



## روش‌های کاهش مصرف سوخت در شناورهای دریایی

محمد تقی توکلی<sup>۱</sup>، محمد سعید سیف<sup>۲</sup>

Email: Tavakoli@ntnu.no

Email: Seif@sharif.edu

### چکیده

هرینه سوخت یکی از بخش‌های مهم و تاثیرگذار در هزینه های شناورها است. در این مقاله روش های مختلفی که برای کاهش مصرف سوخت کشتی در طی سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است مرور شده است. با توجه به این که مقاومت شناور مهمترین پارامتر در مصرف سوخت شناور است. ابتدا، اجزا مختلف مقاومت و روش های کاهش مقاومت بررسی است. همچنین روش هایی از قبیل بهبود فرم بدنه، استفاده از حباب هوا و پوشش های جدید، کاهش وزن و بهبود راندمان سیستم رانش برای کاهش مصرف سوخت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. استفاده از سیستم‌های پیش‌برنده جدید و دقت در نگهداری و بهره‌برداری شناور عوامل مهم دیگری هستند که به آنها اشاره شده است و می‌توانند در کاهش مصرف سوخت شناور تاثیر داشته باشند.

**کلمات کلیدی:** مصرف سوخت - مقاومت - شناورهای دریایی

### ۱- مقدمه

هرینه سوخت یکی از بخش‌های مهم و تاثیرگذار در هزینه های شناورها است. مصرف سوخت در شناورهای بزرگ در حدود ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ لیتر در ساعت است. این بدین معناست که مصرف سوخت یک کشتی در یک ساعت بیش از مصرف سوخت یک سال یک خانواده است. هزینه سالانه سوخت یک کشتی که ۲۰ ساعت در طول روز به

۱- محقق، دانشگاه علمی و صنعتی نروژ (NTNU)

۲- دانشیار، دانشگاه صنعتی شریف



فعالیت مشغول است در مرتبهٔ میلیون دلار است. بر این اساس حتی تغییرات کوچک که باعث کاهش مصرف سوخت شود تاثیرات چشمگیری داشته و نتایج قابل ملاحظه بدنبال خواهد داشت.

برخی از فاکتورهای مهم که تاثیر زیادی در مصرف سوخت کشتی ها دارند عبارتند از:

- پارامترهای ویژهٔ کشتی از قبیل ابعاد، فرم بدنه و وزن،
- تعداد موتورهای اصلی فعال،
- سرعت کشتی،
- جریان آب (جهت و سرعت)،
- عمق آب،
- آبخور کشتی ( با توجه به بار)،
- باد و امواج (جهت و قدرت) [۱].

شکل-۱، تکنیک‌های مختلفی را که برای کاهش مصرف سوخت در شناورهای دریایی مورد استفاده قرار می گیرد به طور خلاصه نمایش می‌دهد. به طور کلی، بیشتر روش ها بر کاهش درگ کشتی و برخی نیز بر افزایش راندمان سیستم محرکه و بازده بهره‌برداری از شناور تمرکز نموده‌اند.

## ۲- مقاومت کشتی ها

یکی از اهداف طراحی بهینهٔ شناورها، کاهش مصرف سوخت با کاهش مقاومت شناور است. لذا در این قسمت ابتدا مقاومت شناورها و پارامترهای موثر در مقاومت بیان خواهد شد، سپس نحوه کاهش مقاومت و تکنولوژی‌های جدید مرتبط با آن تشریح خواهد شد.

هنگامی که کشتی در آب آرام حرکت می کند، نیرویی بر خلاف جهت حرکت اش را تجربه می کند. این نیرو، مقاومت آب در برابر حرکت کشتی است که به مقاومت کل بدنه ( $R_T$ ) تعبیر می شود. این همان نیروی مقاومی است که برای محاسبه توان مؤثر کشتی از آن استفاده می شود. مقاومت آب آرام یک کشتی تابعی از چند عامل است که شامل سرعت کشتی، شکل بدنه، عرض بدنه، مساحت سطح خیس شده و خواص آب می باشد.



مقاومت یک شناور واقعی به صورت مستقیم قابل محاسبه نیست، اطلاعات موجود در مورد مقاومت کشتی ها از تست های مدل ها گردآوری شده است. مقاومت به دست آمده در آب آرام به اجزاء مختلف تقسیم می گردد، همه این مؤلفه ها بر یکدیگر تاثیر گذار بوده و نمی توان آنها را به صورت مستقل اندازه گرفت. مؤلفه های مقاومت به طراحی فرم بدنه کمک نموده و طراح می تواند تاثیر مؤلفه های مقاومت را بررسی نماید. شکل-۲ یک نمای کلی از مؤلفه های مقاومت را ارائه می دهد. مقاومت کل در آب آرام در شناورهای با فرم بدنه جدید دارای مؤلفه های متفاوتی نسبت به شناورهای معمول است. طبیعتاً با توجه به ماهیت و نحوه شکل گیری هر یک از مؤلفه های مقاومت می توان روش هایی جهت کاهش آن پیش بینی و مورد استفاده قرار داد [۲].

### ۳- کاهش مقاومت

همان طور که اشاره شد کاهش مقاومت شناور یکی از روش های مهم در کاهش مصرف سوخت به شمار می رود. در این قسمت به تجارب مختلف در این خصوص اشاره می گردد.

#### ۳-۱- بهینه سازی فرم بدنه

متخصصین دریایی و نیروی دریایی فعالیت های زیادی برای افزایش راندمان شناورها، کاهش هزینه عملیات، و بهبود عملیات های دریایی انجام داده اند که اغلب به تغییرات فرم بدنه و سیستم پیش برنده مرتبط بوده است.

هدف اصلی از چنین تحقیقاتی بررسی روش های بهینه سازی برای کاهش درگ از منظر افزایش روش های طراحی با در نظر داشتن اصول هیدرودینامیک است. همچنین نیاز به یافتن روش هایی برای اطمینان و اعتبار دهی روش های بهینه سازی است، که نیاز به تعریف و اختصاص بهینه سازی هیدرودینامیکی است.

پارامترهای طراحی بر یکدیگر تاثیرگذار بوده و احتمالاً با اهداف دیگر در تناقض است بنابراین بررسی و کنترل تمامی پارامترها و تاثیر آنها بر اهداف متفاوت حائز اهمیت می باشد. بررسی ها برای بهبود طراحی معمولاً بر اساس مدل CFD انجام می شود و نتایج برای ارزیابی نهایی در حوضچه کشش مورد بررسی قرار می گیرد. با توجه به قابلیت های نرم افزارهای CFD امکان تغییر فرم بدنه و بررسی نتایج در مقاومت آن وجود دارد و تحقیقات گسترده ای در این خصوص در حال انجام است [۴].



