

بررسی تجربی هیدرودینامیک مُدل آزمایشگاهی شناور کاتاماران

موج شکن و تعمیم نتایج آن به مُدل واقعی

حبیب علیخانزاده^۱، تقی علیاکبری^۲، امین نجفی^۳

۱- کارشناس، آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس

۲- کارشناس ارشد، آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس

۳- دکتری، آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس، najafi.sharif@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۷)

چکیده:

با توجه به ویژگی‌های مناسب شناورهای کاتاماران از جمله مساحت سطح عرشه بزرگ، دریامانی مناسب، قابلیت حمل مناسب تجهیزات، استفاده از این شناورها در مهندسی دریا و کاربردهای مختلف دریایی رو به افزایش است. با توجه به گستردگی بکارگیری این شناورها، طراحی بهینه‌ی آنها در صدر تحقیقات دریایی قرار گرفت و در سال‌های اخیر نیز، تحقیقات در این زمینه در حال افزایش می‌باشد. در این پژوهش، مُدل آزمایشگاهی یک شناور کاتاماران با فرم دماغه تیز و شکننده‌ی موج و پاشنه‌ی معمولی در آزمایشگاه دریایی ملی خلیج فارس ساخته شده و بعد از کالیبراسیون تجهیزات مطابق استاندارد دریایی ITTC و تنظیم وزن، آب‌خور و مرکز ثقل، در سرعت‌های مختلف تست گردید. نتیجه‌ی چنین بررسی‌هایی که روی پارامترهای هیدرودینامیکی این شناور انجام شده و مقایسه‌ی آن با عملکرد مُدل واقعی در دریا، میزان مطلوبیت این آزمایش را بیان می‌کند و حکایت از این دارد که استفاده از این شناورها، در آینده به خاطر قابلیت بالای آن در عبور از امواج دریا، گستردگی بیشتری خواهد داشت. لازم به ذکر است که در خلال این تحقیق روند استخراج و تعمیم نتایج از تست آزمایشگاهی به شناور واقعی توضیح داده شده است که می‌تواند دستورالعمل جامعی در این زمینه باشد. **واژه‌های کلیدی:** تست مدل، مقاومت، شناور کاتاماران موج شکن.

Experimental studies of the hydrodynamic of the breakwater catamaran float laboratory model and generalizing its results to the real model

Habib Alikhanzade, Taghi Aliakbari, Amin Najafi

National Iranian Marine Laboratory
(Submitted: 2017/Jul/15; Accepted: 2017/Aug/18)

Abstract:

Considering the proper characteristics of the Catamaran floats, such as the surface of the deck, the proper sea keeping, the proper portability of the equipment, the use of these vessels in marine engineering and the various applications of the sea is increasing. Due to the widespread use of these ships, their optimal design has been at the top of the marine research, and in recent years, research has been increasing. In this research, a laboratory model of a Catamaran float with a brittle and breakwater nose, and normal transom shape was constructed in the Persian Gulf marine laboratory and after the calibration of equipment according to the ITTC marine standard and weight, drain and center of gravity adjustment were tested at different speeds. The results of such surveys on the hydrodynamic parameters of this float and its comparison with the performance of the actual model at sea indicate the desirability of this test, which suggests that the use of these vessels in the future due to its high capability in crossing the waves of the sea will be more widespread. It should be noted that during this research the process of extraction and generalization of the results from the experimental test to the float is explained, which can be a comprehensive guide in this field.

Keywords: Model test, Resistance, breakwater Catamaran float

الف - تداخل بدنه: جریان حول یک نیم‌بدنه به دلیل وجود نیم‌بدنه‌ی دیگر در کنار آن، نامتقارن می‌شود. یعنی، میدان فشار نسبت به خط مرکزی نیم‌بدنه‌ها نامتقارن می‌شود و در نتیجه آشفستگی و سرعت حول نیم‌بدنه‌ها افزایش می‌یابد. این افزایش سرعت موجب افزایش پسای پوسته‌ای (درگ اصطکاکی) می‌شود. همچنین، افزایش سرعت در داخل تونل می‌تواند حالت و چگونگی لایه‌ی مرزی را تغییر دهد.

ب - تداخل امواج: به دلیل آنکه دو بدنه در کنار یکدیگر حرکت می‌کنند، اثرات تداخل روی درگ موجی قابل مشاهده خواهد بود. به خاطر تغییر در میدان فشار اطراف نیم‌بدنه‌ها، موج ایجادشده توسط یک نیم‌بدنه نسبت به یک نیم‌بدنه‌ی مجزا، متفاوت خواهد بود. معمولاً، امواج عرضی یک نیم‌بدنه به وسیله‌ی نیم‌بدنه‌ی دیگر تقویت می‌شود. همچنین، انعکاس و برگشت امواج از نیم‌بدنه‌ی دیگر، پدیده‌ی تداخل را پیچیده‌تر می‌کند. موج دماغه‌ی یک نیم‌بدنه نیز با امواج دماغه‌ی نیم‌بدنه‌ی کناری در داخل تونل و در خط مرکزی کاتاماران برخورد می‌کند و مجموع این دو موج می‌تواند بزرگ باشد.

کار اساسی‌ای که در این مقاله صورت گرفته است این است که فرم دماغه شناور کاتاماران، به صورت تیز در آورده شده که این نه تنها امواج عرضی ایجادشده در هر یک از نیم‌بدنه‌ها را ضعیف‌تر می‌کند، بلکه اثر تداخل امواج دو نیم‌بدنه و همین‌طور مقاومت موج‌سازی هر یک از نیم‌بدنه‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. به نوعی می‌توان گفت اساس کار آزمایشگاهی این مقاله، کارکرد این نوع از شکل دماغه و تخمین میزان پایداری و رفتار شناور در آب آرام می‌باشد.

