

فصل ۴

بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی



این تصویر یک کشتی کانتینربر را نشان می دهد.

نوع درس: نظری

کل ساعات: ۳۰ ساعت

ساعات نظری: ۳۰ ساعت

اهداف کلی

هنرجو باید پس از پایان این فصل قادر باشد:

- ۱ عوامل ایجاد مقاومت در برابر حرکت شناور در دریا را بشناسد.
- ۲ با انواع روش‌های تعیین مقاومت شناور آشنا شود.
- ۳ روش‌های کاهش مقاومت شناور در دریا را بیاموزد.

روش تدریس

- ۱ عموماً در ابتدای درس و در جلسه اول به مقدماتی که در محتوای درس ارائه شده پرداخته می‌شود تا دانش‌آموز با موضوعات درسی درگیر شود.
- ۲ سعی شود تمامی نکات فنی، همراه با دلایل آن بررسی شده و از هنرجویان خواسته شود در مباحث کلاسی و تمرینات شرکت کرده تا بتوانند این نکات را به خوبی فرا گرفته و برای همیشه به خاطر بسپارند.
- ۳ توصیه می‌گردد برای تدریس بهتر این فصل هنرآموز از روش تدریس **کلاس معکوس** استفاده کند. یعنی از هنرجویان بخواهد مطالب را در منزل از طریق اینترنت یا کتاب‌های مرتبط، مطالعه و یاد گرفته و در کلاس با هدایت هنرآموز تمرینات را پاسخ دهد.
- ۴ پیشنهاد می‌گردد هنرآموز برای توضیحات تکمیلی مطالب فصل، موارد ذکر شده در بخش‌های **دانش‌افزایی** را مورد توجه قرار داده و هنگام آموزش آنها را به کار گیرد.
- ۵ توصیه می‌گردد باهدف **تقویت مهارت‌های خوانداری و نوشتاری هنرجویان** و نیز **درک بهتر مطالب**، از آنان خواسته شود تحقیق و گزارشات خود را به صورت دست‌نویس در روی کاغذ نوشته و ارائه دهند و تا جای ممکن از کپی کردن مطالب اینترنت به صورت تایپ شده، آماده و خام خودداری شود.
- ۶ فعالیت‌هایی از قبیل «فکر کنید»، «بحث کنید»، و... برای فعال کردن هنرجویان و به‌کارگیری اطلاعات، دانسته‌ها و تجربیات آنان است. سعی کنید این فعالیت‌ها به دقت اجرا شود و در پایان هر فعالیت، یک بحث کوتاه تکمیلی داشته باشید.

دانش‌افزایی

هیدرودینامیک، دانش بررسی مایعات در حال حرکت در محیط‌های محدود و یا نامحدود بوده و نیز اثراتی که این مایعات بر محیط اطراف خود می‌گذارد را بررسی می‌نماید. به‌عنوان مثال، اگر یک شناوری که قرار باشد در آب دریا و یا رودخانه

حرکت کند، تعیین می‌شود که چه اندرکنش‌هایی بین شناور و آب اطراف آن اتفاق می‌افتد. یکی از مهم‌ترین این رویدادها، انتقال نیرو از سمت آب در حال جریان به شناور و حرکت آن باشد و یا اینکه زمانی که شناور در آب رودخانه یا دریا حرکت می‌کند، آب چگونه بر حرکت آن تأثیر می‌گذارد مثلاً باعث افزایش سرعت یا کاهش آن شده و یا باعث جابه‌جایی شناور در درجات آزادی دیگر شود (به مبحث ساختمان شناور مراجعه گردد). جهت مطالعه بیشتر، هنرآموز محترم می‌تواند به کتب تخصصی مربوط به هیدرودینامیک شناورها مراجعه نماید. روابط ریاضی‌ای که در این زمینه و بر اثر آزمایش و محاسبات فیزیکی و ریاضی حاصل شده است، دارای پیچیدگی‌های فراوانی است و روابط حاصل شده همگی به شکل تقریبی و نه دقیق می‌باشند. در این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود حداقل مطالب مربوط به این مبحث را بیاموزد. به عنوان مثال بتواند تشخیص دهد که توان موتور شناور بر چه مبنایی تعیین گشته است. یا اینکه چه روش‌های عملی جهت بهبود حرکت شناور در دریا که اصطلاحاً به آن کاهش مقاومت هیدرودینامیکی شناور گفته می‌شود، وجود دارد، و یا اینکه چرا بدنه اغلب شناورها به صورت دوکی شکل ساخته شده است.

مقاومت شناور

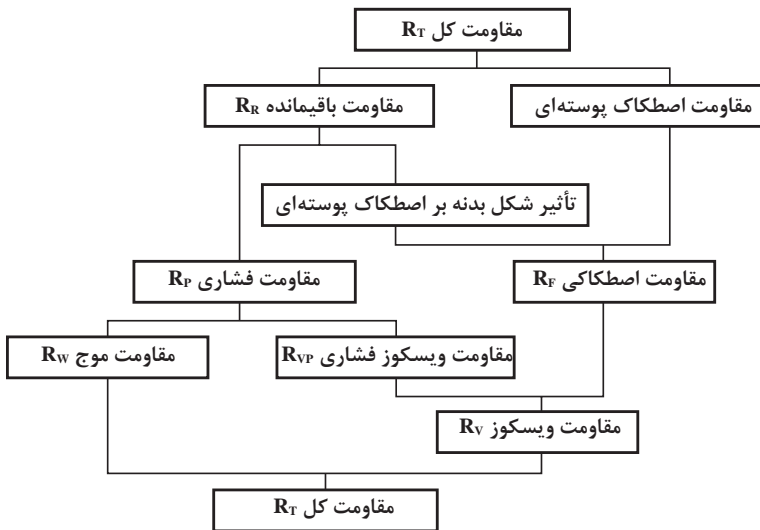
همان‌گونه که مستحضرید، هر جسمی به جرم m چه در حال سکون باشد و یا چه در حال حرکت، اگر تحت تأثیر نیروی F قرار گیرد، دارای شتابی می‌شود که از رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$F = ma$$

حال اگر نیروهایی که بر جسم اعمال می‌گردد، مجموعشان به صورت برداری صفر گردد، شتاب جسم نیز صفر خواهد شد. در این حالت جسمی که در حال سکون است و یا با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد، در همان وضعیت باقی می‌ماند. برای شناوری که در دریا یا رودخانه هم حرکت می‌کند، این قانون برقرار است. زمانی که شناور با استفاده از نیروی رانش خود که ناشی از تولید توان موتور و چرخش پروانه در آب است و با سرعت ثابت در آب حرکت می‌کند نیروهایی که از طرف محیط بر شناور اعمال می‌گردد، برابر با همین نیروی رانش یا پیش روی ناشی از موتور و پروانه است. چند نمونه از این نیروها، نیروهای امواج، جریان‌های دریایی یا رودخانه، باد، ضامیم و ملحقات شناور مانند سکان و... هستند. در غالب کتب مربوطه، مجموعه نیروهای مذکور که در برابر حرکت شناور مقاومت می‌نمایند را با R_T نشان می‌دهند. در ادامه این نیروها توضیح داده می‌شود.

