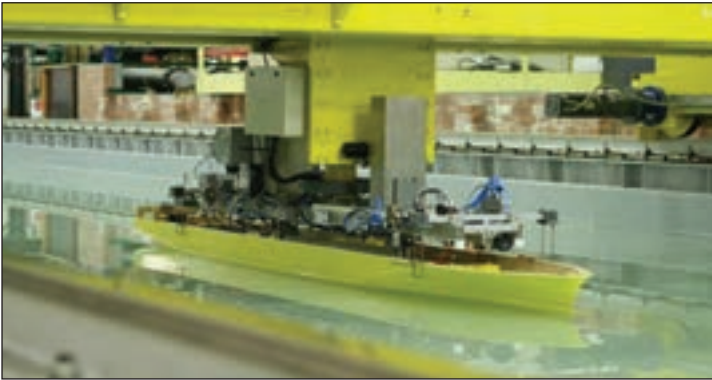


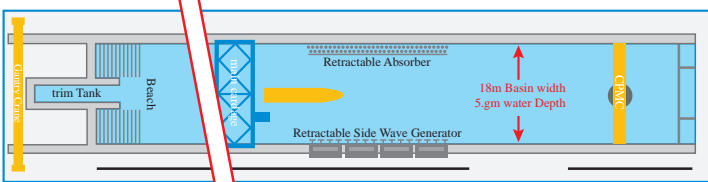
## روش آزمایش مدل

از بین سه روش ذکر شده، بهترین و دقیق‌ترین روش، تست مدل در حوضچه کشش است. اساس تست مدل بر مبنای قوانین مکانیک سیالات و هیدرودینامیک است که می‌توان نتایج آزمایش مدل‌ها را با استفاده از روش‌های تبدیل، به نمونه اصلی شناور منتقل نمود. ابتدا در حوضچه کشش استاندارد که طول آن از چند متر تا چند صد متر است و به ابزار و وسایل اندازه‌گیری مجهز شده است، مدلی را که از نظر هندسی دقیقاً شبیه به نمونه اصلی شناور است را با ابزار کششی روی سطح آب می‌کشند (شکل زیر). باید در نظر داشت که نسبت سرعت به جذر طول شناور و مدل باید یکی باشد. این نسبت را با عدد فرود می‌سنجند و همان‌گونه که ذکر گردید یک پارامتر مهم به حساب می‌آید و در ادامه توضیح داده خواهد شد. همچنین، علاوه بر این دو شرط، شرط سوم وجود دارد که به آن تشابه دینامیکی گفته می‌شود و آن اینکه نسبت نیروهای وارد بر شناور و مدل برابر با نسبت جرم این دو و یا نسبت حجم این دو باشد. سپس نیروهای اندازه‌گیری شده را طبق سلسله مراتبی که در ادامه می‌آید را به شناور اصلی منتقل می‌کنند.



حوضچه کشش و تست مدل یک شناور کانتینر بر

لازم است که جهت تست مدل، استانداردهای ITTC رعایت گردد. شکل زیر ابعاد یک حوضچه استاندارد را نشان می‌دهد.



نقشه یک حوضچه کشش استاندارد

تحقیق



با کمک هنرآموز، چند حوضچه کشتی معروف در دنیا را شناسایی نمایید. آیا در ایران چنین آزمایشگاه‌هایی وجود دارد، نام ببرید. در دنیا، حوضچه‌های کشتی مختلفی، به خصوص در آزمایشگاه‌ها و دانشگاه‌های مطرح دریایی موجود می‌باشند. از جمله آنها، می‌توان به حوضچه کشتی کشور نروژ، (MARINTEK)، حوضچه کشتی دیوید تیلور (DTMB) به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین حوضچه‌های کشتی دنیا، حوضچه کشتی دانشگاه تاسمانیا در استرالیا، حوضچه کشتی MARIN هلند و ... را نام برد.



حوضچه کشتی DTMB به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین حوضچه‌های تست شناور در دنیا

در ایران نیز، حوضچه‌های کشتی شناور در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی وجود دارد از جمله حوضچه کشتی دانشگاه صنعتی شریف، دانشگاه صنعتی امیرکبیر در بندرعباس (در دست احداث) و نیز حوضچه کشتی دانشگاه صنعتی مالک اشتر شیراز را نام برد.