### ۳-۲- پوشش و مواد پلیمری

افزودن مقدار کمی مواد پلیمری در میدان جریان سیال باعث کاهش درگ می‌گردد، تحقیقاتی در این زمینه توسط Tom [۵] و Mysels [۶] انجام شده است و تاثیر مواد پلیمری بررسی شده است. در طی سه دهه گذشته، مقاله‌های زیادی در ارتباط با تاثیر مواد پلیمری بر کاهش درگ منتشر شده است که به سه دسته تقسیم می‌شوند [۷]. دسته اول شامل مطالعه کاهش درگ از منظر مولکولی است. رفتار مولکول‌های پلیمری در مدل‌های مختلف جریان بررسی شده است. Lumley [۸] مروری بر مقاله‌های که به بررسی دینامیک مولکول‌های پلیمر بر جریان توربلانس می‌گذارد انجام داده است. همچنین مطالعات تئوری در این مورد توسط Rabin و Zielinska [۹] انجام شده است. دسته دوم شامل مطالعاتی است که تاثیر مواد پلیمری را بر زمان اغتشاش مورد بررسی قرار می‌دهد. یک نمونه از فعالیت‌هایی که در این زمینه انجام شده است مطالعات Virk [۱۰] است. آنها سرعت جریان در یک لوله با مواد پلیمری با درصد وزنی مختلف را اندازه‌گیری نمودند و تاثیر مقدار مواد پلیمری مورد را بررسی قرار دادند. در دسته سوم مطالعات نیز به بررسی تغییر ساختار اغتشاش در اثر استفاده از مواد پلیمری پرداخته شده است. استفاده از رنگ‌های دریایی برای جلوگیری از افزایش مقاومت تکنولوژی دیگری است که مورد استفاده قرار گرفته است. این روش مستقیماً باعث کاهش درگ نمی‌شود بلکه سعی در ثابت نگه داشتن درگ با ایجاد سطح صاف با استفاده از پوشش دارد. این پوشش‌ها می‌توانند مانع افزایش درگ شناور در اثر چسبیدن خزه‌های دریایی به کشتی گردند. Sea Slide یک نوع از پوشش‌های دریایی است که اصطکاک بین بدنه و شناور را کاهش می‌دهد و در شناورها مورد استفاده قرار گرفته است.

### ۳-۳- کشتی‌های با پوشش هوا

استفاده از محفظه هوا (Air Cavity)، حباب‌های ریز (Microbubble) و فیلم هوا (Air Film) سه روشی هستند که برای کاهش مقاومت شناورها با تزریق هوا به زیر کشتی انجام می‌گیرند. این تکنیک‌ها باعث کاهش درگ خالص می‌گردند و در نتیجه شناور به توان کمتری نیاز خواهد داشت. در برخی آزمایش‌ها با تزریق هوا بیش از ۵٪ کاهش درگ بدست آمده است، به عبارت دیگر با استفاده از این تکنیک، توان مورد نیاز کشتی کاهش یافته و با توان یکسان می‌تواند به سرعت‌های بالاتری دست پیدا کند. برای شناورهایی که هدف رسیدن به سرعت‌های خاص است با استفاده از طرح ACS می‌توان حداکثر کاهش را در محدوده خاصی از سرعت داشت.



محفظه هوا (Air Cavity) بر پایه روش موفقیت آمیز کاهش مقاومت اصطکاکی با استفاده از تزریق هوا در کف شناور استفاده شده است. هوا در قسمت خاصی از پروفیل کف تزریق می‌شود، که باعث ایجاد یک لایه یکنواخت از هوا در زیر شناور می‌گردد و سطح قابل توجهی از شناور را از تماس با آب جدا می‌کند. در شکل-۳ تصویری از SeaCoaster مشاهده می‌شود. SeaCoaster، یک شناور ترکیبی است که از ترکیب کاتاماران و ACS به وجود آمده است و از هوا برای کاهش مقاومت کاتاماران استفاده شده است. قدرت مورد نیاز این شناور در حدود ۶۰٪ قدرت مورد نیاز کاتاماران‌های معمولی است [۱۱].

یکی دیگر از مزایای شناورهای با محفظه هوا، مصرف کم هوای مورد نیاز محفظه است (این مقدار یک دهم میزان مورد نیاز شناور SES است). نتایج تجربی بیانگر این است که با مصرف تنها ۳٪ از توان سیستم محرکه شناور برای تزریق هوا، تا حدود ۲۵٪ کاهش درگ وجود خواهد داشت [۱۲].

ایده حباب هوا برای کاهش اصطکاک پوسته‌های شناور مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شناورهای معمولی؛ اصطکاک پوسته‌ای ۸۰٪ مقاومت کل کشتی است. برخی از متخصصین در ژاپن، میزان تاثیر تزریق حباب‌های هوا بر مقاومت کشتی‌های معمولی را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج حاصل از بسیاری از آزمایش‌ها بیانگر این موضوع است که استفاده از حباب‌های هوا تاثیر زیادی در کاهش مقاومت کشتی‌ها دارد. یک کمیته تحقیق در سال ۲۰۰۱ آزمایشی با استفاده از یک کشتی واقعی به نام Seiun-Maru انجام داده است (شکل-۴). کشتی Seiun-Maru متعلق به موسسه ملی آموزش‌های دریایی ژاپن است [۱۳]. شکل-۵ یک مثال از کاهش مقاومت اصطکاکی را نشان می‌دهد. این نتایج با استفاده از اندازه گیری مقاومت شناور با استفاده از سنسورها در هنگام تزریق حباب هوا بدست آمده است. محور افقی مقدار تزریق هوا و محور قائم نسبت کاهش مقاومت اصطکاکی نسبت به مقاومت بدون حباب را نمایش می‌دهند. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش تزریق حباب هوا، مقاومت اصطکاکی تا مقدار ۸۰٪ کاهش می‌یابد [۱۴].

آزمایش دیگر مربوط به شناور SES است که به سیستم کاهش درگ با استفاده از حباب (MBDR) مجهز شده است. این شناور از دو سیستم تزریق هوا استفاده می‌کند. تست مدل این شناور بیانگر این است که سیستم MBDR مقاومت شناور را به میزان ۵-۱۵٪ کاهش می‌دهد. همچنین در آزمایش نمونه واقعی، سرعت شناور ۲/۵-۳٪ در سرعت ۴۰-۴۵ گره افزایش یافت [۱۶]. شکل-۶ تراست شناور در هنگام تزریق هوا با ماکزیمم توان کمپرسور و



نصف این مقدار را نمایش می‌دهد. تحقیقات Latorre and Bablenko نشان‌دهنده حساسیت کاهش مقاومت به جهت تزریق هوا بر سطح شناور است [۱۷].

### ۳-۴- فرم بدنه‌های جدید

بدنه‌های جدید اصلاحات موفقیت آمیزی در بدنه‌های معمول و کاهش مقاومت شناورها به وجود آورده‌اند. در دو دهه گذشته، پیشرفت‌های چشمگیری در شناورهای دریایی غیر مرسوم و سریع برای کاربردهای مختلف، به خصوص کاربرد نظامی، مسافربری‌های سریع، و قایق‌های مسابقه‌ای انجام شده است. شکل ۷- روش‌های اصلی کاهش مقاومت در شناور با فرم بدنه‌های جدید را نشان می‌دهد. در حال حاضر، شناورهای زیادی با استفاده از این روش‌ها طراحی و ساخته شده‌اند [۱۸].