تقسیم‌بندی اجزای مقاومت در کشتی‌ها

برای یک شناوری که در آب حرکت می‌نماید، تقسیم‌بندی‌های مختلفی از نیروهای مقاوم در برابر حرکت وجود دارد. این تقسیم‌بندی‌ها بدین دلیل صورت می‌پذیرد که بتوان مقدار تقریبی کل نیروهای مقاوم در برابر حرکت شناور را تخمین زده و نیز سهم هر کدام را جویا شد. یکی از بهترین تقسیم‌بندی‌ها به شکل نمودار آبشاری در شکل زیر آمده است. حال به توضیح تک‌تک این نیروهای مقاوم می‌پردازیم:



نمودار آبشاری تقسیم‌بندی مؤلفه‌های مقاومت کشتی

مقاومت اصطکاکی پوسته‌ای (Skin Friction Resistance): اگر فرض کنیم

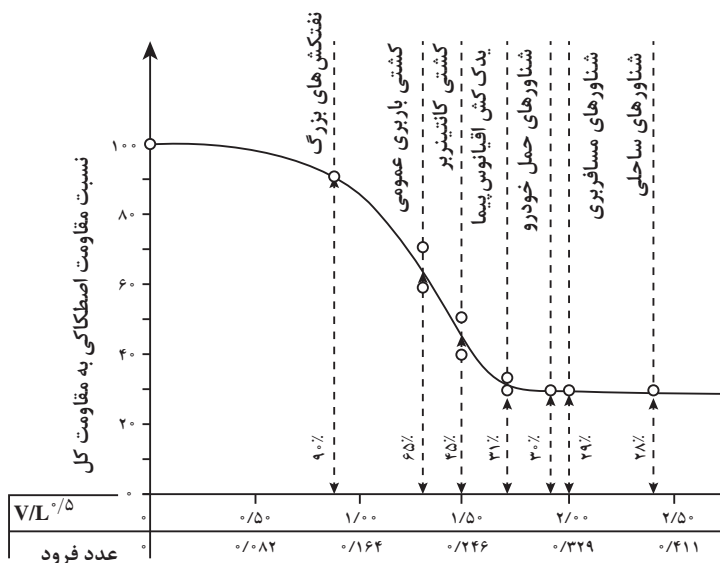
که کل سطح شناور که فقط با آب دریا در تماس است، یعنی سطح زیرین آن (در شکل بالا نشان داده شده است) را در نظر گرفته و آن را صاف و مسطح فرض کنیم. آنگاه اگر این سطح در آب حرکت کند، به دلیل ویژگی خاصی از سیال به نام لزجت، در برابر حرکت این سطح، مقاومت ایجاد می‌شود. این مقاومت به عنوان مقاومت اصطکاک پوسته‌ای شناخته می‌شود.

این میزان مقاومت، معمولاً سهم زیادی از کل مقاومت‌های ذکر شده در شکل بالا دارد، به همین دلیل برای دانشمندان و دریانوردان بسیار مهم قلمداد می‌گردد. این نسبت مقاومت به کل مقاومت، برای چند نوع شناور تجاری در جدول صفحه بعد نشان داده شده است. باید در نظر داشت که هر چه بدنه شناور از آب بیشتر بیرون باشد یعنی اینکه نسب آب‌خور به عمق شناور کمتر باشد، سهم این نوع مقاومت کمتر خواهد بود چرا که سطح تماس بدنه شناور با آب کمتر است.

جدول نسبت مقاومت اصطکاکی به مقاومت کل برای برخی از شناورهای تجاری

$R_F / R_T = 3\%$	کشتی RO-RO
$R_F / R_T = 3\%$	کشتی مسافربری
$R_F / R_T = 4\% - 5\%$	کشتی کانینربر
$R_F / R_T = 6\% - 7\%$	کشتی حمل کالای عمومی
$R_F / R_T = 9\%$	نفتکش‌های VLCC و ULCC

شکل زیر فرم نموداری این نسبت‌ها را برای چند نمونه شناور مرسوم نشان داده است. این نسبت‌ها با توجه به عدد فرود و یا نسبت سرعت به جذر طول شناور نشان داده شده است. در قسمت‌های بعدی در مورد عدد فرود توضیح داده خواهد شد و ذکر خواهد گردید که چه اهمیتی در تعیین مقاومت شناور دارد.



نسبت مقاومت اصطکاکی به مقاومت کل در کشتی‌های مختلف

مقاومت باقیمانده (Residual resistance): همان گونه که ذکر گردید، مقاومت اصطکاک پوسته‌ای سهم زیادی را در کل مقاومت شناور ایجاد می‌نماید. مابه التفاوت این میزان مقاومت از مقاومت کل شناور را مقاومت باقیمانده شناور می‌نامیم:

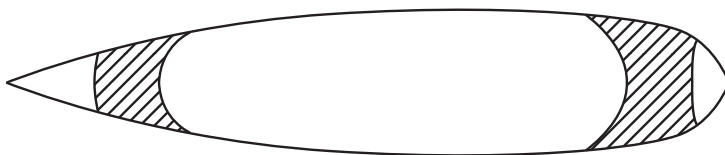
مقاومت باقی‌مانده = مقاومت اصطکاک پوسته‌ای - مقاومت کل

همان گونه که از شکل صفحه ۷۴ پیداست، این نوع مقاومت خود دارای مؤلفه‌های دیگری است که در ادامه می‌آید:

مقاومت فشاری (Pressure resistance): این نوع مقاومت، ناشی از اختلاف فشار بین قسمت جلویی و قسمت عقبی شناور است. این اختلاف فشار، نیروی مقاومی را ایجاد می‌کند که در برابر حرکت شناور مقاومت می‌شود. این مقاومت خود به دو دسته مقاومت فشاری ویسکوز که در نتیجه ویژگی لزجت آب است و نیز مقاومت فشاری موج ایجاد می‌گردد که به دلیل وجود امواج در دریاست.

مقاومت فشاری ویسکوز (Viscose Pressure resistance): به دلیل ویسکوزیته سیال مقاومتی به وجود خواهد آمد که به نام مقاومت فشاری ویسکوز شناخته می‌شود.

یکی از راه‌های غلبه بر مقاومت فشاری، دوکی شکل ساختن فرم بدنه شناور و یا زیردریایی است. این امر خود باعث می‌شود که اختلاف فشار بین قسمت جلو و عقب شناور به کمترین حد برسد و شناور به شکلی روان تر در دریا حرکت نماید. هرگاه سرعت شناور در دریا زیاد شود، این نوع فرم بدنه دوکی شکل، تأثیر آن بر کاهش مقاومت بیشتر است (شکل زیر).



فرم بدنه دوکی شکل

تحقیق



در مورد ویسکوزیته (لزجت) تحقیق نمایید.

