Improving The Hydrodynamic Properties Of Catamaran Ship

Dr. Haitham Issa*
Ruba Assi**

(Received 28 / 8 / 2024. Accepted 24 / 11 / 2024)

□ ABSTRACT □

This research was done to increase the width value between the two hulls of the catamaran ship in order to study its effect on the resistance value of the ship.
The goal of this research is to study the effect of increasing the width between the two hulls of catamaran on resistance.
This study has been done using the CFD (computational fluid dynamics), where the (Reynolds Averaged Navier Stoke) RANS method and the K-WSST turbulence model have been used to solve the Navier Stokes equations.
In the first stag, a full-scale of the catamaran ship has been designed in the Rhinoceros program. Then, the design has been modified to achieve the best streamlining; then the numerical results have been compared with experimental results where a good agreement has been obtained.
The width value has been increased from B=11.77m to B=13.27m, where the increase value was 0.1m in each design at a speed of 10m/s, and the distance between the two bodies is 5m, 8.44m,10m,15m at a speed of (3,6,10) m/s. The calculation of the resistance affecting the ship has been carried out using the ANSYS.

Keywords: CFD, Catamaran, Resistance, Optimized width.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

*Professor، Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: heithamissa@gmail.com
** Master Student, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: roroassi20@gmail.com

تحسين الخصائص الهيدروديناميكية لسفن ال Catamaran

د. هيثم عيسى *

ربا عاصي **

(تاريخ الإيداع 28 / 8 / 2024. قُبِل للنشر في 24/ 11 / 2024)

ملخّص

تم العمل في هذا البحث على زيادة قيمة العرض بين بدني سفينة ال Catamaran من أجل دراسة تأثيره على قيمة المقاومة لسفينة ال Catamaran.

تم القيام بهذه الدراسة باستخدام CFD (Computational Fluid Dynamic)، حيث تم استخدام طريقة (Reynolds RANS (Averaged Navier Stoke ونموذج الاضطراب k−ω SST وذلك لحل معادلات نافييه ستوكس المتوفرة ضمن برنامج ال ANSYS.

في المرحلة الأولى، تم العمل على تصميم النموذج ضمن برنامج ال Rhinoceros بالأبعاد الحقيقية ثم تم التعديل على التصميم ليحقق أفضل انسيابية؛ من ثم تمت معايرة النتائج الرقمية من خلال مقارنتها مع النتائج التجريبية المتوفرة، حيث كان التطابق جيداً جداً، ومن ثم تمت زيادة قيمة العرض من B=11.77m حتى B=13.27m حيث كان مقدار الزيادة 0.1m في كل تصميم وذلك عند السرعة 10m/s، وأيضًا عند المسافة الفاصلة بين البدنين 5m، 8.44m، 10m، 15m وذلك عند السرع (3,6,10)m/s؛ ثم تم حساب المقاومة المؤثرة على السفينة ضمن برنامج ANSYS وتحليل النتائج.

الكلمات المفتاحية: ميكانيك الموائع الحسابية، الكاتامران، المقاومة، العرض المثل.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

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

الإيميل: heithamissa@gmail.com

** طالبة ماجستير – قسم الهندسة البحرية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

الإيميل: roroassi20@gmail.com

مقدمة:

يعد تحسين الأداء الهيدروديناميكي للسفن مجالاً واسعاً للدراسة، وبالغ الأهمية من وجهة النظر الاقتصادية والبيئية، حيث يتجلى بالدرجة الأولى بالسعي لتقليل مقاومة البدن قدر الإمكان بهدف تقليل استهلاك الوقود وكذلك الإصدارات الضارة الناتجة عن محركات الدفع.

تم تصميم أشكال بدن التسوية (السفن السريعة سواء ثنائية البدن أو ثلاثية البدن) لتكون قادرة على العمل بسرعات عالية، حيث يتم دعم معظم وزن البدن بواسطة قوة الرفع الهيدروديناميكية التي تعمل على قاع البدن، فعند السرعات العالية تتوازن قوة وزن الهيكل مع قوة الطفو بالإضافة إلى قوة الرفع الهيدروديناميكي ومع زيادة سرعة النموذج تتغير القوة الهيدروديناميكية مما يتسبب في تغيير قيمة المقاومة.

تكمن مشكلة هذا البحث بأن تصميم الكاتامران يُعد من الأمور الصعبة والغاية في الأهمية كون بدنها يتكون من جزأين متوازيين ومتساويين يفصل بينهما مسافة تسمى العرض التصميمي؛ الذي يعتبر من أهم الأبعاد تأثيراً في التصميم الكلي للكاتامران ويعتمد على دراسة تأثير الأمواج على البدن، ويجب أن يكون هذا العرض كافياً ومناسباً بحيث يحقق راحة أثناء الإبحار إضافةً إلى زيادة مساحة السطح من أجل قمرة القيادة ومقصورة الركاب، بالإضافة إلى منع التقاء الأمواج الناتجة عن مقدمة أحد البدنين مع الأمواج الناتجة عن البدن الآخر في المنطقة الممتدة من مقدمة القارب حتى منتصفه لأن هذا الأمر سيؤثر على حركة الكاتامران بسبب زيادة مقاومة الأمواج التي تخفف من سرعة القارب[1].

تم إجراء مجموعة من الأبحاث لدراسة هذا الموضوع وقد استخدم فيها مختلف أساليب الدراسة التحليلية والرقمية والتجريبية.

حيث تم إجراء دراسة لمعرفة تأثير نسبة المسافة الفاصلة بين البدنين إلى طول السفينة S/L (0.2–0.4) وذلك عند أرقام فرود من 0.19 حتى 0.66، فتبين أنه مع زيادة النسبة S/L تنخفض قيمة المقاومة الكلية [2].

وأيضاً تم إجراء دراسة تجريبية لمعرفة تأثير المسافة بين بدني الكاتامران على قيمة المقاومة؛ حيث تم حساب مقاومة البدن لوحده مضروباً ب 2 ثم مقارنته مع مقاومة البدنين وذلك عند المسافات الفاصلة بين البدنين (من الحواف الداخلية للبدنين) 220mm, 420mm, 620mm [3].

