

بررسی تجربی اثر سرعت بر تریم دینامیکی، به عنوان معیار وقوع ناپایداری طولی^۱، در یک نمونه شناور تندرو با استفاده از تست دریا

علی اصغر مقدس آهنگری^{۱*}، محمدسعید شمشیری^۲، سیدمجتبی علوی جم^۳، مرتضی ابراهیمی^۴
*۱- دانشجوی دکتری مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر/ مسئول گروه هیدرودینامیک، مرکز علم و فناوری دریایی یونس (علیه السلام)، دانشگاه جامع امام حسین (علیه السلام)؛ Moghadas14@gmail.com
۲- کارشناس ارشد مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ M.s.sh1391@gmail.com
۳- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه جامع امام حسین (علیه السلام)؛ Seiedmojtaba_alavijam@yahoo.com
۴- کارشناس ارشد مهندسی دریا، سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی ندسا؛ Mortezaebrahimi12@gmail.com

چکیده

یکی از پدیده‌های نامطلوب در دستیابی شناورهای تندرو به سرعت‌های بالا، پدیده ناپایداری طولی می‌باشد. این پدیده که در واقع کوپل ناپایدار بین هیو و پیچ است موجب آسیب به شناور، تجهیزات و خدمه می‌گردد. به منظور ارزیابی و محاسبه دقیق سرعت وقوع این پدیده در مراحل طراحی لازم است تا تحلیل عددی یا تست مدل انجام پذیرد. لذا وجود مجموعه داده معتبر جهت اعتبارسنجی این تحلیل‌ها به‌ویژه تحلیل عددی امری ضروری می‌باشد. در این مقاله با معیار قرار دادن تریم دینامیکی به عنوان معیار وقوع پورپوئینگ در شناور تندرو، به اندازه‌گیری مقدار این تریم در سرعت‌های مختلف بر روی یک نمونه شناور کوگار بدون پله در دریا پرداخته شده است. این نتایج نشان می‌دهد، تریم دینامیکی با افزایش سرعت روند افزایشی داشته و پس از قرارگیری شناور در حالت پروازی، به تدریج کاهش یافته و به یک مقدار تقریباً ثابت در سرعت‌های بالا میل می‌کند.

کلمات کلیدی

پورپوئینگ، تست دریا، شناور تندرو، تریم دینامیکی.

Experimental study of the effect of velocity on dynamic trim, as a measure of the occurrence of longitudinal instability in a planing boat example using sea trial tests.

A. Moghaddas Ahangari, M. Shamshiri, S.M. Alavai jam, M. ebrahimi

Abstract

One of the undesirable phenomena in the achievement of planing vessels at high speeds is the phenomenon of longitudinal instability. This phenomenon, which is in fact an unstable coupling between heave and pitch, causes damage to the vessel, equipment and crew. In order to evaluate and accurately calculate the speed of occurrence of this phenomenon in the design stages, it is necessary to perform numerical analysis or model testing. Therefore, the existence of a valid data set to validate these analyzes, especially numerical analysis is essential.

In this paper, by setting the dynamic trim as a criterion for the occurrence of porpoising in a planing boat, the amount of this trim at different speeds is measured on a sample of a cougar boat without steps in the sea. These results show that the dynamic trim has an increasing trend with increasing speed and after the float is in planing mode, it gradually decreases and tends to an almost constant value at high speeds.

Key words

porpoising, sea trial tests, planing boat, dynamic trim.

^۱ Porpoising

۱. مقدمه

کلانوشان داد که تریم بحرانی می‌تواند معیار قابل قبولی برای رسیدن شناور تندرو به سرعت پورپویزینگ باشد. [۱] در واقع می‌توان گفت اگر شناور تندرو به تریم دینامیکی بحرانی برسد دچار پورپویزینگ خواهد شد. این معیار کمک می‌کند تا اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مربوط به افزایش سرعت شناور تندرو تا مرز رسیدن به پورپویزینگ ادامه یابد بی‌آنکه شناور دچار پورپویزینگ گردد که وقوع آن می‌تواند اثرات مخربی بر روی بدنه، زیرسیستم‌ها و خدمه داشته باشد.

از جمله محققان دیگری که بر روی وقوع این پدیده نامطلوب مطالعه و پژوهش کرده‌اند می‌توان به دی و هاگ [۲] اشاره نمود. آنها تحقیقات سیستماتیک خود را برای شناورهای تندرو با بدنه منشوری را آغاز کردند. همچنین کلانو [۳] به بررسی اثر اسکیل بر وقوع پدیده پورپویزینگ بر روی مدل دی و هاگ پرداخت. کلیه این کارها از طریق نتایج آزمایشگاهی حاصل شدند.

