

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# راهنمای هنر آموز دانش فنی تخصصی

رشته مکانیک موتورهای دریایی  
گروه تعمیر و نگهداری ماشین آلات  
شاخه فنی و حرفه ای  
پایه دوازدهم دوره دوم متوسطه



## وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



**نام کتاب:** راهنمای هنرآموز دانش فنی تخصصی (رشته مکانیک موتورهای دریایی) - ۲۱۲۹۰۵

**پدیدآورنده:** سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

**مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:** دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

**شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:** ارسلان اقدامی، عبدالرضا باباخانی، مصطفی ربیعی، مصطفی زنگنه، بیژن شعبانی چاله‌سرای، کریم اکبری وکیل‌آبادی، جلیل محمولی، فرهاد میریانی، محمدرضا نخعی امرودی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)

**مدیریت آماده‌سازی هنری:** مصطفی زنگنه، ارسلان اقدامی، عبدالرضا باباخانی، جلیل محمولی، کریم اکبری وکیل‌آبادی، محمدرضا نخعی امرودی، بیژن شعبانی چاله‌سرای (اعضای گروه تألیف)

**شناسه افزوده آماده‌سازی:** اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

**نشانی سازمان:** جواد صفری (مدیر هنری) - سمیه قنبری (صفحه‌آرا)

**ناشر:** تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)

**چاپخانه:** تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

**سال انتشار و نوبت چاپ:** وب‌گاه: www.irtextbook.ir و www.chap.sch.ir

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارو پخش) تلفن: ۵ - ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰

صندوق پستی: ۱۳۹ - ۳۷۵۱۵

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

چاپ اول ۱۳۹۷

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



دست توانای معلم است که چشم انداز آینده ما را ترسیم می کند.  
امام خمینی (قُدَسِ سرُّه)

۱.....	فصل اول: استاتیک و دینامیک کاربردی
۲۷.....	فصل دوم: بررسی اصول ساختمان کشتی
۴۹.....	فصل سوم: بررسی اصول تعادل کشتی
۷۱.....	فصل چهارم: بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی
۱۱۵.....	فصل پنجم: کسب اطلاعات فنی

از الزامات اجرای برنامه درسی، وجود محتوای آموزشی جهت تحقق نیازهای فردی و اجتماعی و اهداف نظام تعلیم و تربیت می‌باشد. با توجه به تغییرات نظام آموزشی که حول محور سند تحول بنیادین آموزش و پرورش انجام شد چرخش‌های جدیدی از وضع موجود به مطلوب صورت پذیرفت. از جمله به نقش معلم از آموزش‌دهنده صرف، به مربی، اسوه و تسهیل‌کننده یادگیری و نقش دانش‌آموز از یادگیرنده منفعل به فراگیرنده فعال، تربیت‌جو و مشارکت‌پذیر و نقش محتوا از کتاب درسی به عنوان تنها رسانه آموزشی به برنامه محوری و بسته یادگیری (آموزشی) نام برد. بسته یادگیری شامل رسانه‌های متنوعی از جمله کتاب درسی دانش‌آموز، کتاب همراه دانش‌آموز/ هنرجو، کتاب راهنمای تدریس معلم/ هنرآموز، نرم‌افزارهای آموزشی، فیلم آموزشی و پوستر و .... می‌باشد که با هم در تحقق اهداف یادگیری نقش ایفا می‌کنند. کتاب راهنمای هنرآموز جهت ایفای نقش تسهیل‌گری، انتقال‌دهنده و مرجعیت هنرآموز در نظام آموزشی برای هر کتاب درسی طراحی و تدوین شده است. در این رسانه سعی شده روش تدریس کلی و جلسه به جلسه به همراه تجهیزات، ابزارها و مواد مصرفی مورد نیاز هر جلسه، نکات مربوط به ایمنی و بهداشت فردی و محیطی آورده شود. همچنین نمونه طرح درس، تبیین پیچیدگی‌های یادگیری هنرجویان، هدایت و مدیریت کارگاه و کلاس در هنرستان، راهنمایی و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها، بیان شاخص‌های اصلی جهت ارزشیابی شایستگی و ارائه بازخورد، اشاره به اشتباهات و مشکلات رایج در یادگیری هنرجویان و روش سنجش و نمره‌دهی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت و ارگونومی، منابع مطالعاتی، نکات مهم در فرایند اجرا و آموزش در محیط یادگیری، بودجه‌بندی زمانی و صلاحیت‌های حرفه‌ای و تخصصی هنرآموزان و دیگر موارد آورده شده است. امید است شما هنرآموزان گرامی با دقت و سعه صدر در راستای تحقق اهداف بسته آموزشی که با کوشش و تلاش مؤلفین گرانقدر تدوین و تألیف شده موفق باشید.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش



# فصل ۱

## استاتیک و دینامیک کاربردی



نوع درس: نظری

کل ساعات: ۳۰ ساعت

ساعات نظری: ۳۰ ساعت

کمیت‌های فیزیکی معمولاً برداری یا نرده‌ای هستند. با توجه به شناخت خود از این نوع کمیت‌ها، جای خالی را در عبارت‌های زیر کامل کنید.

### ۱ کمیت نرده‌ای

کمیتی را گویند که فقط دارای مقدار باشد و محاسبات روی مقادیر آنها از اعمال جبری تبعیت کند.

مانند: جرم، طول، زمان، بارالکتریکی.

کمیت‌های نرده‌ای نیز مانند اعداد محاسبه می‌شوند ولی در محاسبات باید یکای آنها نیز در نظر گرفته شود و برای تمام کمیت‌های یک رابطه از یک دستگاه یکا استفاده شود.

### ۲ کمیت برداری

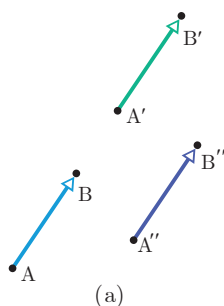
به کمیت‌هایی که دارای مقدار، راستا و جهت بوده و از محاسبات برداری تبعیت کنند، کمیت‌های برداری گویند. جابه‌جایی، سرعت، شتاب، نیرو و... از کمیت‌های برداری هستند.

یک بردار دارای جهت و بزرگی است و از قواعد خاصی پیروی می‌کند. یک کمیت برداری، کمیتی است که جهت و بزرگی دارد و بنابراین، می‌تواند با استفاده از بردار نمایش داده شود. برخی کمیت‌های برداری در فیزیک عبارت‌اند از: جابه‌جایی، سرعت و شتاب.

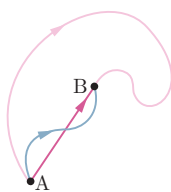
همه کمیت‌های فیزیکی شامل جهت نیستند. برای مثال دما، فشار، انرژی، جرم و زمان از جمله این کمیت‌ها هستند. ما این کمیت‌ها را **اسکالر** می‌نامیم. قواعد حاکم بر این کمیت‌ها از همان جبر معمولی پیروی می‌کند.

ساده‌ترین کمیت برداری جابه‌جایی یا تغییر مکان است. برداری که جابه‌جایی را نشان می‌دهد، **بردار جابه‌جایی** نامیده می‌شود. اگر ذره‌ای از مکان A به مکان B جابه‌جا شود (شکل صفحه بعد)، بردار جابه‌جایی آن با یک پیکان که از A به B کشیده شده است نشان داده می‌شود. در شکل (a) صفحه بعد، سه بردار نشان داده شده از نظر بزرگی و جهت یکسان هستند. بنابراین بردار نشان داده شده نمایشگر تغییر مکان یکسانی برای ذره است. بردار جابه‌جایی چیزی درباره مسیر حرکت به ما نمی‌گوید. برای مثال شکل (b) صفحه بعد، مسیرهای متفاوتی را نشان می‌دهد که بردار جابه‌جایی آن یکی است.





(a)



(b)

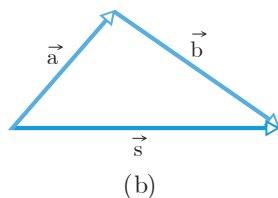
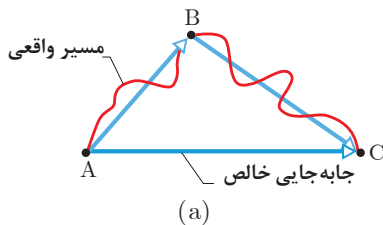
(a) هر سه بردار بزرگی و جهت یکسان دارند. (b) هر سه مسیر توسط یک بردار جابه‌جایی نشان داده شده است.

## جمع بردارها

فرض کنید که در نمودار برداری شکل صفحه بعد، یک ذره از A به B و سپس از B به C حرکت می‌کند. ما می‌توانیم این جابه‌جایی را با دو بردار جابه‌جایی AB و BC نشان دهیم. جابه‌جایی خالص ناشی از این دو بردار، یک جابه‌جایی از A به C است. ما AC را بردار حاصل جمع یا بردار برآیند بردارهای AB و BC می‌نامیم. یک روش برای نشان دادن بردارها، استفاده از حروف و قرار دادن یک پیکان بالای سر آنهاست (شکل (b)). هنگامی که ما فقط می‌خواهیم به بزرگی بردارها اشاره کنیم، فقط حروف (بدون پیکان بالای آنها) را به کار می‌بریم. ما می‌توانیم روابط بین سه بردار شکل (b)، را به صورت معادله برداری زیر بنویسیم:

$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$$

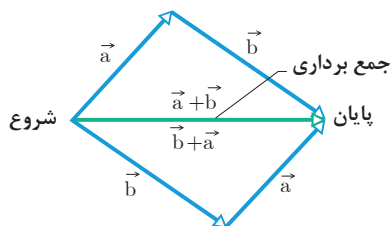
شکل صفحه بعد، روش جمع دو بردار را به صورت هندسی پیشنهاد می‌کند. (۱) بردار a را با همان بزرگی و جهت ترسیم کنید. (۲) بردار b را به گونه‌ای که دم آن در راس بردار a باشد رسم کنید. (۳) بردار حاصل جمع s برداری است که دم a را به رأس b متصل می‌کند.



(a) بردار AC جمع دو بردار AB و BC است. (b) نمایش همان بردارها با نماد جدید

جمع برداری شرح داده شده به روش بالا، دو ویژگی مهم دارد. اول اینکه، ترتیب اضافه کردن بردارها اهمیتی ندارد (شکل زیر). به عبارت دیگر:

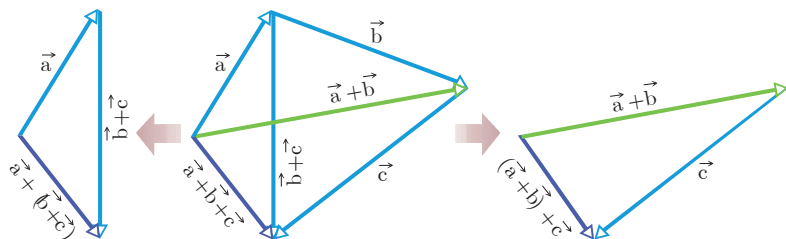
$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}$$



ترتیب در جمع برداری اهمیتی ندارد.