وتم إجراء دراسة لحساب المقاومة الإجمالية عند 7 مسافات فاصلة بنسب تباعد k/b =1.5 ~ 4.5 عند السرعة (2– 20)Kn فأظهرت النتائج أن طريقة الحساب العددي باستخدام ال CFD تعطي نتائج دقيقة للمقاومة وسرعة في إجراء الحسابات حيث ترتبط مقاومة الموجة للكاتامران عالي السرعة ارتباطاً وثيقاً بالمسافة بين البدنين والسرعة [4].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث من أن عرض ال Catamaran من أهم الأبعاد التصميمية له والذي له تأثير كبير على تقليل قيمة المقاومة وبالتالي زيادة السرعة [5].

- أهدف البحث:

– العمل على برنامج ال Rhinoceros.

– العمل على برنامج ال Ansys Fluent.

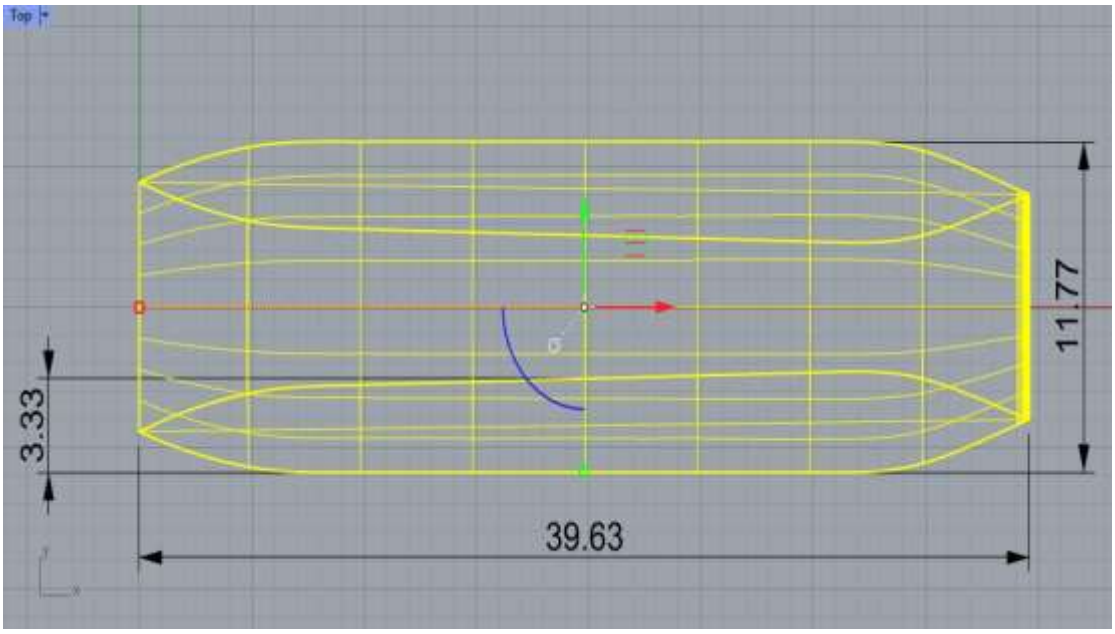
– إيجاد قيمة العرض التي تحقق أفضل قيمة لمقاومة ال Catamaran.

طرائق البحث ومواده:

الطرائق والمواد التي تم استخدامها في هذا البحث:

- برنامج ال Rhinoceros.
- برنامج ال Ansys Fluent.

أبعاد السفينة التي تم إجراء الدراسات عليها موضحة بالجدول (1) والشكل (1) [6].



الشكل 1 السفينة التي تم إجراء الدراسة عليها.

جدول 1 الأبعاد الأساسية للسفينة المدروسة.

البعد الهندسي	الرمز	السفينة المدروسة	الواحدة
الطول الكلي	L_H	39.63	m
عرض كل بدن	B_{1H}	3.33	m
العرض الكلي	B_H	11.77	m
غاطس السفينة	T_C	1.7	m

النتائج والمناقشة

1. تقييم دقة النتائج الرقمية

في البداية لابد من تقييم جودة الشبكة الرقمية، المعادلات والموديل الرياضي المستخدم لحل معادلات نافييه ستوكس، ولهذا سيتم مقارنة قيمة المقاومة التي تم الحصول عليها للسفينة المدروسة مع النتيجة التجريبية المتوفرة [7].

حيث Sep: المسافة الفاصلة بين البدنين.

الجدول 2 مقارنة بين القيمة الرقمية لمقاومة السفينة المدروسة مع القيمة التجريبية (في حالة Monohull).

Monohull					
Fr	V	Exp[g]	Exp[N]	CFD	Error%
0.118	0.55	101.8	0.99866	0.96	-3.871
0.214	1	362.05	3.55171	3.4	-4.2715
0.322	1.5	1202.05	11.7921	11.25	-4.5972
0.429	2	2228.5	21.8616	20.95	-4.1698

الجدول 3 مقارنة بين القيمة الرقمية لمقاومة السفينة المدروسة مع القيمة التجريبية (في حالة المسافة الفاصلة بين البدنين 22mm).

Sep-22					
Fr	V	Exp[g]	Exp[N]	CFD	Error%
0.118	0.55	209.9	2.05912	1.96	-4.8137
0.214	1	787	7.72047	7.35	-4.7985
0.322	1.5	2503.2	24.5564	23.1	-5.9308
0.429	2	4623.2	45.3536	44.01	-2.9625

الجدول 4 مقارنة بين القيمة الرقمية لمقاومة السفينة المدروسة مع القيمة التجريبية (في حالة المسافة الفاصلة بين البدنين42mm).