تحقیقات تجربی زیادی روی شناورهای کاتاماران انجام شده که بتواند کارایی آنها بالا برد از جمله می‌توان به نصب هیدروفویل بر روی کاتاماران اشاره کرد که این کار توسط کریمی و نیکفرجام [۵] اشاره کرد که با کار عددی و آزمایشگاهی به نتایج جالبی دست یافته‌اند. ابراهیمی و همکاران [۶] نیز به بررسی تجربی درگ شناور کاتاماران با نیم‌بدنه‌های غیر موازی پرداخته و همین‌طور، ریشه‌ری به اتفاق همکاران [۷] نیز به بررسی تجربی عملکرد تریم تب بر مقاومت و زاویه تریم شناورهای کاتاماران پرداخته‌اند.

امروزه، شناورهای با سرعت بالا، باعث تحولات چشمگیری در صنعت حمل و نقل دریایی شده‌اند. تقاضا برای شناورهای تندرو، به‌خصوص کاتاماران، در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است [۱]. به‌خصوص شناورهای کاتاماران به دلیل دارا بودن سطح عرشه‌ی بزرگ، پایداری بالا، قابلیت بالای حفظ مسیر و مانورپذیری بالا، بیشتر مورد توجه می‌باشند [۲].

نیاز این شناورها به قدرت بالا سبب شده است تا برای رسیدن به طراحی‌های بهتر، بررسی کامل‌تری بر روی مشخصه‌های درگ آنها صورت گیرد. کاهش درگ شناور می‌تواند باعث کاهش هزینه‌ی اولیه‌ی ساخت شناور گردد. چون با کاهش مقاومت، به سیستم رانش کوچک‌تر و ارزان‌تر نیاز خواهد بود. همچنین، مصرف سوخت شناور کمتر شده و در طولانی مدت مصرف انرژی و هزینه‌های جاری را تا حد زیادی می‌تواند کاهش دهد. به همین دلیل، همواره مسأله‌ی کاهش درگ شناورها مورد توجه محققان بوده است.

درگ کل یک شناور را می‌توان به دو قسمت اصلی تقسیم کرد: الف - درگ اصطکاکی، ب - درگ باقیمانده. درگ اصطکاکی مؤلفه‌ای از درگ است که با انتگرال‌گیری نیروی تنش‌های مماسی وارد بر کل سطح خیس‌شده‌ی کشتی در جهت حرکت آن به دست می‌آید [۴]. بزرگ‌ترین بخش درگ، همان درگ اصطکاکی است که اکثر تمهیدات برای کاهش درگ روی این قسمت از درگ انجام می‌شود.

درگ باقیمانده در واقع حاصل تفاضل درگ اصطکاکی از درگ کل شناور می‌باشد. درگ باقیمانده ترکیبی از درگ موج‌سازی و درگ شکلی یا درگ فشاری ویسکوز است. درگ موج‌سازی در نتیجه‌ی موج‌های سینه و پاشنه تولید می‌شود. وقتی شناور به جلو حرکت می‌کند، آب را در کناره‌ها بالا می‌برد و انرژی پتانسیل به آب می‌دهد. بنا بر قانون بقای انرژی، شناور باید مقداری انرژی صرف کند تا بتواند موج ایجاد کرده و این مقدار آب را در اطراف شناور بالا ببرد [۳]. درگ شناورهای کاتاماران نسبت به درگ شناورهای تک‌بدنه، مسأله‌ی بسیار پیچیده‌تری است. زیرا علاوه بر درگ هر کدام از نیم‌بدنه‌ها، اثرات تداخل بین نیم‌بدنه‌ها را نیز شامل می‌شود. تداخل بین دو نیم‌بدنه را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد:

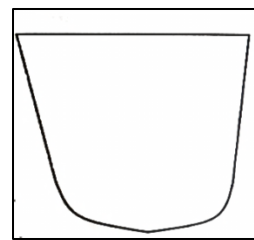
۲- ساخت مُدل آزمایشگاهی شناور کاتاماران

باتوجه به موارد گفته شده ملاحظاتی در ساخت مُدل و انتخاب نوع دماغه و پاشنه در نظر گرفته شده است. ملاحظه اول انتخاب شکل دماغه‌ی تیز بود که قابلیت موج‌شکن بودن را به شناور می‌دهد و از طرفی باعث کاهش درگ موج و به مراتب کاهش اثرات تداخل امواج و اثرات متقابل دو نیم‌بدنه می‌شود.

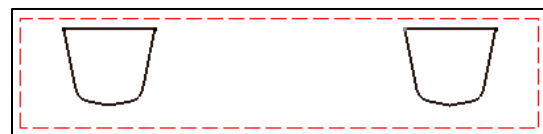
ملاحظه دوم در انتخاب شکل پاشنه بوده است که دلیل انتخاب این نوع از شکل پاشنه، تأمین پایداری بهتر برای شناور می‌باشد.

هر چند شناورهای کاتاماران ذاتاً به خاطر دو بدنه بودن پایداری عرضی خوبی نسبت به شناورهای تک‌بدنه دارند ولی در این نوع از شکل بدنه نه تنها شکل پاشنه، بلکه فاصله‌ی بین دو بدنه نیز می‌تواند بر پایداری عرضی شناور اثرگذار باشد که در شکل ۱ و شکل ۲ نمایی از مقطع انتهایی پاشنه آورده شده است. از طرفی می‌توان گفت شکل دماغه‌ی تیز در پایداری طولی به نسبت، عملکرد ضعیف‌تری نسبت به شکل معمولی سینه دارند و در جانمایی تجهیزات نیز ممکن است مشکلاتی ایجاد کند.

