مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (4) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (4) 2015

مساهمة لنمذجة التأثير المتبادل بين المحرك والرفاص وبدن السفينة

الدكتور بسام حمود*
الهادي صالح**

(تاريخ الإيداع 8 / 4 / 2015. قُبِل للنشر في 13/ 7 / 2015)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث الى جعل عمل محطة الدفع في السفينة سلساً عند مختلف شروط العمل في البحر، ويركز على الظروف التي تختلف كثيراً عن الشروط التصميمية وتشكل تحدياً صعباً في اثناء عمل السفينة.

لقد عالجنا في هذا البحث عدداً من الحالات التي تسبب صعوبة عمل محطة الدفع، تشمل حالة مرور السفينة في مياه قليلة العمق (ضحلة) shallow water ، وحالة تعرض السفينة لعاصفة storm وحالة تراكم الحشف Fouling والاحياء البحرية على بدنها.

يرافق الحالات الثلاثة السابقة تصاعد إجهاد أجزاء المحرك، وارتفاع ستهلاكه للوقود، مع انخفاض في سرعة السفينة والعديد من المشكلات الاخرى. ولحل هذه المشكلات قمنا بإنشاء برنامج بلغة C# يحاكي عمل عناصر محطة الدفع ويعمل عبر تعديل بعض بارامترات المحرك والرفاص على جعل مكونات محطة الدفع (المحرك، الرفاص، البدن) تعمل بشكل متناسق، يكفل إبحار السفينة بالسرعة المناسبة ويبقي استهلاك المحرك للوقود ضمن الحدود المثلى مع الحفاظ على أجزاء محطة الدفع بحالة فنية جيدة.

الكلمات المفتاحية: نظام دفع السفن ،أنظمة عمل المحرك، أنظمة عمل الرفاص، ربط المحرك مع الرفاص، نمذجة عمل محطة الدفع في السفن.

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

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (4) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (4) 2015

Contribution to the modeling of the interaction between the Engine, propeller and ship hull

Dr. Bassam Hammoud*
Alhadee Saleh**

(Received 8 / 4 / 2015. Accepted 13 / 7 / 2015)

□ ABSTRACT □

This study aims to make the function of the propulsion system on ship flexible at various working conditions on sea, and it concentrates on the abnormal conditions that form a hard challenge for the ship.

We dealt in this paper some abnormal working cases; include sailing in shallow waters, storm condition and fouling on ship hull.

At these three cases there is a rise in stress on engine parts, higher fuel consumption, decrease in the speed of the ship and other problems.

To solve these problems we developed a program on C# language, that simulate the elements of propulsion system on ship and coordinates between the engine and the propeller through varying some parameters to ensure sailing of ship at suitable speed, at optimal fuel consumption for the engine, and to keep the propulsion elements at good state.

Key words: propulsion system on ship, working regime of engine, working regime of propeller, matching of engine and propeller, simulation of propulsion system on ship.

***Professor, Department of marine Engineering, Faculty of Mechanical and electrical, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
****Postgraduate student, Department of marine Engineering, Faculty of Mechanical and electrical, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

يُعدّ التوفيق بين عمل محرك الديزل البحري والرفاص (المروحة) خلف البدن، الشرطَ اللازم لكي تكون الاستفادة من الوقود في حدودها المثلى مع ضمان عدم إجهاد مكونات المحرك مهما بلغت شروط العمل من التعقيد.

المقادير المميزة لعمل المحرك والرفاص هي: سرعة الدوران والاستطاعة المنتجة من المحرك، والاستطاعة المستهلكة من الرفاص. ومن المألوف أن يعبر عن هذه المقادير بشكل تخطيطي (منحنيات)، تحدد نقاط تقاطعها مواقع العمل للحالة الموافقة لشروط التشغيل. لذلك تتطلب عملية التوفيق بين المحرك والرفاص تحديد نقاط التقاطع وإزاحتها ضمن مخطط العمل لتصبح في المواقع المناسبة.

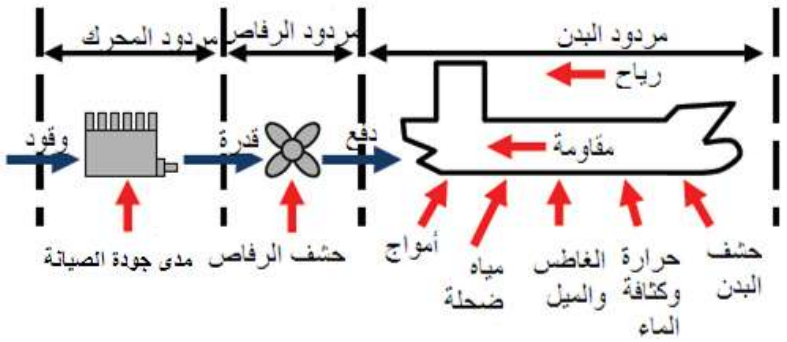
من حيث المبدأ تبدو الأمور بسيطة، ولكنها تتعقد على أرض الواقع بسبب كثرة العوامل المؤثرة على نقطة العمل الفعلية. لذلك قمنا في دراستنا بوضع برنامج بلغة C# يقوم برسم المنحنيات في ظروف العمل المختلفة وإجراء عمليات التقاطع المطلوبة من أجل ايجاد نقطة العمل في كل الحالات المحتمل حدوثها، بغية تكييف المحرك والرفاص مع شروط عمل السفينة المختلفة.

أهمية البحث وأهدافه:

الوصول لأعلى درجات التوفيق بين المحرك والرفاص في كل شروط التشغيل البسيطة والمعقدة، أي ان تكون الطاقة التي ينتجها المحرك مستهلكة من الرفاص بشكل كامل مع امكانية الحصول على نقطة عمل يكون فيها استهلاك المحرك للوقود واجهاد أجزائه بالحدود الدنيا مع المحافظة على اعلى مردود لنقل القدرة وتحويلها من قدرة دورانية للمحرك الى حركة انسحابيه لبدن السفينة. حتى يمكن ذلك لابد من وضع برنامج حاسوبي مصمم خصيصاً لهذا الغرض ينفذ العمليات الرياضية الطويلة والشاقة اللازمة للحصول على نقطة العمل في كل حالة من حالات استثمار السفينة.

طرائق البحث ومواده :

يوضح الشكل رقم (1) البارامترات المشتركة بين مكونات محطة الدفع التي يجب ان تكون قيمها متناسقة وضمن المجال المسموح به، الذي يكفل الاستثمار الاقتصادي والآمن لأي نوع من أنواع السفن [1].