از لحاظ تئوری، پدیده پورپویزینگ را می‌توان با روابط پایداری خطی تعریف کرد. برای این کار نیاز به ضرایب هیدرودینامیکی شناور جهت تحلیل حرکت پیچ و هیو است. تروچ [۴] توانست این ضرایب هیدرودینامیکی را از نتایج آزمایشگاهی محاسبه کند و سپس تروچ و فلازارنو [۵] با استفاده از این ضرایب توانستند محدوده وقوع پورپویزینگ را مشخص کنند. مارتین [۶] به صورت تئوری ضرایب هیدرودینامیکی از روابط پایداری خطی^۲ محاسبه کرد. وی شناور را به عنوان یک جسم سه‌بعدی در نظر گرفته و از اثرات متغیر صرف نظر کرد. آغاز وقوع پورپویزینگ را می‌توان با استفاده از روابط دینامیک غیرخطی بدون نیروی تحریک تحلیل کرد و کاتایاما و همکاران [۷] با همین روش توانستند نقطه آغاز حرکت پورپویز را تعیین کنند. در زمینه تئوری، کارهایی که تاکنون انجام گرفته کافی نیست و باید بهبود پیدا کند؛ زیرا یا بیش از حد به نتایج آزمایشگاهی متکی هستند و یا از این نتایج به اندازه کافی استفاده نمی‌کنند. روش نواری^۳ توسط سالوسن [۸] برای به دست آوردن ضرایب هیدرودینامیکی مورد استفاده قرار گرفت. البته این روش دارای کاربرد محدودی است. فوجینو و چیسو [۹] از روش غیرخطی بهبودیافته برای تعیین ضرایب هیدرودینامیکی

استفاده کردند. این تحقیقات توسط آن دو [۱۰] و کاتایاما [۱۱] دنبال شد. گرام و روسن [۱۲] به محاسبه ضرایب هیدرودینامیک از طریق محاسبه نیروی دوبعدی غیرخطی برای شناور V شکل پرداختند. در این روش شرایط سطح آزاد با ضریب جرم افزوده^۴ دوبعدی خطی سازی شده اندازه‌گیری می‌شود و اثر سرعت پیشروی بر شرایط سطح آزاد در نظر گرفته نمی‌شود. نیروهای بازگرداننده از طریق نتایج آزمایشگاهی محاسبه گردیده است [۷] و [۱۱] یا از نیروهای هیدروستاتیکی [۹] و [۱۰] و [۱۲]. کاتایاما [۱۳] به این نتیجه رسید که چون اثر ویسکوز بر مقاومت و نیروی لیفت شناور تأثیر دارد پس می‌تواند بر وقوع پورپویزینگ نیز تأثیرگذار باشد. روش دیگری نیز توسط فالتینسن [۱۴] مورد استفاده قرار گرفت که به روش 2D+t معروف است. همچنین این روش را 2.5D نیز می‌نامند. علت این نام‌گذاری این است که معادلات لاپلاس دوبعدی به همراه شرایط سطح آزاد^۵ سه‌بعدی حل می‌گردد. این تئوری بیشتر برای شناورهای با عدد فرود ۰/۴ تا ۰/۵ مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۴]. ژاؤ [۱۵] از این روش برای شناورهای برای اولین بار استفاده کرد. در تحقیق وی به علت زیاد شدن عدد فرود از شتاب جاذبه صرف نظر گردید. نحوه کار وی به این صورت بود که ضرایب هیدرودینامیکی مستقل از فرکانس زاویه‌ای و عدد فرود بود.

در این مقاله با معرفی شناور مورد تست، شرایط جوی و شرایط وزنی شناور، به معرفی روش تست انجام شده و نتایج حاصل از آن جهت اندازه‌گیری تجربی تریم دینامیکی یک نمونه شناور تندرو کوگار بدون پله در دریا پرداخته خواهد شد.