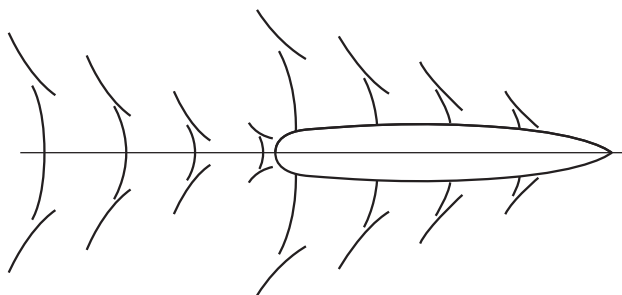
پاسخ: سیالات (مایعات و گازها) دارای یک نیروی چسبندگی بین مولکول‌های خود هستند. این نیرو، باعث می‌شود که مولکول‌ها نسبت به هم به سادگی حرکت نکنند و یا جدا نشوند. هرگاه نیرویی بر آنها اعمال می‌گردد، مقاومتی از خود نشان می‌دهند. این میزان مقاومت در سیالات، با آزمایش تعیین می‌گردد. معمولاً با افزایش دما، لزجت مایعات کاهش می‌یابد و نیروی چسبندگی بین آنها کاهش پیدا می‌کند. ولی در گازها، این خاصیت افزایش

می‌یابد. جهت آزمایش ویسکوزیته، یک صفحه نازک و صاف را روی سطح آن مایع قرار داده و با نیرویی، آن صفحه را حرکت می‌دهیم. با اندازه‌گیری سرعت و عمق آب و نیز نیرویی که ورق را به سرعت ثابت در می‌آورد، می‌توان لزجت سیال را با استفاده از فرمول زیر تعیین نمود:

$$\mu = \frac{FD}{VA}$$

A: مساحت ورق فلزی
V: سرعت ورق فلزی روی سطح مایع
F: نیرویی که ورق را روی آب با سرعت V می‌کشد.
D: بستر (کف)

مقاومت موج (wave Resistance): وقتی شناور در دریا حرکت می‌کند، باعث تولید امواج روی سطح آب می‌شود. این امواج از بدو تشکیل، به سمت عقب شناور حرکت نموده و به بدنه شناور برخورد می‌کنند که خود باعث ایجاد نیروی مقاوم در برابر حرکت شناور می‌شود. این نوع مقاومت، به دو دسته مقاومت موج‌سازی و مقاومت شکست موج تقسیم می‌شود. هرگاه امواج تشکیل شده در دریا به هم برخورد نمایند، باعث شکست این امواج می‌گردد. در نتیجه این امواج شکسته شده، به گونه‌ای دیگر باعث ایجاد مقاومت شناور می‌شوند. در حقیقت نحوه محاسبه این نوع مقاومت، با مقاومت موج‌سازی در محاسبات متفاوت است. به همین دلیل مقاومت موج‌سازی و شکست موج از هم متمایز می‌شوند. شکل زیر نحوه ایجاد این امواج و موقعیتشان نشان داده شده است.



تشکیل امواج بر اثر حرکت شناور

نحوه تشکیل این نمونه امواج در آب آرام یا غیر امواج به خوبی قابل مشاهده است (شکل زیر). در این شکل هم تشکیل امواج و هم شکست موج را می توان مشاهده نمود.



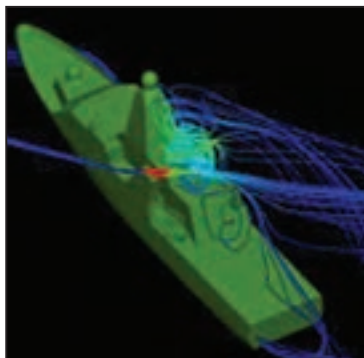
تشکیل امواج بر اثر حرکت شناور

مقاومت ویسکوز (Viscous resistance): از شکل صفحه ۷۴ می توان پی برد. منظور کلیه مؤلفه های مقاومتی است که دلیل آن ویسکوزیته یا لزجت سیال است. فرمول زیر یک نمونه مناسب از ترکیب انواع مقاومت ها را نشان می دهد:

$$R_T = R_F + R_W + R_{VP}$$

لیکن این میزان مقاومت، کل مقاومت اعمال شده بر شناور نیست. همان گونه که در مقدمه ذکر گردید، باد و ضمام و ملحقات و ... نیز باعث ایجاد مقاومت می گردند در پی می آید:

مقاومت باد (Air resistance): هرگاه شناور در دریا حرکت می کند، نیروی ناشی از باد بر روی قسمت های بالای سطح آب شناور اعمال شده و در برابر حرکت شناور مقاومت می نماید. روش های تجربی و فرمول های محاسباتی خاصی با توجه به



مدل سازی جهت تعیین مقاومت باد

نوع شناور جهت تعیین این میزان مقاومت حاصل گشته است. یکی از این روش ها، مدل سازی در نرم افزار است که با استفاده از نرم افزارهای پیشرفته، میزان مقاومت هوا تعیین می گردد (شکل روبه رو). روش های آماری مناسبی نیز وجود دارد که از آن می توان میزان مقاومت باد را در شرایط جوی مختلف تعیین نمود.

مقاومت ضنائم و ملحقات (Appendage Resistance): باله‌های تعادل، نگهدارنده شافت، سکان و تجهیزات هدایت و ضنائم پروانه از جمله اجزای اصلی در شناور هستند که چون به بدنه شناور اضافه شده‌اند، مقاومت اضافه ایجاد می‌نمایند که در کل به آنها مقاومت ضنائم و ملحقات گفته می‌شود. البته باید در نظر داشت که برخی از این ملحقات، جهت کاهش مقاومت شناور، به شناور ملحق شده‌اند، یعنی اینکه اثر مثبت‌شان بیش از اثر منفی‌شان است. مانند تریم تب و دماغه سینه که در بخش روش‌های کاهش مقاومت شناور به آن پرداخته می‌شود. شکل زیر، این ملحقات را نشان می‌دهد.



ضنائم و ملحقات که باعث ایجاد مقاومت می‌شوند.

مقاومت القایی: ملحقیات و ضمائم معمولاً به بدنه جوش خورده و یا پرچ و یا پیچ مهره می‌شوند، این نوع اتصال باعث به‌وجود آمدن مقاومت القایی می‌شود که مقداری ناچیز بوده و معمولاً در محاسبات مربوط به شناورهای بزرگ لحاظ نمی‌شود.

مقاومت حرکت در امواج اقیانوسی: در دریا، معمولاً در هر شرایطی امواج وجود دارد. برخی اوقات این امواج چنان بزرگ هستند که می‌تواند نه تنها در حرکت شناور اختلال ایجاد نماید، بلکه باعث واژگونی نیز می‌گردد. برخی اوقات این امواج از پشت سر به شناور برخورد می‌کنند که تا حدی می‌تواند حتی باعث کاهش مقاومت شناور نیز شوند، ولی در حالت کلی، به‌عنوان نیروهای مقاوم شناخته شده و جدای از مقاومت موج‌سازی‌ای هستند که بر اثر حرکت خود شناور ایجاد شده است. شکل زیر نشان می‌دهد در حالی که یک شناور در حال یدک‌کشی در دریاست، نیروهای امواج چنان سهمگین هستند که باعث پاره شدن طناب یدک‌کشی شناور شده است.



اثر امواج اقیانوس بر فرایند یدک‌کشی شناور

مقاومت حرکت در آب‌های کم عمق: عمق کم و یا عرض کم کانال، باعث می‌شود که امواج و جریان‌های دریایی پس از رفتن به مرزها، برگردند و مجدداً به شناور برخورد نمایند. هرچند مقداری از انرژی این امواج و جریان‌ها تلف می‌شود، ولی در کل باز قابل محاسبه است. این امواج می‌توانند هم ناشی از حرکت خود شناور باشند و هم ناشی از حرکت شناورهای دیگر و یا خود امواج و جریان‌های اقیانوسی باشند که در عرض کانال یا ناحیه کم عمق محصور گشته‌اند.