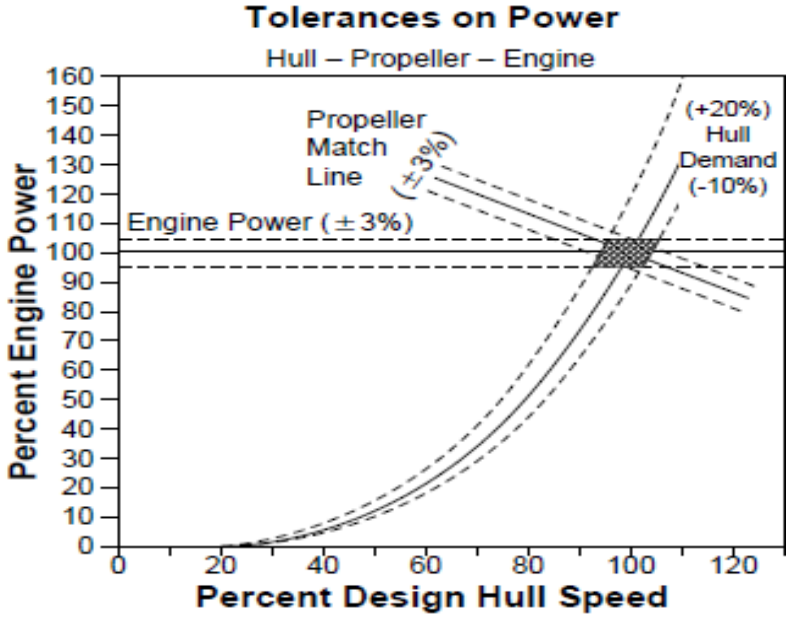


الشكل رقم (1) البارامترات المشتركة بين مكونات جملة الدفع

وكما هو واضح في المخطط فإن بدن السفينة يتعرض لأنواع عديدة من المقاومات تحاول منع الرفاص من الدوران، والرفاص بدوره يحاول ان يجعل البدن يسير بسرعة معينة. ومن حيث المبدأ يجب على المحرك أن يقدم الاستطاعة المطلوبة لدوران الرفاص دون ان يتعرض للإجهاد وبحيث يكون استهلاكه للوقود في الحدود الاقتصادية. لذلك سنسعى لوضع برنامج يحقق التوافق بين

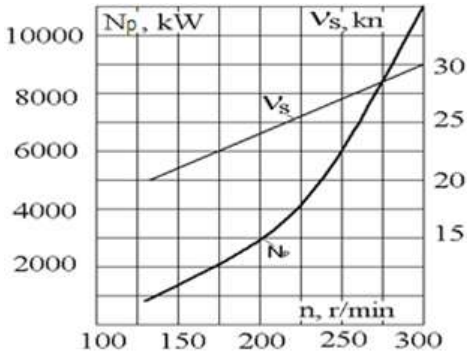
عمل مكونات جملة الدفع عبر تعديل قيمة متغير أو اكثر تبعاً لشروط عمل السفينة.

عند شروط العمل المستقرة تعمل محطة القدرة وفق نظام مثالي يدخل في الكفالة المقدمة من المصممين والمصنعين، تظهر منطقة العمل المثالي على الشكل(2) حيث تراعى دائماً أخطاء التصنيع بالنسبة للأجزاء الثلاثة وتعطى قدراً من التسامح بنسب تصل لـ 20% بالنسبة لمقاومة البدن و3% لاستطاعة المحرك وقوة دفع الرفاص [2] .



الشكل (2) منطقة العمل التصميمية لجملة الدفع في السفينة

سنقوم بداية بإنشاء المنحنيات الأسمية السابقة لكل من المحرك Engine والرفاص Propeller والبدن Hull اي المنحنيات التي تمثل مسار العمل المثالي عند الشروط النظامية لكل منها لنقارنها لاحقاً بمنحنيات العمل الحقيقية وفق الشروط غير النظامية:



الشكل (3) المنحني المميز للرفاص $NP=f(n_p)$

1 -المنحني الأول يسمى المنحني المميز للرفاص (الشكل 3) ويعبر عن العلاقة بين سرعة دوران الرفاص n_p والاستطاعة المستهلكة لتشغيله N_P.

للحصول على هذا المنحني نقوم بإنشاء مصفوفة خاصة بكل من السرعة والاستطاعة بواسطة البرمجة الرقمية للمعادلات الرياضية الناظمة

للعلاقة بينهما بواسطة برنامج C#.

تعطى الاستطاعة المستهلكة في الرفاص بالعلاقة التالية :[1]

P قوة الدفع التي يُنتجها رفاص واحد.

$$N_p = \frac{2.\pi.K_1 \cdot P.n_p^3 \cdot D_p^5}{10^3} \quad [kW] \qquad (1)$$

n_p سرعة دوران الرفاص، $[s^{-1}]$

D_P قطر الرفاص $[m]$.

K_1 ثابت العزم، وتتعلق قيمة في المعادلة السابقة بقيمة الخطوة االفعلية (التقدم النسبي) للرفاص λ_P ، التي تعبِّر بدورها عن النسبة بين سرعة السفينة وسرعة دوران الرفاص $\lambda_p = v_p / n \cdot D$ مع الإشارة أن :

$$v_p = v(1-w) \quad [m/s] \qquad (2)$$

v_p السرعة الحسابية للحركة التقدمية للرفاص في الماء:

v سرعة السفينة، $[m/s]$،

w ثابت التيار المرافق أو يمثل قيمة معامل المخر (سببه تأثير الماء المنجرف خلف البدن بسرعة أقل من سرعة السفينة)

تدخل قيمة القطر D_P بشكل قيمة ثابتة تختلف تبعاً لنوع السفينة (قيمة خاصة بكل سفينة)، وتقرأ قيمة ثابت الدفع K_1 برمجيا من المنحنيات الخاصة بالرفاص(لكل رفاص منحنيات هيدروديناميكية خاصة به)، حيث أننا ندخل قيم المنحنيات على شكل مصفوفات مرتبطة مع البرنامج بتوابع خاصة يمكن قراءة القيم منها.

تحسب قيمة قوة الدفع التي ينتجها الرفاص من العلاقة :

$$P = \frac{R}{z_p(1-t)} \qquad (3)$$

Zp عدد الرفاصات العاملة ، t ثابت الامتصاص (سببه هبوط الضغط نتيجة امتصاص الماء امام الرفاص)، R هي مقاومة الجر التي تقاوم حركة البدن نتيجة المقاومات الرئيسية لحركة البدن (احتكاك جزيئات الماء بالبدن ، مقاومة الضغط ، مقاومة الهواء...) ونحصل على قيمتها من منحني القطر. حيث ان للسفينة قيمة للمقاومة عند كل سرعة حيث تم في البرنامج الموضوع في هذه الدراسة إنشاء منحني القطر بطريقة المعاملات الادميرالية وهي طريقة تقريبية معروفة في علم الهندسة البحرية.

