

مقارنة طرق تصميم الرفاصات وفقاً لسلوك منحنيات البارامترات التصميمية لأداء الرفاص

الدكتور ميشيل بريهان*

الدكتور رامي حوا**

تاريخ الإيداع 2 / 3 / 2007. قُبل للنشر في 29/4/2008

□ الملخص □

يُعالج البحث واحدة من القضايا الهامة الخاصة بمراكز الأبحاث وتراسانات بناء السفن التي تهدف إلى إعداد نماذج متطورة لتنفيذ حسابات هندسية تصميمية متعلقة بعمليات تصميم رفاصات السفن البحرية في المراحل الأولى لتصميم السفينة.

يتضمن هذا البحث شرحاً للنماذج الرياضية الخاصة بطريقة المخططات البيانية الخاصة بالجملتين الإحداثيتين $(Bu - \delta)$ و $(Bp - \delta)$ وفقاً لسلسلة رفاصات *B-Wageningen*، وأيضاً بطريقة المخططات البيانية الخاصة بالجملتين الإحداثيتين $(K_2 - \lambda_p)$ و $(K_1 - \lambda_p)$ وفقاً لسلسلة رفاصات *Pampel*، نظراً لاستخدامهم الواسع في عالم تصميم الرفاصات. يُمكن ذلك من إجراء مقارنة بين مزايا استخدام كل طريقة من هذه الطرق من خلال تحليل نتائج عملية التصميم.

تمَّ إعداد برنامج حاسوبي بلغة *(Visual Basic 6)* لتنفيذ الحسابات وفقاً للنماذج التي تمَّ إعدادها. سمح ذلك بإجراء مقارنة بين الطرق المُعتمدة في حساب الرفاصات لتقييم أدائها.

كلمات مفتاحية: تصميم الرفاص - اختبارات النماذج للرفاصات.

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

A Comparative Method for Propeller Design Techniques according to the Behavior of the Curves of Design Parameters for Propeller Performance

Dr. Michel Barbahan *
Dr. Rami Hawa **

(Received 2 / 3 / 2007. Accepted 29 / 4 / 2008)

□ ABSTRACT □

This paper deals with an important issue related to research centres and shipyards for the purpose of preparing advanced models capable of carrying out design engineering calculations related to the design of marine vessel propellers in the preliminary stages of vessel design. According to the propeller series *B. Wageninge*, the paper comprises a display of mathematic models related to curves connected with both coordinate systems $(Bu - \delta)$ and $(Bp - \delta)$, n ; Also, by the method of curves related to both systems $(K_2 - \lambda_p)$ and $(K_1 - \lambda_p)$, according to the propeller series *Pampel*. Both these types of series are stated due to their being widely used in the field of propeller designs. This enables us to compare the features each method by analyzing the results of design operation. A computer program using *Visual Basic 6* is prepared to carry out calculations according to the set models.

Keywords: Propeller design , propeller model tests

* Associate Professor, Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Associate Professor, Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

لتأمين حركة السفينة بسرعة معينة يجب تطبيق قوة محركه تتوازن مع المقاومات الهيدروليكية التي تتعرض لها السفينة. لتوليد هذه القوة تُستخدم أجهزة خاصة تُدعى بالدوافع الهيدروليكية، وهي تستمد حركتها من محرك الدفع الرئيسي للسفينة. من الدوافع الهيدروليكية المستخدمة في توليد هذه القوة لدينا: مروحة الدفع أو ما يسمى بالرفاص أو المحارة، والعجلة الدوارة المائية، والدافع ذو المحور الشاقولي والذي يُدعى بمروحة فويت-شنايدر والرفاصات النفاثة. أما في حالة السفن غير المزودة بمحركات دفع فتستخدم المجاديف أو الأشرعة لتوليد قوة الدفع [1]، [2]، [3].

إن أكثر أجهزة الدفع استخداماً في عالم السفن لدينا الرفاصات التي تتألف من ريش أو شفرات يتراوح عددها من 3 إلى 5 مثبتة قطرياً إلى محور دوران المروحة. في أغلب السفن تُستخدم رفاصات ذات خطوة ثابتة كونها أبسط من ناحية التصنيع والتركيب من الرفاصات ذات الخطوة المتغيرة ومن الرفاصات المزوجة العكسية ذات المحور الواحد، ولكنها تعمل بمرود أقل من غيرها في أنظمة العمل الخاصة ولا تسمح بالاستخدام الكامل لاستطاعة المحرك الرئيسي أثناء العمل عند الأنظمة غير الاعتيادية. في بعض الأحيان وبغرض تحسين مردود المنظومة تُستخدم رفاصات تدور ضمن أسطوانة تحل محل الدفة وتُدعى فوهة *Kort* [1]، [2]، [3].

يحتوي العدد الأكبر من السفن على رفاص واحد يركب عند مستوي التناظر للسفينة، هذا ويمكن رؤية سفن ذات رفاصين بدوران خارجي يعملان إما بمحركي ديزل أو أربعة محركات ديزل متوسطة سرعة الدوران. وفي حالات نادرة يتم بناء سفن ذات ثلاثة رفاصات مثل زوارق الطوربيد، بعض الفرقاطات والسفن المضادة للغواصات، في هذه الحالة يكون الرفاصان الجانبيان خارجي الدوران أما الرفاص الوسطي فغالباً ما يكون يساري الدوران. هذا وتبحر بعض سفن الركاب الكبيرة والسفن الحربية وحاملات الطائرات بأربعة رفاصات متوضعة تناظرياً.

عند إجراء الحسابات الخاصة بالرفاصات ثابتة الخطوة يتم الافتراض أن الرفاصات تستهلك كامل الاستطاعة المنتجة في المحركات أثناء سير السفينة بالسرعة الاسمية. لذلك فإن هذه الحسابات تنفذ عند الاستطاعة الاسمية لمحطة القدرة، وهي تهدف إلى تحديد الشروط الأكثر ملاءمة لعمل محطة الدفع. وهنا يجب التمييز بين الحالتين التاليتين:

- الحالة التصميمية المباشرة: وتهدف إلى تحديد استطاعة محطة القدرة اللازمة لتأمين سرعة مفروضة للسفينة.
- الحالة التصميمية العكسية: وتهدف إلى تحديد السرعة التي يمكن أن تسير بها السفينة عند استطاعة محددة لمحطة الدفع.

تُستخدم عادةً في حساب الرفاصات المخططات البيانية المستنتجة من اختبارات النماذج المنهجية الخاصة بالرفاصات. تُجرى هذه الاختبارات لعدة سلاسل من الرفاصات التي تتمتع بخصائص هندسية متماثلة مع خطوة متغيرة بصورة منهجية تختلف عن بعضها بعدد الشفرات ونسبة المساحة القرصية وعرض الشفرات.

توجد في عالم بناء السفن طرق متعددة لحساب الرفاصات، من أكثرها انتشاراً طريقة *B-Wageningen* وطريقة *Pampel*. سنتطرق في بحثنا هذا لدراسة هذه الطرق والتعرف على مزايا استخدامها وفقاً لسلوك منحنيات بارامترات أداء الرفاص.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في معالجته لواحدة من القضايا الهامة الخاصة بمراكز الأبحاث وتراسانات بناء السفن التي تهدف إلى إعداد نماذج متطورة لتنفيذ حسابات هندسية تصميمية باستخدام الحاسب متعلقة بتصميم رفاصات السفن البحرية في المراحل الأولى لتصميم السفن. تتحصر أهداف هذا البحث بما يلي:

1- شرح لأهم الطرق المستخدمة في حساب الرفاصات وفقاً للمخططات البيانية المستنتجة من اختبارات النماذج المنهجية.

2- إعداد برنامج حاسوبي لتنفيذ الحسابات وفق النماذج التي تم إعدادها.

3- إجراء مقارنة بين الطرق المعتمدة في حساب الرفاصات استناداً لسلوك منحنيات البارامترات التصميمية لأداء الرفاص (القطر، المردود، الاستطاعة الفعلية للمحرك) كتابع لعدد دورات المحرك عند حالات مختلفة من عدد الشفرات وعدد المحاور.

طريقة البحث ومواده:

في إطار التصميم الأولي لنظام الدفع للسفينة من الضروري دوماً بالإضافة للتحديد التقريبي للاستطاعة اللازمة لتحريك السفينة بالسرعة المطلوبة، تصميم أو اختيار الرفاص المناسب لعمل المحرك. يُجرى تصميم الرفاصات واختيار محركات الدفع للسفن ذات الأشكال المحددة لأبدانها ولخصائص مقاومتها الهيدروليكية استناداً لنتائج اختبارات النماذج المنهجية لسلاسل من الرفاصات. تُجرى عادةً هذه الاختبارات لسلاسل من الرفاصات التي تتمتع بخصائص هندسية متماثلة، مع خطوة متغيرة بصورة متتالية. تختلف هذه السلاسل عن بعضها البعض بـ: عدد الشفرات (z)، نسبة المساحة القرصية (S_o/S)، مقطع وعرض الشفرات. يتم عرض نتائج اختبارات كل سلسلة على شكل مخططات بيانية في جمل إحداثية مختلفة، حيث تُستخدم هذه المخططات في التصميم الأولي للرفاصات [1]، [2]، [3].