مقاومت اسپری: هرگاه شناور بر اثر پدیده اسلمینگ، به آب دریا برخورد می‌کند،

پاشش آب به سطح بدنه شناور به وقوع می پیوندد و باعث ایجاد یک مقاومت اضافه به نام مقاومت اسپری یا پاشش می شود. (شکل زیر)



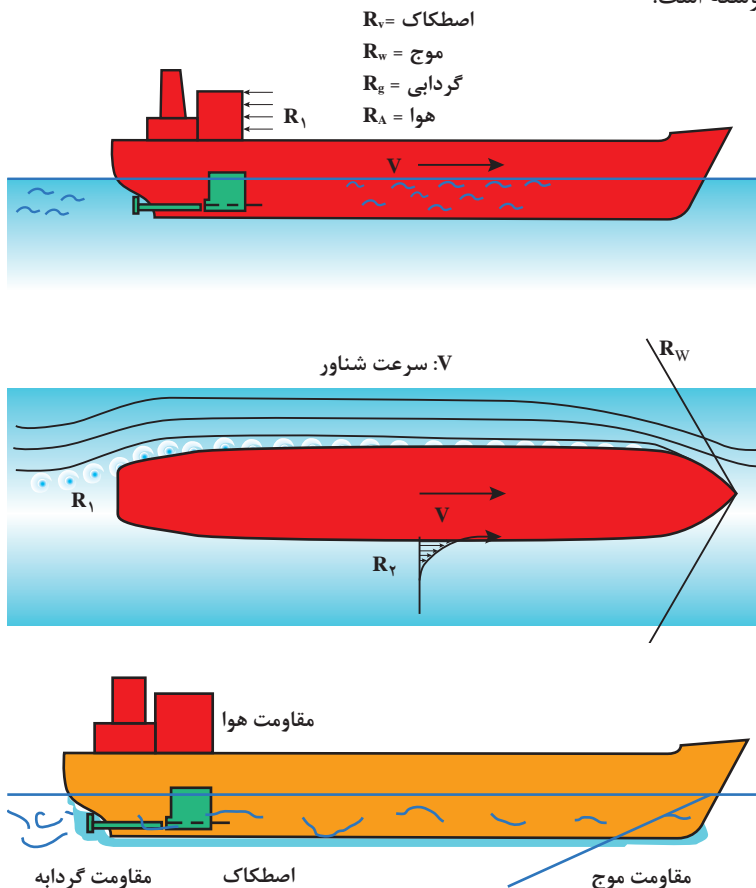
مقاومت پاشش آب به واسطه برخورد شناور به آب دریا

شکل زیر، ترکیب مقاومت اسپری، مقاومت ناشی از امواج و نیز مقاومت ناشی از منطقه کم عمق را نشان می دهد.



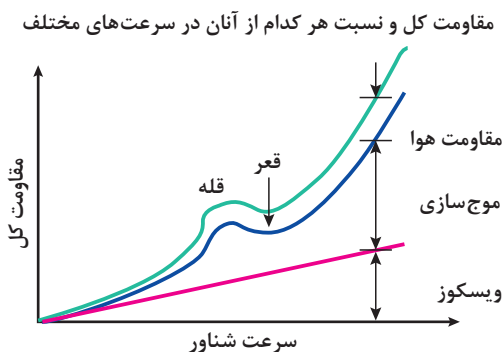
ترکیب چند نوع مقاومت

شکل زیر، محل به وجود آمدن مهم‌ترین نوع مقاومت‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل، مقاومت گردابه‌ای ناشی از ملحقات شناور یا همان پروانه است که به وقوع پیوسته است.



محل ایجاد نیروهای مقاوم (مقاومت) در برابر حرکت شناور

شکل صفحه بعد، نشانگر انواع مقاومت‌های اصلی است که به خوبی نشان می‌دهد که هرگاه شناور با سرعت کم در دریا حرکت می‌کند، این مقاومت ویسکوز است که غالب است. چرا که امواج بیشتر در زمانی حاصل می‌شوند که سرعت شناور افزایش یابد. همچنین نقطه قعر نشان می‌دهد که شناور در یک سرعت خاص، همخوانی مناسبی با امواج تشکیل شده دارد و از این حیث این نیرو کاهش می‌یابد.



در سرعت‌های پایین مقاومت ویسکوز غالب است
در سرعت‌های بالا مقاومت موج سازی غالب است

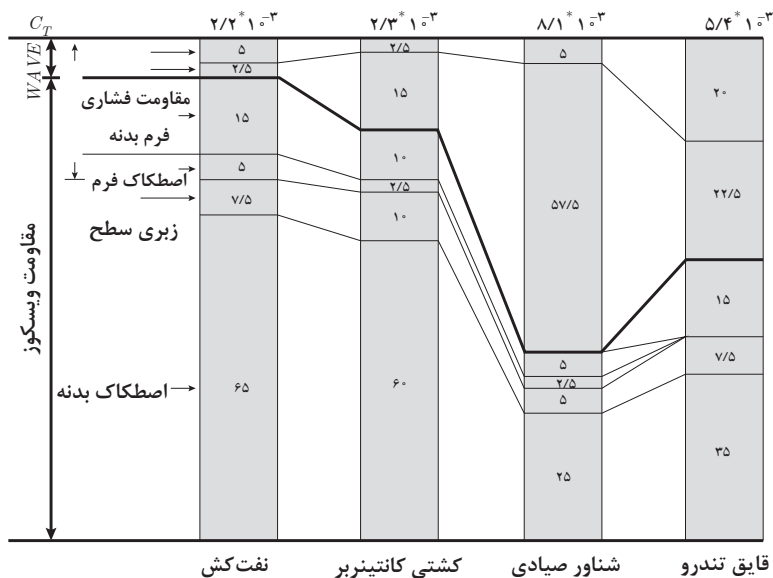
مقاومت‌های اصلی و ترکیب آنها در سرعت‌های مختلف کشتی

جدول زیر، مشخصات چند نوع شناور مهم را آورده است و در شکل صفحه بعد مقاومت این نوع شناورها و سهم آنها از هر نوع مقاومت نشان داده شده است. آنچه که در شکل صفحه ۸۱ آمده است، یک تقسیم‌بندی مشابه و نه دقیق از آن چیزی است که در ابتدای فصل به آن اشاره گردید. به عنوان مثال مقاومت زبری سطح که ناشی از ناهمواری‌ها روی سطح بدنه شناور است که بیشتر جوشکاری سطح و ناهمواری‌های میکروسکوپیک طبیعی روی ورق فولادی و نیز خزه‌ها و ناخالصی‌های چسبیده به بدنه است مورد توجه قرار گرفته است.

جدول مشخصات چهار کشتی نمونه

مشخصات شناور	نفتکش	کشتی کانتینربر	شناور صیادی	قایق تندرو
طول (متر)	۳۱۶	۲۴۸	۲۳	۲۲/۵
عرض (متر)	۵۶	۳۰	۷	-
آبخور (متر)	۲۰	۹/۵	۲/۵	-
سرعت (گره)	۱۶	۲۳	۱۰	۴۰
عدد فرود	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۳۴	۱/۴
عدد رینولدز	۲/۶	۲/۹	۰/۱۲	۰/۴۶
ضریب مقاومت کل	۰/۰۲۲	۰/۰۲۳	۰/۰۸۱	۰/۰۵۴

ناشی از امواج



مؤلفه‌های مقاومت برای چهار کشتی (به صورت درصدی از کل مؤلفه‌ها)

با توجه به شکل بالا مشاهده می‌شود که مؤلفه‌های مقاومت در شناورهای تندرو و شناور صیادی متفاوت از شناورهای تجاری بوده و سهم بسیار زیادی از مقاومت به مقاومت موج و مقاومت فشاری می‌گردد. این مهم هم بدین خاطر است که در هنگام حرکت بخش بسیار زیادی از بدنه شناورهای تندرو از آب خارج می‌شود. ضریب مقاومت کل C_T که بیانگر مقاومت کل شناور است، در قسمت‌های بعدی توضیح داده می‌شود.