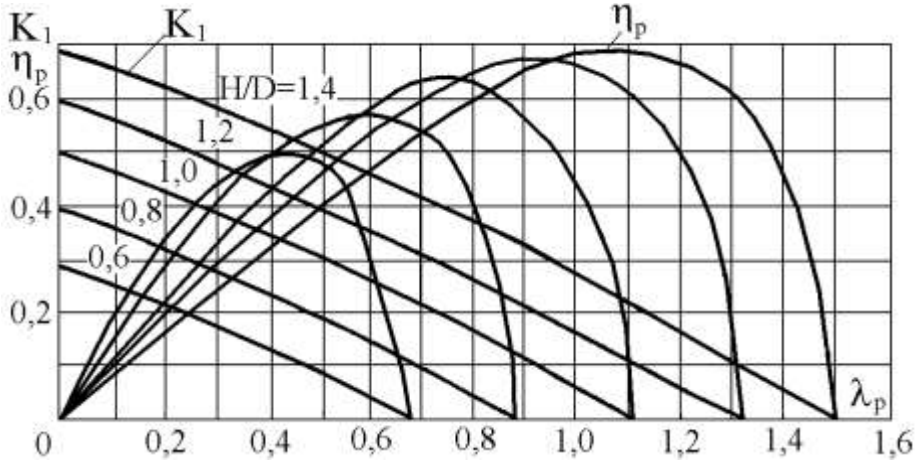
أما قيم سرعة دوران الرفاصn_p فتحسب على شكل مصفوفة من العلاقة :

$$n = \frac{60.v_p}{D.\lambda_p} \qquad (4)$$

كل حدود هذه العلاقة معلومة باستثناء قيمة الخطوة الفعلية للرفاص λ_P لذلك نلجأ لقراءة قيمها من المنحنيات الهيدروديناميكية للرفاص، وثمة مجال من قيم λ_P يتحدد بواسطة ادخال قيمة للخطوة النظرية ، حيث : H الخطوة التصميمية للرفاص خلال دورة واحدة في الماء.

يوضح الشكل (4) المنحنيات الهيدروديناميكية العامة للرفاص التي ترسم بناء على اختبارات نماذج السفن في أحواض خاصة [4]، وتعد هذه المنحنيات احد الوثائق الحتمية في السفينة، وهي توضح العلاقة بين مردود الرفاص (الذي يبين النسبة المئوية لقدرة الرفاص على تحويل الاستطاعة الدورانية للمحرك الى قوة دفع للسفينة)، وبين خطوته النظرية (التي تعبر عن المسافة الافقية التي يتقدم بها الرفاص نحو الامام عند انجاز لفة واحدة دون انزلاق كما لو أنه يدور في جسم صلب).[3] كذلك توضح هذه المنحنيات العلاقة بين الخطوة الفعلية للرفاص λ_P وبين معامل الدفع K_1 الذي يعطى بالعلاقة :

$$K_1 = \frac{P}{\rho n^2 D^4} \qquad (5)$$



الشكل (4) المنحنيات الهيدروديناميكية للرفاص

بعد وضع المصفوفتين المتضمنتين لسرعة الرفاص n_p واستطاعته N_P ، يمكن رسم المنحني المميز للرفاص، كما هو مبين في الشكل (3) .

2 –المنحني الثاني هو المنحني المميز لبدن السفينة $V_S=f(n_p)$ (الشكل3)، الذي يصف العلاقة بين سرعة السفينة V_s وسرعة دوران الرفاص n_p. لرسم هذا المنحني نحتاج لمصفوفة سرعة السفينة حيث ان مصفوفة سرعة الرفاص معلومة . تدخل سرعة السفينة الى البرنامج كقيمة دنيا وعليا في المعطيات العامة للبرنامج ، فيقوم البرنامج بتقسيمها لعدد من العناصر مساو لعدد عناصر مصفوفة سرعة الرفاص وبعدها يتم الرسم ويكون خرج البرنامج كما في الشكل رقم (3).

3 –المنحني الثالث يمثل العلاقة بين الاستطاعة التي يقدمها محرك الديزل و سرعة دورانه . نشير في هذا السياق الى وجود العديد من المنحنيات التي تميز حدود أداء ومؤشرات عمل محرك ديزل بحري. وسنختار في دراستنا محركاً ثنائي الشوط two-stroke marine Diesel engine ، اذ يسود استخدام هذا النوع من المحركات على السفن علما ان هذه المنحنيات خاصة بالمحرك وتعد من الوثائق الحتمية أيضا في السفينة . وفي دراستنا هذه سنقوم

بقراءة المنحنيات برمجياً وتحويلها الى ملفات نصية قابلة للقراءة برمجياً حتى يمكن الحصول على قيم للبارامترات التي نحتاجها عند دراسة نقطة العمل الحقيقية ومقارنتها مع نقطة العمل المثالية. يبين الشكل(5) المنحنيات التي تحدد مجال عمل محرك الديزل البحري لسفينة تجارية. وقد عمدنا في دراستنا الى وضع برنامج يقوم عبر خوارزمية خاصة بتحويلها من صورة الى ملفات قابلة للتفاعل (قراءة البارامترات):[5]

–المنحني 1: يوافق سرعة دوران المحرك القصوى التي يعطي عندها المحرك كامل استطاعته الاستثمارية عند كمية وقود حوالي 85% من اجمالي الحقن وذلك لترك احتياطي لحالة البحر Sea margin ومراعاة تردي حالة المحرك الفنية بعد وضعه في الخدمة لفترة طويلة.

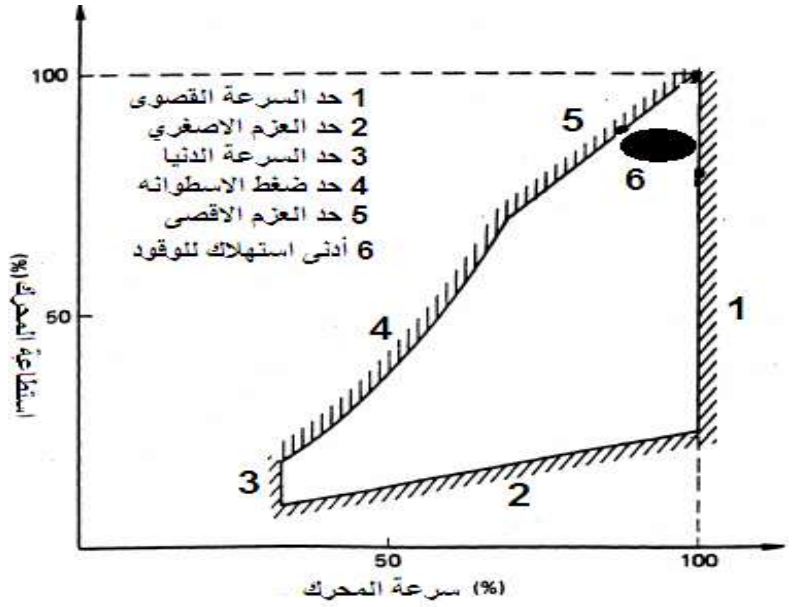
–المنحني 2: يوافق حالة تدني العزم المطلوب من المحرك وذلك في حالة الحمولة الخفيفة للسفينة الامر الذي يؤدي الى تدني جودة الاحتراق واصدار المحرك لكمية كبيرة من الدخان.