برخی از شناورهای دریایی مدرن بر سطح آب حرکت می‌کنند به عنوان مثال شناورهای پروازی، هاورکرافت‌ها و WIG ها را می‌توان نام برد که با ترکیب نیروهای هیدرواستاتیکی، هیدرودینامیکی، آئرواستاتیکی و آئروینامیکی به حرکت می‌آیند. برخی دیگر دارای حجم زیادی در زیر آب هستند به عنوان مثال SWATH و SLICE را می‌توان نام برد. در این بخش مروری بر انواع شناورها با فرم بدنه‌های جدید انجام خواهد گرفت.

### کشتی‌های چند بدنه

افزایش سرعت کشتی‌های جابجایی مرسوم تنها تا مقدار خاصی امکان‌پذیر است. برای بیشتر فرم بدنه‌ها در عدد فرود حدود  $F_{rr} > 0.4$ ، مقاومت موج‌سازی به صورت تناوبی با سرعت افزایش می‌یابد. یک روش برای افزایش سرعت شناور، خصوصاً زمانی که نیاز به سطح عرشه بزرگ است، استفاده از چند بدنه است. مرسوم‌ترین شناور چند بدنه کاتاماران است [۲۰].

### SWATH و SLICE

SWATH (Small Water Plane Area Twin Hull) های اولیه، کاتاماران‌های نیمه مغروق بودند و نخستین بار در نیروی دریایی آمریکا و ژاپن طراحی شدند. بیشتر SWATH ها برای سرعت‌های کمتر از ۲۵ گره طراحی شدند. مفهوم SWATH به نوعی از کاتاماران اطلاق می‌شود که دارای دو بدنه کامل مغروق هستند و هر کدام با یک ستون نسبتاً نازک به سازه بالایی متصل می‌شوند. به صورت معمولی SWATH دارای دو نیم بدنه مغروق است که دارای طول مشابه طول شناور است. در شناور SLICE تغییراتی در چیدمان بدنه‌های مغروق



SWATH به وجود آمده است. همانطور که در شکل ۸- نشان داده شده است، SLICE به توان کمتری نسبت به SWATH نیاز دارد و برای رسیدن به سرعت مشابه ۲۰-۳۵٪ توان کمتری نیاز است [۱۹]. SLICE دارای حرکت نرم و مناسب مشابه SWATH در سرعت‌های بالاتر و با توان کمتر است.

### شناورهای تک بدنه ( $L/B$ بزرگ)

اصل برش موج (wave-piercing) را می‌توان برای شناورهای تک‌بدنه معمولی شبیه پروژه MTG نیز مورد استفاده قرار داد. Kvaerner Masayards و گروه طراحی او شناور Euroexpress را بهبود داده و آن را به یک شناور مسافربری با سرعت بالا تبدیل نمودند، شکل ۹- این شناور دارای بدنه بسیار باریک بوده و با استفاده از دو شکستگی نیروی لیفت و تعادل دینامیکی را تولید می‌کند. این شناور قابلیت رسیدن به سرعت ۴۰ گره دریایی را دارا بوده و دارای نسبت طول به عرض، ۹ به ۱ است [۲۱].

### شناورهای پروازی

سازه بدنه این شناورها ساده است. تعداد شناورهای پروازی در جهان بسیار زیاد است و برای حمل مسافر، فعالیت‌های نظامی، مسابقه و تفریحی استفاده می‌شود. قایق‌های پروازی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که در هنگام حرکت از سطح آب بلند شوند. آنها خیلی سریع حرکت می‌کنند اما نیاز به قدرت زیادی برای بلند شدن از سطح آب دارند. در سرعت‌های بالا که شناور از سطح آب جدا شده است حدود ۸۰٪ از وزن شناور توسط نیروی هیدرودینامیکی تحمل می‌شود. شکل ۱۰- نمودار نوعی از مقاومت شناورهای پروازی و کاتاماران با حجم یکسان را نشان می‌دهد. کاتاماران دارای مقاومت کمی در سرعت‌های پایین است و کارایی بهتری نسبت به شناورهای پروازی در این منطقه دارد اما با افزایش سرعت، شناورهای پروازی دارای مزیت بیشتری است.

### شناور هیدروفویل

هیدروفویل‌ها شبیه هواپیماها، از سطح بال برای تولید نیروی لیفت استفاده می‌کنند (شکل ۱۱-). با توجه به این‌که چگالی آب بسیار بیشتر از چگالی هوا است سطح بال هیدروفویل بسیار کمتر از بال هواپیما است. هیدروفویل‌ها می‌توانند هیدروفویل‌های سطحی (SPH) و یا هیدروفویل‌های کاملاً مغروق (FSH) باشند. شکل ۱۲- تاثیر شرایط دریایی بر سرعت هیدروفویل را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع موج، سرعت شناور به اندازه کمی کاهش می‌یابد. از معایب هیدروفویل‌ها می‌توان به محدودیت در حجم بار و آب‌خور زیاد اشاره نمود.



## شناور با بالشتک هوا

هاورکرافت‌ها به عنوان شناورهای دو زیست تنها با نیروی بالشتک هوا ساپرت می‌شوند. شناورهای ACV توانایی عملیات در سرعت‌های بالا دارند و انفجار زیر آب آسیبی به آنها وارد نمی‌کند و آبخور کم به آنها قابلیت دوزیست بودن داده است [۲۳].

شناور دیگری که شبیه ACV فعالیت می‌کند شناور SES (Surface Effect Ship) است. SES یک نوع کاتاماران است که فضای بین دو بدنه بالشتک هوا ایجاد می‌گردد.

## WIG

یک WIG (Wing In Ground effect) شناور بین هاورکرافت و هواپیما است. در WIG از پدیده "تأثیر زمین" استفاده می‌شود (شکل-۱۳). هنگامی که بال به سطح زمین نزدیک می‌شود، نیروی لیفت افزایش می‌یابد، شکل-۱۴ توضیح می‌دهد که با نزدیک شدن بال به سطح زمین، نیروی لیفت به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد در حالی که تغییرات درگ اندک است در نتیجه نسبت لیفت به درگ افزایش یافته و راندمان افزایش می‌یابد. این وسیله دارای راندمان بهتری نسبت به هواپیما است و سوخت کمتری مصرف می‌کند. مطالعات بیشتر در مورد این شناور در کشورهای آلمان، آمریکا، چین و برخی دیگر از کشورها در حال انجام است [۲۶].

