

تحديد الأداء الفعلي للرفاص باستخدام برنامج CFD analysis

الدكتورة عواطف نصره*

الدكتورة منى اسبر**

(تاريخ الإيداع 17 / 3 / 2015. قُبل للنشر في 14 / 7 / 2015)

□ ملخص □

يهدف البحث إلى التحقق من الأداء الفعلي لعمل مروحة الرفاص وذلك بالاعتماد على سلسلة النتائج الصادرة عن أحواض هامبورغ والمعروفة باسم RANSE حيث يتم تحليل المنحنيات والخصائص الهيدروديناميكية لعمل الرفاص في المياه المفتوحة وذلك باستخدام البرنامج التجاري CFD Analysis m by HydroComp .
وعليه تم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع البيانات التجريبية الموجودة، كذلك دراسة التدفق حول مختلف أجزاء بدن السفينة وتحديد قيم المقاومة ومعامل الاحتكاك C_f ومقارنة هذه القيم مع القيم الصادرة عن أحواض TTC حيث وجد تطابق بين قيم نتائج سلسلة RANSE وقيم التجارب والحسابات في مختلف مراحل الدراسة.
وبناءً على ذلك تم وضع مجموعة من الحلول المتعلقة بعمل رفاصات السفينة وتقييم مدى التفاعل والتأثير المتبادل لعمل الرفاص في مختلف شروط العمل، وتحديد درجة الاختلاف الحاصلة من قيم عزم الدوران ومعامل التقدم والتوجيه التي تم الحصول عليها بالاعتماد على برامج CFD حيث نوقشت النتائج العددية والبيانات التحليلية في حالة العمل بالمياه المفتوحة.

الكلمات المفتاحية: الاضطراب، التشتت، معامل التقدم، المردود.

* مدرسة - قسم الهندسة البحرية - كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** مدرسة - قسم الهندسة البحرية - كلية الهمةك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

The actual performance of the Propeller by using CFD analysis program

Dr. Mouna Safi Esber*
Dr. Awatef Wahid Nasra**

(Received 17 / 3 / 2015. Accepted 14 / 7 / 2015)

□ ABSTRACT □

This research aims to check the actual performance of the work of the propeller depending on series of results issued from Hamburg basins that are known by RANSE where the arcs analysis and the hydrodynamic characteristics of the propeller work in open water are done by using the commercial program CFD Analysis m by Hydro Comp.

Thus, the results were compared with the experimental data and the study of fluently around the different parts of the ship and the definition of resistance values and friction factor C_F . These values were compared with those issued by ITTC basins and coincidence was found between those of RANSE and the experimental values in the different stages of study.

Therefore, a collection of solutions related to the work of propeller were achieved in addition to the evaluation of the level of interaction and the exchanged effect of the propeller work in different conditions, and the definition of degree of difference resulted from the values of the rotation moment and the factors of advance and control the are resulted from the use of CFD program. The numerical results and the syntheses data were discussed in case of working in open water.

key word: disturbance, dispersion, advance factor, and yield.

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

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

مقدمة:

شهد العالم في السنوات الأخيرة نهضة واسعة في مجال تكنولوجيا الحواسيب وهذا الأمر قد انعكس بشكل كبير على مراكز الأبحاث العلمية بما فيها مراكز الأبحاث والدراسات البحرية حيث بدأ الاهتمام واضحاً في نظرية ديناميك الموانع الحسابية CFD والتي أعطت مجموعة من الحلول المتعلقة بمفهوم مقاومة السفينة والرفاص والتدفق والدفة وقد لوحظ تقدماً هائلاً في هذا المجال وذلك بعد استخدام البرمجيات الحاسوبية وتطوير مفهوم نظرية CFD بعد أن كان الخوض في هذا المجال من الأمور صعبة الحل.

إن تكنولوجيا الحواسيب المتطورة كسرت المنهجية المتبعة في الدراسات التقليدية التي كانت منتشرة في عام 1980 حيث لوحظ تقدماً هائلاً في هذا المنهجيات الدراسية، لكن بقيت النظريات الاحتمالية تشكل جوهر التحليل الرياضي لأغلب الدراسات المتعلقة بتأثير لزوجة المانع واضطراب الجريان لكن هذه الدراسات غطت جزءاً واحداً فقط من هيكل بدن السفينة ، الرفاص أو المروحة كل على حده دون التطرق لمدى التفاعل أو التأثير المتبادل بين السفينة وملحقاتها حيث تشكل السفينة عندها مجموعة كاملة متكاملة لكن بفضل الحواسيب تم تحقيق هذه الإمكانية وذلك بإنجاز جملة من الدراسات المفيدة مثل التأثير المتبادل بين هيكل السفينة ومختلف الأجزاء الملحقة في العديد من ظروف الاستثمار.

أول البحوث التي تناولت دراسة الديناميك البحري كانت عام 1984 على شكل ندوة علمية تطرقت لدراسة التأثير المتبادل ما بين الرفاص وهيكل بدن السفينة حيث تم نشر 15 سلسلة توضح كامل الأعمال التجريبية المنجزة في هذا الموضوع.

وبذلك فُتح المجال لاتخاذ مجموعة من الدراسات العديدة كدراسة الاضطرابات الحاصلة في الجريانات لمنطقة مؤخرة السفينة التي قام بها [2] Zhou & Yuun أيضاً الدراسة التي قدمت من قبل Tacu&Lungu في الأداء الهيدروديناميكي للبدن والرفاص بشكله المثالي [2].

