

پودمان ۴

بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی



واحد یادگیری ۴

بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی

آیا تاکنون پی برده‌اید؟

- هیدرودینامیک چیست؟
- میزان توان موتور شناور بر چه اساس تأمین می‌گردد؟
- چه عواملی در برابر حرکت شناور در دریا مقاومت می‌کنند؟
- عوامل کاهش مقاومت شناور کدام‌اند؟
- هندسهٔ بدنهٔ شناور بر تعیین توان موتور و نوع پروانهٔ شناور تأثیر می‌گذارد؟

استاندارد عملکرد

یک هنرجو در ابتدا باید اصول مقدماتی هیدرودینامیک را دانسته و سپس همهٔ مواردی را که در برابر حرکت شناور در دریا مقاومت می‌کنند را بشناسد و تفاوت بین آنها را درک کند. همچنین رابطهٔ بین سرعت شناور و توان موتور را در حد تئوری فرا گرفته و روش‌های تعیین توان موتور شناور را آشنا شود. علاوه بر اینها، روش‌هایی را که باعث تعیین مقاومت شناور می‌شوند در حد مقدماتی بداند و روش‌هایی را که باعث سهولت بیشتر حرکت شناور در دریا شده و به اصطلاح عوامل کاهش مقاومت شناور خوانده می‌شوند فراگیرد.

هیدرودینامیک

هیدرودینامیک، نوعی علم بررسی سیال در حال حرکت بوده (این سیال غالباً آب در نظر گرفته می‌شود) و نیز اثراتی را که این سیال بر جامدات موجود در خود می‌گذارد، بررسی می‌نماید. به‌عنوان مثال، اگر قرار باشد یک کشتی یا یک زیردریایی در آب حرکت کند، چه فرایندها و اتفاقاتی می‌افتد؟ ازجمله مهم‌ترین این اتفاقات، حرکت شناور به‌واسطه حرکت آب است و یا اینکه زمانی که شناور در آب یا دریا حرکت می‌کند، آب چگونه بر این حرکت تأثیر می‌گذارد؟ تعیین جزئیات این موضوع از حوصله کتاب خارج است؛ چراکه دارای پیچیدگی‌های فیزیکی و ریاضی زیادی است و حتی با وجود تحقیقات فراوان در این زمینه، هنوز روابط ریاضی به‌طور دقیق مشخص نشده‌اند و جهت تعیین این کنش‌ها و اندرکنش‌ها، علاوه بر روش‌های تئوری، به کمک آزمایش و تجربه، به‌طور تقریبی آنها تعیین می‌گردند تا بتوان شناور را جهت حرکت در آب آماده نمود. در این فصل، هنر جو تا حدودی با این موارد، اندرکنش‌ها و روش‌ها آشنا می‌گردد تا بتواند در مواقع لزوم، از آنها استفاده نماید.

مقاومت شناور

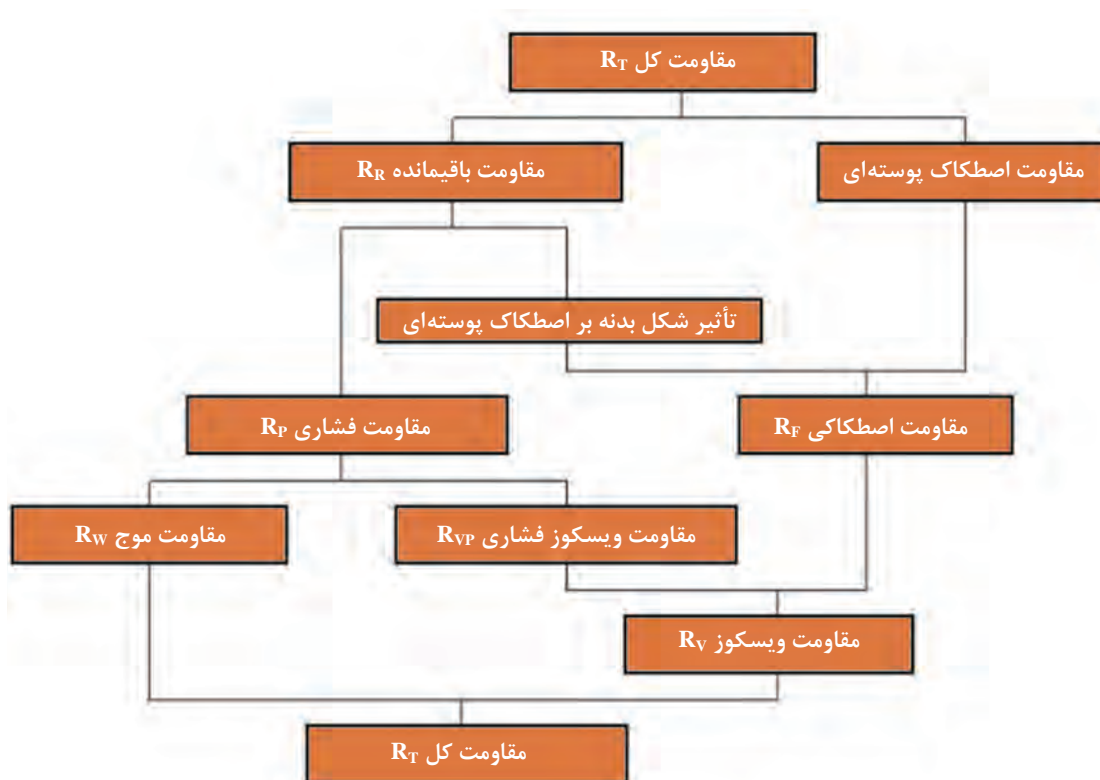
از کتاب فیزیک مکانیک و قانون دوم نیوتن به یاد دارید که هرگاه جسمی به جرم m تحت تأثیر نیروی F قرار گیرد، شتابی می‌گیرد که این شتاب با نیرو و جرم رابطه زیر را دارد:

$$F=ma$$

حال اگر برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد، جسم شتاب نخواهد داشت. در این حالت یا جسم ساکن است و یا با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. برای یک شناور در دریا هم همین وضعیت موجود است؛ یعنی زمانی که شناور با نیروی رانش موتور و پروانه با سرعت ثابت حرکت می‌کند، نیروهایی برابر با نیروی رانش بر شناور اعمال می‌گردند. در حقیقت، این نیروها نیروهای مقاوم در برابر حرکت شناور در دریا هستند که وابسته به فرم هندسی شناور، جرم و ابعاد شناور، امواج و جریان‌های دریایی، باد و... هستند. مجموع این نیروهای مقاوم با R_T نشان داده می‌شود. این نیروها را می‌توان در یک دسته‌بندی کلی به‌صورت زیر نشان داد:

تقسیم‌بندی اجزای مقاومت در کشتی‌ها

در حرکت کشتی، اجزای مختلفی از مقاومت حضور دارند که می‌توان تقسیم‌بندی‌های مختلفی برای آنها (مانند نمودار آبشاری شکل ۱) در نظر گرفت.



شکل ۱: نمودار آبخاری تقسیم‌بندی مؤلفه‌های مقاومت کشتی

با توجه به این نمودار می‌توان تعاریف زیر را بیان کرد:

مقاومت اصطکاکی پوسته‌ای (Skin Friction Resistance): مقاومت ناشی از تماس و کشیده شدن ذرات آب دریا روی بدنه شناور در حال حرکت است، با این فرض که این سطح دارای انحنا نیست و یک صفحه مسطح است.

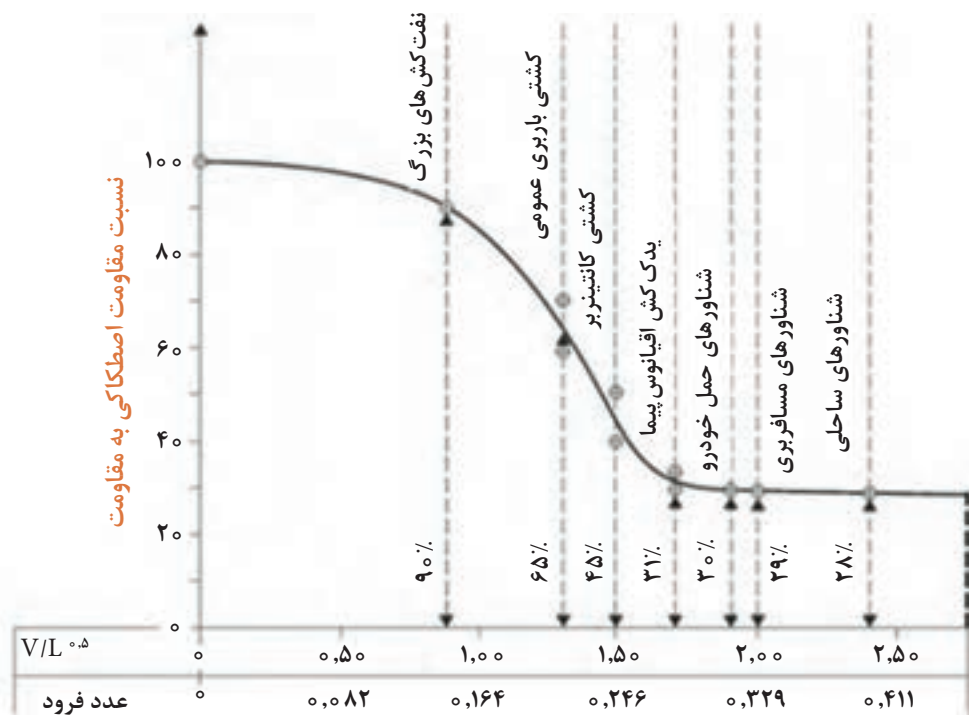
نسبت مقاومت اصطکاکی به مقاومت کل

اگر کشتی در آب ساکن و شرایط آرام جوی حرکت کند، نسبت مقاومت اصطکاکی به مقاومت کل را می‌توان برای برخی از شناورهای تجاری مانند جدول ۱ تخمین زد.

