آنالیز هیدرواستاتیک و هیدرودینامیک شناور تندرو پلنینگ

شبنم محمدشاهی، زهرا اسد زاده، سونیا رشیدیان

چکیده

در این پژوهش فرآیند طراحی و ساخت یک شناور تندرو آلومینیومی از نوع پلنینگ، تک‌چاین، تک‌بدنه و دارای دو سرنشین موسوم به جت‌اسپرینت مورد بررسی قرارگرفته و آنالیزها و تست‌های انجام‌گرفته در طی فرآیند طراحی ارائه شده‌است. از ویژگی‌های شناورهای جت‌اسپرینت[1] می‌توان به سرعت و قدرت مانور بالای آن‌ها اشاره کرد. بعد از انجام طراحی‌های اولیه شناور با توجه به ماموریت تعریف شده‌ی آن، برای بررسی و آنالیز رفتارهای شناور و اطمینان از طراحی، مدلی در مقیاس کوچک در حوضچه کشش مورد تست قرار گرفت و با استفاده از نتایج آن پارامترهائی همچون مقاومت سیال آب در مقابل حرکت شناور، توان مورد نیاز و زاویه چرخش، محاسبه و از چگونگی قرار گرفتن شناور در حالت پلنینگ و حرکت در سرعت‌های بالا اطمینان حاصل شد. شناور تندرو آرتمیز برای رسیدن به سرعت ۸۰ کیلومتر برساعت (۴۲ گره دریائی) طراحی و با روشی مبتنی بر فیکسچر ساخته شده است و در تست میدانی خود با حفظ پایداری دینامیکی با موفقیت به این سرعت دست‌یافت.

کلمات کلیدی: شناور تندرو، پلنینگ، تست مدل، مقاومت، زاویه چرخش

مقدمه

شناورهای تندروی پلنینگ در سال‌های اخیر کاربردهای گسترده‌ای یافته‌اند و تلاش‌های مختلفی جهت بهبود و پیشرفت آن‌ها صورت گرفته‌است. این شناورها در سرعت‌های بالا تماسشان با سطح آب کاهش می‌یابد، که این ویژگی سبب دستیابی به سرعت‌های بالاتر نسبت به شناورهای معمول، خواهد گردید. بعبارت دیگر نیروی لیفت تولید شده در سرعت‌های بالا باعث حرکت شناور به سمت بالا شده و این امر سبب کاهش سطح خیسی و در نتیجه نیروی درگ کم‌تر می‌شود.

ساخت این نوع شناورها در حدود سال۱۸۰۰میلادی شروع شد. در آغاز قرن بیستم، کاربرد این شناورها بیشتر بصورت شناورهای جنگی بوده است که با اختراع موتورهای احتراق داخلی و امکان استفاده از سوخت‌هایی غیر از زغال سنگ و آب، امکان دستیابی به سرعت‌های بالاتر مهیا گردید. اولین شناورهای تندرویی که ساخته شدند توانایی حرکت با سرعتی حدود ۳۵ گره را دارا بودند. همزمان با جنگ جهانی دوم تغییراتی در طراحی و ساخت شناورهای پلنینگ صورت گرفت که شروع ساخت بدنه‌های هاردچاین نیز در این دوران بوده است[۱] .

شناور آرتمیز با توجه به اصول کلی طراحی شناورهای تندرو در طول مدت یک سال طراحی و ساخته شده است که مراحل کلی فرآیند طراحی این شناور در ادامه به اختصار بیان می‌شود.

برای شروع طراحی با استفاده از پایگاه اطلاعاتی شناورهای مشابه، ابتدا عرض شناور و با بدست‌آوردن نسبت‌های L/B، L/d و W/L برای شناورهای مشابه، طول شناور، آبخور و وزن تقریبی آن محاسبه‌گردید. با واردکردن پارامترها در

۲:Jetsprint

نرم‌افزار راینومارین، بدنه موردنظر بدست می‌آید. برای شناور آرتمیز برخی از این پارامترها شامل Hf، Ha، β و... با استفاده از این پایگاه اطلاعاتی بدست آمده است.

آنالیز هیدرواستاتیک

منحنی بازوی بازگرداننده بر حسب زاویه غلتش عرضی، معیار اصلی برای بررسی میزان پایداری شناور مطابق استانداردهای بین‌المللی می‌باشد که با استفاده از این منحنی، محدوده پایداری، ماکزیمم بازوی بازگرداننده و زاویه متناظر با آن، پایداری دینامیکی و ارتفاع متاسنتری اولیه محاسبه می‌شود. بازگرداننده (GZ)، فاصله افقی بین مرکز ثقل و مرکز بویانسی در هنگام غلتش عرضی می‌باشد. ممان بازگرداننده باعث می‌شود که اگر شناور به یک سمت و به اندازه زاویه Θ غلتش کند، شناور خود را به حالت اولیه بازگرداند. برای تعادل پایدار شناور این مقدار باید مثبت باشد که در صورت صفر یا منفی بودن آن، شناور دارای پایداری خنثی یا ناپایدار خواهد بود.

استاندارد پایداری

در آنالیز هیدرواستاتیک شناور آرتمیز، از استاندارد HSC برای تعین پارامترهای پایداری استفاده شده است. بدلیل کوچک بودن ابعاد شناور آرتمیز، با در نظر گرفتن حالت سالم آن و باتوجه به زاویه‌ای که حداکثر GZ در آن اتفاق می‌افتد، اصل زیر از استاندارد HSC مورد بررسی قرار گرفت.