با این حال، این تحقیق به نوعی توانسته است اثبات کند که اثر کاهش درگ آن و به مراتب افزایش سرعت و کاهش مصرف سوخت بر کاهش پایداری طولی ارجحیت دارد. مشخصات مُدل واقعی و آزمایشگاهی شناور مورد نظر در جدول ۱ آورده شده است.



شکل (۱): مقطع یک نیم‌بدنه.



شکل (۲): مقطع دو نیم‌بدنه در کنار یکدیگر.

در آب آرام، ابتدا بایستی مدلی از آن ساخته شود. استاندارد مطرح و معروفی که مورد استفاده محققان دریایی و به‌خصوص حوضچه‌ی کشش دریایی قرار می‌گیرد، استاندارد ITTC می‌باشد که قوانین محکمی را برای این بخش از تحقیق یعنی آماده‌سازی و ساخت مُدل و همچنین، مراحل بعدی یعنی کالیبراسیون تجهیزات و تعمیم نتایج مُدل به شناور واقعی ارائه می‌کند. برای ساخت مُدل، ابتدا پس از انتخاب نوع شکل دماغه و پاشنه و فاصله‌ی عرضی بین دو بدنه، به طراحی فرم بدنه در نرم‌افزارهای مهندسی پرداخته شده است. مشخصات مُدل ساخته شده در جدول (۱) آورده شده است. در ضمن، محدودیت‌هایی در انتخاب ابعاد مُدل نیز داشته‌ایم که از جمله‌ی آنها می‌توان، به عدم برقراری تشابه هندسی و سینماتیکی در ابعاد خیلی کوچک و همین‌طور، عدم قابلیت تجهیزات آزمایشگاه در ابعاد مُدل خیلی بالا دانست. لذا، در نهایت مشخصات اصلی مُدل شناور کاتاماران موج‌شکن در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): ابعاد و مشخصات مُدل کاتاماران موج‌شکن.

مُدل	ابعاد
۳/۰۵۵	طول کلی (متر)
۲/۹۲۴	طول بین دو عمود (متر)
۲/۹۶۹	طول خط آب (متر)
۰/۰۸۱	آبخور شناور از خط مبنا (متر)
۰/۷۸۳	حداکثر عرض (متر)
۰/۱۴۹	حداکثر عرض صفحه آبخور پایه‌های شناور (متر)
۰/۱۳۶	ارتفاع بدنه بدون عرشه (متر)
۰/۱۶۴	حداکثر عرض نیم‌بدنه (متر)
۰/۴۴۹	حداقل فاصله بین دو نیم‌بدنه (متر)
۳۳/۵۲	وزن (کیلوگرم)

بررسی نهایی تطابق هندسه مُدل ساخته شده با نقشه‌ی سه‌بُعدی بر اساس استاندارد ITTC پس از اجرای خط‌کشی در دستور کار قرار گرفت که این کار توسط مقاطع عرضی بدنه در فواصل طولی مشخص انجام می‌شود. مطابق استاندارد ITTC، میزان خطای مُدل ساخته شده در طول بایستی $\pm 1.0\text{mm}$ یا $0.05\%L_{pp}$ و در عرض و ارتفاع نیز $\pm 1.0\text{mm}$ باشد.

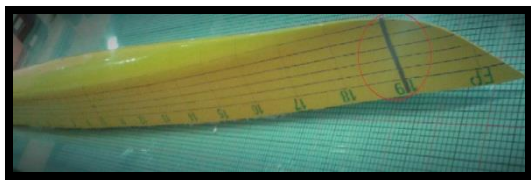
برای تست آزمایشگاهی مُدل شناور کاتاماران و همین‌طور بررسی نتایج مقاومت و تریم و در کل، رفتار شناور



شکل (۴): مُدل نهایی کاتاماران موج‌شکن ساخته‌شده برای انجام تست و مطالعات تجربی.

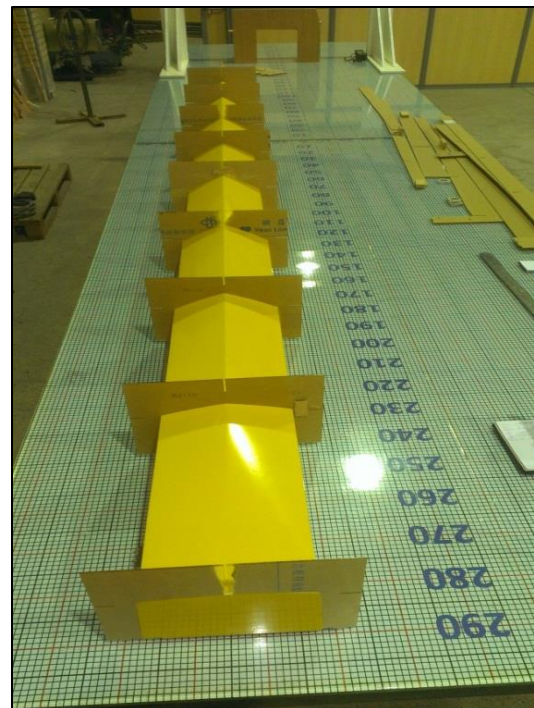
۳- کالیبراسیون تجهیزات و دستگاه‌های اندازه‌گیری

یکی دیگر مهم‌ترین مراحل که در تست‌های آزمایشگاهی اهمیت بالایی دارد، بحث مربوط به کالیبراسیون تجهیزات و به‌خصوص دینامومترهای مربوط به اندازه‌گیری مقاومت و تریم‌های سینه و پاشنه می‌باشد که این کار نیز طبق دستورالعمل مربوط به IITC صورت گرفته و تجهیزات، پس از کالیبراسیون بر روی ارابه‌ی کشش نصب گشته و پس از آن با استفاده از وزنه‌های استاندارد موجود در آزمایشگاه به ایجاد شرایط تریم استاتیکی مورد نظر و تعادل وزنی پرداخته تا شرایط واقعی تست را برقرار باشد. با توجه به اینکه در آزمایشگاه‌های دریایی، تشابه فرود بین مُدل و شناور اصلی برقرار می‌گردد، اما امکان تشابه عدد رینولدز وجود ندارد، با استفاده از نصب مغشوش‌ساز در سینه‌ی مُدل، آشفتگی‌ساز رژیوم جریان به منظور عبور از عدد رینولدز بحرانی انجام گردید (شکل ۵).