في حين قام العالمان Lee & Chen بدراسة التأثير المشترك لنظام (رفاص - البدن) وتحديد النقاط الأساسية المعيارية لنشوء حادثة التكيف وتأثيرها على عمل الرفاص وتحديد قيم الضغوط المسببة لنشوء حادثة التكيف. أما الدراسة المقدمة من قبل Fell وزملائه فركزت على دراسة نظام العمل المشترك للرفاص والدفة كمجموعة عمل واحدة وذلك بغض النظر عن شكل هيكل البدن حيث تم التوصل إلى إيجاد التفسير الفيزيائي لسبب انخفاض أداء عمل الدفة عند توضعها خلف الرفاص [3].

هناك الكثير من الدراسات الهيدروليكية المتعلقة بالجريانات والكثير من البيانات والمخططات الديناميكية لعمل الرفاص في المياه المفتوحة وأغلبها منشور في مجلة بحوث تكنولوجيا السفن.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة الأداء الفعلي لعمل الرفاص وذلك بالاعتماد على البيانات المتوفرة في سلسلة RANSE ونظرية CFD حيث يتم تحديد التأثير المتبادل ما بين هيكل السفينة وأداء الرفاص، كذلك دراسة التدفق حول مختلف أجزاء بدن السفينة وتحديد المقاومة ومعامل الاحتكاك ومن ثم مقارنة هذه النتائج مع النتائج التي تم الحصول عليها تجريبياً ،حسابياً وبالتالي وضع الحلول المتعلقة بعمل رفاصات السفينة والتأثير المتبادل في مختلف شروط العمل بما فيها العمل في المياه المفتوحة.

طرائق البحث ومواده:

تم تحديد الخصائص الهيدروستاتيكية للسفينة والرفاص بالاعتماد على البيانات الصادرة عن اختبارات أحواض هامورغ ذو النوع والرقم DTMB4119 حيث تم اعتماد حالة العمل في المياه المفتوحة والجدول رقم (1) يبين المعطيات الأساسية للعمل، نسبة التشابه الهندسي تساوي إلى [1] 1/59,407.

الجدول (1).

	Units	Model Scale	Full Scale
L.p.p	(m)	5.976	355
B.w.l	(m)	0.859	51
T _m	(m)	0.244	14.5
V	(m ³)	0.827	173467
C _b	-	0.661	0.661
S _w	(m ²)	6.243	22032

J	K _T	K _Q	η ₀
0.5	0.285	0.048	0.475
0.7	0.2	0.036	0.619
0.833	0.146	0.028	0.619
0.9	0.120	0.024	0.719

حيث إن:

L.p.p: الطول بين المتعامدين للسفينة، B.w.l: عرض السفينة، T_m: غاطس السفينة، V: حجم الجزء الغاطس، C_b: المعامل الحجمي، S_w: مساحة السطح المبلل، K_T: معامل الدفع، K_Q: معامل الفتل، J: معامل التقدم، η₀: مردود الرفاص.

النظريات المستخدمة:

نظرية Navier – Stockes : من أجل دراسة التأثير المتبادل بين هيكل السفينة والكفاءة الفعلية لعمل الرفاص تم دراسة التدفق وذلك بالاعتماد على معاملات Navier – Stockes لدينا الصيغة العامة والتي تعطي في حالة الجريان الصفحي :

$$F = \frac{Dui}{Dt} = F_1 - \frac{\partial p}{\partial xe} + \mu V^2. ui \dots (1)$$

ولكن في حالة السفن تكون أرقام رينولدز عالية جداً حيث يكون فرق الجريان حول بدن السفينة وخصوصاً في منطقة المؤخرة مضطرباً جداً حيث تعطي بارامترات التدفق (الجريان) المضطرب بالمعادلات:

$$u = \bar{u} + \hat{u}, v = \bar{v} + \hat{v}, w = \bar{w} + \hat{w} \dots (2)$$

حيث: u, v, w هي عبارة عن مركبات سرعة التدفق [3].

أما المبدأ المتبع في سلسلة RANSE هو أن كل نقطة مادية تختلف ثلاث إحداثيات (x, y, z) فإن سرعة التدفق المضطرب في هذه النقطة تكون متساوية وعليه فإن قيم رينولدز تأخذ قيم متوسطة في معادلات تعبر ستوكس وتكتب الصيغة الرياضية:

$$\rho. \frac{D\bar{u}_i}{Dt} = F_i + \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu. \nabla^2. \bar{u}_i - \rho. \left(\frac{\partial \bar{u}_i. \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \dots (3)$$

حيث: $\bar{p}, \bar{u}_i, \bar{v}_i, \bar{w}_i$ هي عبارة عن تغير قيم البارامترات مع تغير الزمن [3].

إن المدة الزمنية المعبر عنها في المعادلة السابقة (3) في سلسلة RANSE هي عبارة عن أجهاد رينولدز والذي يوضح التذبذبات المتغيرة بمرور الزمن في المعادلات رقم (2) فإن معادلة الاستمرار تكتب بالشكل التالي:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \rho \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \rho \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad \dots (4)$$