دوم اینکه، وقتی بیش از دو بردار وجود داشته باشد، می‌توانیم به هر ترتیبی آنها را با هم جمع کنیم. بنابراین برای بردارهای شکل صفحه بعد، در روش اول ما می‌توانیم ابتدا دو بردار a و b را با هم جمع کنیم و سپس حاصل جمع را با بردار c جمع کنیم. همچنین در روش دوم ما می‌توانیم ابتدا بردارهای b و c را با هم جمع کنیم، سپس حاصل جمع این دو بردار را با بردار a جمع کنیم. با توجه به شکل مشاهده می‌کنیم که در هر دو روش نتیجه یکسانی حاصل می‌شود:

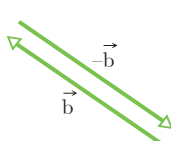
$$(\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c} = \vec{a} + (\vec{b} + \vec{c})$$



سه بردار نشان داده شده به هر روشی می توانند با هم جمع شوند.

## تفاضل بردارها

بردار  $-b$  برداری است با بزرگی برابر با بردار  $b$  اما در جهت مخالف آن (شکل زیر). با جمع کردن دو بردار نشان داده شده در شکل ۵، خواهیم داشت:

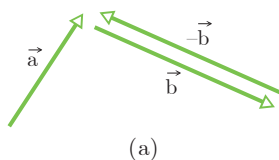


$$\vec{b} + (-\vec{b}) = \vec{0}$$

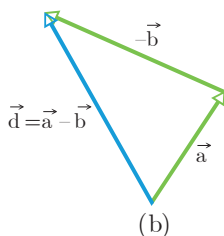
نمایش بردارهای  $b$  و  $-b$

بنابراین ما می توانیم از این ویژگی برای تعریف تفاضل (تفریق) بردارها استفاده کنیم:

$$\vec{d} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$



(a)



(b)

نمایش هندسی تفاضل بردارها

شکل روبه‌رو، نمایش هندسی این تفاضل را نشان می‌دهد. همانند جبر معمولی، ما می‌توانیم با تغییر علامت بردارها، آنها را از یک طرف تساوی به طرف دیگر جابه‌جا کنیم

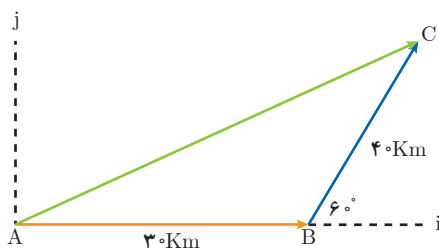
$$\vec{d} + \vec{b} = \vec{a} \quad \text{یا} \quad \vec{a} = \vec{d} + \vec{b}$$

یادآوری می‌کنیم که، قواعد جمع و تفاضل بردارها فقط برای بردارهای هم‌منوع برقرار است. به عبارت دیگر ما می‌توانیم این قواعد را فقط برای بردارهای هم‌منوع به کار ببریم. برای مثال، ما می‌توانیم دو بردار جابه‌جایی یا دو بردار سرعت را با هم جمع کنیم. اما نمی‌توانیم یک بردار جابه‌جایی را با بردار سرعت جمع کنیم.

### حل تمرین

کشتی حامل بار از جزیره A به اندازه ۳۰ کیلومتر در جهت شرق حرکت کرده و به جزیره B می‌رسد و بعد از آن ۴۰ کیلومتر در جهت شمال و به سمت شرق (با زاویه ۶۰ درجه نسبت به شرق) حرکت کرده و به جزیره C می‌رسد. (شکل زیر)

۱ بردار جابه‌جایی AC را محاسبه کنید.  
۲ اگر کشتی بخواهد به طور مستقیم از جزیره A به C برود، باید با چه زاویه‌ای نسبت به محور افق حرکت کند و چه مسافتی را طی کند؟



برای به‌دست آوردن بردار جابه‌جایی AC، دو بردار AB و BC را به‌صورت مؤلفه‌های i و j می‌نویسیم:

$$AB = 30i$$

$$BC = 40 \cos(60^\circ) i + 40 \sin(60^\circ) j$$

به دلیل اینکه ابتدای بردار BC در انتهای بردار AB رسم شده است در نتیجه برای به دست آوردن بردار جابه‌جایی AC به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$AC = AB + BC$$

$$\sqrt{3} \cong 1.7$$

$$AC = 30i + \left( (40 \times \frac{1}{2})i + (40 \times \frac{\sqrt{3}}{2})j \right) = 50i + 34j$$

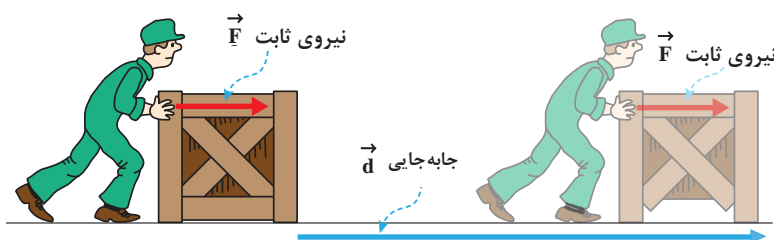
زاویه حرکت و مسافت طی شده از A و C به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$\theta = \text{Arc tan} \left( \frac{34}{50} \right) = 34 / 21^\circ$$

$$|AC| = \sqrt{(50)^2 + (34)^2} = 60 / 46$$

## کار نیروی ثابت

برای حالتی که نیروی وارد شده به جسم ( $F$ )، ثابت و با جابه‌جایی جسم ( $d$ ) در یک جهت باشد، کار نیروی ثابت از رابطه زیر به دست می‌آید:



$$W = F.d$$

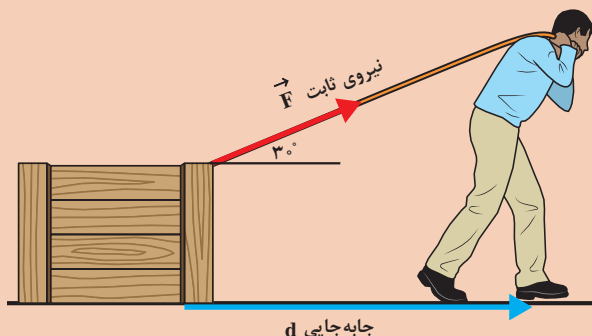
مثال



مطابق شکل بالا، کارگری جعبه‌ای را با نیروی ثابت ۲۲۵ نیوتن، به اندازه ۱۴ متر روی سطح افقی جابه‌جا می‌کند. کار انجام شده توسط این نیرو چقدر است؟  
حل مثال

$$W = Fd = (225\text{N})(14/0\text{m}) = 3/15 \times 10^3\text{J}$$

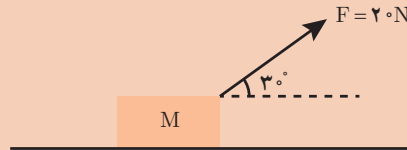
برای حالتی که نیروی وارد بر جسم ( $F$ ) با جابه‌جایی ( $d$ ) زاویه بسازد، کار نیرو در این جابه‌جایی از رابطه زیر به دست می‌آید:



$$W = F.d.\cos\theta$$



مطابق شکل زیر نیرویی ۲۰ نیوتنی با زاویه ۳۰ درجه به جسمی به جرم ۴ کیلوگرم وارد می‌شود و آن را به اندازه ۴ متر جابه‌جا می‌کند. کار نیروی F چقدر است؟



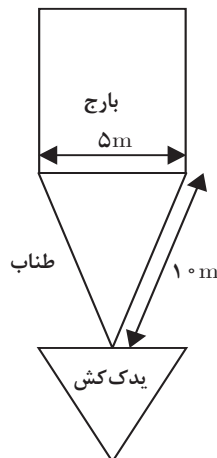
$$W = F \cos 30^\circ \cdot d = 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times 4 = 40\sqrt{3} \text{ N.m}$$

### حل تمرین

برای حمل ۵۰۰۰ تن زغال سنگ بین دو جزیره A و B به مسافت ۲۰ کیلومتر، از یک یدک کش استفاده شده که با دو طناب به قطر ۳ cm و طول ۱۰ m به بارج وصل شده است. اگر یدک کش با نیروی ۲۰ کیلو نیوتن بارج را یدک کند:

۱ کار انجام شده توسط یدک کش چه مقدار می‌باشد؟

۲ در صورتی که فاصله بسته شدن طناب‌ها به بارج ۵ متر باشد، نیروی وارده بر هر یک از طناب‌ها چه مقدار خواهد بود؟



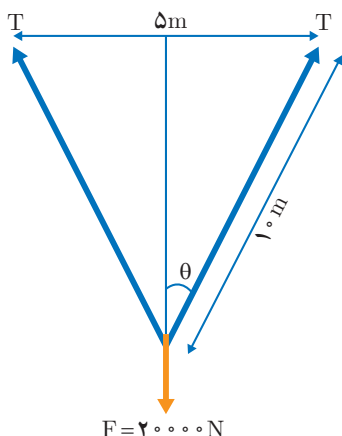
۳ مقاومت کششی این طناب‌ها حداقل چه مقدار باید باشد؟

در این تمرین نیز جهت جابه‌جایی نیرو با هم یکی است در نتیجه مقدار کار انجام شده برابر است با:

$$F = 20 \text{ KN} = 20000 \text{ N} \quad d = 20 \text{ Km} = 20000 \text{ m}$$

$$W = F \cdot d = 20000 \times 20000 = 4 \times 10^8 \text{ N.m}$$

برای به دست آوردن نیروی وارد بر هر طناب به صورت زیر عمل می‌شود:



$$F = 2T \cos \theta$$

$$\theta = \text{Arc sin} \left( \frac{2/5}{10} \right) \cong 14/5^\circ$$

$$20000 = 2 \times T \times \cos (14/5)$$

$$T = 10329 \text{ N}$$

مقاومت کششی نهایی یا مقاومت کششی عبارت است از بیشینه تنش که یک جسم در هنگام کشیده شدن از طرفین، تا قبل از اینکه مقطع نمونه، به صورت قابل توجهی باریک شود، می‌تواند تحمل کند. مقاومت کششی همانند تنش تعریف می‌شود که یکای اندازه‌گیری آن بر حسب نیرو بر واحد سطح است.

$$P = \frac{T}{A} \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

در این تمرین مقدار حداقل مقاومت کششی طناب از فرمول زیر به دست می‌آید.

$$P = \frac{T}{A} = \frac{T}{\pi r^2} = \frac{10329}{\pi \times (3)^2} \cong 365/5 \left( \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \right) = 365/5 \times 10^6 \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

## تبادل اجسام

واژه تعادل به معنی حالتی از سکون (عدم تغییر) یا توازن به علت برابری عمل نیروهای مخالف با هم است. در سیستمی که دو یا چند عامل متضاد در حال رقابت با هم هستند و شرایط حاکم بر سیستم به گونه‌ای است که با پیشرفت نتیجه به نفع یک عامل، شرایط برای پیشرفت بیشتر نتیجه به نفع آن عامل دشوارتر می‌شود، در نهایت سیستم به تعادل یا به حالتی از توازن خواهد رسید که در آن

نیروهای مخالف در حال رقابت با هم اثر همدیگر بر روی کمیت‌های بیان‌کننده یا توصیف‌کننده حالت سیستم را خنثی خواهند کرد. اجسامی که در حال سکون‌اند یا با سرعت ثابت و بدون چرخش در حال حرکت‌اند، در حال تعادل می‌باشند. شرط‌های لازم و کافی برای تعادل یک جسم صلب: در حالت تعادل، سیستم نیروهای خارجی وارد بر جسم صلب نه می‌تواند آن را انتقال دهد و نه به حرکت دورانی وادارد.

