

مطالعه تجربی تأثیر هیدرودینامیکی تغییر زاویه پاشنه به کمک

ودج در شناور تندرو تک بدنه

پرویز قدیمی^۱، سید مهدی ساجدی^۲ محمد شیخ الاسلامی^۳

^۱استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی دریا؛ pghadimi@aut.ac.ir

^۲استادیار دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (علیه السلام)

^۳کارشناسی ارشد مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی دریا

چکیده

شناور تندرو از جمله سازه‌های دریایی است که دارای طراحی پیچیده می‌باشد. پایداری و سرعت دو فاکتور مهم در ساخت شناور تندرو است. جذابیت و پیچیدگی این نوع شناور باعث شده محققین بسیاری در این زمینه فعالیت کنند. در این مقاله به بررسی تجربی تأثیر ودج بر روی پایداری و مقاومت شناور تندرو تک‌بدنه پرداخته شده است. شناور موردبررسی دارای ددرایز ثابت بوده و نسبت طول به عرض آن ۴٫۸ می‌باشد. تست‌ها در اعداد فرود عرضی ۰٫۱ الی ۴٫۲۶ در آزمایشگاه ملی دریایی خلیج فارس انجام شده‌است. پارامترهای اندازه‌گیری به ترتیب تریم، ریزآپ، مقاومت، طول خیس چاین و کیل می‌باشد. شناور در سرعت ۸ متر بر ثانیه ناپایدار می‌شود. برای پایدار شدن شناور از یک ودج استفاده می‌شود که دارای ارتفاع ۵ و طول ۹۲ میلی‌متر می‌باشد. مقاومت شناور در این حالت کمتر می‌شود و پروپوئینگ شناور از بین می‌رود.

واژه‌های کلیدی

شناور تندرو، مدل آزمایشگاهی، ودج، پروپوئینگ، مقاومت.

Experimental Study of the hydrodynamic effect of angel change on stern by wedge in high speed boat of mono hull

Parviz ghadimi¹, seyed Mahdi sajedi², Mohammad Sheikholeslami³

Abstract

High speed craft is one of the most sophisticated marine vehicles. Stability and speed are two important factors in the construction of planing hulls. The attractiveness and complexity of this type of vessel has led many researchers to work in this field. In the current paper, the effect of wedge on the stability and resistance of a mono-hull high speed craft is experimentally investigated. The studied vessel has a constant deadrise angle and the length to width ratio is 4.8. The tests were conducted at transverse Froude numbers of 0.1 - 4.26 at the National Iranian Marine Laboratory. The measured parameters are trim, rise up, resistance and the wetted length of chine and keel. The vessel at the speed of 8 m/s was unstable. To stabilize the vessel, a wedge with a height of 5 mm and a length of 92 mm has been used. In this case, in addition to the absence of porpoising, the resistance of the vessel, decreases.

Keywords

High speed craft, experimental model, wedge, propoising, resistance.

