

مروری بر چالش‌های موجود در طراحی شناورهای تندروی

سرشی و ارائه‌ی راهکارهایی در مواجهه با آن چالش‌ها

غلامرضا صالحی^۱، حسن قاسمی^۲

^۱کارشناسی ارشد مهندسی ساخت در صنایع دریایی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ gholamreza-salehi@aut.ac.it

^۲استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر-دانشکده مهندسی دریا؛ gasemi@aut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۲۴)

چکیده

امروزه احساس نیاز به سرعت‌های بالاتر در صنایع دریایی به غیر از امور نظامی، حتی در زمینه‌هایی چون امداد و نجات، مسابقات ورزشی و تفریحی نیز موردتقاضا است. با نگرش به اینکه صرفاً شناورهای کوچک، تندرو محسوب نمی‌شوند، رسیدن به سرعت‌های بالا در سایزهای بزرگ‌تر نیز می‌تواند موردنیاز باشد. این نیاز در دنیا به‌صورت مداوم در حال گسترش است، به‌طوری‌که دائماً در حال مشاهده‌ی تغییر و تحول در زمینه‌ی شناورهای تندرو در دنیا هستیم. در کشور ما نیز، در همه‌ی عرصه‌ها شاهد توسعه‌ی روزافزون شناورهای تندرو هستیم. این رشد و توسعه در زمینه‌های تحقیقاتی و پژوهشی قابل‌ملاحظه‌تر است. از این‌رو، در این مطالعه، چالش‌ها و راهکارهای موجود در طراحی این نوع شناورها در تحقیقات انجام‌شده‌ی منتخب، مورد مرور و بازبینی قرار گرفته است. به این ترتیب که در ابتدا مروری بر مفاهیم اولیه و پایه‌ای در شناور سرشی و ویژگی‌های هندسی آن صورت گرفته، روابط موجود در تعریف شناور سرشی و همچنین، فرم‌های بدنه‌ی متداول آن یادآوری، سپس، به انواع نیروهای مؤثر در طراحی شناورهای تندرو اشاره گردیده است. در ادامه، با معرفی یکی از پدیده‌های چالشی مهم در طراحی شناورهای تندرو، به بررسی حالت خاصی از آن پدیده پرداخته شده است. چالش‌های کلی طراحی و نحوه‌ی طبقه‌بندی چالش‌های مقابل طراح نیز بیان می‌گردد. همچنین، طی جدولی راهکارهای مختلف هر چالش به‌صورت کلی ارائه گردید. نهایتاً با بیان برخی پژوهش‌های انجام‌شده در مبحث شناورهای تندرو، به‌مرور نوع چالش‌ها و چگونگی تأثیر راهکار انتخاب‌شده در حل آن چالش‌ها پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی

شناور تندرو، شناور سرشی، چالش و راهکارهای طراحی، حالت سرش، شناور پروازی.

A survey of the challenges in designing high speed craft and its remedies

Gholamreza Salehi¹, Hassan Ghassemi²

¹Msc in marine engineering Amirkabir University of Technology, Gholamreza-salehi@aut.ac.ir

²Professor of Marine Hydrodynamics, Amirkabir University of Technology, Department of Maritime Engineering
Gasemi@aut.ac.ir

(Submitted: 2016/Jun/19; Accepted: 2016/July/14)

Abstract

Today, there is a great demand for higher speeds in the maritime industry, not just for military affairs, but also in areas such as search and rescue, sports and entertainment. Regarding the fact that that not only small ships, are considered the high speed craft, reaching high speeds in larger sizes can also be required, and the its demand in the world is constantly increasing. Therefore we are constantly watching the changes and developments in the technology of high speed craft vessels in our world. Accordingly, in this study, the challenges and the dolutions in the design of these vessels, have been investigated. Firstly, there is an overview of the basic concepts and geometrical features. Then, a major challenge in the design of high-speed craftis introduced and then we express how to classify the challenges. And. Afterwards, different solutions regarding eachchallenge are generally presented in the table. Finally, some related studies about the challenges are investigated and we are also going to solve them here.

Keywords

high speed craft, design challenges, challenge remedy

شناورهای تندرو سرشی برای رسیدن به سرعت‌های بالا و مدنظر طراح با چالش‌های مختلفی روبرو هستند؛ چالش‌هایی چون چگونگی غلبه بر نیروهای مقاومت هیدرودینامیکی، آئرویدینامیکی و مقاومت موج‌سازی قبل از مرحله رسیدن به سرش تا عدم پایداری دینامیکی طولی و عرضی و توانمندی حفظ مسیر بعد از مرحله‌ی سرش. طراح باید برای بهینه کردن وضعیت شناور در مواجهه با هر کدام از این چالش‌ها به اتخاذ راهکارهای مناسب بپردازد. در این زمینه، مطالعات بسیاری صورت گرفته است. شاید بتوان مطالعات صورت‌گرفته بر روی هواپیماهای آب‌نشین را از عوامل گردآوری اطلاعات تجربی مناسب در این خصوص دانست. در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، تحقیقاتی در خصوص افزایش سرعت شناورهای سطحی صورت پذیرفت [۱].

یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین فعالیت‌های صورت‌گرفته در زمینه‌ی شناورهای تندرو مربوط به فعالیت‌هایی است که ساویتسکی در سال ۱۹۶۴ انجام داده است [۲]. ساویتسکی بعدها (۱۹۷۰ تا ۱۹۹۲) نیز مقالاتی در خصوص اثرات ویسکوزیته‌ی سطح آزاد که منجر به تولید امواج سطحی می‌گردد، نیز منتشر نمود [۳، ۴]. البته، در سال ۲۰۰۷ نیز ساویتسکی با اضافه کردن مقاومت اسپری آب به کار قبلی خود مقاله‌ای منتشر نمود [۵]. یکی از روش‌های شناسایی رفتار هیدرودینامیکی و مشخصه‌های توزیع فشار در زیر بدنه‌های منشوری در سطح آب استفاده از نتایج آزمایشگاهی یا تجربی سقوط گوه در آب می‌باشد که واکنش برخورد دوبعدی یک گوه به سطح آب را مطالعه نمود [۶]. اخیراً ژاو و فالتینسن مطالعات واکنش را تکمیل کردند [۷]. ایکیدا و همکارانش نیز وضعیت هیدرودینامیکی یک سری از بدنه‌ها با نسبت طول به عرض بین ۳ تا ۶ با چاین تیز را مطالعه نمودند [۸]. کلمنت و بلانت نیز در زمینه‌ی تغییرات مقاومت و آب‌خور، پژوهشی انجام دادند [۹]. در همین زمینه، کونینگ و گریتسما مطالعاتی داشته اند [۱۰، ۱۱]. ساوان نیز روش ساویتسکی را برای شناورهای تندروی معمولی توسعه داد و بر مبنای نتایج تجربی یک روند محاسباتی را برای پیش‌بینی رفتار هیدرودینامیکی شناور تندرو با یک پله‌ی عرضی ارائه نمود [۱۲]. در روش جالب دیگری، با گسسته‌سازی بدنه‌ی شناور تندرو ددرایز متغیر و اعمال آن در روش نیمه‌تجربی ساویتسکی و تعیین

ضرایب فشار برای هر بخش، سپس، ضرایب فشار کلی بدنه به تعیین مقاومت و مشخصه‌های هیدرودینامیکی این شناور پرداخته شد [۱۳].

مطالعات روی شناورهای تندرو محدود به این موارد نیست. در سال ۱۹۷۴ روش المان محدود فشاری برای حل جریان در نزدیک صفحه دوبعدی بالای سطح آزاد یک سیال غیر ویسکوز ارائه شد [۱۴]. ساهو و همکارانش نیز از روش دینامیک سیالات محاسباتی برای محاسبه مقاومت موج یک کاتاماران استفاده کردند [۱۵]. هینو، هیراتا و هوری به بررسی کاربرد روش اختلاف محدود برای مطالعه هیدرودینامیک پلنینگ پرداختند [۱۶]. استفان تی و همکارانش نیز بر روی مدل‌سازی معادلات RANS برای بررسی لیفت پلنینگ ایجادشده توسط ورق‌های تخت دوبعدی متمرکز شدند [۱۷]. بریزولارا دقت کدهای دینامیک سیالات محاسباتی را در تعیین پارامترهای دینامیکی شناورهای پروازی مطالعه نمود [۱۸]. ساواندر نیز مقایسه بین نتایج تجربی و عددی را برای مؤلفه‌های هیدرودینامیکی شناورهای حالت پروازی انجام داد [۱۹].