۲. معادلات حاکم

با استفاده از رابطه ۱ می‌توان با استفاده از پارامترهای هندسی و سینماتیکی شناور، به محاسبه تریم دینامیکی بحرانی آن پرداخت. [۱]

$$\tau_{crit} = 0.1197 * \beta^{0.7651} * \exp\left(15.7132 * \sqrt{\frac{C_L}{2}} * \beta^{-0.2629}\right) \text{ de grees} \quad (1)$$

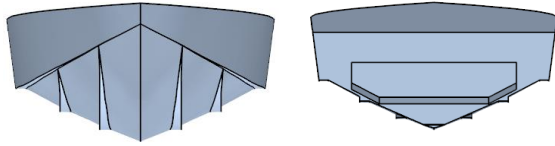
که پارامترهای این معادله عبارتند از:

^۴ Added Mass

^۵ VOF

^۲ Linear Stability

^۳ Strip Methode



شکل ۲: نمای مقابل و پشت بدنه شناور



شکل ۳: نمای جانبی و پایین بدنه شناور

این شناور دارای دو موتور برون نصب^۶ بوده که مشخصات این موتورها در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۲: مشخصات موتور

یکای	مقدار	پارامتر
-	V شکل-چهارزمانه	نوع موتور
دستگاه	۲	تعداد
HP	۳۵۰	توان هر موتور
rpm	۵۵۰۰	ماکزیمم دور

۴. شرایط محیطی

تست موردنظر در دریای خزر انجام پذیرفت. شرایط جوی مطابق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳: شرایط جوی در زمان اجرای تست

وضعیت امواج	وضعیت جوی
امواج مرده با ارتفاع حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر	ابری-آرام
	سرعت وزش باد حداکثر ۵ تا ۱۰ کیلومتر در ساعت

۵. مشخصات سیستم داده‌برداری

به‌منظور ثبت رفتار حرکتی شناور، سیستم ثبت رفتار که از شتاب‌سنج میکرواسترین^۷ سری جی ایکس^۸ استفاده می‌

^۸ GX2

زاویه خیز کف β

عرض کلی شناور b

$$C_{\Delta} = \frac{\Delta}{\rho g b^3}$$

$$C_V = \frac{V}{\sqrt{g b}}$$

$$C_{\Delta} = \frac{\Delta}{\frac{1}{2} \rho V^2 b^2}$$

۳. مشخصات شناور

شکل ۱ نمایی از شناور کوگار بدون پله را نشان می‌دهد. همچنین مشخصات فنی شناور کوگار بدون پله به شرح جدول ۱ می‌باشد.



شکل ۱: نمایی از شناور کوگار بدون پله عرضی

جدول ۱: مشخصات شناور کوگار بدون پله عرضی

یکای	مقدار	پارامتر
-	پروازی-تک بدنه	نوع بدنه
متر	۱۴	طول کل
متر	۱۲/۵	طول کل بدون نگه دارنده موتور
متر	۲/۶	ماکزیمم عرض
متر	۰-۱/۷	آبخور اسمی
تن	۶/۳	وزن اسمی
-	فاقد پله عرضی	تعداد پله عرضی

شکل ۲ و ۳ نمایی از بدنه شناور در محیط نرم‌افزار طراحی سه‌بعدی را نشان می‌دهد.

^۶ Outboard

^۷ Microstarin

وجود دارد که در کنار دقت نسبتاً پایین آن، برای اجسام بزرگ و به‌ویژه در شرایطی که ابزار دقیق در اختیار نیست بسیار مفید و کاربردی می‌باشد.

در این روش از مراحل زیر برای اندازه‌گیری موقعیت مرکز ثقل استفاده می‌شود.

۱. آویزان کردن جسم با زاویه دلخواه شماره ۱
۲. ترسیم راستای نیروی ثقل وارد بر جسم با کمک شاقول آویزان شده از مرکز دوران
۳. آویزان کردن جسم با زاویه دلخواه شماره ۲
۴. ترسیم راستای جدید نیروی ثقل وارد بر جسم با کمک شاقول آویزان شده از مرکز دوران
۵. یافتن محل تلاقی دو راستای ترسیم‌شده که مرکز ثقل جسم می‌باشد.

لذا به‌منظور تعیین دقیق مختصات طولی، عرضی و ارتفاعی مرکز ثقل، شناور با استفاده از چهار رشته کابل و به‌کارگیری جرثقیل دروازه‌ای، در دو زاویه مختلف آویزان شده و مطابق ۵ مرحله ذکر شده، مختصات مرکز ثقل آن اندازه‌گیری گردید. شکل ۵ نمایی از این فرآیند را نشان می‌دهد.