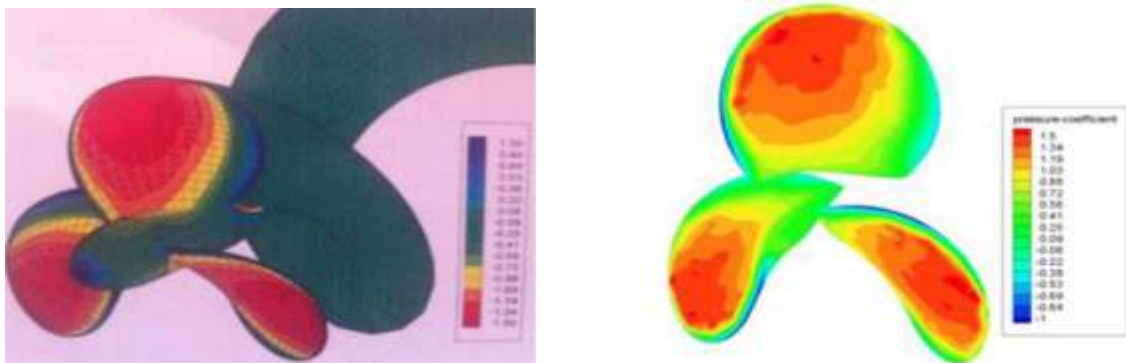
في الدراسة تم اعتبار قيم التدفق و قيم الانضغاط ثابتة بالإضافة إلى قيم الضغط المسببة لحادثة التكيف، أما معادلة حفظ الطاقة بعد تبسيط المعادلات الرياضية فتأخذ أحد الأشكال كما هي موضحة بالمعادلات التالية، المعادلات رقم (5) [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} &= 0 \\ \rho \cdot \left[\bar{u} \cdot \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \cdot \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \cdot \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right] &= - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \mu \cdot \nabla^2 \cdot \bar{u} - \rho \cdot \left[\frac{\partial \bar{u} \cdot \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v} \cdot \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w} \cdot \bar{u}}{\partial z} \right] \\ \rho \cdot \left[\bar{u} \cdot \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \cdot \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \cdot \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right] &= - \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \mu \cdot \nabla^2 \cdot \bar{v} - \rho \cdot \left[\frac{\partial \bar{v} \cdot \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v} \cdot \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w} \cdot \bar{v}}{\partial z} \right] \\ \rho \cdot \left[\bar{u} \cdot \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \cdot \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \cdot \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right] &= - \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \mu \cdot \nabla^2 \cdot \bar{w} - \rho \cdot \left[\frac{\partial \bar{u} \cdot \bar{w}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v} \cdot \bar{w}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w} \cdot \bar{w}}{\partial z} \right] \end{aligned} \quad 5)$$

إن المعادلات الأربع السابقة تشكل الجوهر الرياضي لسلسلة RANSE المستخدمة في الدراسة والتي تحوي على سبعة متحولات (مجاهيل): $(u, v, w, \rho, \bar{u}, \bar{v}, \bar{w})$ حيث تقوم هذه المعادلات بربط التدفق مع الشروط الحدية لمعادلات حفظ الطاقة أما الحل الرياضي لهذه المعادلات فهو في غاية التعقيد وقد تصل إلى درجة عدم إمكانية الحل حيث ساهمت سلسلة RANSE بفرض مجموعة من الحلول باعتبارها تمتلك القدرة على الحل العددي لها.

النتائج والمناقشة:

في المناقشة يتم اختبار الرفاض المعروف بالرمز DTMB 4119 في اتفاقية TTTC الثانية والعشرين حيث تم تحليل المعطيات الموجودة في الاتفاقية وذلك بالاعتماد على برنامج CFD:



الشكل(1): يبين قيم وتوزيع الضغوط لرفاص المدروس DTMB 4119 وفقاً لنظرية CFD.

ثم اعتماد معطيات نتائج هامبورغ وذلك بمثابة دراسات مرجعية وذلك وفق القيم التالية:

$$\rho = 998,47 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right], \quad \mu = 1,044 \cdot 10^{-6} [\text{m}^2/\text{sec}]$$

يبين الجدول (2) قيم تحليل الرفاص باستخدام برنامج CFD، ومجموعة من الطرق الأخرى [1].

الجدول رقم (2).

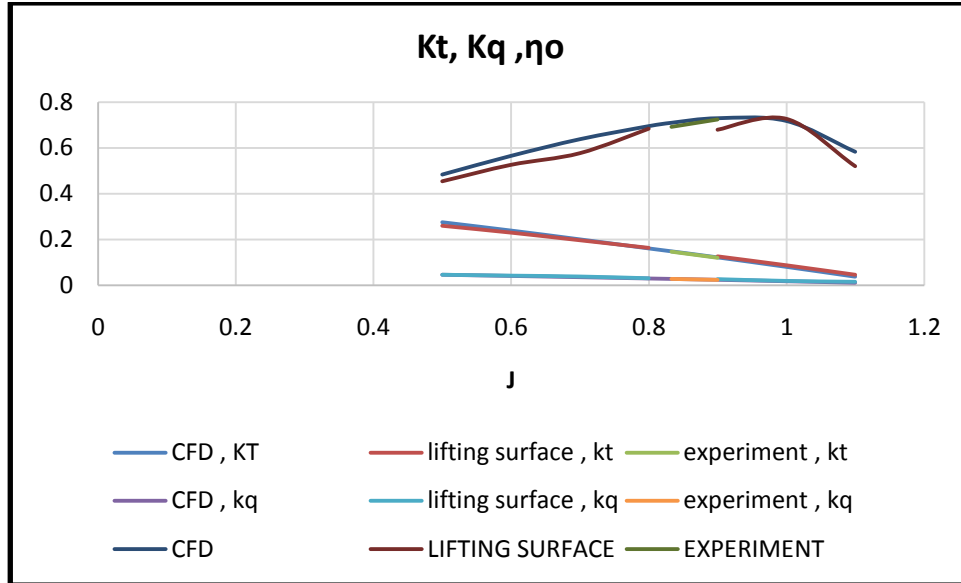
J	CFD			LIFTING SURFACE			EXPERIMENT		
	Kt	Kq	η_o	Kt	Kq	η_o	Kt	Kq	η_o
0.5	0.276	0.0455	0.4831	0.2606	0.0456	0.4546	0.285	0.0477	0.489
0.6	0.2396	0.0405	0.5651	0.2305	0.0418	0.5264	-	-	-
0.7	0.2011	0.0351	0.638	0.1969	0.038	0.5771	0.2	0.036	0.632
0.8	0.1615	0.0296	0.6952	0.1634	0.0304	0.684	-	-	-
0.833	0.1488	0.0278	0.7099	-	-	-	0.146	0.028	0.692
0.9	0.1223	0.024	0.73	0.1262	0.0266	0.6794	0.12	0.0239	0.725
1	0.0809	0.0179	0.7182	0.0868	0.019	0.7269	-	-	-
1.1	0.0379	0.0114	0.583	0.0452	0.0152	0.5203	0.034	0.0106	0.575