در خصوص مطالعه سایر متعلقات، مانند هیدروفویل تریم تب، در شناورهای تندرو نیز مطالعاتی صورت گرفته است که به‌عنوان مثال بولز و همکارانش با بررسی روابط هندسی که در توزیع سطح آب در اطراف شناور حاکم است، رابطه‌ای را جهت محاسبه طول خیس‌شده کیل و چاین شناور ارائه کردند [۲۰]. عمریاکوب نیز به بررسی اضافه کردن باله جهت کاهش مقاومت شناورهای حالت پروازی پرداخت [۲۱]. بوجویک و همکارانش تأثیر پاشنه و اسپری ریل را بر مقاومت شناور در حالت پروازی مطالعه کردند [۲۲]. ناگای با مطالعه بر روی ۱۳ مدل گوناگون در جهت حداقل کردن مقاومت شناور به کمک کنترل زاویه‌ی تریم تلاش نمود [۲۳]. در زمینه‌ی مکانیزم کنترل کننده‌های تریم و اثر کاهش تریم در مقاومت تحقیقات دیگری نیز صورت گرفته است [۲۴، ۲۵].

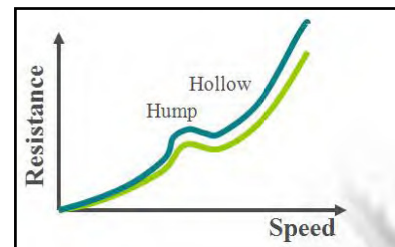
در مجموعه‌ی مطالعات مذکور در بالا، راهکارهای مختلفی جهت بهتر شدن عملکرد شناور در مواجهه با یک یا چند چالش موردبررسی قرار گرفته است که هر کدام به نوعی می‌تواند اهمیت مشخص شدن چالش‌ها و راهکارها را به خوبی نمایان نماید.

۲- مفاهیم اولیه و پایه‌ای

۱-۲- شناور سرشی

در شناورهای جابجایی به علت افزایش نیروی مقاومت ویسکوز متناسب با نسبت توان دوم سرعت و همچنین، افزایش نیروی مقاومت موج‌سازی با نسبت توان چهارم، نمی‌توان سرعت را از مقدار بیشینه تقریباً ثابتی بالاتر برد. این موضوع در شناورهای تندرو به علت تغییر محدوده‌ی عدد فرود امکان‌پذیر می‌باشد؛ زیرا با کاهش طول خط آب‌خور امکان عبور از محدوده‌ی فرود بحرانی میسر می‌گردد. در شناورهای تندرو با خط آب‌خور به طول d در سرعتی در حدود $V = 1.5\sqrt[2]{d}$ سرش شروع شده و با گذر از یک حالت انتقال تا سرعت حدوداً $V = 1.5\sqrt[2]{d}$ به حالت کاملاً سرشی دست پیدا می‌کند.

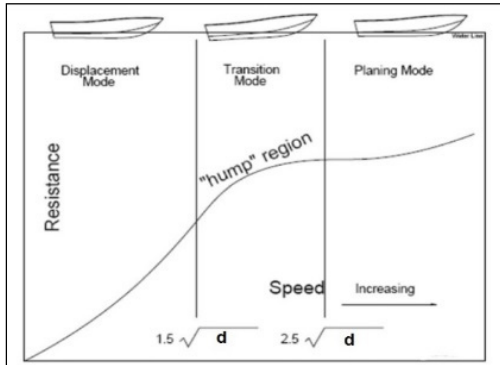
مطالعات انجام‌شده بر روی انواع شناورهای تندرو، بیانگر این نکته است که شناورهای تندرو در اعداد فرود بین 0.4 تا 0.5 با توجه به عواملی همچون وزن، موقعیت مرکز ثقل و فرم بدنه، دارای مقاومت بالایی موسوم به مقاومت اسکی می‌باشند. این نوع شناورها می‌بایست برای رسیدن به سرعت طراحی از این مقاومت عبور نمایند. شکل شماره (۱) به صورت شمایی منحنی مقاومت و محل مقاومت اسکی را در شناورهای تندرو نشان می‌دهد [۲۶].



شکل (۱): شماتیک منحنی مقاومت و محل مقاومت اسکی در شناورهای تندرو.

بنا بر آنچه بیان شد، شناورهای سرشی به شناورهایی گفته می‌شود که بدنه‌ی آن بر اثر سرش و سرخوردن روی سطح آب، نیروی لیفت مناسبی تولید می‌کند که بتواند بخشی از بدنه‌ی شناور را از سطح آب جدا کند و باعث کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در سطح خیس شناور گردد. با جدا شدن بخشی از بدنه از سطح شناور برای کاهش سطح خیس شناور، یک زاویه‌ی تریم برای شناور ایجاد می‌شود، از این منظر حالت سرش وقتی اتفاق می‌افتد که نسبت درگ به لیفت در یک زاویه‌ی تریم مشخص اصولاً ثابت

باشد؛ به عبارت دیگر، می‌توان گفت وقتی شناور شروع به سرش می‌کند بیشترین مقاومت را در یک زاویه‌ی تریم ثابت دارد که با کاهش زاویه‌ی تریم شناور از این زاویه‌ی تریم ثابت، مقدار مقاومت به صورت قابل‌ملاحظه‌ای زیاد می‌گردد. همچنین، با افزایش زاویه‌ی تریم شناور از این زاویه‌ی تریم نیز مقاومت مقدار کمی افزایش می‌یابد. شکل (۲) مراحل سرش شناور از سرعت صفر را نشان می‌دهد [۲۷].



شکل (۲): مراحل سرش شناور از سرعت صفر.

از آنچه گفته شد می‌توان نتیجه گرفت که حداکثر سرعت قابل حصول در یک شناور با وزن و توان پروانه‌ی مشخص قابل پیش‌بینی می‌باشد؛ به عبارت دیگر، معیار حداکثر سرعت قابل دست‌یابی را می‌توان بر اساس واحد وزن بر توان پروانه تعریف کرد.

۲-۲- شکل کلی بدنه‌ی شناورهای تندرو

شناورهای تندروی متداول در سه شکل کلی، الف) کف تخت، ب) کف وی-شکل و ج) کف گرد، دسته‌بندی می‌شوند. می‌توان عوامل مهم در مشخص کردن شکل شناورهای تندرو را محدود به سرعت، طول شناور و حجم شناور دانست، زیرا شناوری با حجم و طول مشخص باید بتواند به محدوده‌ی سرعت تندرو بودن برسد. برای عوامل سرعت، طول و حجم معین، می‌توان عدد بی‌بعد فرود و عدد بی‌بعد دیگری متشکل از نسبت بی‌بعد طول به حجم را تعریف کرد. ارتباط شکل با این اعداد طبق جدول شماره‌ی یک و شکل شماره‌ی (۲) نشان داده شده است [۲۷].

هر کدام از آنها، هیچ‌گونه رابطه، قانون علمی و منطقی اثبات شده، مورد توافق و قطعی وجود ندارد و آنچه موجود است، بیشتر وابسته به اطلاعات تجربی طراحان و سازندگان این نوع شناورها می‌باشد.

شکل (۳) اجزای مختلف این شناورها و شکل (۴) انواع بدنه در شناورهای تندرو را نشان می‌دهد [۲۷]. نهایتاً رابطه‌ی زیر برای محاسبه‌ی آن ارائه شده است [۲۸].

$$R_F = \frac{C_F \rho U_1^2 (\lambda b)^2}{2 \cos \beta \cos \tau} \quad (3)$$

U_1 سرعت متوسط کف شناور می‌باشد که با استفاده از روش پاسخ سطح^۱ و اطلاعات مرجع [۲۱] به صورت زیر

$$C_F = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (4)$$

$$\frac{U_1}{U} = \sqrt{1 - \frac{0.012 \tau^{1.1}}{\lambda^{0.5} \cos \tau} \mathcal{F}(\beta)} \quad (5)$$

$$\mathcal{F}(\beta) = 0.0127 \lambda^2 + 0.125 \lambda \tau - 0.22 \lambda + 0.05 \tau - 0.05 \beta + 1.30$$

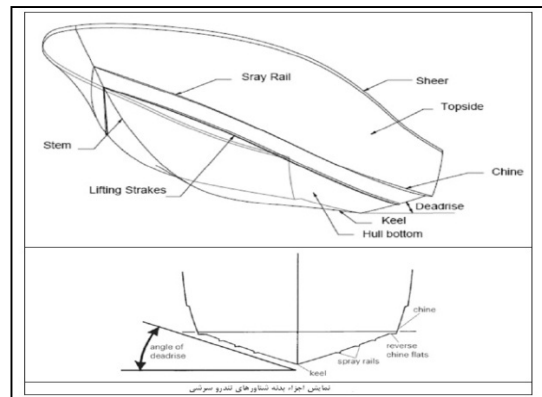
با ذکر این نکته که سطح خیس مورد استفاده برای تعیین آن حاصل ضرب لاندا در مجذور عرض b است [۲۸]. مقاومت اسپری از فرمول‌های ارائه شده محاسبه و با استفاده از قوانین تشابه به مدل اصلی تعمیم داده شود. مقاومت فشاری نیز برای سیال ایده‌آل (بدون اصطکاک) نیروی مماسی صفر است؛ بنابراین، برای یک زاویه‌ی تریم بارگذاری Δ و نیروی عمود بر کف شناور پروازی به صورت زیر محاسبه می‌شود (RP مقدار مقاومت فشاری N شناور است):

$$R_p = \Delta t g \tau \quad (6)$$

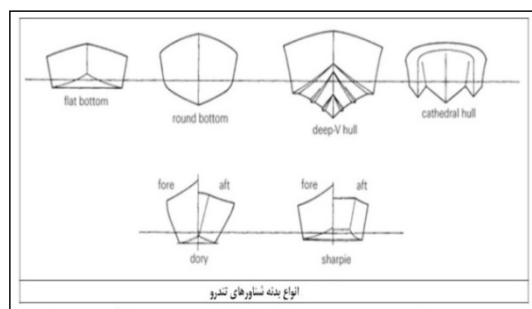
به‌طور کلی، هندسه ناحیه‌ی اسپری به زوایای تریم و ددرایز و سرعت شناور بستگی دارد. سائیتسکی در مطالعه‌ای بر رابطه بین طول خیس شده زاویه‌ی تریم و زاویه‌ی ددرایز را بیان کرده است [۲]. در محاسبه‌ی مقاومت هوا نیز بهتر است اشاره کنیم که ضریب مقاومت آئرو دینامیکی برای بدنه‌های تندرو پروازی تک‌بدنه نیز در آزمایشگاه دیویدسون مشخص گردیده است [۲۹، ۳۰].