جدول ۱- نسبت مقاومت اصطکاکی به مقاومت کل برای برخی از شناورهای تجاری

$R_F/R_T = 30\%$	کشتی RO-RO
$R_F/R_T = 30\%$	کشتی مسافربری
$R_F/R_T = 40-50\%$	کشتی کانتینربر
$R_F/R_T = 60-70\%$	کشتی حمل کالای عمومی
$R_F/R_T = 90\%$	نفتکش‌های VLCC و ULCC

شکل ۲ نیز بیان‌کننده نسبت مقاومت اصطکاکی به مقاومت کل کشتی در کشتی‌های مختلف برحسب عدد فرود است. هر چه سرعت کشتی بالاتر و عدد فرود بیشتر باشد، سهم مقاومت اصطکاکی کاهش و سهم مقاومت موج‌سازی افزایش می‌یابد. عدد فرود در بخش‌های بعدی توضیح داده خواهد شد.



شکل ۲: نسبت مقاومت اصطکاکی به مقاومت کل در کشتی‌های مختلف

مقاومت باقیمانده (Residual resistance): مقاومت باقی‌مانده عبارت است از مقاومت کل حرکت کشتی به جز مقاومت اصطکاک پوسته‌ای. به عبارتی:

مقاومت باقی‌مانده = مقاومت اصطکاک پوسته‌ای - مقاومت کل

مقاومت فشاری (Pressure resistance): مقاومت فشاری زیرمجموعه مقاومت باقی‌مانده بوده که دارای دو مؤلفه مقاومت موج و مقاومت فشاری ویسکوز است. ماهیت این نوع مقاومت، تغییرات فشار سیال (آب) در طول مسیر شناور است.

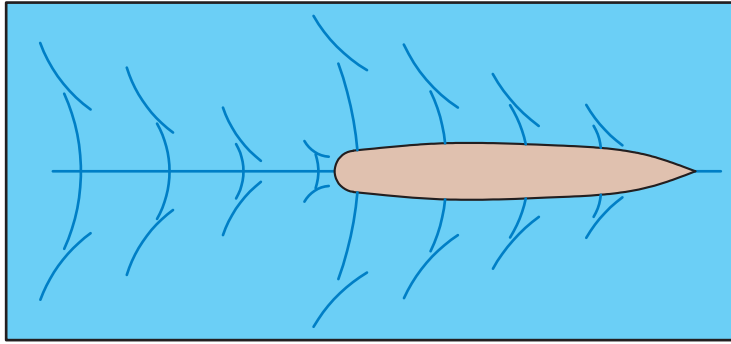
مقاومت فشاری ویسکوز (Viscous Pressure resistance): به دلیل ویسکوزیته سیال مقاومتی به وجود می‌آید که «مقاومت فشاری ویسکوز» نامیده می‌شود.

لزجت (ویسکوزیته) سیال چیست؟

تحقیق کنید



مقاومت موج (Wave Resistance): مقاومت موج زیرمجموعه مقاومت فشاری است که خود دارای دو زیرمجموعه است: ۱- مقاومت موج‌سازی؛ ۲- مقاومت شکست موج. این امواج، امواج دریا نیستند بلکه امواج تولیدشده توسط خود بدنه کشتی است. مقاومت موج‌سازی ناشی از تولید موج و مقاومت شکست موج، ناشی از شکست امواج حاصل از بدنه است. شکل ۳، تشکیل امواج بر اثر حرکت شناور را نشان می‌دهد.



شکل ۳- تشکیل امواج عرضی و واگرا در سینه و پاشنه بر اثر حرکت شناور

شکل ۴ نیز این نوع تشکیل موج را به صورت ظاهری نشان می دهد که باعث ایجاد مقاومت موج سازی می شود.



شکل ۴- تشکیل امواج بر اثر حرکت شناور

مقاومت ویسکوز (Viscous resistance): مقاومت ناشی از ویسکوزیته سیال بوده که حاصل جمع مقاومت اصطکاکی و مقاومت ویسکوز فشاری است. در رایج ترین تقسیم بندی، مؤلفه های مقاومت را می توان به صورت زیر در نظر گرفت:

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

۲-

علاوه بر موارد فوق، مؤلفه های دیگری از مقاومت نیز وجود دارد که باید بررسی شوند.

مقاومت باد (Air resistance): همواره بخشی از بدنه شناور که بالاتر از سطح آب است، در معرض جریان باد قرار دارد و باعث مقاومت باد می شود. از آنجا که سطح در معرض باد، سطح قابل ملاحظه ای است، لذا این مقاومت باید در نظر گرفته شود. جهت تعیین نیروهای باد، با تکیه بر آمارها، روش های ریاضی خاصی موجود است.

مقاومت ضمام و ملحقات (Appendage Resistance): علاوه بر بدنه اصلی کشتی، قسمت های دیگری مانند باله های تعادل، نگه دارنده شافت، سکان و تجهیزات هدایت و ضمام پروانه نیز به آن متصل هستند که باعث مقاومت دیگری بنام مقاومت ضمام و ملحقات می شوند.

مقاومت القایی: اگر بدنه و اجزای متصل به آن را در نظر بگیریم، در محل اتصال دو جزء به یکدیگر، مقاومت دیگری به نام مقاومت القایی وجود دارد که مجزا از مقاومت خود اجزاء است.

مقاومت حرکت در امواج اقیانوسی: وقتی کشتی در دریا حرکت می کند، دائماً در معرض امواج اقیانوسی قرار دارد که این خود باعث افزایش مقاومت می شود. این مؤلفه مقاومت، با مقاومت موج (موجی که توسط بدنه کشتی ایجاد می شود) متفاوت است. در برخی مواقع این نیروها در دریا آنقدر زیاد هستند که شناور باوجود داشتن نیروی رانش زیاد، توانایی غلبه بر آنها را ندارد (شکل ۵).



شکل ۵- پاره شدن طناب یدک کشتی بر اثر نیروهای حاصل از امواج اقیانوس

مقاومت حرکت در آب‌های کم‌عمق: اگر کشتی در آب‌های کم‌عمق یا کانال‌ها حرکت کند، کلیه مؤلفه‌های مقاومت، افزایش می‌یابند.

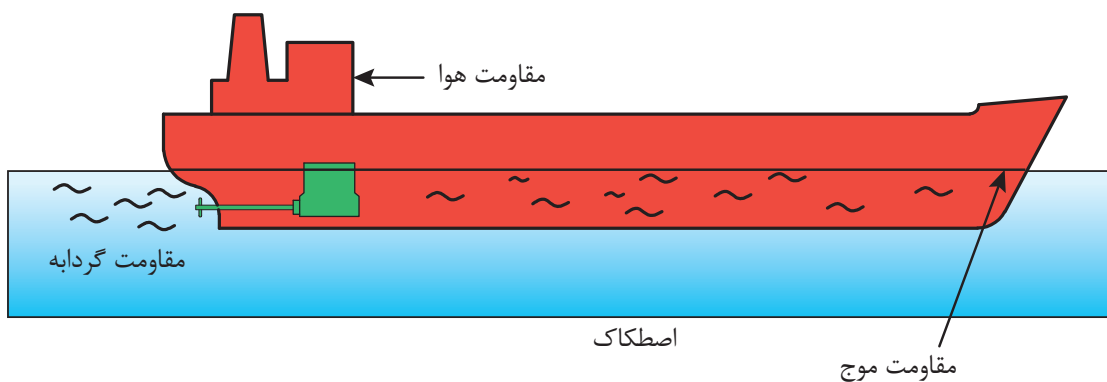
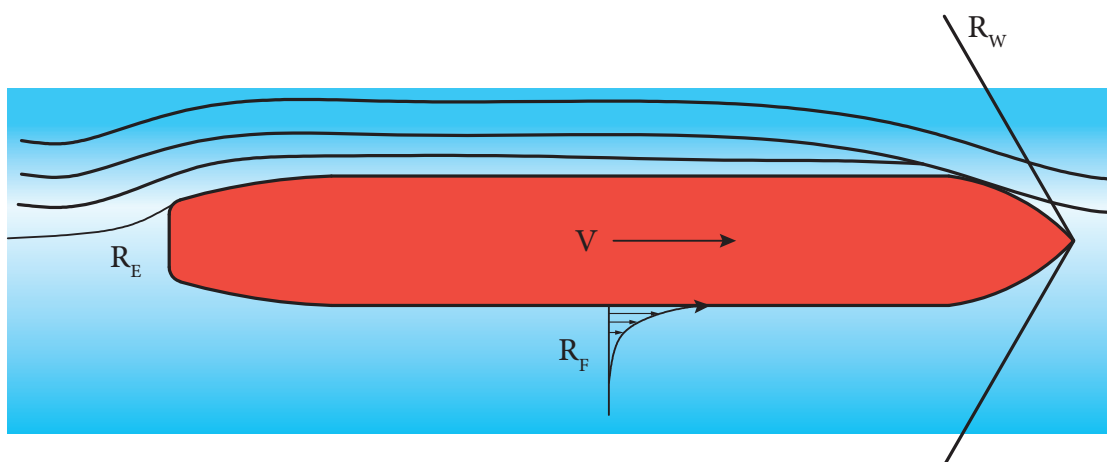
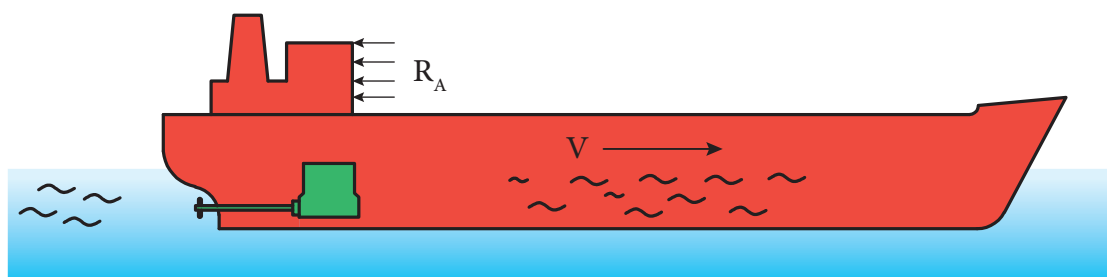
مقاومت اسپری یا پاششی: با وارد شدن ضربات بدنه بر سطح آب مانند ضربات کوبش یا حرکت یک کشتی تندرو، آب دریا به‌صورت اسپری پخش می‌شود که باعث مقاومت دیگری به نام مقاومت اسپری یا پاشش آب می‌شود. شکل ۶ این نوع پاشش را نشان می‌دهد. معمولاً این نوع مقاومت سهم ناچیزی را در مقاومت کل شناور دارد.