يوجد عالمياً العديد من سلاسل الرفاصات المنهجية المستخدمة في عالم تصميم الرفاصات نذكر منها [4]:

- سلسلة رفاصات **B- Wageningen** الخاصة بأحد مراكز اختبارات النماذج في هولندا.

- سلسلة رفاصات **Pampel** الخاصة بأحد مراكز اختبارات النماذج في الاتحاد السوفيتي سابقاً.

- سلسلة رفاصات **Ma** الخاصة بمركز اختبارات النماذج **SSPA** في **Göteborg**.

- سلسلة رفاصات **AU** الخاصة بمركز اختبارات النماذج **TTRI** في **Tokyo**.

سنتطرق في هذا البحث إلى استعراض النماذج الرياضية الخاصة بطريقة المخططات البيانية الخاصة بالجملتيين الإحداثيتين ($Bu - \delta$) و ($Bp - \delta$) وفقاً لسلسلة **B- Wageningen**، وأيضاً بطريقة المخططات البيانية الخاصة بالجملتيين الإحداثيتين ($K_2 - \lambda_p$) و ($K_1 - \lambda_p$) وفقاً لسلسلة **Pampel**، نظراً لاستخدامهما الواسع في عالم تصميم الرفاصات. إن ذلك يُمكن من إجراء مقارنة بين مزاي استخدام كل طريقة من هذه الطرق عن طريق تحليل نتائج عملية التصميم التي تُقدم على شكل منحنيات بيانية للبارامترات التصميمية لأداء الرفاص كتابع لعدد دورات المحرك عند عدد معين من ريش الرفاص وعدد المحاور.

1- طريقة المخططات البيانية الخاصة بالجمليتين $(\delta - Bu)$ و $(\delta - Bp)$ وفقاً لسلسلة Wageningen

:B-

يستخدم في هذه الطريقة نوعان من المخططات البيانية التي تتضمن المعاملات التالية:
 $(\delta - \eta_p - H/D - B_p - B_u)$. تُحدد هذه المعاملات وفقاً للعلاقات التالية [1]، [2]:

$$B_p = \frac{n \cdot (DHP)^{0.5}}{V_p^{2.5}} \quad (1)$$

$$B_u = \frac{n \cdot (THP)^{0.5}}{V_p^{2.5}} = 0.05541 \frac{n \cdot T^{0.5}}{V_p^2} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{n \cdot D}{V_p} \quad (3)$$

و يراعى استخدام التحويلات المناسبة عندما يلزم ذلك.

حيث إن:

n : عدد الدورات $[rpm]$ ، D : قطر الرفاص $[ft]$ ، H : خطوة الرفاص $[ft]$.

DHP : الاستطاعة المقدمة للرفاص $[HP]$.

THP : استطاعة الدفع وتُعطى بالعلاقة التالية:

$$THP = \frac{T \cdot V_p}{325.86} \quad [HP] \quad (4)$$

T : قوة الدفع وتُحدد بدلالة قوة المقاومة أو استطاعة الجر وفقاً للعلاقة التالية:

$$T = \frac{R}{1-t} = \frac{325.86 EHP}{V(1-t)} \quad [lb] \quad (5)$$

V_p : السرعة الأمامية للرفاص وتُحدد بدلالة سرعة السفينة وفقاً للعلاقة التالية:

$$V_p = V(1-\omega) \quad (6)$$

EHP : استطاعة الجر اللازمة لتحريك السفينة وتُحدد عند السرعة المعتبرة للسفينة من منحنى استطاعة الجر

$$.EHP = f(V)$$

R : المقاومة الكلية للسفينة وتحدد عند السرعة المعتبرة للسفينة من منحنى المقاومة $R = f(V)$.

V : سرعة السفينة $[Knot]$.

t : معامل المص، ω : معامل أثر المخر، و يُحدد كل من هذين المعاملين بعلاقات تقريبية متعلقة بمعاملات

الامتلاء وعدد المراوح.

عندما تكون استطاعة محرك الدفع معلومة، فإنه من الممكن تحديد الاستطاعة المقدمة للرفاص وفقاً للعلاقة:

$$DHP = SHP \cdot \eta_{shaft} = BHP \cdot \eta_{shaft} \cdot \eta_{Ger} = N_i \cdot \eta_{shaft} \cdot \eta_{Ger} \cdot \eta_m \quad (7)$$

حيث إن:

DHP : الاستطاعة المقدمة للرفاص العامل مع وجود البدن $[HP]$.

SHP : الاستطاعة المنقولة من محرك الدفع إلى عمود نقل الحركة $[HP]$.

BHP : الاستطاعة الفعالة عند قارنه المحرك $[HP]$.

N_i : الاستطاعة الاسمية لمحرك الدفع $[HP]$.

η_{shaft} : مردود عمود نقل الحركة.

η_{Ger} : مردود مخفض السرعة.

η_m : المردود الميكانيكي وهو يتعلق ببنية واستطاعة وعدد دورات محرك الدفع.

تُحدد أيضاً الاستطاعة المنقولة إلى عمود نقل الحركة (SHP) أو الاستطاعة الفعالة (BHP) باستخدام

العلاقات التالية:

$$SHP = \frac{EHP}{\eta \cdot \eta_w} = \frac{EHP}{\eta_K \cdot \xi_r \cdot \eta_P \cdot \eta_{shaft}} \quad (8)$$

$$BHP = \frac{EHP}{\eta \cdot \eta_{shaft} \cdot \eta_{Ger}} = \frac{EHP}{\eta_K \cdot \xi_r \cdot \eta_P \cdot \eta_{shaft} \cdot \eta_{Ger}} \quad (9)$$

حيث إن:

η : مردود الدفع، ويمثل نسبة استطاعة الجر (EHP) إلى الاستطاعة المقدمة للرفاص (DHP).

η_K : مردود البدن، ويمثل نسبة استطاعة الجر (EHP) إلى استطاعة الدفع (THP).

η_P : مردود الرفاص، ويمثل نسبة استطاعة الدفع (THP) إلى الاستطاعة المقدمة للرفاص الخُر (DHP).

ξ_r : المردود الدوراني، ويمثل نسبة مردود الرفاص العامل خلف البدن (η_{PS}) إلى مردود الرفاص الخُر (η_P).

في كلا نوعي المخططات البيانية تُوضع قيم معامل الخطوة (H/D) على محور العينات العمودي، أما قيم

المعامل (B_P) فنُوضع على محور السينات الأفقي بالنسبة لمخططات النوع الأول و بالمقابل أيضاً قيم المعامل (B_{II})

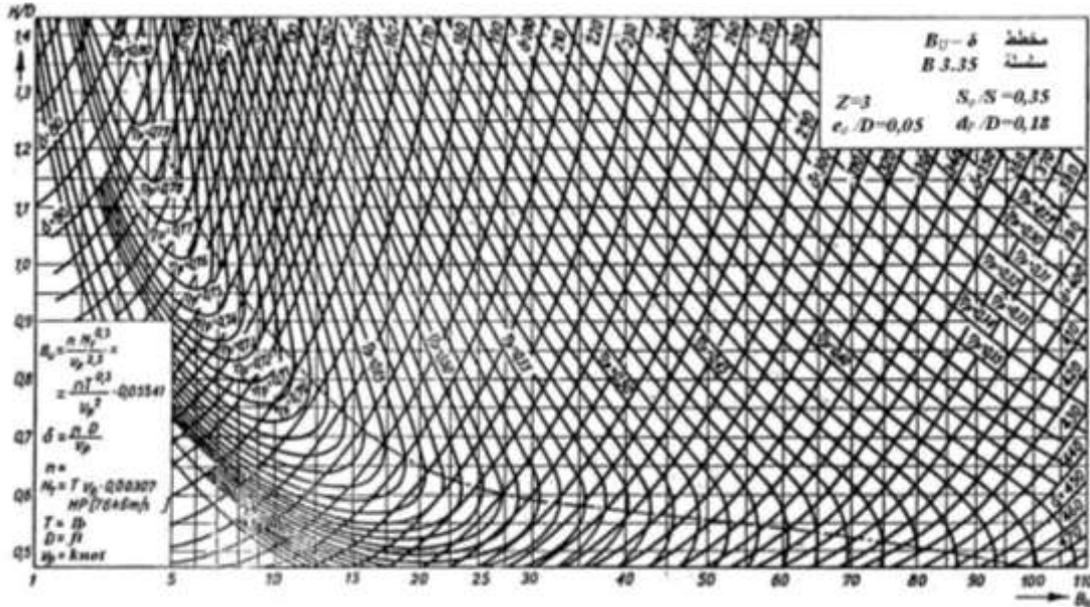
بالنسبة لمخططات النوع الثاني. تتضمن هذه المخططات منحنيات المردود (η_P) ومنحنيات المعامل (δ) وأيضاً