۳- چالش‌های طراحی شناور تندرو

در طراحی شناورهای تندرو موارد بسیار زیادی وجود دارند از زیبایی شکل ظاهری و رسیدن به سرعت مورد نیاز



شکل (۳): اجزای مختلف بدنه‌ی یک شناور تندرو.



شکل (۴): انواع بدنه در شناورهای تندروی سرشی.

۲-۳- ضریب منظری

یکی از موارد مؤثر در طراحی شناورهای تندرو، ضریب منظری می‌باشد که در شناورهای سرشی به صورت نسبت‌های زیر تعریف می‌گردد. صورت کسر توان دوم عرض متوسط و مخرج کسر مساحت تصویر شده از بالا است:

$$SAR = \frac{\bar{b}_w^2}{S} \quad (1)$$

یا نسبت طول متوسط به عرض متوسط (با توجه به تغییرات عرض در طول شناور و طول خیس متغیر در حین حرکت):

$$AR = \frac{\bar{b}_w}{L_w} \quad (2)$$

۲-۴- هندسه بدنه شناورهای سرشی

اجزای کلی هندسه‌ی شناور، شامل خیز کف^۱، خطوط شکستگی^۲، نوارهای لیفت^۳، یا ریل اسپری^۴، نوارهای طولی^۵، بیلج^۶ و کیل^۷ می‌باشد. در مورد ویژگی‌های طراحی

^۱ longitudinal strake

^۲ Bilge

^۳ Keel

^۴ Response Surface Method

^۱ deadrise

^۲ chine

^۳ Lifting sreak

^۴ spray rail

تا پایداری دینامیکی مطلوب که گاهی تأثیر عکس نیز بر روی یکدیگر دارند، به نحوی که تلاش در جهت تأمین کردن شرایط مطلوب برای ارضای یک شرط ممکن است عامل نامطلوب شدن گزینه دیگر شده و یک اشکال دیگر برای شناور به وجود آورد. در این قسمت، تعدادی از موارد مهم و غیرقابل صرف نظر کردن در مبحث طراحی عنوان شده است. همچنین، برخی مطالعات و راهکارهای انجام شده بر روی آن نیز ارائه می‌گردد.

۱-۳- اهداف مهم در طراحی

- رسیدن به مرحله‌ی سرش با صرف کمترین توان ممکن و پایین بودن بیشینه مقاومت در فرود بحرانی.
- امکان حرکت آرام و سرشی در امواج و دریایی ناآرام.
- کم‌هزینه بودن و سهولت پروسه‌ی ساخت.
- ایجاد نیروی لیفت مناسب به نسبت توان صرف‌شده.
- جلوگیری از ضربات سنگین و کوبش کف و آسیب‌های سازه‌ای.
- کاهش مقاومت اسپری آب.
- پیش‌بینی و ارزیابی بازدهی شکل‌های سرشی طراحی‌شده.
- یک‌طرفه نشدن در هنگام چرخش شناور با سرعت بالا.
- جلوگیری از وقوع کاویتاسیون در بدنه و متعلقات.
- کاهش احتمال وقوع ناپایداری‌های دینامیکی (مانند پروپوزینگ، بروچینگ، اسلیمینگ، غلتش، هیل و حرکات عرضی شدید و غیره).










۴- پیدا کردن چالش اصلی در طراحی

در هر طراحی ممکن است مورد یا اشکال خاصی وجود داشته باشد و با همه چالش‌های ذکرشده مواجه نباشیم، لکن این‌که با کدام مورد مواجه هستیم، بستگی به نوع شناور و اهداف طراحی دارد. مثلاً، یکی از مشکلات برخی شناورهای تندرو کوبش و ضربات سنگین کف در سرعت بالا می‌باشد. این مشکل در شناورهای با بدنه‌ی وی-شکل و زاویه‌ی ددرایز کمتر وجود دارد؛ بنابراین، چنانچه کارفرما شناوری با بدنه‌ی کف تخت را درخواست کرده باشد، با توجه به توان پروانه و محدوده سرعت موردنیاز طراحی و سایر محدودیت‌ها باید به پیش‌بینی این مسئله پرداخت؛ به عبارت دیگر، هر شناور با توجه به ویژگی‌های خاص بدنه و موارد خواسته‌شده در طراحی، همچنین محل استفاده (رودخانه، دریاچه، اقیانوس) یا شرایط مدنظر (آرام، طوفانی) با دسته‌ای از چالش‌ها مواجه است که به صورت

خاص مختص شرایط موجود در آن طراحی می‌باشد و باید ابتدا مشخص و سپس، راهکار مناسب جهت آنها را به کار برد.

۵- بررسی چالش ناپایداری دینامیکی

پایداری دینامیکی یکی از موارد و چالش‌های مهمی می‌باشد که باید مورد توجه و بررسی دقیق طراحان قرار بگیرد؛ زیرا ارزیابی نهایی عملکرد شناور در دریا یا محیط مورد استفاده در مواردی همچون حفظ مسیر، حفظ تعادل، عدم واژگونی مخصوصاً در شرایط متلاطم دریا با این موضوع ارتباط تنگاتنگی دارد. البته، ممکن است محاسبات مختلفی مانند محاسبه‌ی طول خشک در پشت پله‌ی عرضی شناورها هم نیاز باشد که دارای آن هستند. برآورد پایداری این مدل شناورها با مراجعه به مطالعه ساویتسکی قابل انجام است [۳۱]. به‌طور کلی، ناپایداری‌هایی که ممکن است برای شناور تندرو رخ دهد در شکل (۵) نمایش داده شده است [۲۸].

GENERAL TYPES OF INSTABILITY REF: COHEN & BLOUNT				
	HYDROSTATIC		HYDRODYNAMIC	
	DISPLACEMENT	SEMI-DISPLACEMENT	SEMI-DISPLACEMENT	PLANING
	INCREASING FROUDE NUMBER			
TRANSVERSE	TRANSVERSE HYDROSTATICS $GM_T < 0$	LOSS OF GM_T DUE TO WAVE EFFECT 	ROLL INSTABILITY NON ZERO HEEL NON OSCILLATORY 	"CHINE WALKING" DYNAMIC ROLL OSCILLATION 
LONGITUDINAL	LONGITUDINAL HYDROSTATICS $GM_L < 0$	LOSS OF GM_L DUE TO WAVE EFFECT 	TRIM INSTABILITY BOW DROP NON OSCILLATORY 	"PORPOISING" DYNAMIC PITCH-HEAVE OSCILLATION 
COMBINED	COMBINED $GM_T < 0$ $GM_L < 0$	COMBINED WAVE EFFECT 	BROACH NON OSCILLATORY 	"CORNSCREW" PITCH-YAW-ROLL OSCILLATION 

شکل (۵): ناپایداری‌ها در شناورهای تندرو.

بدیهی است که بررسی کلیه‌ی موارد خارج از حیطه‌ی این مقاله می‌باشد. لکن ناپایداری طولی دینامیکی یا پروپوزینگ به‌عنوان یک چالش شایع و مهم در طراحی شناورهای سرشی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۶-۱- ناپایداری طولی دینامیکی (پروپوزینگ)

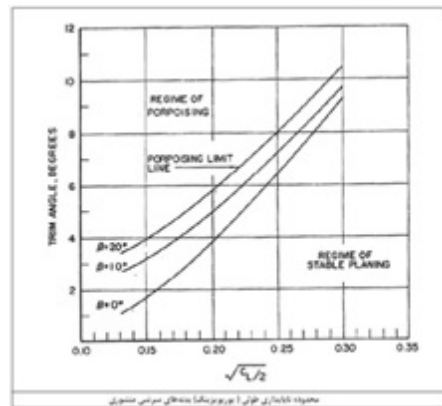
با افزایش یکنواخت سرعت در شناورهای مدرن سرشی ناپایداری طولی دینامیکی به یک مشکل اصلی در طراحی قایق‌های سرشی تبدیل شده است. ناپایداری طولی یا همان

پروپوزینگ ترکیب نوسانی در حرکات پیچ و هیو یک شناور با دامنه ثابت یا افزایش‌یابنده در حین حرکت سرشی در آب‌های آرام می‌باشد.