$$\sum F = 0 \quad \sum M_O = \sum (r \times F) = 0$$

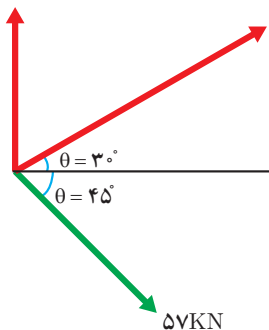
با تجزیه نیروها و گشتاورها به مؤلفه‌های قائم، شش معادله تعادل داریم:

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0$$

### حل تمرین

برآیند نیروهای وارد بر نبشی‌های پایه یک دکل نفتی در خلیج فارس را به دست آورید.



$$F_1 = 80/5 \text{ kN}$$

$$F_1 = 80/5 \cos(30^\circ) \mathbf{i} + 80/5 \sin(30^\circ) \mathbf{j}$$

$$F_2 = 57 \text{ kN}$$

$$F_2 = 57 \cos(-45^\circ) \mathbf{i} + 57 \sin(-45^\circ) \mathbf{j}$$



$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$F_{1j}$

$F_{1i}$

$F_{2j}$

$F_{2i}$

$$F_{12} = (F_{1i} + F_{2i})i + (F_{1j} + F_{2j})j$$

$$F_{12} = (80/5 \cos(30^\circ) + 57 \cos(-45^\circ))i + (80/5 \sin(30^\circ) + 57 \sin(-45^\circ))j$$

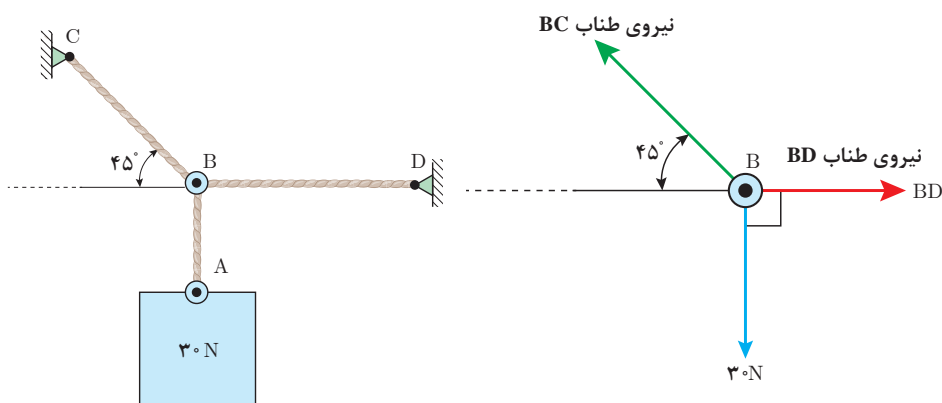
$$= F_{12} = (110/0.2)i + (0/0.5)j$$

## روش حل مسائل تعادل

به منظور بررسی تعادل اجسام، لازم است ابتدا جسم را از محیط اطراف خود جدا نموده و نیروهای وارد بر آن را در راستاهای موجود نمایش دهیم که به این عمل، ترسیم پیکر آزاد جسم گفته می‌شود.

## حل تمرین

در شکل زیر وزنه  $30\text{ N}$  توسط سه طناب AB و BC و BD نگهداری شده است. مقدار نیروی وارد بر هریک از رشته‌ها را به دست آورید.



$$\sum F_x = 0 \rightarrow BD \cos 45 - BC = 0 \rightarrow BC = BD \cos 45$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow BD \sin 45 - 30 = 0 \rightarrow BD = 30 / \sin 45$$

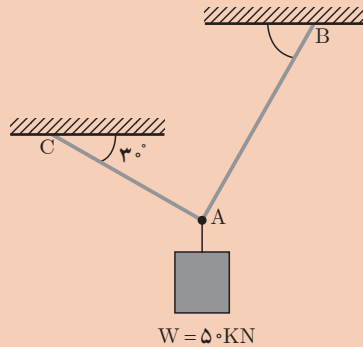
$$\rightarrow BC = BD \cos 45 \rightarrow BC = 30 / \sin 45 \cos 45$$

هنرآموزان می‌توانند از مثال زیر نیز استفاده کنند.

#### مثال

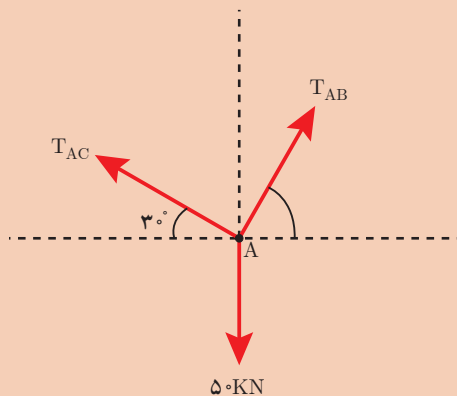


کشش کابل‌های AC و AB را در سامانه در حال تعادل زیر به دست آورید.

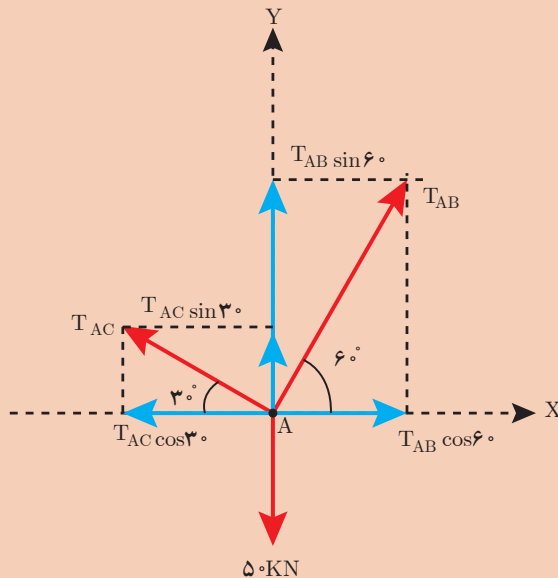


#### حل

**گام اول:** با توجه به این موضوع که تمامی نیروها به نقطه A وارد می‌شوند بنابراین پیکر آزاد نقطه A ترسیم می‌گردد. می‌دانیم که کابل‌ها همیشه رفتار کششی دارند بنابراین نیروی کابل‌های AB و AC را به ترتیب با  $T_{AB}$  و  $T_{AC}$  به صورت کششی و زوایای هر کدام را نمایش می‌دهیم.



**گام دوم:** تعیین محورهای مختصات X و Y روی نقطه A و تجزیه نیروها در این دستگاه مختصات



**گام سوم:** تشکیل معادلات تعادل و حل آنها تا رسیدن به خواسته‌های مسئله

$$\sum \overset{+}{\rightarrow} F_x = 0 \Rightarrow T_{AB} \cos 60^\circ - T_{AC} \cos 30^\circ = 0 \quad \text{رابطه I:}$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \Rightarrow T_{AB} \sin 60^\circ + T_{AC} \sin 30^\circ - 50 = 0 \quad \text{رابطه II:}$$

چون حل هر یک از معادلات فوق با وجود دو مجهول امکان‌پذیر نیست بنابراین آنها را در یک دستگاه دو معادله دو مجهولی قرار داده که با استفاده از روش‌های مختلف قابل حل است.

در اینجا از معادله اول یکی از مجهولات را برحسب دیگری محاسبه و در معادله دوم قرار می‌دهیم تا یکی از مجهولات حذف شود:  
رابطه III:

$$T_{AB} = \frac{T_{AC} \cos 30^\circ}{\cos 60^\circ} \Rightarrow T_{AB} = 1/73 T_{AC}$$

مقدار  $T_{AB}$  را در رابطه II قرار داده خواهیم داشت:

$$1/73 T_{AC} \times \sin 60^\circ + T_{AC} \sin 30^\circ - 50 = 0 \Rightarrow 2T_{AC} - 50 = 0$$

$$T_{AC} = \frac{50}{2}$$

$$\Rightarrow T_{AC} = 25 \text{ kN}$$

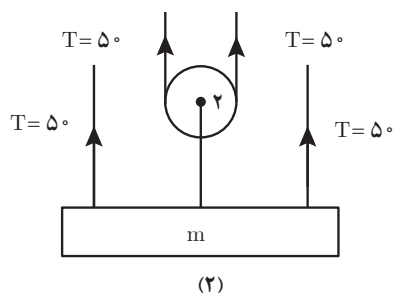
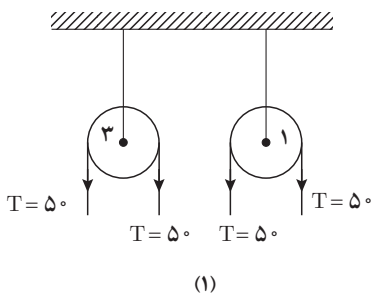
حال مقدار  $T_{AC}$  را در رابطه III قرار می‌دهیم:

$$\text{III رابطه} \Rightarrow T_{AB} = 1/73 \times 25$$

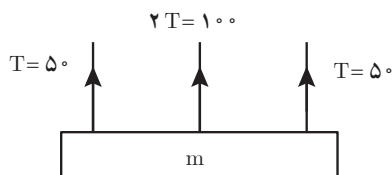
$$\Rightarrow T_{AB} = 43/25 \text{ kN}$$

### حل تمرین

در شکل نشان داده شده جسمی به جرم  $m$  به وسیله سیستم قرقره‌ها ثابت نگه داشته می‌شود جرم جسم را به دست آورید.  
به دلیل اینکه جسم در حال تعادل است در نتیجه با در نظر گرفتن جسم آزاد و نیروهای کنش و واکنش در قرقره و طناب می‌توان مقدار وزن جسم را به دست آورد.



در نتیجه مقدار وزن جسم ( $mg$ ) برابر  $4T$  و  $200$  نیوتن خواهد بود.



## تعداد جسم صلب

برای اینکه یک جسم صلب در حال تعادل باشد باید شرایط زیر برقرار باشد.

۱ برای اینکه جسم در راستای محور  $x$  جابه‌جایی نداشته باشد باید:  $\sum F_x = 0 \leftarrow$

۲ برای اینکه جسم در راستای محور  $y$  جابه‌جایی نداشته باشد باید:  $\sum F_y = 0 \leftarrow$

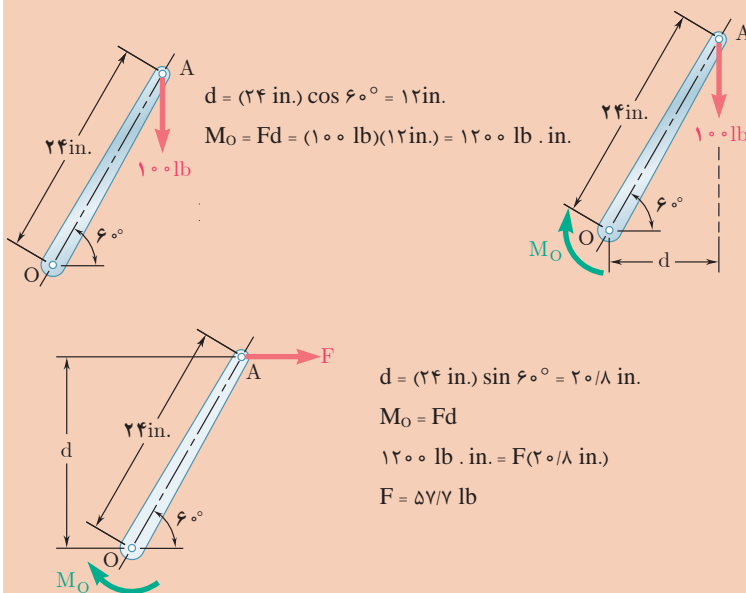
۳ برای اینکه جسم چرخش نداشته باشد باید:  $\sum M = 0 \leftarrow$

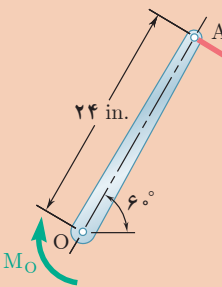
هنرآموزان می‌توانند از مثال زیر نیز استفاده کنند.