شکل (۵): نمایش نصب مغشوش‌ساز در قسمت سینه‌ی مدل.

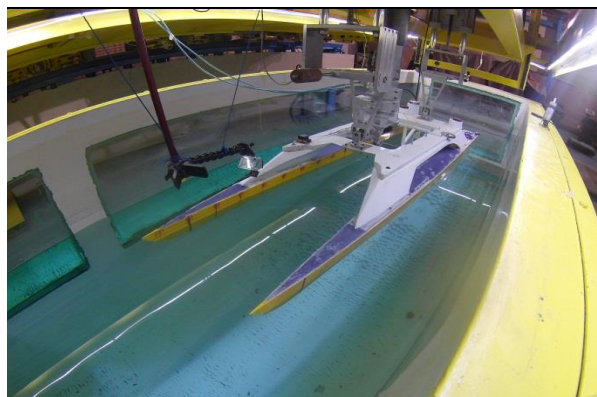
بدین منظور، ابعاد اصلی مُدل و همچنین، برخی نقاط حساس مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. مقدار بیشترین عرض مقاطع و فاصله پایین‌ترین نقطه مقطع تا پایین‌ترین نقطه پاشنه‌ی ترانزوم به صورت دقیق اندازه‌گیری شده و نتایج آن با مقادیر به دست آمده از فایل سه‌بعدی نرم‌افزاری مقایسه گردید. نتیجه مربوط به ۲۰ نقطه اندازه‌گیری، نشان‌دهنده‌ی خطای کمتر از ۱ میلی‌متر می‌باشد که استاندارد بودن بدنه‌ی ساخته‌شده را به اثبات می‌رساند.



شکل (۳): چک ابعادی مُدل با استفاده از مقاطع عرضی مشخص.

پس از ساخت مُدل کامپوزیتی، آماده‌سازی مُدل شامل تنظیم مرکز ثقل، آب‌خور سینه و پاشنه انجام گرفته و مُدل پس از نصب مغشوش‌ساز جزیان برای ایجاد شرایط برابری عدد رینولدز، آماده‌ی تست گردید. در شکل (۴) مُدل نهایی ساخته‌شده شناور نشان داده شده است.

پس از نصب شناور روی ارابه، تست‌های مقاومت بر اساس سناریوی تست ذکر شده در جدول (۳) و جدول (۴) انجام می‌شود. تصویری از مُدل شناور، که در حال تست می‌باشد در شکل (۷) مشاهده می‌شود.



شکل (۶): نمایش نهایی مُدل پس از نصب روی ارابه.

۴- شرح آزمایش

آزمایش‌های تست مُدل در آزمایشگاه ملی دریایی ایران انجام شده است که مشخصات آزمایشگاه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول (۳): وضعیت بارگذاری کشتی و مُدل.

ردیف	پارامترها	اندازه‌ها
۱	وزن شناور (تن)	۲۰۰
۲	وزن مُدل (کیلوگرم)	۳۳/۵۲
۳	فاصله طولی مرکز ثقل شناور از عمود پاشنه (متر)	۱/۲
۴	فاصله‌ی طولی مرکز ثقل مُدل از ترانزوم (متر)	۱/۲۴۵

جدول (۴): سرعت تست‌های مقاومت انجام شده.

وزن مُدل (کیلوگرم)	سرعت (متر بر ثانیه)
۳۳/۵۲	۰/۶
	۰/۷
	۰/۸
	۰/۹
	۱
	۱/۲
	۱/۴
	۱/۶
	۱/۷
	۱/۸
	۱/۹۴
	۲/۲
	۲/۵
	۲/۷
	۳
	۳/۲
۳/۳۹	
۳/۵۶	
۳/۹۴	

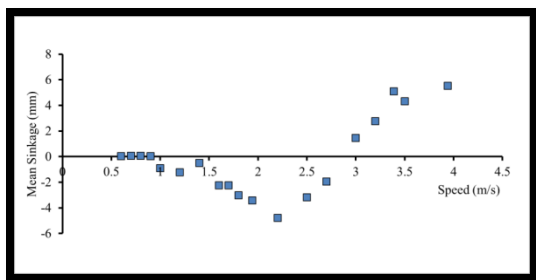
جدول (۲): مشخصات آزمایشگاه ملی دریایی ایران.