منحني (متقطع) يصل بين النقاط الواقعة على منحنيات المعامل (δ) والمقابلة للمردود المثالي كما هو مبين

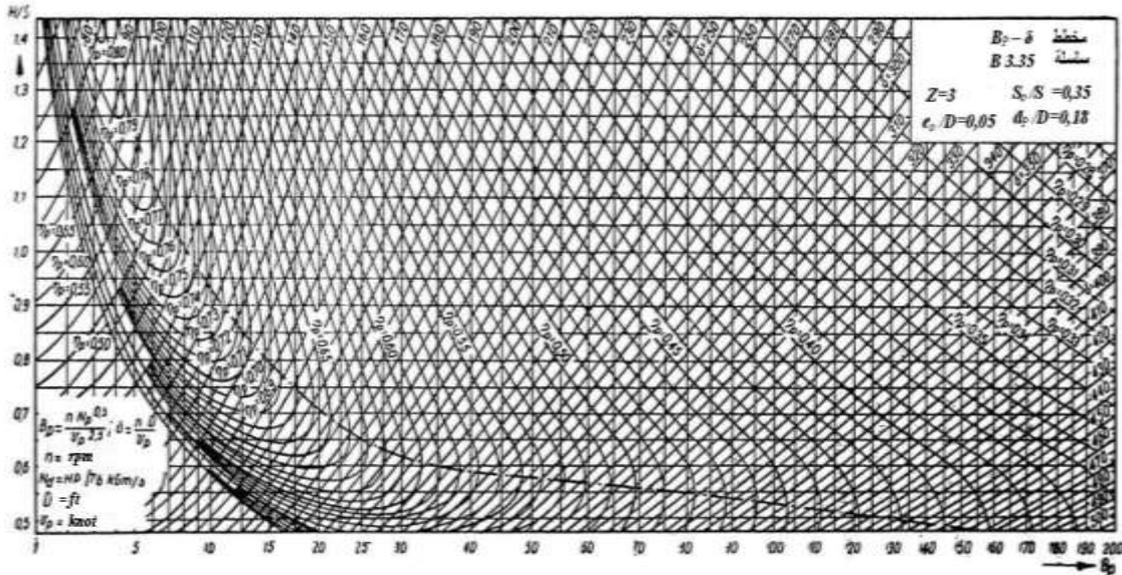
بالشكل (1) والشكل (2).

إن المخططات البيانية في الجملتين ($Bu - \delta$) و ($Bp - \delta$) والتي تُستخدم في هذه الطريقة تخص عدة سلاسل

من رفاصات ثلاثية ورباعية الشفرات عند عدة قيم لنسبة المساحة (S_o/S) [1]، [2].



الشكل (1) أحد المخططات البيانية لسلسلة من الرفاصات في جملة الإحداثيات ($B_{II}-\delta$)



الشكل (2) أحد المخططات البيانية لسلسلة من الرفاصات في جملة الإحداثيات $(B_p - \delta)$

يتم تصميم الرفاص لسفينة ما بحيث يُؤمن السرعة المطلوبة لهذه السفينة في الظروف المناخية الوسطية عند خط الإبحار المفروض وبحيث يكون المردود أكبر ما يمكن وتحقق الاستفادة الكاملة من استطاعة محرك الدفع. عندما تعطى استطاعة وعدد دورات محرك الدفع، فإن الرفاص يُصمم بحيث تكون سرعة السفينة أكبر ما يمكن، أما في حالة القواطر فإنه يتم تصميم الرفاص بحيث تكون قوة القطر أكبر ما يمكن عند السرعة المحددة.

يُجرى تصميم الرفاص وفقاً لهذه الطريقة على مرحلتين، في المرحلة الأولى يُحدد قطر الرفاص الأولي وعدد دوراته وأيضاً مقدار الاستطاعة اللازمة لتأمين السرعة المطلوبة مما يسمح باختيار محرك الدفع، أما في المرحلة الثانية فإنه يتم تحديد أبعاد وعناصر الرفاص بدقة مع الأخذ بعين الاعتبار شروط التكيف، في هذه المرحلة يكون معلوماً لدينا على الأغلب استطاعة وعدد دورات محرك الدفع، والقطر المثالي للرفاص [5]، [6].

ينبغي الإشارة إلى أن التفاصيل الدقيقة الخاصة بإنجاز المرحلة الأولى والثانية لتصميم الرفاص وفق هذه الطريقة يمكن الاطلاع عليها في بحث مُستقل أنجز بصورة مُسبقة [7].

2- طريقة المخططات البيانية الخاصة بالجمليتين $(K_2 - \lambda_p)$ و $(K_1 - \lambda_p)$ وفقاً لسلسلة Pampel:

تستخدم هذه الطريقة المخططات البيانية الخاصة بالجمليتين الإحداثيتين $(K_2 - \lambda_p, K_1 - \lambda_p)$ ، وقد تم دراسة واقتراح هذه المخططات من قبل العالم باميل، حيث أنشأ هذه المخططات استناداً إلى نتائج تجارب عديدة منفذة على مجموعات من سلاسل الرفاصات في الأنفاق المائية على سطح مياه ساكنة [8].

إن مجموعات السلاسل هذه تكون متطابقة في جميع مواصفاتها الهندسية باستثناء الخطوة النسبية النظرية (H/D) .

إن مخططات الرفاصات في جملة الإحداثيات $(K_1 - \lambda_p)$ تتضمن منحنيات:

▪ $K_1(\lambda_p)$: أي منحنيات ثابت الدفع K_1 كتابع للخطوة النسبية الفعلية λ_p عند قيمة ثابتة للخطوة النسبية

النظرية $H/D = const$.

▪ $K_I(\lambda_p)$: أي منحنيات ثابت الدفع K_I كتابع للخطوة النسبية الفعلية λ_p عند قيمة ثابتة لمردود الرفاص
 $\cdot \eta_p = const$

بالإضافة إلى ذلك يوضع على المخططات نوعان من المنحنيات التي تحدد قيماً ثابتة لكل من البارامترين الثابتين اللابعيين التاليين [2]، [8] :

• ثابت الدفع وقطر الرفاص:

$$K'_d = V_p \cdot D \cdot \sqrt{\frac{\rho}{T}} = \frac{\lambda_p}{\sqrt{K_I}} \quad (10)$$

• ثابت الدفع وسرعة دوران الرفاص:

$$K'_n = \frac{V_p}{\sqrt{n}} \sqrt[4]{\frac{\rho}{T}} = \frac{\lambda_p}{\sqrt[4]{K_I}} \quad (11)$$

حيث λ_p الخطوة النسبية الفعلية و تساوي:

$$\lambda_p = \frac{V_p}{n \cdot D} = \frac{h_p}{D} \quad (12)$$

h_p - الخطوة الفعلية للرفاص.

ρ - كثافة المياه.

إن هذين المنحنيين عبارة عن قطوع مكافئة من الدرجة الثانية بالنسبة للثابت (K'_d) ومن الدرجة الرابعة بالنسبة للثابت (K'_n) وتكتب معادلاتهما على الشكل التالي:

$$K_I = \frac{\lambda_p^4}{K_n'^4} \quad (13)$$

$$K_I = \frac{\lambda_p^2}{K_d'^2} \quad (14)$$

إن جميع النقاط الواقعة على المنحني $K'_d = Const$ تمثل رفاصات تتمتع بقيم محددة لكل من $(\lambda_p, \eta_p, H/D)$ وتنتج جميعها قوة الدفع المطلوبة (T) عند القيم المحددة لكل من (D, V_p) ، لكنها تستهلك أثناء ذلك قيماً مختلفة من الاستطاعة (DHP) وذلك وفقاً لقيمة مردود الرفاص في النقاط η_p .