این مشکل برای شناورهای تندرو پدیده‌ای نامطلوب می‌باشد و می‌تواند منجر به بروز صدمات سازه‌ای و ایجاد سانحه شود. این پدیده در بین دریانوردان به کله زدن معروف است [۳۲].

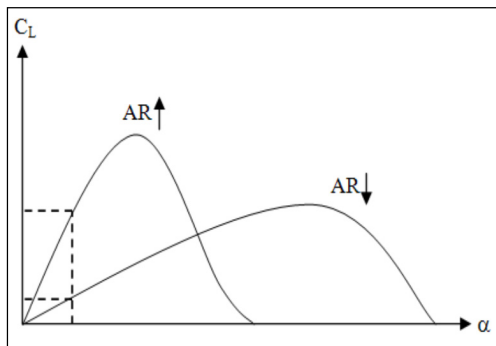
در سال ۱۹۳۰، تحقیقات گسترده‌ای روی هواپیماهای آب‌نشین انجام شد که بعدها مشخص شد این تحقیقات قابل‌تعمیم به قایق‌های تندرو نیز می‌باشد. بعدها در سال ۱۹۵۲ نیز به‌منظور فراهم آوردن اطلاعات کاربردی برای طراحان تحقیقات و آزمایش‌های گسترده‌ای بر روی سطوح سرشی دارای خیز انجام گردید تا محدودیت‌های ناپایداری طولی بدنه‌های سرشی را مشخص نمایند که وابسته به زاویه‌ی تریم، سرعت، وزن و زاویه‌ی خیز کف می‌باشد. در واقع، به دنبال پیدا کردن ارتباط بین زاویه‌ی تریم و ضریب لیفت در زاویه‌ی خیز کف ثابت بوده‌اند که محدوده‌ی ناپایداری دینامیکی طولی را مشخص کند. نهایتاً منجر به ارائه نمودارهایی گردید که محدوده‌ی پایداری را برای هر زاویه‌ی مشخص خیز کف نشان می‌دهد.

یکی از راه‌های بررسی پدیده‌ی پروپوزینگ استفاده از نمودار نشان شده در شکل (۶) است که ساویتسکی در سال ۱۹۶۴ ارائه کرده است [۲].



شکل (۶): نمودار وضعیت پروپوزینگ ارائه شده توسط ساویتسکی.

با توجه به آنچه از نمودار شکل (۶) قابل استنباط است، با کاهش ضریب لیفت محدوده‌ی تریم مجاز (که در آن ناپایداری طولی نداریم) نیز کاهش می‌یابد. نکته‌ی دیگر اینکه اثر افزایش زاویه‌ی خیز کف، افزایش زاویه‌ی مجاز تریم قبل از بروز ناپایداری طولی است. در نتیجه، برای هر شناوری با سرعت و نیروی لیفت مشخص با کاهش زاویه‌ی تریم می‌توان از ناپایداری طولی جلوگیری کرد. البته، باید یک زاویه‌ی تریم را در نظر گرفت که هم ناپایداری طولی نداشته باشیم و هم مقاومت حداقل باشد. از آنجا که ناپایداری طولی مستقیماً به قابلیت کارایی و کارآمدی شناور تندرو، (مخصوصاً در شناورهای بسیار تندرو) مربوط است، نسبت به مقاومت ارجحیت دارد. راهکار دیگری که از این نمودار قابل دریافت است اثر زاویه‌ی خیز بر پایداری طولی دینامیکی می‌باشد؛ زیرا با افزایش زاویه‌ی خیز، زاویه‌ی تریم مجاز برای پرهیز از ناپایداری طولی افزایش می‌یابد. در نتیجه، با افزایش زاویه‌ی خیز کف هم شناور در زاویه‌ی تریم مناسب حرکت می‌کند و هم ناپایداری دینامیکی طولی نداریم. از دیگر موارد مؤثر در میزان پایداری ضریب منظری می‌باشد، به‌نحوی که کاهش ضریب منظری می‌تواند عامل افزایش پایداری باشد. البته، کاهش ضریب منظری به معنی کشیده و باریک شدن صفحه آبخور و در نتیجه تغییر شکل شناور که عامل جابجایی مرکز فشار به سمت عقب و افزایش پایداری دینامیکی گردد. نباید فراموش کرد که کاهش ضریب منظری به دلیل وجود ملاحظات هیدرواستاتیکی، سازه‌ای، جانمایی به‌راحتی امکان‌پذیر نباشد. شکل شماره‌ی (۷) تأثیر ضریب منظری AR را بر ضریب لیفت و زاویه‌ی حمله نشان می‌دهد [۲۷].



شکل (۷): تأثیر ضریب منظری بر ضریب لیفت و زاویه‌ی حمله.

۷- بررسی نتایج برخی از راهکارها در پژوهش‌ها به صورت موردی

۷-۱- پژوهش اول؛ بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در

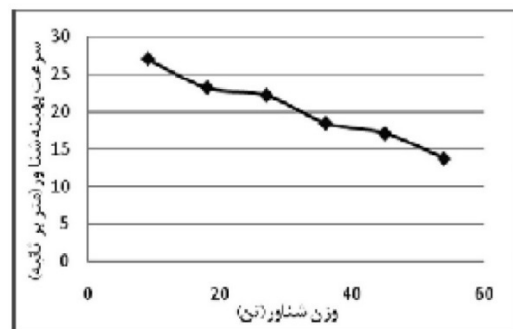
عملکرد شناورهای تندرو حالت پروازی

هدف یا نوع چالش: افزایش سرعت بیشینه.

راهکار بررسی‌شده: بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در عملکرد شناور.

عباس وفایی و همکارانش به بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در عملکرد شناورهای تندرو حالت پروازی پرداختند [۳۳]. در این مطالعه، پارامترهای وزن، فاصله مرکز ثقل تا انتهای شناور، عرض شناور برحسب متر، زاویه‌ی خیز کف برحسب درجه، سرعت شناور برحسب متر بر ثانیه، به‌عنوان متغیر در نظر گرفته شد و در وزن‌های مختلف با محاسبه‌ی مقاومت در هر حالت و در نظر گرفتن قيود توان موردنیاز، عدم وقوع پورپوزینگ، زاویه‌ی تریم بحرانی و روابط ساویتسکی، مقدار بهینه‌ی پارامترها برای هر وزن مشخص به دست آمد.

نتایج این مطالعه نشان داد هیچ‌گونه الگوی مشخصی بین مقادیر بهینه پارامترهای هندسی با وزن و همچنین، بین پارامترهای هندسی و هیدرودینامیکی وجود ندارد؛ اما افزایش وزن تأثیر مستقیم بر کاهش سرعت بهینه‌ی شناور دارد. بررسی وضعیت تغییرات ضریب سرعت برحسب وزن طی پژوهش فوق در شکل ۸ نشان داده شده است. آنچه از نمودار دریافت می‌شود مبین روابط ساویتسکی می‌باشد. بدین معنی که هر چه میزان وزن افزایش یابد، بیشینه‌ی سرعت قابل دست‌یابی کاهش می‌یابد.



کاهش سرعت بهینه با افزایش وزن
شکل (۸): بررسی تأثیرات افزایش وزن بر کاهش سرعت بهینه.

۷-۲- پژوهش دوم؛ اثر پارامترهای هندسی شناورهای

پروازی تونل‌دار بر روی مقاومت کلی آنها

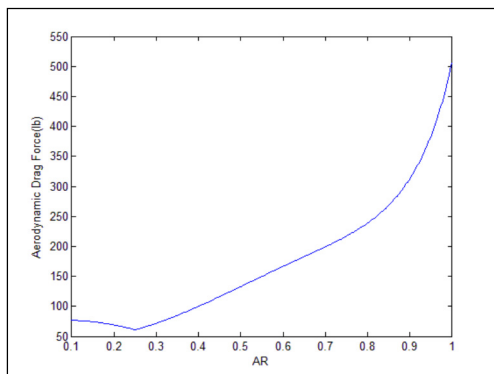
هدف یا نوع چالش: کاهش نیروی مقاومت و افزایش سرعت. راهکار بررسی‌شده: اثر ضریب منطری در نیروی‌های مقاومت.

در این پژوهش، مهدی میرزایی برای طراحی هر چه بهتر شناورهای پروازی تونل‌دار به بررسی اثر پارامترهای هندسی پرداخته است [۳۴].

