التي تستند إلى معطيات إحصائية، أو نتائج اختبارات النماذج المنهجية لسلسلة من النماذج - المستخدمة في إنشاء منحني مقاومة الجر كتابع لسرعة إبحارها.
- إعداد برنامج حاسوبي لتنفيذ الحسابات وفق الطرق التقريبية المعتمدة.
- تقييم دقة الطرق التقريبية المستخدمة (بصورة نسبية)، بمقارنة نتائج البرنامج الخاص بالطرق التقريبية المعتمدة، مع نتائج برنامج Delftship المعتمد عالمياً من قبل العديد من المراكز البحثية، والأكاديميات البحرية، وذلك من خلال تحديد المعدل العام الواسطي لمعامل شدة الارتباط بين منحنيات الطرق المعتمدة ومنحني طريقة Delftship، وتحديد المعدل العام الواسطي للانحراف النسبي الواسطي المئوي للمقاومات المحددة وفق الطرق المعتمدة، بالمقارنة مع المقاومات المحددة وفق طريقة Delftship، من أجل عدة سفن مدروسة، عند حالات عديدة تحميل محتملة، ضمن مجالات محددة للسرعة.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد معظم طرق تحديد مقاومة الجر لبطن السفينة على تحليل نتائج اختبارات النماذج في أحواض الجر. في الواقع لا توجد طرق رياضية تحليلية تستطيع تحديد مقدار هذه المقاومة بدقة مطلقة، نظراً لصعوبة محاكاة الظواهر الهيدروديناميكية المتعلقة بحركة السفينة، خصوصاً مقاومة الأمواج المتعلقة بشكل بدن السفينة، ومقاومة الضغط المرتبطة بالتأثير المشترك بين الجريان حول بدن السفينة وعمل الرفاص، وأيضاً ظروف الاستثمار الحقيقية للسفينة المتعلقة بازدياد خشونة سطح البدن نتيجة نمو النباتات المائية، وهبوب الرياح، ونشوء الأمواج البحرية عند تدهور الأحوال الجوية [6],[5],[4]. ترتبط دقة الطرق التقريبية التي تعتمد على تحليل نتائج اختبارات النماذج بعوامل عديدة منها: الفرضيات المستخدمة عند إجراء اختبارات النماذج - عدد النماذج المستخدمة وتنوع أشكال أبدانها - دقة القياسات عند إجراء الاختبارات - مقدار زيادة المقاومة الكلية المتعلقة بالظروف المناخية المسيطرة على خطوط إبحار معينة. إن أكثر هذه الطرق انتشاراً، واستخداماً في مراحل التصميم الأولية في مكاتب التصميم الخاصة بترسانات بناء السفن ، ومراكز الأبحاث البحرية، هي على النحو الآتي:

1- طريقة Papiel:

تعتمد هذه الطريقة على نتائج عدد كبير من اختبارات النماذج، ومعطيات إحصائية عن الرحلات التجريبية المنفذة على السفن الحقيقية. هذه الطريقة هي في الواقع سهلة بسيطة الاستخدام؛ لأنها تعتمد على مخطط وحيد. هذه

الطريقة تأخذ بالحسبان استطاعة احتياطية في شروط الاستثمار الاعتيادية. تُحدد مقاومة الجر للسفن R بوحدة $[kg_f]$ بالعلاقة الآتية [1],[7],[8]:

$$R = \frac{N_o \cdot 75}{v} \quad (1)$$

حيث إن:

v - سرعة السفينة بوحدة $[m/s]$.

N_o - استطاعة الجر للسفينة بوحدة الحصان ميكانيكي $[kM]$ ، حيث $(1kM = 0,7357 kW)$.

تُحدد هذه الاستطاعة - بوجود الأجزاء البارزة الأساسية - بالعلاقة:

$$N_o = \frac{V \cdot v_s^3 \cdot \chi}{L \cdot C_p \cdot \lambda} \cdot \sqrt{\psi} \quad (2)$$

حيث إن:

V - حجم الجزء الغائص من السفينة $[m^3]$.

L - طول السفينة $[m]$.

v_s - سرعة السفينة بالعقدة $[nmile/h]$.

χ - معامل يأخذ بالحسبان تأثير الأجزاء البارزة، ويحدد كتابع لعدد مراوح الدفع

λ - معامل يتعلق بطول السفينة، ويحدد بالعلاقة الآتية:

$$\lambda = 0,7 + 0,03 \cdot \sqrt{L} \quad (3)$$

وعند تجاوز طول السفينة مئة متر $L \geq 100 [m]$ يأخذ هذا المعامل القيمة $\lambda = 1$.

ψ - معامل انسيابية بدن السفينة، ويُحدد بالعلاقة الآتية:

$$\psi = 10 \cdot \frac{B}{L} \cdot \delta \quad (4)$$

حيث إن:

B - عرض السفينة $[m]$.

δ - معامل امتلاء بدن السفينة.

C_p - معامل تحدد قيمه من مخطط Papiel استناداً إلى قيم ψ والسرعة النسبية للسفينة:

$$v_I = v_s \cdot \sqrt{\frac{\psi}{L}} \quad (5)$$

2- طريقة Ayre:

تعتمد طريقة Ayre على الاستفادة من مجموعة مخططات بيانية منشأة استناداً إلى اختبارات نماذج تخص العديد من السفن التجارية. تمتاز هذه الطريقة بالبساطة، والسهولة في الحصول على النتائج. إن نتائج هذه الطريقة تتضمن زيادة في المقاومة مقدارها 8% تخص الأجزاء البارزة من البدن. تُحدد مقاومة الجر للسفن R بوحدة $[kg_f]$ بالعلاقة الآتية [1],[7],[8],[9]:

$$R = \frac{550 \cdot D^{0.64} \cdot v^2}{C_{AP}} \quad (6)$$

حيث إن:

D - إزاحة السفينة [t].

v - سرعة السفينة بوحدة [m/s].

C_{AP} - القيمة المعدلة للمعامل C_A الخاص بهذه الطريقة.

تُحدد قيمه المعامل C_A استناداً إلى مخطط Ayre الأساسي بدلالة رقم فرويد $Fr = v/\sqrt{g \cdot L}$ عند قيم

عديدة متتالية لمعامل الانسيابية الذي يُعطى كنسبة $L/D^{1/3}$. يخص هذا المخطط القيم المعيارية الآتية:

• معامل امتلاء بدن السفينة δ_o ، وتحدد قيمته تخطيطياً بدلالة رقم فرويد $Fr = v/\sqrt{g \cdot L}$.

• النسبة $(B/T)_o = 2$.

• الإحداثي الطولي لمركز الطفو x_{F_o} ، وتحدد قيمته تخطيطياً (كنسبة مئوية من طول السفينة بالنسبة

للمستوي القطاعي العرضي المنصف) بدلالة رقم فرويد $Fr = v/\sqrt{g \cdot L}$.

• الطول $L_o = 1,025 \cdot L$.

تُحدد القيمة المعدلة للمعامل C_A بالنسبة للسفن التي قيم بارامتراتنا $(x_F, \delta, B/T)$ تختلف عن قيم

البارامترات المعيارية المذكورة أعلاه باستخدام العلاقة الآتية:

$$C_{AP} = \frac{100 + \sum \Delta C_A}{100} \cdot C_A \quad (7)$$

يُمثل $\sum \Delta C_A$ مجموع التصحيحات المناسبة كنسب مئوية ذات قيم جبرية، وتساوي:

$$\sum \Delta C_A = \Delta_1 C_A + \Delta_2 C_A + \Delta_3 C_A + \Delta_4 C_A$$

حيث إن:

$\Delta_1 C_A$ - التصحيح الخاص بمعامل امتلاء بدن السفينة δ عندما تختلف قيمته عن القيمة المعيارية δ_o .

لتحديه نميز الحالتين الآتيتين:

$$a - \text{عندما } \delta < \delta_o, \text{ يُحدد تخطيطياً بدلالة } 100 \cdot \frac{\delta_o - \delta}{\delta_o}.$$

b - عندما $\delta > \delta_o$ ، يُحدد من العلاقة الآتية:

$$\Delta_1 C_A = 300 \cdot \delta \cdot \frac{\delta_o - \delta}{\delta_o} \quad (8)$$

$\Delta_2 C_A$ - التصحيح الخاص بالنسبة B/T عندما تختلف قيمتها عن القيمة المعيارية $(B/T)_o = 2$.

يُحدد هذا التصحيح بالعلاقة الآتية:

$$\Delta_2 C_A = 10 \cdot \delta \cdot \left(2 - \frac{B}{T} \right) \quad (9)$$

$\Delta_3 C_A$ - التصحيح الخاص بموضع مركز الطفو الطولي x_F عندما تختلف قيمته عن القيمة المعيارية x_{F_0} . تُحدد قيمته تخطيطياً بدلالة رقم فرويد $Fr = v/\sqrt{g \cdot L}$ وفقاً لقيمة $x_F - x_{F_0}$.

$\Delta_4 C_A$ - التصحيح الخاص بطول السفينة عند خط الماء L_w عندما تختلف قيمته عن القيمة المعيارية لطول السفينة $L_o = 1,025 \cdot L$. يُحدد هذا التصحيح بالعلاقة الآتية:

$$\Delta_4 C_A = 100 \cdot \frac{L_w - L_o}{L_o} \quad (10)$$

وعندما تكون $\Delta_1 C_A$ ، و $\Delta_3 C_A$ سالبتين الإشارة يُؤخذ بالحسبان فقط التصحيح ذو القيمة المطلقة الأكبر عند حساب المجموع.

3- طريقة السلسلة 60:

تستند المخططات البيانية المستخدمة في حساب المقاومات وفقاً لطريقة السلسلة 60 إلى نتائج اختبارات الدفع لـ 45 نموذجاً، أُجريت في خمسينات القرن الماضي من قبل العالم Todd في أحواض اختبارات النماذج. تُحدد المقاومة الإجمالية بجمع مقاومة الاحتكاك، والمقاومة المتبقية. لكن هذه المقاومة لا تتضمن مقاومة الأجزاء البارزة، ومقاومة الهواء. لأخذ هذه المقاومات بالحسبان تُكبر قيمة المقاومة الإجمالية بمقدار 6% [1],[4],[5],[9],[10]:

$$R = 1,06 \cdot (R_f + R_r) \quad (11)$$

تُحدد مقاومة الاحتكاك R_f بوحدة kg_f من العلاقة الآتية:

$$R_f = 4,882 \cdot \left(\frac{R_f}{\Omega} \right) \cdot \Omega \quad (12)$$

حيث Ω مساحة السطح المبلل $[m^2]$.

تُحسب مقاومة الاحتكاك النسبية R_f/Ω ، بوحدة (lb/ft^2) بدلالة المقدار $v_s \cdot L_w$ (بـ v_s بـ $nmile/h$ ، و L_w بـ ft)، والسرعة v_s . باستخدام نموغرام، أو مخطط خاص بهذه الطريقة.

تُحدد المقاومة المتبقية للسفينة R_r بوحدة kg_f عند السرعة المحددة؛ كما يأتي:

$$R_r = 0,4464 \cdot (R_r/D)_r \cdot D \quad (13)$$

حيث D إزاحة السفينة $[t = 10^3 kg_f]$.

