

بررسی تجربی اثر اینترسپتور در لیفت پاشنه و کاهش مقاومت شناورهای تندرو

محسن ملایی^۱، علی اصغر مقدس آهنگری^۲، حسن قاسمی^۳، سید مهدی ساجدی^۴

^۱کارشناسی ارشد مهندسی دریا- هیدرومکانیک، دانشگاه دریایی امام خمینیه (مدظله العالی)، Mohsen61.mk@gmail.com
^۲دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی دریا- هیدرومکانیک، آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس؛ Moghaddas@aut.ac.ir
^۳استاد تمام و عضو هیات علمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ hmaaa2002@gmail.com
^۴دانشجوی دکترا مهندسی دریا- سازه، دانشگاه دریایی امام خمینیه (مدظله العالی)، s.mahdisajedi@gmail.com
(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱۱)

چکیده:

مکانیزم‌های کنترل تریم و حرکات شناورهای تندرو، نظیر تریم تب، فلپ و اینترسپتور، با توجه به شرایط عملکرد آنها اثرات مؤثر و قابل توجهی بر روی مقاومت و رفتار دینامیکی شناورهای تندرو دارند. در این مقاله، به منظور مطالعه و بررسی میزان اثربخشی و اثرات اینترسپتور بر روی مقاومت و تریم دینامیکی شناورهای تندرو، پس از مطالعه و بررسی مفهوم عملکرد اینترسپتور در کاهش مقاومت، در شرایط عبور از منطقه‌ی اسکي، با استفاده از روش تجربی تست مدل برای یک شناور تندروی ۱۳ متری در آزمایشگاه ملی خلیج فارس دانشگاه امام حسین (علیه السلام)، اثرات اینترسپتور در پاشنه‌ی شناور در سرعت‌های مختلف بررسی شده‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که اثرات کاهش مقاومت توسط اینترسپتور در محدوده‌ی عدد فرود مربوط به اسکي شناور قابل توجه است. استفاده از اینترسپتور در اعداد فرود بالا باعث کاهش تریم و افزایش مقاومت می‌شود. در این تحقیق، تمرکز ما بر روی بررسی تجربی نحوه‌ی کاهش مقاومت شناورهای تندرو در اثر افزودن اینترسپتور به بدنه‌های پلنینگ می‌باشد. در این آزمایش، یک بدنه‌ی پلنینگ از روی شناور ۱۳ متری استاندارد کوگار ساخته شده است که دو عدد تیغه‌ی اینترسپتور در قسمت ترانزوم آن نصب شده و در ارتفاع‌های مختلف مورد آزمایش قرار خواهد گرفت. همچنین، این ایده منجر به کاهش قله‌ی مقاومتی در نمودار سرعت- مقاومت شناورهای تندرو می‌شود که یکی از معضلات این شناورها است.

کلمات کلیدی:

اینترسپتور، رفتار هیدرو دینامیکی، مقاومت، شناور تندرو.

Experimental Investigation of the Effectiveness of Interceptor in Stern Lifting and Reduction of High-speed Crafts' Resistance

¹Mohsen Mollae, ²Ali Asghar Moghaddas Ahangari, ³Hassan Ghasemi, ⁴Mahdi sajedi

¹MSc, marine engineering, Imam Khamenei University of marine science; Mohsen61.mk@gmail.com

²MSc, marine engineering, National Iranian marine laboratory; Moghaddas@aut.ac.ir

³PhD, marine engineering, Amir Kabir University of technology; hmaaa2002@gmail.com

⁴PhD, marine engineering, Imam Khamenei University of marine science; s.mahdisajedi@gmail.com

(Submitted: 2017/1/7; Accepted: 2017/03/01)

Abstract

Trim control mechanisms and movements of high-speed crafts such as trim tab, flap and interceptor have effectiveness function on resistance and dynamic behavior on these crafts. Effectiveness of interceptor is investigated in stern of high-speed crafts at various speed of vessel by use of experimental method on the 13 m planning high-speed crafts in Persian Gulf laboratory of Imam Hussein University. The results show that resistance reduction by use of interceptor has remarkable effects over the range of Froude numbers. Use of interceptor at high Froude numbers causes reduction of trim and increases resistance. We use a model of 13 m Cougar boat that two interceptor is installed in transom. Thus causes reduction peak of resistance in velocity-resistance curve of high-speed crafts.

Keywords

Interceptor, Resistance, High-speed craft, Dynamic behavior, Model test.

۱- مقدمه

افزایش سرعت شناورها یکی از مهم‌ترین نیازها در شناورهای تفریحی، تجاری و نظامی می‌باشد که تاکنون تلاش‌های زیادی برای دستیابی به مراتب بالاتر آن صورت پذیرفته است. از این رو، ناشناخته‌های بسیاری در این زمینه وجود دارد که باعث شده همواره گروه‌های مختلفی در سرتاسر دنیا بر روی این موضوع تمرکز کنند. در این زمینه، شناورهای تندروی پروازی از جایگاه بسیار مهمی برخوردار هستند، به طوری که امروزه، اغلب شناورهای تندرو از این نوع ساخته می‌شوند. این نوع شناورها به لحاظ فرم ویژه‌ای که بدنه‌ی آنها دارد، با افزایش سرعت خود مقدار قابل توجهی از وزن‌شان را به وسیله‌ی نیروی برآی هیدرودینامیکی جبران می‌کنند. در بعضی از این موارد نیروی برآی هیدرودینامیکی آنها حتی تا نصف وزن نیز می‌رسد. اگرچه، در این قبیل شناورها با کاهش مقدار جابجایی ناشی از نیروی هیدرودینامیکی، مقدار مقاومت آنها کاسته می‌شود، ولی به علت بالا بودن لزجت آب و تناسب توان مورد نیاز با مرتبه‌ی دوم سرعت، باز هم مقاومت این شناورها زیاد است. به عنوان مثال، توان مورد نیاز یک شناور پروازی ۲۰ تنی که با سرعت ۵۰ گره حرکت می‌کند با توان به کار رفته در یک شناور ۵۰۰۰ تنی که با سرعت ۲۰ گره حرکت می‌کند، تقریباً برابر است. افزایش بسیار قابل ملاحظه‌ی توان مورد نیاز علاوه بر تحمیل هزینه‌های سنگین و وزن بیشتر، مشکلات دیگری از قبیل آلودگی‌های زیست‌محیطی در دریا را در پی دارد. بنابراین، به عنوان یک هدف کلی، کاهش مقاومت شناورهای تندرو مد نظر خواهد بود.