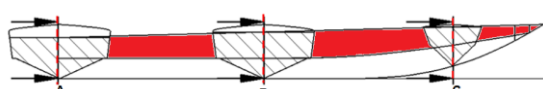
امروزه بهبود عملکرد شناورهای پروازی از جدی‌ترین دغدغه‌های طراحان حوزه دریایی می‌باشد. علت این اهمیت کاربرد روزافزون این شناورها در بخش‌های نظامی، مسافری، ورزشی و تفریحی می‌باشد. عملکرد شناور پروازی از جنبه‌های مختلف نظیر پایداری، دریامانی، قابلیت مانور و مقاومت در آب ساکن و در حضور امواج مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پیش‌نیاز هرگونه اصلاح و بهبود این قابلیت‌ها ایجاد درک مناسب از رفتار هندسه پروازی می‌باشد. بدین منظور، تحقیقات اولیه در این زمینه، عمدتاً با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و تحلیلی با هدف ایجاد فرمول‌هایی جهت تخمین عملکرد این شناورها انجام شد [1-3]. این روند، یعنی ایجاد مدل‌های ریاضی جهت تخمین عملکرد شناورهای پروازی، در دهه‌های اخیر نیز همچنان با قدرت پیگیری می‌شود [4-8]. از این‌رو با وجود چنین پس‌زمینه گسترده و سازمان‌یافته پیرامون عملکرد این شناورها، ایجاد ایده‌های جدید جهت بهبود عملکرد آن‌ها دور از انتظار نیست. بعضی از این ایده‌ها با اینکه به چندین دهه قبل می‌گردند، اما مطالعه همه‌جانبه بر روی آن‌ها تا همین چندی پیش به علت ضعف اطلاعاتی مقصور نبود. برای مثال با وجود تحقیقات گسترده توسط Pope و Clement در سال ۱۹۶۱ بر روی شناورهای پله‌دار، ایجاد روابطی جهت تخمین عملکرد شناورهای تک پله و دوپله به ترتیب تا اواخر دهه گذشته [9] و اوایل این دهه [10] انجام نشد. از دیگر ایده‌های مطرح‌شده در این زمینه می‌توان نصب ملحقاتی نظیر فلپ پاشنه، اینترسپتور و گوه را بر روی شناور نام برد. این ملحقات عموماً مکانیزم‌های بهبود تریم نامیده می‌شوند. علت این نام‌گذاری این است که با استفاده از آن‌ها، زاویه تریم شناور کاهش می‌یابد [11]. این امر می‌تواند منجر به کاهش مقاومت شود؛ اما نکته قابل‌توجه این است که هرچند در شناورهای تجاری بزرگ، کاهش مقاومت یکی از تأثیرگذارترین عوامل در توجیه اصلاح بدنه شناور است، در شناورهایی با حساسیت شناورهای پروازی، کاهش مقاومت به‌تنهایی نمی‌تواند نصب یک ملحقه به شناور را توجیه کند. برای مثال، گسترش روزافزون شناورهای پله دار، علاوه بر مقاومت کمتر این شناورها نسبت به شناورهای بدون پله [12-14]، ناشی از پایداری دینامیکی و دریامانی مناسب این شناورها می‌باشد [15-16].

تحقیقات انجام‌شده بر روی مکانیزم‌های بهبود تریم هم نشانگر این است که استفاده از آن‌ها در شرایط خاص، علاوه بر کاهش مقاومت [17]، ایجاد تعادل دینامیکی در سرعت‌های بالا و جلوگیری از وقوع پورپوزینگ در آب آرام [18] را به دنبال دارد که ادامه تحقیقات در این زمینه را توجیه می‌کند. ساویتسکی و براون [19] در سال ۱۹۷۶ به ایجاد روابطی برای تخمین عملکرد این شناورهای دارای گوه در پاشنه ترانسوم پرداختند. روش آن‌ها برای ایجاد این روابط بر پایه تحقیقات انجام‌شده در سال ۱۹۶۴ توسط ساویتسکی [20] بود. به‌طوری‌که با استفاده از آن‌ها مقادیر پارامترهایی نظیر مقاومت و لیفت شناور قابل‌تعیین بود. پس از آن، میلوارد [18] به‌صورت آزمایشگاهی اثر نصب گوه را بر لیفت دینامیکی، تریم و مقاومت شناور موردبررسی قرار داد. به‌علاوه، کارافیات و فیشر [17] پیشنهادهایی برای طراحی گوه به‌طوری‌که سبب بهبود بازده عملکردی شناور و کاهش مصرف سوخت سالانه آن شود، ارائه دادند. همچنین، کامینگ و همکاران [21] نشان دادند که نصب گوه بر روی شناور می‌تواند حتی منجر به کاهش کالویتاسیون پروانه گردد. به از سوی دیگر، جانگ و همکاران [22] عملکرد گوه را بر روی شناور مسافری را به‌صورت عددی بررسی کردند.

