

بررسی تأثیر افزایش سطح صفحه‌ی ضد هوادهی پروانه‌ی موتور برون‌نصب بر عملکرد شناور با مقیاس کامل

ارسالان اقدامی

کارشناس ارشد رشته هیدرودینامیک و جلوبری - مدرس دانشگاه دریایی امام خمینه‌ای (مدظله‌العالی)، دانشکده علوم و فنون شناوری حضرت جوادالائمه (ع).
(تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۸)

چکیده

ناپایداری پُروپوزینگ در شناورهای پلنینگ یکی از خواص منفی شناور است که تأثیر زیادی بر پارامترهای آسایش مسافری، سرعت و مصرف سوخت دارد. این پدیده، از لحاظ هیدرودینامیکی، تاکنون توسط افراد زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. ولی در مورد تأثیر سامانه‌ی فلپ بر کاهش این پدیده و اثر آن بر سرعت و مصرف سوخت شناورهای پلنینگ دارای موتورهای برون‌نصب کار زیادی صورت نگرفته است. طبق تحقیقات انجام‌شده‌ی قبلی، اگر فلپ‌ها در سرعت‌های مختلف زوایای متفاوتی بگیرند، تأثیر مثبتی بر پارامترهای مذکور دارند. در قسمت بالای پروانه‌ی موتورهای برون‌نصب صفحه‌ای به‌عنوان صفحه‌ای ضد هوادهی قرار دارد که تا حدودی به‌عنوان فلپ نیز عمل می‌کند. در این تحقیق، سطح این صفحه افزایش داده شده و شناور هدف به‌صورت واقعی در دریا مورد تست قرار گرفته تا تأثیر این افزایش، بر پارامترهای ذکرشده‌ی شناور، مورد بررسی قرار گیرد. نتایج حاصله حاکی از تأثیر مثبت این افزایش سطح بر پارامترهای مذکور است.

کلمات کلیدی

شناورهای پلنینگ، فلپ قابل کنترل، حرکات در صفحه‌ی قائم، پروپوزینگ.

Evaluation of elevated the plane of anti-ventilation plate installed on outboard engine propeller on the speed, fuel consumption and craft stability with full-scale

Arsalan Eghdami

MSc of hydrodynamics and propelling - Lecturer, Faculty of Science and Technology javadolaemmeh Prophet Nedsa
(Submitted: 2016/Oct/30; Accepted: 2017/Jan/7)

Abstract

Porpoising in Stability in planing crafts is one of the negative properties Which Has great impact on the parameters passenger comfort, speed and fuel consumption. This phenomenon from the aspect of hydrodynamic Has been studied by many people. But the impact of flap system to reduce this phenomenon And its effect on speed and fuel consumption of planing crafts has outboard engine Much work has not been done. According to previous research, If flaps at different speeds, different angles to take will have a positive effect on these parameters. on top of the propeller outboard engines installed plate as the anti- ventilation plate, which also acts somewhat as a flap. In this study, increased plane of this plate and The object craft Real tested in the sea the effect of this increase, The craft parameters listed, be examined. The results showed the positive effect of increasing the plane of the aforementioned parameters.

Keywords

planing crafts, Controllable flap, Movements in the vertical plane, Porpoising

۱- مقدمه

شناورهای پلنینگ در معرض ناپایداری‌های دینامیکی متفاوتی در حرکات صفحات قائم و عرضی، از قبیل پرپویزینگ، چاین واکینگ، هیل پیش‌رونده، رول ناپایدار منجر به پیچ و یا ترکیبی از آنها می‌باشند [۱، ۲]. همه‌ی این ناپایداری‌ها نهایتاً در سرعت، میزان مصرف سوخت و عدم آسایش سرنشینان شناور تأثیر منفی می‌گذارند. در بین این ناپایداری‌ها، پرپویزینگ شناخته‌شده‌ترین ناپایداری در شناورهای پلنینگ می‌باشد. این ناپایداری به یک حرکت تناوبی از ترکیب هیو و پیچ در صفحه‌ی قائم اطلاق می‌شود که از انرژی ناشی از سرعت رو به جلوی شناور و نیز نیروی لیفت حاصل از حرکت شناور در آب منتج می‌شود.

