

محاسبه مقاومت کاتامارانهای تندرو و ارزیابی تأثیر فرم بدنه بر عملکرد آنها

محمد سعید سیف

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی شریف

ابراهیم امینی ماندی محله

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی شریف

(تاریخ دریافت ۸۱/۴/۱۸، تاریخ تصویب ۸۱/۱۲/۱۰)

چکیده

در این مقاله روابطی برای محاسبه مقاومت و تریم کاتامارانهای Planing در آب آرام ارائه می شود. این کار با استفاده از روابط تجربی Savitsky برای شناورهای Planing و اصلاح آنها برای شناورهای دودبند ای Planing صورت می گیرد. بر اساس روش ارائه شده، نرم افزاری تهیه شده است که با استفاده از این نرم افزار منحنی های مقاومت و تریم یک کاتاماران در سرعت های مختلف قابل محاسبه است. همچنین با کمک نرم افزار مورد نظر، تأثیر برخی پارامترهای مهم (از قبیل وزن جابجایی، موقعیت طولی مرکز ثقل، زاویه Deadrise، نسبت طول به عرض شناور و فاصله نیم بدنه ها از یکدیگر) روی عملکرد شناور بررسی گردیده است. این ارزیابی می تواند برای طراحان و پیش بینی های اولیه اینگونه شناورها در مرحله طراحی مقدماتی بسیار مفید باشد.

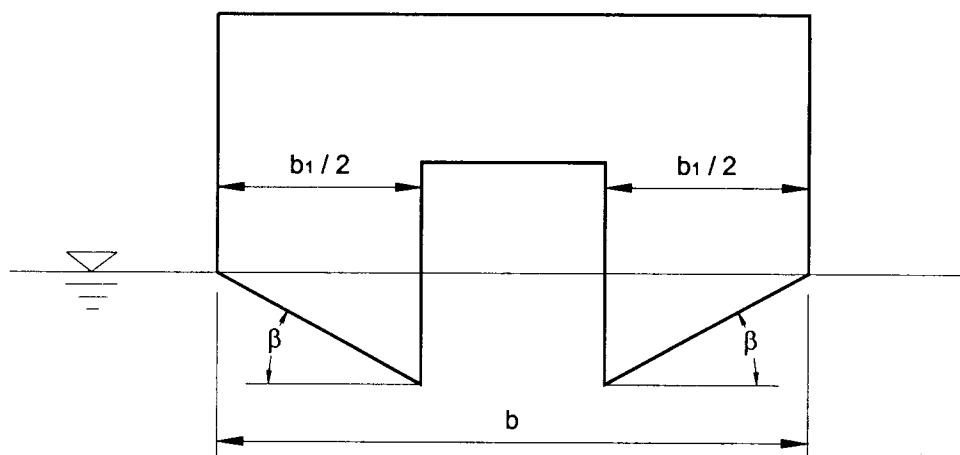
واژه های کلیدی: شناورهای تندرو، شناور Planing، کاتاماران

مقدمه

در چند دهه اخیر شناورهای تندرو اهمیت فوق العاده ای پیدا کرده اند. برای دستیابی به سرعت های بالا فرم بدنه های مختلفی پیشنهاد، طراحی و ساخته شده اند. یکی از متداولترین آنها کاتاماران می باشد. این نوع شناور با دو بدنه جدا از هم (هر یک از آنها، نیم بدنه^۱ نامیده می شود) و عرشه ای که این دو را به هم متصل می کند شناخته می شود. در فعالیتهایی از قبیل جابجایی مسافر، گشتهای نظامی و شیلات، فعالیتهای تحقیقاتی و تفریحی و ... یکی از بهترین انتخابها کاتامارانها هستند. کاتامارانها دارای مساحت عرشه بزرگی بوده و پایداری عرضی مناسبی دارند و همچنین هنگام حرکت در امواج، نسبتاً دچار حرکات کمتری می شوند [۱].

کاتامارانهای تندرو عموماً از نوع Planing هستند یعنی با سرعت گرفتن - در اثر ایجاد نیروی لیفت هیدرودینامیکی - آبخور شناور کم می شود و بنابراین سطح خیس آن کاهش می یابد. بخاطر کاهش در سطح خیس، این شناورها قادر خواهند بود به سرعت های بالایی دست یابند. برای حصول به این هدف، فرم بدنه ویژه ای مورد نیاز است. با ایجاد شکستگی در فرم بدنه (این شکستگی Chine نامیده

می شود) می توان به این هدف دست یافت. شکل (۱) مقطع عرضی یک کاتاماران نوع Planing را در حالت بسیار ساده نشان می دهد. در این شناور زاویه Deadrise و عرض کل و عرض نیم بدنه ها در طول شناور ثابت می باشد. و لذا می توان آن را کاتاماران منشوری نامید. برای محاسبه مقاومت کاتامارانها می توان از روشهای مختلفی استفاده کرد. یکی از این روشها، استفاده از روابط آماری و یا آماری می باشد که بدلیل دقت نسبتاً پائین آنها تنها در مراحل اولیه طراحی کاربرد دارند. روشهای عددی یکی دیگر از روشهایی است که می توان از آنها برای تخمین مقاومت شناورها در فرآیند طراحی استفاده کرد. این روشها با استفاده از المان مرزی می توانند به این مهم نائل شوند اما هنوز دقت آنها مورد اعتماد صنایع و مراکز طراحی قرار نگرفته است. در فرآیند طراحی یک کشتی، تست مدل یکی از مهمترین بخشهایی است که انجام آن ضروری است. در این تستها مدل یک کشتی با ابعاد کوچک ساخته می شود و پس از تست آن نتایج تست برای کشتی بدست می آید. گرچه هنوز ارتباط مدل با کشتی مشکلاتی به همراه دارد، اما تست مدل بعنوان دقیقترین روش تعیین



شکل ۱: نمای عرضی یک شناور کاتاماران مورد استفاده در برنامه کامپیوتری.