تُحدد القيمة الحقيقية للمقاومة المتبقية النسبية $(R_r/D)_r$ عند القيمة المعطاة لـ $v_s/\sqrt{L_w}$ ، والقيمة الحقيقية للنسبة B/T باستخدام الاستيفاء غير الخطي من الدرجة الثانية وفقاً للعلاقة الآتية:

$$(R_r/D)_r = (R_r/D)_{B/T=3,0} + a \cdot x + b \cdot x^2 \quad (14)$$

حيث إن:

$$x = 2 \cdot \left(\frac{B}{T} - 3,5 \right) \quad (15)$$

$$a = \frac{(R_r/D)_{B/T=3,5} - (R_r/D)_{B/T=2,5}}{2} \quad (16)$$

$$b = \frac{(R_r/D)_{B/T=3,5} + (R_r/D)_{B/T=2,5} - 2 \cdot (R_r/D)_{B/T=3,0}}{2} \quad (17)$$

تُحدد المقاومة المتبقية النسبية R_r/D (حيث R_r بـ lb ، و D بـ T_s البريطاني، حيث: $1T_s = 1016 kg_f$) من أجل القيم المعيارية للنسبة $B/T = (3,5 - 3,0 - 2,5)$ من المخططات البيانية الخاصة بهذه الطريقة بدلالة القيم المحددة لـ δ و L/B ، عند القيمة المعطاة لـ $v_s/\sqrt{L_w}$ (بـ $nmile/h$ ، L_w بـ ft).

4- طريقة Taylor:

تعتمد طريقة *Taylor* على تحليل نتائج اختبارات لـ 120 نموذجاً، تمَّ تغيير أشكالها بشكل منهجي. استناداً إلى نتائج اختبارات هذه النماذج تمَّ إنشاء مخططات بيانية تُستخدم في تحديد المقاومة المتبقية للسفينة. ولكن هذه المخططات عدّلت فيما بعد من قبل الباحثين **Nickolson & Hopf** بحيث أصبحت تُستخدم لتحديد المقاومة الكلية للسفينة.

تُحدد المقاومة الكلية للسفينة بوحدة kg_f عند السرعة المحددة بالعلاقة الآتية [5],[7],[8]:

$$R = 0,4464 \cdot \left(\frac{R}{D}\right)_\varphi \cdot D \quad (18)$$

حيث إن:

$$D = 10^3 kg_f \text{ - إزاحة السفينة بوحدة } t$$

$(R/D)_\varphi$ - المقاومة الكلية النسبية النهائية عند قيمة معينة لمعامل الامتلاء الطولي للبدن φ . تُحدد هذه المقاومة بالعلاقة الآتية:

$$\left(\frac{R}{D}\right)_\varphi = \left(\frac{R}{D} + C\right) \cdot A \quad (19)$$

حيث إن:

R/D ($R [lb]$ ، $D [T_s]$ بالطن البريطاني، حيث: $10T_s = 1016 kg_f$) - المقاومة الكلية الواحديّة. تُحدد هذه المقاومة من المخططات البيانية الخاصة بهذه الطريقة بدلالة رقم فرويد $Fr^* = v_s/\sqrt{L_w}$ ($v_s [nmile/h]$ ، $L_w [ft]$)، وأيضاً المعامل $D/(0,01 \cdot L_w)^3$ ($D [T_s]$ ، $L_w [ft]$). كل مخطط من هذه المخططات يخص قيمة معينة لمعامل الامتلاء الطولي للبدن φ ضمن مجال يتراوح بين $(0,80 \div 0,56)$ بتدرج مقداره $0,02$.

C - معامل تصحيح خاص بانحراف النسبة B/T للسفينة المحددة عن القيمة المعيارية $B/T = 3,0$. تُحدد القيمة الإجمالية لهذا التصحيح (كقيمة جبرية) بالعلاقة الآتية:

$$C = C' \cdot \left(\frac{B}{T} - 3,0\right) \quad (20)$$

تُحدد قيمة التصحيح C' من مخطط خاص بدلالة رقم فرويد $Fr^* = v_s / \sqrt{L_w}$ وأيضاً المعامل $D / (0,01 \cdot L_w)^3$.

A - معامل تصحيح خاص بانحراف طول السفينة المحددة عن الطول المعياري $L = 500 ft$. تُحدد قيمة

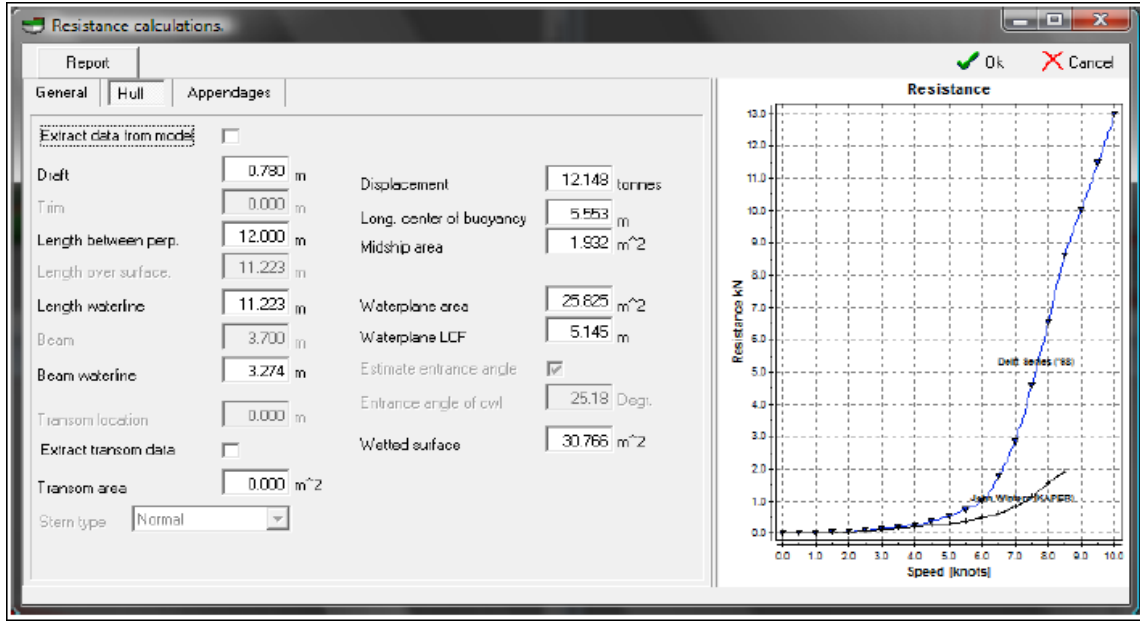
هذا التصحيح من مخطط أو نموغرام خاص بدلالة رقم فرويد $Fr^* = v_s / \sqrt{L_w}$ وأيضاً طول السفينة $L [ft]$. من جهة أخرى توجد العديد من البرامج الحاسوبية الاحترافية (ذات التكلفة المادية المرتفعة) المتخصصة في مجال التصميم الهيدروديناميكي للسفن، وهي معتمدة عالمياً من قبل الكثير من مكاتب التصميم في ترسانات بناء السفن، والمراكز البحثية، والأكاديميات البحرية، نظراً لموثوقيتها، ودقة نتائجها. نذكر من بين هذه البرامج، برنامج **Delftship** الذي يتميز ببساطة استخدامه، وتمكننا بالدرجة الأولى الحصول بواسطة هذا البرنامج على نتائج متعلقة بحساب مقاومة الجر لبعض أنواع السفن كما سيرد لاحقاً.

طريقة برنامج Delftship:

تم تسمية برنامج Delftship نسخة 2006/3.2-2007 نسبةً إلى المعهد التكنولوجي البحري Delftship في هولندا. يُتيح هذا البرنامج الإمكانيات الآتية: رسم بدن السفينة كمجسم ثلاثي بعد - إنشاء رسمه الخطوط النظرية - إجراء الحسابات الهيدروستاتيكية التصميمية - دراسة وتحليل اتزان السفن عند حالات تحميل مختلفة - دراسة الاتزان في حالة العطب - دراسة المقاومات الهيدروليكية وإنشاء منحنياتها. يتضمن هذا البرنامج طريقتين لتحديد المقاومات. تعتمد هاتان الطريقتان على تحليل نتائج اختبارات جر نماذج لأبدان السفن في أحواض مائية، بحيث تتحقق قدر الإمكان شروط التشابه الميكانيكي للظواهر التي تحدث خلال حركة السفينة والنموذج الخاص بها، من خلال: جعل النموذج صورة طبق الأصل عن السفينة - ضرورة إجراء الاختبارات في أحواض ذات عمق وعرض معينين، بحيث أن شكل الجريان الحاصل، ونظام الأمواج المتولدة بفعل حركة النموذج لن يتغيرا بفعل تأثير جدران الحوض وقاعه - جر النموذج بحيث يتحقق شرط فرويد في التشابه، المرتبط بتشابه شكل الأمواج الناتجة عن حركة السفينة وحركة النموذج [11].

الطريقة الأولى (Delft Series): تعتمد هذه الطريقة على سلسلة واسعة من النماذج المختبرة لسفن متنوعة في حوض الجر التابع للمعهد التكنولوجي البحري Delftship خلال حقبة زمنية طويلة. هذه الطريقة لا يقتصر استخدام حساباتها على نماذج السفن المختبرة في الحوض المذكور فقط [11].

الطريقة الثانية (Kaper): هذه الطريقة مخصصة للقوارب، وقد طبقت في الأصل من قبل John Winters الباحث البحري المتخصص في تصميم القوارب. تعتمد هذه الطريقة على اختبارات النماذج للقوارب. طورت هذه الطريقة لاحقاً من قبل الباحث Matt Broze لمعدلات أعلى من الطول والسرعة [11]. يُمكن وبسهولة مقارنة نتائج هاتين الطريقتين بتمثيلهما معاً بيانياً على ذات المخطط كما هو موضح في الشكل (1) الذي يمثل إحدى نوافذ البرنامج [11].



الشكل (1) إحدى نوافذ برنامج Delfet ship، لإنشاء منحنى مقاومة الجر لسفينة وفقاً للطريقتين المذكورتين

النتائج والمناقشة:

تتضمن الحسابات التطبيقية لهذا البحث وفقاً للطرق التقريبية التجريبية وبرنامج Delfetship ما يلي:

- إنشاء منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق التقريبية التجريبية وطريقة Delft Series لسفن متعددة عند حالات تحميل مختلفة.
- إنشاء منحنيات مقاومة الجر المكافئة للطرق التقريبية التجريبية - تُمثل إحدائيات كل منحنى مكافئ القيم الوسطية لإحدائيات المنحنيات التقريبية عند كل سرعة معتبرة للسفينة. يهدف ذلك إلى البحث (قدر الإمكان) عن طيف أوسع من الحلول الأفضل نسبياً عند المقارنة مع نتائج طريقة Delft Series.
- إجراء مقارنة تحليلية إحصائية (نظراً لصعوبة التحليل المباشر) بين منحنيات الطرق التقريبية مع مكافئاتها ومنحنيات طريقة Delft Series، لتحديد الطرق التقريبية الأفضل استخداماً، عند عدم توافر إمكانية لاستثمار مخابر نمذجة تخص برامج تقنية احترافية حديثة. تعتمد المقارنة التحليلية الإحصائية على تحديد المعدل الوسطي العام لمعامل شدة الارتباط بين المنحنيات المدروسة، لجميع حالات السفن المعتبرة مع بعضها بعضاً، وتحديد المعدل الوسطي العام للانحراف النسبي المتوسط المتوحي بين قيم المنحنيات المدروسة لجميع حالات السفن المعتبرة مع بعضها بعضاً. في هذه الحالة تُعدّ منحنيات أي طريقة من الطرق التقريبية، أو مكافئاتها أقرب ما يمكن إلى منحنيات طريقة Delft

Series عندما تكون: قيمة معامل شدة الارتباط أكبر ما يُمكن (أي قريبة من الواحد الصحيح)، وقيمة الانحراف النسبي المتوسط المنوي أصغر ما يُمكن.