شکل ۶- مقاومت پاشش آب به‌واسطه برخورد شناور به آب دریا

در شکل ۷، محل‌هایی را که انواع مقاومت‌ها به وقوع می‌پیوندند، نشان می‌دهد.

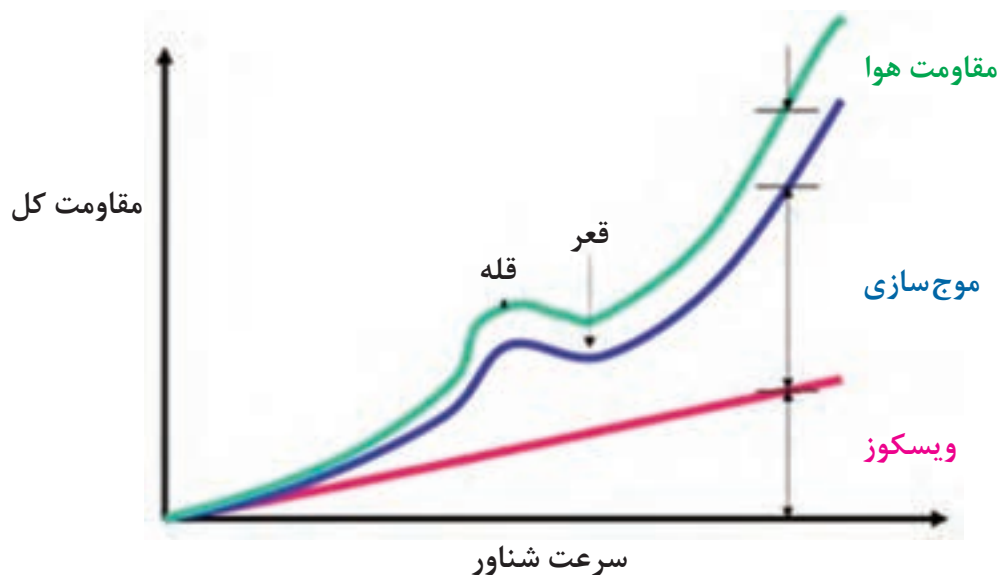
نوع مقاومت	درصد از مقاومت کل
	کشتی کشتی
	تندرو - معمولی
R_F = اصطکاک	۴۵-۹۰
R_W = موج	۴۰-۵
R_E = گردابی	۵-۳
R_A = هوا	۱۰-۲



شکل ۷- محل ایجاد نیروهای مقاوم (مقاومت) در برابر حرکت شناور

هر کدام از موارد مقاومت ذکر شده در شکل ۷، دارای جزئیات و روابط خاص خود هستند که با استفاده از آزمایش و یا روابط تجربی تعیین می‌گردند. در حالت کلی می‌توان هر دسته از این مقاومت‌ها را جداگانه محاسبه نموده و با هم جمع نمود. شکل ۸، این امر را نشان می‌دهد.

مقاومت کل و نسبت هر کدام از آنان در سرعت‌های مختلف



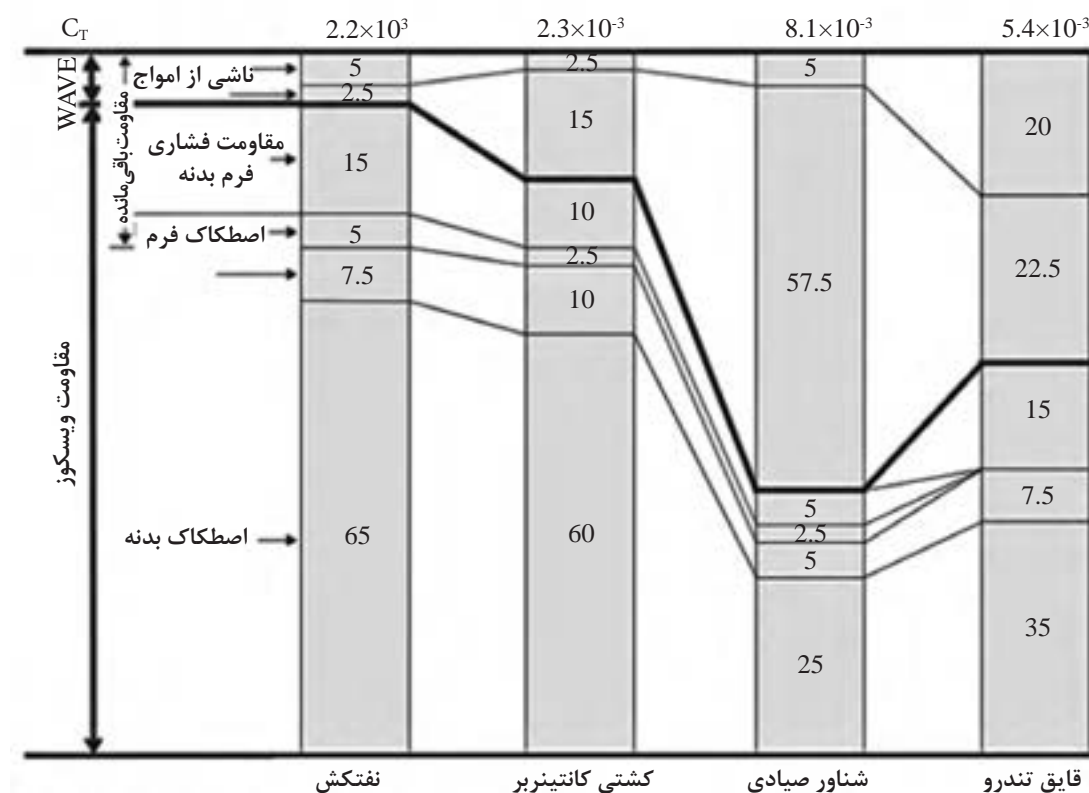
در سرعت‌های پایین مقاومت ویسکوز غالب است
در سرعت‌های بالا مقاومت موج‌سازی غالب است

شکل ۸- انواع مقاومت‌های شناور و ترکیب آنها

به‌طور مثال، برای چهار کلاس مختلف از کشتی‌ها با مشخصات و ابعاد ذکرشده در جدول ۲ می‌توان یک مقایسه بسیار خوب در سهم هر یک از مؤلفه‌های مقاومت را مطابق شکل ۹ داشت. بحث ضریب مقاومت کل در ادامه خواهد آمد.

جدول ۲: 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



شکل ۹- مؤلفه‌های مقاومت برای چهار کشتی (به صورت درصدی از کل مؤلفه‌ها)

با توجه به شکل بالا مشاهده می‌شود که مؤلفه‌های مقاومت در شناورهای تندرو پروازی، متفاوت از شناورهای تجاری بوده و سهم بسیار زیادی از مقاومت، به مقاومت موج و مقاومت فشاری بر می‌گردد. این مهم هم بدین خاطر است که در هنگام حرکت، بخش بسیار زیادی از بدنه شناورهای پروازی از آب خارج می‌شود.

روش‌های تعیین مقاومت شناور

آنچه در علم هیدرودینامیک و باتجربه و آزمایش به آن رسیده شده است، رابطه بین سرعت جسم در سیال (آب یا هوا) و نیرویی که آن جسم را با سرعت موردنظر می‌راند، به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$F = CV^2A$$

۳-

که در آن V سرعت جسم، A مساحت سطح بدنه و C ضریبی است که به فرم بدنه کشتی و سایر مقاومت‌های ذکر شده در شکل ۱ بستگی دارد. تعیین دقیق مقدار C در حالت عادی ممکن نیست، ولی روش‌های آزمایشی خاصی وجود دارد که این کار انجام می‌گردد. پس از آن، این مقادیر به صورت نمودار و در جدولی تعیین می‌گردند که از آنها می‌توان استفاده نمود. همچنین، یک سری روابط ریاضی که به صورت تجربی تعیین گشته است، جهت تعیین مقدار C به کار می‌روند.

جهت تعیین مساحت سطح بدنه که برای شناور همان سطح خیس شده شناور زیر آب است، لازم است که با توجه به فرم هندسی شناور، محاسبات ریاضی خاصی صورت پذیرد. این محاسبات معمولاً با رایانه و به کمک نرم‌افزارهای ساخت و محاسبات هیدرو استاتیکی و هیدرودینامیکی شناور انجام می‌پذیرد. با این وجود، جهت

محاسبات و تعیین سطح بدنه، یک سری روابط تجربی وجود دارد که از این روابط تجربی می‌توان به‌صورت تقریبی سطح خیس شده شناور را محاسبه و تعیین نمود. شکل ۱۰، مساحت سطحی را که باید محاسبه شود، نشان می‌دهد که قسمت آبی‌رنگ موردنظر است، یعنی آن قسمتی که پایین خط آبخور شناور است



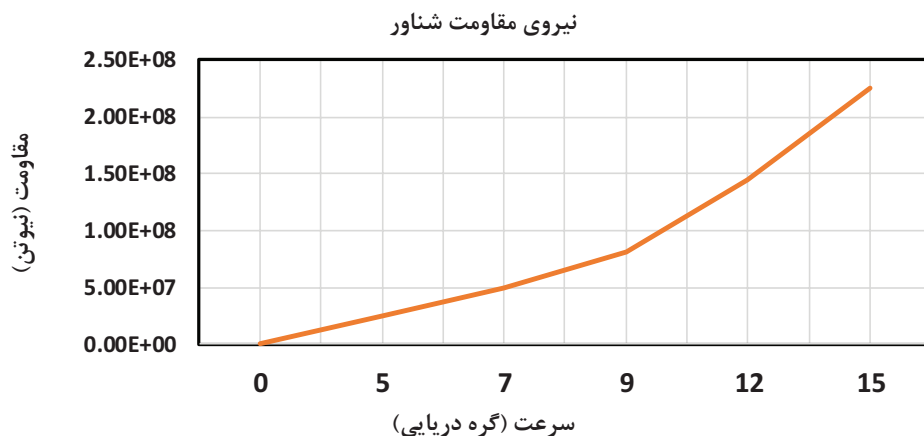
شکل ۱۰- سطح خیس شده شناور (ناحیه آبی‌رنگ)

با کمک هنرآموز، چند نوع نرم‌افزار مهم صنایع دریایی را که جهت محاسبات هیدرودینامیکی به‌کار می‌روند، نام ببرید. آیا در کشور ما تاکنون چنین نرم‌افزارهایی تولید شده‌اند؟

تحقیق کنید



شکل ۱۱ یک نمودار کلی از رابطه بین سرعت و نیروی رانش یا نیروی مقاومت یک نوع شناور را نشان می‌دهد که با رابطه ۳ مطابقت دارد.