مقاومت شناورهای **Planing** تک بدنه ای را با روش تجربی **Savitsky** بدست آورد. اساس روش محاسبه مقاومت کاتامارانها همانند شناورهای تک بدنه می باشد (در مرجع [۸] روش محاسبه مقاومت شناورهای **Planing** تک بدنه و میزان دقت روش مورد نظر بطور مفصل تشریح شده است). البته با توجه به دو بدنه جداگانه در کاتامارانها، باید تصحیحاتی را در روش **Savitsky** برای استفاده از آن به عمل آورد. همانطور که در شکل (۱) ملاحظه می شود بدنه کاتامارانهای **Planing** از یک سطح بنام عرشه و دو نیم بدنه **V** شکل تشکیل می شود. عرض کل بدنه برابر **b** و مجموع عرض دو نیم بدنه برابر b_1 در نظر گرفته می شود. نسبت بین این دو عرض، نسبت جدایش^۳ تعریف می شود:

$$r = \frac{b_1}{b} \quad (1)$$

با فرض اینکه b_1 عرض مؤثر سطح **Planing** باشد معادلات **Savitsky** را می توان بکار برد و طبق روند زیر مقاومت و تریم کاتامارانهای نوع **Planing** بدست می آید. در ابتدا باید ضریب سرعت، ضریب لیفت در زاویه **Deadrise** برابر β و ضریب لیفت در زاویه **Deadrise** برابر صفر درجه را بدست آورد:

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{gb}} \quad (2)$$

مقاومت محسوب می شود [۲].

محاسبه مقاومت کاتامارانها بسیار پیچیده است و معمولاً برای تعیین مقاومت این شناورها از تست مدل استفاده می شود. علت این پیچیدگی، تأثیر هر نیم بدنه روی مقاومت نیم بدنه دیگر است که به آن اثر تداخل^۲ گفته می شود. برای اولین بار **Savitsky** و **Dingee** در سال ۱۹۵۴ روی اثر تداخل دو سطح تخت **Planing** موازی مطالعه کردند. آنها دریافتند که وقتی دو سطح خیلی به هم نزدیک باشند، لیفت تولید شده بزرگتر از حالتی است که فاصله صفحات از یکدیگر زیاد باشد. **Liu** و **Wang** در سال ۱۹۷۹ با انجام آزمایشهایی نتیجه گرفتند که فاکتور تداخل به پارامترهای مختلفی (از قبیل سرعت و فرم بدنه شناور) بستگی دارد و مقدار دقیق آن تنها از طریق آزمایش قابل تعیین است [۳]. **Insel** در سال ۱۹۹۰ مطالعات و تستهای فراوانی روی کاتامارانها نیمه **Planing** انجام داد [۴] و [۵] که در این تحقیقات تا حدی تأثیر هر نیم بدنه روی نیم بدنه دیگر در محدوده سرعتهای شروع **Planing** مشخص گردید. اما برای کاتامارانهای **Planing** تا چندی پیش نتایج قابل ذکری منتشر نشده بود. اخیراً با انجام تستهای مدل در آزمایشگاه، رابطه ای برای تخمین کاتامارانها پیشنهاد شده است که این روابط نسبت به نتایج ارائه شده توسط **Liu** و **Wang** از دقت بالاتری برخوردارند [۶].

محاسبات برای کاتامارانهای **Planing**

با توجه به روش ارائه شده در مرجع [۷] می توان

بنابراین R_f (نیروی مقاومت اصطکاکی) با رابطه (۸) تعیین خواهد گردید:

$$R_f = \frac{\rho V_m^2 b^2 C_f}{2 \cos \beta \cos \tau} \quad (۸)$$

از طرف دیگر R_p (نیروی مقاومت فشاری) به کمک رابطه (۹) بدست می آید. این نیرو در واقع مؤلفه ایی از نیروی لیفت وارد بر شناور است:

$$R_p = \Delta \cdot \tan \tau \quad (۹)$$

نیروی مقاومت کل بدنه (بدون در نظر گرفتن ملحقات) نیز از مجموع روابط (۸) و (۹) بدست می آید:

$$R = R_f + R_p \quad (۱۰)$$

برای بدست آوردن موقعیت طولی نیروی لیفت که در تعادل طولی شناور بسیار مؤثر خواهد بود، رابطه زیر برای محاسبه ضریب C_p در مرجع [۳] در نظر گرفته شده است:

$$C_p = 0.75 - \frac{1}{2.39 + 5.21 \left(\frac{C_v^2 r}{A^2 \lambda^2} \right)} \quad (۱۱)$$