النتائج التي تم الحصول عليها تعبر من أفضل النتائج وذلك بالمقارنة بين الطرق التجريبية والعديدية ونتائج تطبيق CFD حيث يلاحظ من قراءة البيانات وجود تقارب كبير بين القيم التجريبية وقيم CFD أما نسبة الأخطاء فيتم حسابها وفق العلاقة:

$$Error = \left[\frac{(CFD \text{ or } Lifting \text{ surface}) - Experiment}{\max(CFD \text{ or } Lifting \text{ surface}, experiment)} \right] \dots (6)$$

والشكل (2) يبين منحنى المقارنة بين قيم CFD والقيم العددية والاختبارات التجريبية والخطأ بين الطرق

المذكورة.



الشكل (2).

من خلال الشكل (2) يلاحظ وجود تطابق في القيم الحسابية بين النظريات المستخدمة ، في حين لوحظ وجود اضطراب في شكل المنحني لقيم K_T و K_q عند قيمة لمعامل التقدم $J = 0,7$. إن دراسة نموذج التصميم ومعرفة حالة جريان التدفق يساعد في وضع المودل الرياضي للدراسات الهيدروليكية وذلك ضمن المعايير الاساسية لكنه يعاني من مشكلة عدم تعاطيه مع حالة التكهف [9]. في الدراسة تُم فرض بأن الرفاصمغموراً بالمياه بشكل كامل وبالتالي يمكن القول أن السائل المتدفق باتجاه الرفاص ينقسم إلى قسمين:

- 1 - قسم يدور مع شفراتالرفاص بشكل دوراني وهو القسم القريب الملامس للشفرات العاملة.
- 2 - قسم ملامس لهيكل الرفاص الخارجي حيث السائل هنا لا يمتلك أية حركة دورانية.

المجال الدوراني للسائل الملامس لشفرات الرفاص يساوي عدد دوراتالرفاص خلال دقيقة واحدة ، سرعة دخول السائل تعتبر ثابتة وتساوي $1,335 \text{ m/s}$ يتم إعطاء قيم مختلفة لمعامل التقدم J :

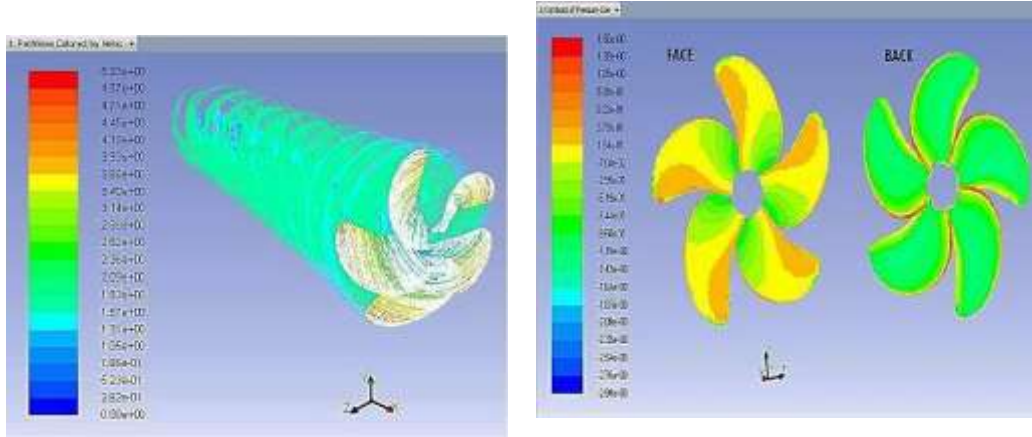
$$J = \frac{V_p}{D \cdot n} \dots (7)$$

حيث:

 D - قطر الرفاص، n - عدد دورات الرفاص، V_p - السرعة الأمامية للرفاص.

وهذه القيم يتم تحديدها مسبقاً وتبعاً لمجال الدراسة يتم تحديد مجال الطبقات المدروسة التي تؤثر على العمل وخصوصاً في المنطقة الملامسة لريشة الرفاص حيث يتم الحساب الدقيق لنسب الدوران والطبقات العاملة عند عمل الرفاص في ظروف الاستثمار ولتبسيط الدراسة وتسهيل تحديد قيم الضغط والسرعة يتم التمثيل الفيزيائي للرفاص بأن كل خلية من الخلايا العاملة عبارة عن مربع صغير أما الموديل الرياضي المستخدم لتحديد قيم الضغط وكمية الحركة

وتحديد حالة الاضطراب ومعدل التبريد فعبارة عن معادلات من الدرجة الثانية كما هي موضحة بالشكل (3)، حيث يتم استبدال قيم العوامل ضمن المجال الافتراضي بشكل برمجي وعليه فإن كل حل يحتاج تقريباً إلى 100 تكرار لإعطاء القيم المرجوة [11].



الشكل (3): يبين عمل الرفاص (المروحة) وخطوط مسارات المائع عند $J = 0,8$.