شکل ۱۱- رابطه کلی بین سرعت و نیروی مقاومت یک نوع شناور

حال نوبت به تعیین ضریب C می‌رسد. ضریب C را می‌توان به‌عنوان ترکیبی از ضرایب دیگر به‌صورت زیر نوشت:

$$C = C_F + C_R$$

که در این رابطه، C_F مربوط به مقاومت اصطکاکی و C_R مربوط به مقاومت باقیمانده شناور می‌شود (مانند موج‌سازی و...).

C_F را می‌توان با استفاده از روش‌های متعددی تعیین نمود. بهترین تقریب بر اساس استانداردهای بین‌المللی، تعیین این مقدار با استفاده از فرمول تجربی زیر است:

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

R_e را عدد رینولدز می‌گویند که تابعی است از طول شناور، سرعت آن و چگالی و لزجت سیال:

$$R_e = \frac{\rho V L}{\mu}$$

یک شناور با طول ۴۵ متر، در آب دریا با ویسکوزیته 0.012 و با چگالی 1020 ، با سرعت ۵ متر بر ثانیه حرکت می‌کند. مطلوب است عدد رینولدز.

تمرین



بیشتر بدانید



رینولدز کیست؟



اسبرن رینولدز یک مهندس مکانیک سیالات انگلیسی بود که در ۲۳ اوت ۱۸۴۲ در بلفاست ایرلند متولد و در ۲۱ فوریه ۱۹۱۲ در واتجت سامرست انگلیس درگذشت. تحصیلاتش را در ددهام شروع نمود ولی پس از پایان تحصیلات متوسطه بلافاصله به دانشگاه نرفت بلکه در سال ۱۸۶۱ به کارآموزی در شرکت مهندسی ادوارد هیس پرداخت. وی پس از کسب تجربه در شرکت مهندسی به تحصیل ریاضیات در کمبریج پرداخت و در سال ۱۸۶۷ فارغ‌التحصیل شد.

در سال ۱۸۶۸ رینولدز اولین استاد مهندسی در کالج اوزمنجستر و دومین استاد در انگلستان شد و این سمت را تا سال ۱۹۰۵ که بازنشسته شد، نگه داشت.

اولین کار وی در مورد مغناطیس و الکتریسیته بود ولی چندی بعد به مطالعه در زمینه هیدرولیک هیدرودینامیک پرداخت. او همچنین خواص الکترومغناطیسی خورشید و ستاره‌های دنباله‌دار و حرکات جزر و مدی در رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داد. او پس از سال ۱۸۷۳ کارش را در دینامیک سیالات

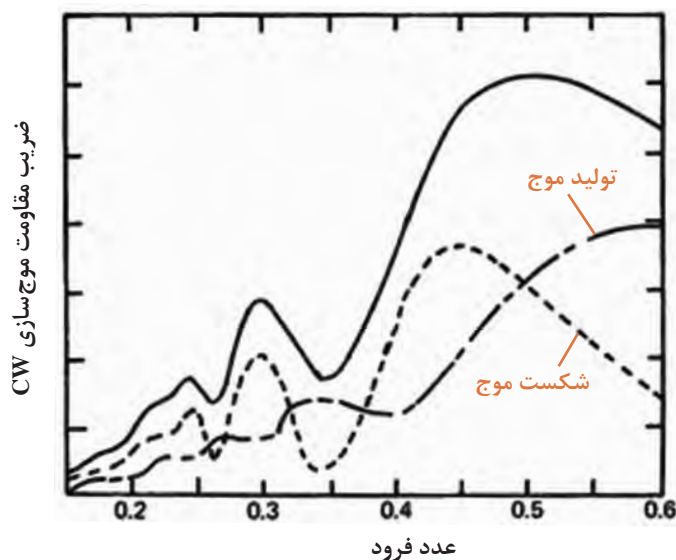
متمرکز کرد و این زمانی بود که مقالات وی شهرت جهانی یافته بود. او به بررسی شرایطی پرداخت که در آن جریان یک سیال در لوله از آرام به آشسته تبدیل می‌شود. نتیجه این آزمایش‌ها به دست آمدن عددی بی‌بعد بود که عدد رینولدز نام‌گذاری شد. وی در سال ۱۸۸۳ مقاله‌ای با عنوان «یک مشاهدۀ تجربی از شرایطی که تعیین می‌کنند آیا حرکت آب در کانال‌های موازی باید مستقیم باشد یا پیچ و خم‌دار و قانون مقاومت در کانال‌های موازی» ارائه داد که عدد رینولدز را معرفی می‌کرد. او در سال ۱۸۸۶ نظریه‌ای در مورد روان‌سازی (روغن‌کاری) ارائه داد. سه سال بعد او یک مدل تئوری مهم را که یک روش استاندارد ریاضی برای بررسی آشفتگی بود ارائه داد. مطالعات وی در مورد انقباض و انتقال حرارت بین جامدات و سیالات یک تجدیدنظر اساسی در مورد دیگ‌های بخار و دستگاه‌های متراکم‌کننده بخار را به وجود آورد.

سهم رینولدز در مکانیک سیالات در طراحی کشتی، توانایی ساخت مدل‌های کوچک از یک کشتی و استخراج اطلاعات قابل پیش‌بینی مفید نسبت به یک کشتی با اندازه واقعی، مستقیماً وابسته به تجربیات کاربردی اصول تلاطم رینولدز در مورد تحلیل نیروی اصطکاک و کاربرد نظریات ویلیام فرود است. در آغاز قرن بیستم او سلامتی‌اش را از دست داد و در سال ۱۹۰۵ بازنشسته شد. از جمله دستاوردهای رینولدز یا دستاوردهایی که به افتخار وی نام‌گذاری شده‌اند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

■ عدد رینولدز؛

■ نظریه انتقال رینولدز؛

■ تنش رینولدز؛



مقدار C_R با توجه به فرم هندسی شناور و امواجی که در دریا تشکیل می‌گردد تعیین می‌شود. معمولاً این مقدار را می‌توان با استفاده از جداولی مانند نمودار شکل ۱۲ تعیین نمود که برای یک نوع شناور و در اعداد فرود مختلف تعیین گشته است. معمولاً این جداول با استفاده از آزمون مدل یا شناورهای مشابه در دریا حاصل می‌شوند.

شکل ۱۲- تعیین مقاومت موج سازی برای یک نوع شناور



شناورهای تندرو، به دلیل نیاز به عملیات حمل و نقل سریع، در طی یک قرن اخیر طراحی و تولید شده و روز به روز توسعه بیشتری پیدا می کنند. در مورد این نوع از شناورها با کمک هنرآموز خود تحقیق نمایید.

روش های تعیین مقاومت شناور

همان گونه که ذکر گردید، روش دقیقی جهت تعیین ضرایب مقاومت شناور وجود ندارد. با این وجود، روش های تقریبی متعددی وجود دارد که سه نمونه اصلی آنها در جدول ۳ آورده شده است:

جدول ۳: روش های تعیین مقاومت شناور

ردیف	نوع روش	اصطلاح لاتین	شرح
۱	روش کشتی مشابه	Similar ship method	استفاده از فرمول تشابه جهت تعیین مقاومت
۲	آزمایش مدل در حوضچه	Towing tank test	تعیین مقاومت نمونه در آزمایشگاه و تبدیل آن به مقاومت کشتی اصلی با استفاده از فرمول های ریاضی
۳	استفاده از سری های استاندارد	Standard series	استخراج اطلاعات از سری هایی که قبلاً از شناورهای واقعی در دریا و در سفرهای متعدد جمع آوری شده اند.

حال به توضیح هر کدام از روش های بالا می پردازیم

روش کشتی مشابه

در این روش، ابتدا یک شناور مشابه تقریبی را که از نظر فرم و مأموریت مشابه شناور موردنظر است انتخاب می کنند و سپس سرعت معمول آن را در دریا که به آن سرعت سرویس دهی می گویند و نیز توان موتور و وزن جابه جایی آن را به دست آورده و در رابطه زیر جای گذاری می کنند:

$$A = \frac{\sqrt[3]{\Delta^2 \times V^3}}{P}$$

به این پارامتر، ضریب آدمیرالتی می گویند.

در این رابطه، V بیانگر سرعت شناور در دریا، Δ بیانگر وزن جابه جایی شناور و P توان مصرفی شناور جهت حرکت در دریاست.

برای شناور موردنظر، این ضریب نیز باید محاسبه شده و برابر با کشتی مشابه شود. با استفاده از این رابطه می توان به عنوان نمونه، توان تقریبی موتور شناور موردنظر را محاسبه نمود.

این روش محدودیت های زیادی دارد از جمله اینکه کشتی موردنظر و کشتی مشابه، از خیلی از جنبه ها باید شبیه یکدیگر باشند.



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

روش سری های استاندارد

این روش، استخراج داده های آماری مقاومت شناورهای مختلف است که در دریا سفرهای طولانی داشته اند و با توجه به ابعاد، آب خور، نوع شناور و... به شکل جدولی و یا نموداری، از حرکت و ثبت اطلاعات مربوط به توان موتور، سرعت و... به دست می آید. این روش، از روش قبل بهتر است ولی محدود به یک سری از شناورهای مرسوم همچون نفت کش، باری، فله بر و... می شود و شناورهای خاص را شامل نمی گردد. همچنین استخراج اطلاعات مربوطه از آنها، به دلیل وجود عوامل فراوان، سخت و مشکل است. از جمله مهم ترین سری های مورد استفاده در استخراج اطلاعات، سری ۶۰ است. از سری ۶۰ نه تنها جهت استخراج اطلاعات مربوط به مقاومت و رانش شناور، بلکه جهت تعیین فرم بدنه نیز استفاده می گردد. یک نمونه دیگر از این سری ها، سری ۶۴ است که جهت تعیین فرم بدنه برخی از شناورهای تندرو به کار می رود.