و با معلوم بودن C_p می توان با انجام محاسبات زیر زاویه تریم شناور را یافت:

$$c = LCG - C_p \lambda b \quad (۱۲)$$

$$a = VCG - \left(\frac{b}{4} \right) \tan \beta \quad (۱۳)$$

$$\Delta \left\{ \frac{[1 - \sin \tau \sin(\tau + \varepsilon)]c}{\cos \tau} - f \sin \tau \right\} + R_f(a - f) = 0 \quad (۱۴)$$

مقداری از تریم که بتواند رابطه (۱۴) را برقرار سازد، تریم شناور خواهد بود و با معلوم بودن تریم می توان با کمک روابط (۵)، (۶)، (۷)، (۸)، (۹) و (۱۰) مقدار مقاومت کاتاماران را محاسبه کرده و از آنجا توان مؤثر مورد نیاز

$$C_{L\beta} = \frac{\Delta}{\frac{1}{2} \rho V^2 b^2} \quad (۳)$$

$$C_{L\beta} = C_{L_0} - 0.0065 \beta C_{L_0}^{0.60} \quad (۴)$$

طبق آزمایشهای انجام شده برای تعیین اثر تداخل^۴ که با A نشان داده می شود. تابعی تهیه شده که تغییرات این تابع بین ۱ تا $\sqrt{2}$ می باشد. با توجه به این تابع از رابطه (۵) می توان نسبت طول متوسط سطح خیس به عرض متوسط خیس شناور (λ) را محاسبه نمود [۳]:

$$C_{L_0} = \tau^{1.1} r^{3/2} \left[0.012 \frac{\lambda^{1/2}}{A} + \left(0.0055 \frac{\lambda^{3/2} A}{C_v^2 r} \right) \right] \quad (۵)$$

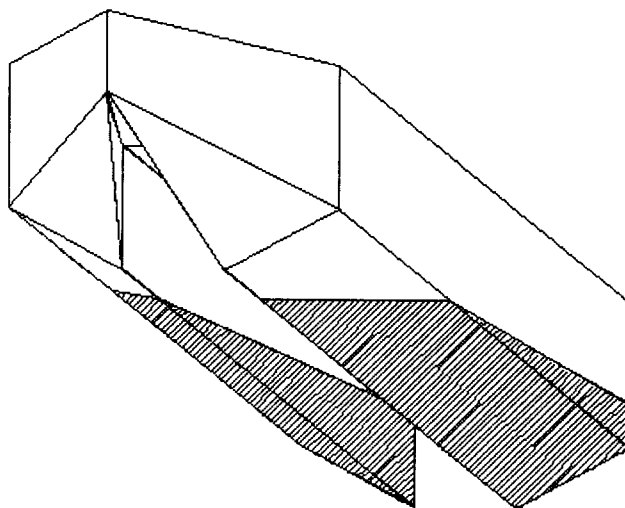
چون زاویه تریم شناور نامعلوم است، λ برای مقادیر مختلف تریم محاسبه می گردد.

بخاطر تفاوت سرعت در اطراف بدنه با سرعت پیشروی شناور، در محاسبه مقاومت ناشی از اصطکاک، از سرعت V_m استفاده می شود. این سرعت را می توان از نمودارهای موجود در مرجع [۷] بدست آورد. برای β برابر صفر می توان از رابطه (۶) برای تعیین V_m استفاده کرد:

$$V_m = V \sqrt{1 - \frac{0.012 \tau^{1.1}}{\sqrt{\lambda} \cos \tau}} \quad (۶)$$

ضریب اصطکاک با کمک روش ۵۷ - ITTC و همچنین با در نظر گرفتن زبری سطح بصورت زیر محاسبه می گردد [۹]:

$$\begin{aligned} C_F &= \Delta C_F + C_{F_0} \\ &= 0.0004 + \frac{0.075}{(\log_{10} \text{Re} - 2)^2} \\ &= 0.0004 + \frac{0.075}{\left(\log_{10} \left(\frac{V_m \lambda b}{\nu} \right) - 2 \right)^2} \end{aligned} \quad (۷)$$



شکل ۲: نمایش سطح خیس کاتاماران منشوری .

به عرض و فاصله نیم بدنه ها از یکدیگر در سرعت‌های مختلف روی مقاومت و زاویه تریم یک شناور کاتاماران **Planing** مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور شناور انتخاب شده دارای فرم بدنه ای مطابق شکل (۳) می‌باشد. همچنین مشخصات این شناور در شکل (۳) آورده شده است:

شناور مورد استفاده در این مقاله (شکل ۳) بصورت **Hard Chine** بوده و منحنی مقاومت و تریم آن با تست مدل بدست آمده که نتایج تست آن در منحنی شکل (۵) آورده شده است. در شکل (۴) تغییرات سطح خیس کاتاماران فوق در سرعت‌های محدوده **Planing** نشان داده شده است. این نمودار بر اساس رابطه (۱۶) رسم شده است. از این شکل می‌توان پدیده **Planing** را ملاحظه نمود. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود با افزایش سرعت، سطح خیس شناور کاهش می‌یابد و شناور به حالت **Planing** در می‌آید.