حوضچه کشتی دانشگاه صنعتی مالک اشتر شیراز

همان‌گونه که ذکر گردید، باید برای مدل و نمونه اصلی، عدد فرود یکی باشد. عدد فرود عبارت است از:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gt}}$$

که در آن  $v$  سرعت شناور و مدل،  $g$  شتاب گرانش و  $l$  طول بین دو عمود شناور است. در محاسبات تبدیل سرعت شناور به سرعت مدل در حوضچه کشش می‌توان  $g$  را نیز حذف نمود چرا که همواره مقداری ثابت است.

مثال



یک مدل شناور با طول ۱ متر، قرار است برای یک نمونه اصلی در دریا با طول ۱۵۰ متر تست شود. اگر سرعت شناور اصلی در دریا مقرر باشد که ۱۵ گره دریایی باشد، آنگاه سرعت مدل در حوضچه کشش چقدر است؟

پاسخ:

ابتدا عدد فرود را برای شناور حساب می‌کنیم:

$$Fr = \frac{15}{\sqrt{9/8 \times 150}} = 0/391$$

حال سرعت مدل را با دانستن عدد فرود مدل که برابر با عدد فرود شناور است، محاسبه می‌نماییم:

$$0/391 = \frac{V_m}{\sqrt{9/8 \times 1}}$$

$$V_m = 0/391 \times \sqrt{9/8 \times 1} = 1/22$$

حال ببینیم سلسله مراتب تعیین مقاومت شناور با استفاده از مدل به چه شکل است:

**۱** ابتدا مقاومت کل مدل را در سرعتی که با عدد فرود شناور تعیین شده است در حوضچه کشش مدل تعیین می‌نماییم. بدین شکل که مدل را در سرعت تعیین شده در حوضچه می‌کشیم و نیروی لازم جهت کشیدن مدل در حوضچه با این سرعت را تعیین می‌نماییم.

**۲** پس از آن با استفاده از رابطه  $C_f = \frac{0/075}{(\log R - 2)^2}$ ، مقاومت اصطکاکی مدل را تعیین می‌نماییم. یعنی طول مدل، سرعت تعیین شده را در رابطه بالا جهت تعیین عدد رینولدز جایگزین می‌نماییم.

۳ مقاومت باقیمانده مدل را از کم کردن مقاومت اصطکاکی تعیین شده از مقاومت کل آن که در آزمایش تعیین شده است را به دست می آوریم:

$$R_R = R_T - R_F \quad (\text{برای مدل})$$

۴ پس از تعیین مقاومت باقیمانده مدل، مقاومت باقیمانده شناور را از رابطه زیر تعیین می کنیم:

$$R_R = \frac{I_s^3}{I_m^3} \times R_{Rm}$$

در این رابطه  $R_{Rm}$  مقاومت باقیمانده مدل،  $R_R$  مقاومت باقیمانده شناور،  $I_m$  طول مدل و  $I_s$  طول شناور است. این رابطه از تشابه دینامیکی مدل و نمونه شناور اصلی حاصل می گردد. یعنی اینکه نسبت نیروهای وارد بر دو جسم یعنی مدل و شناور برابر با نسبت جرم و یا نسبت حجم این دو است و چون نسبت توان سوم شناور به مدل برابر با نسب حجم شناور به مدل است، از این رابطه استفاده نموده ایم.

۵ تعیین مقاومت اصطکاکی خود شناور با استفاده از رابطه  $C_f = \frac{0.075}{(\log R - 2)^2}$

۶ تعیین مقاومت کل شناور با جمع کردن مقاومت اصطکاکی و مقاومت باقیمانده شناور:  $R_T = R_F + R_R$

## رانش شناور

پس از اینکه تعیین گردید شناور مورد نظر در دریا با سرعت سرویس دهی، چقدر مقاومت دارد، با استفاده از آن می توان توان یا قدرت لازم را جهت رانش شناور تعیین نمود. این توان با رابطه زیر حاصل می گردد:

$$P = F.V$$

واحد توان یا قدرت، اسب بخار یا کیلووات است. این توان، توان لازم جهت رانش شناور است. با در نظر گرفتن افت انرژی که بین موتور و پروانه و نیز راندمان پروانه، می توان توان موتور شناور را تعیین نمود. حال اگر علاوه بر رانش، نیاز به انرژی دیگری در شناور، مثلاً انرژی برق بود، لازم است این توان نیز به توان موتور شناور اضافه گردد.