طول حوضچه	۴۰۲ متر
عرض حوضچه	۶ متر
عمق آب حوضچه	۴ متر
سرعت ماکزیمم ارابه	۱۹ متر بر ثانیه
پارامترهای قابل اندازه‌گیری مُدل شناور در آزمایشگاه	مقاومت، دریامانی، مانور، بازده و ضرایب پروانه

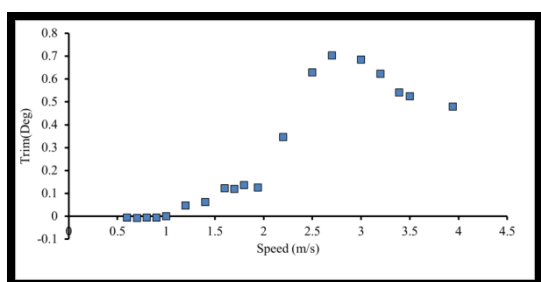
در این بخش، نتایج تست مقاومت مُدل شناور با مشخصات گفته شده در سرعت‌های مختلف ارائه شده است. حداقل فاصله‌ی بین دو نیم‌بدنه برای مُدل برابر ۰/۴۴۹ متر می‌باشد. برای اطلاع از مقاومت بدنه‌ی مُدل، تست‌های مقاومت در سرعت‌های مختلف انجام شده است. بدین منظور، مقدار مقاومت مُدل و سرعت آن در آب، به صورت همزمان اندازه‌گیری می‌شوند. مقاومت، جزء افقی نیروی مقاوم در برابر حرکت رو به جلوی مدل در سرعت ثابت است که در طول هر تست مقادیر تریم، سرعت و مقاومت و فرورفتگی مُدل ثبت و ذخیره شده است. سرعت‌هایی که مُدل در آن تست شده است شامل ویژگی‌های زیر است:

الف- سرعت حداکثر طراحی را شامل می‌شود.

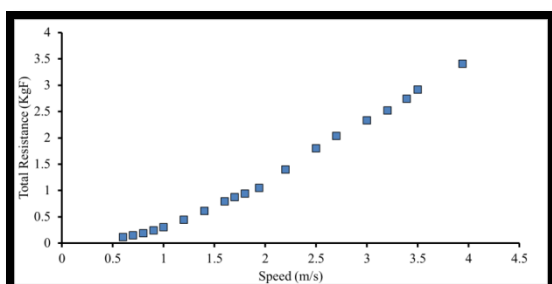
ب- در محدوده‌ی ظرفیت مجاز سنسورهای دینامومتر می‌باشد.



شکل (۱۰): میزان سینکیج متوسط مُدل در سرعت‌های مختلف.



شکل (۱۱): تریم مُدل در سرعت‌های مختلف (Trim by Aft).

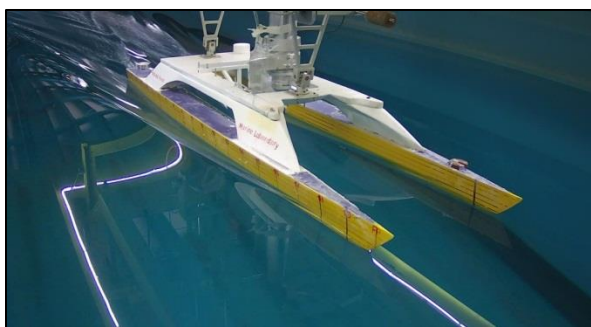


شکل (۱۲): مقاومت کل به دست‌آمده از تست مُدل در سرعت‌های مختلف.

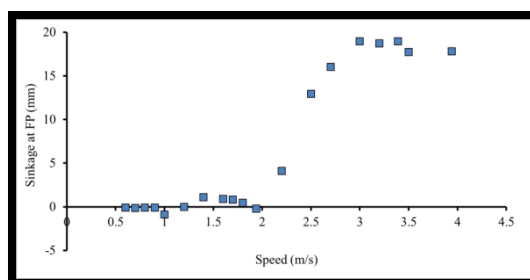
۵- فرایند تعمیم نتایج

با توجه به اینکه هدف از این تحقیق، ارائه‌ی مُدلی از شناور کاتاماران با فرم دماغه‌ی موج‌شکن است که بتواند مبنای کار طراحی و ساخت چنین شناورهایی در آینده باشد. لذا، از جمله‌ی اقدامات مهمی که در این تحقیق صورت گرفته است، انتخاب شناوری نمونه و در مقیاس واقعی است که با آزمایش آن در دریا بتوان به صحت و سقم روال تست در آزمایشگاه پی برد و از این طریق بتوان مُدلی استاندارد برای فرم بدنه‌ی شناور کاتاماران موج‌شکن ارائه کرد. پس به ناچار بایستی به تعمیم نتایج تست برای مُدل واقعی شناور بپردازیم که در زیر به

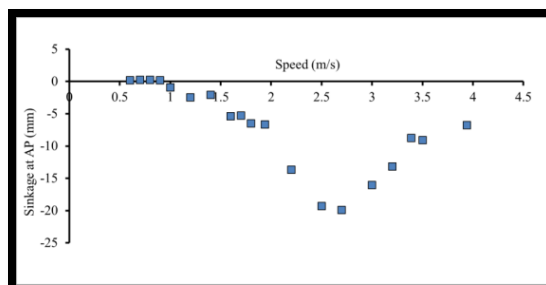
پس از تعیین بارگذاری و همچنین، تعیین سرعت‌های تست مُدل، آزمایش‌ها انجام شده است. با استفاده از این نتایج، نمودارهای مختلفی شامل میزان فرورفتگی شناور (در وسط، سینه و پاشنه)، تریم دینامیکی و مقاومت کل مُدل، نسبت به تغییرات سرعت در شکل‌های (۸) تا (۱۲)، نشان داده شده است. توجه شود که مقدار و کیفیت اسپری آب در سینه، در تصاویر قابل رؤیت است. تصویری از مُدل شناور که در حال تست می‌باشد در شکل (۷) مشاهده می‌شود.



شکل (۷): نمایی از تست مقاومت شناور در حین تست.



شکل (۸): میزان سینکیج در عمود سینه مُدل در سرعت‌های مختلف.