شکل ۵: شناور آویزان در دو زاویه مختلف

کند، انتخاب گردید همچنین به‌منظور ثبت سرعت شناور و موقعیت آن، از جی‌پی‌اس^۹ برند گارمین^{۱۰} استفاده می‌شود. فرکانس داده‌برداری تجهیزات اندازه‌گیری بر روی ۱۰۰ هرتز تنظیم گردید. جهت ثبت وقایع تست نیز دوربین گوپرو^{۱۱} سری هرو^{۱۲} با سرعت تصویربرداری ۳۰ فریم بر ثانیه بر روی شناور نصب شده است.

به‌منظور ثبت میزان تریم و بالاآمدگی مرکز ثقل، سیستم ثبت رفتار بر روی موقعیت طولی مرکز ثقل نصب گردید همچنین سیستم جی‌پی‌اس، به‌دلیل کاهش خطا در دریافت داده، بیرون از کابین شناور و بر روی سقف کابین نصب گردید. شکل ۴ محل‌های نصب این تجهیزات و لوازم مربوطه را نشان می‌دهند.



شکل ۴: نصب GPS بر روی سقف کابین و نصب ثبت رفتار در موقعیت LCG

۶. اندازه‌گیری مرکز ثقل بدنه

به‌منظور اندازه‌گیری موقعیت طولی و ارتفاعی مرکز ثقل اجسام، روش‌های مختلفی وجود دارد که دقیق‌ترین آن استفاده از میز CG یاب می‌باشد که برای اجسام سنگین با ابعاد بزرگ عملیاتی نیست. در این بین روش دیگری نیز

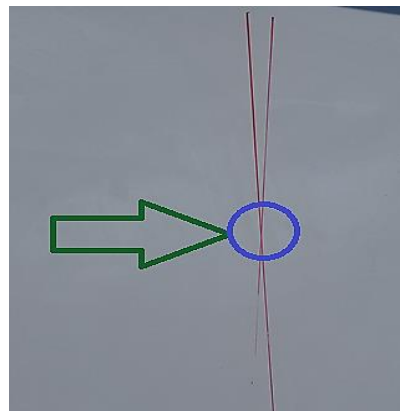
^{۱۱} GOPRO

^{۱۲} Hero 6

^۹ GPS

^{۱۰} GARMIN

همچنین شکل ۶ نمایی از خطوط ترسیم شده بر روی بدنه در دو زاویه آویز مختلف را نشان می دهد که محل تقاطع این دو خط بیانگر موقعیت مرکز ثقل شناور می باشد.



شکل ۶: تعیین مرکز ثقل

لذا بر مبنای اندازه گیری انجام شده، مشخصات وزنی شناور مطابق جدول ۴ می باشد.

جدول ۴: محاسبه مرکز ثقل نهایی شناور

اقدام وزنی	وزن (کیلوگرم)	LCG (m)	VCG (M)	TCG (m)
کل	۶۳۲۷	۳/۱	۰/۹	۰/۰۰

۷. سناریو تست

به منظور اندازه گیری دقیق تریب دینامیکی شناور در حین تست، سناریو مطابق جدول ۵ تدوین گردید. این سناریو بازه سرعت از حالت جابجایی، نیمه پروازی و پروازی تا رسیدن به ماکزیمم سرعت شناور را پوشش می دهد.

مطابق سناریوی تست، شناور از حالت سکون در مسیر مستقیم شروع به حرکت نموده و همزمان با حرکت شناور، سیستم داده برداری نیز شروع به ثبت داده خواهد نمود. با رسیدن شناور به سرعت مورد نظر، شناور حداقل ۵ ثانیه در آن سرعت ثابت (شتاب صفر) به حرکت ادامه داده و سپس به حرکت شتابدار برای رسیدن به سرعت بعد اقدام خواهد نمود. در انتها نیز سکان دار با بیشترین ظرفیت موتور حرکت نموده تا شناور به ماکزیمم سرعت برسد و احتمال وقوع پورپوزینگ بیشتر شود. در صورتی که شناور دچار پورپوزینگ شود، علاوه بر سرعت وقوع پورپوزینگ، دامنه و فرکانس پورپوزینگ نیز ثبت می گردد و در صورت عدم وقوع پورپوزینگ، صرفاً تریب دینامیکی شناور در سرعت های تعیین شده، ثبت خواهد شد.