اگر حداکثر بازوی بازگرداننده در زاویه‌ای بین ۱۵ تا ۳۰ درجه اتفاق افتد، مساحت زیر نمودار بازوی بازگرداننده از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$A = 0/055 + 0/001 * (30 - \Theta_{\max})(\text{متر در رادیان}) \qquad (1)$$

علاوه بر این طبق این استاندارد دو اصل دیگری را باید مورد توجه قرار داد:

حداکثر بازوی بازگرداننده نباید در زاویه‌ای کمتر از ۱۵ درجه اتفاق افتد.

مقدار اولیه فاصله نقطه متاسنتر عرضی تا مرکز جرم[۲] نباید کمتر از 0/15 متر باشد.

تخمین وزنی

نخستین گام در آنالیز هیدرواستاتیک، تهیه جدول وزنی برای تخمین وزن کل شناور و موقعیت مرکز جرم آن بر مبنای جانمایی تجهیزات می‌باشد. تا حد امکان سعی شده است تا موقعیت طولی مرکز جرم، به جلو و موقعیت عمودی مرکز جرم پایین آورده شود. از این پس برای کاستن تریم اولیه و یا افزایش پایداری استاتیکی باید از وزنه اضافی یا جابجایی باتری استفاده کرد.

بنا به دلایلی که در بخش هیدرودینامیک اشاره خواهد شد، تریم اولیه شناور می‌تواند در محدوده‌ی صفر تا دو درجه متغیر باشد که میزان قطعی آن پس از انجام تست میدانی شناور بدست خواهد آمد.

تریم اولیه صفر

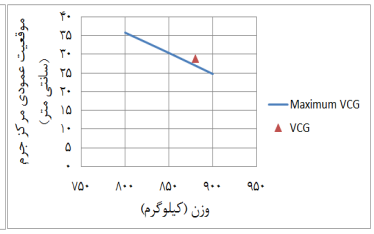
در ابتدا، موقعیت تنها جسم قابل جابجایی در شناور یعنی باتری را تغییر می‌دهیم. با قرار دادن مرکز جرم باتری در موقعیت طولی ۳۵۰ سانتی‌متر، LCG شناور برابر با 131/7 سانتی‌متر می‌شود. با استفاده از رابطه (۲) مشخص می‌شود که با اضافه کردن وزنه، میزان LCG شناور در چه موقعیتی قرار خواهد گرفت. مطابق شکل (۱) با تقاطع این خط و نمودار موقیت طولی مرکز شناوری[۳] بر حسب وزن کل شناور[۴] در تریم صفر درجه، پارامترهای اولیه هیدرواستاتیکی شناور بدست آمده که در جدول(۱) نشان داده شده است.

۳: Center of Buoyancy(LCB)

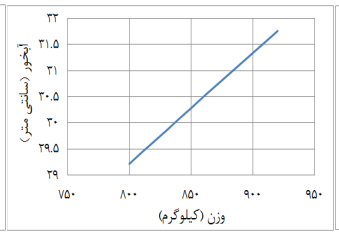
۴: Displacement (Δ)

$$\frac{M_{mass} \times 320 + 131/7 \times 820}{\Delta} = LCG \qquad (۲)$$

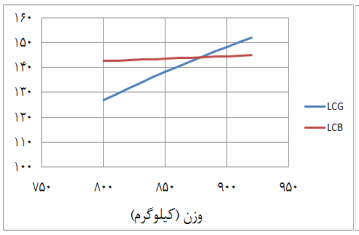
$$LCG = 320 - \frac{1544/6}{\Delta}$$



شکل ۱: محاسبه فاصله طولی مرکز جرم



شکل ۲: نمودار آبخور بر حسب وزن



شکل ۳: حداکثر موقعیت عمودی مرکز جرم

جدول (۱):پارامترهای اولیه هیدرواستاتیکی شناور در تریم اولیه‌ی صفر درجه

وزن	*880 کیلوگرم*
موقعیت طولی مرکز ثقل	*144/5 سانتی‌متر*
آبخور	*31/1 سانتی‌متر*
موقعیت عمودی مرکز ثقل	*28/9 سانتی‌متر*

شکل (۳)، نمودار حداکثر VCG بر حسب وزن شناور را بر طبق استاندارد Hsc و موقعیت شناور نسبت به آن را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، اختلاف کمی بین VCG و میزان استاندارد وجود دارد که برای جبران آن باید جرمی در پایین شناور اضافه گردد. اما با توجه به افزایش نیروی مقاومت در برابر شناور از این کار صرف نظر می‌شود. همچنین به علت وزن زیاد برای رسیدن به تریم اولیه‌ی صفر، می‌توان نامناسب بودن این حالت را پیش‌بینی کرد.

در پایان این بخش، اطلاعات کامل هیدرواستاتیکی شناور در تریم اولیه‌ی صفر مطابق جدول (۲) بیان شده که توسط نرم افزار راینومارین استخراج گردیده است.