## ۴- بهبود سیستم رانش

نیاز به کاهش مصرف سوخت در حمل و نقل دریایی باعث شده که طراحان سیستم‌های محرکه‌ای را انتخاب نمایند که دارای کارایی بالا بوده و در سرعت‌ها و شرایط مختلف اقتصادی باشند. همچنین ترکیب خصوصیات هیدرودینامیکی بدنه و سیستم محرکه شناور برای ایجاد تراست لازم در سرعت‌های مختلف مورد توجه بسیاری از متخصصین قرار دارد و طبیعتاً در طراحی بهینه باید مد نظر قرار گیرد.

## سیستم پروانه

بسیاری از شناورها از پروانه گام ثابت مغروق استفاده می‌کنند. پروانه‌های سطحی برای شناورهایی که در سرعت‌های بالا یا دارای محدودیت آبخور هستند استفاده می‌شود. سیستم واترجت برای افزایش سرعت در شناورهای بزرگ استفاده می‌شود [۳].





## واترجت

این سیستم در ابتدا تنها برای شناورهای کوچکی مناسب بود که نیاز به انجام مانور همراه با محدودیت آبخور نیز بودند. اما در سال‌های اخیر از این سیستم برای شناورهای بزرگ با سرعت‌های بالا نیز استفاده شده است [۲۸].

این مکانیزم پروانه ای که در ابتدا برای محرکه هوایی استفاده می شده از دو پروانه هم محور تشکیل شده که یکی پشت دیگری قرار دارد و دو پروانه در جهات مخالف چرخش می کنند. (شکل-۱۵)

مهمترین سود هیدرودینامیکی این سیستم این است که میزان قابل توجهی از انرژی دورانی را جریان که در حالت تک پروانه ای تلف می شود می توان بازیابی کرد. همچنین این نحوه قرار گیری پروانه ها ایجاد تعادل در گشتاور مقاوم را بهتر می کند و انتقال گشتاور را در حالت پایدار و بدور از ارتعاش ممکن می سازد. شایان ذکر است که پروانه عقب‌تر قطر کمتری نسبت به پروانه جلوتر دارد و از این طریق بهتر می تواند جریان ناشی از انقباض جریان پشت پروانه اول را جمع آوری کند و اثرات آن را کم کند. تحقیقات عملی، تئوری و تجربی زیادی روی این نوع ایجاد محرکه انجام شده و به صورت عملی روی شناورهایی با دورهای حدود ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ rpm به کار برده شده است. بزرگترین کشتی که در آن از این سیستم استفاده شده یک VLCC به وزن ۲۵۸۰۰۰ تن بوده که در سال ۱۹۹۳ پیاده سازی شده است.

## Podded propellers

از اوائل قرن نوزدهم یک سیستم جدید محرک راه خود را در صنایع دریایی باز کرده است. این سیستم شامل یک پروانه همراه با یک بدنه دوکی شکل در جلوی آن است و زیر کشتی قرار می گیرد، محرک پوشش دار یا pod نامیده می شود مهمترین مشخصه این نوع محرکه نسبت به انواع دیگر به غیر از شکل ظاهری این است که تولیدکننده اصلی نیروی محرکه موتور الکتریکی بوده که همراه و در جلوی توپی پروانه زیر سطح قرار می گیرد (شکل-۱۶).

در سالهای اخیر این نوع پروانه ها از اهمیت بیشتری برخوردار شده و کاربردهای وسیعی پیدا کرده اند. بخصوص در شناور های مسافربری این سیستم ها کارایی خود را به خوبی اثبات نموده‌اند و استاندارد جدیدی از لحاظ راحتی و کاهش کایتاسیون و ارتعاشات برای این نوع شناور ها معرفی نموده اند



از مزایای این سیستم می‌توان به قابلیت مانور بالا، امکان نگه داشتن ناگهانی شناور در مسیر کوتاهتر (تا نصف طول مسیر لازم در حالت عادی)، حفظ قابلیت مانوردهی در حال نگه داشتن آن، مصرف سوخت کمتر، کوچک تر شدن موتورخانه و کاهش نویز و ارتعاشات اشاره نمود. علاوه بر آن عدم نیاز به شیفتینگ های طولانی، سکان، پروانه های با پیچ قابل کنترل (CP) و گیربکس های کاهنده باعث شده تا در فضا و وزن و همچنین میزان کار لازم برای نگهداری این سیستم ها کاهش قابل ملاحظه دیده شود.

### پروانه‌های سطحی

در حال حاضر، پروانه‌های سوپرکاویتاسیون و واترجت برای شناورهای با سرعت بالا مناسب هستند. اما پروانه‌های سطحی دارای قابلیت خوبی برای سرعت بالا هستند. شکل-۱۷ راندمان تقریبی انواع مختلف پیش‌برنده‌ها را نمایش می‌دهد. پروانه‌های سطحی دارای مزایای زیر است.

(۱) راندمان بالا

(۲) اجتناب از مقاومت شافت و توپی

(۳) احتمال پایین وقوع کاویتاسیون (در شکل-۱۸ یک نمونه از SPP نشان داده شده است [۲۹]).

### ۲-۴- تولید توان

یکی از قسمت‌های مهم در کاهش مصرف سوخت یک شناور سعی در افزایش راندمان سیستم تولید توان یا محرکه اصلی شناور است.

### توربین گاز

روش‌های مختلفی برای دستیابی به قدرت خروجی بالاتر با بهبود راندمان در حال بررسی است. توربین‌های گازی پیشرفته در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. توان خروجی و راندمان بالای این نوع از موتور آن را تبدیل به یکی از گزینه‌های مناسب برای استفاده در دریا کرده است. افزایش استفاده از توربین گاز به دلیل استفاده از (۱) سردکن میانی، (۲) تجدید گرما، (۳) تزریق بخار، (۴) بازگرمایش، (۵) سیکل بسته سرمایش، (۶) اکسایش و (۷) بازگشت آب است [۳۰].



## پیل سوختی

در سال‌های اخیر استفاده از پیل سوختی در شناورهای نظامی و تجاری به دلیل مزایای آن، رشد چشمگیری داشته است. سیستم پیل سوختی تمیز بوده و دارای راندمان بالایی است و قابلیت تولید الکتریسیته و گرما از راکتورهای الکتروشیمیایی را دارد. از دیگر مزیت‌های پیل سوختی، اندازه کوچک و بی‌صدا بودن آن است [۳۱].

## سیستم‌های ترکیبی

سیستم‌های ترکیبی معمولاً از ترکیب موتورهای دیزلی، توربین بخار، توربین گاز و موتورهای الکتریکی به وجود می‌آیند. انواع مختلفی از این سیستم‌های رانش با نام‌های COSAG, CODOG, CODAG, CODLOG و غیره در حال استفاده برای شناورهای مختلف است این نوع سیستم‌ها برای شناور امکان عمل در سرعت‌های مختلف را فراهم آورده و شناورها می‌توانند در چندین مد عملیاتی با مصرف سوخت نسبتاً بهینه عمل کنند [۲۷].