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؟  
پاسخ:

$$P = F.V$$

$$V = 14 \text{ knot} = 7 \text{ m/s}$$

$$P = F.V = 2500 \times 7 = 17500 \text{ کیلووات}$$

چون نیروی لازم جهت رانش شناور طبق رابطه  $F = \frac{1}{2} CV^2 S$  با توان دوم سرعت شناور رابطه مستقیم دارد، از رابطه  $P = F.V$  می‌توان فهمید که توان لازم جهت رانش شناور متناسب با توان سوم سرعت سرویس‌دهی شناور است. انرژی موتور به صورت دورانی از طریق سامانه انتقال قدرت به محور پروانه منتقل می‌شود. وظیفه اصلی پروانه، تبدیل قدرت انتقال داده شده به خود به نیروی رانش یا جلوبرنده است. ساختار هندسی پروانه به گونه‌ای شکل گرفته است که با دوران، باعث ایجاد اختلاف فشار بین قسمت جلو و قسمت عقب خود می‌شود و در نتیجه نیروی رو به جلو ایجاد می‌نماید که باعث حرکت شناور می‌گردد. این سلسله مراتب در شکل زیر نشان داده شده است.



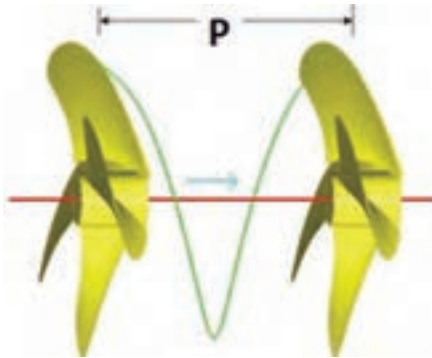
نحوه انتقال قدرت از موتور به شناور جهت رانش شناور

### ساختمان پروانه

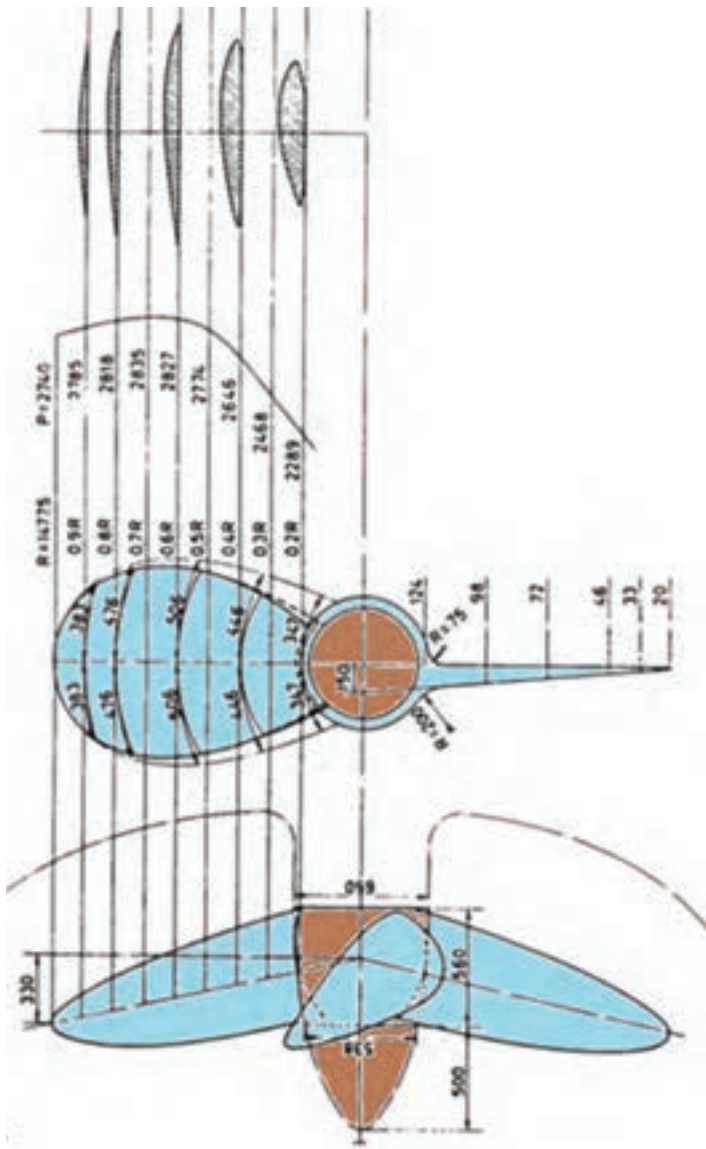
یک پروانه معمولی، دارای دو و یا بیشتر پره یا تیغه است که بر روی یک توپی نصب شده‌اند و توپی خود بر روی محور پروانه قرار گرفته است. تجربه نشان داده است که هرچه تعداد پره‌های یک پروانه کمتر باشد، بازده آن بیشتر و بهتر است. ولی به دلیل بار زیاد بر روی پروانه، لازم است که تعداد پره‌ها از حدی کمتر نشود. به عنوان مثال برای شناورهای غول پیکر، کمتر از چهار پره نصب نمی‌گردد. محور پروانه نیز می‌تواند به طور مستقیم و یا توسط جعبه دنده به محور موتور وصل