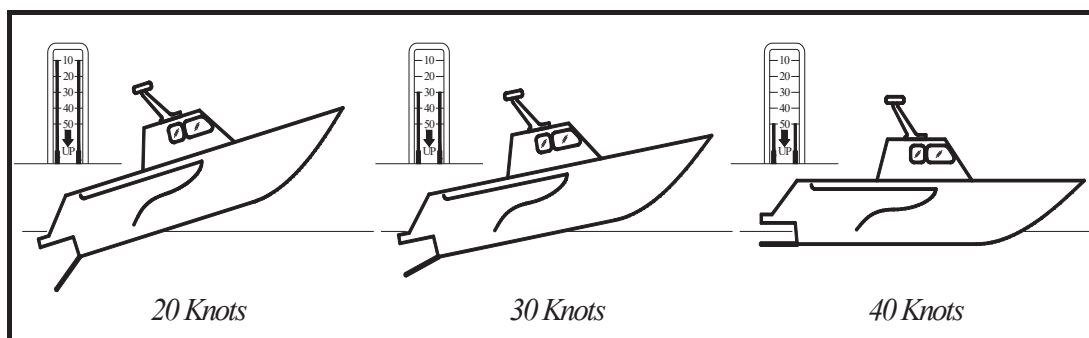
در اواخر قرن بیستم در طول سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰، از انجام تحقیقات در زمینه‌ی حرکات شناورهای تندروی پلنینگ در صفحه‌ی قائم، نتایج مفیدی به دست آمد. این تحقیقات عمدتاً بر اساس مطالعه‌ی دینامیک شناور پلنینگ و تأثیر پارامترهای طراحی، مانند موقعیت مرکز ثقل، بارگذاری، سرعت و پارامترهای هندسی فرم بدنه بر شناورهای پلنینگ و کارایی آنها در حرکت، طرح‌ریزی شده‌اند. در این تحقیقات، ملحقات بدنه مانند فلپ‌های قابل تنظیم در ترنزم و فویل‌های تی‌شکل

به‌منظور کنترل حرکات در صفحه‌ی قائم و بهبود راحتی مسافری در شناورهای مسافربری تندرو به کار گرفته شدند [۳].

در سال ۱۹۶۷، دو محقق به نام‌های ساویتسکی و براون به‌منظور تعیین نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از فلپ‌های نصب‌شده در ترنزم شناور با یک زاویه‌ی مشخص و تأثیر آن بر تریم دینامیکی شناور، نیروی درگ، توان موردنیاز و پایداری حرکتی شناور، یک روش تجربی ارائه کردند [۴]. با این حال، در مقایسه با تحقیقات انجام‌شده بر روی هیدرودینامیک شناورهای پلنینگ، در زمینه‌ی آنالیز و طراحی سیستم کنترل حرکات شناورهای پلنینگ در صفحه‌ی قائم به‌وسیله‌ی ملحقات قابل کنترل، کارهای کمی انجام شده است. ولی به‌رحال برخی مراجع دیگر، در زمینه‌ی استفاده از فلپ وجود دارد [۵، ۶، ۷].

۱-۱- معرفی فلپ‌های قابل تنظیم

کاربرد فلپ‌های قابل تنظیم در شناورهای پلنینگ از اهمیت خاصی برخوردار است. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است با تنظیم فلپ در موقعیت پایین تریم شناور کاهش و با تنظیم آن در موقعیت بالا تریم افزایش می‌یابد.



شکل (۱): موقعیت‌های قرارگیری فلپ در سرعت‌های مختلف.

به‌منظور تسهیل شرایط لازم برای رسیدن شناور به حالت پلنینگ، به‌ویژه در حالتی که بارگذاری شناور در حالت بار کامل است و یا شرایط دریا نامساعد است، می‌توان از فلپ‌های قابل تنظیم استفاده کرد. این فلپ‌ها باعث افزایش نیروی لیفت در پاشنه‌ی شناور و در نتیجه تولید یک نیروی تراست در جهت قائم می‌گردد که

متناسب با سرعت شناور می‌باشد، این مسأله، در شکل (۱) نشان داده شده است. در سرعت‌های پایین، بایستی فلپ‌ها را در پایین‌ترین موقعیت قرار داد و با افزایش سرعت، فلپ‌ها را به سمت بالا هدایت کرد. زیرا در صورتی که فلپ‌ها در سرعت‌های بالا در موقعیت پایین قرار گیرند، باعث بروز عدم تعادل در رفتار شناور، افزایش مصرف سوخت و نیز

تراست و درگ اصطکاکی از مرکز ثقل بگذرد؛ یعنی، $a=f=0$ و نیز $\varepsilon=0$ در نظر گرفته می‌شود. برای زوایای تریم کوچک، می‌توان از ترم‌های سینوسی در طرف راست معادله‌ی (۴) صرف‌نظر کرد. لذا، می‌توان روابط فوق را به شکل زیر نوشت:

$$F_3^R = N \cos \tau - mg \quad (۳)$$

$$F_5^R = -N(l_p - l_{cg}) \quad (۴)$$

۳-۱- نیروهای وارد بر فلپ

برای محاسبه‌ی نیروی وارد بر فلپ شکل (۲) از روابط تجربی استخراج‌شده توسط ساویتسکی و براون استفاده می‌کنیم. در این روابط، نیروی وارد بر فلپ به‌عنوان تابع خطی از زاویه‌ی فلپ δ در نظر گرفته شده است. نیروی لیفت فلپ F_3^F و ممان فلپ حول مرکز ثقل شناور F_5^F را می‌توان به شکل زیر محاسبه کرد:

$$F_3^F = d_3 \delta = 0.023 L_F B \sigma \rho V^2 \delta \quad (۵)$$

$$F_5^F = d_5 \delta = d_3 [0.6B + L_F(1-\sigma)] \delta \quad (۶)$$

که d_3 و d_5 ضرایب ثابت و L_F طول کورد فلپ و σ نسبت طول به عرض فلپ است.