## ۵- بهره‌برداری

طراحی مناسب و ساخت بهینه یک شناور باعث اطمینان در عملکرد بهینه آن نمی‌باشد. به عبارت دیگر ممکن است از یک شناور به صورت نامناسب بهره‌برداری شده و یا به صورت نامناسب نگهداری شود. در هر یک از این موارد مصرف سوخت افزایش می‌یابد و باید به این موضوع توجه نمود.

## ۵-۱- مسیریابی کشتی

زمانی که کشتی در دریا آزاد حرکت می‌نماید با اثرات محیطی مختلفی همانند باد، امواج، جریانهای دریایی، مه و غیره مواجه می‌شود. این اثرات محیطی بر روی عملکرد عملیاتی و ایمنی کشتی اثر می‌گذارند. این اثرات در کشتی‌های تجاری سبب تغییراتی در بحث هزینه‌های عملیاتی کشتی می‌شود در حالی که در کشتی‌های نظامی این اثرات سبب کاهش عملکرد تاکتیکی شناور می‌گردد.

انتخاب مسیر کشتی یک تکنیک برای مسیریابی کشتی‌ها با آگاهی از جریان‌های دریایی، وضع هوا و شرایط امواج برای رسیدن به مقصد مورد نظر در کمترین زمان ممکن با حداقل خسارت وارده به کشتی یا کمترین ناراحتی برای مسافرین باشد.



مهمترین مزایا مسیریابی بهینه، دریانوردی بهینه، کاهش مصرف سوخت، برآورده ساختن جدول زمانبندی حرکت کشتی، بالا بردن سطح ایمنی خدمه کشتی، کاهش احتمال خسارت وارده به بدنه و بار کشتی است [۳۲].

با ظهور پیشرفت هایی در زمینه هواشناسی و مدل های کامپیوتری قدرتمند مسیریابی بهینه کشتی امکان پذیر گشته است. پیشرفت هایی که در دهه اخیر حاصل شده است محاسبه سرعت شناورها در مسیرهای دریایی را مشخص کرده است. دانشگاه صنعتی دلفت روشی برای پیش بینی سرعت، توان و حرکت شناور را منتشر کرد و بر اساس آن می توان عملکرد شناور در شرایط دریایی مختلف را ارزیابی و نسبت به سرعت و جهت مناسب اظهار نظر نمود. تحقیقات انجام شده حاکی از امکان کاهش ۱۰٪ مصرف سوخت با استفاده از این روش می باشد [۳۳].

## ۵-۲- تعمیر و نگهداری

رشد خزه های دریایی و ذرات ریز بر بدنه کشتی باعث تغییر زبری شناور شده و باعث کاهش سرعت کشتی یا افزایش مصرف سوخت می گردد. نرخ رشد خزه ها و ذرات مولکولی به مدت زمان عملیات کشتی، تاثیر رنگ های ضد خزه مورد استفاده، شرایط محیط خصوصا دمای آب بستگی دارد.

رسوب نیز بر مقاومت اصطکاکی کشتی تاثیرگذار است، به عنوان مثال، در یک شناور با عمر ۵ سال و در فاصله زمانی بین دو تعمیر ۳۰٪ مقاومت اصطکاکی افزایش یافته است. تاثیر رسوب بر شناورهای کانتینربر و تانکرها شدیدتر است. بر اساس یک تحقیق در مورد کشتی ۲۰۰۰۰۰ تنی پس از یک سال میزان افزایش مقاومت ۲۶-۲۹٪ و پس از دو سال ۴۷-۵۲٪ بوده است [۳۴]. شکل ۲۰- میزان افزایش قدرت مورد نیاز و به عبارتی مصرف سوخت با افزایش رسوب بدنه در سرعت ثابت را نشان می دهد.

تعمیر منظم برای اطمینان از کارایی و رفع نواقص احتمالی برای هر موتوری نقش مهمی در افزایش کارایی آن دارد. کارخانه های سازنده موتورها معمولا برنامه و بازه های زمانی را برای تعمیر موتورها پیشنهاد می دهند و خصوصا کنترل تغییرات روغن و سوخت و اجزا جدا کننده بسیار مهم است.

## ۶- کاهش وزن

در بخش دریایی، کاهش وزن نقش بسیار مهمی همانند بخش های دیگر حمل و نقل دارد. خصوصا در مورد بخش های فوقانی شناور که تاثیر مهمی در تعادل شناور نیز دارد. کاهش وزن شناور علاوه بر اثر مستقیم در مقدار



مقاومت، همچنین باعث کاهش آبخور شناور شده و سطح خیس شناور کاهش یافته و در نتیجه مقاومت کاهش می‌یابد. کاهش وزن شناورها با بهینه سازی طراحی‌ها و همچنین استفاده از مواد اولیه سبکتر امکان پذیر است [۳۵].

#### ۶-۱- مواد جدید

امروزه مواد و تکنولوژی‌های مختلفی در شناورهای دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. فولاد با استحکام بالا باعث کاهش وزن شناور می‌شود بدون این که تغییری در استحکام سازه ایجاد گردد، همچنین آلومینیوم و آلیاژهای منیزیم می‌توانند جایگزین فولاد گردند و مواد مرکب نیز باعث کاهش وزن شناور گردد.

#### ۶-۲- طراحی بهینه

طراحی سازه کشتی تاثیر زیادی در عمر مفید شناور، نیاز به تعمیر و نگهداری و کلیه هزینه‌های عملیاتی شناور دارد. این نقش خصوصا در مورد شناورهای بزرگ بسیار چشمگیر است. طراحی اجزای مختلف (دیواره‌ها، تقویتی‌ها، صفحات و اتصالات و غیره) تابع فاکتورهایی از قبیل انتخاب مواد و شکل سازه دارد. معمولا، فرایند طراحی بسیار به تجربه طراح بستگی دارد و برای طرح‌های جدید معمولا طراحی کمتر بهینه است. در سال‌های اخیر با افزایش اطلاعات طراحی‌ها بهینه تر شده و با استفاده از روش‌های عددی می‌توان کارایی هیدرودینامیکی شناور را پیش بینی نمود و آن را بهینه نمود [۳۶]. استفاده از بهینه‌یابی ریاضی برای طراحی در سال‌های اخیر در بخش‌های مختلف صنعت مورد استفاده قرار گرفته است ولی به دلیل پیچیدگی مدل و همچنین مشکل بودن عملیات فعلا در صنعت مورد استفاده قرار نمی‌گیرد اما با پیشرفت این روش‌ها، می‌توان از آنها برای بهبود طراحی‌ها استفاده نمود [۳۷].

#### ۷- جمع‌بندی و نتیجه گیری

بیشتر روش‌هایی که برای کاهش مصرف سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرند مرور شد. این روش‌ها پتانسیل زیادی برای استفاده دارند و همچنین امکان پیشرفت زیادی دارند.