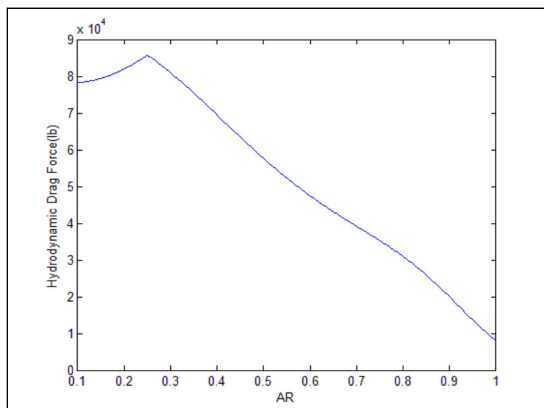
در این مطالعه، عوامل مختلفی مانند ارتفاع تونل، سرعت، وزن، زاویه‌ی حمله با توجه به نیروهای هیدرودینامیکی بررسی‌شده و برای محاسبه‌ی ضریب لیفت و درگ هیدرودینامیکی و آئروودینامیکی از روابط تجربی ارائه‌شده در مطالعه‌ی راسل استفاده شده است [۳۵].

نهایتاً، با ثابت در نظر گرفتن سرعت شناور، تغییرات ضریب منطری و نسبت ارتفاع در مقاومت آئروودینامیکی، هیدرودینامیکی و مقاومت کل بررسی شد.

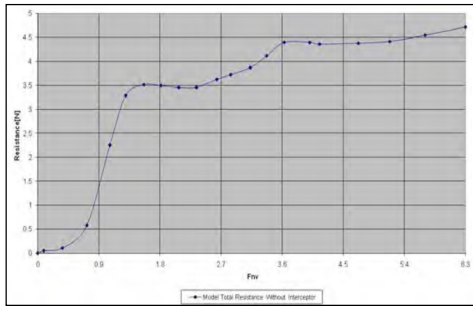
نتایج به دست آمده در خصوص تغییرات نیروی مقاومت هیدرودینامیکی و آئروودینامیکی برحسب ضریب منطری در شکل‌های (۹) و (۱۰) ارائه گردیده است.



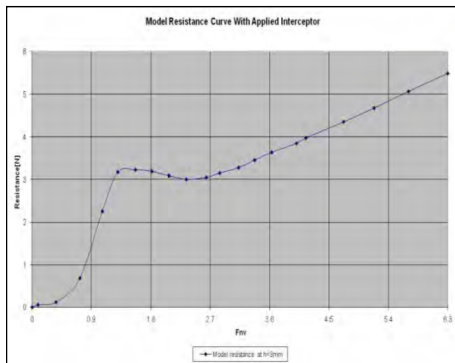
شکل (۹): تغییرات نیروی مقاومت آئروودینامیکی برحسب ضریب منطری.



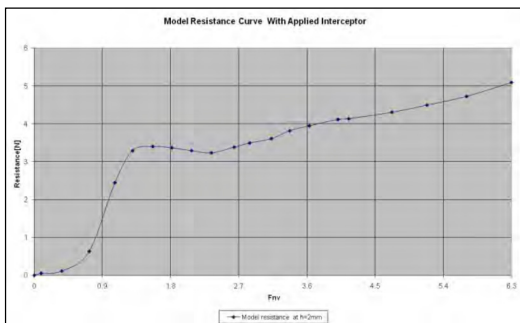
شکل (۱۰): تغییرات نیروی مقاومت هیدرودینامیکی بر حسب ضریب منظری.



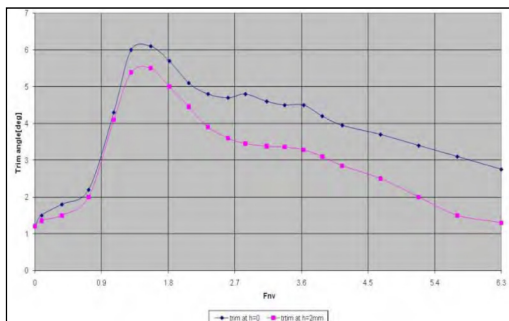
شکل (۱۱): وضعیت تریم با اینترسپتور ۲ میلی متر.



شکل (۱۲): وضعیت تریم بدون اینترسپتور.



شکل (۱۳): وضعیت تریم با اینترسپتور ۳ میلی متر.



شکل (۱۴): وضعیت تریم در ارتفاع صفر با اینترسپتور ۳ میلی متر.

همان گونه که در شکل‌های (۹) و (۱۰) مشاهده می‌شود با افزایش ضریب منظری نیروی مقاومت کل، ابتدا افزایش و سپس کاهش از خود نشان می‌دهد؛ اما نیروی مقاومت آئرو دینامیکی ابتدا و در ضریب منظر بسیار کم کاهش با شیب کم داشته (این میزان قابل صرف نظر است) و سپس، افزایش با شیبی زیاد و افزایش خواهد داشت. تعبیر فیزیکی آن را می‌توان به این نحو ارائه کرد. در ابتدا که شناور در آب قرار دارد با افزایش ضریب منظری شاهد افزایش نیروی مقاومت هستیم، اما به تدریج که شناور به حالت پروازی می‌رسد و سطح تماس با آب شروع به کاهش می‌کند، شاهد کاهش در مقدار نیروی مقاومت کل هستیم.

۳-۷- پژوهش سوم؛ بررسی تأثیر اینترسپتور در شناورهای تندرو به صورت تجربی

هدف یا نوع چالش: افزایش تعادل دینامیکی، کاهش مقاومت و افزایش سرعت

راهکار بررسی شده: استفاده از اینترسپتور

کریمی و همکارانش در این پژوهش اثرات اینترسپتور را بر روی یک مدل در دو ارتفاع مختلف اینترسپتور مورد بررسی قرار دادند [۲۶]. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که در محدوده‌ی عدد فرود مربوط به اسکی شناور قابل توجه می‌باشد. به نحوی که استفاده از اینترسپتور در اعداد فرود بالا باعث کاهش تریم می‌گردد.

از آنجا که عموماً نقطه مقاومت بیشینه با نقطه‌ی تریم بیشینه منطبق می‌باشد. کنترل‌کننده‌های تریم برای کاهش تریم ابداع شدند و شناورهای تندرو معمولاً در پاشنه از کنترل‌کننده‌ی تریم استفاده می‌کنند تا بتوانند از منطقه با مقاومت بالا عبور کنند [۲۶].

مطالعات دیگری نیز وجود دارد که مبین تأثیر اینترسپتور در کاهش تریم دینامیکی و کاهش مقاومت می‌باشند [۲۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹].

شکل‌های (۱۱)، (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) نتایج مقاومت شناور مدل بررسی شده در تحقیق فوق بدون اینترسپتور و با اینترسپتور در دو ارتفاع مختلف و همچنین، وضعیت تریم در همین شرایط نشان داده شده است.

با توجه به آنچه مشاهده می‌شود برای استفاده از اینترسپتور نیاز به مشخص کردن محدوده‌ی سرعت استفاده از آن و ارتفاع بهینه می‌باشد. بدیهی است در این صورت می‌توان شاهد نتایج قابل توجه و مطلوبی بود.

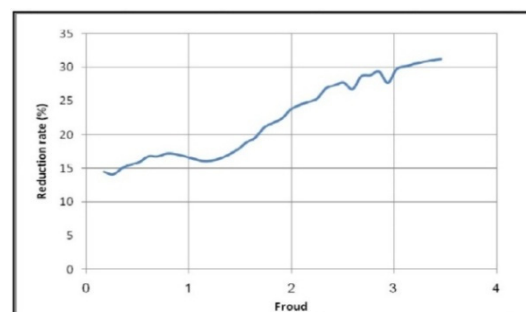
۴-۷- پژوهش چهارم؛ تحلیل هیدروفویل در عملکرد دینامیکی کاتاماران با بدنه پروازی

هدف یا نوع چالش: کاهش درگ در کاتاماران دوبدنه. راهکار بررسی شده: استفاده از هیدروفویل.

در پژوهش عنوان شده مسعود ترابی و همکارانش به بررسی اثر هیدروفویل در کاهش درگ پرداختند [۴۰]. این روش در ابتدا توسط هوپ و گروهش ارائه گردید [۴۱]. خطوط بدنه‌ی این شناور مطابق آنچه کالکینز ارائه کرده است، می‌باشد [۴۲].

برای بررسی اثر هیدروفویل برابر استاندارد اپلر مدل و مطابق آنچه هوپ در مطالعات ۱۹۹۰ انجام داده بود، انتخاب شد [۴۳].

با توجه به عددی بودن مطالعه، محاسبات در نرم‌افزار مربوط انجام و نتایج آن با نتایج تجربی موجود مقایسه شد که بیانگر تطابق خوبی بوده است. شکل (۱۵) چگونگی وضعیت مقاومت در صورت استفاده از فویل در مدل مربوطه را برحسب عدد فرود نشان می‌دهد. آنچه از نتایج این تحقیق به دست آمد نشان می‌دهد استفاده از هیدروفویل می‌تواند باعث تولید لیفت بیشتر و در نتیجه کاهش مقاومت گردد. مقدار تأثیر متوسط به دست آمده کاهش مقدار مقاومت هیدرو دینامیکی تا ۳۰ درصد مقاومت شناور بسته به سرعت، زاویه‌ی حمله و ابعاد شناور و سایر شرایط بوده است.