–المنحني 3: يحدد أقل سرعة مسموح ان يعمل عندها المحرك لتجنب توقفه المفاجئ وهي تساوي عادة 30% من السرعة القصوى.

–المنحني 4: يحدد قيمة الضغط المتوسط الفعلي داخل الاسطوانة المسموح بها عند سرعة محددة لتجنب الاجهاد الحراري للمحرك.

–المنحني 5: يوافق قيمة العزم الاقصى الذي يمكن للمحرك تقديمه دون أن يتعرض لإجهاد حراري وميكانيكي.

–المساحة 6 : تمثل المساحة التي يكون فيها استهلاك المحرك للوقود في حدوده الدنيا.



الشكل (5) منطقة أنظمة العمل المسموحة لمحرك الديزل

بعد رسم المنحنيات الأسمية على شكل واحد تم تصميم البرنامج ليقوم بإيجاد نقاط عمل محطة الدفع اي ايجاد نقطة تقاطع منحني الرفاص الاسمي الشكل (3) مع المنحني الخاص بعمل المحرك عند نسبة مئوية معينة للحقن كما في الشكل (5) وكما سنرى لاحقاً.

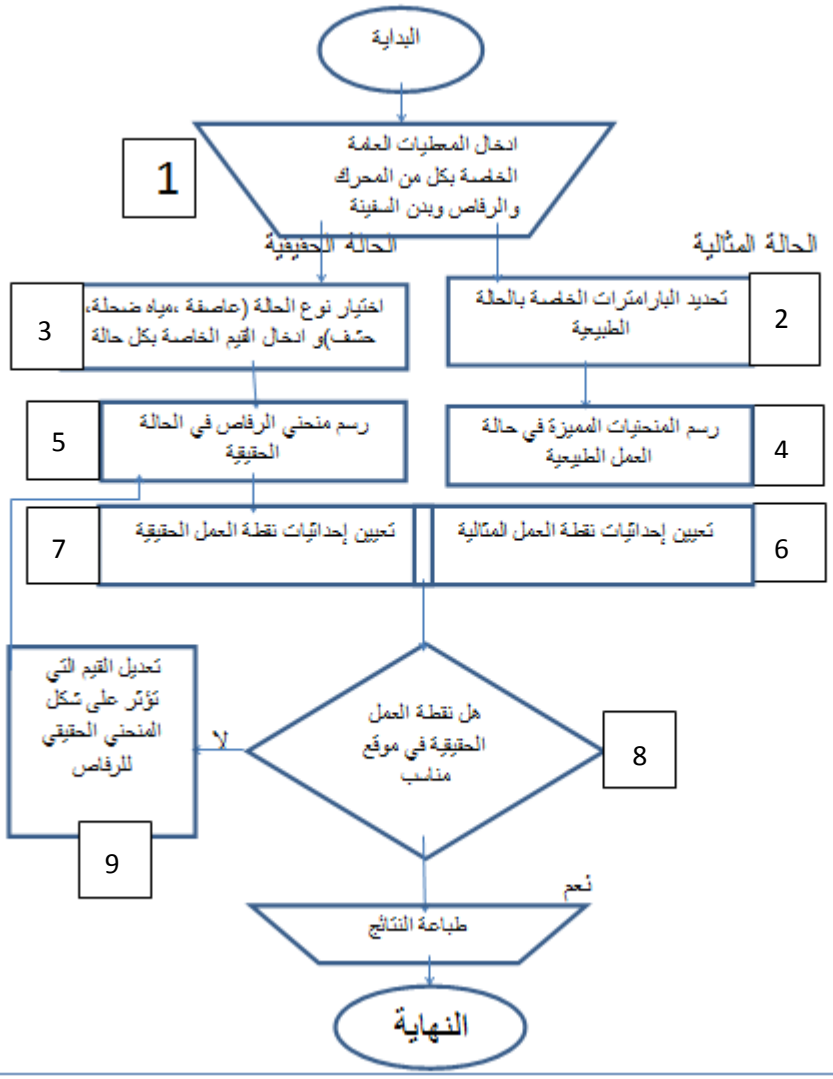
الجدير بالذكر أن نقطة العمل الاسمية هي النقطة الوحيدة التي تكون عندها الاستطاعة المستهلكة في الرفاص مساوية بالقيمة للاستطاعة التي ينتجها المحرك وبذلك لا يوجد اي ضياع بالطاقة، ماعدا بعض الضياعات التي تحدث أثناء انتقال الطاقة من المحرك الى الرفاص كما هو موضح بالجدول رقم (1).

الجدول (1) نسب الضياعات في الاجزاء الواصلة بين المحرك والرفاص

العنصر	قيمة الضياعات كقيمة مئوية من القدرة الكلية
مساند الدفع	0.5%
مسننات تخفيض مفردة (احادية المرحلة)	1.5%
مسننات تخفيض مزدوجة (ثنائية المرحلة)	2.5%
مسننات عكس الحركة	1%
انبوبة الرفاص في مؤخرة السفينة	2%

النتائج والمناقشة:

في شروط العمل غير النظامية يحدث انحراف كبير للمنحني المميز للرفاص، يؤدي لانحراف نقطة العمل التصميمية لتصبح في مناطق غير مرغوب العمل فيها لما تسببه من إجهادات لجملة الدفع وكذلك معدلات عالية من استهلاك الوقود عند سرعة منخفضة لبدن السفينة. لذلك قمنا في دراستنا هذه بوضع برنامج بلغة c# وفق المخطط المبين بالشكل (6) لنتمكن من إنشاء منحني الرفاص الحقيقي في كل من الحالات التالية: 1- حالة اتساخ البدن بالحشف والاحياء البحرية بعد فترة طويلة من التحويض 2- حالة مرور السفينة في مياه قليلة العمق (ضحلة) 3- حالة تعرض السفينة لعاصفة.