از دیگر، ابزارهای کنترل تریم می‌توان اینترسپتور را نام برد که صفحه‌ای نازک است که بر روی ترانسوم یا در نزدیکی آن نصب می‌شود. این ملحقه سبب کنترل تریم و هدایت شناور می‌شود و با تغییر در توزیع فشار حول شناور، سبب تغییر لیفت، درگ و مرکز فشار حول شناور می‌گردد که ایجاد تریم جدید در آن را به دنبال دارد. یکی از اولین تحقیقاتی که اثر اینترسپتور را بر مقاومت شناور موردبررسی قرار داده است، توسط سای و همکاران [23] در سال ۲۰۰۳ انجام شد. آن‌ها نشان دادند که بهترین عملکرد مقاومتی شناوری که مورد تست آزمایشگاهی قرار گرفته بود، در عدد فرود حجمی بین 2.0 تا 3.0 قرار داشت. بریزولارا [24] در سال ۲۰۰۵ با استفاده از یک کد سی‌اف‌دی سطح آزاد RANSE به مطالعه مدل دوبعدی اینترسپتورها پرداخت. در نهایت با به‌دست آوردن توزیع فشار و سرعت، متدی پیشنهاد کرد که با استفاده از آن، می‌توان نیروهای اینترسپتور را به‌دست آورد. در همین راستا، ریجنز و همکاران [25] در سال ۲۰۱۱ ویژگی‌های هیدرودینامیکی اینترسپتورها را

جدول ۱: مشخصات مدل

پارامتر	اندازه
LOA	2638.31 mm
LCG	791.49 mm of transom
VCG	184.6 mm
LBP	2368.18 mm
C_d	0.5096
Mass	86.024 kg
V	0.08585 mm ³
Draft (forward)	186.45 mm
Draft (transom)	89.81 mm
Statics trim	2.34 deg
Design draft	146.57 mm
beam	551.9 mm
C_v	0-4.29
Fr_L	0-2.35



شکل ۱: مدل سه بعدی پوسته بدنه شناور

۳- مشخصات حوضچه کشش

این آزمایش‌ها در حوضچه کشش ملی دریایی خلیج فارس انجام و مشخصات اصلی این حوضچه در جدول شماره ۲ و تصویری از کریر آن در شکل ۲ آورده شده است. سیستم اندازه‌گیری مورد استفاده در حوضچه آزمایش شده از نوع اربابه ریلی سرنشین‌دار بوده و قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای مختلف هیدرودینامیکی دارد.



شکل ۲: نمایی از اربابه کشش حوضچه آزمایشگاه ملی دریایی خلیج فارس

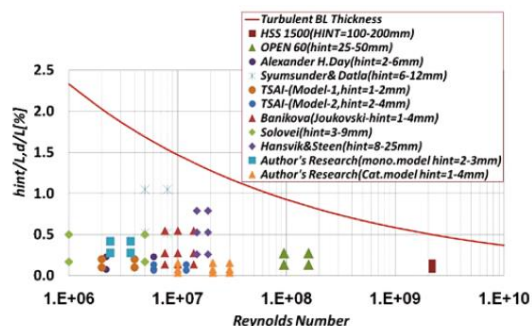
در شکل ۳ نمایی از شناور و موقعیت پتانسیومترها نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بر روی شناور ۲ پتانسیومتر و یک لود سل برای محاسبه مقاومت با زاویه ۲۴ درجه نصب شد است.

با انجام تست‌های گسترده در حوضچه کشش در حضور موج مورد بررسی قرار داد. کریمی و همکاران [26] در سال ۲۰۱۳ به صورت پارامتریک اثر اینترسپتور را بر عملکرد شناور پروازی بررسی کرد و با یک تحلیل آماری اثر عمق این ملحقه را بررسی کرد. اخیراً منصوری و فرناندز [27] هم در سال ۲۰۱۵ با استفاده هم‌زمان از روش‌های عددی و تست آزمایشگاهی، اثرات هیدرودینامیکی اینترسپتور را بر یک صفحه مسطح دوبعدی بررسی کردند.

با توجه به تاریخچه، استفاده از گوه در ترانسوم شناور، زمانی به عنوان یک مزیت به شمار می‌رود که بهبود هم‌زمان عمده عملکردهای آن را به دنبال داشته باشد. به همین خاطر، اکثر تحقیقات ذکر شده، مزیت کاربرد گوه را بر روی انواع خاص شناورها و از دیدگاه کاربردی مورد مطالعه قرار دادند؛ لذا استفاده از نتایج آن‌ها در مورد شناورهای دیگر عملاً ممکن نیست. از این رو، در مقاله حاضر، اثر نصب گوه بر روی یک شناور پروازی مدل با نسبت طول به عرض 4.8 و ددرايز ثابت به عنوان یک مدل نسبتاً مشابه با فرم بدنه عمومی شناورهای پروازی جهت ایجاد اطلاعات مناسب برای معتبرسازی تحقیقات آتی نویسندگان، به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. این بررسی در عدد فرود عرضی بین ۰.۱ تا ۴.۲۶ انجام می‌شود و پارامترهای تریم، ریزآپ، مقاومت، طول خیس چاین و کیل اندازه‌گیری می‌شود. همچنین وقوع پورپویزینگ هم در صورت وقوع گزارش خواهد شد.