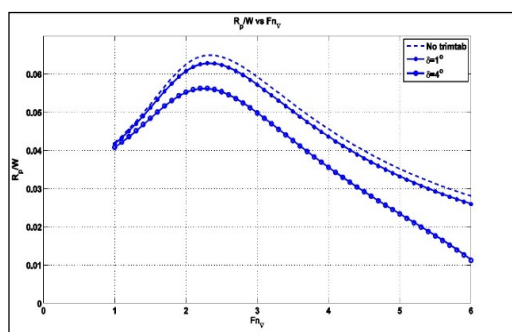
شکل (۱۵): وضعیت مقاومت در صورت وجود فویل برحسب عدد فرود.

۵-۷- پژوهش پنجم؛ بررسی تأثیر تریم تب بر عملکرد شناور تندرو با بدنه‌ی پروازی

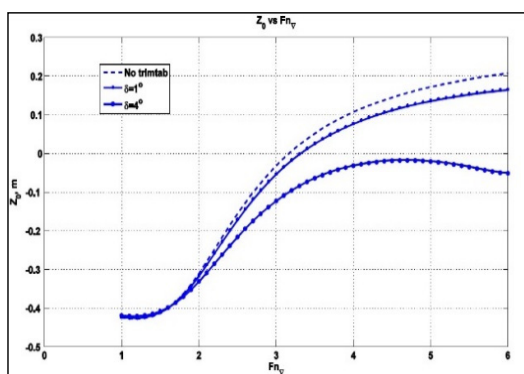
هدف یا نوع چالش: کاهش قله‌ی نقطه‌ی بیشینه‌ی مقاومت برحسب سرعت در سرعت‌های پایین و صرف توان کمتر راهکار بررسی شده: استفاده از تریم تب.

در این مقاله، صیادی و همکارانش تأثیر تریم تب بر شناور تندرو با بدنه‌ی پروازی را مورد بررسی قرار دادند [۴۴].

البته، با نصب تریم تب در انتهای شناور عوامل دیگری نیز در تحلیل مقاومت و بازده شناور می‌بایست مورد تحلیل قرار بگیرد [۴۵]. در این مطالعه، بررسی وضعیت مقاومت شناور و وضعیت تریم تب در زوایای مختلف در تعادل دینامیکی شناور مدل مورد بررسی قرار گرفت. شکل‌های (۱۶) و (۱۷) وضعیت فاصله‌ی مرکز ثقل شناور و تأثیر تریم تب بر مقاومت فشاری شناور بدون تریم تب و در زاویه‌های ۱ و ۴ درجه نشان داده شده است.



شکل (۱۶): تأثیر تریم تب در مقاومت فشاری.

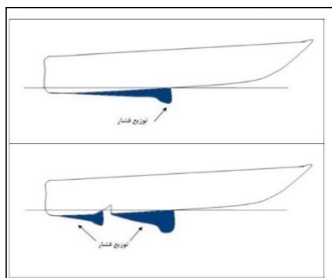


شکل (۱۷): تأثیر تریم تب در ارتفاع مرکز ثقل از سطح آب.

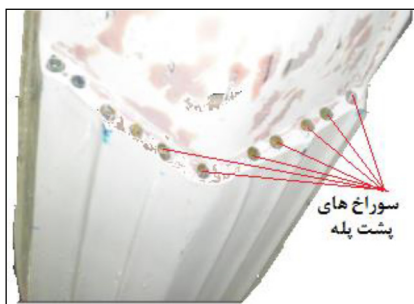
نتایج بررسی انجام شده نشان داد این وسیله می‌تواند با تولید نیروی لیفت عمل بلند شدن شناور را از سطح آب را آسان تر کند. مقاومت شناور پروازی دارای یک نقطه بیشینه

شکل (۱۹): وضعیت نیروی لیفت بعد از رسیدن به مرحله ی سرش.

یکی از روش های کنترل این وضعیت ایجاد پله ی عرضی در کف شناور می باشد که می تواند وضعیت توزیع فشار را تغییر دهد. شماتیک تغییر توزیع فشار کف در شکل (۲۰) نشان داده شده است.



شکل (۲۰): وضعیت توزیع فشار در کف در دو حالت بدون پله ی عرضی و با پله ی عرضی.



شکل (۲۱): محل قرارگیری سوراخ های هوادهی به پله ی عرضی.

در پژوهش ششم، در این قسمت های پله ی عرضی هوادهی انجام شده و تأثیر آن مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۲۱) موقعیت های هوادهی را نشان داده است. نمودار ارائه شده در شکل (۲۲) با مقایسه نسبت نیروی مقاومت به وزن و عدد فرود حجمی در مدل های با پله در حالت های هوادهی و بدون هوادهی، درصد کاهش مقاومت را بررسی کرده است. استفاده از سیستم های هوادهی خود تغذیه باعث کاهش قله در نمودار سرعت توان در شناورهای تندرو می گردد.

در نتیجه، موجب کاهش زمان عبور از این محدوده و رسیدن به وضعیت سرشی می گردد که این موضوع علاوه بر افزایش عمر مفید سیستم محرکه، نشان دهنده ی تأثیر مطلوب این روش می باشد.

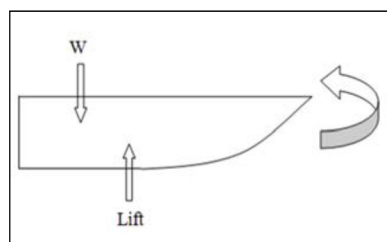
در سرعت های پایین است که سرعت طراحی شناور بعد از این نقطه تعریف می شود. تریم تب می تواند مقدار مقاومت در این نقطه را کاهش دهد و باعث شود شناور در رسیدن به سرعت طراحی توان کمتری مصرف کند. این موضوع بعد از عبور از این مرحله و در سرعت های بالاتر عکس می شود؛ یعنی، تریم تب باعث افزایش مقاومت می گردد. در نتیجه نیاز به کم کردن زاویه تا مقدار بهینه است.

۶-۷- پژوهش ششم؛ تحلیل تجربی تأثیر هوادهی به پله های عرضی شناورهای تندروی سرشی بر کاهش قله ی مقاومت منحنی آنها

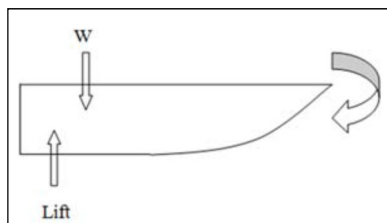
هدف یا نوع چالش: کاهش توان مورد نیاز و زمان عبور از قله مقاومت و رسیدن به وضعیت سرشی.

راهکار بررسی شده: هوادهی به پله های عرضی شناور.

در این مطالعه، سالاری و گروهش به بررسی هوادهی و تأثیر آن در زمان رسیدن به وضعیت سرش پرداختند [۴۶]. قبل از شروع سرش مرکز فشار در کف و معمولاً جلوتر از مرکز ثقل شناور قرار دارد اما در وضعیت سرش این نقطه به سمت عقب جابجا می شود و این نهایتاً موجب ایجاد تریم منفی و افزایش سطح خیس و جابجایی مجدد مرکز فشار به سمت نقطه اول می گردد، تکرار این سیکل موجب ایجاد ناپایداری دینامیکی یا پورپویزینگ می گردد [۴۷]. شکل های (۱۸) و (۱۹) به صورت شماتیک این وضعیت را نشان می دهند [۴۷].



شکل (۱۸): وضعیت نیروی لیفت قبل از رسیدن به مرحله ی سرش.



- بررسی پدیده‌ی کاویتاسیون در بدنه و متعلقات مانند سکان و هیدروفویل‌ها در صورت وجود.

۹- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

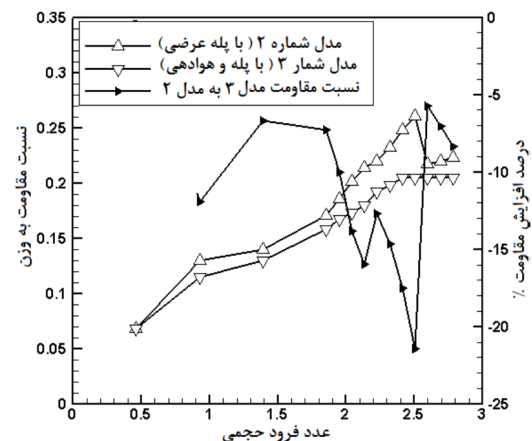
طراحی یک شناور تندرو یک مسئله چندهدفه می‌باشد که نیاز به مشخص کردن اهداف دارد تا به تناسب آنها، چالش‌های مهم پیش‌رو نیز مشخص گردد و با توجه به نوع چالش بتوان راهکار مناسب را اتخاذ نمود. مثلاً، استفاده از یک قایق تندرو جهت ماهیگیری با استفاده از آن جهت گشت دریایی یا موارد نظامی و یا سیاحتی کاملاً با هم از نظر نوع هدف، سرعت طراحی و مسائل ایمنی موردنیاز متفاوت می‌باشند. لذا، با توجه به مشخصات هر طراحی و نیاز مربوطه باید به انتخاب راهکار اقدام نمود. از این‌رو، در ادامه‌ی طی جدولی برخی از چالش‌ها و راهکارها ارائه گردیده است.