لتبسيط عملية استخدام المخططات يتم رسم المنحني ($K'_{d_{opt}}$) على هذه المخططات، الذي يمثل المحل الهندسي لنقاط تقاطع المنحنيات $K'_d = const$ مع المنحنيات $\eta_p = const$ عند قيمها المختلفة، ويُدعى هذا المنحني **منحني سرعات الدوران الملائمة** (n_{opt}) والذي يتم بموجبه تحديد القيم الملائمة لكل من $(\lambda_p, H/D)$ ، وبالتالي $n_{opt} = \frac{V_p}{\lambda_p \cdot D}$ وذلك استناداً لقيم سرعة دوران الرفاص n ، قوة الدفع T والسرعة الأمامية للرفاص V_p .

بشكل مماثل يتم رسم المنحني ($K'_{n_{opt}}$) على هذه المخططات، وهذا المنحني يمثل المحل الهندسي لنقاط تقاطع المنحنيات $K'_n = const$ مع منحنيات $\eta_p = const$ ، ويُدعى هذا المنحني **خط الأقطار الملائمة** (D_{opt}) والذي يتم بموجبه تحديد القيم الملائمة لكل من $(\lambda_p, H/D)$ وبالتالي: $D_{opt} = \frac{V_p}{\lambda_p \cdot n}$ وذلك استناداً لقيم سرعة دوران الرفاص n ، قوة الدفع T والسرعة الأمامية للرفاص V_p .

لا ترسم المنحنيات $K'_d = const$ و $K'_n = const$ عادة على المخططات بشكلها الكامل وإنما يكتفى برسم شرائط صغيرة في نقاط تقاطعها مع المنحنيات (n_{opt}) و (D_{opt}) ، وتوضع القيم بجانب الشرط وتسمى المنطقة المحصورة بين المنحنيات الملائمة لكل من قطر الرفاص وسرعة دورانها بمنطقة الرفاصات الملائمة.

أما المخططات الخاصة بالجملة الإحداثية (K_2, λ_p) فإنها ترسم بطريقة مشابهة للمخططات الخاصة بالجملة (K_1, λ_p) ولكنها تستخدم البارامترات الثابتة اللابعدية التالية [2]، [8]:

- ثابت الاستطاعة وقطر الرفاص:

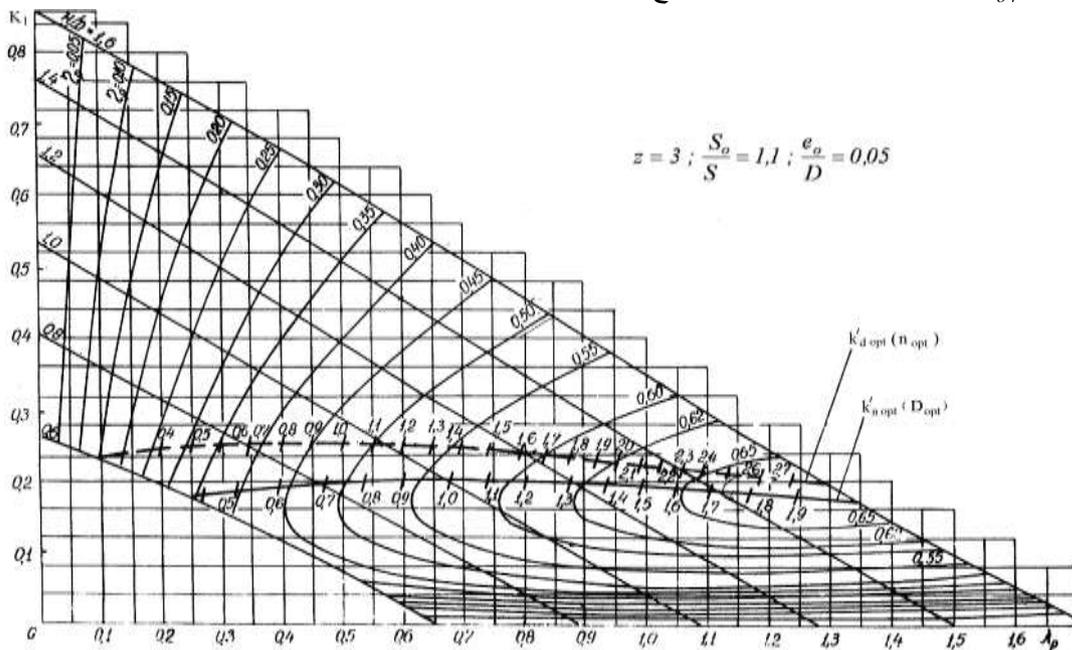
$$K''_d = V_p \cdot D \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot V_p}{DHP}} = \sqrt{\frac{\lambda_p^3}{2 \pi K_2}} \quad (15)$$

- ثابت الاستطاعة وسرعة دوران الرفاص:

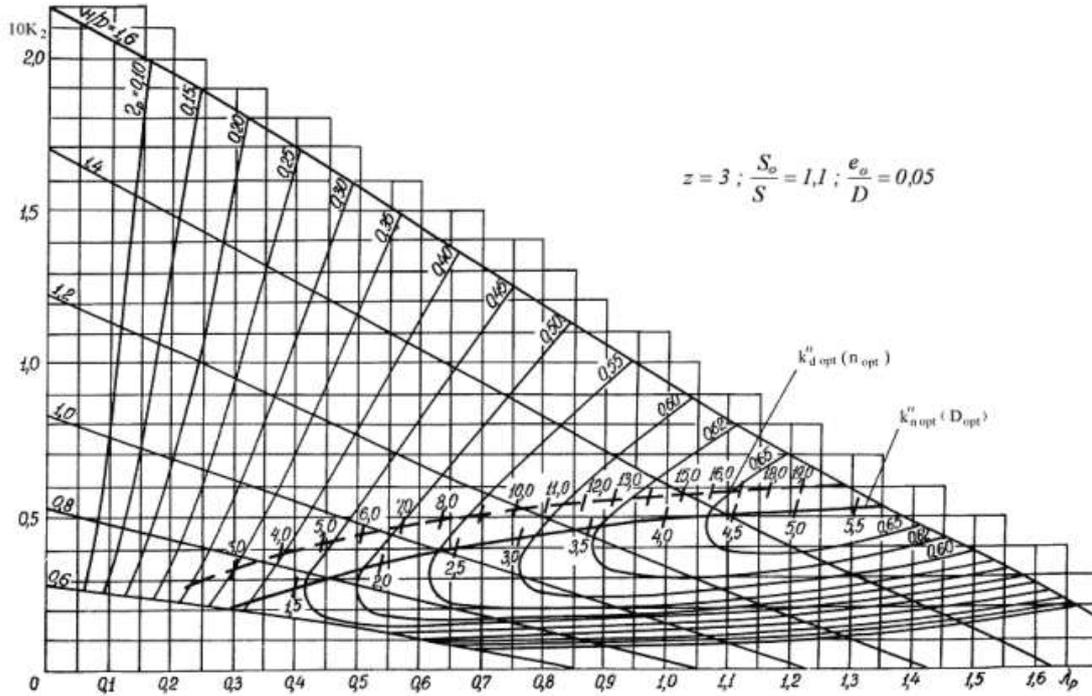
$$K''_n = \frac{V_p}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot V_p}{DHP}} = \sqrt[4]{\frac{\lambda_p^5}{2 \pi K_2}} \quad (16)$$

إن المنحنيات (D_{opt}) و (n_{opt}) في جملة الإحداثيات (K_2, λ_p) مشابهة للمنحنيات (D_{opt}) و (n_{opt}) في جملة الإحداثيات (K_1, λ_p) .

إن كل زوج من المخططات المرسومة في جملتي الإحداثيات (K_2, λ_p) و (K_1, λ_p) والموضحة في الأشكال (3) و (4) تخص سلسلة من الرفاصات متطابقة بعدد الشفرات Z ، نسبة المساحة القرصية S_o/S والشحنة النسبية e_o/D ومتشابهة من حيث شكل مقاطع شفراتها.



الشكل (3) أحد مخططات سلسلة من الرفاصات في جملة الإحداثيات (K_1, λ_p)

الشكل (4) أحد مخططات سلسلة من الرفاصات في جملة الإحداثيات $(10K_2, \lambda_p)$

لاختيار الرفاص الملائم وفق هذه الطريقة استناداً إلى قيم متتالية لسرعة دوران الرفاص (n) يتم تنفيذ الحسابات التالية: تُحدد استطاعة الجر للسفينة عند السرعة التصميمية المقترحة، وذلك باستخدام منحنى استطاعة الجر الخاص بالسفينة (والمنشأ باستخدام طريقة السلسلة 60 التي تُعتبر من أفضل الطرق التقريبية لإنشاء هذا المنحنى بالنسبة للسفن التجارية) مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير خط إبحار السفينة على استطاعتها. تُحدد بعد ذلك قوة دفع الرفاص بعد تحديد قوة مقاومة الجر ومعامل المخر والامتصاص. أثناء الحل تفرض عدة قيم لسرعة دوران الرفاص $n [rpm]$ وتحويل لتصبح $n_1 [rps]$.