روش‌های تعیین مقاومت شناور

یکی از مهم‌ترین روابط تجربی تعیین نیروی مقاوم هیدرودینامیکی بر روی اجسامی که در آب قرار دارند، به صورت زیر است:

$$F = \frac{1}{2} C_V \rho V S$$

در این رابطه:

V سرعت جسم، S مساحت سطح بدنه و C ضریبی است که به شرایط مختلف بستگی دارد و با استفاده از فرمول‌های ریاضی و آزمایش تعیین می‌گردد. جهت تعیین مساحت سطح خیس شده شناور لازم است که یک سری محاسبات

ریاضی با استفاده از کامپیوتر صورت پذیرد. جدول زیر یک سری روابط تجربی را برای برخی از شناورها جهت تعیین سطح خیس شده می‌دهد:

جدول رابطه تقریبی برای S

Bulk carriers and tankers	$S = 0.99 \times \left(\frac{\nabla}{T} + 1.9 \times L_{wl} \times T \right)$
Container vessels (single screw)	$S = 0.995 \times \left(\frac{\nabla}{T} + 1.9 \times L_{wl} \times T \right)$
Twin screw ships (Ro-Ro ships) with open shaft lines (and twin rudders)	$S = 1.53 \times \left(\frac{\nabla}{T} + 0.55 \times L_{wl} \times T \right)$
Twin skeg ships (Ro-Ro ships with twin rudders)	$S = 1.2 \times \left(\frac{\nabla}{T} + 1.5 \times L_{wl} \times T \right)$
Double ended ferries	$S = 1.11 \times \left(\frac{\nabla}{T} + 1.2 \times L_{wl} \times T \right)$

در جدول بالا، T آب‌خور، ∇ حجم کل قسمت زیر آب شناور و L_{wl} بیانگر طول بین دو عمود شناور (در میحث ساختمان و تعادل به آن اشاره شده است) می‌باشد. در شکل زیر، مساحت سطح خیس شده در زیر خط آب‌خور (ناحیه آبی رنگ) تعیین می‌گردد.



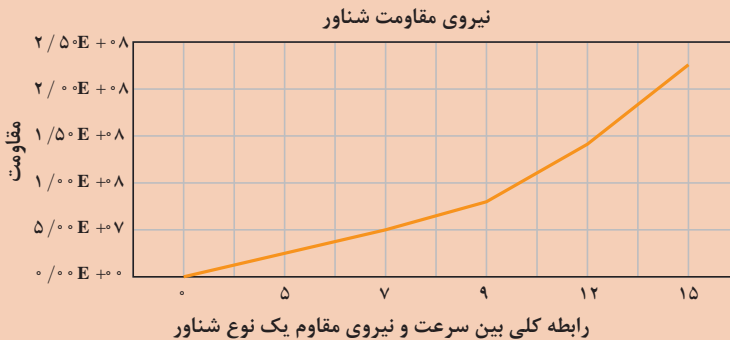
سطح خیس شده شناور. ناحیه آبی رنگ



با کمک هنرآموز، چند نوع نرم افزار مهم صنایع دریایی را که جهت محاسبات هیدرودینامیکی به کار می روند، نام ببرید. آیا در کشور ما چنین نرم افزارهایی تاکنون تولید شده اند؟

پاسخ: در حال حاضر نرم افزارهای متعددی در زمینه دریایی جهت محاسبات هیدرودینامیکی و تعیین مقاومت شناور به کار می روند. از جمله آنها می توان به: Autoship, Tribon, NavCAD, Fluent و Gambit نام برد. نرم افزارهای Autoship, Tribon, NavCAD جهت تعیین مقاومت شناور به صورت کاملاً دریایی طراحی شده اند. دو نرم افزار دیگر علاوه بر کاربرد دریایی، کاربرد در زمینه علم هیدرودینامیک و مکانیک سیالات را نیز دارند.

جهت جلوگیری از سوء استفاده از نام نرم افزارهای طراحی شده در کشور، از هنرآموز محترم تقاضا می گردد با تحقیق، نام چند نرم افزار هیدرودینامیکی و دریایی را که در کشورمان و به دست متخصصان طراحی شده است، به هنرجویان معرفی نماید. رابطه تعیین نیروی مقاوم هیدرولیکی را می توان به عنوان نمونه برای شناوری که نمودار مقاومت آن بر حسب سرعت در شکل زیر نشان داده شده است را بیان نمود که با توان دوم سرعت رابطه مستقیم دارد.



از فرمول $F = \frac{1}{2} C_V \rho S V^2$ می توان به خوبی فهمید که تعیین دقیق مقدار C چقدر مهم است. اگر ضریب C در رابطه بالا بیانگر کل مقاومت های موجود باشد، آن را با C_T نشان می دهیم. در محاسبات مقاومت هیدرودینامیکی شناور، معمولاً C به دو قسمت C_F که مربوط به مقاومت اصطکاکی می شود و C_R مربوط به مقاومت باقیمانده می شود، تقسیم بندی می شود:

$$C = C_F + C_R$$

برای تعیین C_F ، روش‌های تجربی و ریاضی متعددی وجود دارد. ولی مهم‌ترین رابطه برای تعیین آن توسط استاندارد بین المللی حوضچه کشش ITTC تعیین گشته است که عبارت است از:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_e - 2)^2}$$

R_e عدد رینولدز است که یک پارامتر مهم در مکانیک سیالات و هیدرودینامیک است و عبارت است از:

$$R_e = \frac{\rho VL}{\mu}$$

در این رابطه L طول بین دو عمود شناور، V سرعت شناور در دریا، μ ضریب ویسکوزیته یا لزجت و ρ چگالی آب دریاست.