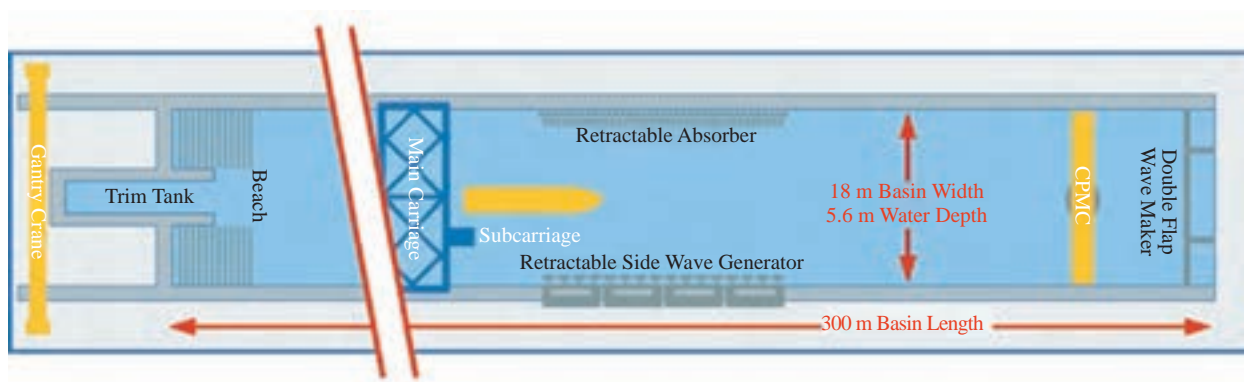
روش آزمایش مدل

این روش، بهترین و دقیق ترین روش جهت محاسبه مقاومت شناور در دریا است. روش کار بدین صورت است که یک حوضچه کشش استاندارد، در ابعاد مشخص که می تواند از چند متر تا چند صد متر باشد، ساخته و مجهز شده و مدل هایی که از ابعاد شناور اصلی به مراتب کوچک تر هستند ولی از نظر هندسی شباهت کاملی با نمونه اصلی دارند، در این حوضچه، کشیده می شوند. مقدار نیروی کشش این مدل ها و سرعت آنها ثبت گردیده و طبق روابطی، این نیروها تبدیل به نیروی مقاومت شناور اصلی با توجه به نسبت ابعاد مدل به شناور می گردد. در این آزمایش لازم است ملاحظات ویژه ای صورت گرفته و استانداردهای لازم رعایت گردد. شکل ۱۳ یک حوضچه کشش و یک مدل شناور کانتینر بر را که در حال آزمون شدن است نشان می دهد. شکل ۱۴ نیز نقشه یک حوضچه آزمون مدل شناور را نشان می دهد.

برای انجام آزمایش های مدل در حوضچه کشش یک کمیته بین المللی بنام کمیته بین المللی حوضچه کشش وجود دارد و با اسم مخفف ITTC (International Towing Tank Committee) شناخته می شود. این کمیته برای مشخصات حوضچه، مشخصات مدل نسبت به کشتی واقعی، تجهیزات اندازه گیری و کلیه آزمایش هایی که در نظر است در حوضچه انجام پذیرد، توصیه ها و الزاماتی را ارائه نموده است که لازم است در هنگام آزمایش مدل، در نظر گرفته شوند.



شکل ۱۳- حوضچه کشش و آزمون مدل یک شناور کانینر بر



شکل ۱۴- نقشه یک حوضچه کشش استاندارد

با کمک هنرآموز خود کلمات انگلیسی در شکل ۱۴ را به فارسی برگردان نموده و چند حوضچه کشش معروف در دنیا را شناسایی نمایید. آیا در ایران چنین آزمایشگاه‌هایی وجود دارد، نام ببرید.

تحقیق کنید





فروید کیست؟

ویلیام فروید، یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان قرن نوزدهم است که در زمینه مهندسی دریایی و هیدرودینامیک تحقیقات وسیعی را انجام داد. او در سال ۱۸۱۵ در انگلستان متولد شد. او در سال ۱۸۳۲ در رشته ریاضی فارغ‌التحصیل شد و پس از آن در یک مؤسسه ساخت تأسیسات راه‌آهن به‌عنوان محقق، خدمات زیادی را انجام داد. سپس چند سالی در زمینه ساختمان فعالیت نمود؛ اما اوج نبوغ این دانشمند، به مقاله ایشان در سال ۱۸۶۱ برمی‌گردد که تأثیر شگرفی را در طراحی و ساخت کشتی ایجاد نمود و باعث گشت عدد فروید به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل طراحی و محاسبات هیدرودینامیکی شناور کشف گردد. ایشان در سال ۱۸۷۷ موفق به دریافت مدال رویال گردید.

از جمله دیگر اختراعات او، ساخت دستگاه دینامومتر آبی بود. ایشان بالاخره در سال ۱۸۷۹ و در سن ۶۷ سالگی در آفریقای جنوبی درگذشت.

رانش شناور

در بحث پیشین به این نکته اشاره شد که مقاومت در برابر حرکت شناور در آب به چه دلایلی به وجود می‌آید. در این بخش، به این مورد پرداخته می‌گردد که چگونه این نیرو را ایجاد کنیم تا باعث حرکت شناور و غلبه بر این نیروهای مقاوم شویم.

در شناور، مهم‌ترین وسیله ایجاد نیرو و توان، موتور شناور است. موتور شناور با تبدیل انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی و انتقال بخش عظیمی از آن از طریق سامانه‌های انتقال قدرت به پروانه، نقش بسیار مهمی دارد. این انرژی، به‌صورت دورانی است. آن میزان انرژی‌ای که باید برای ایجاد نیروی رانش صرف شود، به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

(۷)

$$P = F \times V$$

واحد توان یا قدرت، اسب بخار یا کیلووات است. در اصل، انتخاب موتور وابسته به نیروی مقاومت آب در برابر حرکت شناور و سرعت سرویس‌دهی شناور (service speed) است.

با استفاده از داده‌های آماری، نیروی وارد بر یک شناور در دریا، برابر با ۲۰۰۰ کیلو نیوتن تخمین زده شده است. اگر قرار باشد این شناور با سرعت ۱۴ گره دریایی حرکت نماید، توان لازم برای ایجاد این حرکت چقدر است؟



با توجه به رابطه ۷ می‌توان نتیجه گرفت که قدرت لازم جهت حرکت شناور در دریا با توان سوم سرعت شناور رابطه مستقیم دارد.

چراکه نیرو طبق رابطه ۳ با توان دوم سرعت رابطه مستقیم دارد و وقتی در سرعت ضرب می‌شود و حاصل قدرت را می‌دهد، قدرت با توان سوم شناور رابطه مستقیم پیدا می‌کند.

همان‌گونه که می‌دانیم، انرژی موتور، به‌صورت دورانی به محور پروانه منتقل می‌گردد. حال، اگر قرار باشد این انرژی، باعث رانش شناور به جلو باشد، لازم است که از پروانه استفاده گردد. در حقیقت وظیفه اصلی پروانه، تبدیل انرژی دورانی به انرژی جنبشی و یا حرکت شناور روبه‌جلو است. حال باید دید که ساختار پروانه چگونه است. در شکل ۱۵، سلسله مراحل انتقال قدرت جهت حرکت شناور آمده است.