گردد. در شکل زیر، یک نمای کامل از ساختمان پروانه نمایش داده شده است. قسمت‌های آبی رنگ تیغه و قسمت قهوه‌ای رنگ توپی پروانه است. اگر در فواصل متفاوت از محور پروانه، تیغه‌ها را ببریم، از بغل، می‌توانیم تغییر ضخامت تیغه‌ها را مشاهده نماییم که در اصل کار یک هیدروفویل را انجام می‌دهد. قسمت بالایی شکل صفحه بعد این تغییر ضخامت‌ها را نشان می‌دهد. این ساختار هندسی پروانه، در طول زمان و با آزمایش‌های تجربی حاصل گشته است. نمونه پروانه‌های متعددی جهت رانش شناور تاکنون اختراع شده اند که نمونه‌های واگنینگن و کاپلان، دو نمونه از مهم‌ترین آنها هستند. پروانه علاوه بر ضخامت، دارای گام نیز هست که در شعاع‌های مختلف، این گام متفاوت است. در حقیقت گام پروانه بیانگر انحراف تیغه‌های پروانه از صفحه عمود بر محور پروانه است.

در قسمت بالایی شکل، ضخامت تیغه پروانه در موقعیت‌های مختلف نشان داده شده است که با افزایش فاصله از توپی پروانه، ضخامت آن کم می‌شود. همچنین عرض تیغه تا نقطه  $0/6$  شعاع پروانه به حداکثر خود می‌رسد، سپس کاهش می‌یابد.  $P$  بیانگر گام پروانه است که در هر نقطه میزان جلو رفتن آن به‌ازای چرخش یک دور پروانه را بازگو می‌کند. باید توجه داشت که گام شناور در موقعیت‌های مختلف شعاعی از پروانه تغییر می‌کند. شکل زیر بیانگر گام پروانه است.



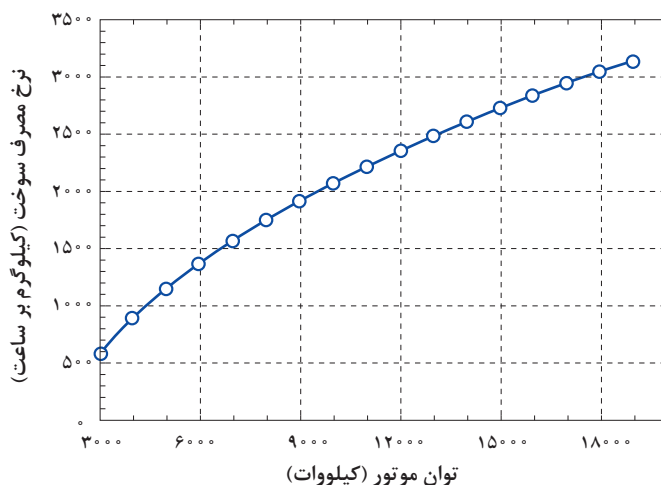
محل اتصال تیغه‌ها به توپی تیز نیست ( $R=200$ ,  $R=75$ ). و این به خاطر این است که استحکام پروانه در این نقاط زیاد گردد و اصطلاحاً پخ‌دار شود. در شکل سمت پایین، طول توپی و همچنین میزان خم شدن تیغه‌ها از خط عمود بر توپی نشان داده شده است. این وضعیت هندسه پروانه از آزمایش شکل گرفته است و هدف، رانش شناور به بهترین شکل و با کمترین مصرف سوخت و انرژی است. هدف از این داده‌ها این است که بتوان از روی نقشه مدل، پروانه اصلی را ساخت.