الشكل (6) المخطط الصندوقي للبرنامج

– في الصندوق (1) يتم إدخال المعطيات العامة لكل من لرفاص والمحرك وبدن السفينة والتي تشمل قطر الرفاص، مردود ومعامل التقدم للرفاص، معامل (المخر ،الامتصاص، نقل القدرة) بالنسبة للبدن، نوع السفينة، سرعة المحرك، استطاعة المحرك. انظر كذلك الشكل (7 – أ)

– في الصندوق (2) يتم إدخال البارامترات الخاصة بالمحرك والرفاص مثل عدد الرفاصات ونوع الرفاص (ثابت – متغير الخطوة).

– في الصندوق (3) نختار الحالة التي تعمل فيها السفينة (حشف– مياه ضحلة– عاصفة) ثم نقوم بإدخال المعطيات الخاصة بالحالة المختارة كما هو مبين بالشكل (ب ،ج ، د – 7).

– في الصندوق (4) يقوم البرنامج عبر كود خاص برسم المنحني المميز لسرعة بدن السفينة ، المنحني الاسمي المميز للرفاص والمنحني الحدي لاستطاعة محرك الديزل.

– في الصندوق (5) يقوم البرنامج عبر كود خاص برسم منحني الرفاص الحقيقي في حالة العمل الطبيعية المعتبرة.

– في الصندوق (6) يحدد البرنامج إحداثيات نقطة العمل في الشروط الطبيعية.

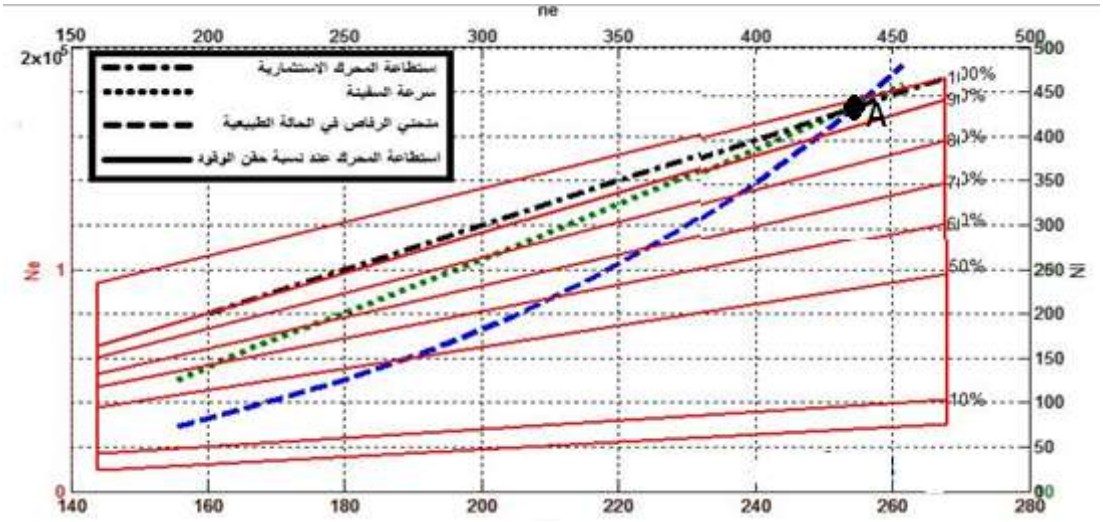
– في الصندوق (7) يحدد البرنامج إحداثيات نقطة العمل في الشروط غير النظامية.

– في الصندوق(8) يقارن البرنامج احداثيات نقطة العمل الجديدة هل توافق نقطة العمل المثالية (هل تقع في المنطقة المسموح العمل عندها) في حال أنها توافق تطبع النتائج ويعطي البرنامج رسالة تبين أن نقطة العمل الجديدة جيدة. وإلا نذهب إلى لصندوق (9)

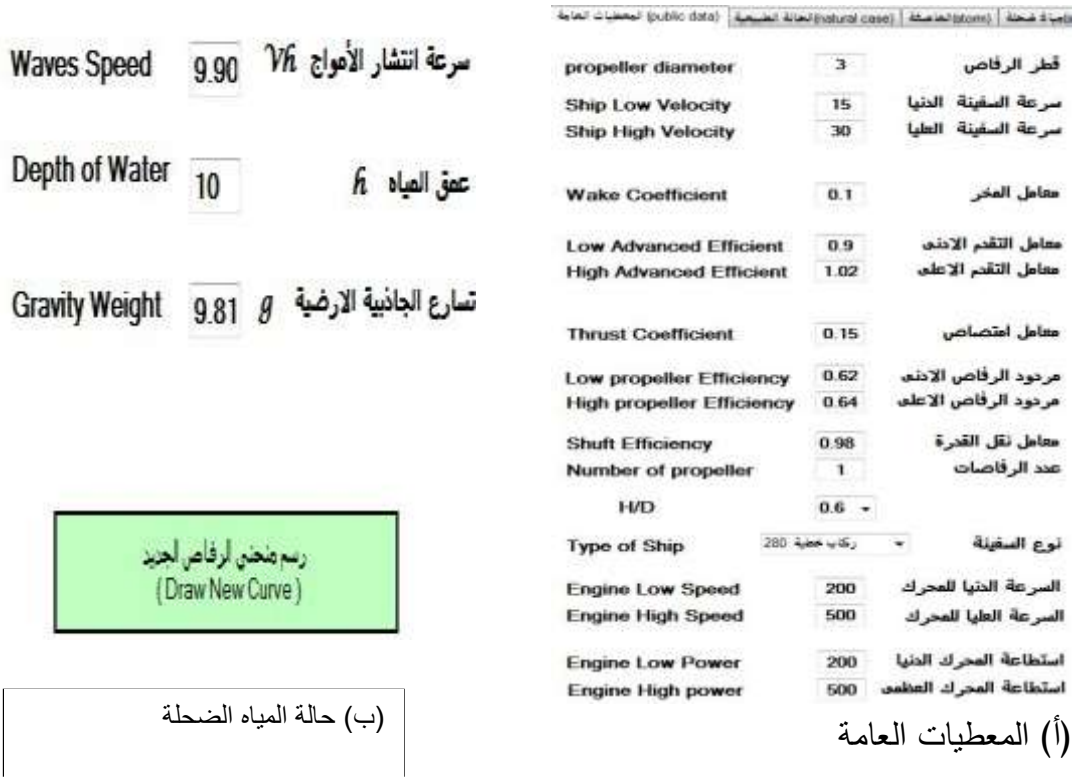
– في الصندوق (9) الخبير تجري بعض التغييرات التي من شأنها جعل نقطة العمل في موقع جيد (مثل تغيير خطوة الرفاص او تغيير كمية الوقود المحقونة في المحرك أو تخفيض سرعة الرفاص او تخفيض سرعة السفينة) بعدها يرسم البرنامج منحني الرفاص الجديد في الشروط غير المستقرة ويجب أن تقترب نقطة العمل الحقيقة المعدلة أكثر باتجاه نقطة العمل التصميمية.