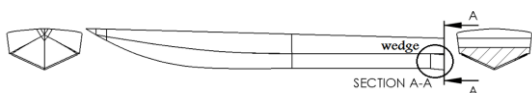
۲- تعریف فیزیکی مدل

شناور انتخاب شده در این پژوهش از نوع شناور تندرو پروازی تک‌بدنه می‌باشد. این مدل مقیاس یک‌به‌پنج شناور تک بدنه پروازی Vee شکل می‌باشد و جنس آن فایبرگلاس بوده، مشخصات اصلی مدل در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده است. این بدنه همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است از موقعیت A تا B با زاویه ثابت ددرايز 24⁰ می‌باشد و از موقعیت B تا C زاویه ددرايز بین 25 تا 40 درجه تغییر می‌کند. این بدنه بدون پله‌های طولی و عرضی می‌باشد. نسبت طول به عرض شناور 4.78 می‌باشد.



های آماری شکل ۴: تعیین ارتفاع ودج و اینترسپتور با توجه به داده در اعداد رینولدز مختلف

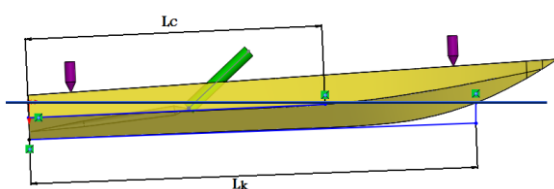
در شکل ۵ موقعیت ودج در شناور نشان داده شده است.



شکل ۵: تصویر موقعیت و شکل ودج‌ها

۴- نتایج

در ابتدا مدل شماره یک که بدون ودج می‌باشد تست شده است نتایج تست به صورت جدول شماره ۳ می‌باشد. در این جدول کلیه نتایج از جمله مقاومت و تریم دینامیکی استخراج شده است. طول آبخور شناور برای محاسبه عدد فرود ۲,۳۱ متر برابر با آبخور استاتیکی می‌باشد. علاوه بر موارد فوق مقدار L_c و L_k محاسبه شده است. در شکل ۶ طول کیل خیس و چاین خیس نشان داده شده است.



شکل ۶: طول خیس کیل و چاین در شناور

جدول ۳: نتایج مدل بدون ودج

V m/s	Fr _L	Rise up at CG(mm)	Dynamics trim	L _c	L _k	R _T (KgF)
1	0/21	-1/78	2/47	1608	2242	0/8
2	0/43	-8/67	3/73	1496	2235	5/4
3	0/64	4/03	6/17	1161/2	1936/6	11/55
4	0/85	26/71	6/77	956	1780	13/05
5	1/07	52/61	7/39	724	1572	13/94
6	1/28	70/26	6/63	572	1520	13/65
7	1/49	81/54	5/81	445/9	1511/8	13/8
8	1/71	-	PORPOISE	-	-	-
9	1/92	-	PORPOISE	-	-	-
10	2/1	-	PORPOISE	-	-	-

جدول ۲: مشخصات حوضچه کشش

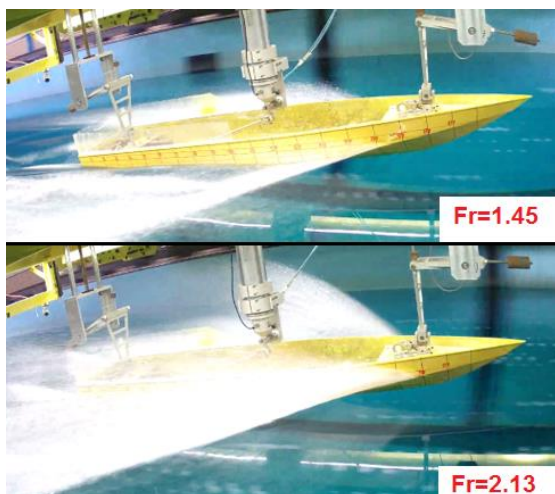
اندازه	پارامتر
Length of canal	400 m
Width of canal	6 m
Depth of canal	4 m
Velocity max of carrier	18 m/s
Density of towing tank water	1002 kg/m ³
Viscosity of towing tank water	9/75831E-07
Temperature of water	21°