حساب الخطأ يبين قيم تحليل CFD والقيم التجريبية يتم وفق العلاقة التالية وتنظيمها بجدول محدد كما هو موضح بالجدول رقم (3):

$$Error = \left[\frac{CFD - Experiment}{\max(CFD, Experiment)} \right] \dots (8)$$

الجدول (3): يبين قيم حساب الأخطاء.:

J	CFD			EXPERIMENT			ERROR %		
	Kt	10Kq	η_o	Kt	10Kq	η_o	Kt	10Kq	η_o
0.05	0.463	0.669	0.055	0.492	0.691	0.057	5.89	3.18	3.51
0.1	0.447	0.652	0.109	0.472	0.667	0.113	5.30	2.25	3.54
0.15	0.43	0.632	0.162	0.45	0.64	0.168	4.44	1.25	3.57
0.2	0.412	0.611	0.215	0.427	0.613	0.222	3.51	0.33	3.15
0.25	0.393	0.589	0.266	0.403	0.584	0.275	2.48	0.85	3.27
0.3	0.373	0.565	0.315	0.378	0.554	0.326	1.32	1.95	3.37
0.35	0.353	0.54	0.364	0.353	0.524	0.375	0.00	2.96	2.93
0.4	0.33	0.512	0.411	0.327	0.493	0.423	0.91	3.71	2.84
0.45	0.307	0.484	0.455	0.302	0.462	0.468	1.63	4.55	2.78
0.5	0.284	0.455	0.496	0.276	0.43	0.511	2.82	5.49	2.94
0.55	0.259	0.424	0.534	0.25	0.398	0.551	3.47	6.13	3.09
0.6	0.233	0.394	0.566	0.225	0.366	0.586	3.43	7.11	3.41
0.65	0.207	0.362	0.593	0.199	0.333	0.617	3.86	8.01	3.89
0.7	0.181	0.33	0.612	0.172	0.299	0.642	4.97	9.39	4.67
0.75	0.154	0.296	0.622	0.145	0.264	0.657	5.84	10.81	5.33
0.8	0.128	0.262	0.619	0.118	0.228	0.656	7.81	12.98	5.64
0.85	0.1	0.227	0.596	0.089	0.191	0.63	11.00	15.86	5.40

0.9	0.072	0.189	0.541	0.058	0.151	0.553	19.44	20.11	2.17
0.95	0.042	0.15	0.421	0.026	0.109	0.361	38.10	27.33	14.25

التحقق من مفهوم نظرية *CFD* وفعاليتها مع هيكل السفينة لدراسة التأثير المشترك بين الرفاص والبدن يجب أولاً دراسة التدفق حول بدن السفينة حيث وجد أن عدد الحلول المستوجب حلها لدراسة التدفقات حول بدن السفينة حوالي (1,2) مليون نقطة متمثلة بشبكة تحيط بدن السفينة ولتسهيل الدراسة يتم دراسة نصف الهيكل فقط وذلك باعتبار أن السفينة متناظرة بالنسبة لمحور التناظر، فكلما ازداد عدد التكرار كانت النتائج أكثر دقة.

$$\rho = 998,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \mu = 1,09 \cdot 10^{-6} [\text{m}^2/\text{sec}] \quad \text{المعطيات :}$$

تُهم إهمال تأثير مقاومة الأمواج وتأثير حالة التكيف وضغوط التكيف الناتجة عن العمل - كثافة الاضطراب (%1) - نسبة لزوجة الاضطراب/.

معادلات الضغط والطاقة الحركية المضطربة ومعدل التبديد المضطرب عبارة عن معادلات من الدرجة الثانية. ظهرت بعض المشاكل بخصوص تقارب الحلول الناتجة بخصوص قيم الطاقة الحركية المضطربة ومعدل التبديد المضطرب لذلك تم تعيين معامل يدعى بمعامل الاسترخاء γ يأخذ القيمة (0,1).

• تحديد الأداء والتأثير المتبادل بين السفينة وعمل المروحة:

من أجل دراسة تأثير الهيكل على الرفاص والمسبب لحدوث تدفقات واردة عالية الاضطراب في المنطقة الموجودة خلف السفينة يتم استخدام شبكة تحتوي 6 ملايين عنصر محدد يتم الحفاظ على قيم كثافة المياه واللزوجة الحركية كما هو الحال في حالة المياه المفتوحة يتم استخدام نموذج الاضطراب القياسي الموجود في البرنامج مع إهمال حادثة التكيف.

بما أن العمل في نظام (هيكل - رفاص) يكون في المياه العميقة بشكل كافٍ سيتم إهمال تأثير السطوح الحرة وبالتالي فإن دراسة التدفق تكون قسمين أساسيين:

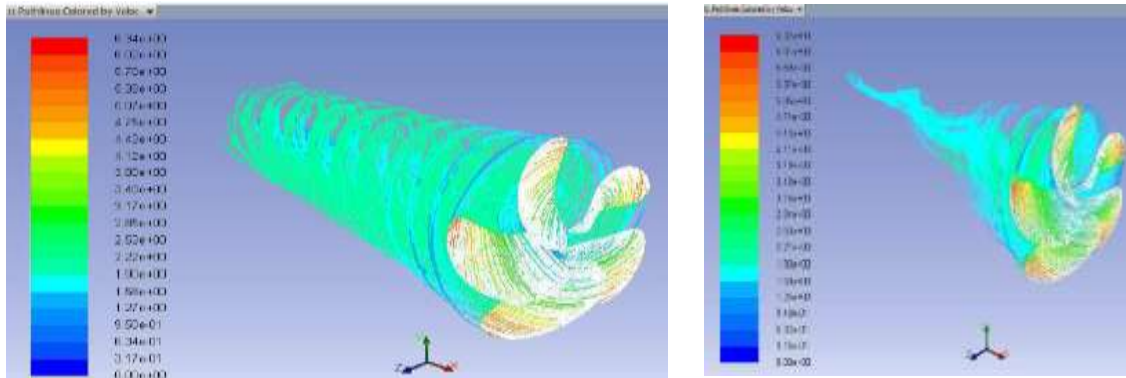
- القسم الأول: ينطوي تحت تأثير عمل الرفاص الذي يدور بسرعة معينة.
 - القسم الثاني: وهو تدفق يتم دراسته نظرياً أي السائل يعتبر غير محدود النطاق بشكل كامل.
- يتم تغيير قيم سرعة دوران الرفاص على التوالي حيث تعطى قيمة جديدة للمعامل λ عند كل مرحلة يتم الحفاظ على سرعة تدفق السائل حول البدن والرفاص عند إجراء الدراسة، كثافة الاضطراب (%1) نسبة للزوجة الاضطراب. المعادلات المستخدمة لحساب الطاقة الحركية ومعدل تبديد الاضطراب هي معادلات من الدرجة الثانية وهذه المعادلات تعطي حلول رياضية مقبولة بعد تكرار للقيم يبلغ 10,000 تكرار.

نلاحظ وجود تغيير في مجال السرعة لكل جزء من قرص المروحة وعليه يتم حساب سرعة مروحة الرفاص عند حدوث تفاعلات مع جزء البدن ويمكن دراسة تأثير (أثر) السفينة على الرفاص بتحديد المعاملات (K_T, K_Q) والجدول (4) التالي يبين علاقة البدن مع الرفاص ومجال الأداء.

الجدول (4): يبين علاقة البدن مع الرفاص.

J	K_T	$10K_Q$	η_o	K_T	$10K_Q$	η_o
0.1	0.4468	0.6517	0.1091	0.3721	0.5372	0.3157
0.2	0.4118	0.6110	0.2145	0.3754	0.5441	0.3671
0.3	0.3733	0.5653	0.3153	0.3494	0.5141	0.4201
0.4	0.3302	0.5119	0.4106	0.3215	0.4811	0.4689
0.5	0.2836	0.4547	0.4963	0.2894	0.4431	0.5176
0.6	0.2333	0.3937	0.5659	0.2572	0.4046	0.5588
0.7	0.1810	0.3295	0.6120	0.2235	0.3639	0.5935
0.8	0.1275	0.2623	0.6188	0.1898	0.3226	0.6181
0.9	0.0715	0.1894	0.5405	0.1501	0.2743	0.6278
1	0.0103	0.1069	0.1534	0.0817	0.1836	0.5729

من أجل تحديد الاختلاف الحاصل بين القيم في الحالتين يكون ذلك من خلال تحديد قيم معامل عزم الدوران. في معظم الحالات تكون كفاءة عمل المروحة أعلى في حالة العمل في المياه المفتوحة حيث تكون القيم العظمى للتأثير عند معامل $J = 0$ ، بلغت 0,6188، بينما عندما $J = 0,9$ بلغت 0,6278. إن خطوط التقدم المتبدلة باتجاه الرفاص تكون غير منتظمة وأكثر عشوائية عما هو عليه في حالة المياه المفتوحة، حيث تظهر معاملات دومات عند معامل $J = 0,661$ كما هو موضح بالشكل رقم (4).



في حالة المياه المفتوحة

في حالة المياه المغلقة

الشكل (4): خطوط التقدم في المياه المفتوحة، والمياه المغلقة.

لكن في حالة عمل الرفاص مع السفينة نلاحظ أن خطوط التيار تتشابك وتتداخل أكثر وبالتالي يمكن أن يتأثر التدفق نتيجة الاضطراب الذي يولده بدن السفينة وهذا يعكس بشكل واضح على أداء عمل الرفاص. من أجل تحديد معاملات الضغط في الجزء الخلفي من السفينة وكذلك الرفاص حيث يتم تحديد ملامح عمل المروحة بكامل اتجاهاتها مع إهمال تأثير الدفة أثناء الدراسة عند $J = 0,661$.

النتائج التي تم الحصول عليها من نظرية CFD تتطابق مع النتائج التجريبية من أجل تحديد نقاط الدفع يجب أولاً تحديد نقاط الدفع الذاتي للنموذج عند سرعة مقدارها $1,335(W/SEC)$ ، والجدول (5) يبين قيم المقاومة الكلية التي يمكن الحصول عليها باستخدام عملية الاستيفاء حيث تعطى المقاومة الكلية بالعلاقة:

$$R_T = \frac{1}{2} f \cdot S_W \cdot V^2 \cdot C_T \dots (9)$$

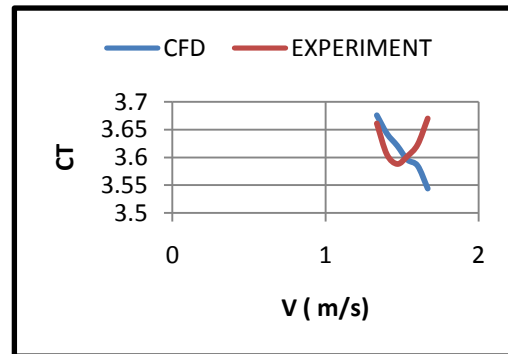
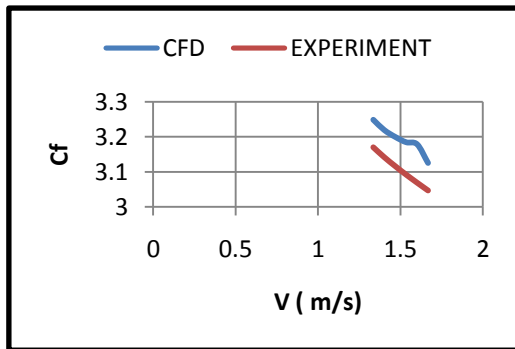
$$R_T = \frac{1}{2} \cdot 998,47 \cdot 6,243 (1,335)^2 \cdot 3,661 \cdot 10^{-3}$$

$$R_T = 20,34 [N]$$

حيث إن: S_W : مساحة السطح المبلل، V : سرعة السفينة، C_T : معامل المقاومة الكلية.