Sep-42					
Fr	V	Exp[g]	Exp[N]	CFD	Error%
0.118	0.55	208.1	2.04146	1.95	-4.4802
0.214	1	792.2	7.77148	7.4	-4.7801
0.322	1.5	2723	26.7126	25.5	-4.5395
0.429	2	4710	46.2051	44	-4.7724

الجدول 5 مقارنة بين القيمة الرقمية لمقاومة السفينة المدروسة مع القيمة التجريبية (في حالة المسافة الفاصلة بين البدنين62mm).

Sep-62					
Fr	V	Exp[g]	Exp[N]	CFD	Error%
0.118	0.55	209.2	2.05225	2	-2.5461
0.214	1	819.6	8.04028	7.75	-3.6103
0.322	1.5	3082	30.2344	28.5	-5.7366
0.429	2	4446.8	43.6231	42	-3.7208

إن التطابق بين النتائج التجريبية والنتائج الرقمية التي تم الحصول عليها باستخدام CFD مرضية جداً حيث إن نسبة الخطأ تتراوح بين 2–6% وذلك من أجل 3 مليون خلية حسابية، مما يدل على دقة النتائج باستخدام برنامج ال ANSYS.

2. النتائج الخاصة بالسفينة المدروسة

1.2. حساب قيمة المقاومة

- تم في المرحلة الأولى حساب مقاومة السفينة عند رقم فرود (0.152, 0.304, 0.507) وعند المسافة الفاصلة بين مستويي تناظر البدنين m (5, 8.44, 10, 15) وقيمة السرعةm/s (3,6,10) وذلك بشكل مطابق للحالة المعيارية أي دراسة البدنين فقط فتبين أنه عند المسافة m(10–15) ستكون أقل قيمة للمقاومة.

حيث:

Rp: مقاومة الضغط.

Rv: مقاومة الاحتكاك.

Rt: المقاومة الكلية.

الجدول 6 قيم المقاومة عند المسافة الفاصلة بين البدنين 5m.

Sep5 m				
V	Fr	Rp	Rv	Rt
3	0.152	7467	6614	14081
6	0.304	85562	23232	108794
10	0.5071	149345	66604	215949

الجدول 7 قيمة المقاومة عند المسافة الفاصلة بين البدنين 8.44m.

Sep8.44 m				
V	Fr	Rp	Rv	Rt
3	0.152	5559	6684	12243
6	0.304	94800	23575	118375
10	0.5071	156498	64863	221361

الجدول 8 قيمة المقاومة عند المسافة الفاصلة بين البدنين 10m.

Sep10 m				
V	Fr	Rp	Rv	Rt
3	0.152	4807	6745	11552
6	0.304	90905	23523	114428
10	0.5071	157633	65869	223502

الجدول 9 قيمة المقاومة عند المسافة الفاصلة بين البدنين 10m.

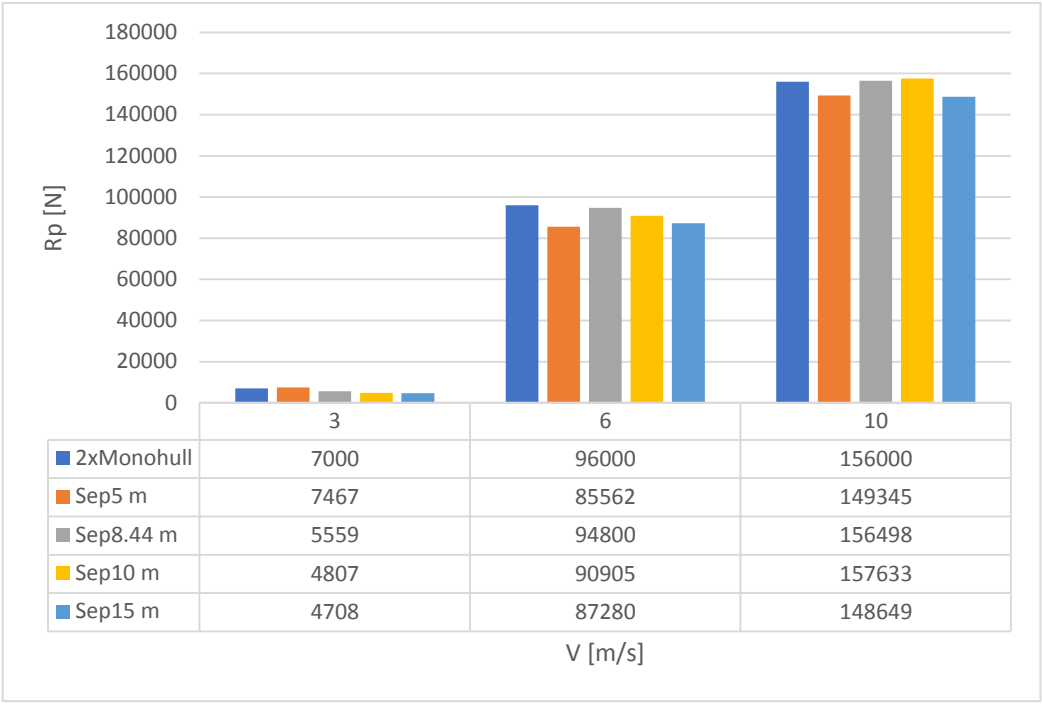
Sep10 m				
V	Fr	Rp	Rv	Rt
3	0.152	4807	6745	11552
6	0.304	90905	23523	114428
10	0.5071	157633	65869	223502

الجدول 10 قيمة المقاومة عند المسافة الفاصلة بين البدنين 15m.