شکل ۳: موقعیت شناور در حوضچه

تست‌ها بر روی سه مدل مختلف انجام شده است. در حالت اول شناور همان‌طور که مشخصات آن در جدول شماره یک آورده شده است بدون ودج و مرکز ثقل آن در ۳۰ درصدی پاشنه قرار دارد. رفتار شناور طبق آزمایش‌های انجام شده از سرعت ۸ متر بر ثانیه به بعد دارای ناپایداری طولی می‌باشد، برای رسیدن به سرعت‌های پایدار باید پروپوزینگ شناور حذف شود. یکی از دلایل اصلی وقوع پروپوزینگ فاصله طولی بین مرکز ثقل و نیروی هیدرو دینامیکی می‌باشد. در شناور اصلی بنا به دلایل مختلف از جمله محدودیت مکان موتور، تغییر موقعیت ثقل مشکل است. در این مقاله دو نمونه ودج با توجه به لایه مرزی طبق کار آماری صورت گرفته در شکل ۴ انتخاب شده است. این ارتفاع‌ها ۵ و ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. برای سرعت ۱۰ متر بر ثانیه ارتفاع لایه مرزی حدوداً ۱۰ میلی‌متر برای پاشنه شناور به دست می‌آید.

شده است. در شکل شماره ۷ مقدار تریم شناور در حوضچه نشان داده شده است.



شکل ۸: نمای جانبی در اعداد فرود مختلف برای حالت و دج ۱۰ میلی متر

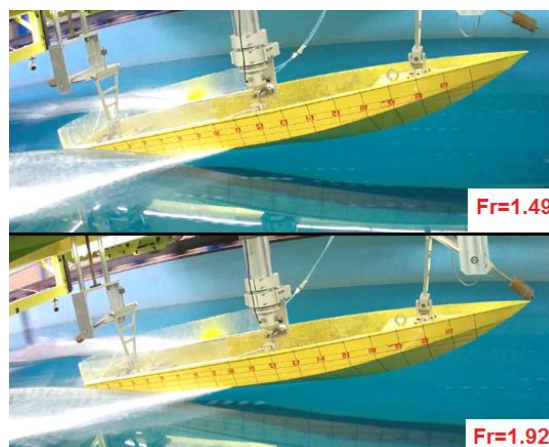
در سری سوم تست ها از و دج با ارتفاع ۵ میلی متر استفاده شده است. نتایج در جدول شماره ۵ آورده شده است.

جدول ۵: نتایج مدل با و دج ۵ میلی متری

V m/s	Fr _L	Rise up at CG	Dynamics trim	L _c	L _k	R _T (KgF)
1	0/21	-0/17	2/42	1455	2182	0/95
2	0/43	-6/32	3/44	1529	2174	5/56
3	0/64	6/23	5/44	1202	1998	10/8
4	0/85	26/87	5/27	993	1936	11/56
5	1/07	45/13	5/22	791	1855	12/17
6	1/28	57/92	4/52	648	1860	12/33
7	1/49	67/62	3/65	454	1897	13/2
8	1/71	70/89	2/89	305	1953	15/07
9	1/92	74/78	2/23	83	1996	17/6
10	2/1	75/52	1/66	--	2043	20/78
11	2/31	77/28	1/19	--	2079	24/81

از نتایج گرفته شده استنباط می شود مقاومت کاهش یافته و تریم در حالت مناسبی نسبت به مدل شماره ۲ قرار دارد. در شکل ۹ نمای جانبی و تریم شناور در حالت و دج با ارتفاع ۵ میلی متر نشان داده شده است. تریم شناور در این حالت بیشتر از تریم با ارتفاع و دج ۱۰ میلی متری می باشد.