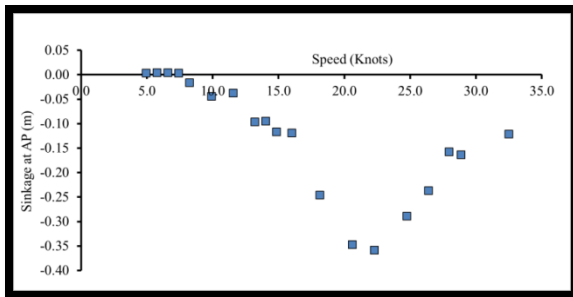
شکل (۹): میزان سینکیج در عمود پاشنه مُدل در سرعت‌های مختلف.

شکل (۱۳): تعیین ضریب شناور. با استفاده از ضرائب فوق، مقاومت کل کشتی برابر است با:

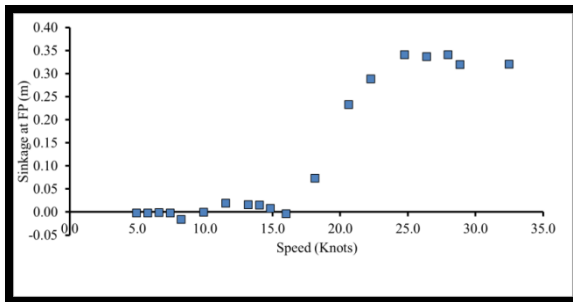
$$R_{T_s} = C_{T_s} \times \frac{1}{2} \rho_s V_s^2 S_s + R_{Appendage} \quad (10)$$

منظور از مقاومت ملحقات عبارت است از مجموعه‌ی ملحقات شناور چسبیده به بدنه در داخل آب (شامل براکت شفت، شفت، سکان و غیره) که در این تحقیق لحاظ نشده‌اند.

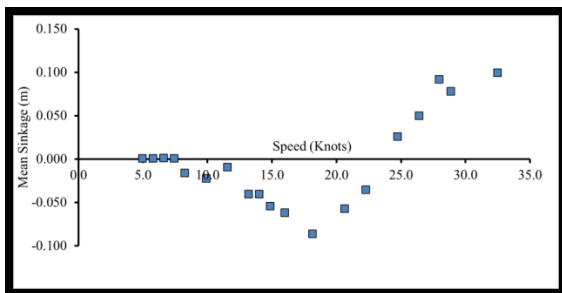
با استفاده از فرایند ذکرشده در این بخش، نتایج استخراج‌شده از تست‌های مُدل به کشتی تعمیم یافت که نتایج آن در نمودارهای شکل (۱۴) تا شکل (۱۸) ارائه شده است.



شکل (۱۴): میزان سینکیج در عمود پاشنه‌ی کشتی با مقیاس واحد.



شکل (۱۵): میزان سینکیج در عمود سینه‌ی کشتی با مقیاس واحد.



نظریه‌ی مباحث مربوط به تعمیم نتایج و اعمال آن برای شناور مورد نظر پرداخته شده است.

به طور کلی، برای محاسبه‌ی مقاومت شناور از روش فرود استفاده می‌شود. در این روش، مقاومت کل به دو مؤلفه‌ی مقاومت اصطکاکی و باقیمانده تقسیم می‌شود. قوانین تشابه و روش‌های برقراری ارتباط بین عملکرد مُدل با نمونه‌ی واقعی در مورد کشتی‌های معمولی، مطابق با دستورالعمل ITTC-78 به شرح زیر، قابل استفاده هستند.

ضریب مقاومت اصطکاکی مُدل و شناور از فرمول ITTC-57 به شرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} \quad (1)$$

ضریب مقاومت کل برای مُدل، بر اساس آزمایش‌های کشش و فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_{T_m} = \frac{R_{T_m}}{\frac{1}{2} \rho_m V_m^2 S_m} \quad (2)$$

$$C_{W_m} = C_{T_m} - (1+k)C_{F_m} \quad (3)$$

$$C_{W_s} = C_{W_m} \quad (4)$$

ضریب مقاومت کل برای یک کشتی، از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_{T_s} = C_{W_m} + (1+k)C_{F_s} + \Delta C_F + C_A + C_{AAS} \quad (5)$$

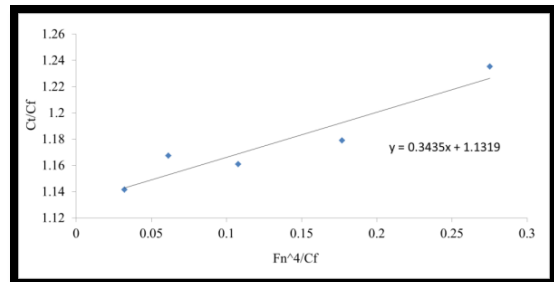
$$\Delta C_F = 0.044 \left[\left(\frac{K_s}{L_{WL}} \right)^{\frac{1}{3}} - 10 \times \text{Re}^{-\frac{1}{3}} \right] + 0.000125 \quad (6)$$

$$C_A = (5.68 - 0.6 \log \text{Re}) \times 10^{-3} \quad (7)$$

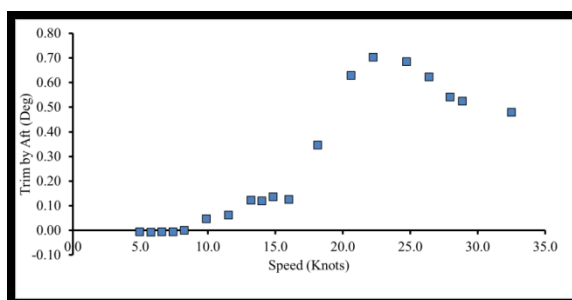
$$C_{AAS} = C_{DA} \frac{\rho_A \cdot A_{VS}}{\rho_s \cdot S_s} \quad (8)$$

$$\left(\frac{C_T}{C_F} \right) = (1+k) + \frac{c \cdot Fn^4}{C_F} \quad (9)$$

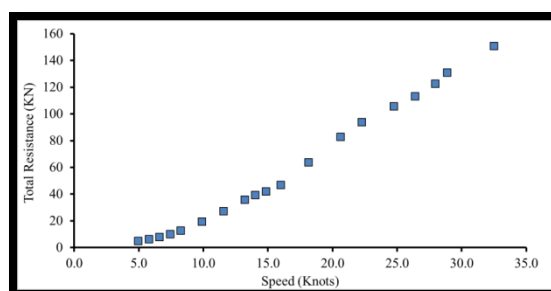
محاسبه‌ی $1+k$ بر اساس **Error! Unknown switch argument** محاسبه می‌گردد. نتایج آزمایشات مُدل است، برابر با $1/13$ به دست می‌آید.