Sep15 m				
V	Fr	Rp	Rv	Rt
3	0.152	4708	6867	11575
6	0.304	87280	22580	109860
10	0.5071	148649	66684	215333

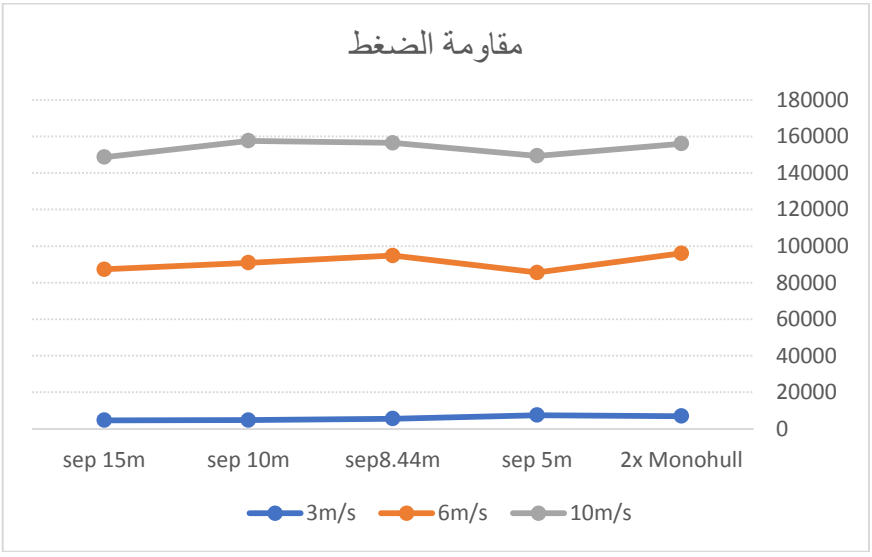
من الجداول (6,7,8,9,10) نلاحظ أن أقل قيمة للمقاومة عند المسافة الفاصلة بين البدنين 15m وذلك عند السرعة 10m/s؛ ويمكن تفسير ذلك بأنه عند زيادة المسافة بين بدني الكاتامران يقل التقاء الأمواج الناتجة عند مقدمة أحد البدنين مع الأمواج الناتجة عن البدن الآخر وذلك في المنطقة الممتدة من مقدمة الكاتامران وحتى منتصفه.

الشكل (3,4) يوضح قيمة مقاومة الضغط؛ حيث إن أقل قيمة لمقاومة الضغط هي عند المسافة الفاصلة بين بدني الكاتامران 15m، أما الشكل (5,6) يوضح قيمة مقاومة الاحتكاك، أما الشكل (7,8) يوضح المقاومة الكلية لسفينة الكاتامران؛ حيث أن أقل قيمة للمقاومة هي عند المسافة الفاصلة بين البدنين 15m.

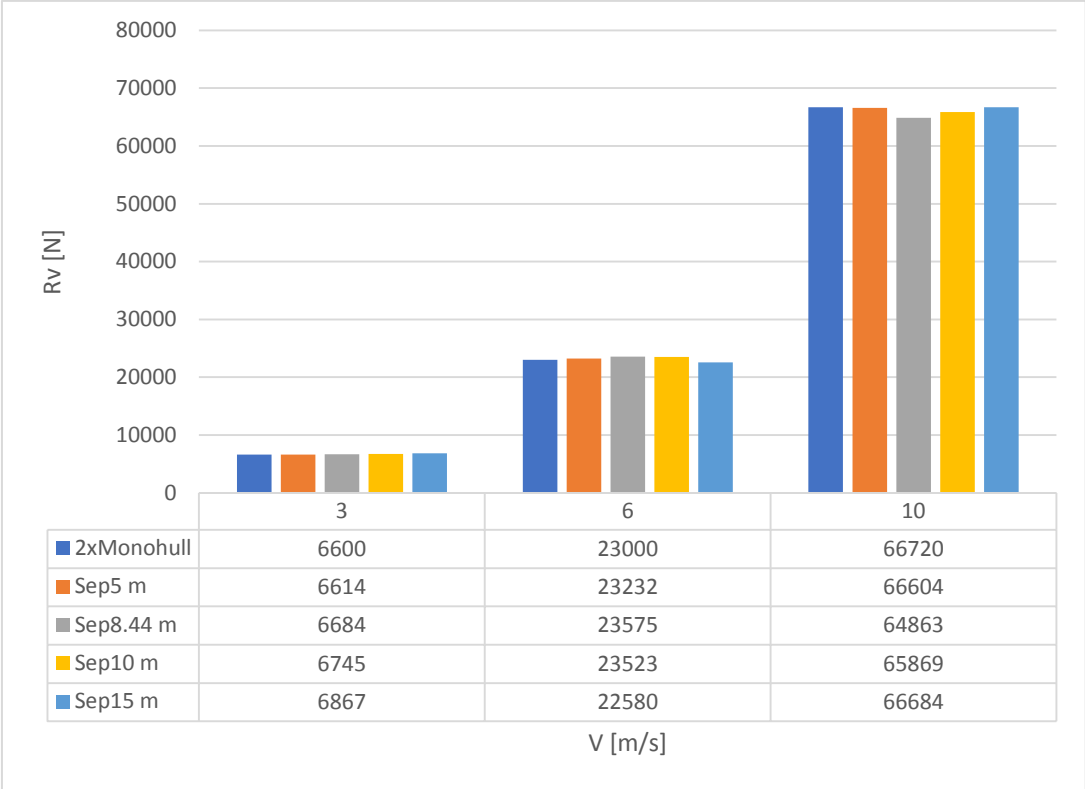


	3	6	10
2xMonohull	7000	96000	156000
Sep5 m	7467	85562	149345
Sep8.44 m	5559	94800	156498
Sep10 m	4807	90905	157633
Sep15 m	4708	87280	148649

الشكل 3 مقاومة الضغط.