يُحدد معامل شدة الارتباط بين منحنى مقاومة الجر المحدد باستخدام كل طريقة من الطرق التقريبية المذكورة ومنحنى مقاومة الجر المحدد باستخدام طريقة Delft Series لكل سفينة من السفن المعتمدة عند كل حالة تحميل، ضمن مجال محدد للسرعة، وفقاً للعلاقة الآتية [12]:

$$r = \frac{n \cdot \sum_{i=0}^n R_i \cdot R_{Di} - (\sum_{i=0}^n R_i) \cdot (\sum_{i=0}^n R_{Di})}{\sqrt{[n \cdot \sum_{i=0}^n R_i^2 - (\sum_{i=0}^n R_i)^2][n \cdot \sum_{i=0}^n R_{Di}^2 - (\sum_{i=0}^n R_{Di})^2]}} \quad (21)$$

يُحدد الانحراف النسبي المتوسط المنوي (بالقيمة المطلقة) لقيم منحنى مقاومة الجر المحدد باستخدام كل طريقة من الطرق التقريبية المذكورة وقيم منحنى مقاومة الجر المحدد باستخدام طريقة Delft Series لكل سفينة من السفن المعتمدة عند كل حالة تحميل، ضمن مجال محدد للسرعة، وفقاً للعلاقة الآتية :

$$\frac{\Delta R}{R} \% = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{|R_i - R_{Di}|}{R_{Di}}}{n} \cdot 100\% \quad (22)$$

حيث إن:

R_i - قيمة المقاومة المحددة بدلالة كل طريقة من الطرق التقريبية، أو قيمة المقاومة المكافئة للطرق المعتمدة، عند قيمة معينة للسرعة.

R_{Di} - قيمة المقاومة المحددة بدلالة طريقة Delft Series، عند قيمة معينة للسرعة موافقة لـ R_i .

n - عدد الإحداثيات الممثلة لقيم المقاومات، ضمن المجال المعتمد للسرعات.

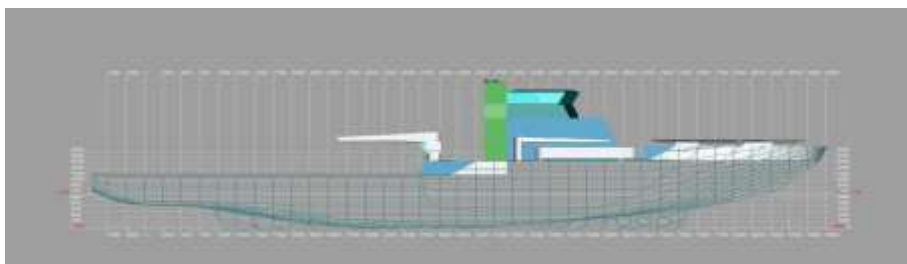
تم انجاز الحسابات الخاصة بالطرق التقريبية التجريبية باستخدام برنامج Excel، حيث طُبقت هذه الحسابات على خمس سفن متنوعة ذات أبعاد وأشكال مختلفة (مُعتمدة ضمن برنامج Delftship)، عند ثلاث حالات تحميل مختلفة لكل سفينة، بغية إعطاء المصادقية والشمولية للنتائج قدر الإمكان. يُبين الجدول (1) البارامترات الرئيسية للسفن المقترحة. تُبين الأشكال من (2) وحتى (6) المساقط الجانبية الخاصة برسمه الخطوط النظرية لهذه السفن.

تُبين الأشكال من (7) وحتى (21) منحنيات تغيير مقاومة الجر، كنابع لسرعة السفينة بالعقدة، بالنسبة لجميع السفن المدروسة عند حالات تحميلها المختلفة، وفقاً لطريقة Delft Series والطرق التقريبية المذكورة سابقاً مع مكافئاتها. ضمن هذه الأشكال تم اعتماد المنحنيات المكافئة لـ A T P (للاختصار تم اعتماد الحرف الأول من أسماء الطرق التقريبية). أيضاً تم إنشاء المنحنيات المكافئة لـ AP و AT و PT بصورة مستقلة مع منحنيات طريقة Delft Series، بالنسبة لجميع السفن المدروسة، عند حالات تحميلها المختلفة، تجنباً لتداخل منحنيات الطرق المختلفة مع بعضها بعضاً. تم إهمال إدخال طريقة السلسلة 60 ضمن المنحنيات المكافئة نظراً لانحراف منحنياتها بشكل واضح عن منحنيات الطرق الأخرى بالنسبة لجميع الحالات المدروسة. يُبين الشكل (22) المنحنيات المكافئة للطرق التقريبية مع منحنى طريقة Delft Series، بالنسبة للسفينة الخامسة عند إحدى حالات التحميل على سبيل المثال لا الحصر. إن تحليل منحنيات الأشكال من (7) وحتى (21) بصورة مباشرة يقود إلى مجموعة من الاستنتاجات العامة التي يُمكن تلخيصها على النحو الآتي:

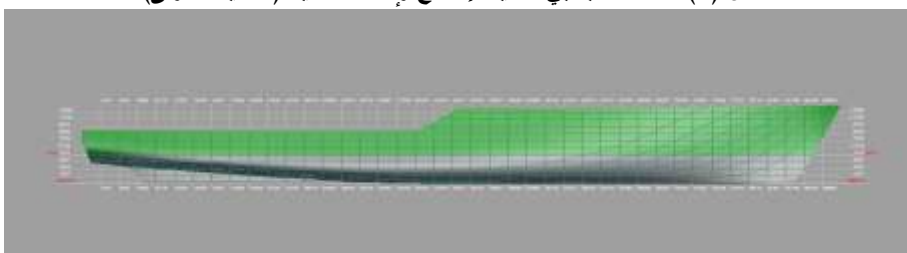
1. تتزايد قيمة المقاومة مع تزايد السرعة، ويظهر ذلك بوضوح مع تزايد قيم السرعات، نظراً لتناسب المقاومة عموماً مع مربع السرعة.
2. تتزايد المقاومة مع ازدياد غاطس السفينة، المرتبط بتزايد قيمة السطح المبلل.
3. يتوافق بشكل عام سلوك منحنيات المقاومة الخاصة بكل طريقة، بالنسبة لكل سفينة عند حالات تحميلها المختلفة، نظراً لخصوصية البارامترات الهندسية والهيدروستاتيكية والديناميكية لبطن كل سفينة معتبرة. في حين لا يتحقق هذا التوافق في سلوك المنحنيات، بالنسبة للسفن مع بعضها بعضاً، نظراً لاختلاف البارامترات المذكورة المميزة لأبدان السفن المعتمدة.

الجدول (1) المعطيات الخاصة بالسفن المعتمدة

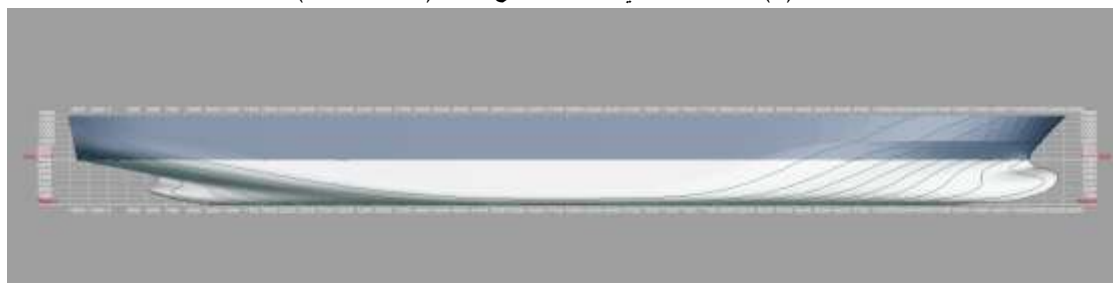
| الأبعاد التصميمية | الوحدة | السفينة الأولى | السفينة الثانية | السفينة الثالثة | السفينة الرابعة | السفينة الخامسة |
|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| حالة التحميل رقم 1 | | | | | | |
| T الغاطس | m | 3 | 2.5 | 5 | 5 | 3 |
| B العرض | m | 23.25 | 15.3 | 19 | 14.2 | 29.5 |
| L الطول | m | 83 | 84.1 | 120.7 | 58.4 | 166 |
| LW الطول | m | 63.734 | 81.407 | 118.476 | 62.417 | 163.951 |
| α معامل الامتلاء | [-] | 0.773 | 0.652 | 0.783 | 0.767 | 0.772 |
| β معامل الامتلاء | [-] | 0.9 | 0.667 | 0.974 | 0.957 | 0.978 |
| δ معامل الامتلاء | [-] | 0.557 | 0.369 | 0.656 | 0.593 | 0.71 |
| D الإزاحة | ton | 2422 | 1116.69 | 7647.6 | 2715.02 | 10551.1 |
| V حجم الجزء الغاطس | m ³ | 2362.9 | 1089.45 | 7461.1 | 2648.8 | 10293.8 |
| Ω مساحة السطح المبلل | m ² | 1364.1 | 931.4 | 2554.3 | 1081.33 | 4277.2 |
| حالة التحميل رقم 2 | | | | | | |
| T الغاطس | m | 6.9 | 4.5 | 7 | 5.5 | 7.5 |
| B العرض | m | 23.25 | 15.3 | 19 | 14.2 | 29.5 |
| L الطول | m | 83 | 84.1 | 120.7 | 58.4 | 166 |
| LW الطول | m | 88.652 | 87.202 | 122.916 | 62.496 | 166.677 |
| α معامل الامتلاء | [-] | 0.881 | 0.793 | 0.828 | 0.782 | 0.82 |
| β معامل الامتلاء | [-] | 0.926 | 0.787 | 0.981 | 0.959 | 0.989 |
| δ معامل الامتلاء | [-] | 0.575 | 0.495 | 0.668 | 0.608 | 0.754 |
| D الإزاحة | ton | 8386.4 | 3043.14 | 11504.7 | 3072.42 | 28519.6 |
| V حجم الجزء الغاطس | m ³ | 8181.8 | 2968.92 | 11224.1 | 2997.48 | 27824 |
| Ω مساحة السطح المبلل | m ² | 2522.5 | 1433.5 | 3172.8 | 1158.22 | 5894 |
| حالة التحميل رقم 3 | | | | | | |
| T الغاطس | m | 9 | 6.5 | 9 | 6 | 9.5 |
| B العرض | m | 23.25 | 15.3 | 19 | 14.2 | 29.5 |
| L الطول | m | 83 | 84.1 | 120.7 | 58.4 | 166 |
| LW الطول | m | 93.64 | 88.635 | 125.32 | 62.702 | 169.433 |
| α معامل الامتلاء | [-] | 0.887 | 0.848 | 0.88 | 0.812 | 0.822 |
| β معامل الامتلاء | [-] | 0.943 | 0.852 | 0.985 | 0.961 | 0.991 |
| δ معامل الامتلاء | [-] | 0.619 | 0.589 | 0.699 | 0.622 | 0.747 |
| D الإزاحة | ton | 12438.7 | 5321.34 | 15769 | 3441.09 | 36931.1 |
| V حجم الجزء الغاطس | m ³ | 12135.3 | 5191.55 | 15384.4 | 3357.16 | 36030.3 |
| Ω مساحة السطح المبلل | m ² | 3003.1 | 1834.9 | 3765.6 | 1233.05 | 6658.6 |



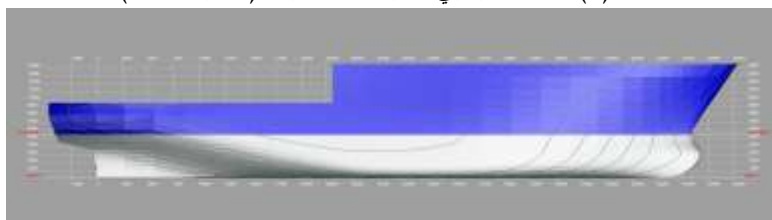
الشكل (2) المسقط الجانبي لسفينة إصلاح وإمداد ساحلية (السفينة الأولى)