جدول (۲): اطلاعات هیدرواستاتیکی شناوردر تریم اولیه‌ی صفر درجه

Trim	۰	*Draft (cm)*	*31/1*
Displ (Kg)	*880*	*LCB (cm)*	*144/2*
LCG (cm)	*144/2*	*VCB (cm)*	*19/5*
VCG (cm)	*28/9*	*WetSurf* (cm^2)	*58223*
LOA (cm)	۴۵۰	*Area WP* (cm^2)	*47310*
LWL (cm)	*385/3*	*LCF (cm)*	*160/8*
BOA (cm)	*160*	C_b	*۹۰/49*
BWL (cm)	*148*	C_{wp}	*۲۰/8*
Depth (cm)	*60/6*	GM_t *(cm)*	*72*
Freeboard (cm)	*29/5*	GM_l *(cm)*	*528/3*

همین روند در مورد تریم‌های اولیه‌ی دیگر نیز تکرار شده است. این موارد می‌تواند در انتخاب تریم اولیه‌ی مناسب سودمند بوده و اطلاعات ورودی مربوط به آنالیز هیدرودینامیک شناور را در اختیار قرار دهد.

آنالیز هیدرودینامیک

در آنالیز هیدرودینامیک به بررسی پارامترهایی از قبیل نیروی مقاوم سیال در برابر حرکت[1]، و زاویه‌ی تریم دینامیکی و سایر نیروهای وارد بر شناور است می‌پردازیم. با استفاده از این نتایج می‌توان رفتار هیدرودینامیکی شناور در هر سرعت و پایداری آن را مورد ارزیابی قرارداد و توان مورد نیاز برای انتخاب سیستم پیشرانش و تولید نیروی محرکه‌ی مناسب را تخمین زد.

مطمئن ترین روش برای بررسی رفتار هیدرودینامیکی شناور، استفاده از مدلسازی فیزیکی و تست آن در حوضچه کشش است. برای انجام دقیق آزمون تست مدل و محاسبه دقیق نیروها، گشتاورها و بارهای دینامیکی موثر بر نمونه اصلی باید شرایطی برقرار باشد که در ادامه به آنها اشاره شده است:

۱. مدل و نمونه اصلی باید به طور هندسی متشابه باشند. در رابطه (۳) طول (L)، عرض (B) و حجم (V)، اندیس m مربوط به مدل و اندیس s مربوط به نمونه اصلی می‌باشد.

$$\frac{V_s}{V_m} = \lambda^3$$
$$\frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \lambda$$

۲. جریان مدل و جریان نمونه اصلی باید به طور سینماتیکی متشابه باشند. برای مغشوش کردن جریان، باید زوائدی مثل نوار سنباده به قسمت جلوی مدل اضافه شود تا اغتشاش جریان در شناور اصلی شبیه سازی گردد.

$$\mathrm{Re} = \frac{VL}{\nu} = \frac{1\times 1/25}{10^{-6}} = 1/25 \times 10^6 > 5 \times 10^6 \qquad (۳)$$

۳. تشابه دینامیکی بین مدل و نمونه اصلی برقرار باشد و توزیع نیروها در جریان‌های مدل و نمونه اصلی به صورتی باشد که در تمام نقاط متناظر، انواع نیروهای همسان با هم موازی بوده و مقدار آنها با ضریب مقیاس ثابت به هم مربوط شوند.

۴. با نصب مدل بر روی ارابه حوضچه کشش و حرکت ارابه با سرعت ثابت و با تکرار تست در سرعت‌های متفاوت، پارامترهای مختلف بر حسب سرعت مدل به‌دست می‌آیند. با استفاده از لودسل، نیروی درگ و با نصب دو سنسور حساس به تغییر طول، میزان جابجایی دو نقطه از شناور (ترجیحا مرکز ثقل و نقطه جلوی مدل) محاسبه و ثبت می‌شود.

با توجه به محدود بودن سرعت ارابه حوضچه کشش، تست شناور در سرعت‌های محدودی انجام گرفت. برای پیش-بینی رفتار شناور در سرعت‌های بالاتر باید از یک روش تحلیلی و انطباق روش تجربی و تحلیلی استفاده کرد. این مباحث در سه بخش مقاومت، زاویه چرخش، پورپویزینگ و اسپری ریل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

الف) مقاومت

بر اثرحرکت شناور روی سطح آب، نیرویی خلاف جهت حرکت از طرف سیال به آن وارد می‌شود که مقدار آن با تغییر سرعت متفاوت است. هدف از بررسی مقاوت شناور و پارامترهای موثر بر آن به شرح زیر خلاصه می‌شود.

۱. محاسبه نیروی تراست و توان مورد نیاز برای رسیدن به سرعت کاری که در ابتدای طراحی به عنوان هدف نهایی تعیین می‌شود.

۲. رسیدن به راندمان بالاتر برای کاهش انرژی مورد نیاز که نتیجه آن، کاهش مصرف سوخت است.

۳. بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بدنه و سرعت بر روی هرکدام از انواع مقاوت‌ها

۴. اطمینان از نحوه پلنینگ شناور براساس انطباق نمودارهای مقاومت به روش تحلیلی و تجربی

محاسبه مقاومت به روش تحلیلی

در روش تحلیلی تدوین‌شده توسط پروفسور ساویتسکی، مقدار نیروی مقاوم سیال در برابر حرکت شناور به‌صورت مجموع دو مقاومت اصطکاکی و فشاری درنظر گرفته‌شده‌است. بر اثر حرکت، سیال آب بر روی سطح شناور جریان یافته و طبق معادله ساده‌شده اویلر برای جریان تراکم‌ناپذیر، پایا و غیرچسبنده که در رابطه (۴) به آن اشاره شده‌است در جهت خارج مرکز انحنای خطوط جریان، فشار افزایش می‌یابد. نتیجه این اختلاف فشار، اعمال یک نیروی عمود و رو به بالا بر شناور (N) می‌باشد.