لاختبار البرنامج تم تجريبه على سفينة تجارية وفق المراحل التالية:

أولاً: تم ادخال المعطيات العامة اللازمة لرسم المنحنيات الاسمية لكل من (المحرك،الرفاص،البدن) والحصول على نقطة العمل التصميمية A كما في الشكل 8.



الشكل (8) نقطة العمل التصميمية لجملة الدفع



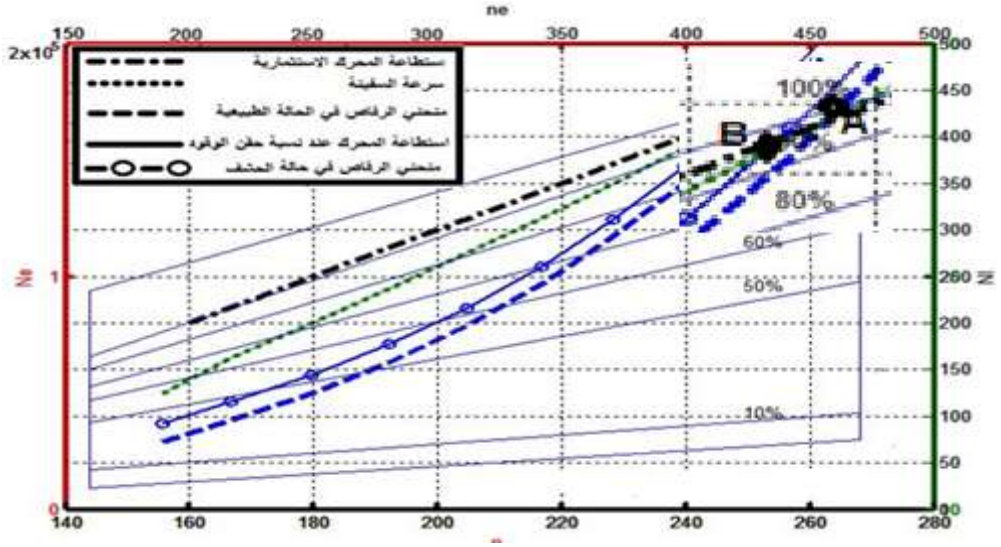
الشكل (7) مدخلات البرنامج

ثانياً: تم ادخال القيم الخاصة بكل حالة حقيقية على حده ورسم منحني الرفاص الجديد كما يلي:

1 – حالة تراكم الحشف على بدن السفينة ورفاصها:

يؤدي تشكل النباتات المائية، والقشريات الى زيادة كبيرة في مقاومة السفينة، تصل الى نحو (0.2–0.5) من المقاومة الكلية يومياً بعد تحويض السفينة. هذه الزيادة في المقاومة مرتبطة بصورة خاصة بالمنطقة التي تبحر فيها السفينة(دافئة، معتدلة، باردة) لأن درجة حرارة ماء البحر تساهم بشكل كبير في نمو الحشف على البدن. تدي زيادة

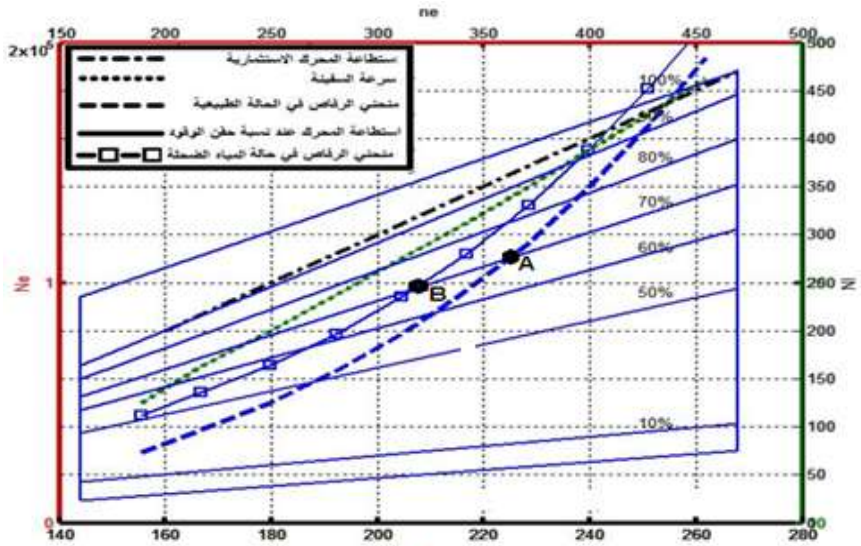
المقاومة هذه الى انزياح منحني الرفاص مبتعداً عن المنحني الاسمي مما يؤدي لتغير موقع نقطة العمل التصميمية كما يوضح الشكل (9) وتصبح نقطة العمل الجديدة هي النقطة B.



الشكل (9) نقطة عمل منظومة الدفع عند نمو الحشف على بدن السفينة ورفاصها

2-حالة مرور السفينة في مياه ضحلة:

تزداد مقاومة السفينة عند ابحارها في المياه قليلة العمق نتيجة ازدياد مقاومة الامواج بصورة رئيسية، تكون الامواج المتولدة في المياه قليلة العمق ذات شكل مختلف عن الامواج المتولدة في المياه العميقة، لأن المدارات التي تتحرك ضمنها جزيئات الماء لن تأخذ شكلاً دائرياً، وإنما ستكون قريبة من شكل بيضوي.