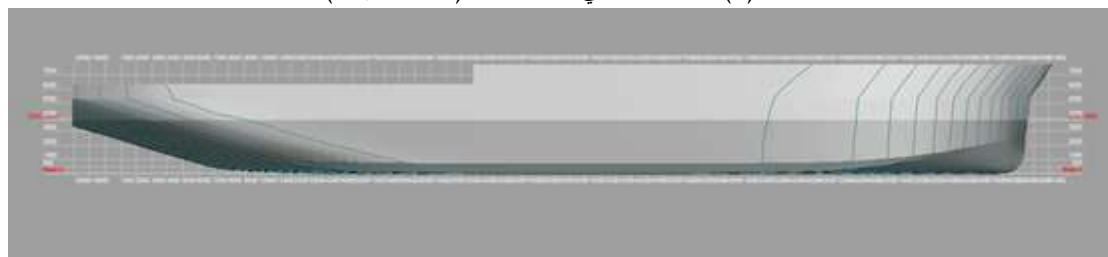
الشكل (3) المسقط الجانبي لسفينة بضائع عامة (السفينة الثانية)



الشكل (4) المسقط الجانبي لسفينة نقل حاويات (السفينة الثالثة)



الشكل (5) المسقط الجانبي لسفينة صيد (السفينة الرابعة)



الشكل (6) المسقط الجانبي لسفينة بضائع عامة (السفينة الخامسة)

4- إن منحنيات طريقة السلسلة 60 غير متوافقة بشكل واضح من حيث السلوك والقيم بالمقارنة مع منحنيات الطرق الأخرى عند السرعات المتوسطة والعالية، بالنسبة لغالبية حالات السفن المعتبرة. يعود السبب في ذلك إلى عدم توافق البارامترات المميزة لأبدان السفن المدروسة مع هذه الطريقة التي تُستخدم لسلاسل من السفن الضخمة الممتلئة كناقلات النفط وناقلات الغاز المسال وسفن البضائع السائبة بأنواعها المختلفة.

5- إن منحنيات المقاومة للطرق المعتبرة تتداخل مع بعضها بعضاً ضمن مجال السرعات الصغيرة والمتوسطة حتى 10 عقدة تقريباً، نظراً لتناسب التدرج على محور العينات لهذه المنحنيات مع القيم الكبيرة للمقاومة المقابلة للسرعات فوق 10 عقدة. لهذا السبب تم إنشاء منحنيات تغيّر مقاومة الجر، بالنسبة لجميع السفن المدروسة عند حالات تحميلها المختلفة وفقاً لطريقة *Delft Series* والطرق التقريبية المذكورة سابقاً مع مكافئاتها، ضمن مجال السرعات الصغيرة والمتوسطة حتى تقريباً 10 عقدة، كما هو مبين في الشكل (23) الذي يخص السفينة الثانية عند حالة التحميل الثانية، والشكل (24) الذي يخص السفينة الرابعة عند حالة التحميل الثانية على سبيل المثال لا الحصر. يقود التحليل المباشر لهذه المنحنيات بالنسبة لجميع السفن المدروسة، عند حالات تحميلها المختلفة، إلى مجموعة ملاحظات عامة يمكن تلخيصها على النحو الآتي:

1-5- إن قيم المقاومة المحددة وفقاً لطريقة *Delft Series* منخفضة بشكل واضح بالمقارنة مع جميع الطرق التقريبية، ومكافئاتها. هذا يقود إلى قيم مرتفعة للانحراف النسبي المئوي لقيم المقاومة المحددة باستخدام الطرق التقريبية المذكورة عن قيم المقاومة المحددة باستخدام طريقة *Delft Series* لجميع حالات السفن المعتمدة.

2-5- تتحرف قيم منحنيات المقاومة وفق طريقة *Taylor* بشكل واضح عن قيم منحنيات المقاومة، وفق طريقة *Delft Series* ضمن مجال السرعات من 2 إلى 4 عقدة ثم يتناقص هذا الانحراف تدريجياً.

3-5- تتحرف قيم منحنيات المقاومة، وفق طريقة السلسلة 60 بشكل كبير جداً عن قيم منحنيات المقاومة وفق طريقة *Delft Series* اعتباراً من قيمة معينة للسرعة تقع ضمن مجال السرعات من 6 إلى 8 عقدة.

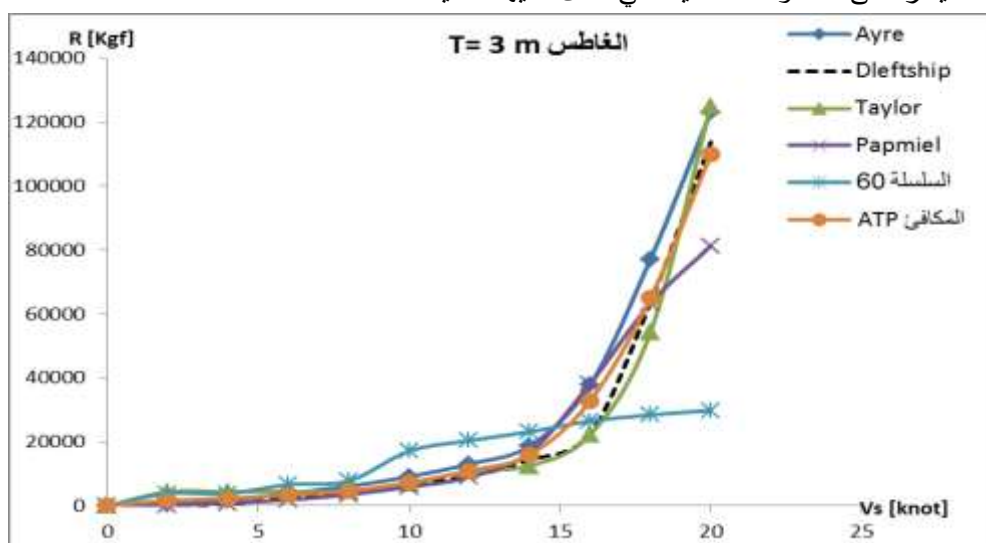
عموماً نستنتج مما سبق أن المقارنة المباشرة (من حيث القيم والسلوك) بين منحنيات المقاومة وفق الطرق التقريبية مع مكافئاتها ومنحنيات طريقة *Delft Series* لا تؤدي إلى نتائج دقيقة. لهذا السبب سنعمد إجراء مقارنة تحليلية إحصائية بين منحنيات الطرق التقريبية مع مكافئاتها ومنحنيات طريقة *Delft Series*، باستخدام مفهوم معامل شدة الارتباط، ومفهوم الانحراف النسبي المئوي. تبين الأشكال من (25) حتى (30) مقارنة المعدل الوسطي العام لمعامل شدة الارتباط والمعدل الوسطي العام للانحراف النسبي المتوسط المئوي بين منحنيات الطرق التقريبية مع مكافئاتها ومنحنيات طريقة *Delft Series* لجميع حالات التحميل للسفن المعبرة، ضمن ثلاثة مجالات محددة لسرعة السفينة. سمحت هذه المقارنة بالتوصل إلى النتائج الهامة الآتية:

* بالنسبة للمجال الأول العام للسرعة (من 0 وحتى 20 عقدة)، يُلاحظ أن أنسب المنحنيات، أي أقرب ما يُمكن إلى منحنيات طريقة *Delft Series* (بحيث تكون قيمة المعدل الوسطي العام لمعامل شدة الارتباط أكبر ما يُمكن كشرط لازم وقيمة المعدل الوسطي العام للانحراف النسبي المتوسط المئوي أصغر ما يُمكن كشرط كافي) هي المنحنيات المكافئة ل *A T P* (الشكل 25 و 26). أما بالنسبة للمجال الثاني للسرعة (من 0 وحتى 10 عقدة)، يُلاحظ أن أنسب المنحنيات هي منحنيات طريقة *Ayre* (الشكل 27 و 28). وأخيراً بالنسبة للمجال الثالث للسرعة (من 10 وحتى 20 عقدة)، يُلاحظ أن أنسب المنحنيات هي المنحنيات المكافئة ل *A T P* (الشكل 29 و 30).

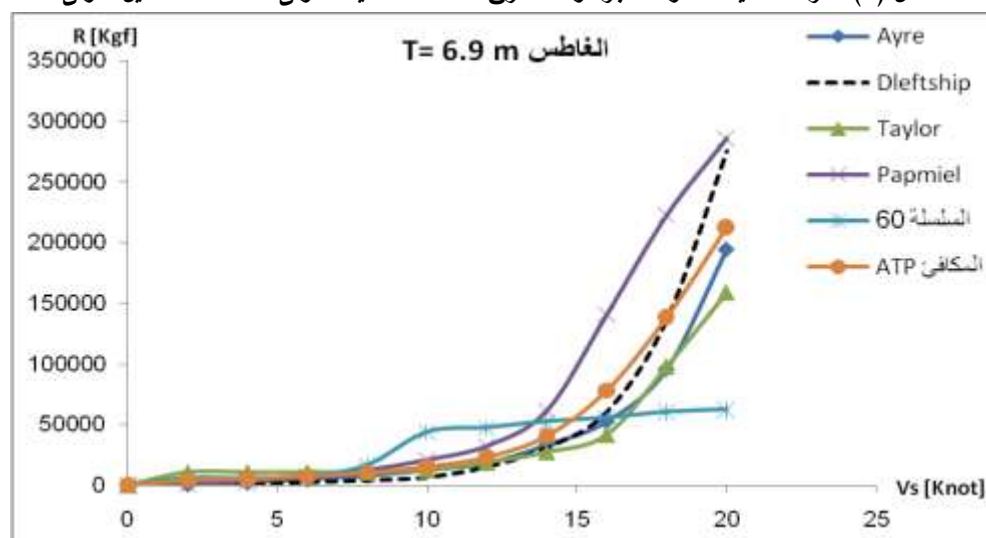
* إن قيم المعدل الوسطي العام لمعامل شدة الارتباط عالية (قريبة من الواحد الصحيح) بالنسبة لمجمل الطرق التقريبية ومكافئاتها باستثناء طريقة السلسلة 60، عند أي مجال من المجالات المعبرة للسرعة.