در تست های انجام شد مشاهده گردید که شناور در سرعت ۸ متر بر ثانیه به بعد دارای ناپایداری طولی می باشد. مقدار تریم در ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد؛ اما ریز آب شناور در ابتدا کاهش و سپس افزایش می یابد. در دو عدد فرود در نمای جانبی تریم شناور نشان داده شده است. با افزایش عدد فرود تریم افزایش یافته است.



شکل ۷: نمای جانبی در اعداد فرود مختلف برای حالت بدون و دج

برای رفع ناپایداری طولی در ابتدا و دج شماره یک یعنی و دج با ارتفاع ۱۰ میلی متر تست شده است. نتایج در جدول شماره ۴ آورده شده است. تریم استاتیک در سه حالت ۲،۳۴ درجه می باشد.

جدول ۴: نتایج مدل با و دج ۱۰ میلی متری

V m/s	Fr _L	Rise up at CG(mm)	Dynamics trim	L _c	L _k	R _T (KgF)
1	0/21	-0/71	2/36	1590	2235	1/028
2	0/43	-5/37	3/24	1546	2188	5/75
3	0/64	8/07	4/93	1228	2021	10/5
3/5	0/75	18/40	4/64	1117	2020	10/78
4	0/85	27/28	4/35	1026	2008	11
5	1/07	42/42	3/77	845	1980	11/79
6	1/28	54/65	2/96	625	2012	12/75
7	1/49	62/84	2/01	310	2075	14/56
8	1/71	63/18	1/16	143	2165	17/7
9	1/92	64/25	0/46	--	2186	21/77
10	2/1	63/88	0/11	--	2213	26/58

در جدول ۴ می توان این گونه استنباط کرد که نمودار مقاومت به سرعت سه ناحیه تقسیم می شود. در ناحیه اول که تا عدد فرود ۰/۵ می باشد، مقاومت ها به نسبت یکسان است اما در ناحیه دوم یعنی بین عدد فرود ۰/۵ تا ۱/۴۵ مقاومت و دج کاهش پیدا کرده و در ناحیه سوم یعنی اعداد فرود بالاتر از ۱/۵ که شناور پایدار شده و مقاومت نسبت به حالت بدون و دج کاهش یافته و شناور پایدارتر

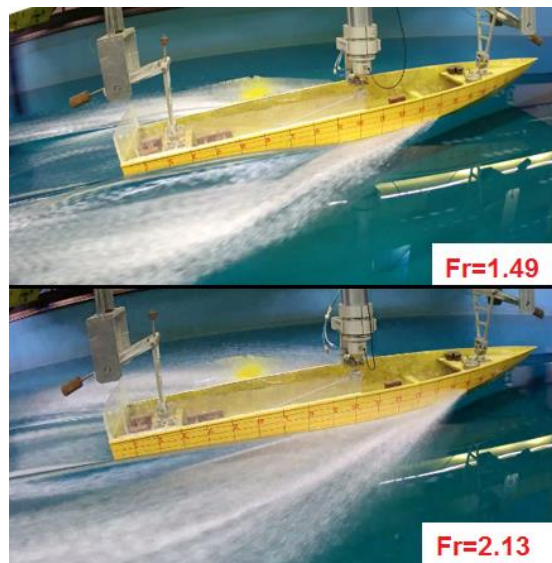
تریم مدل شماره ۲ از مدل شماره یک کمتر بوده و به این مفهوم است که مقاومت کاهش یافته است.