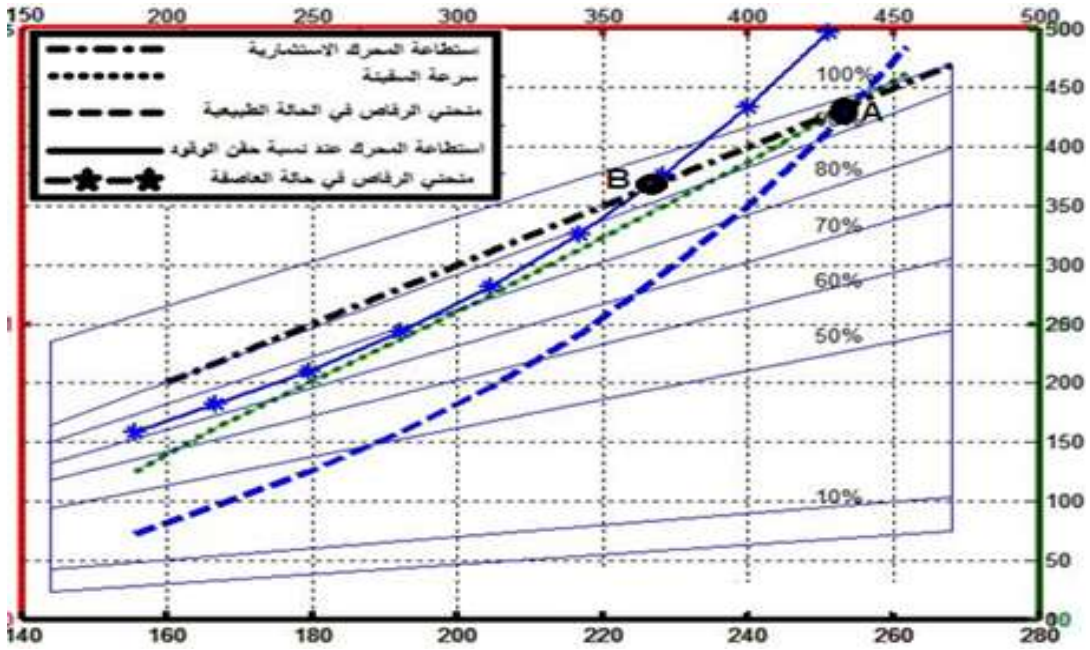


الشكل (10) نقطة عمل منظومة الدفع في حالة مرور السفينة في مياه ضحلة

يؤدي تغير شكل الامواج إلى تغير طريقة انتشارها مما يؤدي لتراكب الامواج العرضية والمائلة عند السرعات فوق 40% من سرعة انتشار الامواج ستحدث زيادة كبيرة في مقاومة السفينة تؤدي الى انحراف منحني الرفاص الاسمي نحو اليسار على فرض ان كمية الوقود المحقونة في المحرك 70%يكون خرج البرنامج على الشكل 10.

3-حالة تعرض السفينة لعاصفة:

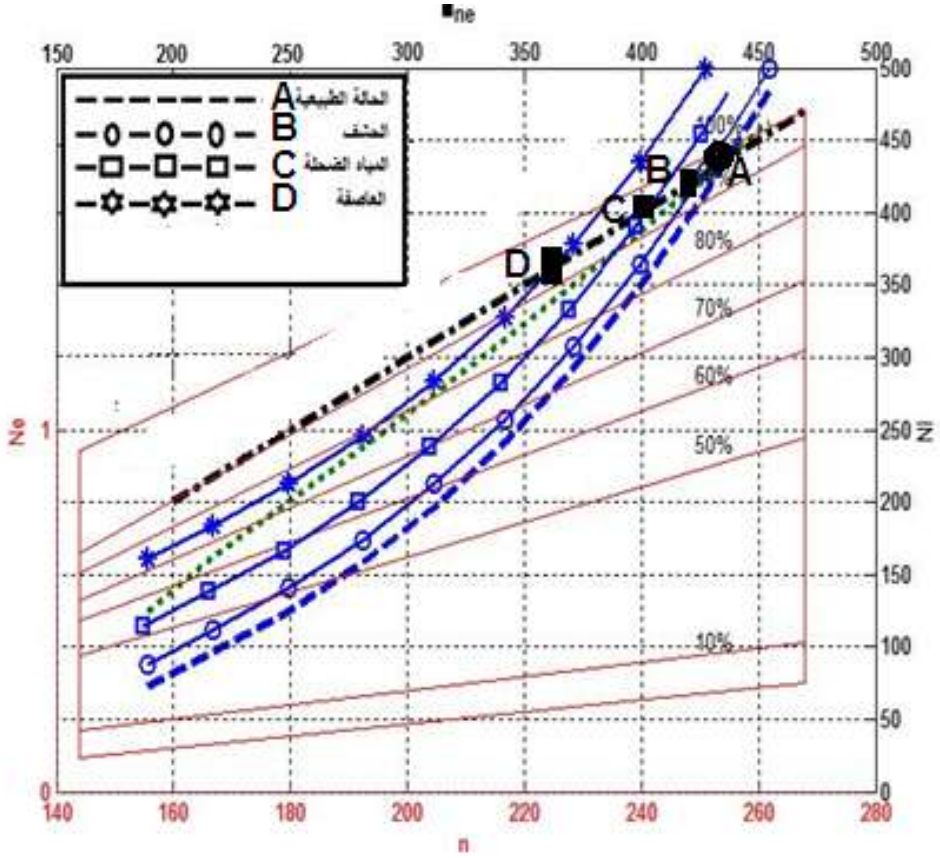
يؤدي تدهور الاحوال الجوية إلى زيادة كبيرة في مقاومات السفينة، يعود السبب في ذلك الى الزيادة الشديدة في الحركات التأرجحية الطولانية، والعمودية للسفينة، الامر الذي يؤدي لغمر أجزاء كبيرة من السفينة بالماء. هذه الحركات التأرجحية تؤدي لخروج أجزاء من الرفاص من الماء وانخفاض مردوده وبالتالي انخفاض سرعة السفينة، هذا الانخفاض يعود لمدى ارتفاع الامواج وسرعة الرياح وحجم السفينة،الشكل (11).



الشكل (11) نقطة عمل منظومة الدفع عند تعرض السفينة لعاصفة

بعد الحصول على المنحنيات الاسمية للمحرك والحقيقية للرفاص يقوم البرنامج بمقاطعتها على شكل واحد ومقارنة بيانات نقطة العمل المثالية مع بيانات نقطة العمل الحقيقية، وهنا تبدأ مرحلة الحل أي جعل نقطة العمل الحقيقية تقترب من المثالية قدر المستطاع لجعل الاستطاعة التي يحتاجها الرفاص منتجة من قبل المحرك دون أن يتعرض لإجهاد أو يستهلك فائض من الوقود. يبين الشكل (12) الفرق الكبير بين نقطة العمل الاسمية A مع نقطة العمل الحقيقية (D،C،B) في كل من الحالات المدروسة على التوالي. ويتم تعديل موقع نقطة العمل في الشروط غير النظامية عبر تعديل خطوة الرفاص H/D وذلك للعمل على منحني جديد من منحنيات الرفاص الهيدروديناميكية الشكل (4) ، لأن زيادة المقاومة يرافقها نقصان في معامل التقدم λ_P وبالتالي زيادة الطلب على الاستطاعة التي ينتجها المحرك كما يلي :

$$R\uparrow \Rightarrow v_s \downarrow \Rightarrow v_p \downarrow \Rightarrow (\lambda_p = \frac{v_p}{nD})\downarrow \Rightarrow$$
$$(K_1)\uparrow \Rightarrow (P,M)\uparrow \Rightarrow Ne\uparrow$$