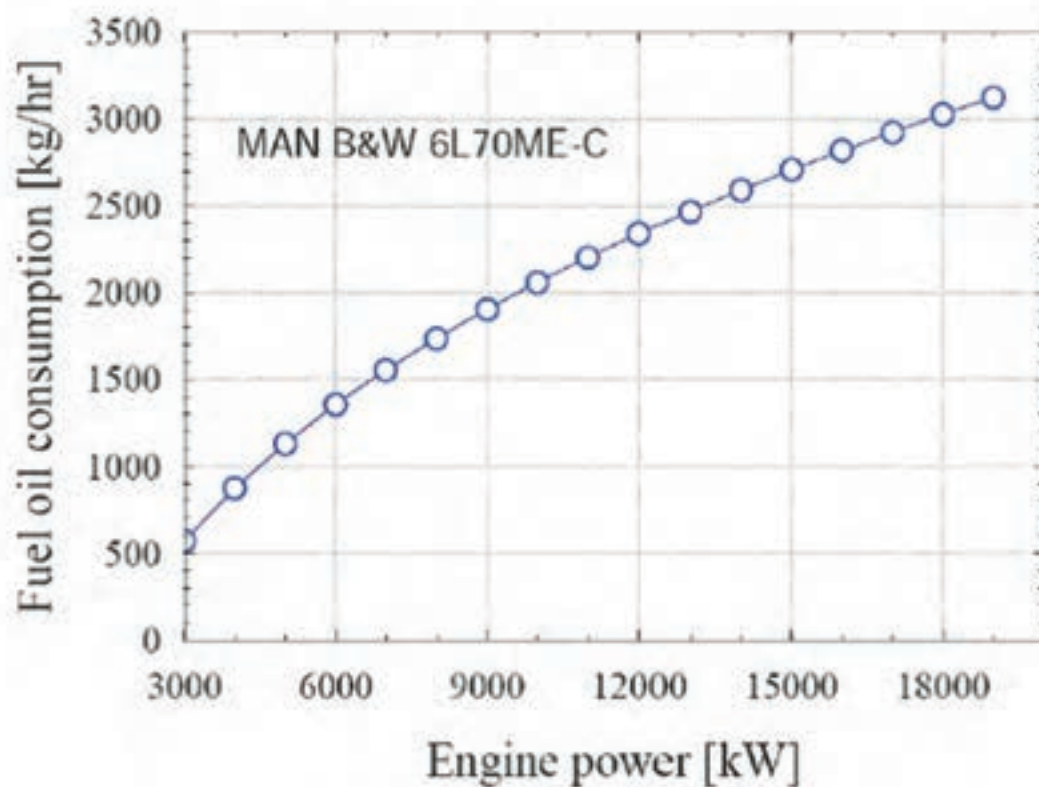


شکل ۱۵- نحوه انتقال قدرت از موتور به شناور جهت رانش شناور

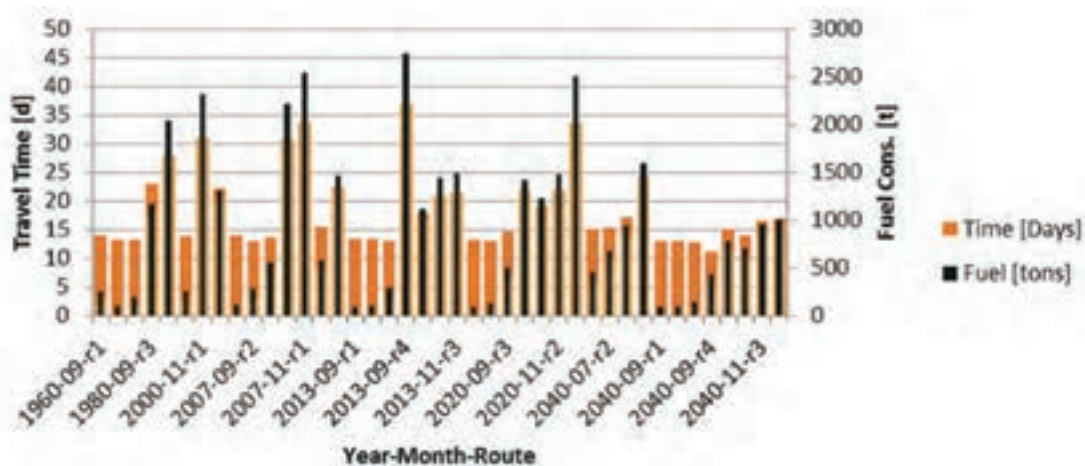
محاسبه مصرف سوخت در شناورها

یکی از مهم‌ترین پارامترهای محاسباتی در شناورها، مصرف سوخت موتور شناور است. موتورهای امروزی را به‌گونه‌ای طراحی نموده و ساخته‌اند که کمترین میزان مصرف سوخت را داشته باشند. همان‌گونه که در بحث رانش شناور ملاحظه شد، توان مصرفی شناور و در نتیجه مصرف سوخت شناور وابسته به مقاومت شناور و سرعت آن در دریاست. پس هرچه سرعت شناور کمتر باشد، مصرف سوخت آن کمتر خواهد شد. معمولاً برای شناورها جداولی به‌عنوان جدول مصرف سوخت (fuel consumption table) موجود است که همراه موتور می‌آید و مصرف سوخت را در شرایط متفاوت بیان می‌نماید (حالتی که شناور در دریا متحرک است و حالتی که در اسکله قرار دارد)

چون مصرف سوخت شناور به مدت‌زمان حرکت شناور در دریا و سرویس‌دهی نیز وابسته است، معمولاً رابطه مصرف سوخت برحسب زمان (ساعت و یا روز) بیان می‌گردد. شکل ۱۶، یک منحنی مربوط به نوعی موتور برند MAN را نشان می‌دهد. شکل ۱۷ نیز مصرف روزانه سوخت شناورهای نفت‌کش را به‌عنوان پیش‌بینی آینده نشان می‌دهد (تا سال ۲۰۴۰).



شکل ۱۶



شکل ۱۷



با کمک هنرآموز خود، اصطلاحات انگلیسی جدول زیر را به فارسی ترجمه نمایید:

ردیف	نام انگلیسی	ترجمه فارسی
۱	Resistance	
۲	Propulsion	
۳	Friction	
۴	Speed	
۵	Propeller	
۶	blade	
۷	Wave	
۸	Current	
۹	Power	
۱۰	Residual resistance	

روش‌های کاهش مقاومت شناور:

به جهت اینکه بتوان با نیرو و صرف انرژی کمتری، شناورها را در دریا بحرکت درآورد، هرچند وضعیت امواج و جریان‌های دریایی و نیز بادهای خارج از اختیار بشر است و همواره باید جهت غلبه بر آنها انرژی صرف نمود، ولی روش‌های عملی مفیدی وجود دارد که می‌توان از آنها استفاده نمود و شناور را در دریا با نیروی کمتری به حرکت درآورد. برخی از مهم‌ترین انواع این روش‌ها در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- روش‌های کاهش مقاومت شناور

ردیف	نوع روش	نوع تأثیرگذاری
۱	بهینه‌سازی فرم بدنه	باعث کاهش مقاومت اصطکاکی و موج‌سازی می‌شود
۲	روان کاری با دمیدن هوا	باعث کاهش سطح خیس شده شناور می‌شود
۳	استفاده از پوشش‌های ضدخزه	مانع از چسبیدن خزه‌های دریایی به سطح بدنه می‌گردد
۴	استفاده از یک سری از ملحقات به بدنه شناور	باعث تغییر جهت‌گیری شناور و نیز کاهش فشار می‌شود
۵	تعمیرات دوره‌ای به‌موقع شناور	باعث کندن ناپاکی‌ها و خزه‌ها از روی سطح شناور می‌شود عملکرد سامانه رانش بهبود می‌یابد

حال به توضیح هر یک از روش‌های فوق‌الذکر پرداخته می‌شود:

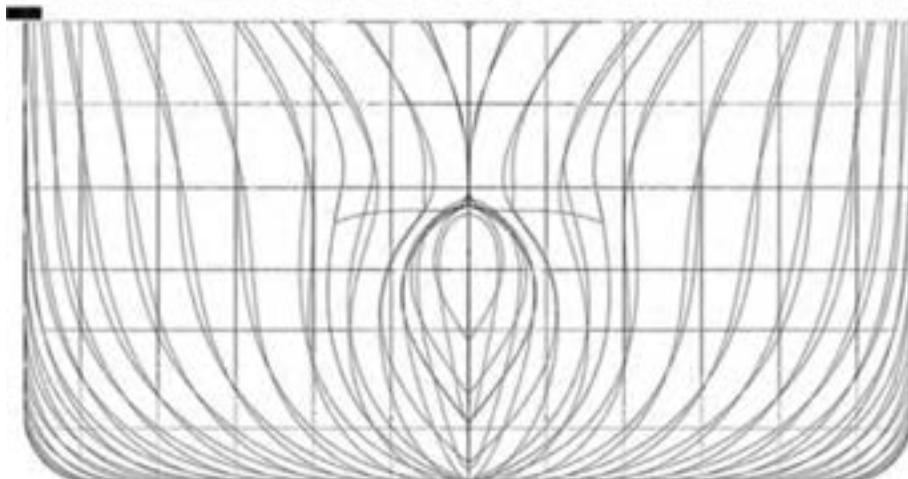
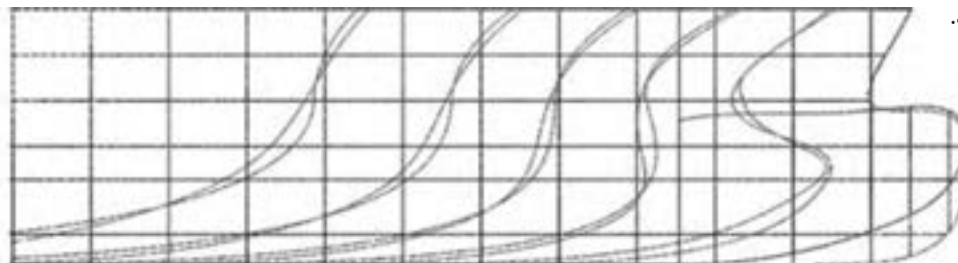
بهینه‌سازی فرم بدنه

در این روش، سعی بر آن است که فرم بدنه کشتی به‌گونه‌ای طراحی و ساخته شود تا به‌راحت‌ترین شکل بتواند در دریا حرکت نماید. فرم این نوع بدنه برای شناورهای معمولی، دوکی‌شکل است و سعی می‌شود بدنه به‌بهترین حالت خمیده شده و هیچ نوع شکستگی، بخصوص در سینه شناور وجود نداشته باشد. این کار باعث می‌شود که شناور راحت‌تر در دریا حرکت کند. شکل ۱۸ دو نوع بدنه را نشان می‌دهد که یکی شناور لندینگ کرافت و دیگری یک نوع قایق است. مقاومت قایق در دریا بخصوص در سرعت‌های بالا به‌مراتب از مقاومت لندینگ کرافت کمتر است.



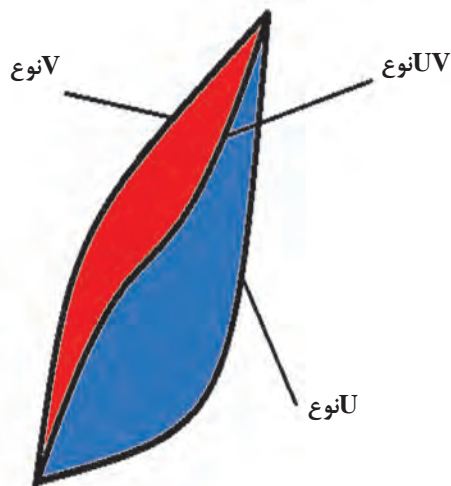
شکل ۱۸- دو نوع فرم بدنه، لندینگ کرافت (سمت چپ) و یک نوع قایق (سمت راست).

شکل (۱۹) فرم بدنه بهینه شده یک نوع شناور تجاری را که با استفاده از آزمایش بررسی گردیده است، نشان می‌دهد.