پس از ساخت انواع شناورها، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های پیش رو افزایش پایداری این شناورها در شرایط گوناگون دریا بوده است که این پارامتر در مورد شناورهای تندرو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از بحث‌های پایداری در شناورهای تندرو، بحث کنترل تریم این نوع شناورها در سرعت‌های مختلف است که برای این منظور مهندسان روی سیستم رانش، طراحی بدنه‌های خاص و بکارگیری تجهیزات مختلف کار می‌کنند. یکی از تجهیزاتی که معرفی می‌شود، اینترسپتور است.

برای اولین بار، از این وسیله به منظور بهبود کنترل حرکت شناور کاتاماران استفاده شد و بعدها در دیگر

شناورهای پروازی و نیمه‌پروازی به کار برده شد. در شناورهای وا‌ترجت، استفاده از این ابزار این قابلیت را برای شناور فراهم می‌کند که بدون استفاده از تغییر جهت سیستم رانش بتوان شرایط تغییر مسیر را برای شناور فراهم کرد.

یکی از نمونه کارهای انجام‌شده جهت مقایسه و بررسی وضعیت انجام آن توسط تسای [۱] انجام شده است. با توجه به این تحقیق و کار انجام شده در مرجع ذکرشده، اثربخشی اینترسپتور در کاهش مقاومت در محدوده‌ی خاص عدد فرود، قابل اثبات می‌باشد.

در کار انجام‌شده توسط تسای، دو شناور با فرم بدنه‌ی پروازی جهت تست مدل انتخاب شده‌اند. مدل اول شناور ۲۰ متری کلاس پاترول است که تست مدل آن در حوضچه‌ی کشش دانشگاه ملی تایوان (NTU) انجام شده و مدل دوم شناور ۲۹/۵ متری پاترول که در HSVA هامبورگ تست شده است. مدل شناور بدون اینترسپتور و با اینترسپتور در ارتفاع‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌متری تست شده است.

با مطالعه‌ی مقالات و موارد چاپ‌شده، فقط تعداد معدودی از موارد در رابطه با تخمین نیروهای لیفت و درگ ایجادشده توسط اینترسپتور در کف شناورها قابل کاربرد است که از آن میان اولین و شاید کاربردی‌ترین کار توسط ساویتسکی در سال ۱۹۷۵ [۲] انجام شد که بر اساس آن نیروهای وارده از طرف تریم تب در کف شناور تندرو محاسبه شده است.

فرمولاسیون مشابه توسط Dawson & Blount – 2002 [۳] جهت تخمین نیروهای لیفت و درگ ایجادشده توسط اینترسپتور ارائه شده است. این روابط تجربی با توجه به تست یک سری محدود مدل به دست آمده‌اند و عموماً بحث کاربرد روابط برای شناورهای با اندازه، فرم و ابعاد مختلف را در بر نمی‌گیرد. لذا، این اعتقاد وجود دارد که استفاده از این روابط اصولاً نمی‌تواند برای شرایط واقعی نصب تریم تب و اینترسپتور در شناورهای تندرو با فرم بدنه‌ی پیچیده به کار رود و نتواند خطای قابل قبولی داشته باشد.

در رابطه با اینترسپتور، کار انجام‌شده توسط Brizzolara(2003) [۴] و Brizzola(2005) [۵] با استفاده از CFD نشان می‌دهد که اثرات مربوط به لایه‌ی

مرزی بر روی نیروهای ایجادشده توسط اینترسپتور قابل توجه می‌باشد. در مرجع [۴] مدل دوبعدی (2D) و تقریباً ایده‌آل جریان حول اینترسپتور ارائه شده و در مرجع [۵] مدل ساده‌ی جریان پتانسیل برای تحلیل جریان حول آن مورد بحث قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۹م در تحقیقاتی [۶] مدل سازی CFD مدل شناور پلنینگ به صورت 3D با زوئادی نظیر اینترسپتور و تریم تب به صورت تحلیلی ارائه شده است.

یکی از آخرین تحقیقات انجام شده بر روی تأثیر اینترسپتور بر روی رفتار شناورهای تندرو توسط استین [۷] در سال ۲۰۰۹م انجام شده است.

ایده‌ی اصلی مقاله‌ی استین با توجه به تز دانشگاهی هانسویک [۸] مطرح شده است که در آن تأثیر استپ بر روی فرم بدنه‌ی شناورهای تندرو مورد بررسی قرار گرفته است. بخشی از این تست‌ها به منظور مطالعه‌ی تأثیر نصب اینترسپتور در محل استپ صورت گرفته است. او دریافت که در شرایطی نصب اینترسپتور و حذف استپ می‌تواند نتایج بهتری را ایجاد نماید. نتایج تست‌های فوق در سال ۲۰۰۶م توسط استین و هانسویک منتشر شد [۹]. همچنین، نتایج مشابهی توسط فریدمن در سال ۲۰۰۷م به دست آمد [۱۰].

کریمی و همکارانش به روش تجربی تأثیر اینترسپتور بر عملکرد شناور پروازی را بررسی کرده‌اند. دو مدل مونهال و کاتاماران با اینترسپتور و بدون اینترسپتور در آب آرام و در ارتفاع‌های مختلف برای بررسی کاهش مقاومت تست شده است. نتایج آنها نشان می‌دهد که مقاومت در بدنه‌ی مونهال تا ۱۵ درصد و در کاتاماران تا ۱۲ درصد در محدوده مناسبی از سرعت کاهش پیدا کرده است [۱۱].