۴: جمع‌بندی و پیشنهادها

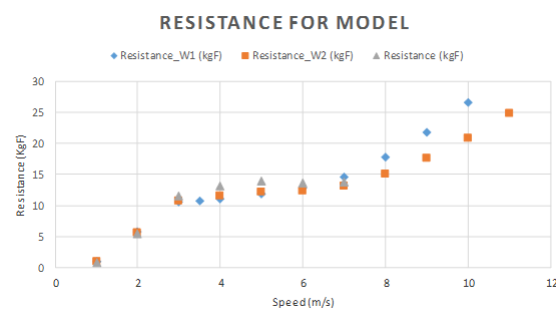
در این مقاله عملکرد یک شناور پروازی تک بدنه در اعداد فرود ۰/۲۱ الی ۲/۳۱ بررسی شده است. در شناور مدل یک که بدون ودج می‌باشد در سرعت ۸ متر بر ثانیه شناور دچار ناپایداری طولی می‌شود؛ اما به کمک دو ودج با ارتفاع ۵ و ۱۰ میلی‌متر و سطح یکسان ۹۲ میلی‌متر، پروپوز شناور از بین می‌رود. علاوه بر آن مقاومت شناور در ودج با ارتفاع ۵ میلی‌متر کمتر از ۱۰ میلی‌متری می‌باشد. در این مقاله ریزآپ مرکز ثقل و زاویه تریم دینامیکی بین سه حالت بررسی شده و مشاهده شده است در بین این سه حالت، مدل بدون ودج بیشترین زاویه رأس در اعداد فرود ۰/۶ به بعد را دارا می‌باشد. با توجه به اینکه عملاً با گذاشتن ودج زاویه رأس شناور کم می‌شود باید ارتفاع ودج تا حد امکان کم باشد؛ لذا پیشنهاد می‌شود بهترین حال برای تنظیم تریم مناسب همراه با پایداری شناور برای حالت ترکیبی ودج قابل حصول است و همچنین پیشنهاد می‌شود در ادامه کار انجام شده، مقایسه‌ای بین سطوح لیفت ساز پاشنه از جمله اینترسپتور ودج، فویل و تریم تب از جهت تأثیر آن در افزایش پایداری و کاهش یا افزایش درگ و لیفت انجام شود.

مراجع

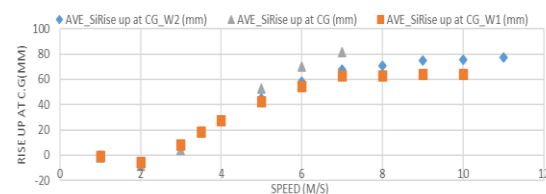
- [1] Von Karman, T. H., "The impact on seaplane floats during landing," 1929.
- [2] Milwitzky, B., "A generalized theoretical and experimental investigation of the motions and hydrodynamic loads experienced by V-bottom seaplanes during step-landing impacts," 1948.
- [3] Schnitzer, E., "Theory and procedure for determining loads and motions in chine-immersed hydrodynamic impacts of prismatic bodies (No. NACA-TN-2813)," NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION WASHINGTON DC, 1952.
- [4] Ghadimi P, Tavakoli T, Dashtimanesh A, An analytical procedure for time domain simulation of roll motion of the warped planing hulls, Inst. Mech. Eng. Part M: J. Eng. Marit. Environ. (2015), <http://dx.doi.org/10.1177/1475090215613536>, Published Online: Nov. 2015.
- [5] Ghadimi P, Tavakoli S, Dashtimanesh A, Coupled heave and pitch motions of planing hulls



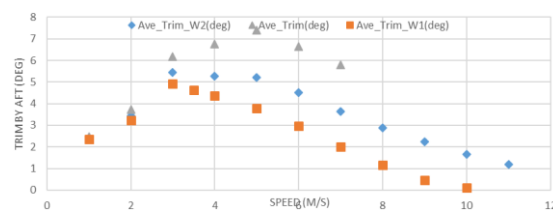
شکل ۹: نمای جانبی شناور در حالت ودج با ارتفاع ۵ میلی‌متر
نتایج مقایسه مقاومت به سرعت در سه حالت، تریم دینامیکی و ریزآپ در مرکز ثقل به صورت نمودارهای شماره‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ آورده شده است.



شکل ۱۰: نمودار مقایسه‌ای بین مقاومت به سرعت سه مدل ودج شماره ۲ جز در ابتدای منطقه هامپ در تمام شرایط وضعیت بسیار مطلوب داشته و در اعداد فرود بالای ۱،۵ تا ۲۰٪ کاهش مقاومت همراه با پایداری مناسب را دارا می‌باشد.