### مثال

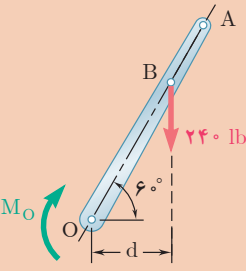


به سر اهرمی که به محوری در نقطه  $O$  متصل شده است، یک نیروی عمودی  $100 \text{ lb}$  وارد می‌شود. (الف) گشتاور این نیرو حول  $O$  چقدر است؟ (ب) به  $A$  چه نیروی افقی وارد شود تا همان گشتاور را حول نقطه  $O$  ایجاد کند؟ (ج) کوچک‌ترین نیروی وارد به نقطه  $A$  چقدر باید باشد تا همان گشتاور را حول نقطه  $O$  ایجاد کند؟ (د) به چه فاصله از محور نیروی عمودی  $100 \text{ lb}$  بایستی وارد شود تا همان گشتاور را حول نقطه  $O$  ایجاد کند؟





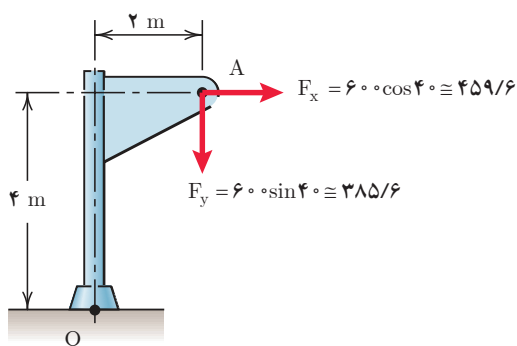
$M_O = Fd$   
 $1200 \text{ lb} \cdot \text{in.} = F(24 \text{ in.})$   
 $F = 50 \text{ lb}$   
 $F = 50 \text{ lb } C30^\circ$



$1200 \text{ lb} \cdot \text{in.} = (24 \text{ lb})d \quad d = 5 \text{ in.}$   
 $OB \cos 60^\circ = d$   
 $OB = 10 \text{ in.}$

### حل تمرین

مطابق شکل نیرویی به اندازه  $600 \text{ N}$  به ستون وارد می‌شود. گشتاور حاصل از این نیرو را در نقطه  $O$  به دست آورید.  
ابتدا نیروی  $600$  نیوتن را به دو مؤلفه افقی و عمودی تقسیم می‌کنیم.



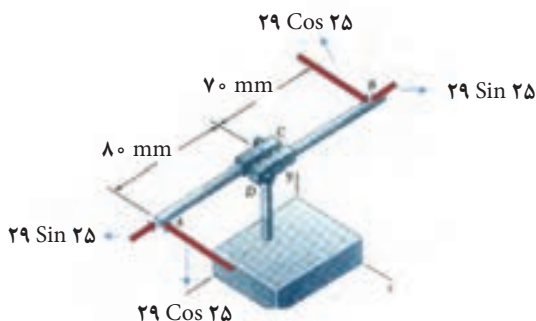
حال برای به دست آوردن مقدار گشتاور از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$\sum M_O = F_x \times 4 + F_y \times 2 = 459/6 \times 4 + 385/6 \times 2 = 2556/2 \text{ N.m}$$

راه حل دوم این است که فاصله عمودی نیروی ۶۰۰ نیوتنی را از نقطه O به دست آوریم؛ با ضرب نیروی ۶۰۰ نیوتنی در این فاصله مقدار گشتاور به دست خواهد آمد.

### حل تمرین

مکانیکی با اعمال نیروی افق نشان داده شده بر دسته قلاویز، در حال قلاویز کردن سوراخی است. برآیند نیروها و گشتاور اعمالی به قلاویز چه مقدار خواهد بود: ابتدا نیروی ۲۹ نیوتن را به دو مؤلفه تقسیم می‌کنیم که مؤلفه  $29 \cos 25^\circ$  عمود بر دسته قلاویز است و مؤلفه  $29 \sin 25^\circ$  در راستای دسته قلاویز است. از این دو مؤلفه فقط مؤلفه  $29 \cos 25^\circ$  باعث ایجاد گشتاور می‌شود.



$$\sum M_O = 29 \cos 25^\circ \times 80 + 29 \cos 25^\circ \times 70 = 2102/6 + 1839/8 = 3942/4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

### محاسبه عکس العمل تکیه‌گاهی اجسام صلب

■ برای یک جسم صلب در حال تعادل استاتیکی، نیروهای خارجی و گشتاورها به یک توازنی دست پیدا می‌کنند که هیچ‌گونه حرکت انتقالی و یا چرخشی در جسم ایجاد نشود.

■ شرایط لازم و کافی برای تعادل استاتیکی یک جسم، تشکیل سیستم معادل نیرو و گشتاور برآیند برابر صفر در اثر اعمال همه نیروهای خارجی است.

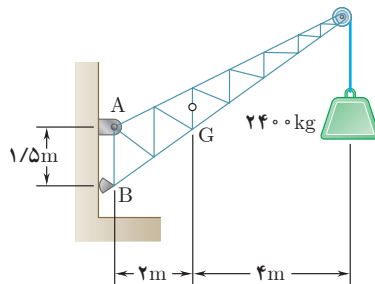
$$\sum \vec{F} = 0 \quad \sum \vec{M}_O = \sum \left( \vec{r} \times \vec{F} \right) = 0$$

■ با تجزیه تمام نیروها و گشتاورها به مؤلفه‌های متعامد، ۶ معادله اسکالر برای توصیف شرایط تعادل به دست می‌آید:

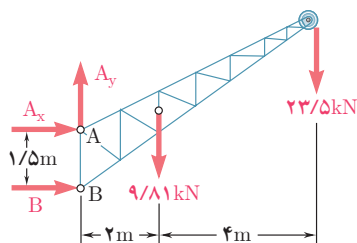
$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 & \sum F_y &= 0 & \sum F_z &= 0 \\ \sum M_x &= 0 & \sum M_y &= 0 & \sum M_z &= 0\end{aligned}$$

برای به دست آوردن نیروها مراحل زیر را انجام می‌دهیم:

- اولین گام در تحلیل تعادل استاتیک، تشخیص تمام نیروهای وارد بر جسم با استفاده از نمودار پیکره آزاد جسم است.
- ابتدا جسم را از زمین و تمامی اجسام دیگر جدا کنید.
- نقطه اثر، اندازه و جهت نیروهای خارجی از جمله وزن جسم صلب را مشخص کنید.



- نقطه اثر و جهت نیروهای اعمالی نامعلوم را مشخص کنید. این نیروها معمولاً عکس‌العمل از طرف زمین و یا اجسام دیگری است که از حرکت احتمالی جسم صلب جلوگیری می‌کنند.
- اندازه طول‌های لازم برای محاسبه گشتاورهای نیرو مشخص شود.



برای محاسبه نیروی تکیه‌گاهی یک مثال به طور کامل در کتاب آورده شده است و هنرآموزان می‌توانند از این دو مثال نیز استفاده کنند.



مثال



قابی برای نگهداری بخشی از سقف یک ساختمان کوچک به کار رفته است. چنانچه کشش کابل  $150 \text{ kN}$  باشد، عکس‌العمل در تکیه‌گاه ثابت E را تعیین کنید.

$$\sum F_x = 0: E_x + \frac{4/5}{7/5} (150 \text{ kN}) = 0$$

$$E_x = -90/0 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0: E_y - 4(20 \text{ kN}) - \frac{6}{7/5} (150 \text{ kN}) = 0$$

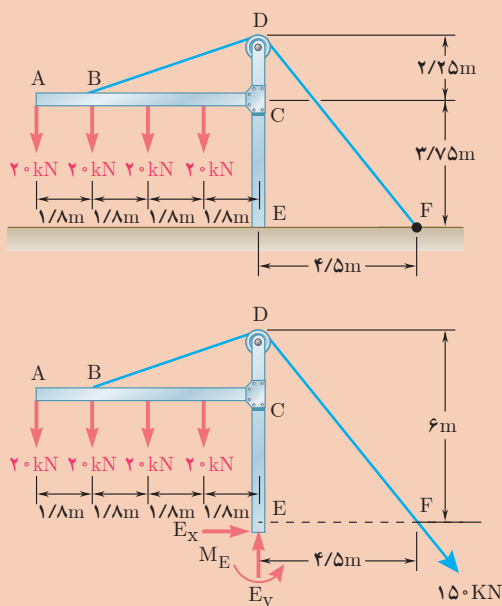
$$E_y = +200 \text{ kN}$$

$$\sum M_E = 0: +20 \text{ kN} (7/2 \text{ m}) + 20 \text{ kN} (5/4 \text{ m})$$

$$+ 20 \text{ kN} (3/6 \text{ m}) + 20 \text{ kN} (1/8 \text{ m})$$

$$- \frac{6}{7/5} (150 \text{ kN}) 4/5 \text{ m} + M_E = 0$$

$$M_E = 180 \text{ kN.m}$$





یک جرثقیل ثابت با جرم  $1000 \text{ kg}$  برای بالا بردن جعبه‌ای به جرم  $2400 \text{ kg}$  به کار می‌رود. یک تکیه‌گاه پین در نقطه  $A$  و یک تکیه‌گاه گهواره‌ای در نقطه  $B$  قرار دارد. اگر مرکز ثقل این جرثقیل در نقطه  $G$  باشد مؤلفه‌های عکس‌العمل در تکیه‌گاه‌های  $A$  و  $B$  را پیدا کنید.

$$\sum M_A = 0: +B(1/\Delta m) - 9/81 \text{ kN}(2m)$$

$$-23/5 \text{ kN}(6m) = 0$$

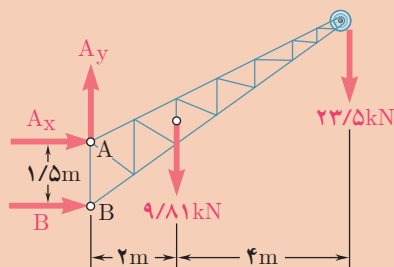
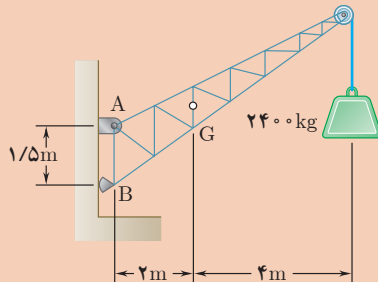
$$B = +107/1 \text{ kN}$$

$$\sum F_x = 0: A_x + B = 0$$

$$A_x = -107/1 \text{ kN}$$

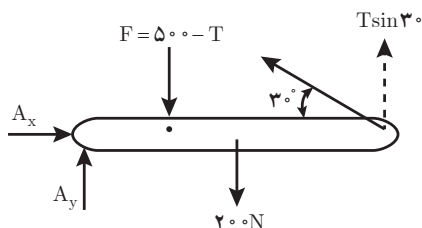
$$\sum F_y = 0: A_y - 9/81 \text{ kN} - 23/5 \text{ kN} = 0$$

$$A_y = +33/3 \text{ kN}$$



### حل تمرین

جسم C به وزن  $500\text{ N}$  بر روی تیر AB به وزن  $200\text{ N}$  مطابق شکل تکیه کرده است کشش در طناب را حساب کنید. نیروی تکیه گاهی در نقطه A را به دست آورید.