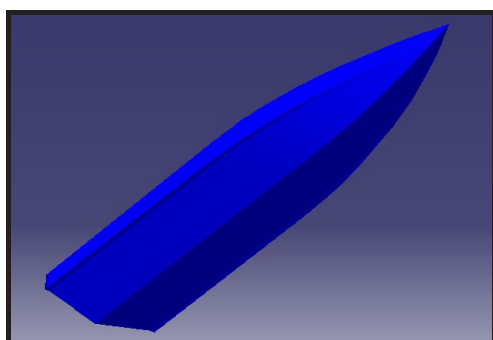
در این مقاله، شناور کوگار بدون پله برای بررسی تأثیر اینترسپتور متصل به ترانزوم بر مقاومت و دینامیک شناور انتخاب شده و مدل این شناور در آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس-دانشگاه امام حسین(ع)- تست شده است. تعداد مقالات ارائه شده در زمینه‌ی تأثیر اینترسپتور بسیار کم می‌باشد. تأثیر اینترسپتور در پایداری دینامیک طولی به خصوص کاهش پورپویزینگ شناور در سرعت-های بالا نیز بررسی شده است.

این تست در آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس انجام شده است. ابعاد حوضچه‌ی کشش، طول=۴۰۲، عرض=۶ و ارتفاع=۴/۵ متر می‌باشد و ارباهی این حوضچه می‌تواند تا حداکثر سرعت ۱۷ متر بر ثانیه با دقت مناسبی حرکت کند. طی انجام تست، مدل نسبت به حرکات سوی و یاو بسته و نسبت به حرکات هیو، تریم و رول آزاد بوده است. در زمان تست پارامترهای سرعت، مقاومت کل و تریم دینامیکی مدل اندازه گرفته شده و طول خیس و میزان اسپری با دوربین‌های فریم بالا در هر تست ثبت شده است.

مدل شناور انتخاب شده برای این تست، مدل شناور کوگار بدون پله با نسبت ۱:۵ می‌باشد. وزن مدل ۸۴ کیلوگرم و زاویه‌ی تریم برابر ۰/۶۵ درجه می‌باشد. ابعاد اصلی شناور و مدل در جدول (۱) آورده شده است. شکل (۱) نمای شناور را در نرم‌افزار و مدل آن را به همراه اینترسپتور نشان می‌دهد.

جدول (۱): ابعاد اصلی شناور و مدل.

ابعاد	شناور اصلی (متر)	مدل (متر)
طول کل	۱۳/۲	۲/۶۴
طول خیس	۱۱/۴۵	۲/۲۹
ماکزیمم عرض	۲/۵۸	۰/۵۱۵
آبخور	۰/۷۵۶	۰/۱۵۳



شکل (۱): نمای شناور کوگار بدون پله در نرم‌افزار.

۳- تست بدنه بدون اینترسپتور برای تعیین شرایط وزنی پایدار

مدل با وزن ۸۴ کیلوگرم در سه موقعیت مختلف مرکز ثقل و دو سرعت مختلف تست شده است. دو سرعت انتخابی، سرعت‌هایی هستند که در آن‌ها شناور به حالت پروازی رسیده است. موقعیت مرکز ثقل، اثر قابل ملاحظه ای بر روی مقاومت و زاویه تریم، به خصوص در محدوده پروازی دارد. طبق جدول ۲، شرایط وزنی پایدار برای این مدل برابر موقعیت مرکز ثقل طولی ۳۳٪ می‌باشد.



شکل (۲): مدل شناور کوگار به همراه اینترسپتور.

جدول (۲): شرایط وزنی پایدار.

شماره تست	وزن مدل (کیلوگرم)	موقعیت مرکز ثقل (%)	زاویه تریم استاتیکی (درجه)	سرعت (متر بر ثانیه)	مقاومت (کیلوگرم)	وقوع پورپویزینگ
۱	۸۴	۲۷	۳/۲۴	۱۱/۵۰۲	-	+
۲	۸۴	۳۰	۱/۸۸	۸/۰۵۲	۱۶/۴	-
۳	۸۴	۳۰	۱/۸۸	۱۱/۵۰۲	-	+
۴	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۸/۰۵۲	۱۶/۹	-
۵	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۱۱/۵۰۲	۲۲/۳	-

۱۸ تا ۶۰ متر ارائه داده‌اند. بریزولارا از اینترسپتوری با ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر برای شناور STENA HSS-1500 با طول کل ۱۲۷ متر و سرعت ۴۰ نات استفاده کرده است [۴].

مقایسه‌ی ضخامت لایه‌ی مرزی و اینترسپتورهای تعیین‌شده در تست‌های اجراشده در حوضچه‌ی کشش های مختلف دنیا نشان می‌دهد که ارتفاع اینترسپتور بسیار کوچک‌تر از ضخامت لایه‌ی مرزی می‌باشد [۱۰]، [۱۱]. با توجه به نتیجه‌ی کار این مقالات و نمودار بی‌بعد رسم‌شده که نمونه‌ی آن در شکل (۳) آورده شده است، ارتفاع اینترسپتور برای عدد رینولدز 1×10^7 در محدوده‌ی آن تا ۰/۵٪ طول خیس شناور می‌باشد که این محاسبه‌ی تقریبی برای مدل این مقاله، حدود ۱۱/۴۵ میلی‌متر می‌شود.

۴- اجرای تست برای تعیین ارتفاع مناسب اینترسپتور

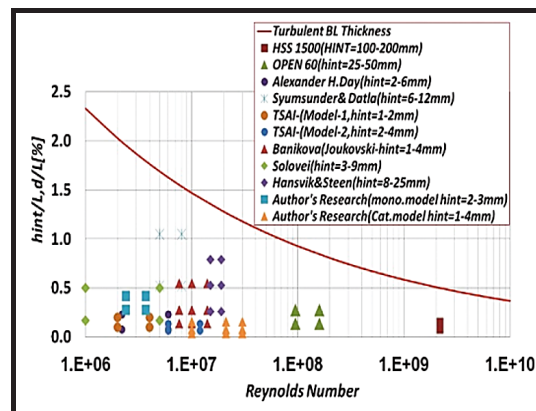
تحقیقات بسیاری برای تعیین ارتفاع مناسب اینترسپتور که با آن ارتفاع، اینترسپتور بیشترین اثر را در بهبود هیدرودینامیک شناور پروازی داشته باشد، انجام شده است. بیشتر آنها بر این باورند که انتخاب ارتفاع اینترسپتور باید با توجه به ضخامت لایه‌ی مرزی در محل اینترسپتور باشد و اینترسپتور باید کاملاً در ناحیه‌ی لایه‌ی مرزی قرار بگیرد [۱۲]. ضخامت لایه‌ی مرزی در جریان متلاطم را می‌توان از معادله‌ی (۱) به دست آورد [۱۳].