* إن قيم المعدل الوسطي العام للانحراف النسبي المتوسط المئوي عالية نسبياً، ضمن مجال السرعة (من 0 وحتى 10 عقدة) بالنسبة لمجمل الطرق التقريبية ومكافئاتها، عند مقارنتها بمثيلاتها ضمن مجالات السرعة الأخرى،

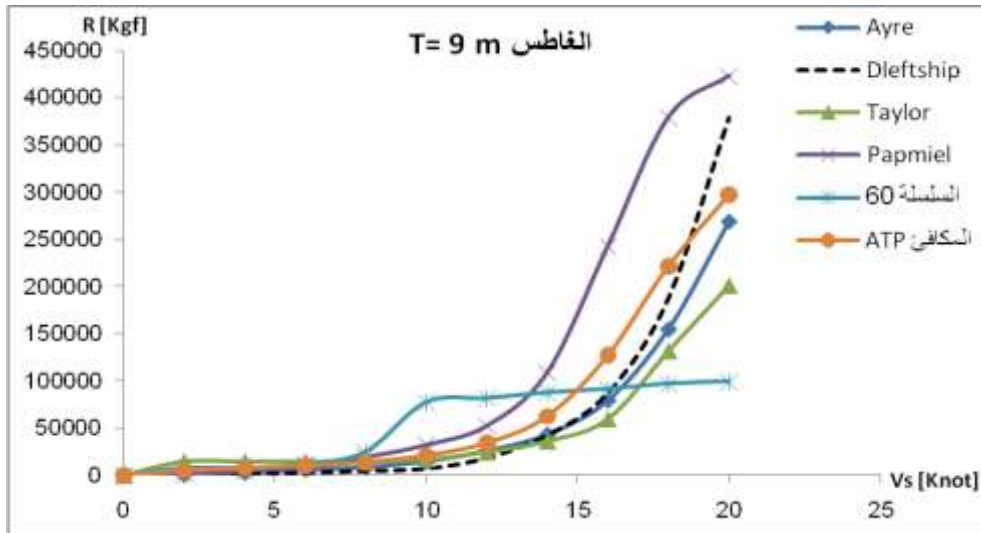
حيث لوحظ انخفاض واضح في قيم المقاومة وفقاً لطريقة Delft Series ضمن المجال المذكور. ينبغي الإشارة إلى أن قيم الانحرافات المطلقة بين منحنيات الطرق التقريبية مع مكافئاتها ومنحنيات طريقة Delft Series ضمن هذا المجال هي أقل من مثيلاتها ضمن مجال السرعة (من عقدة 10 وحتى 20 عقدة) نظراً لتزايد قيمة المقاومة مع مربع السرعة. * إن مقدار التباين (من حيث قيم r و قيم $(\Delta R/R)\%$) لمنحنيات الطرق الأنسب أو الأفضل استخداماً بالمقارنة مع منحنيات طريقة Delft Series يقع ضمن مجال مقدار الإضافة الملاحية (الزيادة في مقدار المقاومة) التي لا يمكن تحديد قيمتها بشكل دقيق نظراً لارتباطها بعوامل عشوائية تخص الظروف المناخية (رياح - أمواج - تيارات مائية) المسيطرة على الخطوط الملاحية التي تعمل عليها السفينة.



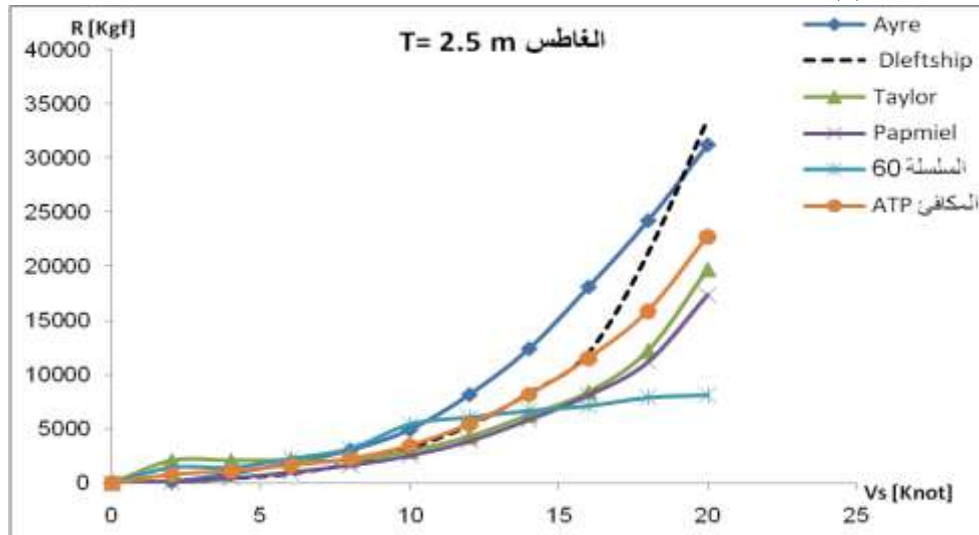
الشكل (7) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الأولى عند حالة التحميل الأولى



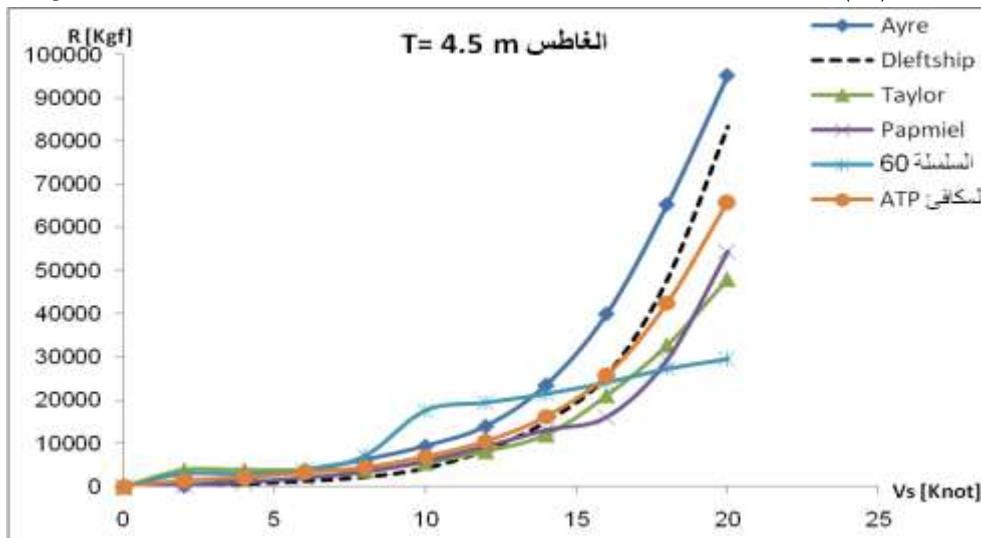
الشكل (8) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الأولى عند حالة التحميل الثانية



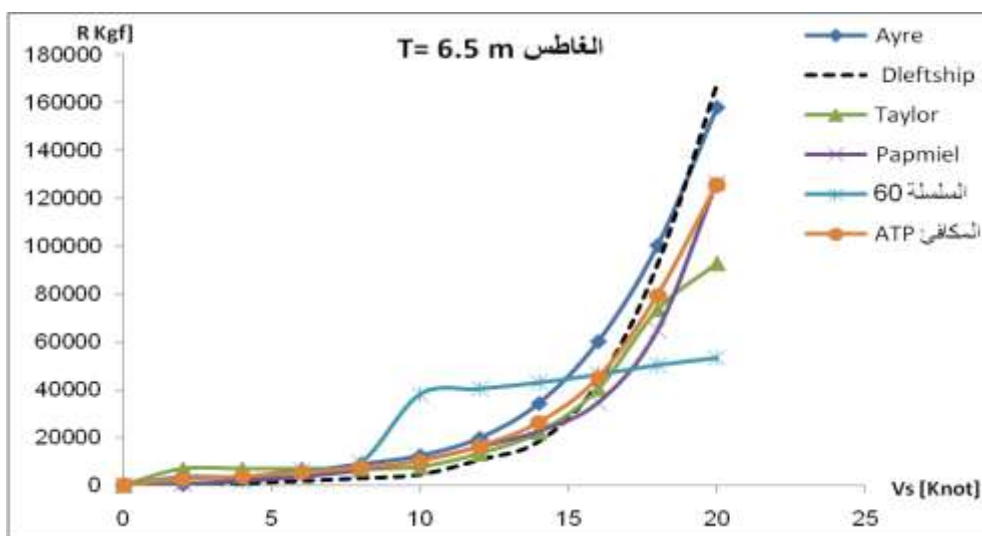
الشكل (9) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الأولى عند حالة التحميل الثالثة



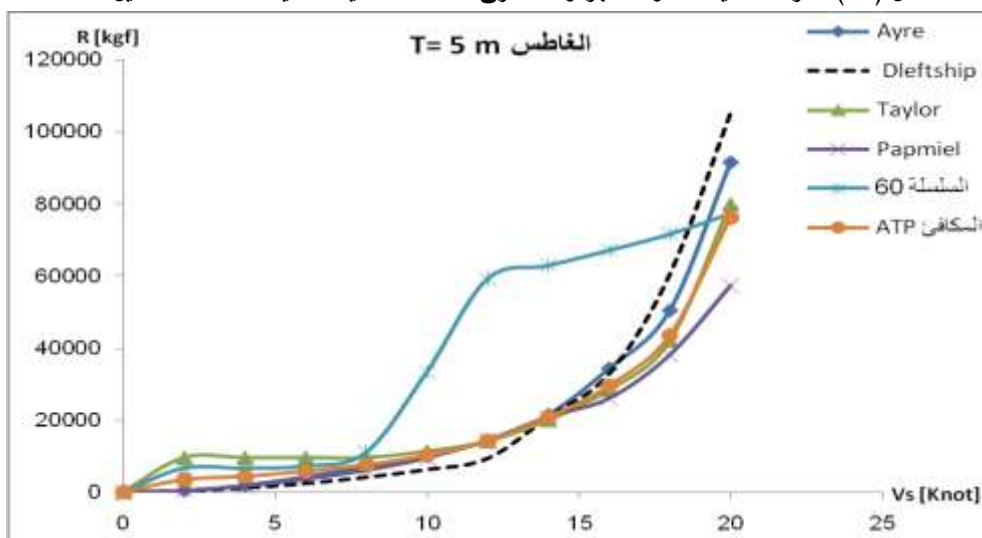
الشكل (10) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الثانية عند حالة التحميل الأولى



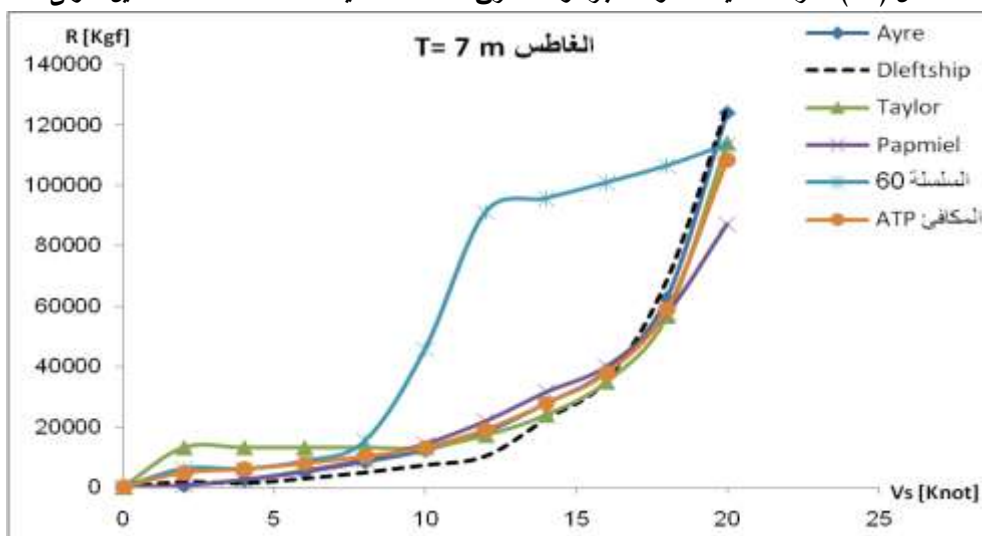
الشكل (11) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الثانية عند حالة التحميل الثانية