ساختمان پروانه

## محاسبه مصرف سوخت در شناورها

به جهت اینکه مصرف سوخت یک عامل مهم در انتخاب موتور و دریانوردی شناور است، با استفاده از آزمایش و یک سری محاسبات تجربی، میزان مصرف سوخت با توجه به دور موتور و توان مصرفی آن مشخص می‌گردد. شکل زیر، یک نمونه از این نمودارهاست که برای یک نمونه موتور استاندارد دریایی ثبت شده است. داده‌های این موتور، به ما می‌گوید که در چه توانی، چه میزان سوخت مصرف می‌گردد. کسانی که در دریا شناور را به اجاره زمانی در می‌آورند، از نمودار مصرف سوخت و یا جدولی به‌عنوان جدول مصرف سوخت، از مصرف سوخت شناور در طی دریانوردی اطمینان حاصل می‌نمایند چرا که بر هزینه‌های سفرشان تأثیر مستقیم می‌گذارد. معمولاً مصرف سوخت را به صورت کیلوگرم بر ساعت و یا تن بر روز در نظر می‌گیرند چرا که سفرهای دریایی طولانی معمولاً بیش از یک روز به طول می‌انجامد. علاوه بر مصرف سوخت در زمان حرکت شناور، در اسکله نیز شناور به دلیل روشن بودن ژنراتورها و احیاناً جرثقیل‌های روی عرشه، مقداری سوخت مصرف می‌نماید که مصرف آن سوخت نیز مهم است و باید اطلاعاتی از مصرف سوخت ژنراتورها و یا سایر تجهیزات داشت.



نمودار توان یک نمونه موتور شناور بر حسب مصرف سوخت



## روش‌های کاهش مقاومت شناور

در کاهش دادن مقاومت شناورها، روش‌های متعددی وجود دارد که از طراحی و ساخت شروع شده و تا زمان تعمیر و نگهداری شناور ادامه می‌یابد. این روش‌ها در جدول صفحه بعد آمده است. روش‌های اول، دوم و چهارم مربوط به زمان طراحی و ساخت شناور می‌شود، روش سوم هم مربوط به ساخت و هم تعمیر، و روش پنجم مربوط به تعمیرات شناور می‌شود.

### اصطلاحات فارسی و انگلیسی رایج در هیدرودینامیک

ترجمه فارسی	نام انگلیسی	ردیف
مقاومت	Resistance	۱
رانش	Propulsion	۲
اصطکاک	Friction	۳
سرعت	Speed	۴
پروانه	Propeller	۵
تیغه پروانه	blade	۶
موج	Wave	۷
جریان	Current	۸
توان (قدرت)	Power	۹
مقاومت اصطکاکی	Residual resistance	۱۰
جدول مصرف سوخت شناور	Fuel consumption table	۱۱

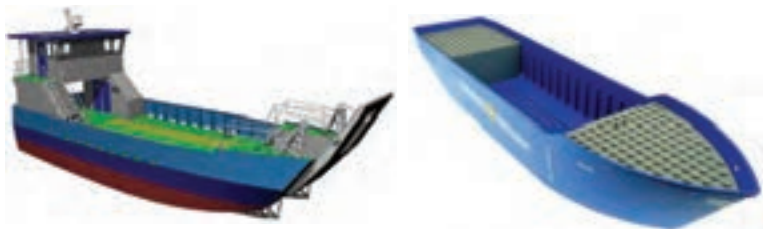
جدول روش‌های کاهش مقاومت شناور

ردیف	نوع روش	نوع تأثیرگذاری
۱	بهینه‌سازی فرم بدنه	باعث کاهش مقاومت اصطکاکی و موج‌سازی می‌شود
۲	روانکاری با دمیدن هوا	باعث کاهش سطح خیس شده شناور می‌شود
۳	استفاده از پوشش‌های ضد خزه	مانع از چسبیدن خزه‌های دریایی به سطح بدنه می‌گردد
۴	استفاده از یک سری از ملحقیات به بدنه شناور	باعث تغییر جهت‌گیری شناور و نیز کاهش فشار می‌شود
۵	تعمیرات دوره‌ای به موقع شناور	باعث کنده شدن ناپاکی‌ها و خزه‌ها روی سطح شناور می‌شود و عملکرد سامانه رانش بهبود می‌یابد