$$\delta(x) = 0.37 \times Re_x^{-1/5} \quad (1)$$

همچنین، محققان اینترسپتور، برای تعیین ارتفاع اینترسپتور مقادیر متفاوتی ارائه داده‌اند. هامفری ارتفاع اینترسپتور را تا ۵۰ میلی‌متر برای قایق‌های قدرتی^۱ بین ۱۸ تا ۴۵ متر ارائه داده است [۱۲]، در صورتی که برخی دیگر تا ۷۵ میلی‌متر برای شناورهای سنگین‌تر با طول

^۱ Power boat

طول خیس با مقادیر $0.8, 3, 6$ و 12 میلی‌متر برای تست در نظر گرفته شده است. جدول (۳) مشخصات هر تست و نتیجه‌ی آن از نظر مقاومت و تریم دینامیکی را نشان می‌دهد. ارتفاع اینترسپتور 12 و 6 میلی‌متر دارای پاشش زیاد آب بوده، به همین دلیل از اجرای تست این ارتفاعها در سرعت‌های بالاتر خودداری شده است و می‌شود گفت برای این شناور مناسب نیستند. در نتیجه، بهترین ارتفاع از لحاظ کاهش مقاومت، تریم دینامیکی مثبت و اسپری آب با توجه به فیلم‌های ثبت‌شده، مقدار 0.8 میلی‌متر می‌باشد. در شکل (۵) شناور در حال تست با اینترسپتور 0.8 میلی‌متر و سرعت $8.52/1$ نشان داده شده است.



شکل (۱): داده‌ی تجربی ارتفاع بی‌بعد اینترسپتور [۱۱].

با توجه به توضیحات داده‌شده، برای ارتفاع مدل کوگار مورد بررسی در این مقاله، بازه‌ی عددی تا 0.5%

جدول (۳): تعیین ارتفاع اینترسپتور.

شماره تست	ارتفاع اینترسپتور (میلی‌متر)	وزن مدل (کیلوگرم)	موقعیت مرکز ثقل (%)	سرعت (متر بر ثانیه)	مقاومت (کیلوگرم)	تریم دینامیکی منفی
۱	۱۲	۸۴	۲۷	۵	۱۲/۲۷	دارد
۲	۱۲	۸۴	۲۷	۸/۰۵۲	پاشش شدید آب	دارد
۳	۶	۸۴	۲۷	۸/۰۵۲	۳۰/۳۷	دارد
۴	۶	۸۴	۲۷	۱۰	۳۶/۴۷	دارد
۵	۳	۸۴	۳۰	۸/۰۵۲	۱۷/۸۵	ندارد
۶	۳	۸۴	۳۰	۱۱/۵۰۲	۳۳/۸	دارد
۷	۳	۸۴	۳۳	۸/۰۵۲	۲۰/۲۲	دارد
۸	۰/۸	۸۴	۳۰	۱۱/۵۰۲	۲۴/۷۱	ندارد
۹	۰/۸	۸۴	۳۳	۸/۰۵۲	۱۵/۲۴	ندارد
۱۰	۰/۸	۸۴	۳۳	۱۱/۵۰۲	۲۴/۴۳	ندارد

۵- انجام تست‌های مربوط به شناور بدون اینترسپتور

مقادیر مربوط به شناور مدل بدون اینترسپتور مطابق جدول (۴) می‌باشد.

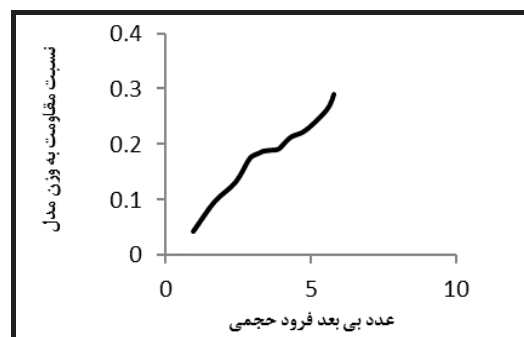
جدول (۴): مقادیر مربوط به تست شناور مدل بدون اینترسپتور.

شماره تست	وزن (کیلوگرم)	مرکز ثقل (درصد)	تربیم استاتیکی (درجه)	سرعت (متر بر ثانیه)	مقاومت (کیلوگرم)	تربیم دینامیکی (درجه)	Rise up (میلی متر)	عدد فرود جمعی
۱	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۲	۳/۴۷	۱	۴/۲۴	۰/۹۶
۲	۸۴	۳۳	۰/۶۶	۳/۵	۸/۲۴۴	۳	۴۶/۷۴	۱/۶۸
۳	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۵	۱۱/۲۱۶	۴	۷۰/۲۱	۲/۴
۴	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۶	۱۴/۸۱۲	۴/۶۵	۸۴/۹۵	۲/۸
۵	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۶/۵	۱۵/۵۱۵	۵	۹۳/۳۴	۳/۱۳
۶	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۶/۷۵	۱۵/۴۳۵	۵	۸۹/۸	۳/۲۵
۷	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۷	۱۵/۹۷	۵	۹۲/۲۳	۳/۳۷
۸	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۷/۵	۱۶/۱۱	۵	۹۰/۳۵	۳/۶۱
۹	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۸/۰۵۲	۱۶/۲۸	۴/۸۶	۸۶/۴۵	۳/۸۷
۱۰	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۸/۵	۱۷/۲۲	۴/۸	۸۴/۸۷	۴/۱
۱۱	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۹	۱۸/۱۸	۴/۷	۸۵/۵۸	۴/۳۳
۱۲	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۱۰	۱۹/۱۶۴	۴/۶۵	۸۷/۳	۴/۸
۱۳	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۱۲	۲۲/۲۸	۴/۵	۷۶/۹	۵/۵
۱۴	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۱۳	۲۴/۶	۴/۴	۷۷/۶۲	۵/۷

۵-۱- نمودار مقاومت مدل بدون اینترسپتور بر

حسب عدد فرود جمعی

پس از انجام ۱۴ مرحله آزمایش از سرعت 2 m/s تا سرعت 13 m/s نتایج حاصل طبق جدول ثبت شد و نتایج به صورت نمودار زیر جمع بندی شد.