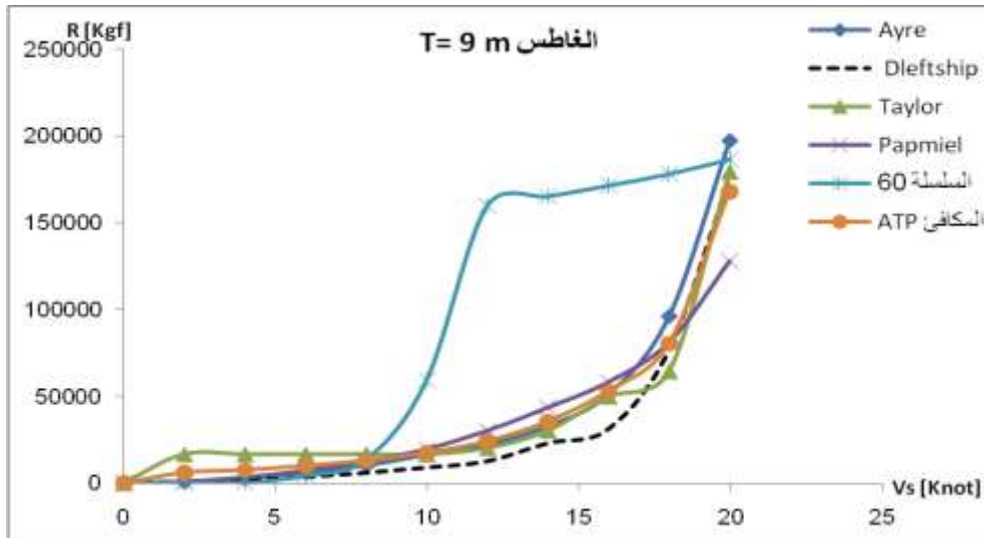
الشكل (12) مقارنة منحنيات مقاومة الجر وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الثانية عند حالة التحميل الثالثة



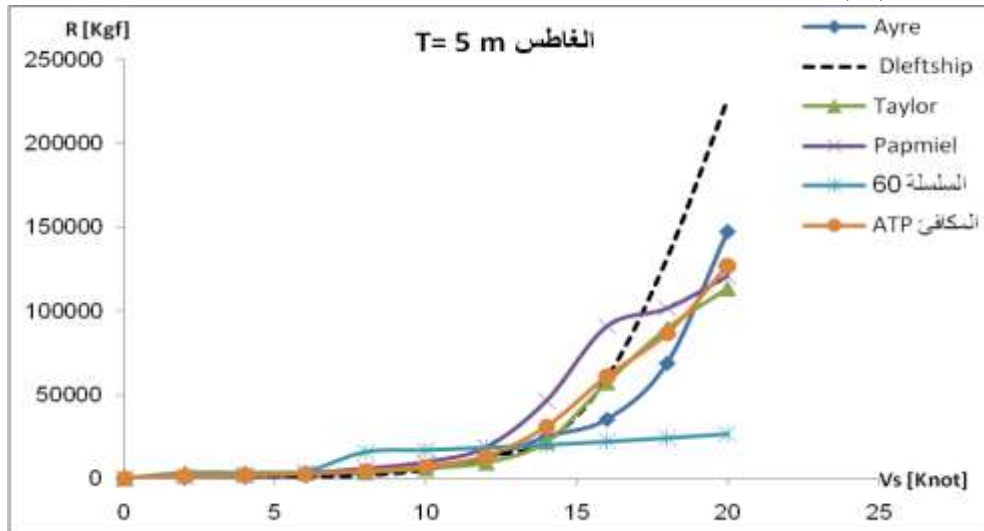
الشكل (13) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الثالثة عند حالة التحميل الأولى



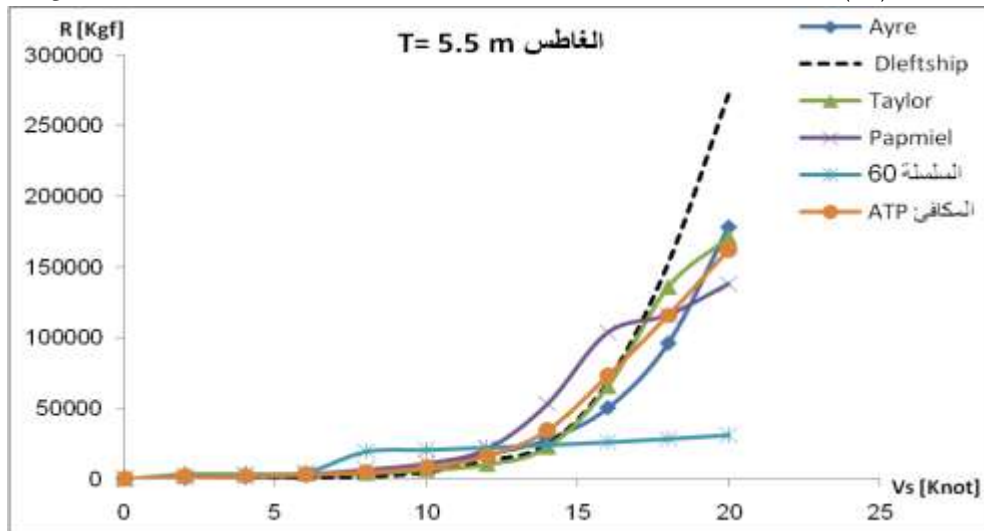
الشكل (14) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الثالثة عند حالة التحميل الثانية



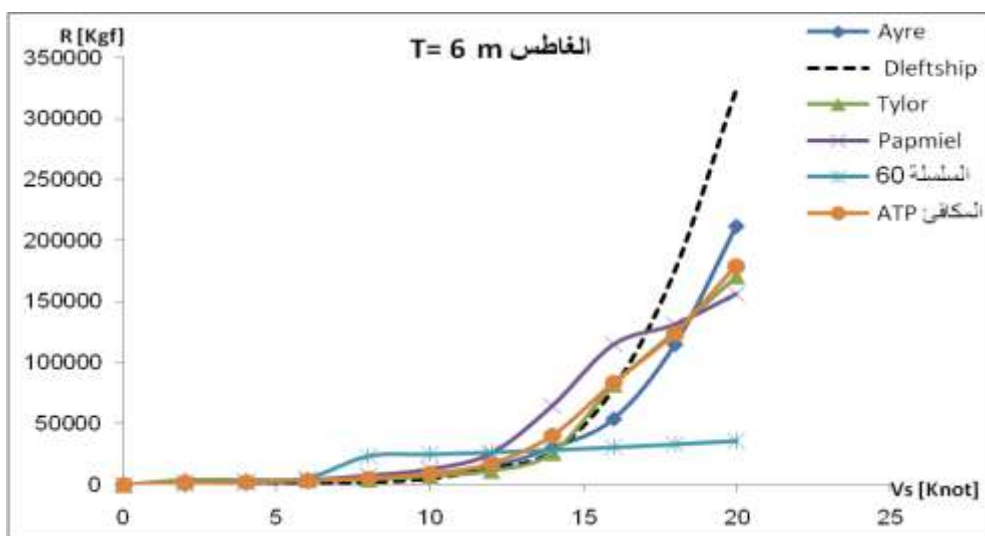
الشكل (15) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الثالثة عند حالة التحميل الثالثة



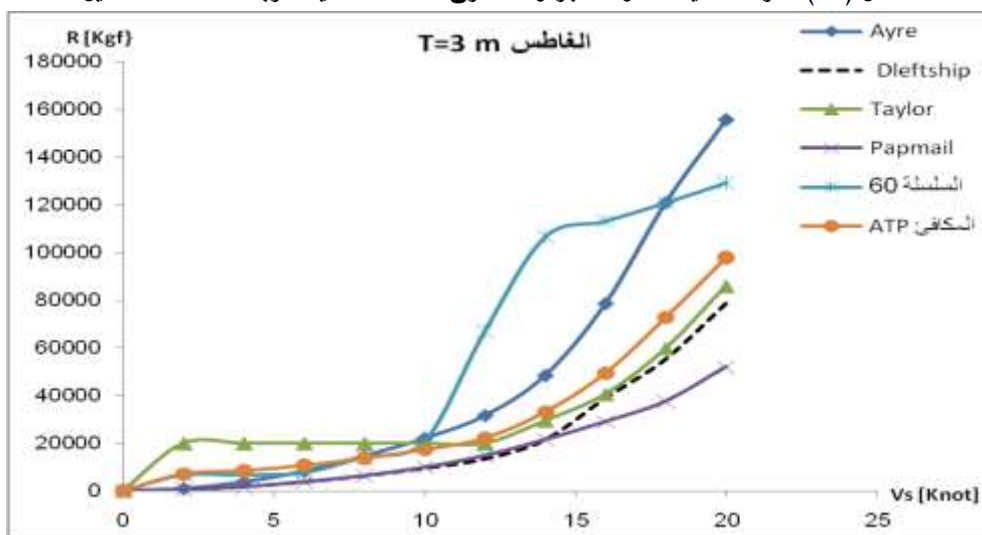
الشكل (16) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الرابعة عند حالة التحميل الأولى



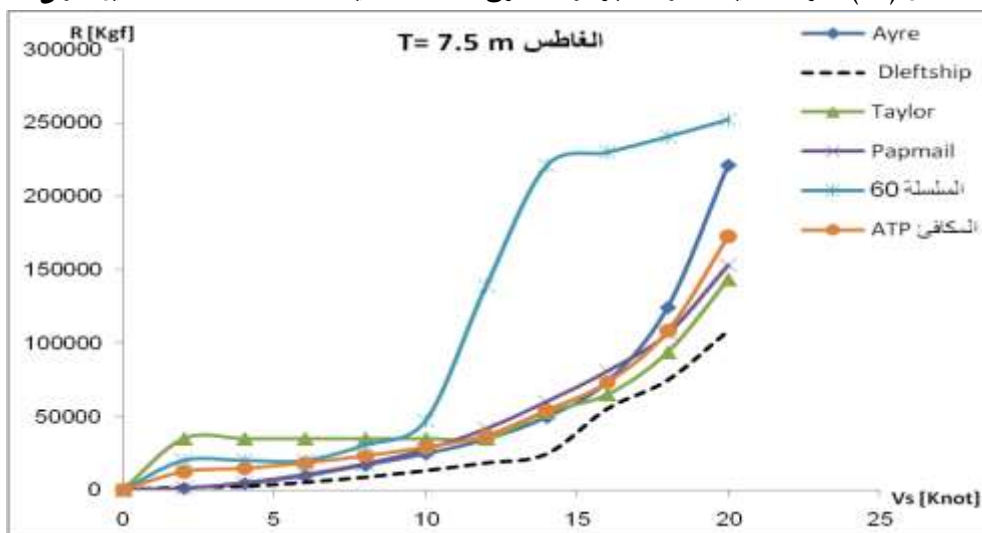
الشكل (17) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الرابعة عند حالة التحميل الثانية



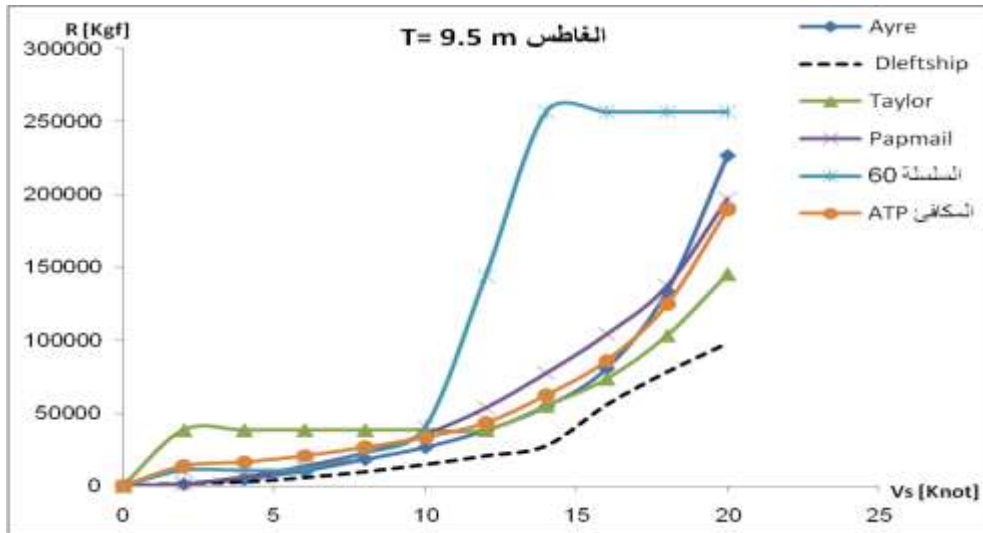
الشكل (18) مقارنة منحنيات مقاومة الجر وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الرابعة عند حالة التحميل الثالثة