البته، قبل از ارائه‌ی جدول باید اضافه کرد که راهکارهای مناسب نیز به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته‌ی اول، راهکارهای کلی هستند که به‌طور کلی، برای طراحی هر شناور تندرو با آن مواجه هستیم، مانند اینکه در همه‌ی شناورهای تندرو به راهکاری جهت عبور از سرعت در محدوده‌ی سرعت شناورهای جابجایی و رسیدن به محدوده‌ی سرعت شناورهای تندرو و سرشی نیاز داریم و دسته‌ی دوم، راهکارهای مختص هر چالش که با توجه به شرایط طراحی و ویژگی‌های شناور خواسته‌شده مختص آن نوع و مدل می‌باشد. عنوان برخی مشکلات و راهکارهای کلی موجود طی جدول شماره (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): چالش‌ها و راهکارهای عمومی

موجود در طراحی شناورهای تندرو.

ر	راهکارهای رایج	عنوان چالش یا علت استفاده
۱	ایجاد زاویه‌ی خیز کف (ددرایز) در سینه حدود ۲۶ درجه و در پاشنه حدود ۱۰-۱۸ درجه، یا استفاده از کف گرد	کوبش کف و ضربات سنگین، حرکت ناخواسته پاشنه به طرفین و حرکت ناآرام و عدم حفظ مسیر، مانور نامناسب
۲	انحنای دیواره‌های جانبی به بیرون	واژگونی عرضی و حرکات هیل شدید
۳	استفاده از نوارهای طولی	قرار گرفتن یک طرف بدنه‌ی شناور در حین دور زدن روی سطح آب (حرکت روی خط شکستگی یا چاین)
۴	استفاده از خط شکستگی	کاهش مقاومت اسپری آب



شکل (۲۲): وضعیت نیروی مقاومت به وزن در حالت هواده‌ی و پله‌ی عرضی.

۸- نتایج

به‌طور کلی، می‌توان در طراحی شناورهای تندرو به نکاتی دست یافت که در هر طراحی باید مدنظر قرار بگیرد؛ اما درجه‌ی اهمیت آن ممکن است در هر طراحی با توجه به شرایط آن نسبت به طراحی شناور دیگر متفاوت باشد و این طراح است که با توجه به این شرایط نسبت به اولویت بندی و اتخاذ راهکارها جهت حل چالش‌ها اقدام می‌کند. با این وجود، تعدادی از عوامل کلی چالش‌زا که در هر طراحی نیاز به بررسی و کنترل داشته و از این مرور به‌دست‌آمده به شرح زیر بیان می‌گردد:

- پایداری عرضی در سرعت صفر در آب آرام.
- قابلیت مانور.
- دسترسی به سرعت بالا و پایداری دینامیکی در سرعت بالا.
- وقوع پدیده‌های سانحه‌ساز و آسیب‌زننده به سازه‌ی مانند کوبش کف.
- وجود پدیده‌های مخرب مانند پاشش آب بر روی عرشه، اسلیمینگ، بروچینگ و ...
- وضعیت توزیع فشار بر روی بدنه، وقوع فشار منفی نسبت به اتمسفر روی بدنه و محل جدایش جریان در طول بدنه.
- وضعیت ویژگی‌های هندسی بدنه، مانند خط چاین، کیل، ترانزوم، خط باتوک و ...
- وضعیت مقطع عرضی (کف تخت، کف محدب یا وی شکل)، زاویه ددرایز.
- وضعیت زاویه‌ی تریم در سرعت‌های مختلف.

۵	استفاده از پله‌ی عرضی در کف شناور	افزایش نیروی لیفت، توزیع نامناسب فشار در کف
۶	استفاده از زوایای خیز کف بسیار زیاد	ضربات شدید در سرعت‌های بالا (محدوده‌ی ۵۰ گره دریایی)
۷	انحنای رو به بیرون زیاد دیواره‌های سینه از محل خط شکستگی (چاپین)	اسلمینگ، کوبش کف و اسپری در سرعت بالا
۸	استفاده از چند خط شکستگی (چاپین) روی بدنه	افزایش پایداری دینامیکی و حرکات آرام در سرعت‌های بالا و دریای موج
۹	استفاده از ۳-۴ نوار لیفت یا ریل اسپری (نوار طولی) در مقطع بدنه شناور	ایجاد نیروی لیفت بیشتر، کاهش سطح خیس و کاهش مقاومت اصطکاکی، تأمین پایداری دینامیکی بیشتر و حفظ مسیر
۱۰	استفاده از بیلج نرم	افزایش پایداری استاتیکی
۱۱	تیر عمودی (بیلج) زیر شناور و کیل	افزایش پایداری و راحتی و پایین آوردن مرکز ثقل، کاهش دامنه نوسانات عرضی
۱۲	جابجایی مرکز ثقل به سمت جلوی شناور، استفاده از صفحه‌ی تریم‌دهنده، افزایش زاویه‌ی خیز، کاهش ضریب منظری	کاهش ناپایداری دینامیکی

و نهایتاً آنچه در این مرور بررسی شد را می‌توان به قرار زیر جمع‌بندی نمود.

- در هر طراحی شرایط و محیط استفاده، سرعت طراحی، هزینه‌ها و امکانات، توان پروانه، توان نیرومحركه و سایر عوامل مهم و مؤثر ابتدا مشخص گردد. سپس، مرحله‌ی بعد طراحی را آغاز نمود.

- برابر آنچه در بند یک گفته شد کلیه امکانات و توانمندی‌ها ارزیابی و جهت امکان‌سنجی ساخت و طراحی برآوردهای لازم از قبیل مالی و پشتیبانی صورت پذیرد.

- شرایط شناور با جزئیات در محیط‌های شبیه‌سازی نرم افزاری ایجاد و نتایج دقیق و معتبر استحصال گردد.

- پیشنهاد می‌شود در هر طراحی به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی کرد که مدل نهایی شناور ساخته و تحت شرایط مختلف مورد تست قرار گیرد و نتایج به‌دست‌آمده با نتایج شبیه‌سازی مقایسه و اشکالات موجود برطرف گردند.

- با توجه به برآوردها و بررسی‌ها، همچنین، نتایج شبیه‌سازی‌ها و تست‌های مدل انجام‌شده چالش‌های موجود در طراحی مشخص و برای هر کدام از آنها با توجه به امکانات موجود و شرایط، راهکار مناسب اتخاذ گردد.

- در مواردی که تولید چندتایی و سری مدنظر است بهتر است ابتدا یک نمونه آزمایشی جهت استفاده‌های کارفرما ساخته تا مشکلات و چالش‌های پیشروی آن مشخص و از بازخورد به‌دست‌آمده در نمونه‌های بعدی تصحیحات اعمال گردد.

- در سرعت‌های بالا پدیده پروپوزینگ به‌صورت خاص موردبررسی قرار گیرد، در مراحل طراحی و شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای نیز به دقت تحلیل گردد تا در عمل ایجاد چالش ننماید.

- برخی چالش‌ها در کوتاه‌مدت مشخص نمی‌شوند و عملاً غیر مهم به نظر می‌آیند اما در درازمدت عامل اتلاف هزینه و زمان زیادی می‌شوند، مانند مشکلات مربوط به خوردگی یا چالش‌های زیست‌محیطی، پیشنهاد می‌شود این‌گونه موارد در مبحثی جداگانه موردبررسی قرار گیرد تا در الزامات طراحی ملحوظ گردد.

منابع:

- [1] Wright, C., "Operation and cost of high-speed craft," *Marine Technology*, Vol. 27, No. 2, pp. 104-113, 1990.
- [2] Savitsky, D., "Hydrodynamic design of planing hulls," *Marine Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 71-95, 1964.
- [3] Savitsky, D., and Brown, P. W., "Procedures for hydrodynamic evaluation of planing hulls in smooth and rough water," *Marine Technology*, Vol. 13, No. 4, pp. 381-400, 1976.
- [4] Savitsky, D., "Overview of planing hull developments," *High Performance Marine Vehicle Conference and Exhibit*, American Society of Naval Engineers, pp. 1-14, 1992.
- [5] Savitsky, D., "Inclusion of Whisker spray drag in performance prediction method for high-speed planing hulls," *Technical Report SITDL- 06-9-2845*, 2006.
- [6] Wagner, H., "Über stoss-und gleitvorgänge an der oberfläche von flüssigkeiten," *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, Vol. 12, No. 4, pp. 193-235, 1932.
- [7] Zhao, R., and Faltinsen, O. M., "Water entry of two dimensional bodies," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 246, pp. 593-612, 1993.
- [8] Ikeda, Y., Yokomizo, K., Hamasaki, J., Umeda, T., and Katayama, N., "Simulation of running attitude and resistance of a high-speed craft using a database of hydrodynamic forces obtained by fully captive model experiments," *2nd International Conference on Fast Sea Transportation*, Vol. 1, pp. 583-94, 1993.