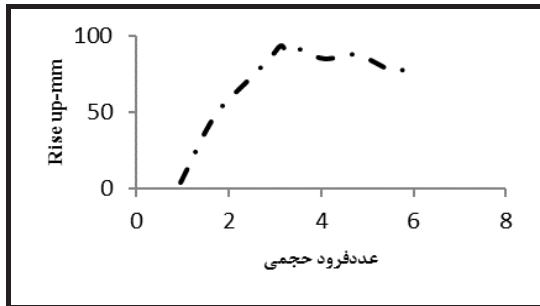
شکل (۴): مقاومت به وزن مدل بدون اینترسپتور.

همانگونه که در نمودار دیده می شود، مقاومت شناور با افزایش سرعت به صورت تصاعدی افزایش می یابد و این

امر تا سرعت $8/052 \text{ m/s}$ و عدد فرود $3/875$ ادامه دارد. پس از این سرعت، شیب نمودار کم شده و شناور می تواند با مقاومت کمتری افزایش سرعت بیشتری داشته باشد. این روند تا سرعت 10 m/s ادامه می یابد و بعد از این سرعت شیب نمودار دوباره صعودی می شود.

همان طور که در نمودار شکل (۴) دیده می شود با افزایش سرعت مقدار نیروی مورد نیاز برای حرکت نیز افزایش پیدا می کند. از این نمودار می توان چنین نتیجه گرفت که مدل در سرعت $8/052 \text{ m/s}$ یا $f_n = 3.875$ از قله ی مقاومت عبور می کند. لازم به یادآوری است که شناورهای پلنینگ با افزایش سرعت خود موفق به عبور از یک قله در نمودار سرعت-قدرت خود خواهند شد که می توانند بعد از آن با مقاومت کمتر، سرعت بیشتری را طی کنند. گاهی اوقات ملاک رسیدن به وضعیت پلنینگ نیز عبور از همین قله در نظر گرفته می شود. با نتایج به دست آمده از شناور واقعی نمی توان نتیجه گیری دقیقی از شناور واقعی را به دست آورد. ولی حداقل می توان دریافت

۵-۳- نمودار RISE UP مدل بدون اینترسپتور بر حسب عدد فرود حجمی



شکل (۶): بالا آمدن از سطح آب مدل بدون اینتر سپتور.

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش قبل با افزایش تریم بدنه‌ی شناور از آب بیرون آمده و در محدوده‌ی سرعت‌های $۸/۰۵۲$ m/s تا ۱۰ m/s حجم زیرآبی شناور تقریباً ثابت باقی می‌ماند و پس از این محدوده با پایین آمدن جلوی شناور ترانزوم بالا آمده و سطح خیس افزایش پیدا می‌کند.

همان طور که در قبل گفته شد یکی از عمده‌ترین تلاش‌ها برای افزایش سرعت و کاهش مقاومت، کم کردن سطح خیس شناور در اثر نیروهای برآی هیدرودینامیکی می‌باشد. این کاهش سطح خیس با بالا آمدن حجم زیرآبی اتفاق می‌افتد.

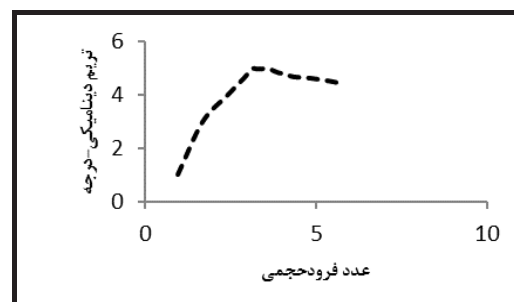
با توجه به نمودار در اعداد فرود بالای ۵ جلوی شناور به علت لیفت بیش از حد پاشنه، به سمت پایین متمایل شده و سطح خیس افزایش پیدا می‌کند. این پدیده سبب افزایش مقاومت شناور در این محدوده شده و قله‌ی دوم سرعت-مقاومت را در پی خواهد داشت.

۶- اندازه‌گیری اثرات اینترسپتور بر مقاومت و رفتار هیدرودینامیکی مدل

ادامه‌ی تست‌ها به منظور بررسی دقیق مقاومت و دینامیک شناور (به ویژه اصلاح پورپوزینگ) و همچنین، اندازه‌گیری محدوده‌ی هامپ در نمودار مقاومت-سرعت، در مرکز ثقل ۳۳% و ارتفاع اینترسپتور $۰/۸$ میلی‌متر مطابق جدول (۵) ادامه یافته است.

که مرحله‌ی عبور از قله‌ی نمودار مقاومت-سرعت این شناور در کمتر از ۲۰ گره صورت نپذیرفته است که این با نتایج این آزمایش همخوانی دارد و نتیجه‌ی دیگر این است که در سرعت ۴۳ گره، شناور واقعی از قله‌ی نمودار سرعت-قدرت خود عبور کرده است. البته، نتایج به دست آمده برای شناور واقعی به علت عدم دسترسی به تجهیزات اندازه‌گیری مناسب بر حسب دور موتورهای ثابت شده است و سپس، با کمک نمودارهای ارائه شده توسط شرکت سازنده‌ی موتور، توان تولیدی احتمالی این موتورها برآورد شده است. لازم به ذکر است که نمی‌توان بر روی این نتایج اظهار نظر کمی دقیقی داشت و تنها می‌توان به صورت کیفی راجع به آن اظهار نظر کرد. علت را می‌توان این طور بیان کرد که شرایط تست کارگاهی موتور در کارخانه‌ی سازنده بسیار با شرایط موجود در دریای ایران متفاوت بوده است. از جمله کیفیت سوخت، دمای آب، دمای هوا، رطوبت نسبی، شرایط نصب و ... در بروز خطاهای احتمالی برآورد قدرت موتور تأثیر خواهد گذاشت. به همین منظور در مورد شناور واقعی تنها به بررسی کیفی اکتفا شده است.