الجدول (5).

v (m/s)	CFD		EXPERIMENT		ERROR %	
	$C_F \times 10^3$	$C_T \times 10^3$	$C_F \times 10^3$ (ITTC)	$C_T \times 10^3$	C_F	C_T
1.335	3.249	3.676	3.170	3.661	2.432	0.408
1.401	3.220	3.643	3.142	3.605	2.422	1.043
1.469	3.200	3.621	3.116	3.588	2.625	0.911
1.535	3.185	3.596	3.092	3.602	2.920	0.167
1.602	3.179	3.585	3.069	3.623	3.460	1.049
1.668	3.126	3.544	3.047	3.670	2.527	3.433



الشكل (5): يبين المقارنة بين قيم معامل المقاومة الكلية C_T ومعامل الاحتكاك C_F عند سرعات مختلفة.

على الرافص أن يولد قوة الدفع اللازمة للتغلب على المقاومة الكلية بالإضافة إلى قيمة المقاومات الأساسية. ومن نتائج الحساب نجد أن قيمة نقطة الدفع الذاتي تقع بين قيم $J = 0,6$ و $J = 0,7$ ، وعليه:

J	K_T	T_v
0.6	0.2333	28.61
0.7	0.7	18.26

نأخذ قيم المقاومة الكلية للبدن عند القيم الأفضل والمقابلة لقيم معامل الدفع بحيث نحقق المعادلة التالية :

$$T - R_T = 0 \dots (10)$$

وعند تقدير قيم معادل الرفع الذاتي عند قيمة 0,661 وجد أن الفرق بين قيم الدفع والمقاومة الكلية يساوي (-0,2) هذا الفرق يعتبر كامناً في مجال الحالة المدروسة.
بعد إجراء التحليل للحالة عند القيمة $J = 0,661$ وقراءة قيم الدفع وعزم الدوران تم تحديد قيم المعاملات اللازمة لحالة التبادل:

$$K_t = 0,237, Kq = 0,038$$

وقد وجد أن هذه القيم تتفاعل بشكل واضح في حالة الاختبار في المياه المفتوحة ويمكن تطبيقها على الرفاص العامل عند قيم معامل الدفع الذاتي. حيث يكون قيم الدفع ومعامل عزم الدوران في حالة المياه المفتوحة:

$$K_t = 0,202, Kq = 0,036$$

أما المردود النسبي عند نقاط الدفع الذاتي يساوي:

$$\eta_n = 0,947$$

وفي حالة دراسة القيم التجريبية نجد المردود:

$$\eta_n = 0,959$$

وعلية بالمقارنة نجد الفرق أو الخطأ هو (1%)، كما هو موضح بالجدول (6).

الجدول (6).

J	OPEN – WATER CASE			HULL-INTERACTED		
	Kt	10Kq	η_o	Kt	10Kq	η_o
0.1	0.4468	0.6517	0.1091	0.3721	0.5372	0.3157
0.2	0.4118	0.6110	0.2145	0.3754	0.5441	0.3671
0.3	0.3733	0.5653	0.3153	0.3494	0.5141	0.4201
0.4	0.3302	0.5119	0.4106	0.3215	0.4811	0.4689
0.5	0.2836	0.4547	0.4963	0.2894	0.4431	0.5176
0.6	0.2333	0.3937	0.5659	0.2572	0.4046	0.5588
0.7	0.1810	0.3295	0.6120	0.2235	0.3639	0.5935
0.8	0.1275	0.2623	0.6188	0.1898	0.3226	0.6181
0.9	0.0715	0.1894	0.5405	0.1501	0.2743	0.6278
1	0.0103	0.1069	0.1534	0.0817	0.1836	0.5729

حيث إن قيم الكفاءة النسبية للبدن تساوي:

$$\eta_h = \frac{1-t}{1-w} \dots (11)$$

نلاحظ أن كفاءة البدن تعتمد على معامل الدفع (T) ومعامل العمل (W) وهذه المعاملات تعطى بدلالة قيم

المقاومة الكلية:

$$T = 1 - \frac{R_T}{T} \dots (12)$$

$$W = 1 - \frac{V_A}{V} \dots (13)$$

حيث إن:

T - قيمة الدفع الذي يقدمه الرفاص إلى بدن السفينة،

$-R_T$ قيمة المقاومة الكلية للبدن بدون مروحة،

$-V_A$ سرعة السفينة ويتم حسابها بمكاملة قيم السرعة المؤثرة.

وبالتالي معامل الدفع ومعامل العمل لسفينة النموذج العاملة والتي تم إجراء حسابات الرفاض لأجلها:

$$T = 1 - \frac{20,34}{21,71} = 0,063$$

$$W = 1 - \frac{1,187}{1,335} = 0,115$$

عند المرور النسبي للهيكل:

$$\eta_h = \frac{1 - 0,063}{1 - 0,015} = 1,057$$

وعند أخذ القيم التجريبية:

$$\eta_h = 1,249$$

إن قيم معامل نقاط الدفع الذاتي تحسب باستخدام معادلات الاستقراء الرياضي من حيث تبين النتائج لنفس نقاط الدفع المستخدمة في البرنامج بأن قيم معاملات الدفع تكون مرتفعة وعند الاستقراء وحساب النتائج عند قيم مختلفة تبين بأن كفاءة البدن باستخدام هذه الطريقة هي أكثر وثوقية من الطرق الرياضية العديدة.