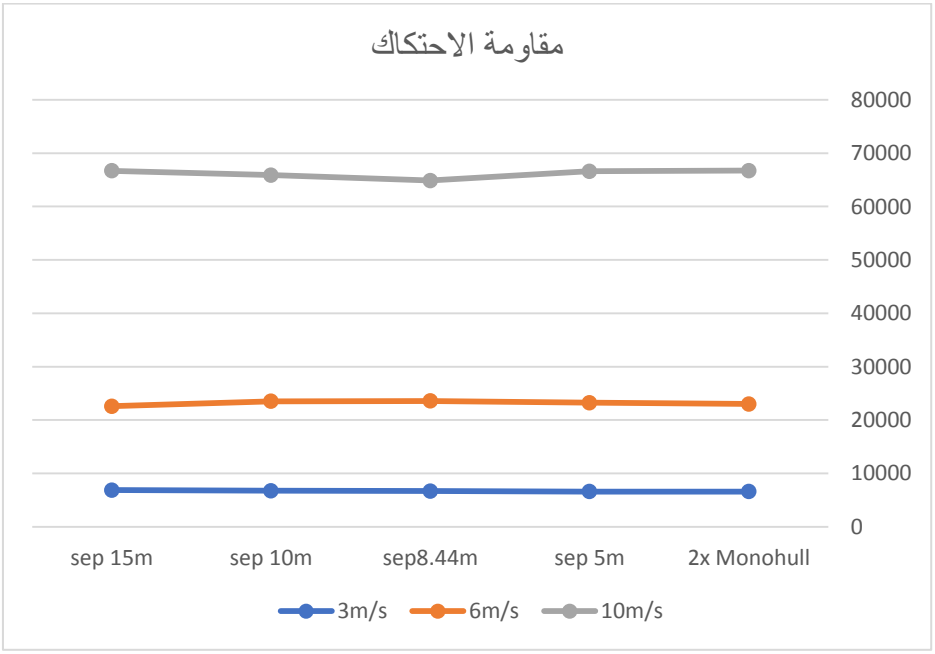


الشكل 4 مقاومة الضغط.

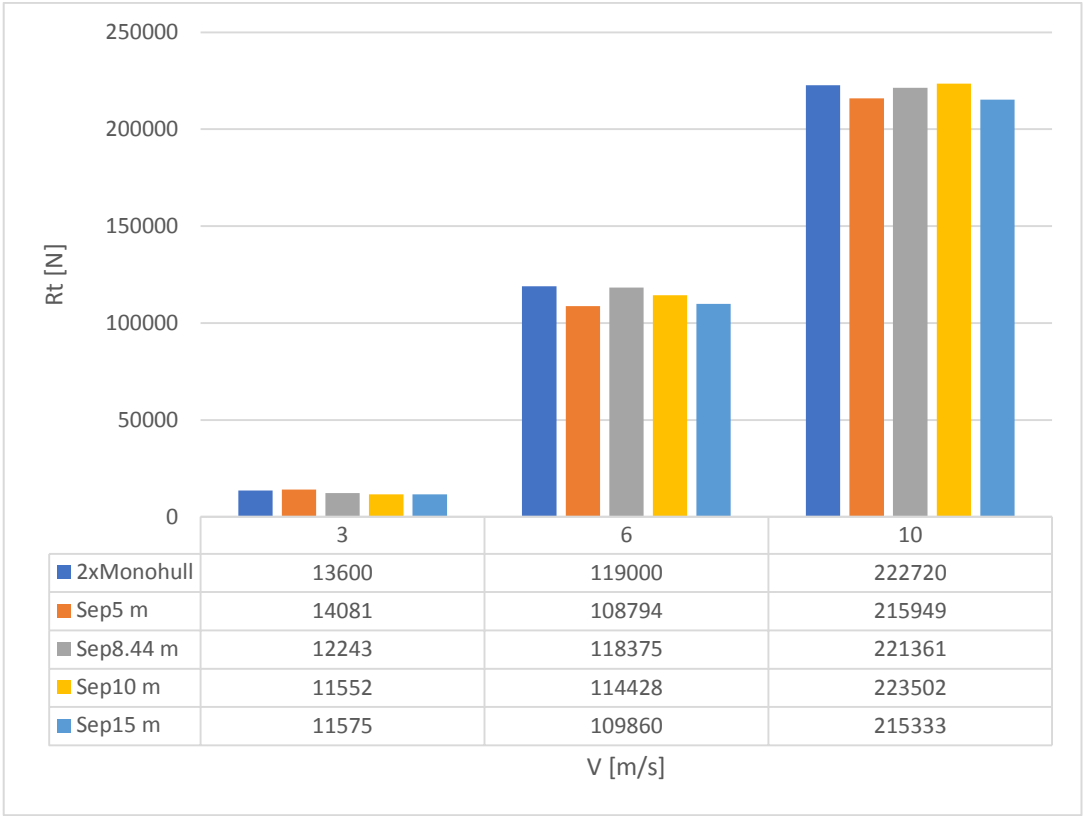


	3	6	10
2xMonohull	6600	23000	66720
Sep5 m	6614	23232	66604
Sep8.44 m	6684	23575	64863
Sep10 m	6745	23523	65869
Sep15 m	6867	22580	66684

الشكل 5 مقاومة الاحتكاك.

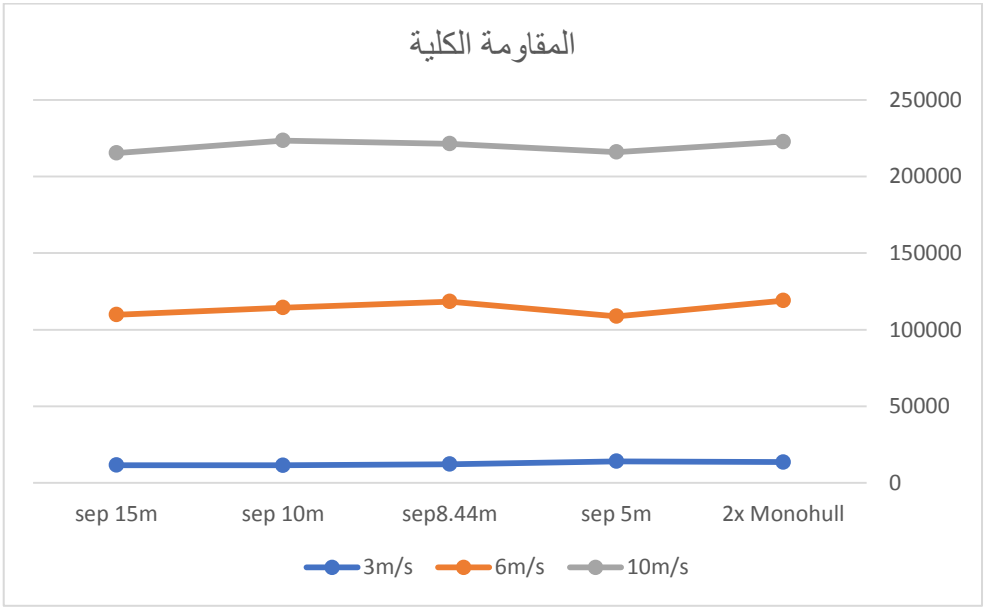


الشكل 6 مقاومة الاحتكاك.