روش‌های مربوط به جدول بالا در ادامه توضیح داده می‌شود:

**بهینه‌سازی فرم بدنه:**

اگر مقاطع موازی با سطح آب دریا در شناورها را که به آن مقاطع سطح آب (waterplane area) گفته می‌شود به صورت فرضی ببریم، این مقاطع فرم دوکی شکل به خود می‌گیرند و همان‌گونه که ذکر گردید، این نوع مقاطع کمترین مقاومت در برابر حرکت خواهند داشت. البته باید در نظر داشت در زمانی که شناور با سرعت بالا حرکت نمی‌کند، ایجاد این نوع از فرم بدنه‌ها ضروری نیست چرا که باعث سخت‌تر شدن فرایند ساخت شناور و ایجاد جانمایی در شناور و همچنین گران‌تر شدن قیمت شناور می‌گردد. شکل زیر نشان‌دهنده دو نوع از شناورهاست که یکی لندینگ کرافت است که با سرعت پایین حرکت می‌کند و دیگری قایق که با سرعت بالا حرکت می‌کند. به دلیل سرعت پایین لندینگ کرافت، لازم نیست بدنه آن دوکی شکل ساخته شود.



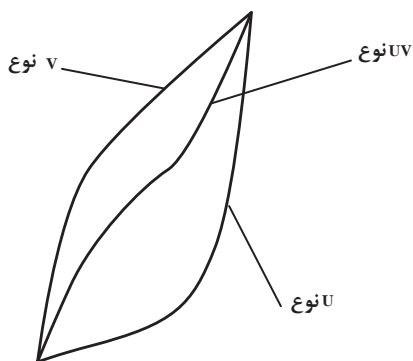
دو نوع فرم بدنه، لندینگ کرافت (سمت چپ) و یک نوع قایق (سمت راست)

فرم بدنه همان گونه که قبلاً نیز ذکر گردید، به صورت دوکی شکل در حالت کلی است، ولی به صورت جزئی معمولاً از آزمایش و یا نمودارهای سری ۶۰ حاصل می‌گردد. شکل زیر، یک نمونه فرم بهینه شده بدنه شناور است. خطوطی که در شکل‌شان داده شده است را خطوط بدنه (bodyline) می‌گویند. این خطوط می‌توانند به شکل U، V، یا UV باشند (شکل زیر). ویژگی‌های این سه نوع فرم بدنه در جدول زیر آمده است:

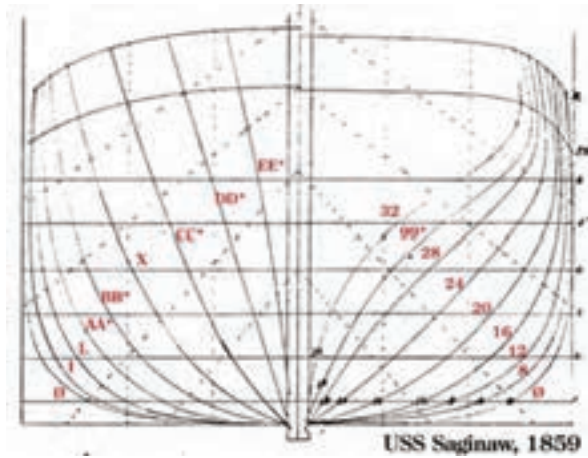
جدول ویژگی‌های سه نوع خطوط بدنه

ویژگی منفی	ویژگی مثبت	نوع فرم بدنه
ایجاد مقاومت بیشتر	پایداری بیشتر در دریا	U
پایداری کمتر	مقاومت کمتر	V
هزینه بر بودن به دلیل خم کاری زیاد	بهینه شده از نظر پایداری و مقاومت	UV

شکل صفحه بعد نیز خطوط بدنه یک نوع شناور نمونه که با استفاده از آزمایش در حوضچه کشش تعیین شده و نیز به صورت تجربی، نشان داده می‌شود. همان گونه که در این شکل نشان داده می‌شود، فرم بدنه هم به صورت U، هم به صورت V و هم به صورت UV دیده می‌شود یعنی اینکه خطوط بدنه شناور در طول خود می‌تواند تلفیقی از این نوع خطوط بدنه‌ها باشد.