جدول ۵: سناریو تست دریا

سرعت شناور (نات)	عدد فرود طولی	حالت حرکتی شناور	مسیر حرکت شناور	شرایط دریا	سیستم ثبت رفتار	GPS	دوربین
۹	۰/۴۲	جابجایی	مستقیم	آرام	فعال	فعال	فعال
۱۵	۰/۷	نیمه پروازی	مستقیم	آرام	فعال	فعال	فعال
۲۶	۱/۲	نیمه پروازی	مستقیم	آرام	فعال	فعال	فعال
۳۴	۱/۵۸	پروازی	مستقیم	آرام	فعال	فعال	فعال
۴۳	۲/۰۰	پروازی	مستقیم	آرام	فعال	فعال	فعال
۴۸	۲/۲۳	پروازی	مستقیم	آرام	فعال	فعال	فعال

عوامل عدم قطعیت، تست در مرحله دوم نیز مشابه سناریو مرحله اول تکرار گردید. سعی شد شرایط اجرا، موقعیت افراد و سایر شرایط، مشابه مرحله اول باشد. شکل ۷ نمایی از شناور در حال اجرای تست را نشان می دهد.

۸. اجرای تست

تست در مرحله اول مطابق با سناریو تدوین شده انجام شد و داده ها و فیلم مربوطه ثبت گردید. همچنین به منظور اطمینان از صحت نتایج، کاهش خطا و همچنین کنترل

جدول ۷: تریم ثبت شده در تست دوم

تریم دینامیکی (درجه)	سرعت (نات)
۴/۶۶	۹
۶/۵۱	۱۶
۵/۶۲	۲۳
۲/۶۹	۴۳
۱/۹۵	۴۴
۱/۶۴	۴۷

علت تفاوت در سرعت‌های تست شده در تست اول و دوم با یکدیگر و همچنین با سناریو تست، میزان دقت مکانیزم تنظیم سرعت شناور جهت ایجاد سرعت ثابت در شناور می باشد.

مقایسه نتایج تست اول و دوم:

با توجه به اینکه امکان تنظیم دقیق سرعت شناور مطابق با سناریو تدوین شده در حین اجرای تست وجود ندارد، لذا جدول ۸ به عنوان جدول نتایج نهایی تست اول و دوم ارائه گردیده است. در نقاطی که داده‌های مشترک بین تست اول و دوم وجود دارد از میانگین‌گیری جهت ارائه عدد تریم دینامیکی مربوط به آن سرعت استفاده شده است.

جدول ۸: نهایی ارائه تریم دینامیکی در سرعت‌های مختلف

سرعت (نات)	تریم دینامیکی در تست اول (درجه)	تریم دینامیکی در تست دوم (درجه)	تریم دینامیکی میانگین (درجه)
۵	۲/۱۶	-	۲/۱۶
۸	۴/۲۳	-	۴/۲۳
۹	-	۴/۶۶	۴/۶۶
۱۵	۶/۶۶	-	۶/۶۶
۱۶	-	۶/۵۱	۶/۵۱
۲۳	-	۵/۶۲	۵/۶۲
۲۶	۴/۶۶	-	۴/۶۶
۴۳	۲/۴۶	۲/۶۹	۲/۵۸
۴۴	-	۱/۹۵	۱/۹۵
۴۶	۱/۴۹	-	۱/۴۹
۴۷	-	۱/۶۴	۱/۶۴



شکل ۷: نمایی از شناور در حال اجرای تست

۹. نتایج تست

تست اول:

با توجه به تحلیل داده‌های ثبت شده از سیستم ثبت رفتار در سرعت‌های مختلف، میزان تغییر تریم ناشی از سرعت شناور و در نتیجه محاسبه تریم دینامیکی ناشی از آن به شرح جدول ۶ می باشد.

جدول ۶: تریم ثبت شده در تست اول

سرعت (نات)	تریم دینامیکی (درجه)
۵	۲/۱۶
۸	۴/۲۳
۱۵	۶/۶۶
۲۶	۴/۶۶
۴۳	۲/۴۶
۴۶	۱/۴۹

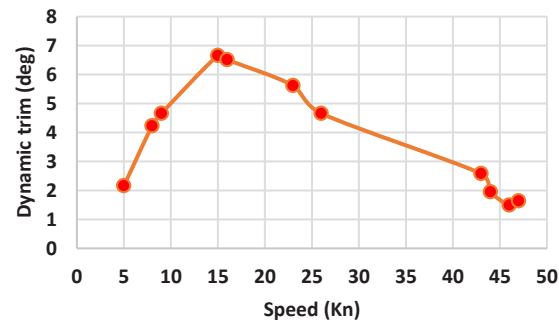
تست دوم:

تست دوم در واقع تکرار تست اول می باشد. با توجه به تحلیل داده‌های ثبت شده از سیستم ثبت رفتار در سرعت‌های مختلف، میزان تغییر تریم ناشی از سرعت شناور و در نتیجه محاسبه تریم دینامیکی ناشی از آن به شرح جدول ۷ می باشد.