کاهش سرعت می‌گردد. عموماً بایستی فلپ‌ها در موقعیت مشابه قرار گیرند. ولی در شرایط خاص، مثلاً برای حالتی که موج از پهلو به شناور نزدیک می‌شود، می‌توان فلپ‌ها را در موقعیت‌های نامتقارن قرار داد. با تنظیم صحیح و به‌موقع فلپ‌ها در زوایای مناسب می‌توان قابلیت مانور شناورهای پلنینگ را به میزان قابل‌توجهی بهبود بخشید.

۲-۱- نیروهای بازگرداننده فلپ

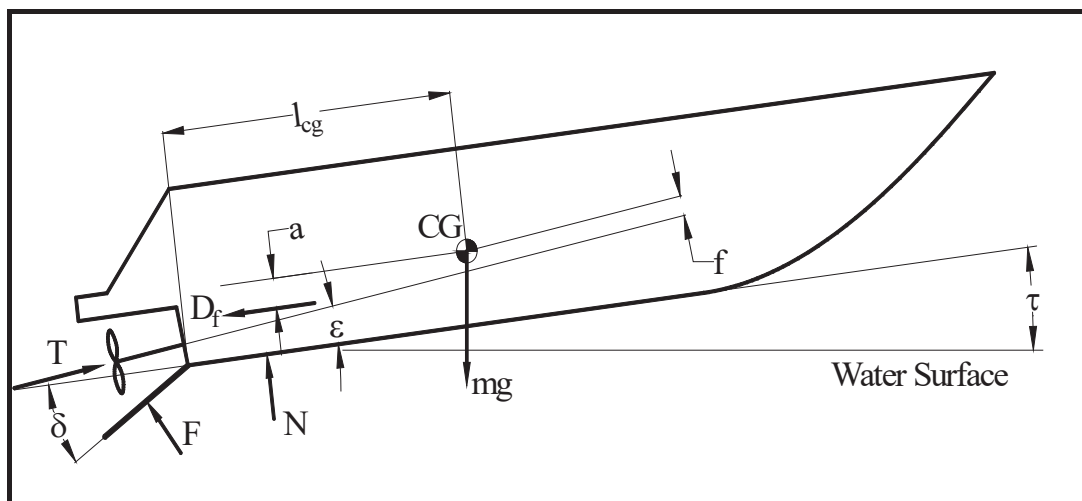
شکل (۲) نیروهای وارد بر یک شناور پلنینگ مجهز به فلپ را نشان می‌دهد. در این شکل، N نیروی ناشی از فشار آب عمود بر کف شناور، T نیروی تراست، D_f درگ اصطکاکی، F نیروی هیدرودینامیکی وارد بر فلپ و ε زاویه‌ی نیروی تراست با کیل باشد.

می‌توان نیروهای بازگرداننده را با رابطه‌ی زیر محاسبه کرد:

$$F_3^R = N \cos \tau + T \sin(\tau + \varepsilon) - D_f \sin \tau - mg \quad (۱)$$

$$F_5^R = D_f \alpha - N(l_p - l_{cg}) - Tf \quad (۲)$$

به‌منظور ساده‌سازی فرض می‌کنیم که راستای نیروی



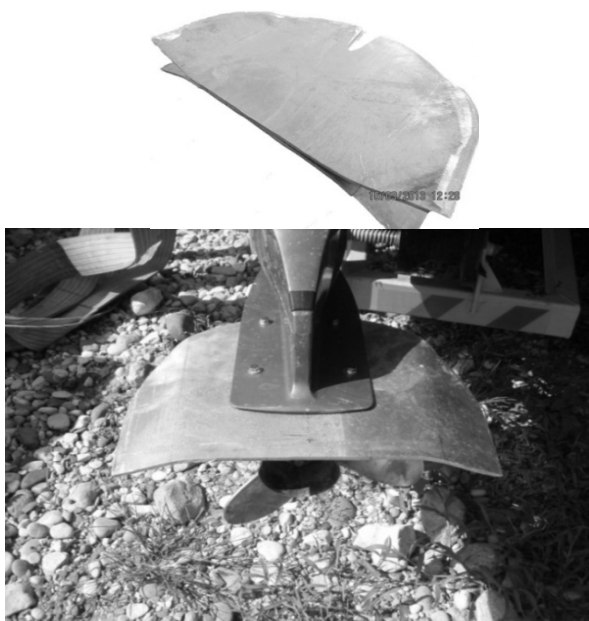
شکل (۲): نیروهای وارد بر بدنه‌ی یک شناور پلنینگ فلپ‌دار.