	3	6	10
2xMonohull	13600	119000	222720
Sep5 m	14081	108794	215949
Sep8.44 m	12243	118375	221361
Sep10 m	11552	114428	223502
Sep15 m	11575	109860	215333

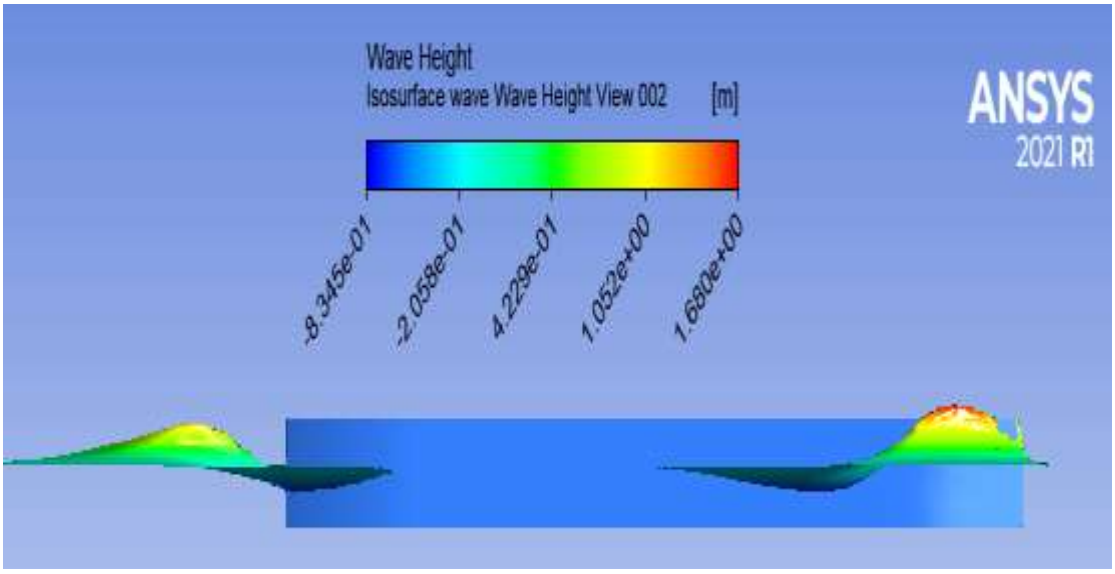
الشكل 7 المقاومة الكلية.



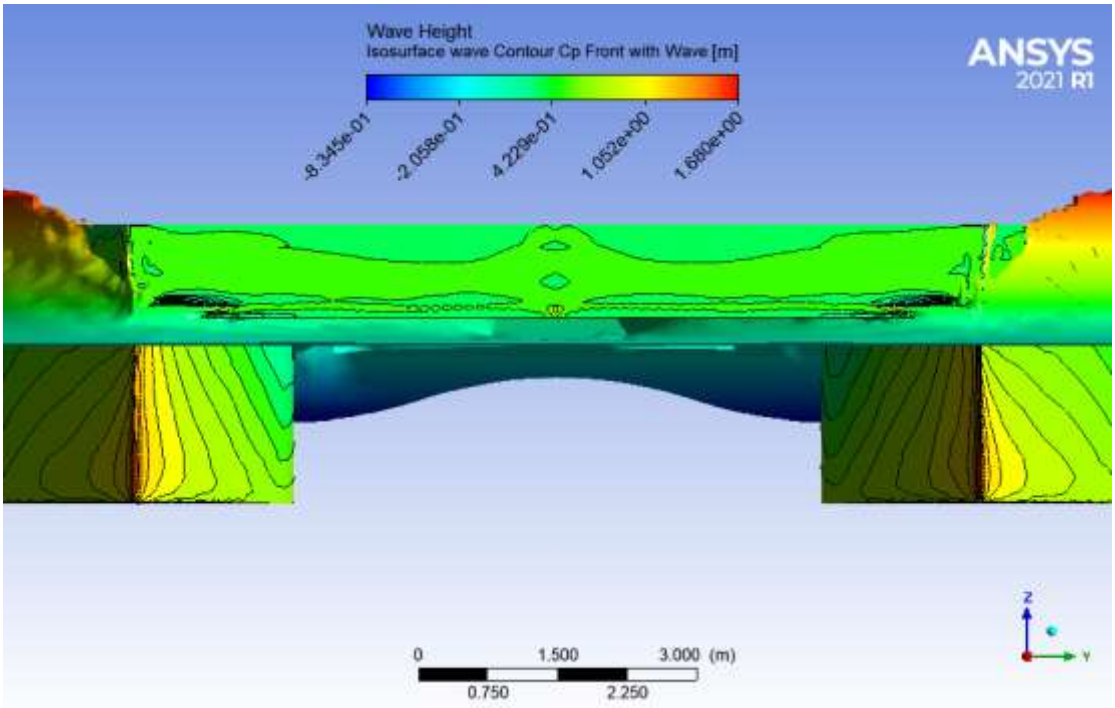
الشكل 8 المقاومة الكلية.

ثم تم حساب مقاومة السفينة عند رقم فرود (FR= 0.507) وذلك عند المسافة الفاصلة بين مستويي تناظر البدنين (8.44 −9.94)m مع إضافة سطح بين البدنين، عند السرعة 10m/s كونها أقرب إلى السرعة الاسمية؛ فمن خلال الحسابات تم التوصل إلى أن قيمة العرض الكلي للكاتامران 12.87m يحقق أقل قيمة لمقاومة السفينة.