شکل (۵) تأثیرات تغییر سرعت بر مقاومت و تریم کاتاماران مورد نظر را نمایش می‌دهد. در این محاسبات مشخصات شناور ثابت و فقط سرعت آن تغییر داده شده است. در این شکل نتایج برنامه تهیه شده از روش **Savitsky** (شامل روش کلی تشریح شده در این مقاله و روش ساده) با مدل تست انجام گرفته روی آن و همچنین نرم افزار تهیه شده توسط شرکت **Arneson** [۱۰] مقایسه شده است. نتایج بدست آمده از نرم افزار فقط در محدوده **Planing** رسم

برای کاتاماران جهت دستیابی به سرعت V برابر خواهد بود با:

$$EHP = R \cdot V \quad (15)$$

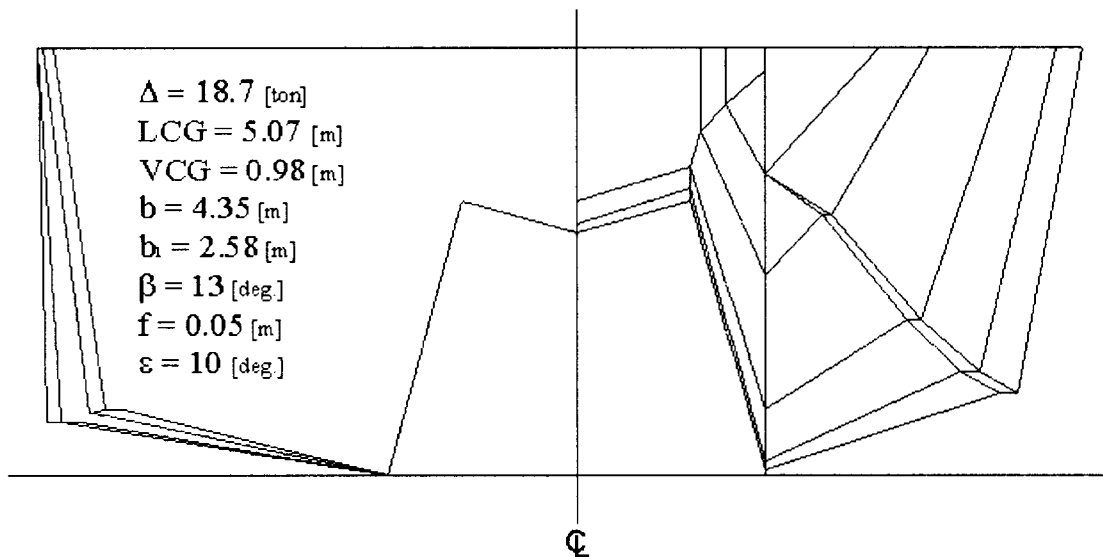
سطح کل خیس کاتاماران برابر مجموع دو سطح داخلی خیس شده و سطوح کف شناور می‌باشد (شکل ۲ کل سطح خیس شناور را نشان می‌دهد). که رابطه (۱۶) برای محاسبه آن مناسب می‌باشد [۳]:

$$S = b^2 [(\tau/\cos\beta) + 2 \lambda \tan\tau] \quad (16)$$

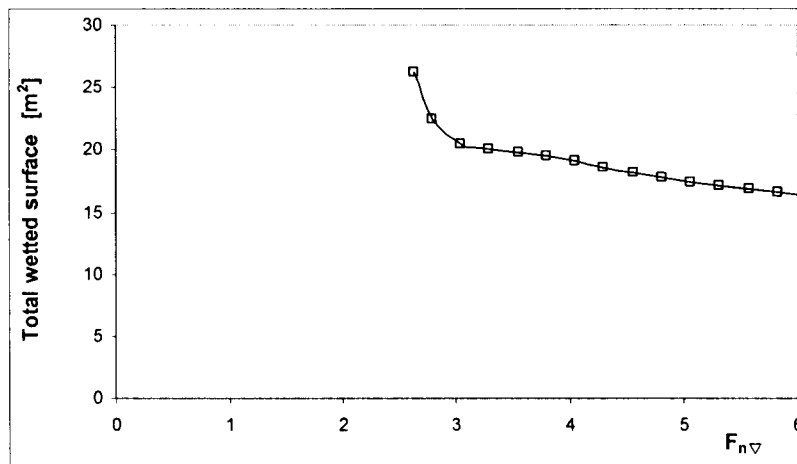
نرم افزار کامپیوتری

بر اساس تعاریف و روابط ارائه شده، نرم افزار کامپیوتری تهیه گردیده که به کمک آن امکان انجام محاسبات بصورت سریع و انجام بررسی‌های مختلف فراهم آمده است. این نرم افزار از حالت کلی که نیروهای وارد بر شناور بر نقاط مختلف اثر می‌کنند (نیروها لزوماً بر یک نقطه وارد نمی‌شوند)، استفاده می‌کند، به این حالت اصطلاحاً **General Case** گفته می‌شود. در این نرم افزار حالت ساده^۵ که در آن فرض می‌گردد تمام نیروهای اعمالی به شناور در مرکز ثقل اثر می‌کنند نیز بررسی شده است.

جهت بررسی پارامتری، تأثیرات پارامترهای وزن جابجایی، موقعیت مرکز ثقل طولی، زاویه **Deadrise**، نسبت طول



شکل ۳: فرم بدنه کاتاماران Planing.



شکل ۴: منحنی تغییرات سطح خیس کاتاماران در سرعت‌های مختلف.