۴-۱- انتخاب فلپ پاشنه و نتایج حاصله

جدول‌های (۱) و (۲) نتایج حاصل از تست یک شناور بدون فلپ و با فلپ را نشان می‌دهند که نتایج حاصل از آنها به‌صورت بی‌بعد نشان داده شده است [۸].

جدول (۴): مشخصات شناور مورد تست.

مدل	طول در عرض	آبخور	طول در عرض تونل
کاتاماران	۳*۸ متر	۰/۶ متر	۰/۵*۰/۹۵ متر



شکل (۳): صفحه‌ی ساخته‌شده و محل نصب آن بر روی صفحه‌ی ضد‌هواده‌ی پروانه.

۳- طراحی روشی تجربی برای انجام تست

به نظر می‌رسد برای رسیدن به این هدف لازم است که در مرحله‌ی اول شناور ثابتی را انتخاب کرده و هر تست را در شرایط ثابت بدون تغییر در وزن شناور و در دریایی با قُرس ثابت و سرعت باد یکسان انجام داد؛ اما تنها این مراحل کفایت نمی‌کند بلکه کنترل رفتار موتور نیز باید مدنظر قرارگیرد.

۳-۱- کنترل رفتار موتور

موتور مورد تست از نوع چهارزمانه‌ی انژکتوری می‌باشد. همچنین، دور ماکزیمم و مجاز برای این موتور ۵۵۰۰ تا ۶۱۰۰ دور بر دقیقه است.

سیستم کنترل موتور، میزان پاشش سوخت را با توجه به سه پارامتر فشار و دمای هوای ورودی همچنین میزان باز بودن دریچه‌ی ورودی سوخت تعیین می‌کند که باید

جدول (۱): نتایج حاصل از تست شناور بدون فلپ.

بدون نصب فلپ پاشنه			نسبت طول فلپ به طول شناور (%)
سرعت (نات)	عدد فراد	R/Δ	
14.5	1.42	0.110	2.5
16	1.61	0.118	2.5
17.5	1.8	0.13	0.5
19	1.98	0.144	2.5
20.5	2.15	0.17	2.5
14.5	1.42	0.110	1.5
16	1.61	0.118	1.5
17.5	1.8	0.13	2.5
19	1.98	0.144	1.5
20.5	2.15	0.17	1.5

جدول (۲): نتایج حاصل از تست شناور با فلپ.

با نصب فلپ پاشنه				
R/Δ	نسبت افزایش سرعت	سرعت (نات)	زاویه نصب فلپ	نسبت عرض فلپ به عرض پاشنه شناور (%)
0.096	10.3448	16	5	100
0.109	8.25	17.32	5	100
0.126	4.85714	18.35	5	100
0.148	4.73684	19.9	0	100
0.185	1.70731	20.85	0	100
0.102	3.44827	15	10	50
0.115	4.875	16.78	10	50
0.126	2.22857	17.89	5	50
0.143	2.47368	19.47	0	50
0.17	1.41463	20.79	0	50

۲- افزایش سطح پره ضد‌هواده‌ی در شناور هدف.

این سامانه (جدول (۳)) که همانند یک صفحه‌ی مسطح بر روی صفحه‌ی ضد‌هواده‌ی پروانه‌ی موتور شناور هدف (جدول (۴)) نصب می‌شود (شکل (۳))، غیر از جلوگیری از کاهش فشار در اطراف پروانه، کاهش کاویتاسیون و کاهش هواده‌ی، می‌تواند همانند یک فلپ نیز عمل کند. با توجه به اینکه این صفحه در واقع روی موتور نصب می‌شود می‌توان با حرکت حدود ۱۰ درجه‌ای موتور (تریم)، آن را در زاویه‌ی خاص تنظیم کرد تا به‌عنوان یک فلپ قابل تنظیم عمل کند.

جدول (۳): ابعاد صفحه‌ی نصب‌شده.

عرض متوسط	طول متوسط
۳۰ سانتی‌متر	۳۸ سانتی‌متر

اندازه‌ی یکسان در هر تست برای دو پارامتر اول محیا شود تا میزان پاشش سوخت فقط وابسته به دریچه‌ی سوخت باشد و آن را نیز به صورت کنترل شده و به تدریج افزایش دهیم تا بتوان با اطمینان، اعداد مورد نیاز برای رسم نمودارها را به دست آورد. در نتیجه، میزان زاویه‌ی دریچه‌ی سوخت به عنوان شاخص مقدار مصرف سوخت در نمودار تعیین می‌گردد. البته، زمان هر افزایش میزان دریچه نیز باید یکسان باشد که این پارامتر با توجه به تست‌های اولیه اهمیت خود را نشان داد و معلوم شد که در مرحله‌ی شروع اسکی و تا حدودی بعد از آن با توجه به کاهش سریع‌تر مقاومت شناور، اهمیت انتخاب زمان هر مرحله از افزایش میزان دریچه مهم است. بعد از انجام چند تست معلوم شد که این زمان باید مناسب باشد، چون در صورت زیاد بودن، باعث طولانی شدن مسیر تست و در صورت کم بودن باعث می‌گردد با کمترین اختلاف در بازه‌های زمانی در دور و سرعت شناور تغییر زیادی صورت گیرد که دقت نمودار را کاهش می‌دهد. با توجه به این موضوع و انجام تست‌های متعدد، زمان ۱۵ ثانیه برای این بازه‌ی زمانی انتخاب و در نظر گرفته شد. برای افزایش میزان باز بودن دریچه‌ی سوخت استفاده از دسته ریموت شناور به تنهایی کافی نبوده و به هیچ وجه افزایش آن، به صورت پلکانی و به تدریج امکان پذیر نیست. پس به ناچار باید سامانه‌ای برای این کار طراحی و ساخته می‌شد. پس از بررسی و امکان‌سنجی چند طرح، نهایتاً طرحی ساخته شد که به کمک پیچ ثابت و مهره جلورونده و اتصال آن به دور فرمان موتور مشکل برطرف گردید و با کمک این سامانه‌ی مکانیکی می‌توان به هر میزان که مورد نیاز است، در بازه‌ی زمانی مورد نظر، دریچه‌ی سوخت را افزایش داد (شکل (۴)).