شکل ۱۱: نمودار مقایسه‌ای ریزآپ مرکز ثقل



شکل ۱۲: مقایسه تریم سه مدل

- [19] Savitsky D, Brown PW (1976) Procedures for hydrodynamic evaluation of planing hulls in smooth and rough water. *Marine technology*, 13(4): 381-400.
- [20] D. Savitsky, Hydrodynamic design of planing hulls, *Mar. Technol.* 1 (1964)71-95.
- [21] Cumming D, Pallard R, Thornhill E, Hally D, Dervin M (2006) hydrodynamic design of a stern flap appendage for the HALIFAX class frigates, *MARI-TECH 2006, Halifax, N.S* June 14 – 16.
- [22] Jang SH, Lee HJ, Joo YR, Kim JJ, Chun HH (2009) Some practical design aspects of appendages for passenger vessels, *International journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 1: 50-56.
- [23] Tsai, J., Hwang, J., Chou, S., 2003. Study on the compound effects of interceptor with stern flap for two fast Monohulls with transom stern. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Fast Sea Transportation, FAST 2003, Session D1, 23-28, Ischia, Italy.
- [24] Stefano Brizzolara. HYDRODYNAMIC ANALYSIS OF INTERCEPTORS WITH CFD METHODS. *7th Int. Conference on Fast Sea Transportation - FAST 2003 – Ischia, Italy*.
- [25] A.A.K. Rijkens, J.A. Keuning and R.H.M. Huijsmans. A computational tool for the design of ride control systems for fast planing vessels. *International Shipbuilding Progress* 58 (2011) 165–190.
- [26] Karimi MH, Seif MS, Abbaspoor M (2013) An experimental study of interceptor's effectiveness on hydrodynamic performance of high-speed planing crafts, *Polish Maritime Research*, 20: 21-29.
- [27] MANSOORI M, FERNANDES A. C, Hydrodynamics of the interceptor on a 2-D flat plate by CFD and experiments, *journal of hydrodynamics*, 2015,27(6):919-933.
- at non-zero heel angle, *Applied Ocean Research* 59 (2016) 286–303.
- [6] Ghadimi P, Tavakoli S, Dashtimanesh A, Zamanian P (2017). Steady performance prediction of a heeled planing boat in calm water using asymmetric 2D+ T model, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 231, 234-257.
- [7] P. Ghadimi, S. Tavakoli, M. A. Feizi Chekab, A. Dashtimanesh. INTRODUCING A PARTICULAR MATHEMATICALMODEL FOR PREDICTING THE RESISTANCE AND PERFORMANCE OF PRISMATIC PLANING HULLS IN CALM WATER BY MEANS OF TOTAL PRESSURE DISTRIBUTION. *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, 12(2015) 73-94.
- [8] Ghadimi P, Tavakoli S, Dashtimanesh A. (2016), Calm water performance of hard-chine vessels in semi-planing and planing regimes. *Polish Maritime Res*, 23(4), 23-45.
- [9] Svahn D, 2009. Performance prediction of hulls with transverse steps. MSc Thesis, KTH, Stockholm.
- [10] Danielson, J., and Stromquist, J., “Conceptual design of super yacht tender,” Marine System Center for Naval Architecture, KTH University, 2012.
- [11] Wang CT (1980) Wedge effect on planing hulls, *Journal of Hydronautics*, 14(4): 122-124.
- [12] Lee E, Pavkov M, Mccue-Weil W. 2014. The Systematic variation of step configuration and displacement for a double-step planing craft. *Journal of Ship Production and Design*. 30(2): 89–97.
- [13] FALTINSEN, O. M. 2005 *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*, Cambridge University Press, Cambridge University Press, New York, New York.
- [14] Clement EP. 2003. A configuration for a stepped planing boat having minimum drag. Bethesda (MD): David Taylor Model Basin, US Naval Surface Warfare Center.
- [15] Agostino De Marco, Simone Mancini, Salvatore Miranda, Raffaele Scognamiglio, Luigi Vitiello. Experimental and numerical hydrodynamic analysis of a stepped planing hull. *Applied Ocean Research* 64 (2017) 135–154.
- [16] A. Sverchkov, Application of air cavities on high-speed ships in Russia, in: *International Conference on Ship Drag Reduction (SMOOTH-Ships)*, Istanbul, 2010.
- [17] Karafiath, G. and S.C. Fisher, 'The effect of Stern Wedges on Ship Powering Performance', *Naval Engineers Journal*, May, 1987.
- [18] Millward A (1987) Effect of wedges on the performance characteristics of two planing hulls, *Journal of Ship Research*, 20(4): 224-232.