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial n} = \frac{V^2}{R} \quad (۴)$$

بردار نرمال سطح n

شعاع انحنا R

مولفه افقی این نیرو را مقاومت فشاری نامیده که مطابق رابطه محاسبه می‌شود. منشا این نیرو، جدایش جریان در قسمت انتهایی شناور و در نتیجه ایجاد منطقه‌ای کم فشار[۵] در حوالی نقطه جدایش است. مولفه عمودی نیروی N را در اصطلاح لیفت نامیده که برابر با جمع دو نیروی لیفت دینامیکی و نیروی بویانسی است.

$$D_f = \frac{C_f\, \rho\, \lambda\, b^2 {V_m}^2}{2\cos\beta}$$

چگالی سیال :ρ

ضریب مقاومت اصطکاک :C_f

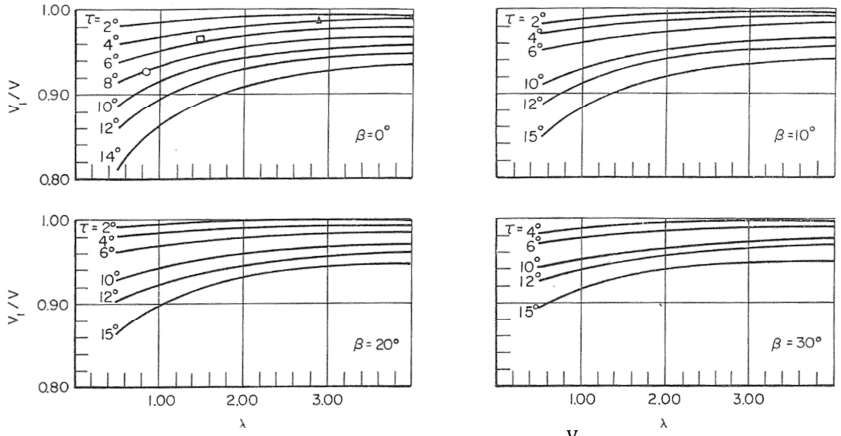
نسبت طول خیس به عرض خیسی: λ

میانگین سرعت کف شناور :V_m

عرض صفحه پلنینگ :b

زاویه ددرایز :β

برای به دست آوردن میانگین سرعت کف شناور (V_m) از شکل زیر می‌توان استفاده کرد. این نمودارها نسبت $\frac{V_m}{V}$ برحسب λ را برای ددرایزهای ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه در تریم‌های مختلف نشان می‌دهند. با توجه به این که زاویه ددرایز شناور آرتمیز ۲۴ درجه انتخاب شده‌است، برای محاسبه این نسبت باید بین مقادیر نمودارها میان‌یابی انجام شود.



نسبت $\frac{V_m}{V}$ برحسب λ را برای ددرایزها و تریم مشخص

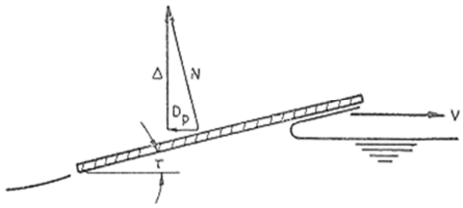
با مشخص شدن میزان نیروی درگ فشاری و اصطکاکی و با توجه به شکل می‌توان نیروی درگ کل شناور را مطابق رابطه (۵) محاسبه نمود.

۶: Wake

$$D = \Delta \tan\tau + \frac{D_f}{\cos\tau} \qquad (۵)$$

مقاومت به روش تجربی

در روش تحلیلی که توسط پروفسور ساویتسکی تدوین شده نیروی مقاوم سیال از مجموع مقاومت اصطکاکی و فشاری تشکیل می‌شود. ، نیرویی که از طرف سیال به شناور وارد می‌شود (N)، دارای دو مولفه است، مولفه افقی این نیرو مقاومت فشاری و مولفه عمودی آن، نیروی لیفت است، که حاصل‌جمع دو نیروی لیفت دینامیکی و بویانسی می‌باشد. برای سیال چسبنده مقاومت اصطکاکی، نیروی بازدارنده دیگری در راستای خط مبنای[۶] شناور وارد می‌شود.



مولفه‌های نیروی عمودی

در تست مدل با حرکت شناور در سرعت‌های مختلف و برای تریم‌های اولیه مشخص مقدار نیروی مقاوم توسط تجهیزات تست مدل ثبت می‌شود. طبق نظریه پی‌بوکینگهام، نیروی مقاوم تابع عدد رینولدز و فرود است، اگر در مدل و شناور اصلی این دو عدد بی‌بعد برابر باشند با انجام تشابه کامل می‌توان نیروهای مدل را به شناور اصلی تعمیم داد. با حل معادلات مربوط به آن رابطه زیر بدست‌می‌آید.