إن زيادة عرض السفينة يقلل من قيمة المقاومة وذلك لأن زيادة قيمة العرض بين البدنين يخفف من التقاء الأمواج الناتجة عن أحد البدنين مع الأمواج الناتجة عن البدن الآخر في المنطقة الممتدة من مقدمة القارب حتى منتصفه، وبالتالي زيادة استقرار وسرعة السفينة وبالتالي تقليل استهلاك الوقود أي تخفيض كبير في قيمة تكاليف السفينة.



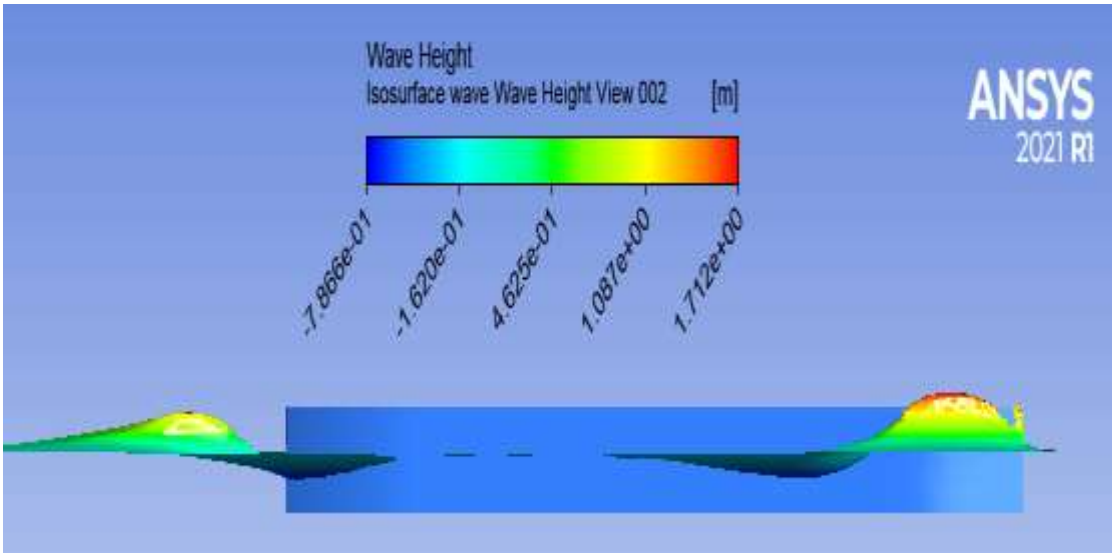
الشكل 9 حقل الأمواج المتشكل عند المسافة الفاصلة بين البدنين 9.54m



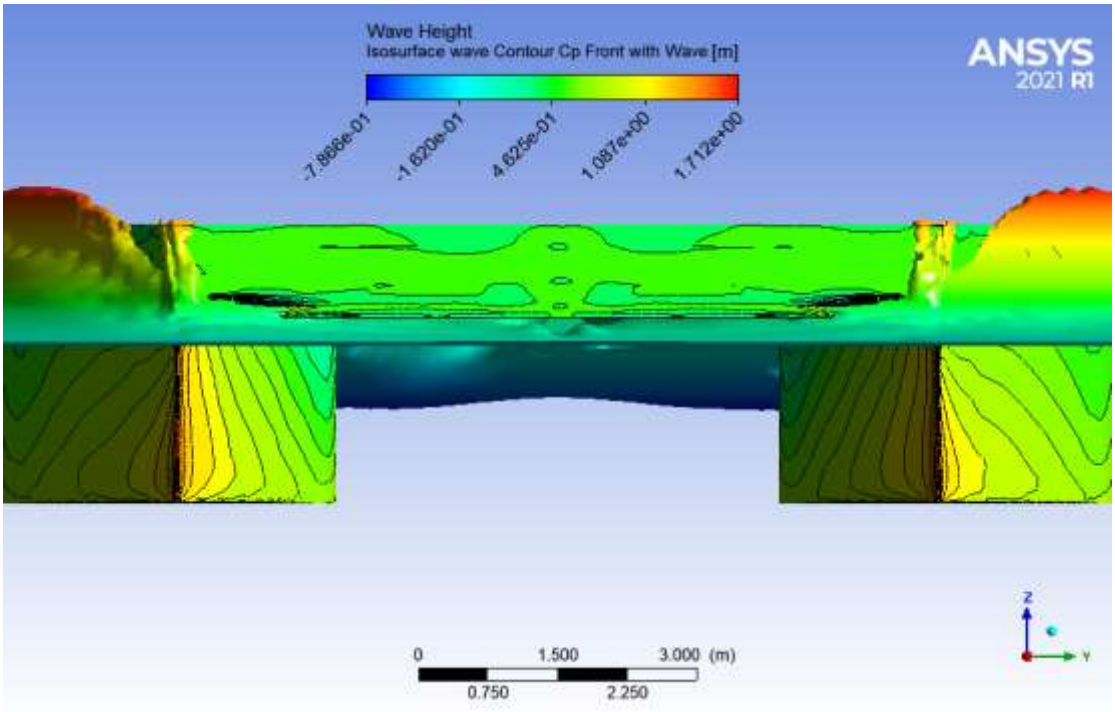
الشكل 10 حقل الأمواج المتشكل عند المسافة الفاصلة بين البدنين 9.54m.

- الشكل (9,10) يبين حقل الأمواج المتشكل عند المسافة الفاصلة بين البدنين 9.54m وهي أفضل قيمة لعرض سفينة الكاتامران المدروسة والتي تحقق أقل قيمة للمقاومة عند السرعة 10m/s وذلك بعد إضافة السطح بين بدني الكاتامران؛ زاوية السطح عند مقدمة الكاتامران 15 درجة.
- أكبر قيمة لمقاومة الكاتامران كانت عند المسافة الفاصلة بين البدنين 8.64m وذلك عند السرعة 10m/s؛

الشكل (11,12) يبين حقل الأمواج المتشكل عند هذه القيمة.