$$\sum M_A^+ = 0$$

$$T \sin 30^\circ \times 4 - 200 \times 2 - (500 - T) \times 1 = 0$$

$$2T - 400 - 500 + T = 0 \Rightarrow 3T = 900 \Rightarrow \boxed{T = 300}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-T \cos 30^\circ + A_x = 0$$

$$-300 \times 0.86 + A_x = 0 \Rightarrow \boxed{A_x = 258\text{ N}}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$T \sin 30^\circ - 200 - 200 + A_y = 0 \Rightarrow \boxed{A_y = 250\text{ N}}$$

$$500 - T = 200$$

### خرپا

**خرپا (Truss)** سازه‌ای صلب و مثلثی شکل می‌باشد که اعضای آن مستقیم و بدون انحنا بوده و اتصال اعضای آن با یکدیگر به صورت مفصل (لولا) می‌باشد. **خرپاها** توانایی تحمل نیروهای کششی و فشاری را دارند و تحت اثر نیروهای وارد شده تغییر هندسی نمی‌دهند مگر آنکه یکی از اعضای آن خم شود یا بشکند. به دلیل نوع اتصال **اعضای خرپا** به صورت مفصل با یکدیگر نیروی گشتاور در خرپا تأثیری ندارد و به همین دلیل **خرپاها** جزء سازه‌های ساده باربر محسوب

می‌شوند که در پل‌ها، سقف‌ها، در سوله‌هایی با دهانه‌های بلند و سازه‌های هوافضا کاربرد دارند. **خرپاها** به دلیل سه عضوی و مثلثی شکل بودنشان پایدار می‌باشند ولی اشکالی که دارای چهار عضو یا بیشتر باشند ناپایدار بوده و تحت اثر نیروهای وارد شده فرو می‌ریزند.

هر خرپا برای حمل بارهای درون صفحه خود طراحی شده است، بنابراین، ممکن است به عنوان سازه دوتایی رفتار کند. به طور کلی، اعضای خرپا باریک‌اند و می‌توانند خمش کمی را تحمل کنند (خمش‌هایی که به دلیل بارهای جانبی ایجاد می‌شوند). بنابراین، تمام بارها به جای اینکه مستقیماً بر اعضا وارد شوند، باید بر اتصالات مختلف اعمال شوند. این طور فرض می‌شود که وزن اعضای خرپا بر محل اتصال وارد می‌شوند؛ نصف وزن هر عضو به هر کدام از دو اتصال عضو وارد می‌شود. در اغلب تجزیه و تحلیل‌های اولیه خرپا، وزن اعضا، به این دلیل که در مقایسه با بارهای وارده کوچک هستند، نادیده گرفته می‌شود.

به طور خلاصه، در تجزیه و تحلیل اولیه خرپا موارد زیر فرض می‌شود:

۱ اعضا خطی هستند.

۲ اعضا دارای اتصالات مفصلی هستند.





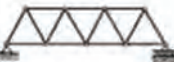
۳ وزن اعضای خرپا اغلب نادیده گرفته می‌شود.

۴ بارها فقط بر محل اتصال اعضا وارد می‌شوند.

۵ تنش ثانویه در اتصالات نادیده گرفته می‌شود.

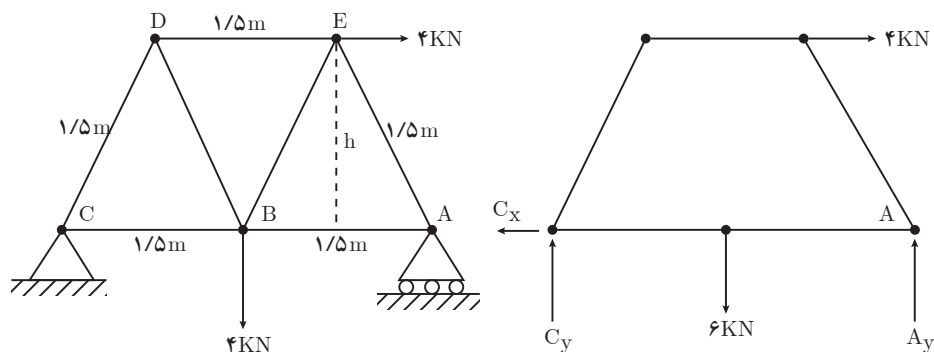
بنابراین، هر عضو خرپا ممکن است به عنوان عضو دوتایی رفتار کند، و کل خرپا به عنوان گروهی از اعضای دوتایی با اتصال مفصلی در نظر گرفته شود. این طور فرض می‌شود که بارهای اعضای دوتایی فقط بر مفصل انتهایی آنها وارد می‌شوند؛ نیروی برآیند در عضو، باید در راستای محور عضو باشد. هر عضو ممکن است در معرض نیروهای فشاری یا کششی باشد.

## مدل‌های خرپا

نوع خرپا	شکل خرپا	جنس خرپا	محل استفاده	توضیحات
پرات (Pratt)		معمولاً فولاد، در بعضی موارد چوب	معمولاً در سقف و پل	دهانه حداکثر در حدود ۳۰ الی ۶۰ متر
هاو (Howe)		معمولاً چوب	معمولاً در سقف، در گذشته برای سخت پل نیز مورد استفاده بود	دهانه حداکثر حدود ۳۰ متر
فینک (Fink)		معمولاً فولاد	معمولاً در سقف	معمولاً دهانه در حدود ۲۰ متر
قوسی (Bowst ring)		معمولاً فولاد	معمولاً در سقف	معمولاً برای سقف انبارها و گاراژها، دهانه ممکن است به ۳۰ متر برسد.
وارن (Warren)		فولاد	معمولاً در پل	دهانه تا حدود ۶۰ متر

## حل تمرین

نیروهای داخلی اعضای خرپای نشان داده شده را به دست آورید.



چون در مثلث‌ها سه ضلع برابر است زوایای آنها  $60^\circ$  درجه می‌باشد.

$$h = 1/5 \times \sin 60^\circ = 1/5 \times 0.866 = \boxed{1/3}$$

$$\sum M_c^+ = 0$$

$$-4 \times 1/3 + A_y \times 3 - 6 \times 1/5 = 0$$

$$-5/2 + 3y - 9 = 0 \Rightarrow A_y = \frac{14/2}{3} = \boxed{4/3}$$

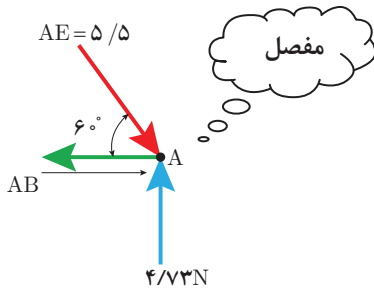
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$C_y - 6 + 4/3 = 0$$

$$C_x + 4 = 0 \Rightarrow \boxed{C_x = -4N}$$

$$C_y = 6 - 4/3 = \boxed{16/3}$$



$$\sum F_y = 0$$

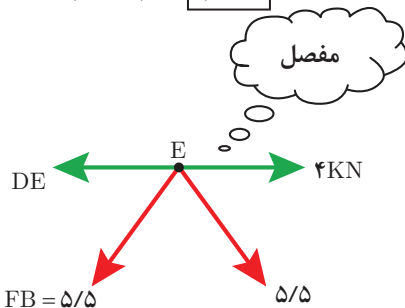
$$AE \sin 60^\circ + 4/3 = 0$$

$$AE = \frac{-4/3}{0.866} = \boxed{-5/5}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-AB + AE \cos 60^\circ = 0$$