$$\frac{\nu_s}{\nu_m} = 6/16$$

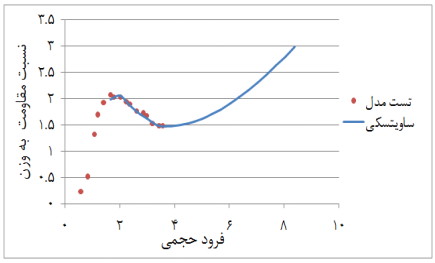
این رابطه بیانگر آن است که برای تشابه کامل باید از مایعی با ویسکوزیته سینماتیکی $\frac{1}{6}$ آب استفاده شود که مایعی مانند جیوه این ویژگی را داراست وکاری غیرممکن است. بنابراین برای تعمیم نتایج مدل به شناور اصلی از تشابه غیرکامل پیشنهادی توسط کنفرانس بین‌المللی حوضچه کشش[۷] که فقط تساوی عدد فرود بین مدل و شناور برقرار است استفاده می‌شود. در این روش مقاومت کل به دو قسمت اصطکاکی و باقی‌مانده تقسیم شده وضریب مقاومت اصطکاکی برای مدل وشناور اصلی ازفرمول ITTC-57 محاسبه‌می‌شود. طبق رابطه‌ای که بین ضرایب مقاومت وجود دارد اندیس f مربوط به مقاومت اصطکاکی، اندیس T مربوط به مقاوت کل، اندیس R مربوط به مقاوت باقی‌مانده. اندیس s، شناور و اندیس m، مدل را نشان می‌دهد.

$$C_{tm} = \frac{R}{\frac{1}{2}\rho A V^2}$$

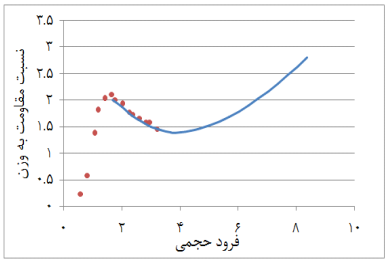
$$C_{tm} = C_{fm} + C_{Rm}$$

$$R_{ts} = \frac{1}{2} C_{ts}.\rho.A_s.V_s^{\,2}$$

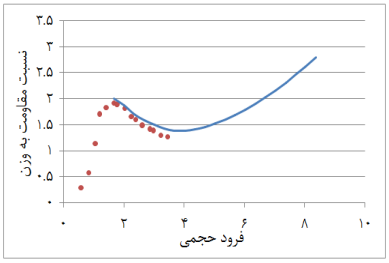
شکل‌های زیر مقایسه نتایج بدست‌آمده از دو روش تجربی (تست مدل) و تحلیلی (ساویتسکی) را نشان می‌دهند.



مقاومت مخصوص، تریم اولیه صفر



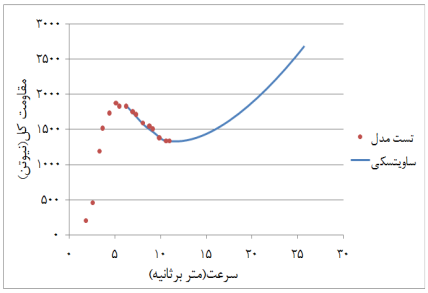
مقاومت مخصوص، تریم اولیه یک



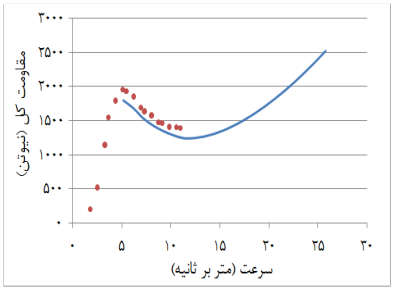
مقاومت مخصوص، تریم اولیه دو

۷:Base line

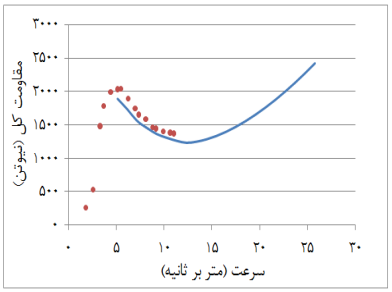
۸ :International Towing Tank Confference (ITTC)



مقاومت بر حسب سرعت، تریم صفر



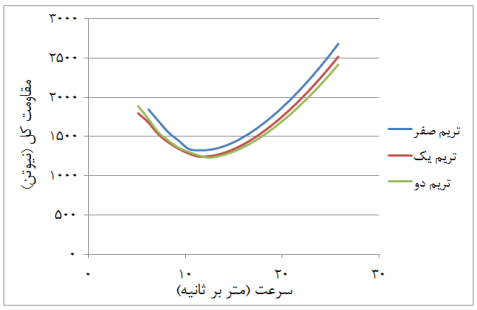
مقاومت برحسب سرعت، تریم یک



مقاومت برحسب سرعت، تریم دو

اگر نمودار مقاومت مخصوص برحسب عدد فرود برای داده‌های حاصل از تست و روش ساویتسکی بر هم منطبق شوند از پلنینگ بودن شناور اطمینان حاصل می‌شود[۶]. این انطباق به راحتی در نمودارها قابل مشاهده است. از نزدیکی مقادیر تحلیلی و تجربی علاوه بر اطمینان از پلنینگ بودن شناور می‌توان از درستی روش ساویتسکی برای پیش‌بینی رفتار شناور در محدوده سرعت‌هایی که نتایج تست در آنها وجود ندارد نیز اطمینان یافت. اکنون می‌توان با استفاده از نتایج روش تحلیلی وضعیت شناور را در سرعت‌های بالا که برای شناور تندرو از اهمیت زیادی برخوردار است را مورد بررسی قرار داد.