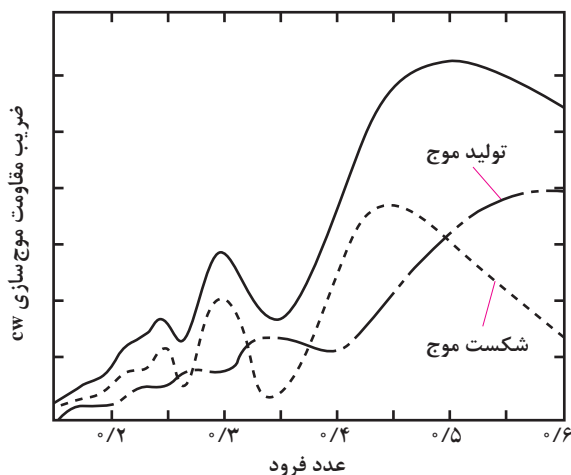
تمرین



یک شناور با طول ۴۵ متر، در آب دریا با ویسکوزیته ۰/۰۰۱۲ و با چگالی ۱۰۲۰، با سرعت ۵ متر بر ثانیه حرکت می‌کند. مطلوبست عدد رینولدز. پاسخ:

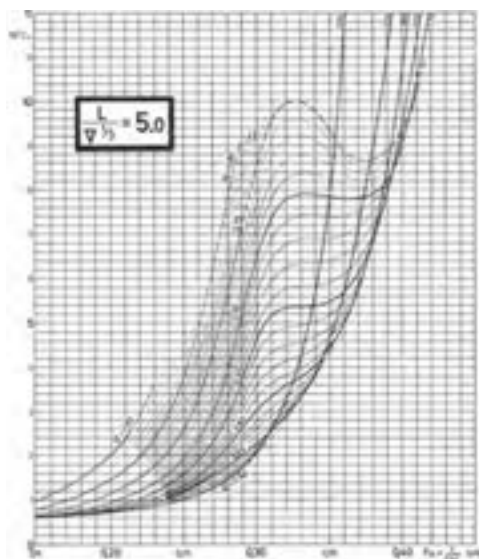
$$R_e = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{1020 \times 5 \times 45}{0.0012} = \frac{229500}{12 \times 10^{-4}} = 191250000 = 19/125 \times 10^7$$

باقیمانده ضریب مقاومت، C_R است که مربوط به تمام عوامل غیر اصطکاکی در مقاومت شناور می‌شود. عواملی همانند فرم هندسی شناور و نیز امواج در تعیین این ضریب مقاومت باقیمانده مؤثرند. تعیین مقاومت باقیمانده معمولاً با استفاده از تست مدل در حوضچه کشش حاصل می‌گردد و نتایج آن به صورت جداول یا نمودارهایی تعیین می‌گردد که در ادامه این فصل توضیح داده خواهد شد. شکل صفحه بعد یک نمونه از این نمودارهاست که مقاومت موج را تعیین می‌نماید که جزیی از مقاومت باقیمانده است. منتهی این روش یک روش مستقیم تعیین مقاومت باقیمانده نیست و باید سلسله مراتبی را رعایت نمود.



تعیین مقاومت موج سازی برای یک نوع شناور

یک روش دیگر، روش Harvald است که نمودارهایی را با توجه به نسبت ابعادی شناور، عدد فرود و ضریب بلوکی یا چاقی شناور تعیین نموده است که با استفاده از تست مدل شناورهای تجاری حاصل گشته است. نمودار شکل زیر، یکی از این نمودارها برای یک نسبت ابعادی خاص یعنی ۵ نشان داده شده است. در این نمودار، L طول شناور، ∇ حجم قسمت زیر آب شناور، Fr عدد فرود و نیز Φ ضریب بلوکی یا چاقی شناور است.



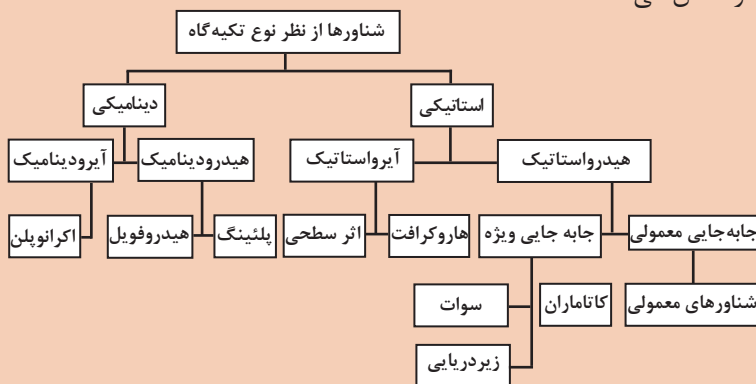
جدول تعیین مقاومت باقیمانده شناور برای نسبت ابعادی



شناورهای تندرو، به دلیل نیاز به عملیات حمل و نقل سریع، در طی یک قرن اخیر طراحی و تولید شده و روزه‌روز توسعه بیشتری پیدا می‌کنند. در مورد این نوع از شناورها تحقیق نمایید.

پاسخ:

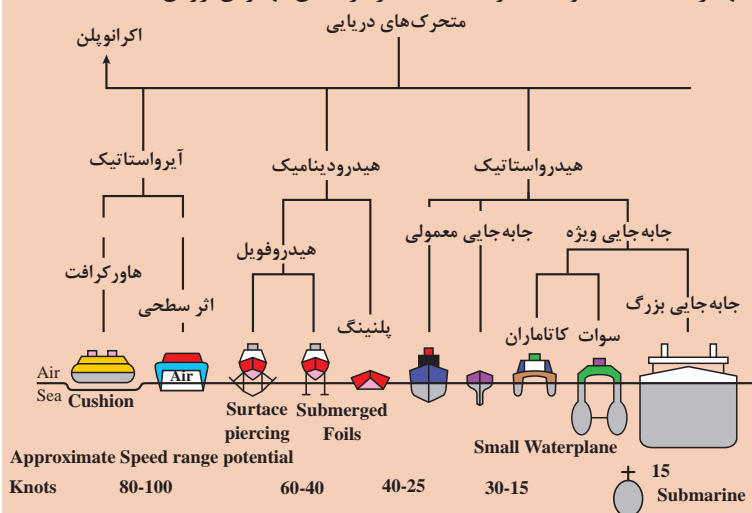
به دلیل افزایش حمل و نقل دریایی، چه در زمینه بار و چه در زمینه مسافر، و نیز چه در زمینه عملیات جنگی، نیاز بشر به کاهش زمان رفت و آمد و در نتیجه افزایش سرعت شناورها حس می‌شد. امروزه شناورهای تندرو هم جهت جابه‌جایی بار، هم مسافر و هم سایر اهداف (امداد و نجات، جنگی و...) مورد استفاده قرار می‌گیرند و میزان استفاده از آنان روزه‌روز در حال افزایش است. تعریف کلی شناورهای تندرو به لحاظ علمی، دقیق و مشخص نشده است. از لحاظ تجربی، شناورهایی که در مقایسه با شناورهای هم ظرفیت خود، بتوانند با سرعت قابل توجهی سریع‌تر از سایر شناورها به مقصد برسند را شناورهای تندرو می‌نامیم. علاوه بر آن، یک سری شناورها هستند که سرعت‌شان در مقایسه با شناورهای هم نوع خود خیلی بیشتر نیست، ولی انرژی کمتری را نسبت به شناورهای هم نوع خود مصرف می‌کنند. این نوع شناورها به عنوان شناورهای مدرن و یا پیشرفته لحاظ می‌گردند. در حال حاضر، شناورهای تندرو را به نمونه‌های مختلفی تقسیم بندی می‌کنند که شکل زیر این نوع دسته‌بندی را نشان می‌دهد.



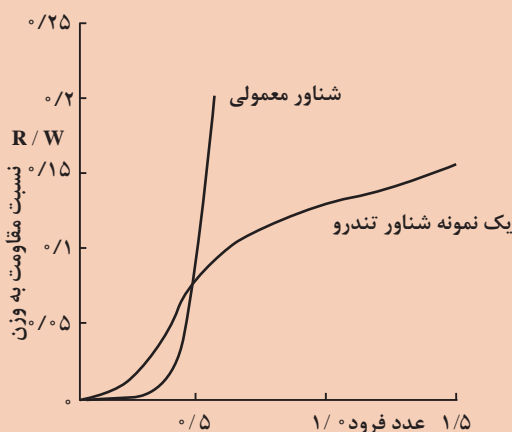
دسته بندی شناورهای دریایی

شکل صفحه بعد نیز نمای کلی از شناورهای ذکر شده مربوط به شکل بالا را نشان می‌دهد.