- [23] Nagai, T., Yoshida, Y., and Kawasaki, T., "Minimum resistance hull form of planing craft with controlled trim angle," *Naval Arch Japan*, Vol. 137, pp. 48-57, 1995.
- [24] Karafitah, G. and Fisher, S. C., "The effect of stern wedges on ship powering performance," *Naval Engineers, Journal*, May, 1987.
- [25] Wang, C. T., "Wedge effect on planing hulls," *J. Hydronautics*, Vol. 14, No. 4, 1980.
- [۲۶] کریمی محمدحسین، سیف محمدسعید و عباسپور مجید، «بررسی تأثیر اینترسپتور در شناورهای تندرو به صورت تجربی»، دوازدهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، زیباکنار، انجمن مهندسی دریایی ایران، ۱۳۸۹.
- [۲۷] مونسان محمد، «کتاب جامع مهندسی معماری دریایی»، چاپ دوم، بهار ۱۳۹۱.
- [۲۸] مهریزی اصغر، وفایی صفت عباس، سیف محمدسعید و حمید کاظمی، «بهینه‌سازی چنگانه‌ی شناورهای تندرو حالت پروازی در آب‌های آرام»، دوازدهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، زیباکنار، انجمن مهندسی دریایی ایران، ۱۳۸۹.
- [29] Odd, M. F., "Hydrodynamic of high speed marine vehicles," Cambridge University Press, 40 West 20th Street, New York, NY 10011-4211, USA, 2005.
- [30] Katayam, T., "Experimental techniques to asses dynamic instability of high speed planing craft – non-zero heel, bow-diving, proposing and transverse proposing," Osaka Prefecture University, Japan, 2002.
- [31] Savitsky, D., "Wake shapes behind planing hull forms," International High-Performance Vehicle Conference, The Chinese Society of Naval Architecture and Marine Engineering, pp. 1-15, 1988.
- [۳۲] ضیایی فر سعیده، «بررسی و تحلیل پورپویزینگ شناور تندروی سرعت متغیر در آب آرام»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی هیدرودینامیک، دانشکده مهندسی کشتی‌سازی و صنایع دریایی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، بهمن‌ماه ۱۳۸۶.
- [۳۳] وفایی صفت عباس، سیف محمدسعید، مهریزی اصغر و قصاب‌زاده مرتضی، «بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در عملکرد شناورهای تندروی حالت پروازی برای دستیابی به حداکثر سرعت»، هجدهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، تهران، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شریف، ۱۳۸۹.
- [۳۴] میرزایی مهدی، «اثر پارامترهای هندسی شناورهای پروازی تونل‌دار بر روی مقاومت کلی آنها»، اولین همایش ملی توسعه پایدار دریامحور، خرمشهر، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۱۳۹۳.
- [35] Russel, J. D., "Secrets of tunnel boat design," First edition, Aeromarine press, 67 Highland Crescent, Cambridge, ON, Canada, N1S1M1,
- [36] Cuasanelli, D. S., and Cave, W. L., "Effect of stern flaps on powering performance of the FFG-7
- [9] Clement, E. P., and Blount, D. L., "Resistance tests of a systematic series of planing hull forms," *Transaction of The Society of Naval Architects and Marine Engineers*, Vol. 71, pp. 201-77, 1963.
- [10] Keuning, J. A., and Gerritsma, J., "Resistance tests of a series planing hull forms with 25 degrees deadrise angle," *International Ship-Building Progress*, Vol. 29, No. 337, pp. 222-249, 1982.
- [11] Keuning, J. A., Gerritsma, J., and Terwisga, P. F., "Resistance tests of a series planing hull forms with 30 degrees deadrise angle and a calculation method based on this and similar systematic series," *International Ship-Building Progress*, Vol. 40, No. 424, pp. 333-382, 1993.
- [12] Savan, D., "Performance prediction of hulls with transverse steps," M.sc Thesis, Royal Institute of Technology, Center for Naval Architecture, 2010.
- [13] Subramanian, V. A., Subramanyam, P. V. V., and Sulficker, N., "Pressure and drag influences Dueto tunnels in high-speed planing craft," *International Shipbuilding Progress*, Vol. 54, pp. 25-44, 2007.
- [14] Doctors, L J., "Representation of planing surface by finite pressure elements," *Proceeding of the fifth Australian Conference on Hydraulics and Fluid Mechanics*, New Zealand, 1974.
- [15] Sahoo, P. K., Doctors, L. J., and Pretlove, L., "CFD prediction of the wave resistance of a catamaran," *International Conference in Marine Hydrodynamics*, pp. 867-879, 2006.
- [16] Hino, T., Hirata, N., and Hori, T., "Calculation of free surface flows generated by planing craft," *Proceeding FAST'91*, PP,317-330, 1991.
- [17] Richard, P., Stephen, T., and Stephen, W., "Free surface CFD simulation of the flow around a planing plat," *International Conference on Fast Sea Transportation, FAST' 2001, 4th -6th*, Southampton, UK, Sep., 2001.
- [18] Brizzolara, S., and Serra, F., "Accuracy of CFD codes in the prediction of planing surfaces hydrodynamic characteristics," *2nd International Conference on Marine Research and Transportation*, Naples, Italy, Vol. 1, pp. 147-159, 2007.
- [19] Savander, B. R., and Rhee, S. H., "Steady planing hydrodynamics: comparison of numerical and experimental results," *Fluent Users' Group Manchester*, NH, 2003.
- [20] Bowles, J. B., and Denny, S. B., "Water surface disturbance near the bow of high, hard Chine-hull forms," *International Conference on Fast Sea Transportation, FAST' 2005, June*, Russia, 2005.
- [21] Yaakob, O., Shamsuddin, S., and King, K. K., "Stern flap for resistance reduction of planing hull craft," *Jurnal Teknologi*, Vol. 41(A) Dis, pp. 43– 52, 2004.
- [22] Bojovic, P., and Sahoo, P. K., "Effect of stern wedges and advanced spray rail system on calm water resistance of high speed displacement," *AMECRC Internal Report 95/5*, pp. 1-93, 1996.

class," Marine Technology, Vol. 30, No. 1, Jan. 1993.

[37] Cuasanelli, D. S., and Karafiath, G., "Advances in stern flap design and application," International Conference on Fast Sea Transportation, Fast 2001, Southampton, UK, Sep. 2001.

[38] Tsai, J. F., and Huang, J. k. "Study on the effect of interceptor on high speed craft," Journal of Society of Naval Architects and Marine Engineers, Roc, Vol. 22, No. 2, pp. 95-101, 2003.

[39] Karimi, M. H., "Hydrodynamic quality improvement techniques for high speed planing crafts," 7th Conferencing on Marine Industries, Tehran, Jan. 2006.

[۴۰] ترابی آزاد مسعود، نوروزی عبدالحسین و صادقی محمدحسین، «تحلیل عددی تأثیر هیدروفویل در عملکرد دینامیکی کاتاماران با بدنه‌ی پروازی»، سیزدهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، جزیره کیش، انجمن مهندسی دریایی ایران، ۱۳۹۰.

[41] Karl Gunther, W. H, "Catamaran with hydrofoils," US patent, United States, 1982.

[42] Calkins, D. E., Shachter, R. D., and Olivera, L. T., "An automated computational method for planing hull form definition in concept design, Ocean engineering, Vol. 28, pp. 297-327, 2001.

[43] Hoppe, K. G. W., "Performance evaluation of high speed surface craft with reference to the Hysucat development," Fastcc Research Report, 1990.

[۴۴] صیادی حسن، تمدن‌دار محمدهاشم و سیف محمدسعید، «بررسی تأثیر تریم تب بر عملکرد شناور تندرو با بدنه‌ی پروازی»، سیزدهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، جزیره کیش، انجمن مهندسی دریایی ایران، ۱۳۹۰.

[45] Ward Brown, P., "An experimental and theoretical study of planing surfaces with trim flaps," Davidson Laboratory Technical Report, 1971.

[۴۶] سالاری محمود، سیف محمدسعید و تیموری مهدی، «تحلیل تجربی تأثیر هوادهی به پله‌های عرضی شناورهای تندرو سرشی بر کاهش قله‌ی منحنی مقاومت آنها»، دوفصل‌نامه علمی پژوهشی دریافنون، سال دوم، بهار و تابستان ۱۳۹۴.

[47] Faltinsen, O. M., "Hydrodynamics of high-speed marine vehicles," Cambridge University Press, pp. 342-360, 2010.