۵-۲- نمودار تریم دینامیکی مدل بدون اینترسپتور بر حسب عدد فرود حجمی



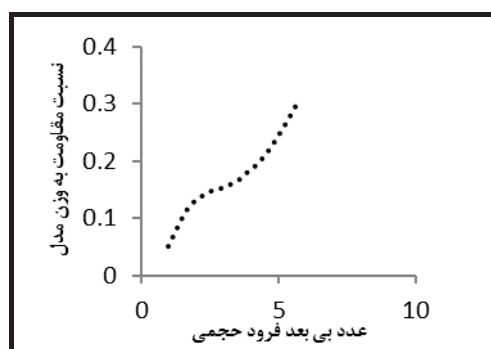
شکل (۵): تریم دینامیکی مدل بدون اینتر سپتور.

همان طور که در نمودار دیده می‌شود با افزایش سرعت جلوی شناور بالا آمده و تریم آن افزایش پیدا می‌کند و این روند تا سرعت $۸/۰۵۲$ m/s ادامه دارد. پس از این سرعت، شناور به تعادل رسیده و با افزایش سرعت تریم شناور تغییر محسوسی ندارد. پس از سرعت ۱۰ m/s جلوی شناور به پایین متمایل شده و تریم شناور نسبت به حالت اولیه منفی خواهد شد.

جدول (۵): اندازه‌گیری محدوده‌ی هامپ در نمودار مقاومت-سرعت، در مرکز ثقل ۳۳٪ و ارتفاع اینترسپتور ۰/۸ میلی‌متر.

شماره تست	وزن (کیلوگرم)	مرکز ثقل (درصد)	تربیم استاتیکی (درجه)	سرعت (متر بر ثانیه)	مقاومت (کیلوگرم)	تربیم دینامیکی (درجه)	Rise Up (میلی‌متر)	عدد فرود حجمی
۱	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۲	۳/۴۷	۱	۴/۲۴	۰/۹۶
۲	۸۴	۳۳	۰/۶۶	۳/۵	۸/۲۴۴	۳	۴۶/۷۴	۱/۶۸
۳	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۵	۱۱/۲۱۶	۴	۷۰/۲۱	۲/۴
۴	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۶	۱۴/۸۱۲	۴/۶۵	۸۴/۹۵	۲/۸
۵	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۶/۵	۱۵/۵۱۵	۵	۹۳/۳۴	۳/۱۳
۶	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۶/۷۵	۱۵/۴۳۵	۵	۸۹/۸	۳/۲۵
۷	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۷	۱۵/۹۷	۵	۹۲/۲۳	۳/۳۷
۸	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۷/۵	۱۶/۱۱	۵	۹۰/۳۵	۳/۶۱
۹	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۸/۰۵۲	۱۶/۲۸	۴/۸۶	۸۶/۴۵	۳/۸۷
۱۰	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۸/۵	۱۷/۲۲	۴/۸	۸۴/۸۷	۴/۱
۱۱	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۹	۱۸/۱۸	۴/۷	۸۵/۵۸	۴/۳۳
۱۲	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۱۰	۱۹/۱۶۴	۴/۶۵	۸۷/۳	۴/۸
۱۳	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۱۲	۲۲/۲۸	۴/۵	۷۶/۹	۵/۵
۱۴	۸۴	۳۳	۰/۶۵	۱۳	۲۴/۶	۴/۴	۷۷/۶۲	۵/۷

۶-۱- نمودار مقاومت مدل با اینترسپتور بر حسب عدد فرود حجمی



شکل (۷): نمودار مقاومت به وزن مدل با اینترسپتور.

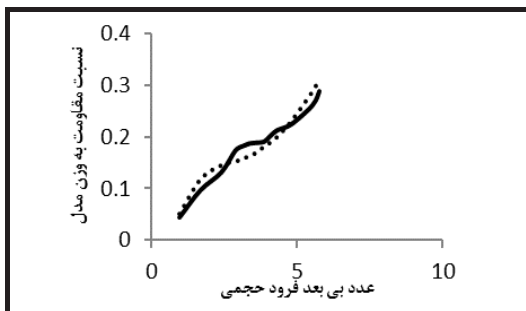
تنش کمتری طی می‌کند و ناحیه‌ی تعادل شناور در حدود سرعت 6 m/s شروع می‌شود. با توجه به نمودار مشخص می‌شود که شناور قله‌ی سرعت-مقاومت را با تنش کمتری پشت سر گذاشته است. این امر برای نگهداری و کارکرد بهینه‌ی ماشین آلات و قوای محرکه‌ی شناور به جهت کاهش خرابی‌ها و مدیریت هزینه بسیار حائز اهمیت است.

۶-۲- نمودار تربیم دینامیکی مدل با اینترسپتور بر حسب عدد فرود حجمی

با نتایج به دست آمده در این قسمت و مقایسه‌ی آن با نمودار مقاومت به وزن حالت بدون اینترسپتور به این نکته پی می‌بریم که سیر افزایش و کاهش مقاومت روند مطلوبی داشته و شناور مدل ناحیه‌ی قله‌ی مقاومت را با

آب خارج می‌شود و این به دلیل لیفت بیشتر پاشنه در اثر عملکرد اینترسپتور می‌باشد.

۷- مقایسه نتایج به دست آمده برای حالت‌های بدون اینترسپتور و با اینترسپتور
 ۷-۱- مقایسه‌ی نمودارهای مقاومت به وزن مدل بدون اینترسپتور و با اینترسپتور

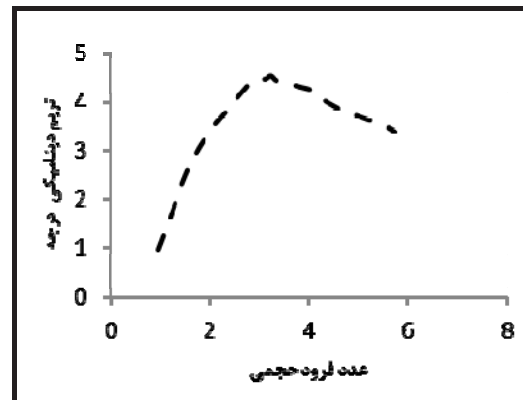


شکل (۱۰): نمودار مقایسه‌ی مقاومت به وزن مدل با و بدون اینترسپتور.