در این نوع شناورها، فرم بدنه به گونه‌ای ساخته شده است که این شناورها در سرعت‌های بالا، در مقایسه با شناورهای مشابه معمولی انرژی به مراتب کمتری را مصرف می‌نمایند. معمولاً سطح خیس شده این شناورها با استفاده از روش‌هایی کاهش پیدا می‌کند و همچنین فرم بدنه آنها نیز تغییر می‌کند. در نتیجه به روش‌های معمولی نمی‌توان با استفاده از روابط ریاضی مقاومت آنها را محاسبه نمود. معمولاً استفاده از آزمایش بهترین روش است.



انواع شناورهای تندرو از نظر ظاهری و فرم



مقایسه مقاومت یک شناور معمولی و یک شناور تندرو

حال به توضیح این نوع شناورها می‌پردازیم:
کاتاماران (Catamaran): شناورهای دوبدنه هستند که از دو قسمت زیر آب و یک قسمت روی آب تشکیل شده‌اند. فرم بدنه آنها باعث می‌شود که آب به راحتی از بین بدنه‌ها جریان پیدا کند و در نتیجه در سرعت‌های بالا مقاومت شناور نسبت به شناورهای معمولی کاهش یابد (شکل زیر).



یک نمونه کاتاماران با کاربرد نظامی

علاوه بر شناورهای دو بدنه، شناورهای سه بدنه، چهاربدنه و پنج بدنه نیز ساخته شده‌اند که اصطلاحاً به آنها Multihull گفته می‌شود.
سوات (SWATH): شباهت زیادی به کاتاماران دارد ولی نوع اصلاح شده آن است. فرم بدنه آن در زیر سطح آب به گونه‌ای است که پایداری بیشتری در دریا دارد (شکل زیر).



سوات

هاور کرافت: این نوع شناورها دارای کمپرسورهای بسیار قوی هستند که با دمیدن هوا در زیر بدنه، باعث بالا آمدن آنان از سطح دریا شده و زیر بدنه آنان لایه‌ای از هوا وجود دارد. سپس به کمک فن‌هایی که در قسمت بالای آن نصب شده، حرکت می‌نمایند. این امر باعث روان‌تر حرکت کردن آنان می‌گردد. شکل زیر یک نمونه هاور کرافت را نشان می‌دهد.



هاور کرافت

شناورهای اثر سطحی (SES): این شناورها شباهت زیادی به هاور کرافت دارند، با این تفاوت که زیر بدنه آنان از قسمت عقب باز است و باعث خروج هوا از آن قسمت شده و به شناور کمک می‌نماید به سمت جلو حرکت نماید. در حقیقت این شناورها به اندازه هاور کرافت از آب بالا نمی‌آیند. می‌توان گفت ترکیبی از کاتاماران و هاور کرافت هستند (شکل زیر).



شناور اثر سطحی

پلنینگ (Planing): این شناورها، دارای فرم بدنه‌ای هستند که در هنگام حرکت، قسمت جلویی آنان مدام بالا و پایین می‌آید و باعث کاهش تماس بدنه با سطح آب در طول حرکت و در نتیجه افزایش سرعت آن می‌گردد. قایق‌های تندرو معمولی، از جمله آنان هستند (شکل زیر).



یک نمونه پلنینگ

هیدروفویل‌ها: این شناورها، دارای یک یا چند باله در زیر بدنه خود و در زیر سطح آب می‌باشند که هنگام حرکت باعث می‌شود از سطح آب بالا بپایند و سطح خیس شونده‌ی شان کمتر گردد و در نتیجه روان‌تر حرکت نمایند. شکل زیر یک نمونه هیدروفویل را در کارخانه تعمیر شناور نشان می‌دهد.



یک نمونه هیدروفویل

اکرانوپلن (WIG): در نگاه اول به نظر می‌رسد که این شناورها، تفاوتی با هواپیما ندارند، چرا که در طول زمان سفر، کاملاً در هوا پرواز می‌نمایند، منتها چند تفاوت عمده دارند. اول اینکه حداکثر ارتفاعشان بیش از چند متر نیست، حال آنکه هواپیما تا چند هزار متر بالاتر از سطح دریا می‌تواند پرواز کند. عرض بال اکرانوپلن‌ها کم ولی هواپیما زیاد است. اکرانوپلن‌ها روی سطح زمین نمی‌توانند پرواز کنند و سقوط می‌کنند. در حالت کلی اکرانو پلن‌ها فقط برای پرواز با سرعت کم روی سطح آب ساخته شده‌اند. شکل زیر بزرگ‌ترین اکرانوپلن ساخته شده در دنیا را نشان می‌دهد.



اکرانوپلن ساخته شده توسط اتحاد جماهیر شوروی سابق با لقب «هیولای کاسپین»

در حال حاضر، شناورهای تندرو محدود به این نوع چند شناور نمی‌گردند و نمونه‌های جدید و ترکیبی دیگری نیز ساخته شده‌اند و هر روز به تنوع آنان افزوده می‌گردد.

روش‌های تجربی تعیین مقاومت شناور:

در حالت کلی، سه روش تقریبی جهت تعیین مقاومت هیدرودینامیکی شناور موجود است که عبارت‌اند از: روش کشتی مشابه (similar ship method)، روش آزمایش مدل در حوضچه کشش (towing tank test) و استفاده از سری‌های استاندارد (standard series)

روش کشتی مشابه:

در نظر بگیرید یک نوع کشتی تجاری مثلاً فله بر یا نفتکش دارای تناژ بالا در دریا با سرعت سرویس‌دهی حرکت می‌کند. آنگاه اگر توان رانشی موتور را اندازه بگیریم و آن را ثبت کنیم، می‌توانیم برای یک کشتی مشابه خود (فله بر یا نفتکش با تناژ پایین‌تر) را با استفاده از داده‌های ثبت شده از کشتی بزرگ‌تر، توان تقریبی شناور کوچک‌تر را محاسبه نماییم و یا برعکس. مهم‌ترین پارامتر جهت تعیین این مقدار،

ضریب ادمیرالتی است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$A = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} V^3}{P}$$

در این رابطه، V سرعت شناور در دریا، Δ وزن جابه جایی شناور (مجموع وزن سبک و وزن مرده) و P توان موتوری است که شناور را با سرعت V در دریا می راند. مقدار A باید برای کشتی بزرگ تر و کشتی کوچک تر برابر باشد. باید در نظر داشت که محدودیت های این پارامتر در نظر گرفته شود. هرچه اختلاف وزن دو شناور و نیز اختلاف سرعت سرویس دهی شان بیشتر شود، تقریب این روش کمتر می شود تا جایی که مثلاً نمی توان از این روش و با استفاده از داده های یک شناور ۱۰۰ هزار تنی، توان یک شناور ۱۵۰۰ تنی را محاسبه نمود و یا برعکس.