شکل (۴): سامانه کنترل دریچه سوخت.

تا اینجا مراحل کنترل رفتار موتور انجام شد و بعد از این لازم بود تا رفتار شناور نیز در هر پله از تست ثبت گردد تا بتوان با استخراج داده‌های لازم نمودارهای مورد نیاز را رسم کرد.

۳-۲- روش اندازه‌گیری تست

برای ثبت سرعت شناور از GPS دستی استفاده شد. همچنین، برای اطلاع از میزان زاویه‌ی دریچه‌ی سوخت و دور موتور از دستگاه دیاگ که به صورت آنلاین به موتور وصل بود، بهره‌برداری گردید. سپس، فرایند تغییرات پارامترهای فوق توسط دوربین فیلم‌برداری گردید و با بازبینی فیلم‌ها و استخراج اعداد متغیرهای میزان زاویه‌ی دریچه‌ی سوخت، سرعت شناور و دور موتور و به دست آوردن میانگین آنها نمودارهای لازم رسم گردید. به عنوان نمونه جدول (۵) اعداد به دست آمده در بازه‌ی زمانی "۳:۱۵" - ۳' در مرحله‌ی افزایش سیزدهم را نشان می‌دهد که در نمودار تبدیل به یک نقطه می‌شود.

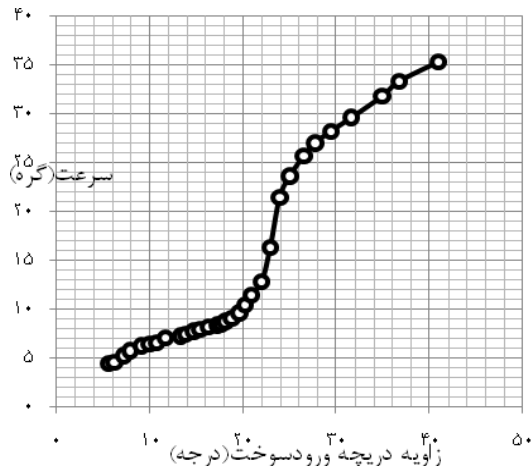
جدول (۵): داده‌های دور و سرعت با توجه به دریچه‌ی سوخت در بازه‌ی زمانی ۱۵ ثانیه‌ی سیزدهم.

زاویه‌ی دریچه‌ی سوخت (درجه)	۱۶,۳
توان (اسب بخار)	۱۱۰-۱۰۹-۱۰۹-۱۱۰-۱۱۱,۵ ۱۱۱-۱۱۰-۱۰۹-۱۱۱ ۱۱۱-۱۰۷=۱۱۰
سرعت (گره)	۸-۷,۶-۸-۸,۳-۸,۴-۸,۲-۸,۱ ۷,۹=۸

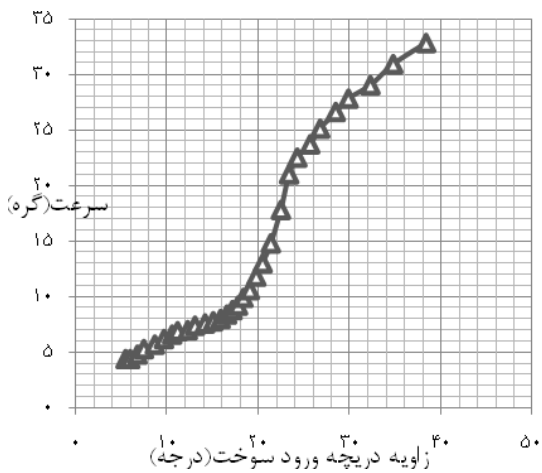
۴- استخراج نمودارهای عملکرد شناور، با و بدون