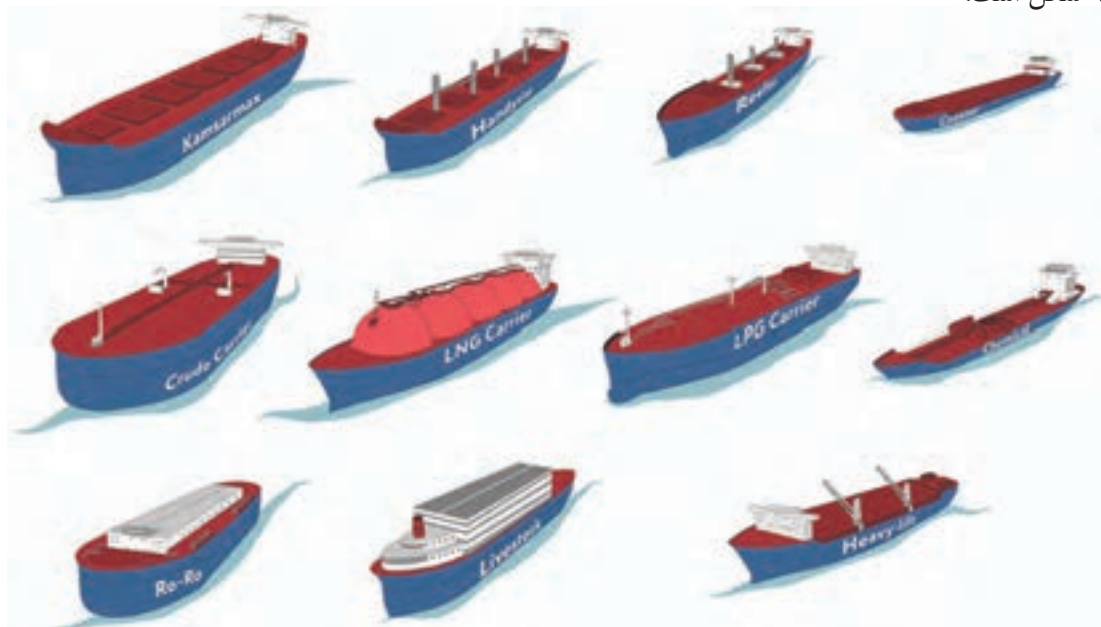
شکل ۱۹- فرم بدنه شناورهای تجاری که با آزمایش مدل و محاسبات تعیین شده است

از بین فرم بدنه‌های مختلف شناور، سه حالت U شکل، V شکل و UV موجود است که در شکل ۲۰ نشان داده شده است:



شکل ۲۰ - انواع فرم‌های بدنه

فرم U شکل، باعث پایداری بیشتر شناور در دریا شده ولی باعث افزایش مقاومت شناور می‌شود. فرم V دقیقاً عکس فرم U عمل می‌نماید؛ یعنی باعث کاهش پایداری و افزایش مقاومت می‌شود. فرم UV که تلفیقی از دو فرم U و V است، به جهت اینکه هر دو هدف پایداری و کاهش مقاومت به دست آید، طراحی شده است. البته مواردی مانند نوع شناور بر فرم بدنه تأثیرگذار است. شکل ۲۱ فرم بدنه چند نوع شناور را نشان می‌دهد که هر سه نوع V، U و UV را نشان می‌دهد. باید در نظر داشت که فرم بدنه‌ها می‌تواند در قسمت سینه و پاشنه متفاوت باشد. به عنوان مثال در شناورهای نفت کش، قسمت جلوی بدنه U شکل و قسمت عقب بدنه V شکل است.



شکل ۲۱ - انواع فرم بدنه شناورها

روان کاری با دمیدن هوا

این روش بیشتر در برخی از شناورهای تندرو استفاده می‌شود و باعث می‌شود سطح تماس بدنه شناور با آب کم شده و باعث کاهش مقاومت اصطکاکی شناور شود. شکل ۲۲ این روش را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲-دمیدن هوا در زیر بدنه شناور بجهت کاهش مقاومت شناور

استفاده از پوشش‌های ضدخزه

این روش باعث می‌شود که خزه‌های دریایی در زمانی که شناور در دریا حرکت می‌کند، کمتر به بدنه شناور بچسبند و در نتیجه شناور در دریا با نیروی کمتری حرکت نماید. پوشش‌های ضدخزه، نوعی رنگ دریایی با ترکیب شیمیایی خاص هستند که مانع چسبیدن خزه‌ها به بدنه می‌شوند. شکل ۲۳ شناوری را نشان می‌دهد که در خشکی در حال خزه گیری است.



شکل ۲۳- چسبیدن خزه‌ها به بدنه شناور و پاک‌سازی آنها



با بازدید از یک کارخانه ساخت و تعمیر شناور، روش‌های خزه‌زدایی در آن کارخانه را ملاحظه نموده و با جمع‌آوری اطلاعات لازم، با این روش‌ها آشنا شده و آن را به‌صورت یک گزارش، تحویل هنرآموز خود دهید.

استفاده از یک سری ملحقات در بدنه شناور

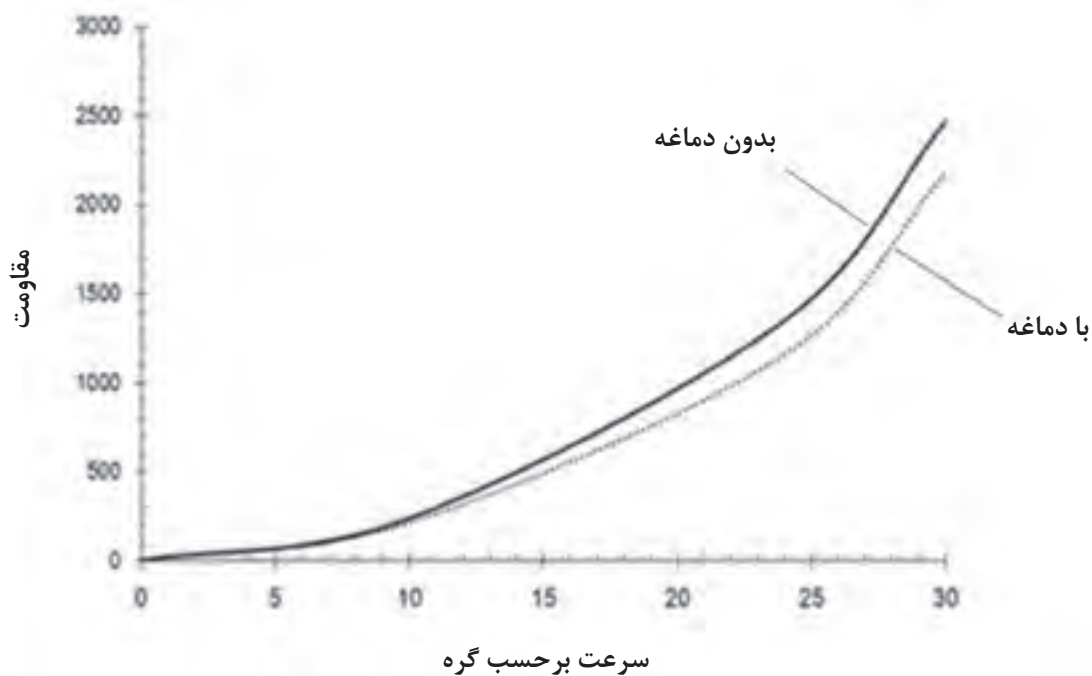
تجربه و محاسبات نشان داده است که هرگاه قسمت سینه شناور بیشتر از آب بیرون بیاید، مقاومت شناور کمتر می‌شود. برای این کار، یک راه کار مهم را در شناورهای تجاری پیاده می‌کنند و آن، دماغه‌دار کردن سینه شناور است. به این دماغه، bulb گفته می‌شود و به آن دسته از قسمت سینه شناورهایی که چنین سینه‌ای دارند، سینه دماغه دار یا bulbous bow گفته می‌شود. شکل ۲۴، شناوری را که چنین دماغه‌ای دارد نشان می‌دهد.

در شناورهای تندرو، از یک سری ضمایم به‌عنوان تریم تب استفاده می‌گردد که باعث پایداری و کاهش مقاومت شناور تندرو می‌گردد شکل (۲۶). شکل ۲۷ نیز یک نمونه تریم تب را جهت استفاده در شناورهای کوچک نشان می‌دهد.



شکل ۲۴

شکل ۲۵، اثر دماغه سینه را بر مقاومت شناور نشان می‌دهد.



شکل ۲۵- اثر دماغه بر کاهش مقاومت یک نوع شناور



شکل ۲۶- یک نمونه تریم تب جهت استفاده در قایق‌ها و شناورهای تندرو

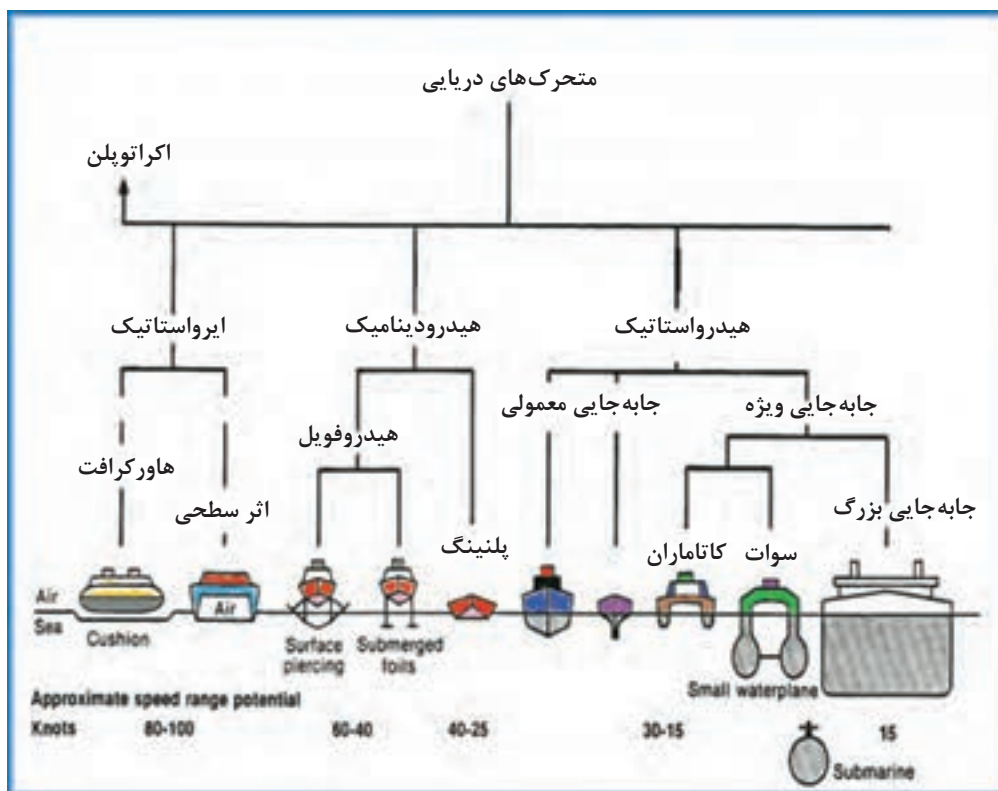


شکل ۲۷- اثر تریم تب بر پایداری و مقاومت شناور

در شناورهای تندرو، نیز می‌توان ملحقاتی را با توجه به نوع شناور استفاده نمود. به‌عنوان مثال، شناورهای هیدروفیل با داشتن فویل زیر آب، در هنگام حرکت از آب بیرون می‌آیند و چون سطح تماس آن‌ها با آب بسیار کم می‌شود، مقاومت آنان نیز بسیار کمتر می‌شود (شکل ۲۸).