به دلیل اینکه سرعت برای شناور تندرو مهمترین ویژگی محسوب می‌شود، کاهش مقاومت تا جای ممکن که موجب افزایش سرعت می‌شود بسیار اهمیت می‌یابد. نمودارهای مربوط به مقاومت کل که با استفاده از روش تحلیلی ساویتسکی بدست‌آمده برای سه تریم اولیه در شکل زیر قابل مشاهده‌است.



نیروی مقاومت کل شناور با استفاده از روش تحلیلی

با توجه به شکل در یک سرعت مشخص، هرچه تریم اولیه بیشتر باشد، مقدار مقاومت کمتر خواهد بود. این مطلب در سرعت‌های بالا که برای شناور تندرو اهمیت دارد، محسوس‌تر است.برای بهینه‌سازی مقاومت با توجه به شکل باید تریم اولیه را افزایش داد که باعث افزایش تریم دینامیکی و در نتیجه کاهش مقاومت می‌شود، اما از طرفی برای افزایش این زاویه محدودیت‌هایی از جمله احتمال وقوع پدیده پورپویزینگ و ناپایداری وجود دارد.

پس از محاسبه نیروی مقاومت شناور، طبق رابطه(۶) زیر توان مفید برای دست‌یابی به سرعت مورد نظر قابل محاسبه است. R' مقاومتی است که در اثر ناآرامی آب، زبری بدنه و... به مقاومت کل افزوده‌می‌شود.

$$P = (R + R') \times \eta \times V \qquad (۶)$$

تخمین سرعت بر اساس مقایسه‌ی نمودار نیروی تراست مورد نیاز در شناور و نیروی تراست تولید شده توسط سیستم واترجت در سرعت‌های مختلف انجام می‌گیرد. هر کجا این دو نمودار یکدیگر را قطع کنند، نقطه‌ی تقاطع حداکثر سرعت قابل دست‌یابی را نشان می‌دهد.

ب) زاویه چرخش

بر اثر حرکت، سیال آب بر روی سطح شناور جریان یافته و در جهت خارج مرکز انحنای خطوط جریان، فشار افزایش می‌یابد. نتیجه این اختلاف فشار، اعمال یک نیروی عمود بر شناور (N) می‌باشد. این نیرو چرخش طولی شناور را به‌دنبال دارد. در علوم دریایی، زاویه‌ای را که در طی این چرخش، به وجود می‌آید را زاویه تریم دینامیکی می‌نامند.
زاویه تریم دینامیکی یکی از پارامترهای بسیار مهمی است که در بررسی عملکرد هر شناور باید مورد بررسی قرار گیرد. در زیر به چند مورد از موارد اهمیت محاسبه زاویه چرخش شناور در سرعت های مختلف اشاره شده‌است.

۱. در روش تحلیلی برای محاسبه نیروی درگ فشاری و همچنین درگ کل شناور به اندازه زاویه چرخش شناور نیاز داریم.

۲. برای محاسبه نیروی درگ از روش آزمایش تست مدل، میزان مساحت خیس شناور در هر سرعت، باید مشخص باشد. با دانستن میزان بالا آمدن شناور (لیفت) و زاویه چرخش، می‌توان این کمیت را به‌دست‌آورد.

۳. نمودارهای انتشار یافته برای پیش‌بینی احتمال وقوع پدیده پورپویزینگ، مقدار زاویه چرخش بحرانی در سرعت-های متفاوت را نشان می‌دهند. بنابراین برای بررسی این پدیده، به محاسبه گشتاورهای وارد بر شناور و در نهایت به اندازه‌گیری میزان تریم دینامیکی نیازمندیم.

۴. برای جلوگیری از محدود شدن زاویه دید سرنشینان و یا احتمال واژگونی در سرعت‌های کاری شناور، باید از چرخش بیش از حد شناور جلوگیری شود.

۵. با داشتن درک درستی از نحوه چرخش شناور در سرعت های مختلف، می‌توان محدوده‌ای از سرعت را که زاویه تریم دینامیکی در آن از حد مجاز فراتر می‌رود را شناسایی و پیش‌بینی کرد و تا حد امکان از حرکت در این سرعت‌ها دوری نمود و به استفاده کنندگان از شناور هشدار داد.

به دست آوردن زاویه چرخش شناور به روش تحلیلی

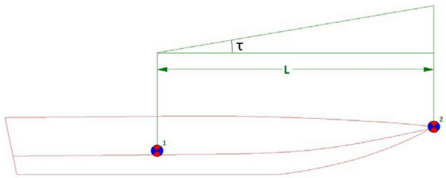
در روش تحلیلی با استفاده از فرمول‌های تدوین شده توسط پروفسور ساویتسکی زاویه تریم به‌دست می‌آید. رابطه ی (7) شرط برقراری همزمان تعادل نیرویی در راستای افقی و عمودی و تعادل ممان پیچشی را نشان می‌دهد.

$$\Delta\left\{\frac{[1-\sin\tau\ \sin(\tau+\epsilon)]c}{\cos\tau} - f\ \sin\tau\right\} + D_f(a-f) = 0 \qquad (7)$$

برای حل این رابطه باید از روش نیوتن استفاده‌کرد. با جای‌گذاری اعداد مختلف به‌جای زاویه‌ی تریم، مقدار معادله مثبت یا منفی خواهدشد. با میان‌یابی بین مقادیر مختلف العلامت، می‌توان زاویه تریمی به‌دست‌آورد که منجر به صفر شدن رابطه (7) گردد.