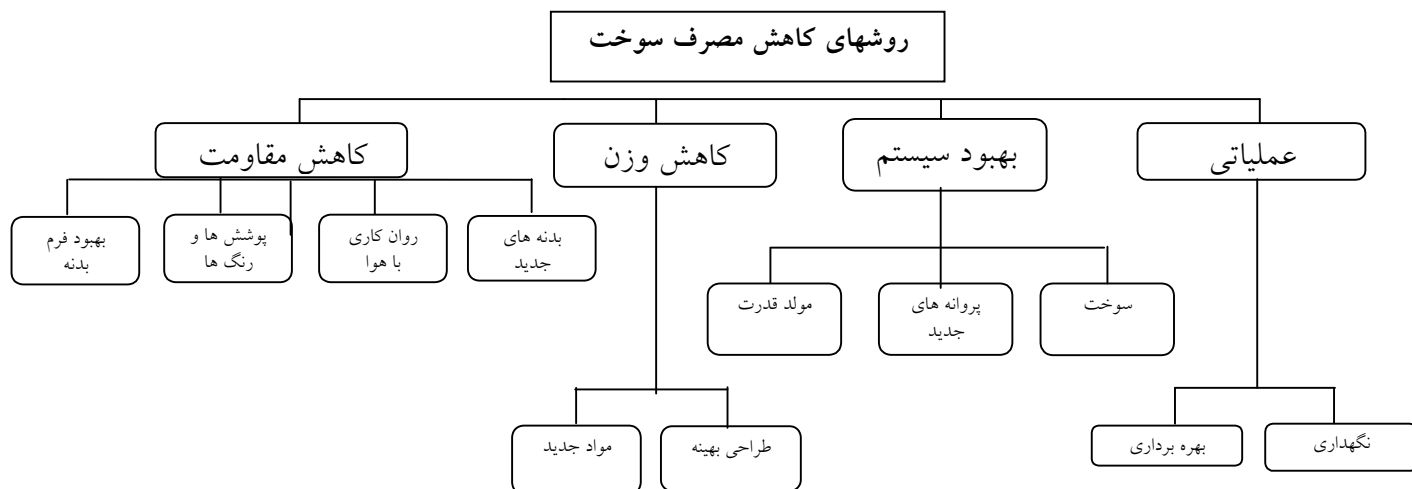


## ۸- مراجع

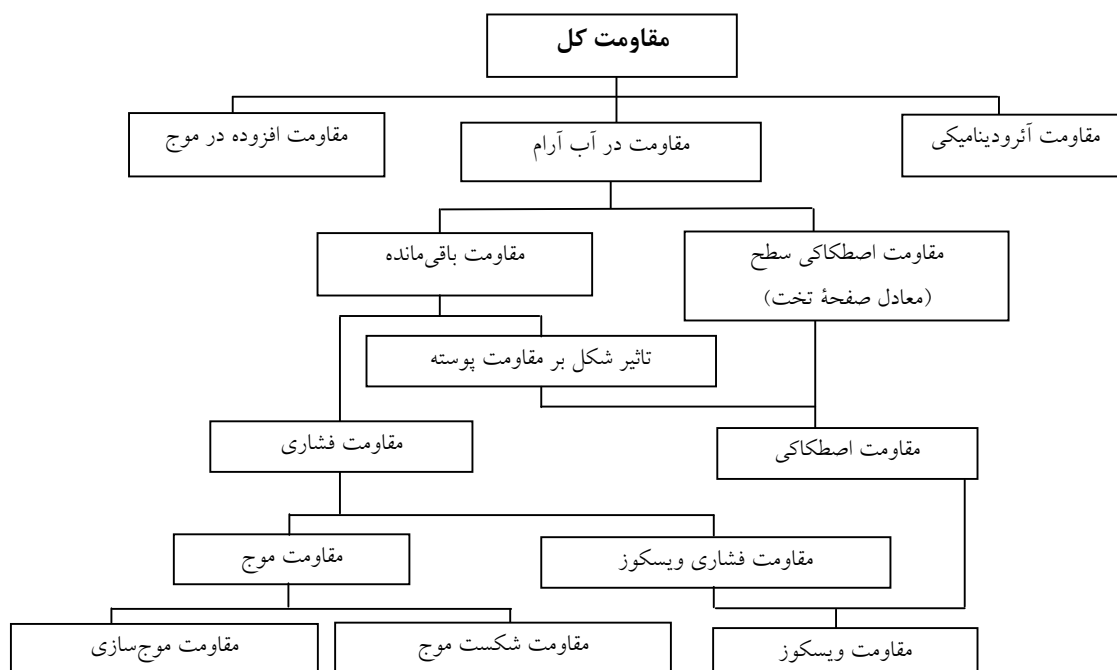
1. Thomas Hellström, "Optimizing Control at Sea: The Experience of the Seapacer Project", 2002
2. Bertram Volker, "Practical Ship Hydrodynamics", Great Britain, Butterworth-Heinemann, Reprinted 2002.
3. Blount Donald L. and Bartee Robert J., "Design of Propulsion Systems for High Speed Craft", *Marine Technology*, Vol. 34, No. 4, Oct. 1997, pp. 276-292.
4. Giassi, A. Maisonnewe, J.J. Bennis, F. *Multidisciplinary Design Optimisation and Robust Design Approaches applied to Concurrent Design*, COMPIT 2003, Hamburg, May 2003
5. Toms, B. A. 1949 Observation on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers. In *Proc. Intl Rheological Congress, Holland, 1948, Vol. \_*, pp.135-141.
6. Mysels, K. *Flow of thickened fluids*. US patent, 1949, No.2492173.
7. Wei, T. & Willmarth, W.W. *modifying turbulent structure with drag-reducing polymer additives in turbulent channel flows*, *J. Fluid Mech.*, 1992, Vol.245, pp.619-641.
8. Lumley, J.L. *Drag reduction by additives*. *Ann.Rev. Fluid Mech.*, 1969, Vol.1, pp.367.
9. Rabin, Y. & Zielinska, B. J. A. *Scale-dependent enhancement and damping of vorticity disturbances by polymers in elongational flow*. *Phys. Rev. Lett.* 1989, Vol.63, pp.512.
10. [10] (1967)
11. Willis & Ratliff Corporation, "Survey of Alternative Waterborne Technologies".
12. "AIR CAVITY SHIPS" at: <http://www.cco.caltech.edu/~matveev/FILE3/ACS/acs.html>.
13. Hiroharu KATO "Microbubbles as a Skin Friction Reduction Device A Midterm Review of the Research" Department of Mechanical Engineering, Toyo University and Yoshiaki KODAMA Center for Smart Control of Turbulence National Maritime Research Institute
14. Yoshiaki Kodama<sup>1</sup>, Akira Kakugawa, Takahito Takahashi, Shigeki Nagaya<sup>1</sup> and Takafumi Kawamura, "Drag Reduction of Ships by Microbubbles", National Maritime Research Institute of Japan.
15. Nagamatsu, T. et al. 2002, *A full- scale experiment on microbubbles for skin friction reduction using Seiun-Maru, part 2: The full-scale experiment*, *J Soc of naval Architects of Japan*
16. Latorre. R, Mr. Aaron Miller and Mr. Richard Philips "Micro-Bubble Resistance Reduction for High Speed Craft", 2002.
17. Latorre, R., Bablenko, V., 1998. "Role of bubble injection technique in drag reduction." *Proc. ONR-NUWC International Symposium on Seawater Drag Reduction, Newport, RI*, pp. 319-326.