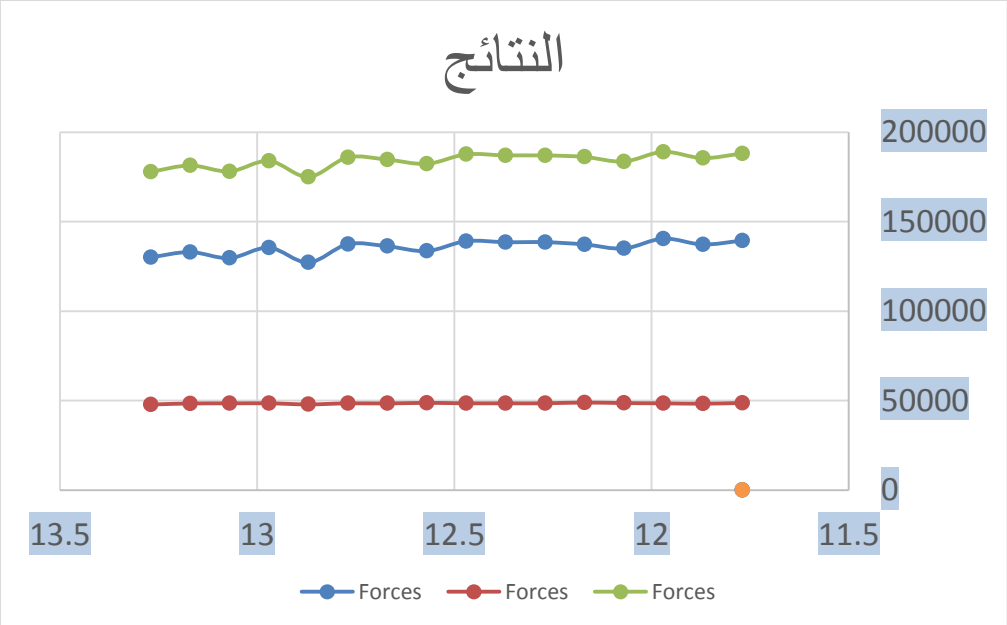
الشكل 11 حقل الأمواج المتشكل عند المسافة الفاصلة بين البدنين 8.64m.



الشكل 12 حقل الأمواج المتشكل عند المسافة الفاصلة بين البدنين 8.64m.

الجدول 11 قيم المقاومة عند قيمة العرض الكلي للكاتامران m(13.27 -11.77)

B (العرض الكلي)	Forces		
	Pressure (الضغط)	Viscous (الاحتكاك)	Total (الإجمالية)
11.77	139398.4	48698.46	188096.9
11.87	137266.5	48274.58	185541.1
11.97	140540.1	48482.29	189022.4
12.07	135013.8	48619.53	183633.3
12.17	137289.9	48920.78	186210.7
12.27	138536.3	48498.8	187035.1
12.37	138536.3	48498.8	187035.1
12.47	139118	48493.61	187611.6
12.57	133586.5	48742.61	182329.1
12.67	136296.3	48420.98	184717.3
12.77	137439.3	48467.77	185907
12.87	127161	47878.21	175039.2
12.97	135482	48487.67	183969.7
13.07	129644.5	48457.4	178101.9
13.17	133011.1	48399.16	181410.2
13.27	130070.8	47790.65	177861.5



الشكل 10 قيم المقاومة عند قيم العرض المدروسة.

حيث إن أقل قيمة للمقاومة كانت عند العرض الكلي للكاتامران 12.87m وذلك بعد إضافة السطح البيني بين البدنين (وفقاً للجدول 11 والشكل 10) وهو مطابق للنتائج التي تم الحصول عليها عند إجراء حسابات المقاومة بدون وجود السطح البيني بين بدني سفينة الكاتامران.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- إن سلوك التدفق في حالة السفينة الحقيقية مشابهة تمامًا لسلوك التدفق في الحالة المعيارية.
- زيادة عرض سفينة الكاتامران يقلل قيمة المقاومة بنسبة مقبولة وبالتالي إمكانية زيادة سرعة السفينة وتقليل استهلاك الوقود وتحسين استقرار السفينة.
- أقل قيمة للمقاومة كانت عند المسافة الفاصلة بين البدنين 9.54m وكان مقدار الانخفاض في قيمة المقاومة (7.4598)%.
- قيمة البعد بين البدنين كنسبة من طول الكاتامران (للحالة المدروسة) 0.24 وهي نسبة مقبولة وفقاً للدراسات المرجعية (0.2−0.4).

التوصيات للأعمال المستقبلية

- يمكن إضافة مقدمة بصلية ودراسة تأثير زيادة قيمة العرض على قيمة المقاومة.
- إجراء هذه الدراسة على أنواع مختلفة من السفن.

References:

[1] L. Yun, A. Bliault, and H. Zong, *Catamarans and Multihulls*.
[2] A. Fitriadhy, S. Yin, and A. Maimun, "Prediction of an Optimum Total Resistance Coefficient on Catamaran using Design of Experiment (DOE) Incorporated with CFD Approach," vol. 3, no. 1, pp. 74–83, 2020, doi: 10.25042/epi-ije.022020.11.
[3] D. Ferna, "Analysis of the wave system of a catamaran for CFD validation," pp. 321–332, 2007, doi: 10.1007/s00348-006-0244-4.
[4] Z. Liu, X. Zhang, Y. Meng, and L. Wang, "Numerical calculation of the resistance of catamarans at different distances between two hulls," vol. 01008, pp. 3–7, 2021.
[5] "Catamarans- The Complete Guide for Cruising Sailors, Revised Edition (PDFDrive)_2.pdf."
[6] "body line-42 m.pdf."
[7] D. Ferna, "Analysis of the wave system of a catamaran for CFD validation," pp. 321–332, 2007, doi: 10.1007/s00348-006-0244-4.