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد دراسة التأثير المتبادل بين البدن والرفاص باستخدام نظرية *CFD* وتطبيق بعض البرمجيات الرياضية والاطلاع على النتائج الصادرة عن أحواض الاختبار تم الحصول على جملة من المعايير والتوصيات:

- 1 - إن عمل الرفاص في المياه المفتوحة ودراسة تأثير البدن فقط على أداء عمل السفينة باستخدام *CFD* أعطى نتائج مرضية وموثوقة لجميع الحالات المدروسة وبدقة تصل نسبة الأخطاء بينها وبين الطرق المدروسة (1,5%)، في حيث تم الحصول على نتائج دقيقة جداً عند إجراء الدراسة على رفاض يعمل بسرعة دورانية محدده حيث تم تحديد تأثير الهيكل على أداء الرفاص بشكل دقيق.
- 2 - أما كفاءة الرفاص في حالة المياه فبيّن وجود انحناءات كبيرة في المخططات التجريبية والمردود ومعامل الدفع والعزم وفروق واضحة عند مقارنتها مع النتائج التجريبية والعديدية وهنا يتبين دور الهيكل وتأثيره في أداء الرفاص والمردود والمعاملات الأخرى.
- 3 - إن التأثير الأعظمي للأداء يكون أثناء العمل في المياه المفتوحة وعند قيمة معامل التقدم المساوية $J = 0,8$.

- 4 - يكون التأثير واضحاً بين الهيكل والرفاص عند قيمة لمعامل التقدم $J = 0,8$ وهذا يبدو واضحاً عند حساب المردود النسبي (الكفاءة النسبية) لنظام العمل (بدن - مروحة).

ومن هنا نجد أن نتائج استخدام نظرية *CFD* لهذا النظام ذات وثوقية كبيرة ودقة في العمليات الحسابية، في حين نجد أن نتائج أحواض هامبورغ أعطت نتائج جيدة عند دراسة التأثير المتبادل بين الدفة والهيكل لأنه باستخدام نظرية *CFD* حيث لم يكن هناك إمكانية لتحديد التأثير المتبادل بين الدفة وأداء عمل الرفاص وذلك بسبب دخول

مجموعة من المعاملات والعوامل التي تتعلق بأسباب نشوء حادثة التكهف والتوسع الكبير في تصاميم الدفات هذا بالإضافة إلى تأثير السطح الحر على الدفة والرفاص وبالتالي على الأداء المتبادل وذلك أثناء عمليات الاستثمار الفعلي للسفينة.

تم حساب المردود الدفعي للرفاص بشكل يتناسب مع هيكل السفينة وهذا الأمر يعتبر خطوة أساسية لتطوير أنظمة بناء السفن وأنظمة عمل الرفاص مستقبلاً.

المراجع

- [1] Zhang, Z., Liu, H., Zhu, S., Zhao, F., *Application of CFD in ship engineering design practice and ship hydrodynamics*, Journal of Hydrodynamics, Vol. 18, Issue 3, July 2006, p. 315–322.
- [2] Zhou, L. D., Yuan, J. L., *Calculation of the turbulent flow around the stern and in the wake of a body of revolution with the propeller in operation*, 15th Symposium on Naval Hydrodynamics, 1984, p. 279–290.
- [3] Shen, H., Gomri, A., Chen, Q., *The hydrodynamic performance prediction of ship hull with propeller*, International Conference on Applied Mechanics, Materials and Manufacturing, 2011, Vol. 117–119, p. 598–601, Shenzhen.
- [4] Tocu, A. M., Lungu, A., *Free – surface flow features in the stern region of a propelled ship*, Numerical Analysis and Applied Mathematics International Conference, 2008, p. 767-70.
- [5] Stück, A., Kröger, J., Rung, T., *Adjoin-based Hull Design for Wake Optimization*, *Ship Technology Research*, Vol. 58, Issue 1, 2011, p. 34–44.
- [6] Lee, S. K., Chen, H. C., *The influence of propeller/hull interaction on propeller induced cavitating pressure*, ISOPE 2005, 19 – 24 June 2005, Seoul, p. 25–33.
- [7] Szelangiewicz, T., Abramowski, T., *Numerical analysis of influence of ship hull form modification on ship resistance and propulsion characteristics. Part I, influence of hull form modification on ship resistance characteristics*, Polish Maritime Research, 2009, 4, 62, Vol. 16, p. 3–8.
- [8] Szelangiewicz, T., Abramowski, T., *Numerical analysis of influence of ship hull form modification on ship resistance and propulsion characteristics. Part II, influence of hull form modification on wake current behind the ship*, Polish Maritime Research, 2010, 4, 63, Vol. 17,
- Lungu, A., Pacuraru, F., *Numerical study of the hull-propeller-rudder interaction*, Numerical Analysis and Applied Mathematics, International Conference 2009, Vol. 2, p. 693–696.
- [9] Muscari, R., Felli, M., Di Mascio, A., *Analysis of the flow past a fully appended hull with propellers by computational and experimental fluid dynamics*, Journal of Fluids Engineering, Vol. 133, 2011.
- [10] Felli, M., Di Felice F., *Propeller wake analysis in no uniform inflow by LDV phase*, Journal of Marine Science and Technology, 2005, p. 159–172.
- [11] Felli, M., Roberto, C., Guj, G., *Experimental analysis of the flow around a propeller-rudder configuration*, Experiments in Fluids, 2009, p. 147–164.