انواع فرم‌های بدنه



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

کاربری و نوع مأموریت شناور بر نوع خطوط بدنه تأثیرگذار است. شکل زیر فرم بدنه چند نوع شناور تجاری مهم را نشان می‌دهد که هم U شکل، هم V شکل و هم UV شکل هستند که این خطوط متأثر از نوع بار و کاربری شناور شکل گرفته‌اند.



انواع فرم بدنه‌های شناورهای تجاری

### روانکاری با دمیدن هوا

با دمیدن هوا زیر بدنه شناور، سطح تماس بدنه با آب کاهش می‌یابد که این امر باعث کم شدن سطح خیس شده شناور و در نتیجه کاهش مقاومت اصطکاکی می‌شود (شکل صفحه بعد). در نتیجه شناور بهتر در آب حرکت می‌نماید. بیشتر از این روش در شناورهای تندرو استفاده می‌شود. یکی از این نوع شناورهای تندرو به‌عنوان شناور Air cavity شناخته می‌شود.



دمیدن هوا در زیر بدنه شناور به جهت کاهش مقاومت شناور

### استفاده از پوشش‌های ضد خزه:

پوشش‌های ضد خزه یک نوع ترکیب شیمیایی هستند که یا خود رنگ هستند و یا اینکه با رنگ‌های دریایی مخلوط شده و باعث می‌شوند خزه‌ها به مراتب کمتر از حالت معمول به بدنه شناور بچسبند. شکل زیر دو نمونه از این نوع پوشش‌های ضدخزه را نشان می‌دهد.



دو نمونه رنگ و پوشش ضدخزه



وجود خزه هم باعث افزایش مقاومت اصطکاکی و هم باعث افزایش وزن و نیز افزایش هزینه تعمیرات می‌گردد (شکل روبه‌رو).

چسبیدن خزه‌ها به بدنه شناور و پاک‌سازی آنها

#### استفاده از یک سری از ملحقات در بدنه شناور

در شکل مربوط به مقاومت ملحقات و ضمامم توضیح داده شد که یک سری از این ملحقات، باعث کاهش مقاومت شناور در حین حرکت می‌گردند. یکی از این ملحقات دماغه سینه (bulbos bow) است. وجود دماغه سینه باعث می‌شود که در قسمت جلو شناور، شناوری افزایش یافته و قسمت جلو شناور از آب بیرون بیاید. ضمن اینکه فشار آب در قسمت سینه کاهش یافته و در نتیجه باعث کاهش مقاومت شناور در دریا می‌گردد. شکل زیر فرم بدنه شناور معمولی و شکل صفحه بعد فرم بدنه شناوری که دماغه سینه دارد را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه دماغه سینه در ابتدای ساخت شناور به بدنه جوش می‌خورد، دماغه سینه در حقیقت جزئی از بدنه شناور به حساب می‌آید.

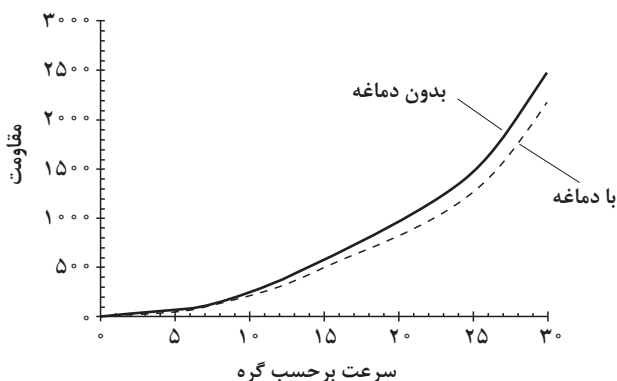


فرم بدنه معمولی شناور



فرم بدنه با دماغه سینه

شکل زیر نیز اثر دماغه سینه را بر کاهش مقاومت شناور نشان می‌دهد.