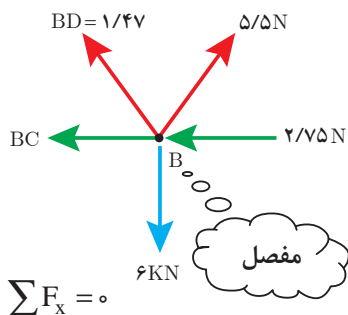
$$AB = 5/5 \times 0.5 = \boxed{2.5N}$$



$$\sum F_y = 0$$

$$5/5 \sin 60^\circ - EB \sin 60^\circ = 0$$

$$\boxed{EB = 5/5}$$



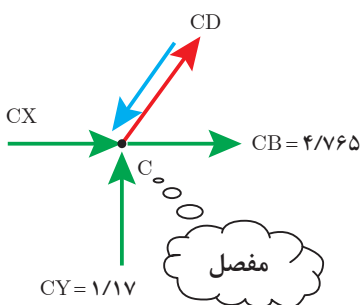
$$\sum F_y = 0$$

$$5/5 \sin 60^\circ - 6 + BD \sin 60^\circ = 0$$

$$BD = \frac{-5/5 \times 0/86 + 6}{0/86} = \boxed{1/47 \text{ KN}}$$

$$2/75 + 5/5 \cos 60^\circ - 1/47 \cos 60^\circ - BC = 0$$

$$BC = 4/765$$



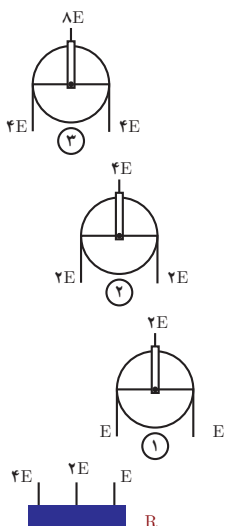
$$\sum F_y = 0$$

$$1/17 + CD \sin 60^\circ = 0$$

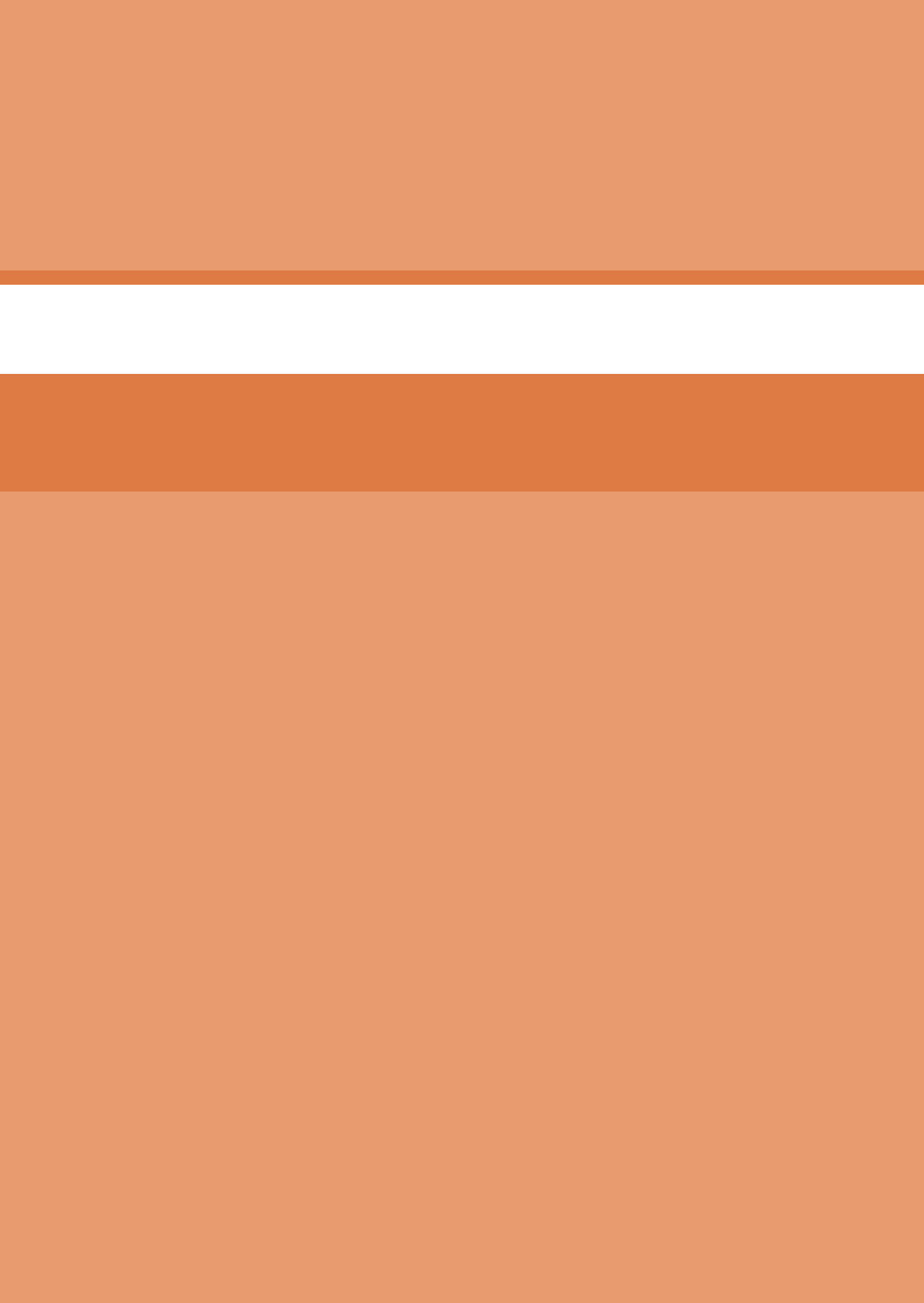
$$CD = \frac{-1/17}{0/86} = \boxed{-1/36 \text{ N}}$$

حل تمرین

در دستگاه زیر بهره مکانیکی را به دست آورید.



$$MA = \frac{R}{E} = \frac{7E}{E} = 7$$





## فصل ۲

### بررسی اصول ساختمان کشتی



این تصویر قسمتی از سازه کف کشتی (خن) را نشان می‌دهد.

نوع درس: نظری

کل ساعات: ۳۰ ساعت

ساعات نظری: ۳۰ ساعت

## اهداف کلی

هنرجو باید پس از پایان این فصل قادر باشد:

- ۱ نیروهای وارد بر ساختمان کشتی را بررسی نماید.
- ۲ اجزای ساختمان کشتی و تأثیرشان بر استحکام سازه کشتی را بررسی نماید.
- ۳ تأثیر نیروهای وارد بر قسمت‌های مختلف کشتی را بررسی کند.

## روش تدریس فصل

- 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 به‌خوبی فرا گرفته و برای همیشه به‌خاطر 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 به‌کار گیرد.
- ۵ توصیه می‌گردد با هدف **تقویت مهارت‌های خوانداری و نوشتاری هنرجویان** و نیز **درک بهتر مطالب**، از آنان خواسته شود تحقیق و گزارشات خود را به‌صورت دست‌نویس در روی کاغذ نوشته و ارائه دهند و تا جای ممکن از کپی‌کردن مطالب اینترنت به‌صورت تایپ شده، آماده و خام خودداری شود.
- ۶- فعالیت‌های از قبیل «فکر کنید»، «بحث کنید»، و... برای فعال کردن هنرجویان و به‌کارگیری اطلاعات، دانسته‌ها و تجربیات آنان است. سعی کنید این فعالیت‌ها به‌دقت اجرا شود و در پایان هر فعالیت، یک بحث کوتاه تکمیلی داشته باشید.

## دانش‌افزایی

### شناخت تحدب و تقعر (Hogging and sagging)

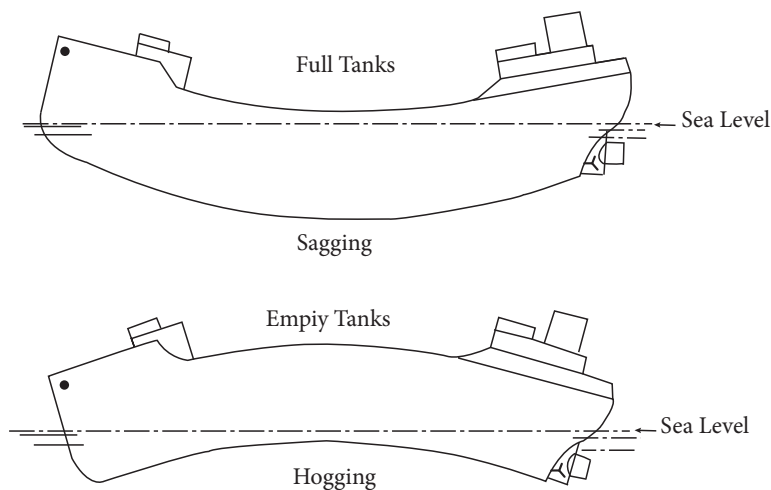
تحدب (Hogging) و تقعر (Sagging) اگر کاملاً مشخص و شدید باشند، شکل طولی کشتی را تغییر داده و حالت خم‌کننده به آن خواهند داد. این فشار ممکن است به دو صورت وارد آید. اول اینکه کشتی در حال حرکت بوده و روی امواج بزرگ قرار گیرد و دوم اینکه بارهای سنگین به‌طور نامتناسب در هنگام بارگیری

روی کشتی قرار دهند.

اگر تیرآهن‌های سقفی و یا تیغه‌های حامل طبقات خم شوند، بیشترین فشار کششی و فشردگی در قسمت بالا و پایین قسمت خم شده به وجود خواهد آمد، و در محلی تقریباً بین این دو قسمت متأثر از فشار، خطی وجود دارد که به آن محور خنثی می‌گویند که فشار وارده در این قسمت متوقف می‌شود. فشار وارده در سایر نقاط به حداقل رسیده و تجمع فشار در مجاورت محور خنثی به بیشترین مقدار خود خواهد رسید. حالت تشکیل Hogging و Sagging بستگی به جهت وارد آمدن نیرو دارد. اگر حجم شناوری میان کشتی به اندازه وزن آن برسد حالت تحدب به وجود می‌آید و در این صورت فشار آب از میان کشتی به طرف بالا وارد شده و در نتیجه، وزن کشتی از سینه و پاشنه آن به طرف پایین وارد می‌آید که اگر کشتی مقاوم ساخته نشده باشد از وسط و از قسمت فوقانی ترک خواهد خورد. در همان شکل، سینه و پاشنه کشتی در فراز موج قرار گرفته و میان آن در فرود موج و در این حالت وزن میان کشتی به اندازه حجم شناوری کشتی می‌رسد و فشار آب از سینه و پاشنه به طرف بالا و وزن کشتی از قسمت میان به طرف پایین وارد می‌آید و امکان اینکه از وسط و از قسمت تحتانی ترک بخورد زیاد است. اگر وزنه‌های سنگین نیز در سینه و پاشنه قرار دهیم، ممکن است حالت تقعر برای کشتی به وجود آید. در حالی که کشتی در میان امواج در حال حرکت است توزیع وزن در سرتاسر طول آن تقریباً یکسان است ولی با افزایش موج، توزیع وزن کشتی در سرتاسر طول آن نیز تغییر فشارهای وارده بیشتر در قسمت تحتانی و گوشه‌های فوقانی شناور اثر می‌گذارد. برای خنثی کردن فشارهای وارده به قسمت تحتانی، باید خن کفی را به اندازه کافی محکم بسازند و این عمل بیشتر در اجزای طولی آن انجام می‌شود. در بخش فوقانی نیز برای جلوگیری از ترک خوردن یا پیچیدگی، سعی می‌کنند دیواره‌های طبقات را ضخیم‌تر و محکم‌تر انتخاب نمایند و برای استحکام بیشتر از تیغه‌های حامل L شکل برای کنار دیواره‌های طبقات، به خصوص در طبقات بالاتر استفاده می‌کنند. کشتی‌های طولی‌تر بیشتر تحت تأثیر این نیروها قرار می‌گیرند لذا در ساخت این گونه کشتی‌ها از فلزات خاصی که بتوانند در مقابل این فشارها مقاومت نمایند، در ساختمان تیغه‌های فلزی خن کفی یا دو جداره و نیز در دیواره‌های طبقات استفاده می‌نمایند.

همچنین در ساختمان خن کفی از تیرآهن‌های طولی خیلی محکم و در تیغه‌های حامل طبقات از فلزات خاصی که برای این منظور ساخته شده استفاده می‌شود. با توجه به اینکه میان کشتی بیشتر در معرض این خطر قرار دارد لذا استحکام‌بندی میان کشتی بیشتر از دو انتهای آن ضرورت خواهد داشت. در کشتی‌هایی که طول زیادی دارند فشارهای وارده در جهت طولی در مجاورت محور خنثی مسئله بسیار مهمی است. لذا گاهی اوقات لازم است که استحکام دیواره زیرین بدنه را از قسمت

خن کفی تا نصف طول آبخور و استحکام طولی آن را تا  $1/4$  طول کشتی تا سینه و پاشنه ادامه داد.



با توجه به شکل‌های زیر درباره علت ایجاد شکست بدنه کشتی‌ها در کلاس بحث و گفتگو کنید.

بحث کلاسی



در شکل بالا به علت بارگیری نامناسب کشتی دچار تحدب شده و به قسمت کناری بالایی عرشه فشار وارد آمده و تیرهای کناری دچار خمش شده و باعث شکست کشتی شده است.



در شکل بالا دچار تقعر شده و به قسمت زیرین کشتی فشار وارد شده و باعث شکست در بدنه کشتی گردیده است.

#### تحقیق

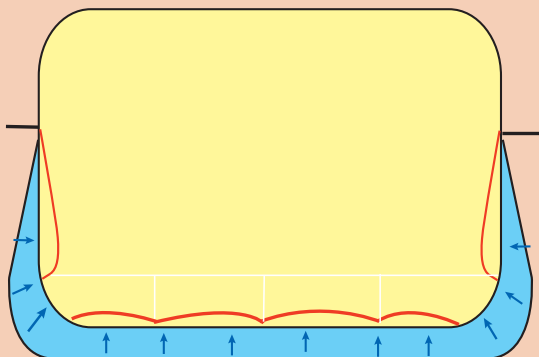


تحدب و تقعر بر کشتی چه اثراتی می‌گذارد؟  
در حالت تحدب فشار آب از میان کشتی به طرف بالا وارد شده و در نتیجه، وزن کشتی از سینه و پاشنه آن به طرف پایین وارد می‌آید که اگر کشتی مقاوم ساخته نشده باشد از وسط و از قسمت فوقانی ترک خواهد خورد.  
در حالت تقعر وزن میان کشتی به طرف پایین وارد شده که اگر کشتی مقاوم ساخته نشده باشد از وسط و از قسمت تحتانی ترک خواهد خورد.