أثناء اختيار الرفاص في هذه الحالة يتم استخدام المخطط البياني المرسوم في جملة الإحداثيات (K_1, λ_p) الذي تم إنشاؤه على أساس قيم محددة مفروضة لكل من عدد الشفرات (Z) ، ونسبة المساحة القرصية S_o/S . تُحدد القيم الملائمة لـ $(\lambda_p, \eta_p, H/D)$ من المخطط البياني للرفاص من جملة الإحداثيات (K_1, λ_p) بموجب نقطة تقاطع المنحنى البياني للمعامل (K'_n) (المرسوم بدلالة إحدى قيم سرعات دوران الرفاص التي تم افتراضها) مع منحنى الأقطار الملائمة $(D_{opt}, K'_{n_{opt}})$ ، حيث حُدِثت قيمة (K'_n) من المعادلة رقم (11) وذلك باستخدام $n_1 [rps]$. بعد ذلك تُحدد القيم الملائمة لقطر الرفاص من العلاقة $D = \frac{V_p}{n \cdot \lambda_p}$ وفقاً لقيم سرعات الدوران التي تم

افتراضها وما يرافقها من قيم للبارامتر λ_p .

بالاستعانة بمرودود الدفع يمكن تحديد استطاعة المحرك وفق إحدى القيم المفروضة لسرعة دوران الرفاص، والتي

تحقق أصغر قطر للرفاص مع المحافظة على احتياطي كاف لعدم التكيف $(g)\%$.

لتحديد احتياطي التكيف المطلوب يُحدد رقم التكيف وفق العلاقة:

$$K = \frac{P_{atm} + \gamma \cdot h_s - P_n}{0.5 \rho V_p^2} \quad (17)$$

حيث إن:

$$P_{atm} - \text{الضغط الجوي النظامي ويساوي } [Kg_f/m^2] \text{ أو } [KN/m^2] 10333 \text{ أو } 101,3.$$

$P_n - \text{الضغط الموافق لحدوث ظاهرة التكيف، أو ما يسمى بضغط الإشباع لبخار الماء ويساوي}$

$$[Kg_f/m^2] 174,3 \text{ أو } [KN/m^2] 1,71.$$

$$h_s = (1,2 \div 1,5) D [m] - \text{عمق عمود الرفاص.}$$

$$\rho - \text{كثافة الماء ويساوي } [Kg_f \cdot S^2/m^4] 104,5 \text{ أو } [KN \cdot S^2/m^4] 1,02.$$

وهنا يمكن استخدام إحدى الطريقتين التاليتين لمعرفة قيمة احتياط التكيف:

تعتمد الطريقة الأولى على تحديد معامل " إجهاد " الرفاص بالنسبة للدفع وفق العلاقة التالية:

$$\sigma_p = \frac{T}{\frac{1}{8} \pi \rho D^2 \cdot V_p^2} \quad (18)$$

وباستخدام المنحنيات البيانية الموضحة بالشكل رقم (5-a) تُحدد قيمة الجداء $(K_K \cdot \frac{S_o}{S})$ ، حيث K_K رقم

التكيف الحدي.

ينبغي الإشارة إلى أن كل منحني من المنحنيات الموضحة بالشكل رقم (5-a) يخص قيمة محددة للشخانة النسبية

(e_o/D) . بمعرفة قيمة (S_o/S) يمكن تحديد قيمة رقم التكيف الحدي K_K ، وبعد ذلك يُحدد احتياط التكيف من

العلاقة التالية:

$$g = (\frac{K}{K_K} - 1) \cdot 100 \% \quad (19)$$

تعتمد الطريقة الثانية على تحديد قيمة المعامل (Δ) وفق العلاقة التالية:

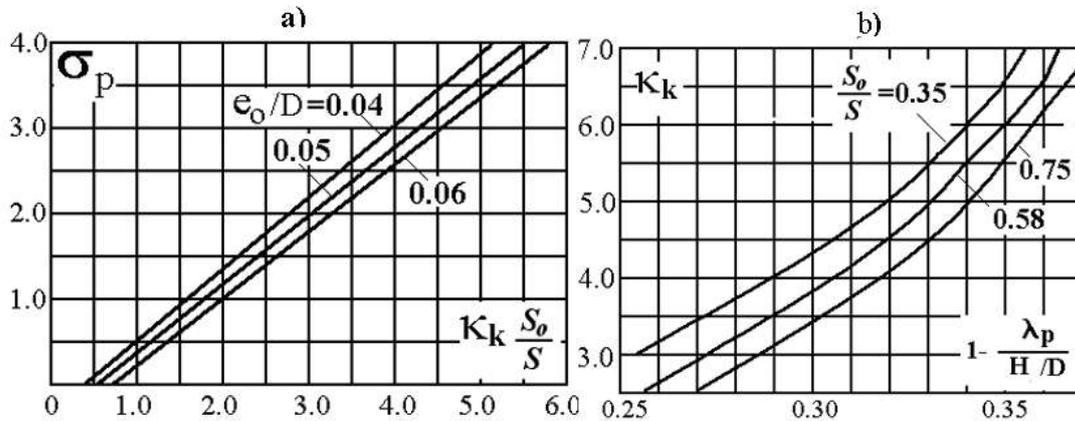
$$\Delta = 1 - \frac{\lambda_p}{H/D} \quad (20)$$

وباستخدام المنحنيات البيانية الموضحة بالشكل رقم (5-b) يُحدد رقم التكيف الحدي K_K ومن ثم يُحدد

احتياطي التكيف باستخدام العلاقة رقم (19).

يجب التنويه إلى أن كل منحني من المنحنيات الموضحة بالشكل رقم (5-b) يخص قيمة محددة من نسبة

المساحة القرصية (S_o/S) .



الشكل (5)

تنتهي عملية حساب الرفاص باختباره على التكيف على نظام العمل الاسمي (الكامل)، ينبغي في هذه الحالة أن يُؤمّن للرفاص المختار احتياطي تكيف لا تقل قيمته عن 10% وأن لا تزيد عن 20%، لأن ذلك يؤدي إلى انخفاض مردود الرفاص.

النتائج والمناقشة:

استناداً للنماذج الرياضية المقترحة لتصميم الرفاص وفقاً لطريقة سلسلة رفاصات *B-Wageningen* ولطريقة سلسلة رفاصات *Pampel*، تم إعداد برنامج بلغة *Visual Basic 6*. هذا البرنامج هو في الواقع تطوير وتوسيع لبرنامج خاص بالبحث [7]. استُخدم هذا البرنامج لحساب الرفاص واختيار محرك الدفع وفق الطرق المذكورة لسفينة بضائع عامة بارامتراتها هي كالتالي:

$$L = 464.448 [ft] , Lwk = 464.448 [ft] , B = 63.632 [ft] , T = 27.3552 [ft]$$

$$\eta_{Ger} = 1 , \xi_r = 1.025 , \eta_{shaft} = 0.97 , C_b = 0.675 , C_w = 0.84 , C_m = 0.97$$

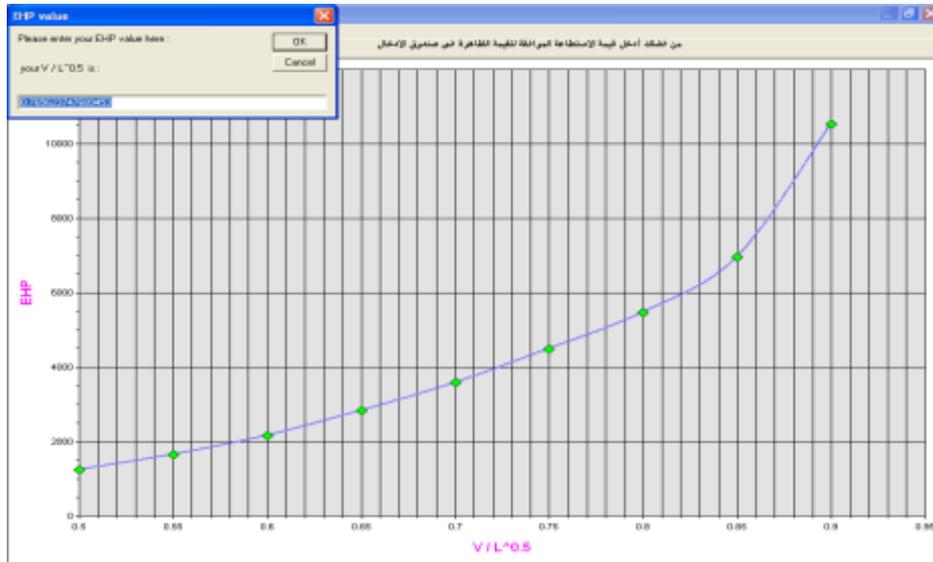
(المباشر).

$$\Delta = 15950 \cdot 10^3 [Kg_f] \text{ وإزاحتها } 10500 \cdot 10^3 [Kg_f]$$

بحيث يتم تأمين سرعة وسطية مقدارها 16.5 عقدة على خط إبحار أمريكا الجنوبية مع العلم أن:

$$D_{max} = 5.8 [m] = 19.024 [ft] , t = 20^\circ C$$

من المعطيات الأساسية التي يحددها البرنامج بصورة مسبقة لدينا منحنى استطاعة الجر للسفينة المعتبرة (الذي تم إنشاؤه باستخدام طريقة السلسلة 60 التقريبية المستخدمة في حالة السفن التجارية) بغية تحديد قيمة استطاعة الجر الموافقة للسرعة التصميمية المعتبرة للسفينة (الشكل 6).