به دست آوردن زاویه چرخش شناور به روش تجربی

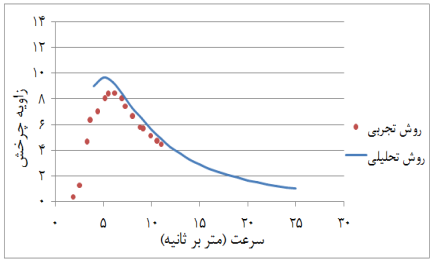
در فرایند تست مدل برای ثبت میزان چرخش طولی شناور، تغییرات موقعیت عمودی دو نقطه از شناور (Δz) توسط وسیله‌ای به نام تریم‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. در این‌جا مطابق شکل زیر، دو تریم سنج به نقطه‌ی مرکز جرم و نقطه‌ای جلوی شناور متصل شده‌است. زاویه چرخش با استفاده از رابطه ی(8) زیر به دست می‌آید.



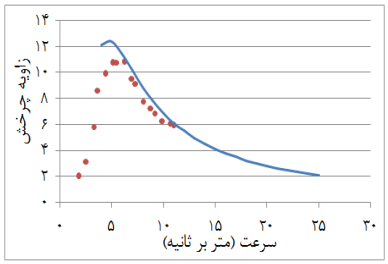
مکان اتصال دو تریم سنج و نحوه‌ی محاسبه زاویه تریم

$$\tau = tan^{-1}(\frac{\Delta z_2 - \Delta z_1}{L}) + \alpha \qquad (8)$$

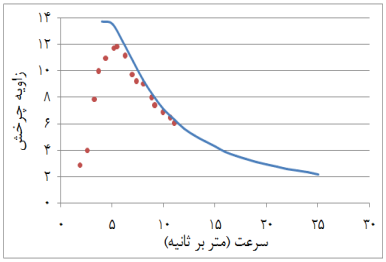
نمودارهای مربوط به زاویه‌ی چرخش شناور که با استفاده از روش تحلیلی ساویتسکی بدست آمده با روش تست مدل مقایسه شده.



زاویه چرخش تریم اولیه صفر



زاویه چرخش، تریم اولیه یک



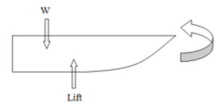
زاویه چرخش، تریم اولیه دو

نمودارها نشان می‌دهند که زاویه چرخش شناور در سرعت‌های کاری (بیش از ۳۰ گره دریایی) کمتر از ۳ درجه بوده و در سرعت‌های بالا، تاثیر موقعیت طولی مرکز جرم قابل چشم‌پوشی است.

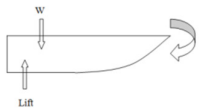
همچنین نزدیکی مقادیر تجربی و تحلیلی در نمودارها به وضوح مشخص است که ما را به دقت در اجرای هر دو روش در محاسبه زاویه چرخش شناور مطمئن سازد. این نمودارها نیز همانند نمودارهای مقاومت تاییدکننده مناسب بودن روش ساویتسکی برای پیش‌بینی رفتار شناور در سرعت‌هایی که در آنها نتایج تست را نداریم، می‌باشند.

ج) پورپویزینگ

پدیده پورپویزینگ که اصطلاحا ناپایداری طولی نامیده می‌شود، یکی از پدیده‌های نامطلوب در شناورهای تندرو پلنینگ است. در این حالت، سینه شناور بطور متناوب بالا و پائین رفته و روی سطح آب کوبیده می‌شود که بروز این وضعیت، کارآیی شناور را مختل می‌کند. در واقع در این پدیده حرکات در راستای محور عمودی و چرخش حول محور عرضی بطور تناوبی و پیوسته تکرار می‌شوند. مطابق شکل علت این حرکات، بروز گشتاور بین مراکز اثر نیروی وزن و نیروی لیفت می‌باشد که شناور قادر به ایجاد تعادل نیرویی نیست و این حرکت بطور تناوبی ادامه می‌یابد. میزان فاصله بین نیروی وزن و نیروی لیفت، شدت ناپایداری را تعیین می‌کند.



الف- سرعت‌های پایین و شروع حرکت

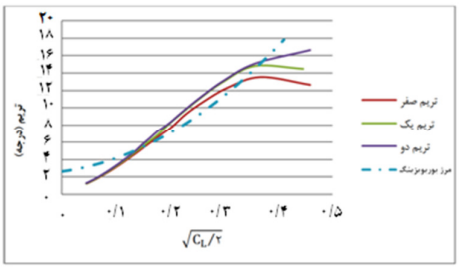


ب- سرعتهای بالا

جابجایی مرکز فشار و ایجاد گشتاور ناپایداری طولی

هنگامی که شناور سرعت می‌گیرد، اگر مرکز اثر این دو نیرو بر هم منطبق باشد در واقع هیچ‌گونه ممان پیچ بر شناور وارد نمی‌شود. در شکل زیر نمودار آبی رنگ مرز وقوع پورپویزینگ را برای شناوری با ددرایز ۲۴ درجه نشان می‌دهد که از مقاله ساویتسکی بدست آمده است. اگر نمودار τ بر حسب $\sqrt{C_L/2}$ را برای شناوری با ددرایز ۲۴ درجه در تریم اولیه مشخص رسم شود قسمت‌هایی که بالای این منحنی قرارمی‌گیرد نشان‌دهنده حالت ناپایدار یا در واقع پورپویزینگ شناور می‌باشد. C_L از رابطه ی (9) بدست می‌آید.