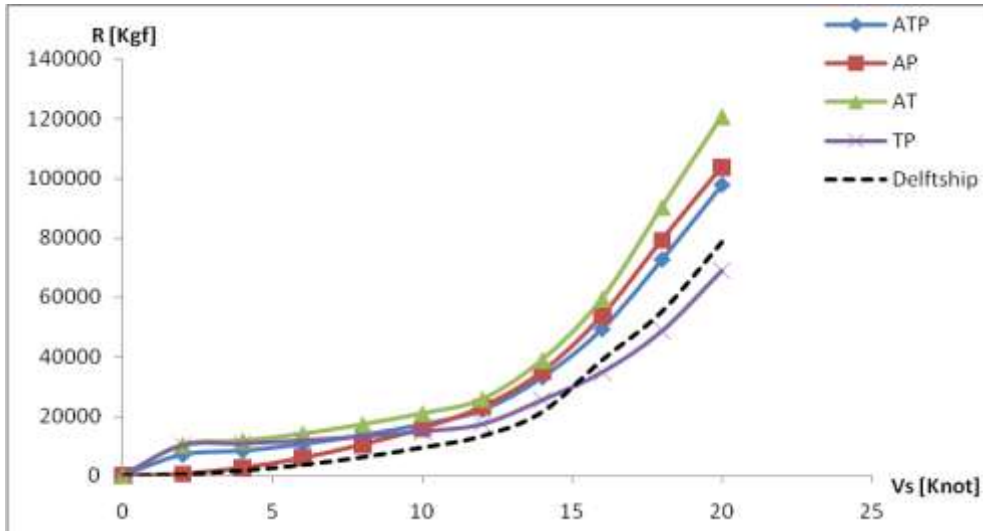
الشكل (19) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الخامسة عند حالة التحميل الأولى



الشكل (20) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الخامسة عند حالة التحميل الثانية

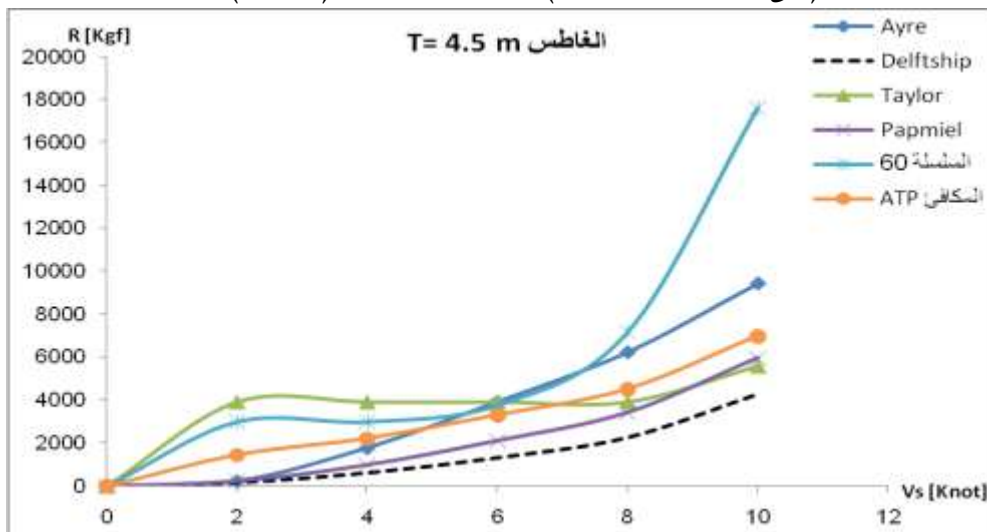


الشكل (21) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الخامسة عند حالة التحميل الثالثة

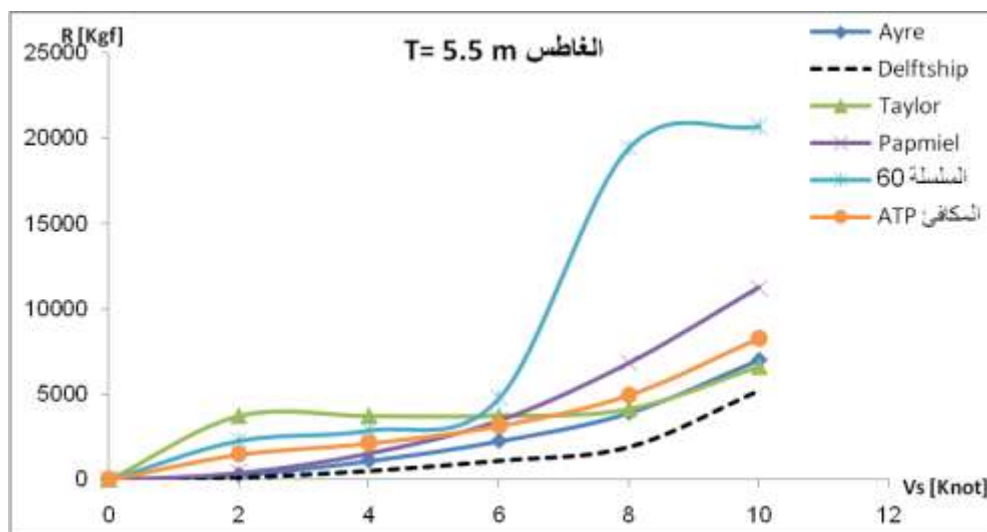


الشكل (22) مقارنة منحنيات مقاومة الجر بالنسبة لمكافئات الطرق التقريبية للسفينة الخامسة

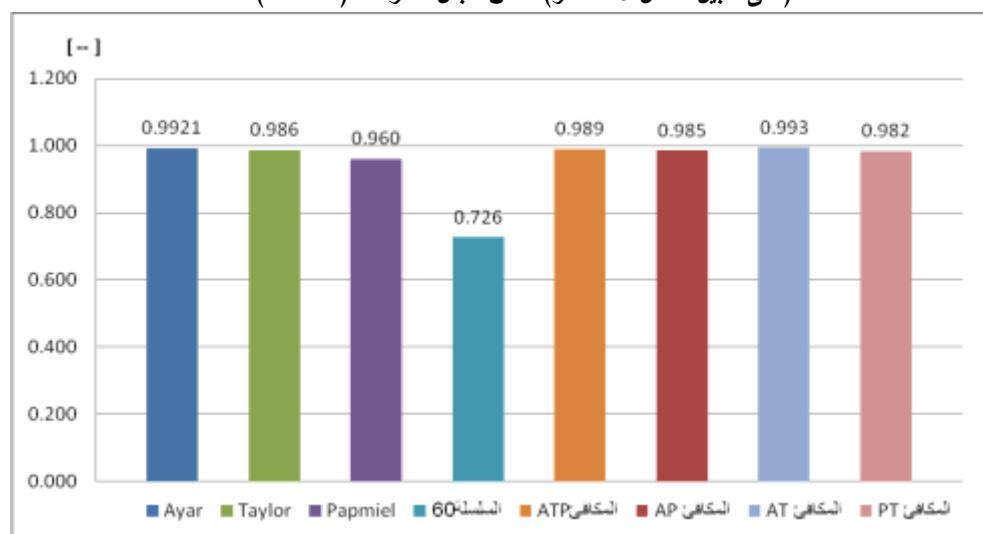
(على سبيل المثال لا الحصر) ضمن مجال السرعات (0 - 10) عقدة



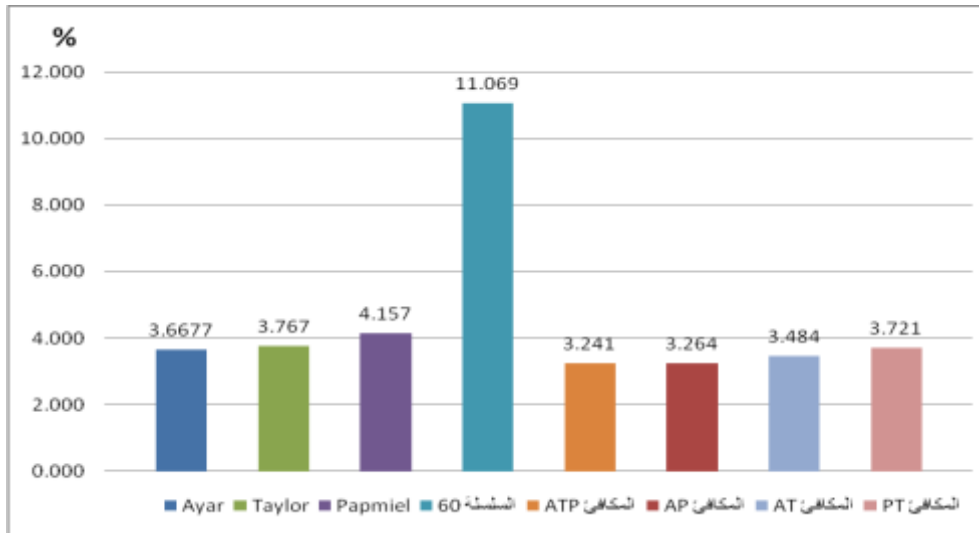
الشكل (23) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الثانية عند حالة التحميل الثانية (على سبيل المثال لا الحصر) ضمن مجال السرعات (0 - 10) عقدة



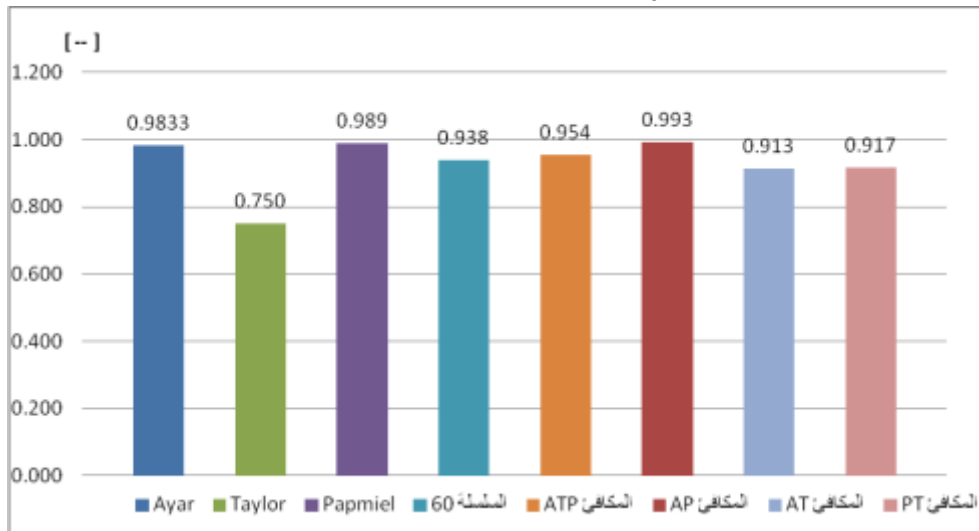
الشكل (24) مقارنة منحنيات مقاومة الجر، وفقاً للطرق المعتمدة للسفينة الرابعة عند حالة التحميل الثانية (على سبيل المثال لا الحصر) ضمن مجال السرعات (0 - 10) عقدة