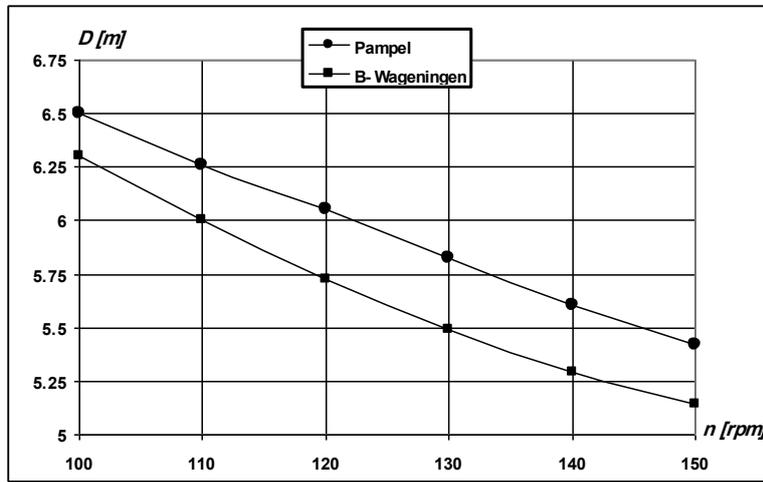
الشكل (6) منحنى استطاعة الجر للسفينة المعتبرة

تم استخدام البرنامج لإجراء مقارنة بين الطرق المعتمدة في حساب الرفاصات لتقييم أدائها والتعرف على مزايا استخدامها، وذلك استناداً لسلوك منحنيات البارامترات التصميمية لأداء الرفاص (قطر الرفاص، مردود الرفاص

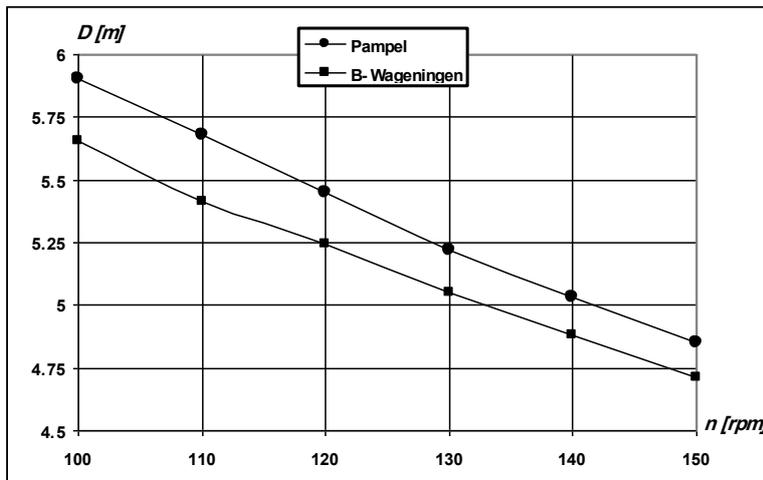
والاستطاعة الفعلية للمحرك) كتابع لعدد دورات المحرك، عند حالات مختلفة من عدد الشفرات وعدد المحاور وعند السرعة التصميمية المفروضة للسفينة.

تبيين الأشكال (7)، (8)، (9)، (10) مقارنة بين منحنيات تغير قطر الرفاص (D) كتابع لعدد الدورات المحرك (n) وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص، عند حالات مختلفة من عدد المحاور وعدد الشفرات. يُلاحظ من هذا الأشكال ما يلي:

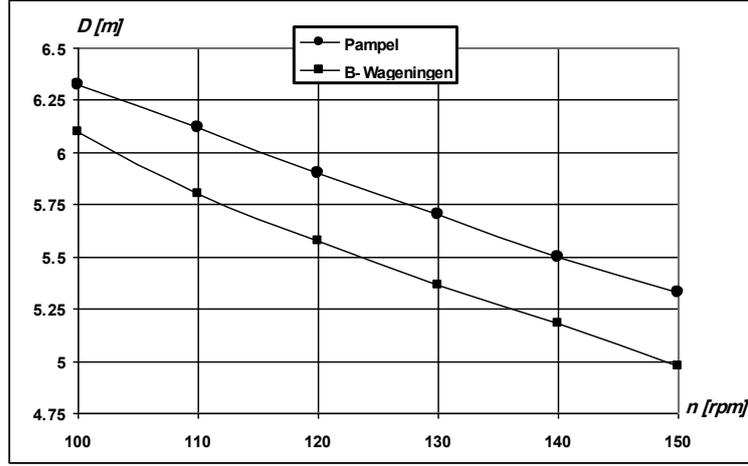
- إن سلوك منحنيات تغير قطر الرفاص (D) كتابع لعدد الدورات المحرك (n) مُتماثل في كلا الطريقتين، أي أنه مع زيادة عدد الدورات يتناقص قطر الرفاص اللازم لتحقيق السرعة التصميمية المعتبرة في كلا الطريقتين.
- إن قيمة قطر الرفاص المحددة وفقاً لطريقة بامبل عند أية سرعة دوران للمحرك ضمن مجال السرعات المدروس وفي جميع الحالات المعتبرة تكون دوماً أكبر من قيمة قطر الرفاص المحددة وفقاً لطريقة التصميم الأولى.
- إن مقدار التباين أو الاختلاف لقيم قطر الرفاص (D) وفقاً لكلا الطريقتين منتظم بشكل تقريبي قيمة وإشارةً بالنسبة لجميع الحالات المعتبرة من عدد المحاور وعدد الشفرات.



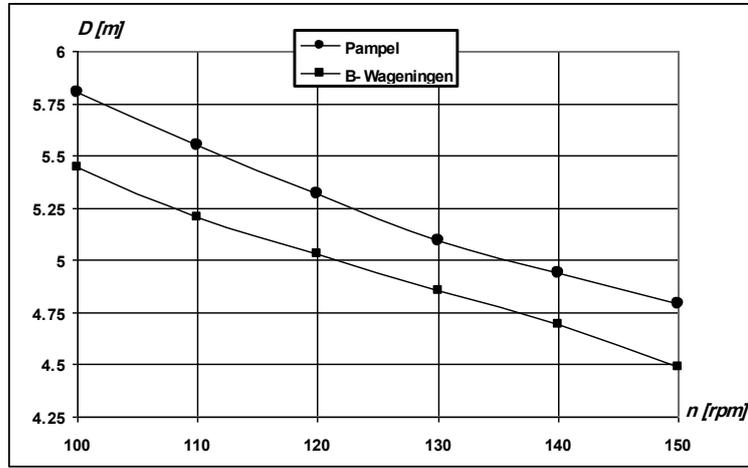
الشكل (7) مقارنة منحنيات تغير قطر الرفاص (D) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاص، ثلاث شفرات)



الشكل (8) مقارنة منحنيات تغير قطر الرفاص (D) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاص، أربع شفرات)



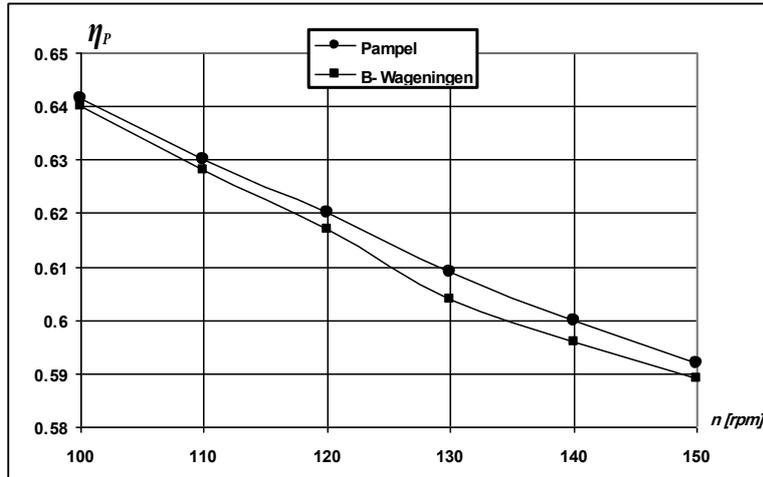
الشكل (9) مقارنة منحنيات تغير قطر الرفاص (D) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاصين، ثلاث شفرات)