افزایش سطح صفحه ضدّ هواده‌ی

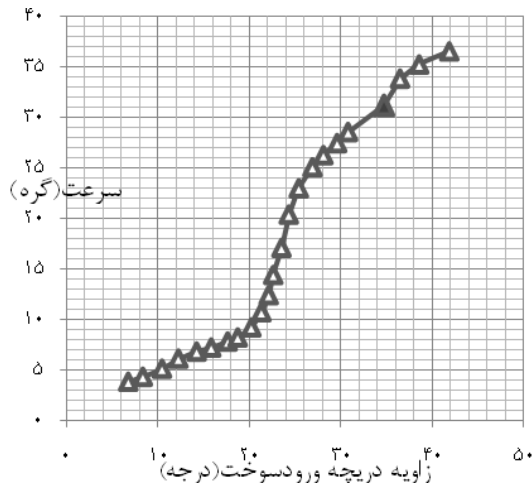
برای به دست آوردن تأثیر افزایش سطح صفحه‌ی ضدّ هواده‌ی در افزایش سرعت و کاهش مصرف سوخت، نمودارهای توان- سرعت و سرعت - زاویه دریچه‌ی ورودی سوخت مورد نیاز است (شکل‌های (۵) تا (۱۰)). همچنین، برای به دست آوردن میزان تأثیر افزایش سطح در کاهش پروپوزینگ شناور، می‌توان از نمودار میزان تغییرات سرعت استفاده کرد که این نمودارها در ادامه آمده‌اند.



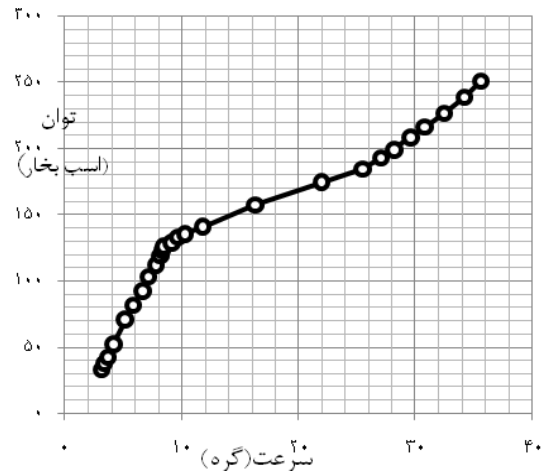
شکل (۸): تغییرات سرعت - زاویه دریچه‌ی ورودی سوخت، بدون پره.



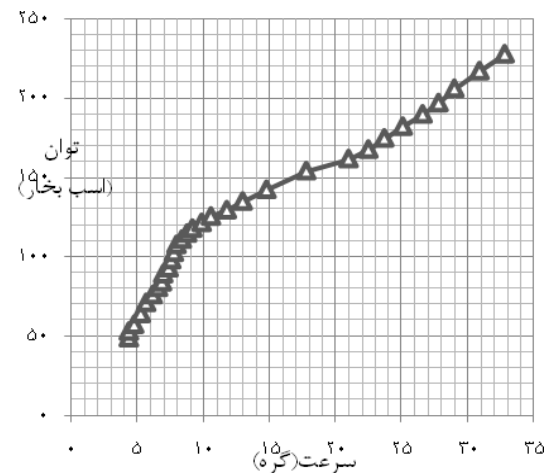
شکل (۹): تغییرات سرعت - زاویه دریچه‌ی ورودی سوخت، با پره.



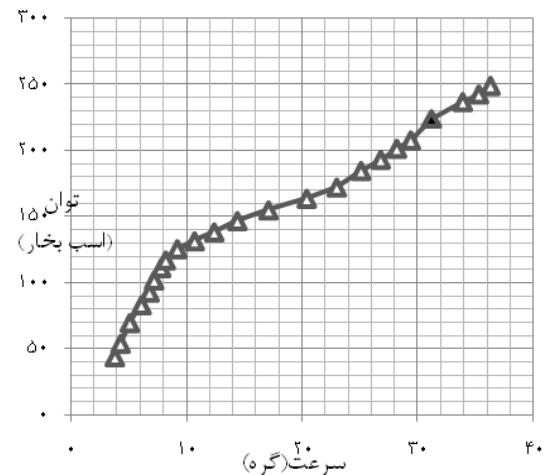
شکل (۱۰): تغییرات سرعت - زاویه دریچه‌ی ورودی سوخت، به همراه پره و تغییر ۵ درجه در زاویه (▲).



شکل (۵): تغییرات سرعت - توان، بدون افزایش سطح.



شکل (۶): تغییرات سرعت - توان، با افزایش سطح.