با توجه به نمودار درمی‌یابیم که مقاومت شناور مدل تا حدود عدد فرود ۲/۶ و سرعت قبل از ۶ m/s از شناور بدون اینترسپتور بیشتر می‌باشد، اما با عبور از این ناحیه، مقاومت مدل با اینترسپتور کاهش پیدا می‌کند. این روند تا حدود عدد فرود ۴/۶ و سرعت ۱۰ m/s ادامه دارد، اما پس از این محدوده، مقاومت شناور مدل با اینترسپتور دوباره افزایش می‌یابد.

توجه: با توجه به اینکه پیش‌بینی می‌شود سرعت m/s ۸/۰۵۲ موقعیت هامپ منحنی مقاومت در حالت بدون اینترسپتور باشد و با نصب اینترسپتور محل هامپ عقب‌تر می‌رود، لذا، بر خلاف سایر سرعت‌ها، در سرعت m/s ۸/۰۵۲ نیروی مقاومت در حالت با اینترسپتور کمتر از بدون اینترسپتور است. چون این نقطه در حالت بدون اینترسپتور بیشینه مقاومت را داشت اما در حالت بدون اینترسپتور دیگر نقطه‌ی بیشینه نیست.

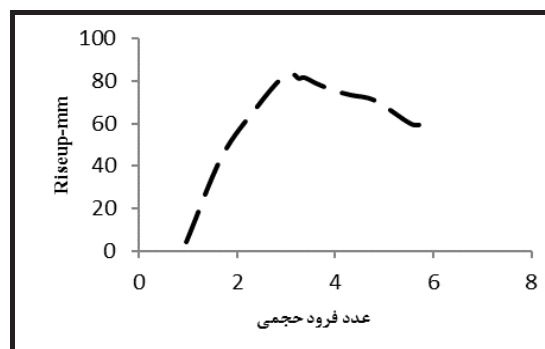
۷-۲- مقایسه نمودارهای تریوم دینامیکی مدل بدون اینترسپتور و با اینترسپتور



شکل (۸): نمودار مقادیر تریوم دینامیکی مدل با اینترسپتور.

با مشاهده‌ی نمودار پی می‌بریم که تریوم شناور با اینترسپتور با شیب کمتری افزایش پیدا می‌کند و این بدین معناست که شیب مقاومت نیز کاهش پیدا خواهد کرد. زیرا با توجه به تأثیر منفی تریوم بیش از حد، بر عملکرد پروانه و فرورفتگی بیش از حد ترانزوم در آب، اینترسپتور این عیب را بهبود بخشیده و متناسب با بالا آمدن جلوی شناور پاشنه را بالا آورده و از تریوم اضافه جلوگیری می‌کند.

۶-۳- نمودار RISE UP مدل با اینترسپتور بر حسب عدد فرود حجمی



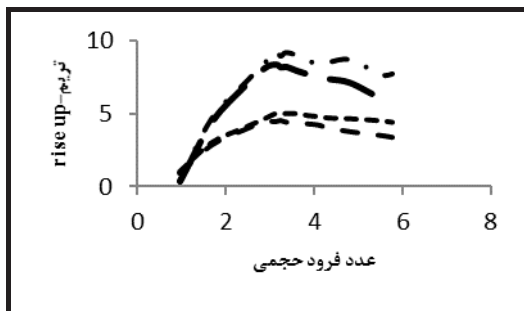
شکل (۹): نمودار مقادیر بالا آمدن از سطح آب مدل با اینترسپتور.

نمودار رسم شده در شکل (۹)، مطالب مطرح‌شده در بخش قبل را بدین معنا که میزان تریوم در اثر نصب اینترسپتور کاهش پیدا می‌کند، تصدیق می‌نماید. با توجه به کمتر بالا آمدن سر شناور، حجم بیشتری از شناور از

بر اساس مقادیر این نمودار می‌توان میزان حجم زیرآبی شناور را در حالت‌های مختلف با در نظر داشتن تریم آن محاسبه کرد.

۸- نتیجه‌گیری نهایی

۸-۱- بررسی تأثیر تریم بر بالا آمدن شناور از سطح آب



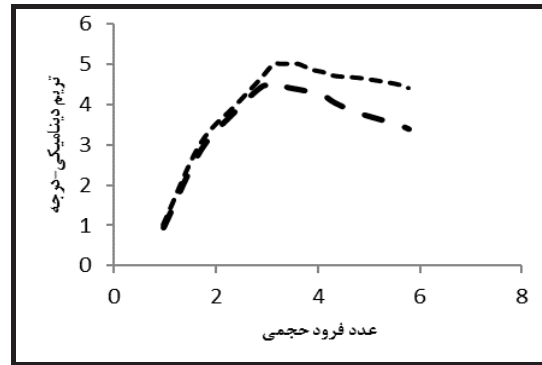
شکل (۱۳): نمودار مقایسه تریم و بالا آمدن از سطح آب برای مدل با اینترسپتور و بدون اینترسپتور.

با توجه به نمودار درمی‌یابیم که بالا آمدن یا پایین رفتن جلو شناور به نحوی به تریم دینامیکی مرتبط است. بدین معنی که در حالت با اینترسپتور در اعداد فرود قبل از $2/6$ کاهش تریم سبب کمتر بالا آمدن جلو شناور می‌شود و دلیل بالا بودن مقاومت در این محدوده به دلیل عدم توانایی شناور در کاهش سطح خیس است.

بعد از این محدوده، اثر اینترسپتور از بالا آمدن بیش از حد جلوگیری کرده، شناور با حفظ سطح خیس مناسب مسیر را با مقاومت کمتر نسبت به حالت بدون اینترسپتور طی می‌کند.

در سرعت‌های بالاتر از 10 m/s پایین آمدن بیش از حد سطح خیس را افزایش داده و مقاومت افزایش می‌یابد.