$$C_L = \frac{\Delta}{1/_2 \rho V^2 B^2} \qquad (9)$$



مقایسه نمودار تریم برحسب $\sqrt{C_L/2}$ با مدل ساویتسکی در تریم‌های استاتیکی مختلف

د) اسپری ریل[۸]

در شناورهای تندرو جهت افزایش قدرت مانوردهی، تولید نیروی لیفت و افزایش نیروی اصطکاک جهت جلوگیری از سرخوردن شناور، تعداد مشخصی اسپری‌ریل در کف شناور نصب‌می‌گردد. با استفاده از روابط (10)تا(15)زاویه θ (که زاویه لبه اسپری نسبت به کیل[۹] است)را می‌توان محاسبه کرد[۲].

طول AB از رابطه ی (15) قابل محاسبه است که b عرض شناور در همان مقطع است (عرض اسپری ریل در طول شناور متغیر است [۷].

$$\tan\theta = \tan\varphi \cos\beta \qquad (10)$$

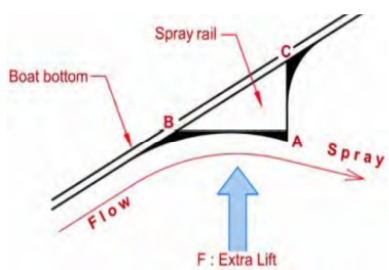
$$\tan\varphi = \frac{A+k_1}{1-Ak_1} \qquad (11)$$

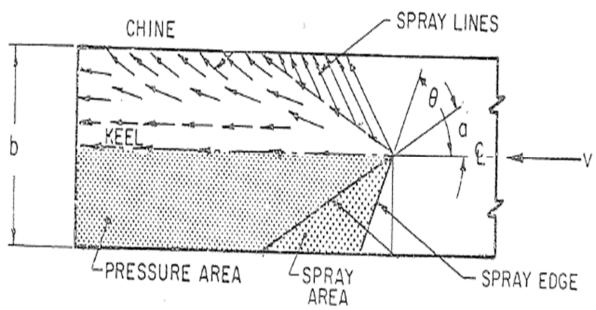
$$A = \frac{\{\sin\tau^2(1-2k)+k^2\tan\tau^2\left[\left(1/\sin\beta^2\right)-\sin\tau^2\right]\}^{1/2}}{\cos\tau+k\tan\tau\sin\tau} \qquad (12)$$

$$k_1 = \frac{k\tan\tau}{\sin\beta} \qquad (13)$$

$$K=\frac{\pi}{2}\left(1-\frac{3\tan\beta^2\cos\beta}{1/7\pi^2}-\frac{\tan\beta\sin\beta^2}{3/3\pi}\right) \qquad (14)$$

$$AB = 0/06\,(b/2) \qquad (15)$$





نتیجه گیری

در این مقاله با تشریح خصوصیات شناورهای تندرو،پارامترهای اولیه هیدرواستاتیکی مورد بررسی قرار گرفت. برای آنالیز هیدرودینامیک عملیات تست مدل انجام گرفت، نتایج بدست‌آمده از آن با نتایج حاصل از روش ساویتسکی مقایسه شد. همچنین توضیح داده شد اختلاف فشار جریان سیال زیر شناور، نیروی عمودی بر آن وارد میکند که چرخش شناور را به دنبال خواهد داشت. برای بررسی عملکرد هر شناور محاسبه ی زاویه ی چرخش آن اهمیت بسیار دارد.

در نهایت پدیده ی نامطلوب پورپویزینگ یا همان ناپایداری طولی شرح داده شد. همان طور که نمودار نشان می دهد یکی از راه های جلوگیری از این پدیده کاهش زاویه چرخش می باشد، که به دلیل افزایش مقاومت همیشه مطلوب نخواهد بود.

۹:Spray rail
۱۰:keel

تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است از گروه علمی پژوهشی توربو دانشگاه صنعتی اصفهان تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

مراجع

[1] Savitsky, Daniel, Gore, Jerry L, ‘‘Re-Evaluation of planning Hull Form,” J.Hydronautcs. April 1980.

[2] HSC Code (۲۰۰۰), Annex 8 Stability of mono-hull craft.

[3] Savitsky, Daniel, ‘‘Hydrodynamic Design of Planing Hulls,” Marine Technology, SNAME, No. 1, Vol. 1, PP. 71-95, October 1964.

[۴] مونسان، محمد، کتاب جامع مهندسی معماری دریایی، کانون پژوهش، ۱۳۸۸.

[۵] ITTC (2011), International Towing Tank Conference- Recommended Procedures and Guidelines – Testing and Data Analysis Methods Resistance Test, 7.5-02-02-01.

[۶] Savitsky, Daniel, and Brown, P.Ward, ‘‘Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water,” Marine Technology, Vol. 13, No. 4, PP. 381-400, October 1976.

[۷] ریشهری، مهدی، دهقانیان، علی، عالمپور، کامبیز، طوبایی، محمدعلی، " اصول هیدرودینامیکی Spray Rail، Stepped Bottom و محاسبه عددی- تجربی مقاومت شناور تندرو"، دوازدهمین همایش صنایع دریایی، زیباکنار، مهرماه ۸۹.