18. Seif, M.S., Tavakoli, M.T., "Technical Aspects of Future Ships "NEVA 2003 - The Seventh International Conference - Russian Shipbuilding And Shipping In The Global Market\_St. Petersburg, Russia, 2003.
19. Terrence W. Schmidt, "Technology for 21st century".
20. JANSSON, B.O.; LAMB, G.R. (1992), Buoyantly supported multihull vessels, High-Performance Marine Vehicles Conf., Arlington, MH1-17.
21. "Aerohydro, Inc.," at: <http://www.aerohydro.com/products/marine/navatek.htm>.
22. "Hydrofoil Basics - Characteristics" at: <http://www.foils.org/basfigs.htm>
23. N.N. (2002b), Finnish hovercraft Tuuli, Hansa 139/7, pp.53
24. LOSI, P.C. (1995), The wingship potential for strategic lift, Industrial College of the Armed Forces, Washington.
25. . <http://www.se-technology.com/wig>.
26. "HYDROFOIL PHOTO GALLERY, with some specifications of high-speed crafts", at: <http://www.cco.caltech.edu/~matveev/hydrofoil.html>.
27. <http://www.sun.ac.za/kie/unistel/technologies/hysucat/explanat.html>.
28. Carlton J S, "Marine Propellers and Propulsion", first published, Manchester, Butterworth Heinemann, 1994.
29. Nozawa Kazuo and Takayama Naohisa, "Hydrodynamic Performance and Exciting Force of Surface Piercing Propeller", Osaka University.
30. Janes Jack P. E., "A Fully Enhanced Gas Turbine for Surface Ships", International Gas Turbine and Aeroengine Congress & Exhibition, Birmingham, U. K., June 1996.
31. R.M. Privette, T.J. Flynn, M.A. Perna R. Holland, R. Rahmani, C. Woodburn S.W. Scoles, R.C. Watson, "PEM Fuel Cell System Evaluation for Navy Surface Ship Applications".
32. P. Schenzle, P. Boese and P. Blume, Ein Programm System sur Berechnung der 11 Schiffsgeschwindigkeit unter Dienstbedingungen, Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, Bericht Nr. 303, 1974.
33. J.M.J. Journée, Prediction of Speed and Behaviour of a Ship in a Seaway, Delft Ship Hydromechanics Laboratory, Report No. 427, 1976.
34. J.M.J. Journée and J.H.C. Meijers, "Ship Routeing for Optimum Performance", Transactions IME, 21 February 1980, Conference on Operation of Ships in Rough Weather.
35. D. Savitsky and J. L. Gore "Re - Evaluation of Planing hull Form", J. HYDRONAUTICS, Vol. 14, No. 2, APRIL 1980.
36. J. J. Maisonneuve, Sirehna, "Advances in Optimal Design Technology"
37. J. J. Maisonneuve, Sirehna, U. Vivani, "Optimal Design of Ship Hull Forms"



شکل-۱: روش های کاهش مصرف سوخت

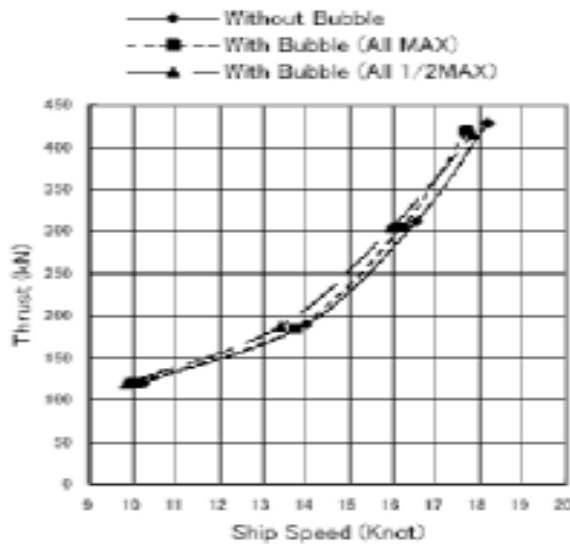


شکل-۲: مولفه های مقاومت کشتی

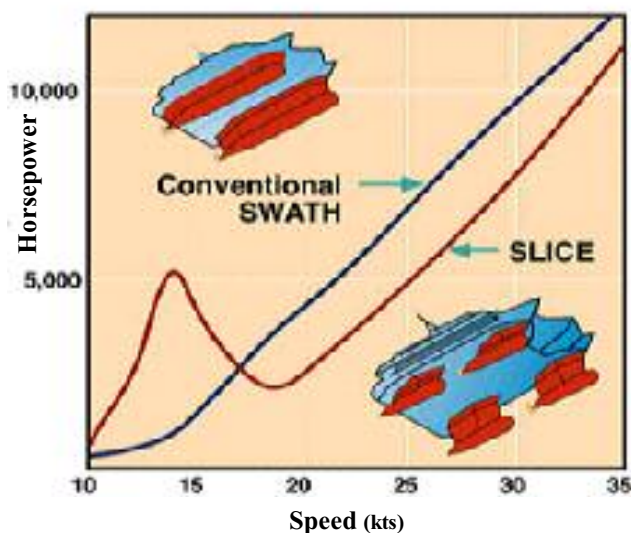




شکل-۴: شناور Seium Maru Ship - کشتی با تزریق هوا [۱۳].



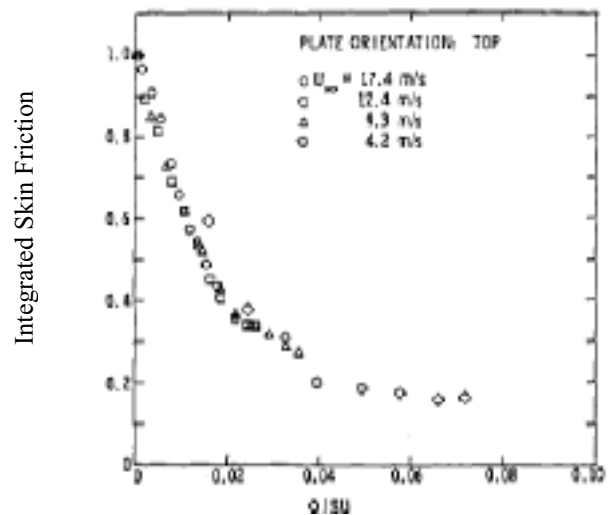
شکل-۶: افزایش تراست با استفاده از ذرات هوا [۱۵]