و تریم شناورهای کاتاماران Planing مشخص است. در این شکل اختلافی که بین نتایج حاصله از نرم افزار با نتایج مدل تست مشاهده می شود بخاطر تفاوت فرم بدنه مورد استفاده در این دو روش می باشد زیرا در نرم افزار که از نتایج روش Savitsky استفاده می کند از فرم بدنه منشوری استفاده شده و زاویه Deadrise (β)، عرض شناور (b)، و مجموع عرض نیم بدنه ها (b_1) در طول شناور ثابت می باشد اما در کاتامارانی که با آن تست انجام گرفته، زاویه β و b و b_1 در طول شناور ثابت نبوده و تغییر می نماید. همچنین بخاطر تقریبی که در محاسبه فاکتور A وجود دارد، تفاوتی بین پاسخها قابل انتظار است.

در شکل (۵) ملاحظه می شود که نتایج بدست آمده از

شده اند زیرا روش تجربی Savitsky - که نرم افزار مورد نظر از آن استفاده می کند - برای سرعت‌های Planing تهیه شده است. نتایج بدست آمده از نرم افزار بصورتی می باشد که در ابتدای محدوده Planing مقادیر بزرگی از مقاومت و تریم مشاهده می شود. این قسمت نشان دهنده قله منحنی مقاومت - سرعت در شروع عمل Planing می باشد و برای اینکه شناوری بخواند به Planing برسد باید توان آن بقدری باشد که بتواند بر مقاومت شناور در این محدوده غلبه نماید. البته همانطور که اشاره شد، با توجه به اینکه اعتبار روابط مورد استفاده محدود به قسمت Planing است، از لحاظ عددی مقادیر فوق قابل استفاده نبوده و نمی توان آنها را مبنا قرار داد.

در شکل (۵) دقت نرم افزار تهیه شده برای محاسبه مقاومت

حالت کلی^۶ و حالت ساده بررسی شده در این نرم افزار بسیار به هم نزدیک بوده و اختلاف آنها قابل صرفنظر کردن می باشد (اختلاف این دو حالت برای سرعت‌های مختلف در شکل (۶) نشان داده شده است). بعبارت دیگر در نوع شناورهای فوق، فرض تأثیر تمامی نیروها در مرکز ثقل، در سرعت‌های بالا فرض مناسب و قابل قبولی است.

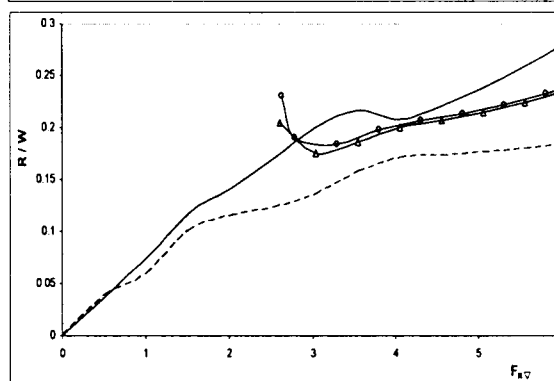
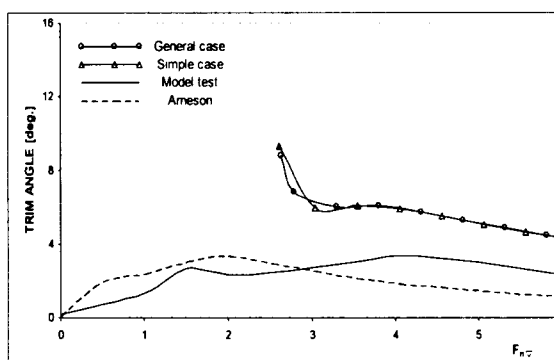
ارزیابی تأثیر فرم بدنه بر عملکرد شناور

همانطور که اشاره شد، هدف از تهیه نرم افزار فوق انجام محاسبات پارامتریک و ارزیابی تغییرات عوامل مختلف در عملکرد شناور کاتاماران است. شکل (۷) تغییرات درگ و تریم کاتاماران Planing را با تغییرات پارامترهای مختلف نشان می دهد. هر یک از منحنی های این شکل بترتیب برای تغییرات وزن جابجایی، LCG، زاویه Deadrise، نسبت طول به عرض و نسبت I شناور رسم شده است. هر یک از موارد فوق طوری تغییر می کنند که سایر مشخصات شناور ثابت بوده و تنها در هر منحنی یکی از آنها تغییر می نماید.

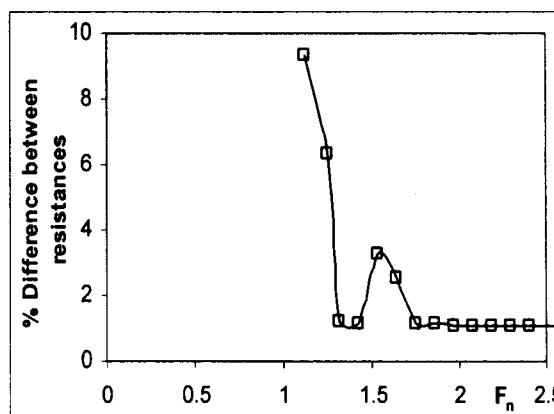
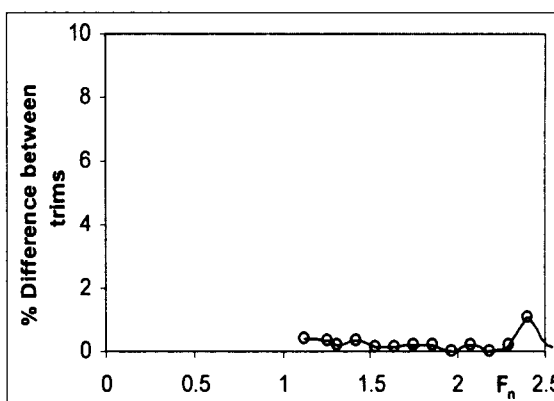
براساس بررسیهای پارامتریک - با توجه به شکل (۷) نتایج ذیل را می توان بیان نمود:

۱- افزایش مقدار جابجایی (Δ) موجب افزایش مقدار درگ شناور می شود (این نتیجه برای شناورهای تک بدنه Planing نیز در مراجع [۸] و [۱۱] بدست آمده است). بطوریکه افزایش درگ در شروع Planing بطور مشهودتری ملاحظه می شود. بنابراین جابجایی شناور در وقوع Planing بسیار مؤثر است زیرا اگر جابجایی شناور زیادتر از حد معمول باشد، ممکن است که Planing برای شناور رخ ندهد. همچنین افزایش جابجایی موجب بالا رفتن زاویه تریم شناور در کلیه سرعت‌های Planing می گردد.

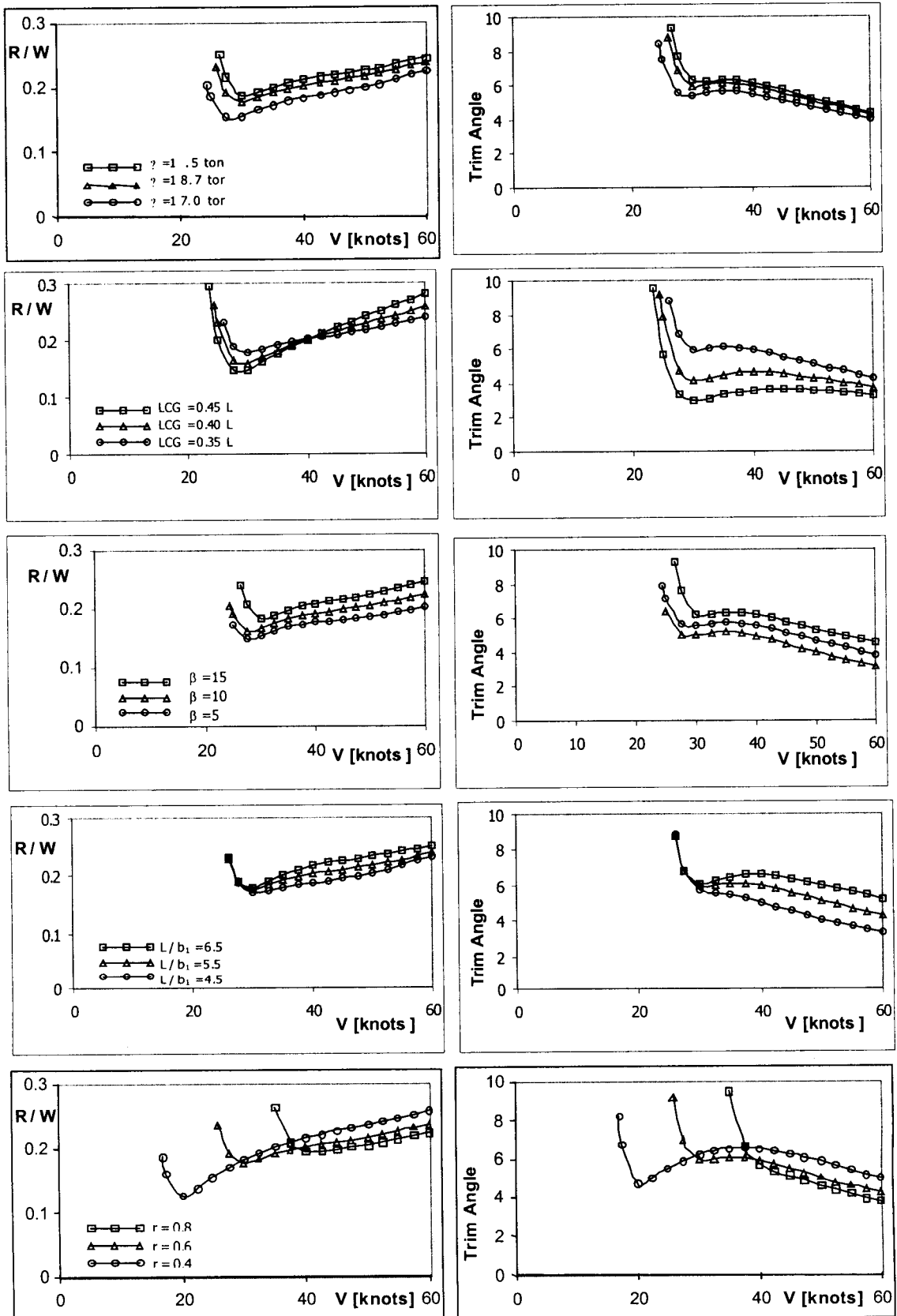
۲- موقعیت مرکز ثقل شناور در مقاومت و تریم آن مؤثر می باشد. هرچه مرکز ثقل به پاشنه شناور نزدیکتر باشد (متناظر با LCG کمتر) مقاومت شناور در شروع Planing بیشتر خواهد بود. اما با افزایش سرعت، LCG کمتر متناظر با مقاومت کمتر خواهد بود زیرا هرچه مرکز ثقل به پاشنه نزدیکتر شود، جدا شدن دماغه شناور از آب سهولت خواهد بود و سطح خیس کمتری در حالت Planing خواهد داشت. در ضمن انتظار می رود که



شکل ۵: تغییرات تریم و مقاومت کاتاماران Planing در سرعت‌های مختلف.