شکل (۱۶): میزان سینکج متوسط کشتی با مقیاس واحد.



شکل (۱۷): تریم کشتی با مقیاس واحد.

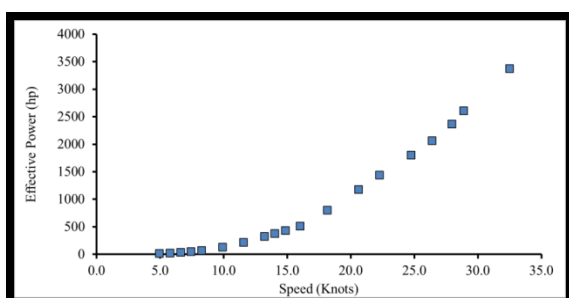


شکل (۱۸): مقاومت کل کشتی با مقیاس واحد.

بازده موتورها و سیستم رانش شناور، معمولاً از ۰/۴۵ تا ۰/۶۵ متغیر می باشد. توان موتور از نسبت توان مؤثر به ضریب بازده کل، به دست می آید.

$$BHP = \left(\frac{EHP}{OPC} \right) \quad (12)$$

خواهد داشت و با افزایش عدد موج مقدار فازهای سرعت کاهش خواهد یافت. با ادامه این افزایش پس از عدد موج $k = 20$ تفاوت بین نمودارها آشکار شده و نمودارها با پارامتر غیرموضعی بیشتر کاهش بیشتری در مقدار فاز سرعت خواهند داشت.



شکل (۱۹): نتایج تعمیمی توان مؤثر کشتی واقعی در وزن ۲۰۰ تن.

۷- تحلیل نتایج تست

همان طور که می بینیم در این تحقیق به بررسی تست مقاومت شناور کاتاماران موج شکن پرداخته شده که بعد از تعمیم نتایج تست به مدل واقعی، به بررسی توان مؤثر موتور در سرعت های مختلف پرداخته که در شکل (۱۹) این توان بر حسب قدرت اسب بخار در سرعت های مختلف ارائه گردید. یکی دیگر از بررسی های انجام شده در این پژوهش این بود که بتوانیم شناور را در ابعاد واقعی در دریا تست کنیم. با توجه به اینکه این نوع شناور در کشور موجود بود. لذا، به آزمایش آن در دریا پرداخته ایم. از آنجایی که سرعت ۲۸ نات سرعت عملکرد شناور بوده، لذا، تست های آزمایشگاهی نیز تا محدوده سرعت معادل ۲۸ نات یعنی ۳/۵۶ متر بر ثانیه انجام گرفته است. با توجه به این موارد شناور در ابعاد واقعی و در شرایط عملکردی خود که در جدول (۵) آورده شده، تست گردید که مقایسه این نتایج با نتایج تعمیم تست آزمایشگاهی به نوعی اثبات کننده نتیجه تست مقاومت در آزمایشگاه و

۶- تخمین توان شناور

از حاصل ضرب مقاومت کل در سرعت شناور، توان مؤثر به دست می آید که از رابطه ی زیر قابل محاسبه می باشد:

$$P = R_{total} \times V \quad (11)$$

همان طور که اشاره شد، برای رسیدن به سرعت مورد نظر می بایست بر مقاومت کل شناور غلبه کرد. توان به دست آمده از رابطه ی فوق در واقع توان مؤثر (EHP^۱) می باشد. در صورتی که تمام اجزایی که قدرت موتور را به نیروی تراست تبدیل می کنند با بازده ۱۰۰ درصد کار کنند، موتور را می توان بر اساس توان مؤثر (EHP) انتخاب کرد. در حالی که سیستم رانش هیچگاه با بازدهی ۱۰۰ درصد کار نمی کند. لذا، ضریبی به نام ضریب بازده کل (OPC^۲) تعریف می شود که از نسبت توان مؤثر (EHP) به توان موتور (BHP^۳) تعیین می شود. این ضریب با توجه به

¹Effective Horse Power

²Overall Performance Coefficient

³Brake Horse Power

همین طور رضایت بخش بودن از عملکرد شناور حکایت دارد.

با توجه به اینکه، محدوده تغییرات بازدهی سیستم رانش از ۰/۴۵ الی ۰/۶۵ می باشد، این میزان اختلاف در نتایج دو تست جایز می باشد.