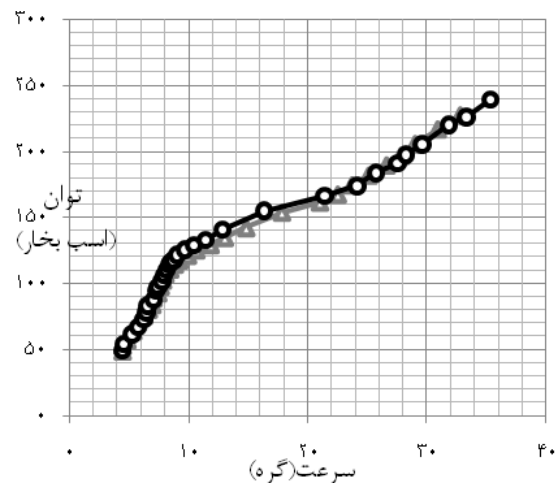


شکل (۷): تغییرات توان - سرعت، با افزایش سطح و تغییر ۵ درجه در زاویه‌ی تریم (▲).

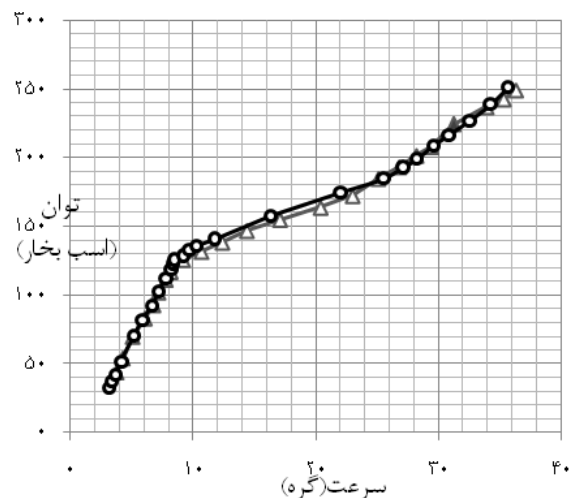
۵- مقایسه و تحلیل نمودارها

۵-۱- تحلیل تأثیر افزایش سطح، بر سرعت و میزان مصرف سوخت

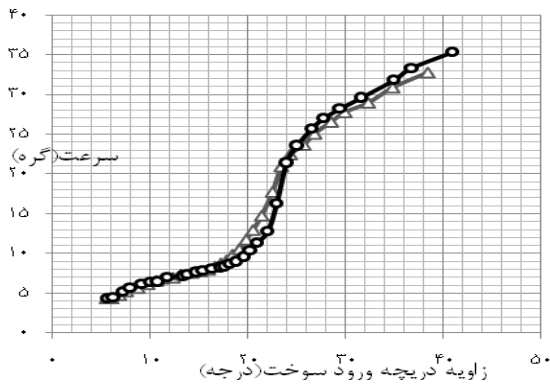
با مقایسه نمودارها می‌توان اطلاعات جالبی در زمینه تأثیر افزایش صفحه ضد هوادهی بر عملکرد شناور به دست آورد. شکل (۱۱) نشان می‌دهد که با افزایش سطح این صفحه، سرعت شناور در زمان گذار افزایش می‌یابد، اما در زمان اسکی باعث کاهش سرعت می‌گردد. با افزایش زاویه فلپ‌ها به کمک تریم موتور، نقیصه‌ی کاهش سرعت برطرف شده و افزایش سرعتی حدود یک گره را نیز به دنبال خواهد داشت (شکل (۱۲)).



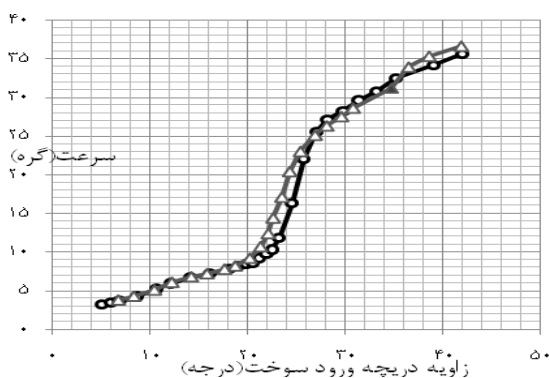
شکل (۱۱): نمودار توان-سرعت، با (△) و بدون (○) پره.



شکل (۱۲): تغییرات توان - سرعت، بدون پره (○)، با پره (△) و تغییر ۵ درجه در زاویه‌ی تریم (▲).



شکل (۱۳): تغییرات سرعت - زاویه دریاچه‌ی ورودی سوخت، بدون پره (○) و با پره (△).



شکل (۱۴): تغییرات سرعت - زاویه دریاچه‌ی ورودی سوخت، بدون پره (○)، با پره (△) و تغییر ۵ درجه در زاویه‌ی تریم (▲).

شکل (۱۳) نیز نشان می‌دهد که با افزایش سطح، میزان مصرف سوخت موتور، در زمان گذار کاهش یافته، اما در زمان اسکی مصرف سوخت افزایش می‌یابد که با افزایش زاویه‌ی فلپ‌ها به کمک تریم موتور می‌توان مصرف سوخت را کاهش داد (شکل (۱۴)).