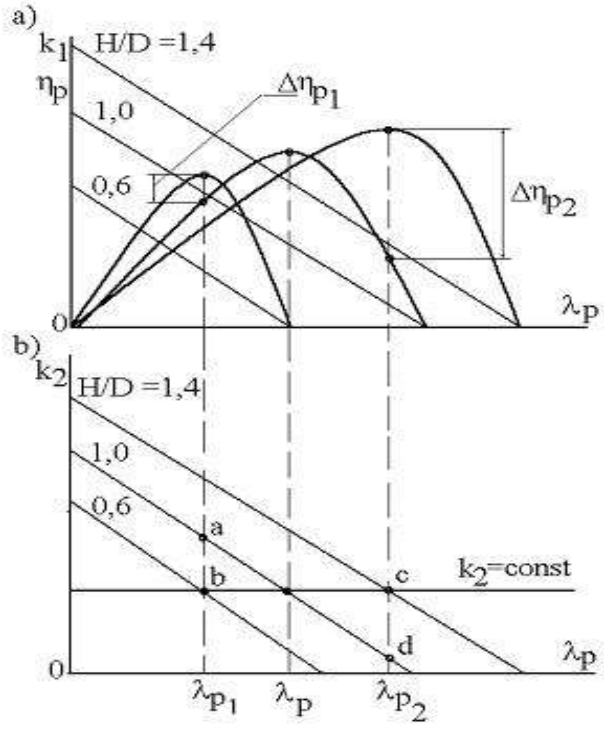
الشكل (12) المنحنيات الحقيقية للرفاص في شروط العمل غير النظامية

إن التغيير في خطوة الرفاص يمكن أن يؤدي الى تغيير في المقاومة على البدن، حيث أنه على سبيل المثال عندما ينحرف مثلاً مخطط (القدرة – سرعة الدوران) الى اليسار بفعل سوء حالة البحر يرافق ذلك زيادة المقاومة على بدن السفينة، فإنه يمكن إعادة هذا المخطط يمينا الى وضعه الأصلي عن طريق زيادة نسبة الخطوة. تغيير خطوة الرفاص أو سرعة السفينة يجب أن يتم وفق دراسة دقيقة أثناء الإبحار لما لهما من تأثير على فعالية الرفاص وأداء منظومة الدفع. الشكل (13)

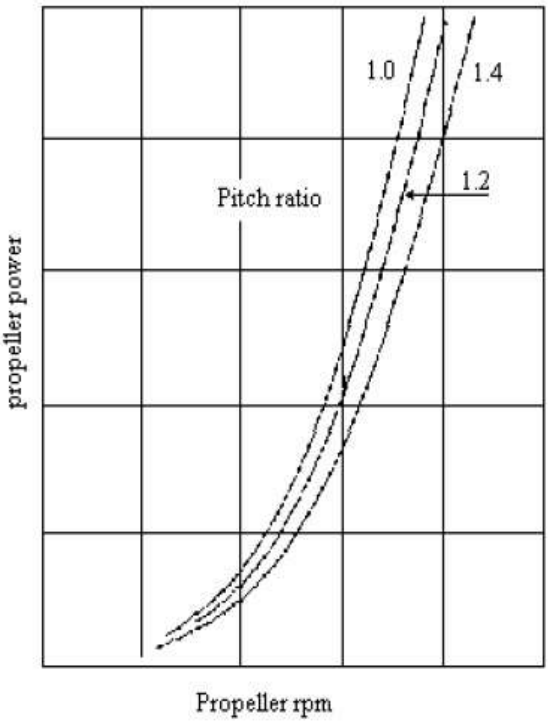
مع ازدياد قيمة الخطوة النسبية النظرية (H/D) يزداد انزياح منحنيات عمل الرفاص باتجاه القيم الأكبر للبارامتر λ_p ، أي تزداد قوة دفع الرفاص وقيمة الاستطاعة المستهلكة فيها، وهذا يؤدي لتحسين التوافق بين عمل المحرك والرفاص.

يتضح من الشكل (14) أنه عند الانتقال للعمل من H/D=1 الى H/D=1.4 يرتفع مردود الرفاص بالمقدار $\Delta\eta_{p2}$ ، وهذا بدوره يسمح بارتفاع سرعة المحرك وبالتالي انخفاض استهلاكه من الوقود وتقليل معدل اجهاده وكذلك زيادة سرعة السفينة.

كذلك فإن تغيير النسبة المئوية لحقن الوقود في المحرك يمكن ان يؤدي بدوره الى اقتراب نقطة العمل في الشروط غير النظامية من النقطة التصميمية بسبب انخفاض سرعة المحرك وبالتالي انخفاض احتمال إجهاد أجزائه.



الشكل(14) رفع مردود الرفاص عبر تعديل خطوته



الشكل(13) انزياح منحني الرفاص نتيجة زيادة نسبة الخطوة النظرية له

الاستنتاجات والتوصيات :

بينت النتائج المعروضة في هذه الدراسة تمكننا من نمذجة عمل محطة الدفع البحرية، وقدرتنا على وضع برنامج يسمح بتعديل موقع نقطة العمل الملائمة لعمل منظومة الدفع (محرك، رفاص، بدن) في ثلاثة من الشروط الخاصة لعمل السفينة، تختلف عن نقطة العمل التصميمية. وهذه مسالة شديدة الأهمية، لأنها تضمن استثماراً جيداً وفعالاص لمحطة دفع السفينة، يخفّض استهلاك محركها للوقود و يقلل من الحاجة لصيانة مكوناتها. ويمكن في المستقبل تطوير هذا البرنامج ليشمل مزيداً من الحالات التي يمكن ان تتعرض لها السفينة في أثناء استثمارها، مثل حالات القطر والجر، والصيد، والمراصفة، والمناوره ....

كذلك يمكن أن يُربط البرنامج – بعد إجراء تعديلات مناسبة عليه – بشكل مباشر مع ميكانيزمات التحكم، لتصبح عملية التحكم بسرعة المحرك وخطوة الرفاص وغيرها من البارامترات ممكنة بصورة مؤتمتة بالكامل، مما يكفل الاستثمار المثالي لمحطة الدفع في السفينة.

المراجع:

1.*Modeling of ship propulsion system*.Denmark- PEDRSON B., ،2008
2-2000.،U.S.A،Caterpillar_Marine_Engines_Application_and_Installation_Guide
3- حمود بسام. *محطات القدرة البحرية*. مديرية الكتب والمطبوعات، سورية ، 2005، 570.
4-بربهان ميشيل. هيدروديناميك السفن 1. مديرية الكتب والمطبوعات، سورية،2009، 530.
5-2002.214. ،ISBN، The Marine Diesel Propulsion System،springr
<http://www.springer.com/978-1-85233-543-4>