شکل ۶: اختلاف مقادیر مقاومت و تریم کاتاماران Planing در دو حالت General Case و Simple Case در سرعت‌های مختلف.



شکل ۷: بررسی پارامتریک کاتاماران Planing.

توجهی دارد. این نتیجه را می توان به نحوی از شکل (۸) نیز استنتاج کرد. مطابق این شکل، افزایش Γ (نزدیکتر شدن نیم بدنه ها) موجب بالا رفتن سرعت شروع Planing خواهد شد.

۷ - در نهایت دو نتیجه اخیر را می توان بدین طریق خلاصه کرد که: برای بهبود عملکرد شناور در آغاز Planing بایستی تا حد امکان نیم بدنه ها از یکدیگر دور باشند. اما در سرعت های بالا، نزدیکتر بودن نیم بدنه ها عملکرد بهتری را نتیجه خواهد داد. لذا در طراحی کاتامارانهای Planing باید فاصله بهینه را بین نیم بدنه ها انتخاب کرد.

جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله ضمن مرور روش Savitsky، نرم افزار کامپیوتری تهیه شده تشریح گردیده و دقت و محدوده اعتبار آن مورد بررسی قرار گرفت. بطور خلاصه نتایج محاسبات پارامتریک در خصوص شناورهای کاتاماران Planing در محدوده های معمول نشان می دهند که:

- افزایش جابجایی (Δ) موجب افزایش درگ و تریم شناور می شود.
- افزایش LCG موجب افزایش درگ و کاهش تریم در سرعت های بالا می گردد.
- زوایای Deadrise بالاتر، درگ و تریم بیشتری را نتیجه می دهند.
- در محدوده Planing نسبت های طول به عرض بالاتر متناظر با درگ و تریم بیشتر می باشد.
- فاصله کمتر نیم بدنه های کاتاماران متناظر با مقاومت و تریم بالاتر در شروع Planing و مقاومت و تریم کمتر در سرعت های بالا می باشد.

در انتها باید خاطر نشان ساخت که در این مقاله تأثیر پارامترها روی مقاومت (و در نتیجه توان مؤثر) و تریم شناورهای کاتاماران نوع Planing بررسی شده و نتایج حاصله می تواند در طراحی این نوع از شناورها مد نظر قرار گیرد. طبیعتاً برای داشتن طراحی دقیقتر، لازم است اثر پارامترهای مختلف فوق در امواج از لحاظ تعادل طولی و عرضی مطلوب، جلوگیری از اسلیمینگ، شتابهای قائم مناسب و ... نیز در نظر گرفته شود. همچنین انجام

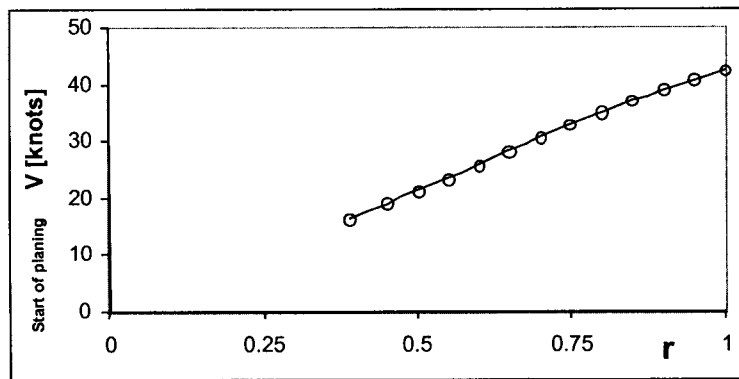
LCG کمتر، تریم بیشتری را برای شناور نتیجه دهد. یعنی عقبتر بودن مرکز ثقل موجب افزایش تریم شناور می گردد که این پدیده در شکل (۷) نیز ملاحظه می شود.

۳- افزایش زاویه Deadrise باعث افزایش مقاومت شناور می گردد زیرا زاویه Deadrise بزرگتر موجب فرورفتن بیشتر شناور در آب شده و بدین ترتیب مقاومت شناور افزایش خواهد یافت. همچنین افزایش این زاویه باعث می شود تا تریم شناور نیز افزایش یابد. با توجه به این بحث نتیجه می شود که هر چه زاویه Deadrise کوچکتر باشد مقاومت کمتری خواهیم داشت. در مرجع [۸] نیز این نتیجه برای شناورهای Planing تک بدنه گرفته شده است. البته باید توجه داشت که زاویه Deadrise کمتر مشکلاتی را نیز بوجود می آورد. مثلاً احتمال وقوع اسلیمینگ را افزایش خواهد داد.

۴- یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر بر عملکرد بدنه Planing نسبت طول به عرض شناور می باشد. مطابق شکل (۷) با افزایش نسبت طول به عرض هر نیم بدنه، تریم شناور افزایش می یابد. همچنین نسبت های طول به عرض بزرگتر، مقاومت بزرگتری را نتیجه خواهد داد.