۵-۲- بررسی تأثیر افزایش سطح، بر ناپایداری شناور

فلپ‌ها در شرایط دریایی نامساعد بسیار مؤثر می‌باشند، به‌ویژه در شرایطی که موج از روبرو به شناور نزدیک می‌شود. زیرا در این حالت، سینه‌ی شناور تمایل به بالا آمدن دارد. در این حالت، بایستی فلپ‌ها را در موقعیت پایین قرار داد (شکل (۱۶)). برای حالتی که موج از پشت به شناور نزدیک می‌شود بایستی فلپ‌ها را در بالاترین موقعیت قرار داد. با تنظیم صحیح و به موقع فلپ‌ها در

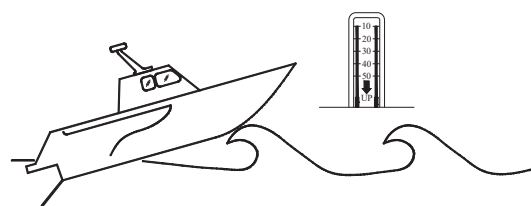
زوایای مناسب می‌توان قابلیت مانور شناورهای پلنینگ را به میزان قابل توجهی بهبود بخشید.

هرچه تغییرات زاویه پروپوزینگ بیشتر باشد، تغییرات سرعت نیز با توجه به تغییرات مقاومت شناور بیشتر خواهد بود. استفاده از تغییرات سرعت برای نشان دادن میزان پایداری، یکی از روش‌های آسان برای دسترسی به این مطلب است. البته، برای این کار می‌توان از به دست آوردن میزان تغییرات مقاومت شناور مدل، برای تغییرات پروپوزینگ نیز استفاده کرد.

در تحقیق حاضر که به صورت میدانی و با شناور واقعی انجام شده، برای ثبت سرعت شناور از دستگاه جی‌پی‌اس استفاده گردیده که برای این کار می‌توان از دستگاه‌های دیگری مثل جاپرو نیز استفاده کرد. شکل (۱۵) تغییرات سرعت به عنوان شاخص تغییرات پروپوزینگ را در ۱۵ ثانیه از حرکت را نشان می‌دهد که مربوط به شناور هدف، با و بدون افزایش سطح پره آنتی‌کاویتاسیون (لیفت‌دهنده) می‌باشد. با توجه به نمودار به راحتی قابل مشاهده است که تغییرات سرعت بعد از نصب صفحه افزایش‌دهنده‌ی سطح، کمتر می‌شود که نشان می‌دهد تغییرات مقاومت شناور کمتر می‌باشد و نهایتاً نشان از کاهش ناپایداری شناور است.



شکل (۱۵): نمودار مقایسه تأثیر افزایش سطح، در کاهش پروپوزینگ شناور در ۱۵ ثانیه، بدون افزایش سطح، (○) با افزایش سطح، (Δ)



شکل (۱۶): موقعیت قرارگیری فلپ در برخورد با امواج روبرو.

۶- پیشنهاد

- برای استفاده بهتر از تأثیر مثبت افزایش سطح به عنوان یک فلپ با تغییر زاویه مناسب در موقعیت‌های مختلف، می‌توان صفحه‌ی نصب‌شده را به پیستون‌های هیدرولیکی متصل کرد.

- برای به دست آوردن میزان دقیق تأثیر افزایش سطح صفحه، بر پارامترهای شناور می‌توان با اندازه‌گیری دقیق، آنها را به دست آورد.

افزایش سطح صفحه‌ی ضد هوادهی، به عنوان فلپ در شناورهای تندرو عمل کرده و باعث افزایش سرعت، کاهش مصرف سوخت و کاهش ناپایداری در شناور می‌شود.

منابع:

- [1] Blount, D. L., and Codega, L. T., "Dynamic stability of planing boats," *Marine Technology*, Vol. 29, No. 1, pp. 4-12, 1992.
- [2] Iketa, Y., and T. Katayama, "Stability of high speed craft," In: *Contemporary Ideas on Ship Stability* (D. Vassalos et al., Ed.), ELSEVIER Science Ltd., pp. 401-409, 2000.
- [3] De la Cruz, J. M., Aranda, J., Giron-Sierra, J. M., Velasco, F., Esteban, S., Diaz, J. M., and de Andres-Toro, B., "Improving the comfort of a fast ferry," *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 24, No. 2, pp. 47-60, 2004.
- [4] 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.
- [5] Cave, W. L., and Cusanelli, D. S., "Effect of stern flaps on powering performance of the FFG~7 class," *Marine Tech.*, Vol. 30, No. 1, pp. 39-50, 1993.
- [6] Cocklin, M. R., Parsons, M. G., and Troesch, A. W., "Stern flap performance prediction for the coast guard 110-foot WPB island class patrol boat," *Marine Tech.*, Vol. 37, No. 2, pp. 100-110, 2000.
- [7] Cusanelli, D. S., and Hundley, L., "Stern flap powering performance on a Spruance class destroyer," *Naval Engineers J.*, pp. 69-81, March, 1999.
- [8] Salas, M., Rosas, J., and Luco, R., "Hydrodynamic analysis of the performance of stern flaps in a semi-displacement hull," *Latin American Applied Research*, No.34, 2004.