#### فعالیت



طرحی از چگونگی ایجاد تپش سینه رسم کنید و در کلاس ارائه نمایید.



#### تحقیق



تأثیر موج بر ایجاد شش درجه آزادی کشتی چگونه است؟  
۱ در صورتی که امواج از پهلو بیایند باعث حرکات Swaying\_Heaving\_Rolling می شوند.  
۲ در صورتی که امواج از سینه باشند حرکات Pitching\_Surging\_Heaving می شوند.  
۳ و اگر امواج از راست یا چپ سینه بیایند هر شش حرکت را ممکن است در کشتی ایجاد نمایند.

#### تحقیق



در کشتی های دو جداره برای جلوگیری از آسیب دیدن بدنه کشتی از فشار ناشی از داک چه فکری شده است؟  
در این نوع کشتی ها کف کشتی را مقاوم تر می سازند و دو جداره بودن آن باعث می شود در صورت آسیب دیدن بدنه به قسمت های دیگر نفوذ نکند.

#### فعالیت



در صورت وجود حوضچه خشک در محل اقامت خود از آنجا بازدید کنید و از محل تماس بلوک ها با بدنه کشتی های که بر روی حوضچه عکس گرفته و در کلاس ارائه نمایید.  
سعی شود که از فرو رفتگی های روی بدنه به دلیل فشار بلوک های حوضچه عکس گرفته شود.

#### تحقیق



چه مقاطع فلزی دیگر ممکن است در ساخت کشتی استفاده شود؟  
**Plates** با ورقه های فلزی (تصویر ۱): یکی از قسمت های اصلی و مهم ساخت کشتی ورقه های فلزی بدنه آن است.  
**Rectangular bar** با میله های مکعب شکل (تصویر ۲): این میله ها کاربردهای مختلف دارد، از جمله می توان از آن برای ستون های سینه کشتی و غیره استفاده کرد.  
**Round Bars** با میله های گرد (تصویر ۳): میله های گرد فلزی هستند و در قسمتهایی که به ستون های کوچک نیاز است از آن استفاده می شود.  
**Half Round Bars** یا میله های نیمه (تصویر ۴): میله های گرد فلزی برش داده شده طولی هستند که گاهی به عنوان قطعات ساینده و غیره از آن استفاده می شود.

**Angle Bars** نبشی‌ها (تصویر ۵): این نوع نبشی‌ها برای اتصال قسمت‌های مختلف به یکدیگر و یا برای استحکام ورقه‌های فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**Bulb Angles** (تصویر ۶): نوع دیگری از نبشی است که یک لبه آن بزرگ‌تر بوده و انتهای لبه به صورت گرد یا پیازی در آمده تا باعث استحکام بیشتر آن شود. این نوع نبشی از نبشی هم اندازه خود که لبه آن گرد نشده، محکم‌تر و قدرت آن بیشتر است.

**Channel Bars** یا نبشی‌های کانالی (تصویر ۷): محکم‌تر از نبشی قبلی بوده و در جایی که استحکام زیادی مورد نیاز باشد از آن استفاده می‌شود.

**Zed Bars** یا نبشی‌های **Z** شکل (تصویر ۸): نبشی‌های **Z** شکل شبیه به نبشی‌های کانالی بوده، غیر از اینکه یک لبه آن برگشته است و غالباً کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**H - Sections** یا قسمت‌های **H** شکل (تصویر ۹): میله‌هایی **H** شکل بوده و دارای اجزای بسیار محکمی هستند. معمولاً از آن استفاده نمی‌شود ولی در جایی که قدرت خیلی زیادی مورد نیاز باشد به کار می‌رود.

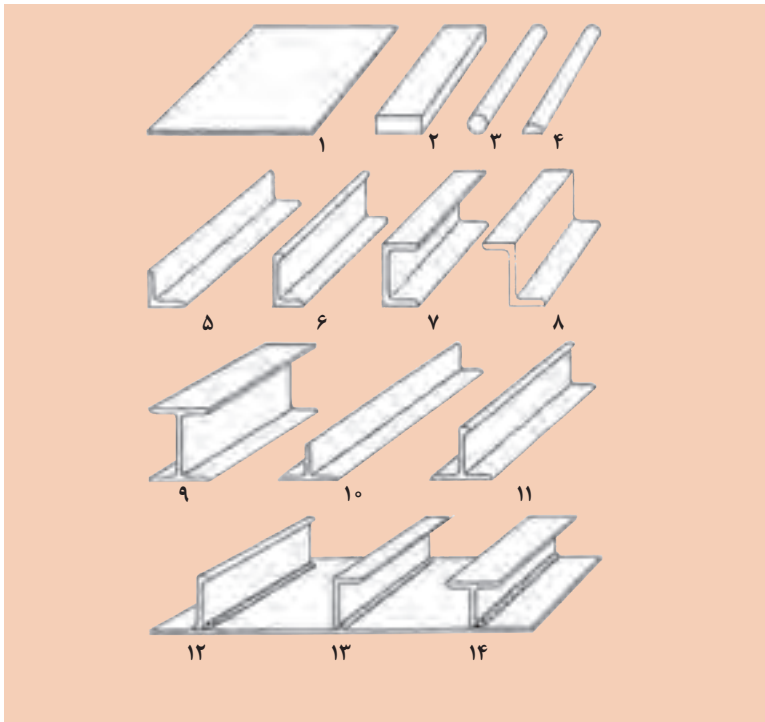
**T- Bar** یا میله‌های **T** شکل (تصویر ۱۰): گاهی برای منظورهای خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مثلاً در زیر عرشه چوبی به عنوان تیرهای افقی به کار می‌روند.

**TBulb Bars** یا میله‌های **T** شکل گرد شده (تصویر ۱۱): قدرت آن از میله‌های **T** شکل بیشتر است.

**Bulb Plate** (تصویر ۱۲): ورقه‌های فلزی باریکی هستند که یک لبه آن به شکل گرد یا پیازی در آمده باشد. در کارهای جوشکاری، به جای نبشی میخ‌پرچ از آن استفاده می‌شود.

**Inverted Angles** یا نبشی معکوس (تصویر ۱۳): نبشی‌ای است که به صورت = نشان داده شده در تصویر **N**، به ورقه فلزی جوش داده می‌شود و کاربرد آن مانند نبشی‌های کانالی است.

**Inverted TBars** یا نبشی **T** شکل معکوس (تصویر ۱۴): گاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این نبشی نیز برای شکل دادن قسمت‌هایی که نیاز است **H** شکل باشند، به ورقه‌های فلزی جوشی داده می‌شود.



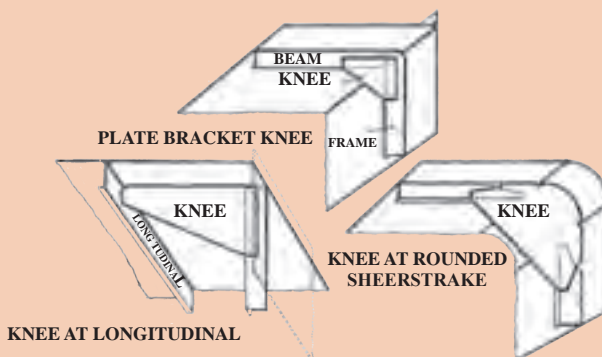
با هماهنگی مدیر از یک کشتی بازدید کرده (ترجیحاً از موتورخانه) و با کسب اجازه از فرمانده کشتی از اتصالات ذکر شده در بالا عکس تهیه کرده و توسط پرده نگار در کلاس ارائه نمایید.

فعالیت



بررسی کنید چه اشکال دیگری از لچکی ها وجود دارد؟

تحقیق





فعالیت



با هماهنگی مدیر از یک کشتی بازدید کرده و با کسب اجازه از فرمانده کشتی از تقویت کننده و اتصالات محکم کننده عکس تهیه کرده و توسط پرده نگار در کلاس ارائه نمایید.

بحث کلاسی



فضای بین Duct keels چه کاربردی دارد؟  
این فضا برای عبور لوله ها و کابل ها بسیار مناسب می باشد. به همین جهت این مکان برای عبور لوله های بعضی سامانه های لوله کشی و کابل های برق کشی کشتی استفاده می شود.

نمایش فیلم



فیلم مربوط به فضای Duct keel را نمایش دهید.

تحقیق



در حوضچه خشک، بلوک های چوبی در چه قسمت هایی از بدنه خارجی کشتی قرار می گیرند؟  
برای قرارگیری کشتی بر روی بلوک های حوضچه سعی می گردد نقشه Docking آن طوری طراحی گردد تا بلوک ها بر روی Web Frame ها قرار گیرند.

فعالیت



با جستجو در اینترنت عکس هایی از اسکلت بندی کشتی های مختلف تهیه و آنها را با هم مقایسه کنید.

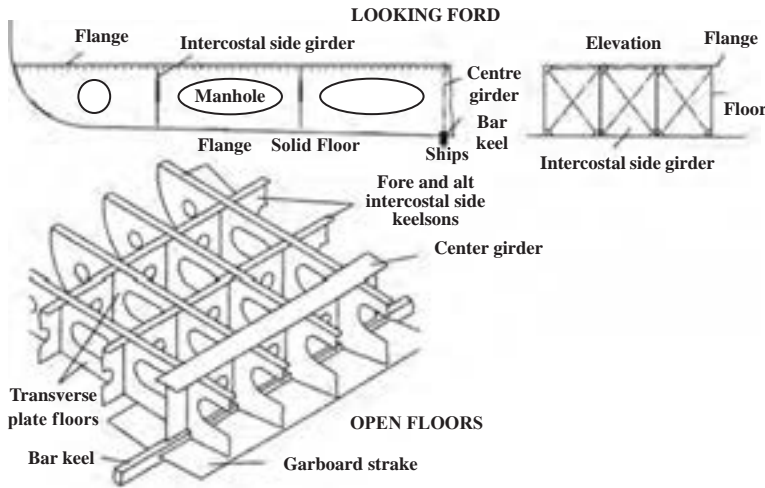
## دانش افزایی

### کف تک جداره

در کشتی هایی که دارای کف تک جداره هستند، ورق های کف توسط تیرچه ها یا تقویت کننده هایی که در فضای بین فریم ها به صورت عمودی بر روی ورق ها قرار می گیرند تقویت می شود. در خط مرکزی گیردر مرکزی (center girder) نصب شده است و در هردو طرف از خط مرکزی در جایی که عرض کشتی کمتر از ۱۰ متر است یک گیردر جانبی (side girder) در کناره ها نصب می شود. در جایی که عرض کشتی بین ۱۰ تا ۱۷ متر باشد، دو گیردر جانبی نصب شده اند و اگر نسبت عرض به طول کف بزرگ تر از ۴ باشد تعداد گیردرهای مرکزی یا جانبی افزایش می یابد. این گیردرها در قسمت فوقانی آن تقویت شده و معمولاً از سینه تا پاشنه

امتداد دارد.

در شکل زیر ساختمان کف تک جداره نشان داده شده است و همچنین تصویر سه بعدی استقرار سازه‌های گیردر مرکزی و گیردر جانبی و به عبارتی گیردرهای کامل و گیردرهای منقطع نیز نمایش داده شده است.