منابع

1. T. Celano, The prediction of porpoising inception for modern planing craft, SNAME Trans 106 (1998) 269-292.
2. Day JP, Haag RJ (1952). "Planing boat porpoising. Thesis, Webb Institute of Naval Architecture".
3. Celano T (1998). "The prediction of porpoising inception for modern planing craft". SNAME Trans 106:269-292.
4. Troesch AW (1992) on the hydrodynamics of vertically oscillating planing hulls. J Ship Res 36:317-331.
5. Troesch AW, Falzarano JM (1993). "Modern nonlinear dynamical analysis of vertical plane motion of planing hulls". J Ship Res 37:189-199.
6. Martin M (1978). "Theoretical determination of porpoising instability of high-speed planing boats". J Ship Res 22:32-53.
7. Ikeda Y, Katayama T (2000). "Porpoising oscillations of very-high-speed Marine craft". Philos Trans R Soc Lond A 358:1905-1915.
8. Salvesen N, Tuck EO, Faltinsen OM (1970). "Ship motions and sea loads". Trans SNAME 78:250-287.
9. Fujino M, Chiu FC (1983) "Vertical motions of high-speed boats in head sea and wave loads". J Soc Nav Arch Jpn 154:151-162.
10. Chiu FC, Fujino M (1989) "Nonlinear prediction of vertical motions and wave loads of high-speed crafts in head sea". Int Shipbuild Prog 36:193-232.
11. Katayama T, Hinami T, Ikeda Y (2000). "Longitudinal motion of super high-speed planing craft in regular head waves". In: 4th Osaka colloquium on seakeeping performance of ships, 2000, pp 214-220.
12. Garne K, Rose'n A (2003) "Time-domain simulations and full-scale trials on planing craft in waves". Int Shipbuild Prog 50:177-208.
13. Katayama T, Taniguchi T, Habara K (2010) "Tank tests to estimate onset of dynamic instabilities of high-speed planing craft". In: Proceedings of the 2nd Chesapeake power boat symposium, St. Johns College, Annapolis, Maryland, USA.
14. Faltinsen OM (2005) "Hydrodynamics of high-speed marine vehicles". Cambridge University Press, New York.
15. Zhao R, Faltinsen OM, Haslum HA (1997) "A simplified nonlinear analysis of a high-speed planing craft in calm water". In: Proceedings of the fourth international conference on fast sea transportation (FAST '97), Sydney, Australia, July 1997, pp 431-438.

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، روند تغییرات تریم دینامیکی با افزایش سرعت منطقی است و اختلاف کم نتایج در سرعت‌های یکسان، صحت نتایج را تأیید می‌نماید و داده‌های غیرمعمول که مطابق با سیر منحنی گذرنده از نقاط باشد، وجود ندارد. در شکل ۸، منحنی تریم دینامیکی نهایی-سرعت به دست آمده از نتایج تست اول و دوم نشان داده شده است.



شکل ۸: منحنی تریم دینامیکی-سرعت نهایی حاصل از تست اول و دوم

۱۰. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تست نشان می‌دهد که تریم دینامیکی با افزایش سرعت روند افزایشی داشته و با شروع حالت پروازی در شناور تندرو، این مقدار کاهش یافته و در مقداری نزدیک به تریم استاتیکی ثابت می‌گردد. در واقع این منحنی دارای یک مقدار بیشینه بوده که این مقدار در بازه عدد فرود 0.7 تا $1/2$ که همان حالت نیمه پروازی شناور می‌باشد اتفاق می‌افتد.

با رسیدن تریم دینامیکی به تریم بحرانی، ناپایداری طولی شناور آغاز خواهد شد که این روند با ایجاد منحنی هارمونیک در نمودار سرعت-تریم دینامیکی نمایان خواهد شد. (در این تست با توجه به موقعیت مرکز ثقل و همچنین سرعت ماکزیمم شناور، ناپایداری طولی مشاهده نگردید).

با توجه به مشخص بوده هندسه شناور، وزن و موقعیت مرکز ثقل و همچنین سناریو تست انجام شده، نتایج حاصل از این مقاله می‌تواند به عنوان نقطه اعتبارسنجی معتبر برای انواع تحلیل‌های عددی و حتی آزمایشگاهی مورد استناد محققان و پژوهشگران قرار گیرد.