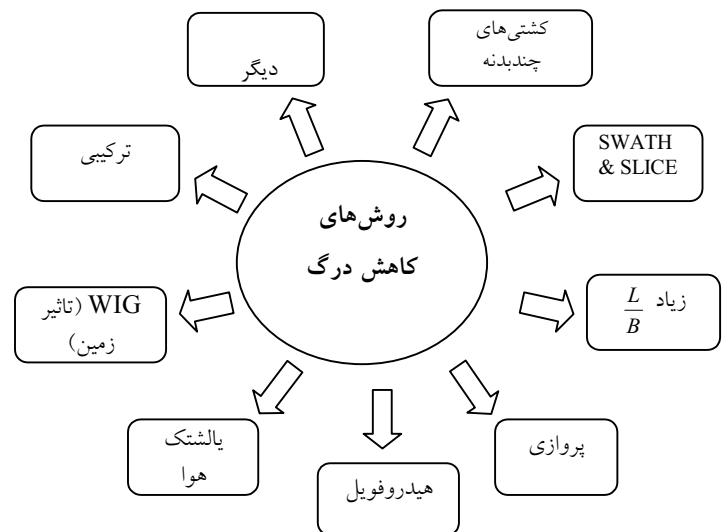
شکل-۸: کاهش مقاومت موج‌سازی Slice در سرعت‌های بالا [۱۹]



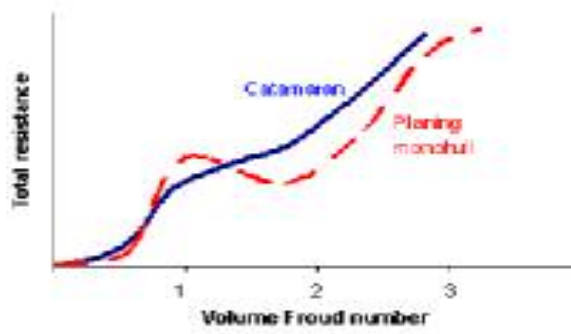
شکل-۳: SeaCoaster شناور ترکیبی کاتاماران و هاورکرافت است [۱۱].



شکل-۵: کاهش اصطکاک پوسته‌ای با استفاده از ذرات هوا [۱۴].



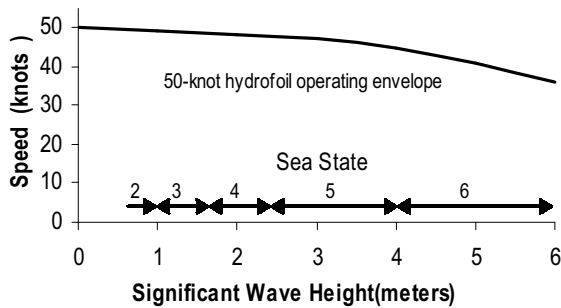
شکل-۷: روش‌های کاهش درگ



شکل-۱۰: منحنی مقاومت برای شناور کاتاماران و پروازی



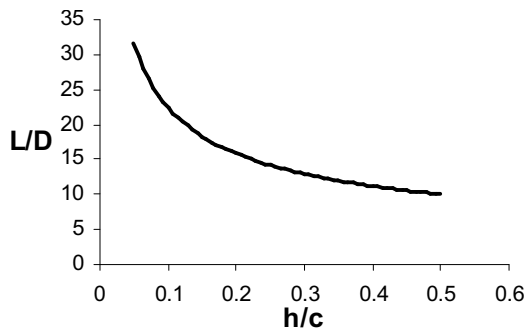
شکل-۹: Euroexpress of Kvaerner



شکل-۱۲: تاثیر شرایط دریایی بر سرعت هیدروفویل [۲۲]



شکل-۱۱: هیدروفویل مغروق



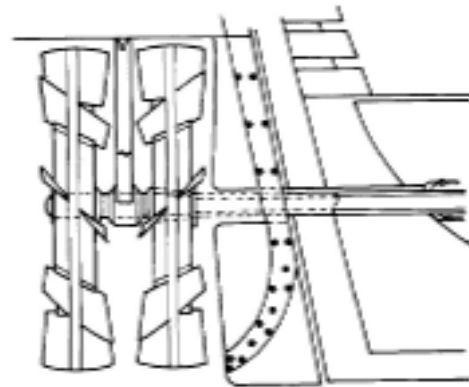
شکل-۱۴: تاثیر سطح زمین بر نسبت لیفت به درگ [۲۵]



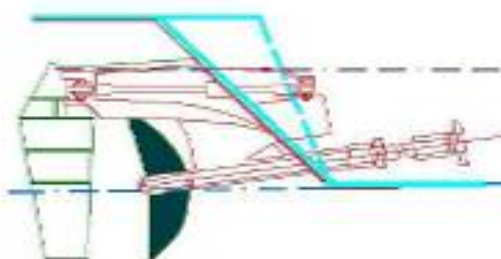
شکل-۱۳: Atlantis I - پروژه WIG [۲۴]



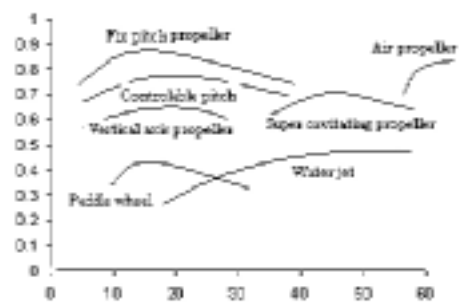
شکل-۱۶: سیستم پیشران Podded



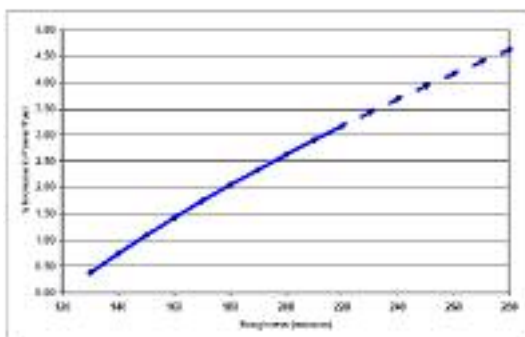
شکل-۱۵: پروانه های مختلف جهت



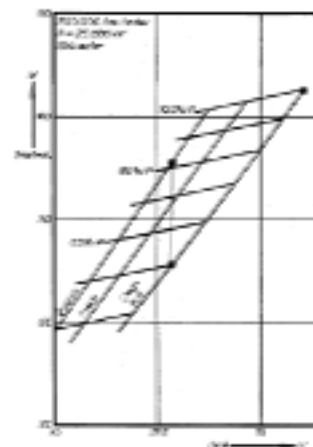
شکل-۱۸: طرح شماتیک از پروانه سطحی



شکل-۱۷: راندمان تقریبی پیش برنده های مختلف



شکل-۲۰: افزایش توان مورد نیاز برای حفظ سرعت یک شناور با افزایش زبری بدنه



شکل-۱۹: افزایش توان مورد نیاز به دلیل ایجاد رسوب