تمرین



یک شناور نفتکش با جابه جایی ۲۰۰۰۰ تن، قرار است در دریا سرعت ۱۲ گره داشته باشد. اگر یک نفتکش مشابه با جابه جایی ۲۵۰۰۰ تن و سرعت ۱۳ گره، دارای موتور ۶۰۰۰ اسب باشد، توان موتور کشتی ۲۰۰۰۰ تنی را محاسبه نمایید.

$$A = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} V^3}{P}$$

A_1 : ضریب ادمیرالتی نفتکش ۲۰۰۰۰ تنی

A_2 : ضریب ادمیرالتی نفتکش ۲۵۰۰۰ تنی

$$A_1 = A_2$$

$$\frac{20000^{\frac{2}{3}} \times 12^3}{P_1} = \frac{25000^{\frac{2}{3}} \times 13^3}{6000} \rightarrow \frac{736/8 \times 1728}{P_1} = \frac{855 \times 2197}{6000}$$

$$P_1 = 4065 \text{ اسب}$$

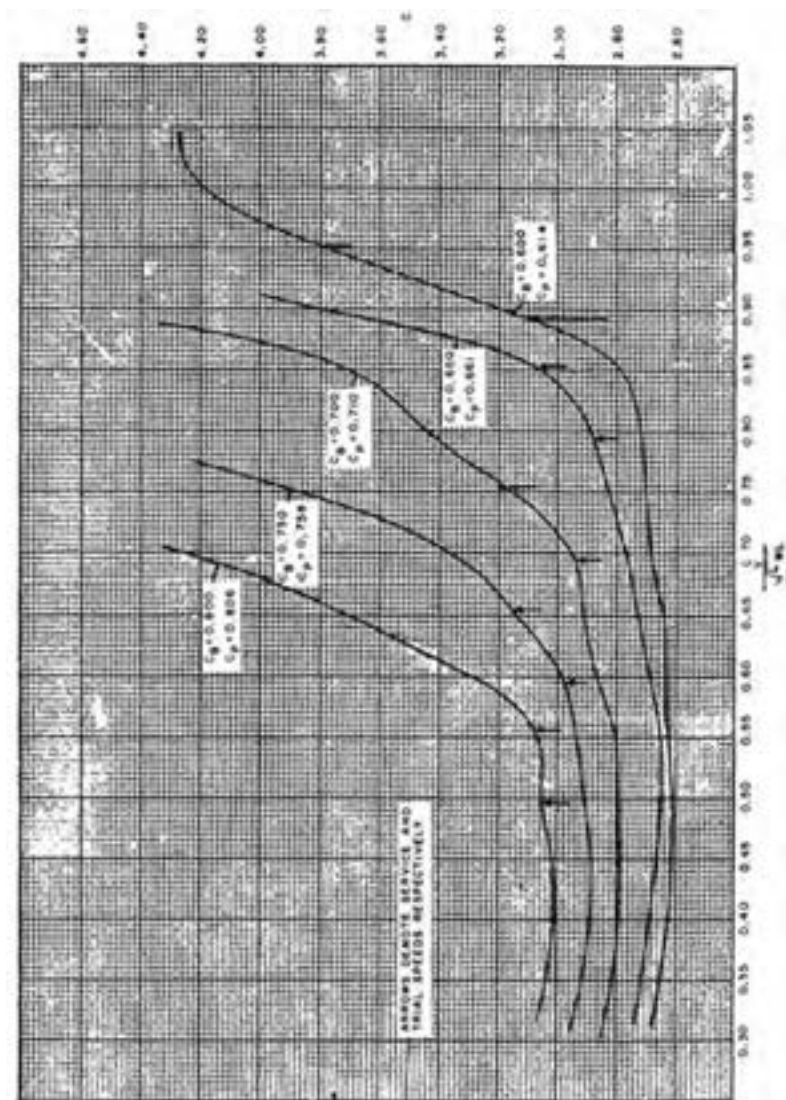
روش سری های استاندارد

در این روش، با استفاده از آمار ثبت شده دریانوردی شناورهایی که قبلاً در دریا سفر نموده اند، با توجه به نوع شناور، تناژ، ابعاد و سرعتشان، نمودارهایی جهت تخمین توان و نیز جداولی آمده است که با استفاده از آنان می توان یک توان تخمینی را جهت شناورمان تعیین نماییم. یک نمونه از این سری ها، سری ۶۰

می‌باشد. این سری که حاصل ثبت آماری شناورهای زیادی در دریاست، علاوه بر اینکه از آن می‌توان جهت تخمین ضریب مقاومت شناور و در نتیجه توان آن استفاده نمود، جداول و نمودارهایی دارد که از آن می‌توان جهت طراحی خطوط بدنه و فرم بدنه شناور از آن استفاده نمود. شکل زیر یک نمونه جدول و شکل صفحه بعد یک نمونه نمودار که از سری ۶۰ استخراج می‌شود را نشان می‌دهد.

V/\sqrt{L}	V	N	SWP	W_T	L	ρ_L	ρ_s	ρ_{ss}	SWP/SWP
0.394	8.0	33.7	1184	0.323	0.329	1.139	0.832	0.945	0.709
0.394	8.0	34.7	1390	0.334	0.328	1.139	0.848	1.001	0.732
0.406	10.0	45.3	3093	0.334	0.328	1.162	0.848	1.003	0.773
0.443	11.0	44.8	3681	0.320	0.322	1.144	0.860	1.032	0.779
0.436	12.0	48.8	3490	0.314	0.320	1.137	0.863	1.035	0.790
0.399	12.0	38.8	4473	0.315	0.318	1.140	0.882	1.029	0.777
0.406	14.0	37.1	5717	0.314	0.319	1.136	0.890	1.009	0.773
0.407	15.0	31.8	7173	0.311	0.320	1.132	0.899	1.003	0.766
0.436	13.8	43.7	7976	0.306	0.320	1.127	0.890	1.027	0.764
0.446	16.0	46.1	6671	0.306	0.321	1.122	0.890	1.026	0.760
0.443	16.8	38.8	9787	0.304	0.324	1.114	0.839	1.031	0.737
0.490	17.0	70.8	10600	0.304	0.327	1.111	0.858	1.033	0.735
0.706	17.8	73.2	12000	0.303	0.329	1.106	0.837	1.033	0.731
0.739	18.0	79.8	13300	0.301	0.332	1.099	0.833	1.040	0.747
0.748	18.8	79.8	14900	0.301	0.334	1.096	0.831	1.043	0.744
0.749	19.0	81.2	16450	0.302	0.317	1.083	0.848	1.044	0.739
0.790	19.8	84.0	18450	0.306	0.338	1.093	0.843	1.047	0.735
0.810	20.0	87.1	20900	0.304	0.339	1.088	0.833	1.050	0.729
0.830	20.8	90.4	23450	0.304	0.340	1.092	0.826	1.051	0.731
0.831	21.0	95.8	26130	0.304	0.340	1.092	0.820	1.050	0.711
0.871	21.8	98.0	30830	0.305	0.341	1.092	0.810	1.046	0.697
0.891	22.0	108.0	37040	0.306	0.341	1.092	0.807	1.043	0.690

یک نمونه جدول سری ۶۰ جهت تعیین توان شناور



تعیین ضریب مقاومت کل برای یک سری از بدنه‌ها از روی نمودار

سری ۶۴ نیز یک سری استاندارد دیگر است که بیشتر برای شناورهای تندرو مورد استفاده قرار می‌گیرد. سری تیلور، هالتراپ و منن نمونه‌های دیگری از این سری‌های استاندارد جهت تعیین مقاومت شناور هستند.