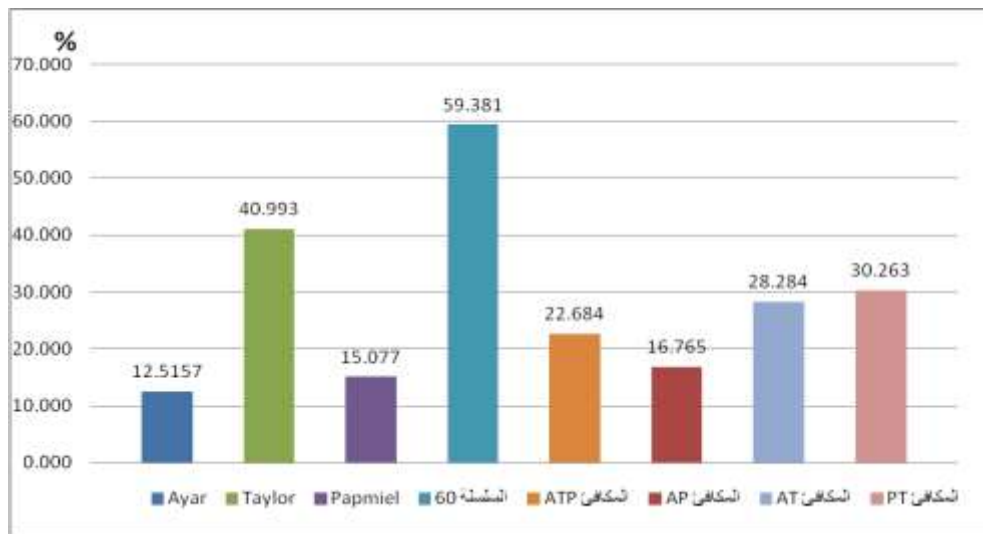
الشكل (25) مقارنة المعدل الوسطي العام لمعامل شدة الارتباط بين سلوك منحنيات الطرق التقريبية مع مكافئاتها ومنحنيات طريقة Delft Series لجميع حالات التحميل للسفن المعتمدة ضمن مجال السرعات من 0 - 20 عقدة



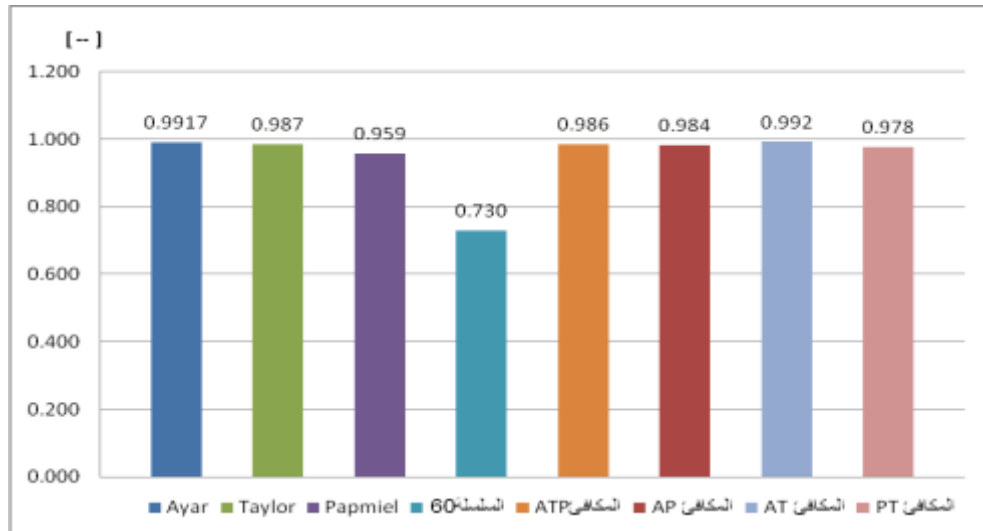
الشكل (26) مقارنة المعدل الوسطي العام للانحراف النسبي المتوسط المنوي بين قيم منحنيات الطرق التقريبية مع مكافئاتها ومنحنيات طريقة *Delft Series* لجميع حالات التحميل للسفن المعتمدة ضمن مجال السرعات من 0 - 20 عقدة



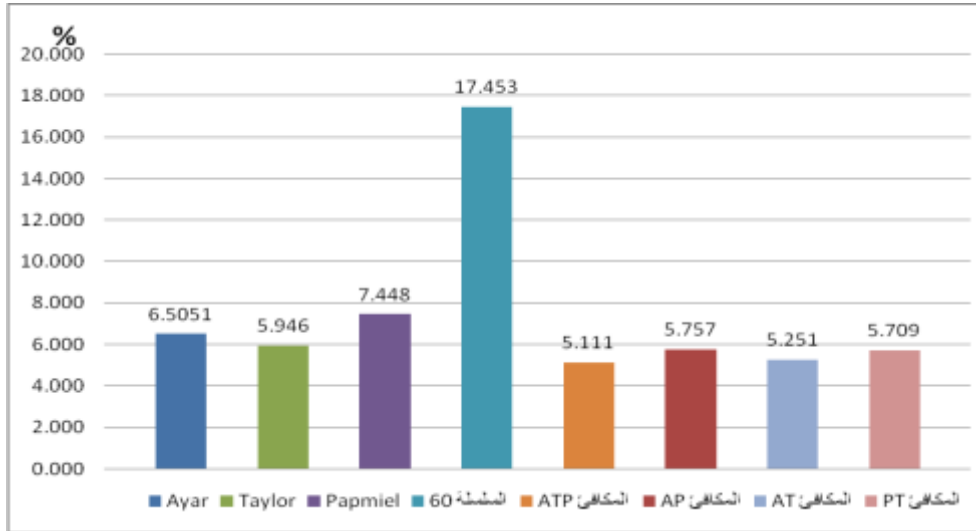
الشكل (27) مقارنة المعدل الوسطي العام لمعامل شدة الارتباط بين سلوك منحنيات الطرق التقريبية مع مكافئاتها ومنحنيات طريقة *Delft Series* لجميع حالات التحميل للسفن المعتمدة ضمن مجال السرعات من 0 - 10 عقدة



الشكل (28) مقارنة المعدل الوسطي العام للانحراف النسبي المتوسط المنوي بين قيم منحنيات الطرق التقريبية مع مكافئاتها ومنحنيات طريقة Delft Series لجميع حالات التحميل للسفن المعتمدة ضمن مجال السرعات من 0 - 10 عقدة



الشكل (29) مقارنة المعدل الوسطي العام لمعامل شدة الارتباط بين سلوك منحنيات الطرق التقريبية، مع مكافئاتها، ومنحنيات طريقة Delft Series لجميع حالات التحميل للسفن المعتمدة ضمن مجال السرعات من 10 - 20 عقدة



الشكل (30) مقارنة المعدل الوسطي العام للانحراف النسبي المتوسط المنوي بين قيم منحنيات الطرق التقريبية، مع مكافئاتها، ومنحنيات طريقة *Delft Series* لجميع حالات التحميل للسفن المعتمدة، ضمن مجال السرعات من 10-20 عقدة الاستنتاجات والتوصيات:

1. لا توجد طرق رياضية تحليلية تسمح بتحديد قيم المقاومات الهيدروليكية لبطن السفينة بدقة مطلقة، بسبب: تداخل الظواهر الهيدروديناميكية المسببة لنشوء المقاومات - تأثير البارامترات الهندسية التصميمية المميزة لشكل بدن السفينة - التأثير المتبادل بين مروحة الدفع وبدن السفينة، الذي يؤدي إلى تغيير مقاومة السفينة - تأثير الظروف المناخية المسيطرة على الخطوط الملاحية، والتي تتمتع بخاصية عشوائية.
2. إن أكثر هذه الطرق انتشاراً، واستخداماً في تحديد مقاومات بدن السفينة هي طريقة اختبارات النماذج التي تعطي نتائج أقرب ما يُمكن إلى الواقع. لتحديد مقاومات السفينة بصورة مبكرة في مراحل التصميم الأولية تُستخدم طرق تقريبية تجريبية تستند إلى معطيات إحصائية، أو نتائج اختبارات النماذج المنهجية لسلسلة من النماذج.
3. أظهرت النتائج أن منحنيات طريقة السلسلة 60 غير متوافقة بشكل واضح (من حيث السلوك والقيم) مع منحنيات الطرق الأخرى المعتبرة، بما في ذلك منحنيات طريقة *Delft Series*، عند السرعات المتوسطة والعالية، بالنسبة لغالبية حالات السفن المدروسة. يعود السبب في ذلك إلى عدم توافق البارامترات المميزة لأبدان السفن المدروسة مع هذه الطريقة التي تُستخدم لسلاسل من السفن الضخمة الممتلئة كناقلات النفط وناقلات الغاز المسال وسفن البضائع السائبة بأنواعها المختلفة.
4. سمحت المقارنة التحليلية الإحصائية بين منحنيات الطرق التقريبية مع مكافئاتها، ومنحنيات طريقة *Delft Series*، (باستخدام مفهوم معامل شدة الارتباط، ومفهوم الانحراف النسبي المنوي) لجميع حالات التحميل للسفن المدروسة، ضمن مجالات محددة للسرعة بالتوصل إلى الاستنتاجات الهامة الآتية:
 - إن أنسب منحنيات المقاومة المحددة باستخدام الطرق التقريبية أو مكافئاتها، أي أقرب ما يُمكن إلى منحنيات طريقة *Delft Series* بالنسبة لمجال السرعات البطيئة والمتوسطة (من 0 وحتى 10 عقدة) هي منحنيات طريقة *Ayre*، وهذا يناسب الوحدات البحرية الصغيرة، كالقوارب العاملة في الموانئ.

- بالنسبة لمجال السرعات المتوسطة والعالية (من 10 عقدة وحتى 20 عقدة)، فيلاحظ أن أنسب المنحنيات هي منحنيات المقاومة المكافئة ل ATP، وهذا يناسب السفن التجارية التقليدية العاملة في المياه المفتوحة.
- إن مقدار التباين لمنحنيات الطرق الأنسب استخداماً بالمقارنة، مع منحنيات طريقة Delft Series يقع ضمن مجال مقدار الإضافة الملاحية التي لا يمكن تحديد قيمتها بشكل دقيق، نظراً لارتباطها بعوامل عشوائية تخص الظروف المناخية (رياح - أمواج - تيارات مائية) المسيطرة على الخطوط الملاحية التي تعمل عليها السفينة.

المراجع:

1. STALIŃSKI, J. Teoria okrętu, Wydawnictwo Morski, Gdańsk 1969, 507.
2. FRĄCKOWIAK, M ., MAKSYMIOUK, W. Zbiór Zadań z Teorii Okrętu, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Poznań 1979, 333.
3. 3 KOBYLŃSKI, L. Opór Okrętu /1/, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1971, 238.
4. DUDZIAK, J . Teoria okrętu, Wydawnictwo Morski , Gdańsk 1988, 618.
5. 5. DUDZIAK, J . Teoria okrętu, Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2008, 675.
6. PAWŁOWSKI, M .Opór okrętu ,Raport Techniczny nr 58, PRS, Gdańsk 2010, 81.
7. KOBYLŃSKI, L. Opór Okrętu /2/, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1971, 239.
8. NOGID, L. Teoria projektowania okrętów, Wydawnictwo Morski , Gdynia 1972, 436.
9. STASZEWSKI, J . Projektowanie Morskich Statków Handlowych /2/, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1984, 380.
10. KUPRAS, K . Metody Obliczeniowe Wstępnej Projektowania statków, Wydawnictwo Morskie, Gdynia 1976, 363.
11. Program Delftship TM user manual, Netherland, 2007-2006 /3.2.
12. الرفاعي، عبد الهادي. الارتباط والسلاسل الزمنية، مديرية الكتب والمطبوعات، جامعة تشرين، 2006، 445.