۵- همانطور که در شکل (۷) نیز ملاحظه می شود، هر چه نیم بدنه ها از هم دورتر باشند (یعنی Γ کوچکتر باشد)، در شروع Planing کاتاماران دارای مقاومت و تریم کمتری خواهد بود زیرا هر نیم بدنه روی نیم بدنه دیگر تأثیر کمتری خواهد گذاشت. همانطور که در شکل نیز ملاحظه می شود، در سرعت های بالا تأثیر فاصله بین نیم بدنه ها از یکدیگر عکس حالت قبل خواهد بود یعنی با افزایش فاصله نیم بدنه ها از یکدیگر، مقاومت و تریم کاتاماران افزایش خواهد یافت لازم به توضیح است که این نتیجه برای مقاومت کاتامارانها در مرجع [۶] و با انجام تست مدل نیز بدست آمده است.

۶ - علاوه بر نتایج فوق، در شکل (۷) مشاهده می شود که دورتر بودن نیم بدنه ها از یکدیگر متناظر با زودتر رسیدن شناور به حالت Planing می باشد. بعبارت دیگر شناور در سرعت های کمتر و با مقاومت کمتری به حالت Planing در می آید. این نتیجه می تواند در انتخاب موتور شناور مؤثر باشد زیرا در انتخاب موتور شناورها، عموماً مقدار و محل قله مقاومت در شروع Planing تأثیرات قابل



شکل ۸: تأثیر فاصله بین نیم بدنه ها در شروع Planing.

C_F : ضریب مقاومت اصطکاکی با در نظر گرفتن زبری سطح

ΔC_F : ضریب مقاومت اصطکاکی زبری سطح

C_{F_0} : ضریب مقاومت اصطکاکی

Re: عدد رینولدز

ν : لزجت سینماتیکی سیال

R_f : مقاومت اصطکاکی

R_p : مقاومت فشاری

R: درگ هیدرودینامیکی کل

C_p : فاصله مرکز فشار (نیروی هیدرودینامیکی) از عقب شناور

C: فاصله بین نیروی وارد بر کف شناور تا مرکز ثقل

LCG: فاصله طولی مرکز ثقل از عقب شناور

a: فاصله بین D_f و مرکز ثقل شناور

VCG: فاصله عمودی مرکز ثقل از کیل

ε : زاویه بین نیروی تراست با خط کیل

f: فاصله بین نیروی تراست پروانه و مرکز ثقل شناور

EHP: توان مؤثر

S: کل سطح خیس شده کاتاماران

آزمایشهای گسترده در آزمایشگاههای دریایی و بررسی تأثیر عوامل جزئی تری مانند تغییرات β در طول شناور، شیب داخلی نیم بدنه ها و ... می تواند نتایج بسیار مفیدی فراهم آورد.

فهرست علائم

b: عرض شناور

b_1 : عرض کل دو نیم بدنه کاتاماران

r: نسبت جدایش

C_v : ضریب سرعت

V: سرعت شناور

g: شتاب ثقل

$C_{L\beta}$: ضریب لیفت برای شناور با Deadrise برابر β

Δ : وزن جابجایی شناور

ρ : چگالی آب

β : زاویه Deadrise

C_{L_0} : ضریب لیفت برای شناور با Deadrise برابر صفر

A: فاکتور تداخل

τ : زاویه تریم شناور

λ : نسبت طول خیس متوسط به عرض شناور

V_m : سرعت متوسط جریان آب در زیر شناور

مراجع

- Allan, R. G. (1996). "Application and advantages of catamarans for coastal patrol vessels." *J. Marine Technology*, Vol. 33, No. 2, PP. 108-118.
- Volker, B. (2002). *Practical ship hydrodynamics*. Butterworth Heinemann, Great Britain.

- 3 – Liu, C. Y. and Wang, C. T. (1979). "Interference effect of catamaran planing hulls." *J. Hydronautics*, Vol. 13, No. 1, PP. 31-32.
- 4 – Insel, M. (1990). *An investigation into the resistance components of high speed displacement catamarans*, Ph.D. Thesis, University of Southampton.
- 5 – Insel, M. and Molland, A. F. (1991). "An investigation into the resistance components of high speed displacement catamarans." *Royal Institute of Naval Architects*.
- 6 – Amini, E. (2002). *Assessment of hull form effect on planing craft performance*. M. Sc.Thesis, Sharif University of Technology.
- 7 - Savitsky, D. (1964). "Hydrodynamic design of planing hulls." *J. Marine Technology*, Vol. 1, No. 1, PP. 71-95.
- 8 – Seif, M. S. (2002). *Parametric analysis of planing hull. Hiper'02*, Norway, PP. 369-378.
- 9 - Harvald, SV. AA. (1983). *Resistance and propulsion of ships*. John Wiley.
- 10 – "Program for estimate of new and existing planing hull designs developed at Arneson Marine." *Planing Hull Resistance and Propulsion with Surface Propellers*, 1988–1989, Web Address is: <http://www.well.com/user/pk/SPApower.html>.
- 11 - Erkki, L., Tuomo, K., Matti, H. and Timo, A. (1991). "Resistance and seakeeping characteristics of fast transom stern hulls with systematically varied form." *SNAME Transactions*, Vol. 99, PP. 85-118.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Demihull
- 2 - Interference Effect
- 3 - Separation Ratio
- 4 - Interface Factor
- 5 - Simple Case
- 6 - General Case