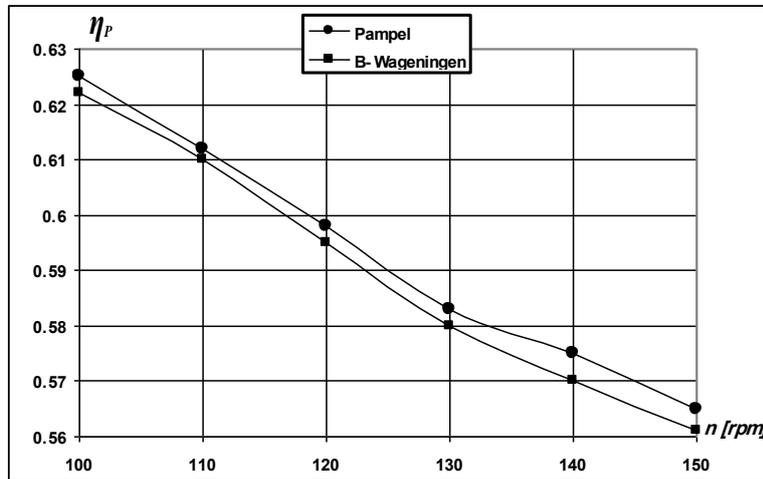
الشكل (10) مقارنة منحنيات تغير قطر الرفاص (D) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاصين، أربع شفرات)

تبين الأشكال (11)، (12)، (13)، (14) مقارنة بين منحنيات تغير مردود الرفاص (η_p) كتابع لعدد دورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص، عند حالات مختلفة من عدد المحاور وعدد الشفرات. يُلاحظ من هذا الأشكال ما يلي:

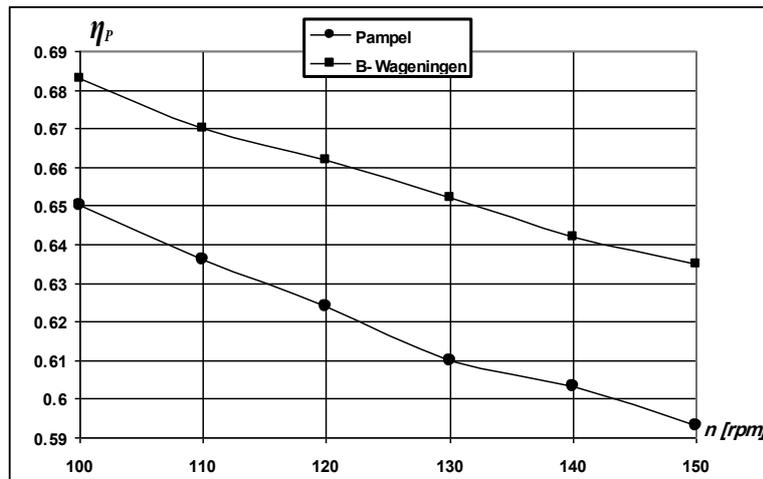
- إن سلوك منحنيات تغير مردود الرفاص (η_p) كتابع لعدد دورات المحرك n متماثل في كلا الطريقتين، أي أنه مع زيادة عدد الدورات يتناقص مردود الرفاص اللازم لتحقيق السرعة التصميمية المعتمدة في كلا الطريقتين.
- إن قيمة مردود الرفاص المحددة وفقاً لطريقة بامبل عند أية سرعة دوران للمحرك ضمن مجال السرعات المدروس تكون دوماً أكبر بصورة طفيفة من قيمة مردود الرفاص المحددة وفقاً لطريقة التصميم الأولى في حالة عمود واحد للدفع (ثلاث أو أربع ريش) ، أما عند استخدام عمودين للدفع (ثلاث أو أربع ريش) فيلاحظ انخفاض كبير وملحوظ في قيمة المردود وفقاً لبامبل.
- إن مقدار التباين أو الاختلاف لقيم مردود الرفاص (η_p) وفقاً لكلا الطريقتين غير منتظم قيمةً وإشارةً وفقاً لعدد المحاور أو أعمدة الدفع بغض النظر عن عدد شفرات الرفاص.



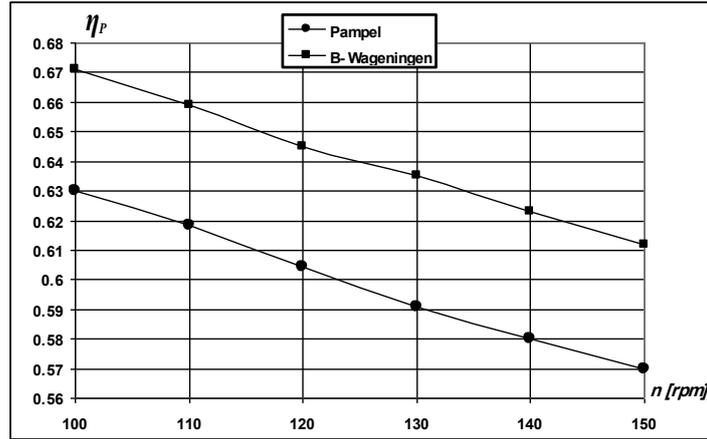
الشكل (11) مقارنة منحنيات تغير مردود الرفاص (η_p) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاص، ثلاث شفرات)



الشكل (12) مقارنة منحنيات تغير مردود الرفاص (η_p) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاص، أربع شفرات)



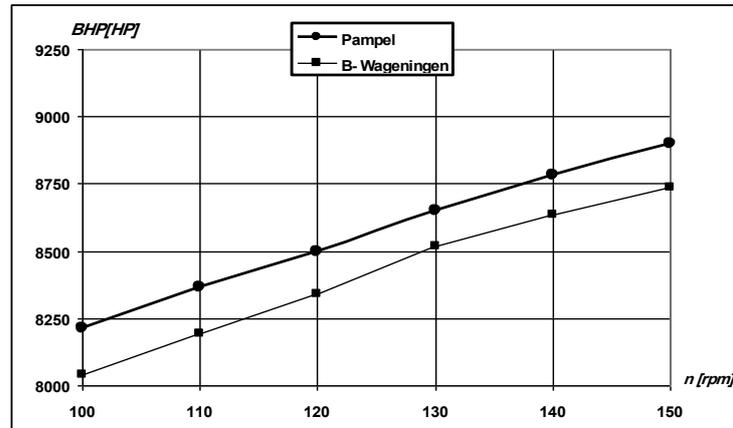
الشكل (13) مقارنة منحنيات تغير مردود الرفاص (η_p) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاصين، ثلاث شفرات)



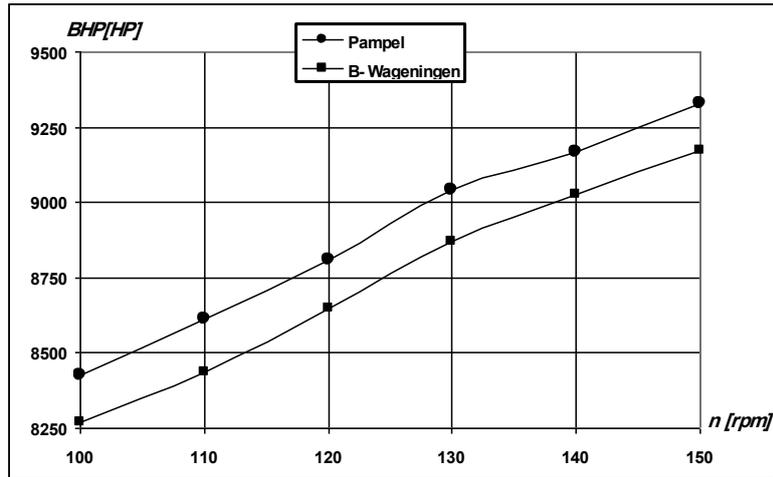
الشكل (14) مقارنة منحنيات تغير مردود الرفاص (η_p) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاصين، أربع شفرات)

تبين الأشكال (15)، (16)، (17)، (18) مقارنة بين منحنيات تغير استطاعة المحرك الفعلية (BHP) المطلوبة للتغلب على استطاعة الجر للسفينة عند السرعة التصميمية المعتبرة، كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص، عند حالات مختلفة من عدد المحاور وعدد الشفرات. يُلاحظ من هذا الأشكال ما يلي:

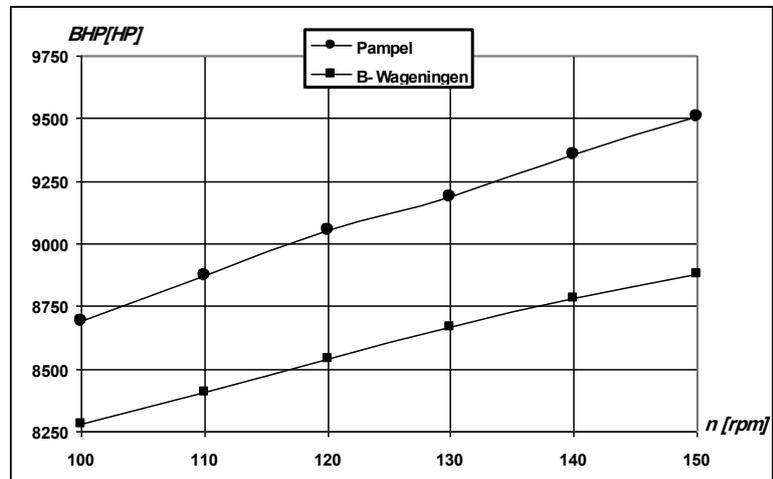
- إن سلوك منحنيات تغير استطاعة المحرك الفعلية (BHP) كتابع لعدد الدورات المحرك n متماثل في كلا الطريقتين، أي أنه مع زيادة عدد الدورات تزداد الاستطاعة المطلوب تقديمها من المحرك (بالمقابل يتناقص قطر الرفاص) بهدف الإبحار عند نفس السرعة التصميمية المعتبرة في كلا الطريقتين.
- إن قيمة استطاعة المحرك الفعلية (BHP) المحددة وفقاً لطريقة بامبل عند أية سرعة دوران للمحرك ضمن مجال السرعات المدروس تكون دوماً أكبر نسبياً من قيمة استطاعة المحرك الفعلية (BHP) المحددة وفقاً للطريقة الأولى في حالة عمود واحد للدفع (ثلاث أو أربع ريش)، أما عند استخدام عمودين للدفع (ثلاث أو أربع ريش) فيلاحظ ازدياد كبير وملحوظ في قيمة الاستطاعة المطلوبة من المحرك وفقاً لبامبل.
- إن مقدار التباين أو الاختلاف لقيم استطاعة المحرك الفعلية (BHP) وفقاً لكلا الطريقتين غير منتظم بالقيمة فقط وفقاً لعدد المحاور أو أعمدة الدفع بغض النظر عن عدد شفرات الرفاص.



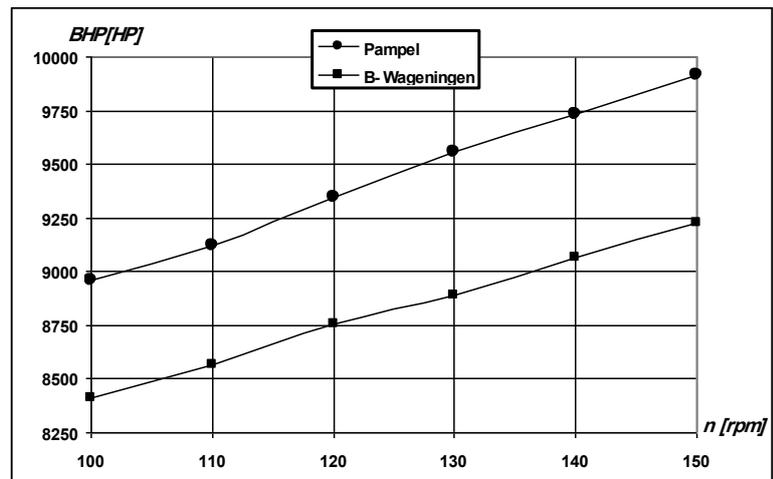
الشكل (15) مقارنة منحنيات تغير استطاعة المحرك الفعلية (BHP) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاص، ثلاث شفرات)



الشكل (16) مقارنة منحنيات تغير استطاعة المحرك الفعلية (BHP) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاص، أربع شفرات)



الشكل (17) مقارنة منحنيات تغير استطاعة المحرك الفعلية (BHP) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاصين، ثلاث شفرات)



الشكل (18) مقارنة منحنيات تغير استطاعة المحرك الفعلية (BHP) كتابع لعدد الدورات المحرك n وفقاً لطرق التصميم المعتمدة للرفاص (حالة رفاصين، أربع شفرات)

الاستنتاجات والتوصيات:

من الدراسة التحليلية المنفذة في هذا البحث نصل إلى النتائج الآتية:

1. إن تصميم الرفاصات وفقاً لطريقة *Pampel* أسهل وأبسط ويغطي أماناً أكبر من حيث التكيف بالمقارنة مع طريقة *B-Wageningen* لذلك يفضل استخدامها بشرط أن تكون النتائج النهائية للتصميم والمتعلقة بالبارامترات التصميمية لأداء الرفاص مُرضية عند مقارنتها بنتائج طرق أخرى.
 2. يتطلب التصميم وفقاً لطريقة *B-Wageningen* إجراء عمليات حسابية أعقد وأكثر صعوبة بالمقارنة مع طريقة *Pampel*، لكنها تعمل على تحديد البارامترات التصميمية المميزة لأداء الرفاص عند أكبر سرعة ممكنة للسفينة، للوصول إلى أفضل توافق بين عمل الرفاص ومحرك الدفع، عن طريق تأمين المساواة بين الاستطاعة المطلوبة من الرفاص والاستطاعة المقدمة للرفاص من محرك الدفع باستخدام طريقة التقريبات المتتالية عند القيمة المطلوبة (الأصغرية) لنسبة المساحة القرصية التي تؤمن عمل الرفاص بدون تكهف [7]، في حين تكون نسبة المساحة القرصية وفقاً لطريقة *Pampel* عبارة عن قيمة افتراضية موافقة لمخططات الرفاصات عند التصميم.
 3. عند استخدام نظام دفع أحادي (عمود واحد للدفع) بثلاث أو أربع شفرات فإن التصميم وفقاً لطريقة *Pampel* يُعطي نتائج مرضية نظراً لحدوث زيادة طفيفة في مردود الرفاص مع زيادة معتدلة نسبياً في القطر والاستطاعة الفعلية للمحرك عند المقارنة مع الطريقة الأولى المذكورة أعلاه.
 4. عند استخدام نظام دفع ثنائي (عمودين للدفع) بثلاث أو أربع شفرات فإن التصميم وفقاً لطريقة *Pampel* يُعطي نتائج غير مرضية نظراً لحدوث انخفاض كبير في مردود الرفاص مع زيادة ملحوظة في القطر والاستطاعة الفعلية للمحرك عند المقارنة مع الطريقة الأولى المذكورة أعلاه، وهذا أمر غير مرغوب به لأنه يسبب ازدياد في حجم المحركات (المرتبط بازدياد الاستطاعة) وبالتالي ازدياد في استهلاك الوقود لتأمين السرعة المفروضة للسفينة.
- إن النتائج التي توصلنا إليها في هذا البحث تمثل خطوة أولى باتجاه تطوير عملية تصميم الرفاصات ومنظومة الدفع للوصول إلى أفضل توافق بين الرفاص والمحرك، كما ويمكن تطوير البرنامج ليصبح قادراً على تصميم رفاصات لأنواع أخرى من السفن.

المراجع:

- 1- STALIŃSKI, J . *Teoria Okrętu* , Wydawnictwo Morski , Gdańsk 1979, 507.
- 2- KOBYLŃSKI, L. *Śruby Okrętowe*, Wydawnictwo Komunikacyjne , Warszawa 1965, 390.
- 3- DUDZIAK, J . *Teoria Okrętu* , Wydawnictwo Morski , Gdańsk 1988, 618.
- 4- BUCZKOWSKI, L . *Metody Obliczeniowe Wstępnego Projektowania Statków* , Wydawnictwo Morski , Gdańsk 1976, 560.
- 5- PAWŁOWSKI, M . *Badania Modelowe I Projektowanie Śrub*, Raport Techniczny Nr 53, Gdańsk 2007.
- 6- PWŁOWSKI, M . *Teoria Śruby Okrętowej*, Raport Techniczny Nr 50, Gdańsk 2006.
- 7- حوا، رامي - بريهان، ميشيل. نمذجة وحساب رفاصات السفن البحرية بواسطة الحاسوب، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، قيد النشر، 2008 م.
- 8 - حمود، بسام - أحمد، معروف. محطات القدرة البحرية، جامعة تشرين، اللاذقية، 2005/04 م، 570.