۸- جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق، پژوهشی صورت گرفته که می تواند مبنای کار تحقیقاتی گسترده ای در آینده باشد. با توجه به مطلوب بودن روند نتایج تست در آزمایشگاه و همین طور مطابقت آن با تست شناور واقعی در دریا نه تنها بیانگر اهمیت تست های آزمایشگاهی را نشان می دهد، بلکه در همین راستا، پروژه های بهینه سازی زیادی را می توان تعریف کرد. از جمله اقدامات مهم دیگر، انتخاب فرم دماغه و ارتفاع بالای عرشه که همانند شناورهای SWATH عمل کرده و همین باعث قابلیت دریامانی بالای شناور می گردد. از جمله نتایج دیگر تحقیق می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. استفاده از چنین فرمی از بدنه (فرم دماغه + فرم پاشنه + نسبت طول به عرض و همین طور فاصله عرضی دو نیم بدنه) به شناور قابلیت دریامانی بالایی می دهد. به دلیل اینکه موج شکن بودن دماغه باعث تولید موج ضعیف تری از نظر ارتفاع موج می شود، لذا، مقاومت موج سازی آن، البته موجی که خود بدنه تولید می کند، به نسبت خیلی کمتر است و همین باعث کاهش مصرف سوخت می گردد. ۲. حین تست در آزمایشگاه به این نکته دست یافتیم، که در اطراف بدنه با وجود دو بدنه در کنار یکدیگر، پاشش آبی مشاهده نشده است. لذا، مؤلفه ای از درگ که درگ اسپری است در اینجا از بین رفته است و همین باعث کاهش مصرف سوخت می گردد.

۳. واگرایی موج در وسط LPP یعنی LPP/2 به هم می رسند و همان طور که می دانیم هرچه واگرایی به پاشنه نزدیک تر باشد، بهتر است که این متناسب با فاصله عرضی دو بدنه است. یعنی، هرچه فاصله دو نیم بدنه بیشتر باشد، واگرایی موج به پاشنه نزدیک تر می شود.

۴. دُم خروسی شناور در یک الی دو سکنش بعد از پشت بدنه و بعد از ترانزوم اتفاق می افتد که این امر برای شناور مطلوب است.

۵. موجی که از شناور در سرعت بالا خارج می شود به صورت مستقیم خارج می شود. ولی در برخی از سرعت ها موج ها بر هم اثر دارند که این اتفاق قبل از سرعت

جدول (۵): وضعیت بارگذاری شناور در دریا.

مدل واقعی شناور در دریا	
وزن (ton)	۲۰۰
سرعت عملکردی (knot)	۲۸
بازده سیستم رانش (OPC)	۰,۵۱
دو موتور ۲۲۵۰Hp	۴۵۰۰=۲*۲۲۵۰

در ضمن، مشخصات هندسی شناور واقعی به همراه مقایسه دو نتیجه تست آزمایشگاهی و تست در دریا در جداول (۶) و (۷) ارائه گردید.

جدول (۶): مشخصات شناور اصلی در وزن ۲۰۰ تن.

ابعاد	مدل
طول کلی (متر)	۵۵
طول بین دو عمود (متر)	۵۲/۶۳
طول خط آب (متر)	۵۳/۴۴
آبخور شناور از خط مبنا (متر)	۱/۴۶
حداکثر عرض (متر)	۱۴/۱
حداکثر عرض صفحه آبخور پایه های شناور (متر)	۲/۶۸
ارتفاع بدنه بدون عرشه (متر)	۲/۴۵
حداکثر عرض نیم بدنه (متر)	۲/۹۵
حداقل فاصله بین دو نیم بدنه (متر)	۸
وزن (تن)	۲۰۰

جدول (۷): نتایج مقایسه دو تست دریا و تعمیمی.

سرعت عملکردی (knot)	۲۸
توان مؤثر شناور واقعی (HP)	۲۲۹۵
توان مؤثر تعمیمی (HP)	۲۳۶۵
میزان خطا (%)	۳/۰۵
نتیجه	مطلوب است

عملکردی شان اتفاق افتاد. لذا، در نهایت این امر باعث کاهش مصرف سوخت می‌گردد.

۶. بارگذاری شناور در این شکل از بدنه به شدت وابسته به خطوط بدنه است. لذا، با تغییر تناژ شناور و به مراتب تغییر آب‌خور مؤلفه‌های مربوط به هیدرواستاتیک و هیدرودینامیک تغییر می‌کند.

۷. از آنجایی که این شناور به خاطر ارتفاع بالای سوپراستراکچر، ترکیبی از شناور کاتاماران موج‌شکن و شناور SWATH می‌باشد؛ لذا، در مواجهه با امواج بلند دریا، موج به راحتی و بدون برخورد با کف شناور در بین دو نیم‌بدنه، عبور کرده و همین باعث کاهش مصرف انرژی و افزایش سرعت در امواج، علی‌رغم قابلیت دریامانی در فورس بالای امواج دریا را می‌دهد.

مراجع:

[1] Moraes, H. B., et al, "Wave resistance for high speed catamarans," Para' University, Brazil, 2004.

[2] Insel, M., "An investigation into the resistance components of high speed displacement catamarans," Phd thesis, Department of Ship Science, University of Southampton, England, 1990.

[۳] فخرایی، احمد، "بررسی شناور ایرکاویتی، ساخت و آزمایش مدل آن"، پروژه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی مکانیک، ۱۳۸۴.

[۴] سیف، م.س، سیف، م.، "مقاومت شناورها"، انتشارات دانشگاه هرمزگان، ۱۳۷۴.

[۵] ری‌شهری، م.، فخرایی، ا.، سیف، م.س.، "بررسی تجربی عملکرد تریم تب بر عملکرد شناورهای تندرو کاتاماران"، هشتمین همایش صنایع دریایی، آبان ماه ۱۳۸۵، استان بوشهر.

[۶] ابراهیمی، ا.، حاجیلوی، ع.، راد، م.، "بررسی تجربی درگ شناور کاتاماران با نیم‌بدنه‌های غیرموازی"، نهمین همایش صنایع دریایی، آبان ماه ۱۳۸۶، استان مازندران.

[۷] کریمی، م.ح.، نیکفرجام، م.، "بومی‌سازی تکنولوژی نصب هیدروفویل بر روی کاتاماران تندرو"، نهمین همایش صنایع دریایی، آبان ماه ۱۳۸۶، استان مازندران.