۸-۲- بررسی تمام پارامترهای ثبت‌شده در یک نگاه

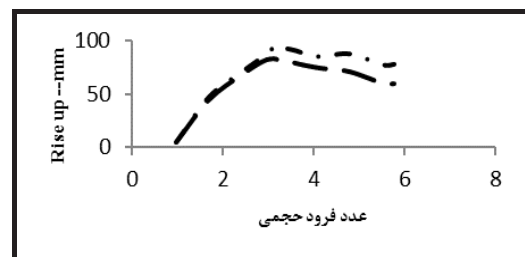


شکل (۱۱): نمودار مقایسه‌ی تریم دینامیکی مدل با و بدون اینترسپتور.

بر اساس نمودار شکل (۱۱)، روند کم بودن تریم شناور مدل با اینترسپتور نسبت به حالت بدون اینترسپتور از ابتدا به مقدار کم قابل مشاهده است و میزان اثربخشی اینترسپتور را نشان می‌دهد.

با توجه به نمودار شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که مقاومت مدل با اینترسپتور تا حدود عدد فرود $2/6$ بیشتر از حالت بدون اینترسپتور است. اگر این نتیجه را به نمودار حاضر مرتبط بدانیم، دلیل این خواهد بود که تا این مرحله اینترسپتور از بالا آمدن بیشتر جلوی شناور جلوگیری می‌کند و شناور به تریم مناسب نمی‌رسد. اما بعد از این مرحله اینترسپتور با بالا آوردن پاشنه از تریم بیش از حد جلوگیری کرده و مقاومت کاهش پیدا می‌کند. با ادامه‌ی حرکت شناور و افزایش سرعت آن به بالاتر از 10 m/s بالا آمدن بیش از حد پاشنه در اثر عملکرد اینترسپتور شناور دچار تریم منفی شده و با افزایش سطح خیس مقاومت افزایش می‌یابد.

۷-۳- مقایسه نمودارهای Rise up مدل بدون اینترسپتور و با اینترسپتور



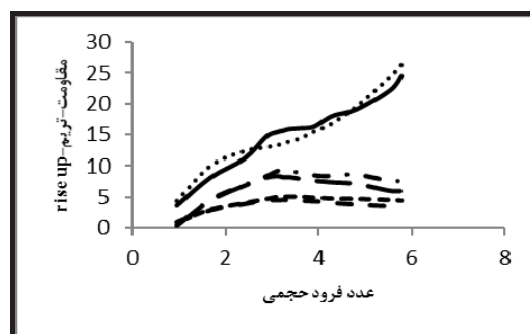
شکل (۱۲): نمودار مقایسه‌ی بالا آمدن از سطح آب مدل با اینترسپتور و بدون اینترسپتور.

جدول (۶): میزان اثربخشی اینترسپتور بر مقاومت در اعداد فرود مختلف.

محدوده عدد بی بعد فرود حجمی	درصد کاهش مقاومت	درصد افزایش مقاومت
1-1.7	--	16.27 %
1.7-2.4	--	21.43 %
2.4-2.9	--	9.93 %
2.9-3.13	14.2 %	--
3.13-3.25	16.66 %	--
3.25-3.37	15.7 %	--
3.37-3.61	15.31 %	--
3.61-3.9	11.82 %	--
3.9-4.1	5.58 %	--
4.1-4.33	7.17 %	--
4.33-4.8	6.7 %	--
4.8-5.54	--	2.13 %
5.54-5.77	--	9.66 %
5.77-6.26	--	14.32 %

منابع:

- [1] Tsai, J. F., and Hwang, J. L., "Study on the compound effects of interceptor with stern flap for two fast monohulls," National Taiwan University, 2003.
- [2] Savitsky, D., and Brown, P. W., "Procedures for hydrodynamic evaluation of planning hulls in smooth and rough water," Proceeding of Hampton Road Section, SNAME, Nov. 1975.
- [3] Dawson, D., and Blount, D., "Trim control," Professional boat builder, N75, 2002.
- [4] Bizzolara, S., "Hydrodynamic analysis of interceptors with CDF methods," Proceedings of 7th Int. Conference on Fast Sea Transportation, Vol. 3, pp.E.49-E.56, 2003.
- [5] Molini, A., and Brizzolara, S., "Hydrodynamics of interceptors: a fundamental study, proceeding ICMRT2005, Int Conference on Maritime Research and Transportation, Ischia (Naples), Italy, Vol. 1, 2005.
- [6] Villa, D., and Brizzolara, S., "Asystematic CFD Analysis of Flaps / Interceptors hydrodynamic performance," Fast, Athens, Oct. 2009.
- [7] Sverre, S., Sverre, A., Alterskjar, A. V., and Ingebjorn, A., "Performance of a planning



شکل (۱۴): نمودار مقایسه‌ی تمام پارامترهای ثبت‌شده برای مدل با اینترسپتور و بدون اینترسپتور.

باتوجه به نمودار شکل (۱۴) مشاهده می‌شود که می‌توان بین پارامترهای ثبت‌شده روابطی را حاکم کرد. بدین معنی که قبل از قله‌ی مقاومت با افزایش تیرم مقاومت هم افزایش می‌یابد، که این امر با استفاده از اینترسپتور تشدید می‌شود (به علت تیرم نامناسب). اما این افزایش مقاومت در ناحیه‌ای قبل از قله‌ی مقاومت در حالت بدون اینترسپتور است و قله‌ی مقاومت در حالت با اینترسپتور زودتر اتفاق می‌افتد. البته، این قله شیب کمتری نسبت به حالت بدون اینترسپتور دارد. به عبارت دیگر، با اینکه در حالت با اینترسپتور در سرعت‌های پایین مقاومت بیشتری دارد، روند به اسکی افتادن شناور با تنش کمتر و در عدد فرود پایین‌تری اتفاق می‌افتد.

بین اعداد فرود $\frac{2}{5}$ تا $\frac{4}{7}$ شناور با اینترسپتور با مقاومت کمتری حرکت می‌کند که با توجه به نمودار پی می‌بریم که این اتفاق به خاطر تیرم مناسب می‌باشد. بعد از عدد فرود $\frac{4}{7}$ چون تیرم دینامیکی به سمت منفی شدن پیش می‌رود، دوباره مقاومت افزایش پیدا می‌کند. تیرم منفی سطح خیس را افزایش داده و مقاومت افزایش می‌یابد. جدول (۶) میزان اثر بخشی اینترسپتور را بر مقاومت در اعداد فرود مختلف نشان می‌دهد.