اثر دماغه بر کاهش مقاومت یک نوع شناور



یک نمونه تریم تب جهت استفاده در قایق‌ها و شناورهای تندرو

یکی دیگر از این ملحقات، تریم تب (trim tab) است. یکی از عواملی که باعث افزایش مقاومت و کاهش پایداری شناورهای تندرو و کوچک می‌شود، بیرون آمدن بیش از حد سینه شناور و برخورد آن به سطح آب است. وجود تریم تب مانع از به‌وجود آمدن چنین پدیده‌ای می‌گردد. در حقیقت هم باعث افزایش پایداری شده و هم مقاومت را در شناور کاهش می‌دهد. شکل روبه‌رو

و شکل زیر نشان‌دهنده تریم تب و محل قرارگیری آنان در روی بدنه شناور هستند.



محل نصب تریم تب در بدنه شناور

یکی دیگر از این ملحقات، هیدروفویل است. وجود هیدروفویل در بدنه شناور باعث می‌شود که شناور از سطح آب بالاتر آمده و در نتیجه سطح خیس شده کمتر و در نتیجه مقاومت هیدرودینامیکی کمتری داشته باشد. شکل زیر یک نمونه از این شناور را نشان می‌دهد که از آب تا حد زیادی بیرون آمده است. در حقیقت نقش هیدروفویل شبیه به نقش بال هواپیما در هواست که باعث بالا رفتن هواپیما از سطح زمین می‌گردد. به شکل پایین صفحه ۹۳ نیز رجوع نمایید.

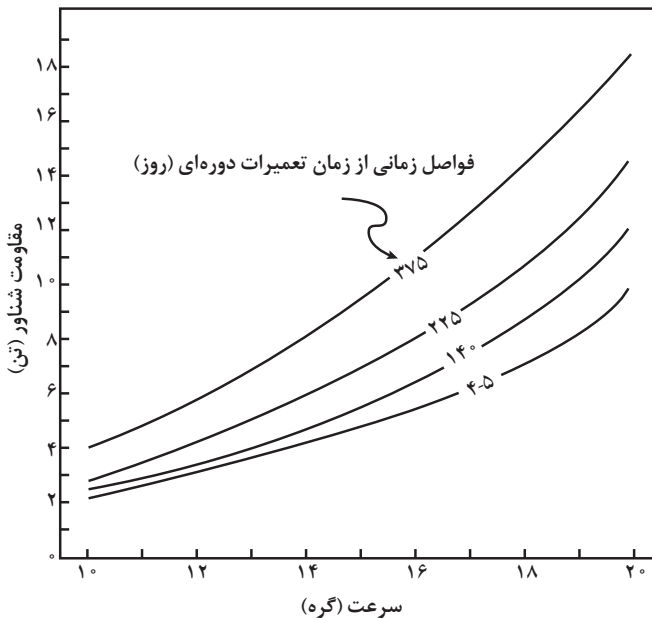


شناور هیدروفویل هنگام حرکت که از سطح آب بالا می‌آید



### تعمیرات دوره‌ای به موقع شناور

مهم‌ترین تأثیر این نوع از تعمیرات دوره‌ای، خزه‌زدایی روی بدنه شناور است. شکل زیر نشان می‌دهد که با گذشت فاصله زمانی از تعمیرات دوره‌ای، مقاومت شناور افزایش می‌یابد و آن به دلیل افزایش تدریجی خزه‌های چسبیده شده به بدنه شناور است. این کار نه تنها باعث افزایش مقاومت اصطکاکی و موج‌سازی شناور می‌شود، بلکه در صورت کوچک بودن کشتی، باعث می‌شود کشتی بیشتر زیر آب برود و وزن آن افزایش یافته و سطح خیس شده و در نتیجه مقاومت آن افزایش یابد. در تعمیرات دوره‌ای، علاوه بر خزه‌زدایی که در کارخانجات به آن عمل سند بلاست یا شات بلاست گفته می‌شود، در صورت نیاز، موتور و سامانه‌های تولید توان و انتقال قدرت نیز تعمیر می‌گردند که این باعث افزایش عمر ماشین‌آلات و نیز کاهش مصرف سوخت شناور می‌گردد.



افزایش مقاومت شناور به دلیل افزایش زمان از تعمیرات دوره‌ای قبلی