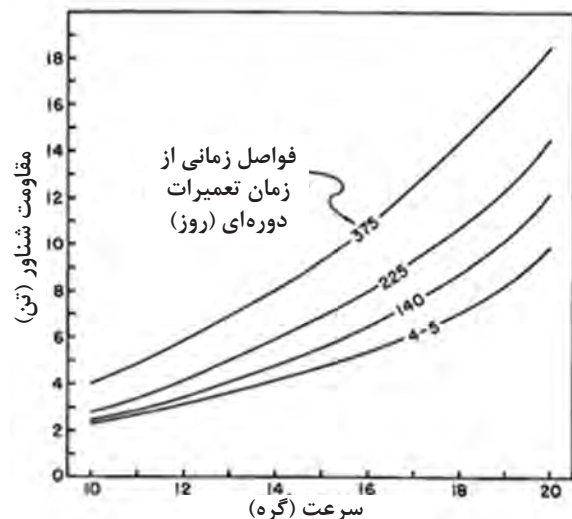
شکل ۲۸- شناور هیدروفیل که هنگام حرکت از سطح آب بالا می‌آید.



شکل ۲۹ - فرم بدنه شناورهای مختلف که هیدروفیل نیز یکی از آنهاست

تعمیرات دوره‌ای به موقع شناور

این کار سبب می‌شود که خزه‌های دریایی و ناپاکی‌ها، بر روی بدن شناور به موقع پاک گردد. گذر زمان باعث می‌شود که مقاومت شناور به دلیل افزایش چسبیدن خزه‌ها روی بدنه افزایش یابد. در طول عمر سرویس کشتی، بر روی بدنه کشتی خزه می‌چسبد و سطح بدنه کشتی دارای یک زبری تأثیرگذار بر روی مقاومت خواهد شد که متناسب با زمانی که کشتی در حوضچه خشک به تعمیرات نرفته و خزه زدایی نشده باشد، تأثیر آن بر روی مقاومت کشتی متفاوت است.



شکل ۳۰ - افزایش مقاومت شناور به دلیل افزایش فاصله

زمانی از تعمیرات دوره‌ای قبلی

همچنین، انجام تعمیرات دوره‌ای روی سامانه رانش (نوسازی، اورهال و...) سبب بهینه‌سازی راندمان سامانه رانشی شناور می‌شویم که این خود باعث کاهش مصرف انرژی جهت رانش شناور می‌شود. در شکل ۳۰ مقاومت یک نوع کشتی در سرعت‌های مختلف و با دوره‌های مختلفی که به حوضچه خشک برای تعمیرات مراجعه می‌کند نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که با فاصله گرفتن شناور از تاریخ تعمیرات دوره‌ای، مقاومت آن نیز زیادتر می‌شود و این زیادتر شدن به دلیل افزایش و رشد تدریجی خزه روی بدنه شناور است.



ساخت قایق ابتکاری — برون رفت از باتلاق و نیزار

در دوران دفاع مقدس، موانع طبیعی متفاوتی از جمله کوه، دشت، دریا، رمل، نیزار، باتلاق و... در صحنه کارزار وجود داشت و حتی در یک منطقه عملیاتی، گاهی چندین نوع از این موانع طبیعی وجود داشت. چندانکه بودن اقلیم‌ها، راهکارهای متفاوتی را می‌طلبید. چند سال بعد از شروع جنگ، در مواقعی نیاز بود رزمندگان ابتدا وارد آب و باتلاق شده و سپس در خشکی به پیشروی ادامه دهند. به‌طور مثال یکی از مشکلات ورود به مرداب، از کار افتادن پروانه موتور قایق‌ها به دلیل حجم زیاد نی و گیاهان مرداب بود. در هورالعظیم، برگ‌ها و قطعات بریده شده نی‌ها، بعد از بریده شدن روی سطح آب شناور می‌شدند و به دور پره موتور قایق‌ها پیچیده و آن را از کار می‌انداختند؛ بنابراین باید نیروی پیش‌برنده قایق در بیرون از آب قرار می‌گرفت. به‌علاوه درجایی که آب نبود، قایق باید بر روی نی‌ها حرکت می‌کرد؛ در این شرایط نه وسایل صرفاً آبی کارگشا بود و نه



وسایل صرفاً خاکی. ازاینرو طراحی و ساخت تجهیزات و وسایل نقلیه آبی - خاکی سبک در دستور کار پشتیبانی و مهندسی جنگ جهاد سازندگی قرار گرفت.

مهندسین در ابتدا به علت نبودن هیچ سابقه‌ای از ساخت این نوع تجهیزات، مجبور بودند به مراکز تعمیراتی و نگهداری وسایل زرهی مراجعه و آزمایش‌های مختلفی در شیب، سرعت، مقاومت‌های دینامیکی و استاتیکی و... را بررسی کنند ازجمله آن آزمایش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ابتدا با استفاده از یونولیت و فوم (به خاطر سبک شدن خودرو) طرح‌هایی آزمایش شد و در منطقه مورد استفاده قرار گرفت، اما به‌علت برخی مشکلات و حجم زیاد آن، تحرک لازم را نداشت. طرح دیگری از طریق سبک کردن تویوتای لندکروز مورد آزمایش قرارگرفت که البته مزایایی داشت، ولی قدرت مانور خشکی آن کاسته شد. طرح تویوتای دوزیست مورد بررسی قرارگرفت و کارایی آن افزایش یافت اما در جریان کار، به‌علت وجود مناطق باتلاقی و ساحل‌های غیراستاندارد مناطق جنگی، مشکلاتی برای آن به وجود می‌آمد.

یکی از طرح‌های خودروی دوزیست، طرح شهید فارسی بود. مهندسین جهاد، در ابتکار دیگری قایق‌هایی را طراحی کردند که با ملخ چوبی و از طریق جابجایی هوا، هم روی نی و هم روی آب با سرعت پیش می‌رفتند. جالب این‌جاست که موتور متحرک این قایق‌ها موتور فولکس‌واگن بود که برای خنک شدن احتیاج به آب نداشت و با هوا خنک می‌شد و بعدها نمونه بزرگ‌تر این نوع قایق‌ها با نصب موتور هواپیما ساخته شد.

شهید علی فارسی

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی	بررسی مؤلفه‌های مقاومت شناور و روش‌های تعیین مقاومت شناور	بررسی مؤلفه‌های مقاومت شناور، بررسی روش‌های تعیین مقاومت شناور، بررسی روش‌های کاهش مقاومت شناور	بالاتر از حد انتظار	۱- بررسی مؤلفه‌های مقاومت شناور. ۲- بررسی روش‌های تعیین مقاومت شناور. ۳- آموختن کلیه روش‌های کاهش مقاومت شناور و کاربری عملی آن‌ها. هنرجو توانایی بررسی همه شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
	بررسی روش‌های کاهش مقاومت شناور			۱- بررسی مؤلفه‌های مقاومت شناور. ۲- بررسی روش‌های تعیین مقاومت شناور. ۳- آموختن کلیه روش‌های کاهش مقاومت شناور و کاربری عملی آن‌ها. هنرجو توانایی بررسی ۲ مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
				پایین‌تر از حد انتظار	۱- بررسی مؤلفه‌های مقاومت شناور ۲- بررسی روش‌های تعیین مقاومت شناور. ۳- آموختن کلیه روش‌های کاهش مقاومت شناور و کاربری عملی آن‌ها. هنرجو توانایی بررسی ۱ مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان از ۳					
نمره پودمان از ۲۰					

ارزشیابی شایستگی بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی

<p>شرح کار:</p> <p>۱- بررسی مقاومت شناور و نیروهای وارد بر آن</p> <p>۲- آشنایی با روش‌های استاندارد تعیین و اندازه‌گیری مقاومت شناور</p> <p>۳- نحوه کاهش مقاومت شناور در دریا</p>
<p>استاندارد عملکرد:</p> <p>مؤلفه‌های اصلی و فرعی مقاومت شناور، آزمایش مدلی، سری استاندارد، بهینه‌سازی بدنه</p> <p>شاخص‌ها:</p> <p>نسبت مقاومت اصطکاکی و باقیمانده به مقاومت کل</p>
<p>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</p> <p>شرایط: کلاس مجهز به پرده‌نگار</p> <p>ابزار و تجهیزات: یک دستگاه رایانه و یک دستگاه پرده‌نگار.</p>

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	بررسی اجزای مقاومت در کشتی‌ها	۲	
۲	محاسبه مصرف سوخت در شناورها	۱	
۳	بهینه‌سازی فرم بدنه	۱	
۴	چگونگی تعمیرات دوره‌ای به موقع شناور	۱	
	<p>شایستگی‌های اخلاقی، زیست محیطی، ایمنی، بهداشتی و....</p> <p>۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها</p> <p>۲- دقت و تمرکز در اجرای کار</p> <p>۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر</p> <p>۴- اخلاق حرفه‌ای</p>	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنجار برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.