در بخش‌هایی از کف کشتی که مخصوص حمل کالا است و به‌طور کلی در بخش‌هایی که احتمال صدمه دیدن پوسته کف کشتی در اثر جابه‌جایی یا بارگیری وجود دارد، یک لایه از چوب بر روی کف گسترده شده تا احتمال صدمه و آسیب پوسته به حداقل برسد.

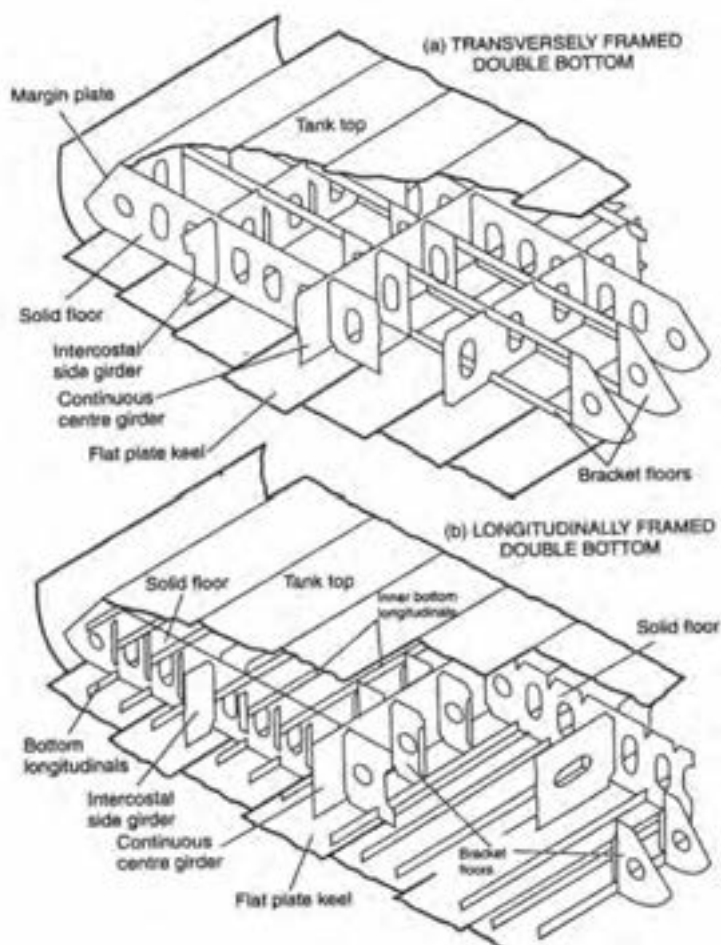
### ساختمان کف دوجداره کشتی

کف داخلی (ارتفاع مخزن کف کشتی) در فاصله کمی از پوسته یا کف بیرونی کشتی قرار گرفته و فضای بین این دو کف ضدآب بوده و این امر باعث به‌وجود آمدن حاشیه امنیت قابل ملاحظه‌ای در صورت صدمه دیدن کف بیرونی کشتی شود. از این فضا برای حمل سوخت و آب شیرین موردنیاز برای کشتی استفاده می‌شود به‌طوری‌که به‌خوبی تعادل و پایداری کشتی را نیز تأمین می‌نماید.

حداقل عمق کف دوجداره و یا به‌عبارتی ارتفاع گیردر مرکزی توسط مؤسسات رده‌بندی بر اساس قوانین وضع شده تعیین می‌گردد. در بعضی مواقع جهت افزایش ظرفیت سوخت و آب شیرین و آب شور جهت تعادل، می‌توان ارتفاع گیردر را افزایش داد. مخازن بالاست کف دوجداره جهت ایجاد میل طولی یا تریم (trim) مناسب کشتی نیز به‌کاربرده شده و لذا در صورت لزوم می‌توان عمق این مناطق را

افزود. همچنین در قسمت موتورخانه جهت افزایش ظرفیت روغن و سوخت عمق این مناطق نیز اضافه می گردد.

فریم بندی کف دوجداره به صورت طولی یا عرضی بوده، ولی برای کشتی های با طول بزرگ تر از ۱۲۰ متر، فریم بندی طولی مناسب تر می باشد. چرا که اگر از فریم بندی عرضی استفاده شود، امکان ایجاد تاب و پیچ خوردگی کف دوجداره وجود دارد (شکل زیر). این پیچ خوردگی در اثر ایجاد گشتاور خمشی طولی بر بدنه می باشد که البته می توان با اتصال ورقه های طولی، کف دوجداره را تقویت نمود.

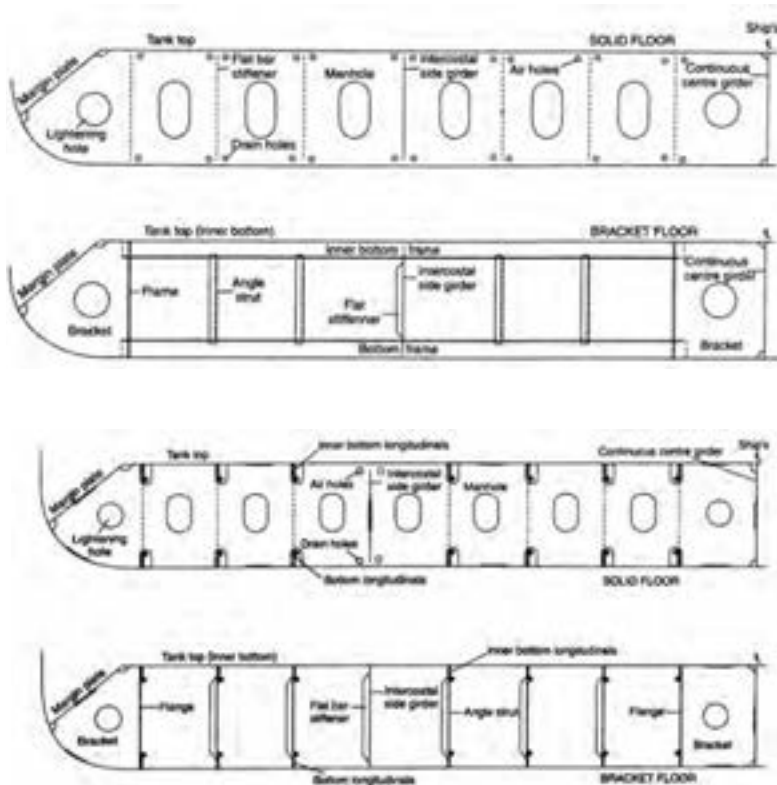


## ورق کاری کف داخلی

کف داخلی در کناره‌ها کمی به طرف پایین شیب داده شده است تا در بالای کف داخلی فضایی به شکل خن در کناره‌ها ایجاد شده و عمل تخلیه مایعات جمع شده بر روی کف داخلی راحت‌تر صورت پذیرد. این مورد بیشتر در کشتی‌های باربری عمومی دیده می‌شود. در کشتی‌هایی که نیاز به اخذ گواهینامه مسافربری دارند لازم است که عمق مخازن کف دوجداره در کناره افزایش یابد. این عمل درجه ایمنی را برای قسمت‌های خمیده ته کشتی که ممکن است صدمه ببیند بالا برده و باعث جلوگیری از نفوذ آب به فضای بالای کف داخلی شود. استریک وسطی کف داخلی (middle strack) در خط مرکزی بر روی لبه بالایی گیردر مرکزی جوش داده می‌شود و به این ترتیب سازه کیل تکمیل می‌گردد و چون در استحکام سازه‌ای بدنه نقش دارد، معمولاً ضخیم‌تر و سنگین‌تر از استریک‌های طولی کف داخلی می‌باشد. روی کف داخلی در قسمت مخازن کارگو لایه‌ای از چوب جهت محافظت از کف داخلی کشیده می‌شود. البته می‌توان در این قسمت‌ها با اضافه کردن ضخامت ورقه‌ها، این لایه را حذف کرد. اگر برای تخلیه کشتی‌های باربری عمومی از قلاب و چنگک استفاده شود ضخامت ورق‌ها باز هم اضافه می‌شود و یا دو لایه چوب بر روی کف کشیده می‌شود.

## کف کشتی (floor)

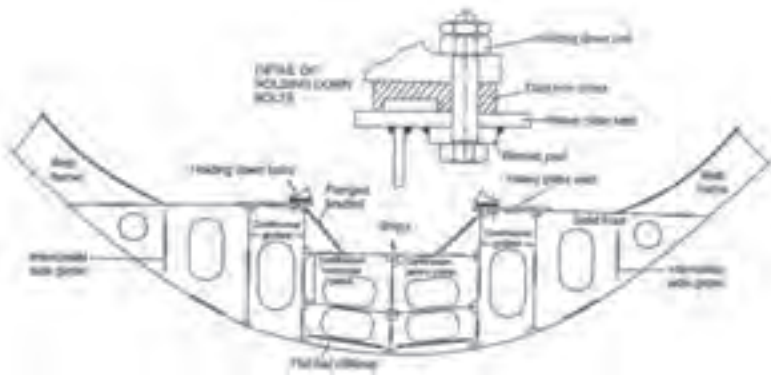
ورقه‌های کف در امتداد طول کشتی بر روی فریم‌بندی‌های عرضی و طولی ته کشتی جوش داده می‌شود به گونه‌ای که ضد نفوذ آب باشد. در روی ورقه‌های کف، دریچه‌های ضد آب جهت دستیابی به قسمت کف دوجداره تعبیه شده است. solid plat floor ورقه‌هایی هستند که به‌طور عمودی مابین فریم‌ها به‌صورت عرضی قرار گرفته و متصل شدند تا کف داخلی را تقویت نمایند که از گیردر مرکزی تا کناره‌ها امتداد یافته‌اند. سوراخ‌هایی بر روی این ورق‌ها جهت دسترسی به مخازن و سبک‌تر شدن سازه در نظر گرفته شده است و در انتهای مخازن کف یا دیواره‌های اصلی این ورقه‌ها به‌صورت کامل جهت آب‌بندی بین دو کف و فریم‌ها جوش داده می‌شود. فاصله بین این ورقه‌ها با توجه به بارگذاری و تنش‌های اعمالی به کف تعیین می‌گردد و در موقعیت‌های طولی مختلف بین این ورقه‌ها، گیردر مرکزی را توسط برکت‌هایی مطابق شکل‌های زیر تقویت می‌نمایند.



### نشیمن گاه ماشین آلات

نشیمن گاه ماشین آلات با افزودن تعداد بیشتری از ورقه‌های عمودی عرضی کف و گیردرهای جانبی منقطع، استحکام و انعطاف‌پذیری سازه در این ناحیه را تأمین می‌نمایند.

به‌طور کلی نشیمن گاه موتورهای اصلی تمام کشتی‌ها بر روی کف داخلی نصب شده و ضخامت ورق کف داخلی در این ناحیه نیز بایستی افزایش یابد. اغلب ماشین‌آلات در امتداد طولی بر روی کف دوجداره نصب می‌شوند و در نقاط اتصال توسط براکت‌های عرضی و گیردرهای جانبی تقویت می‌شوند (شکل صفحه بعد را ببینید). وضعیت نشیمن گاه دیگر نیز به همین ترتیب می‌باشد.



دلیل دو جداره بودن کف کشتی چیست؟  
برای ضد آب نمودن فضای ته کشتی و انبارها و استحکام قسمت تحتانی کشتی است.

بحث کلاسی



## دانش افزایی

### عرشه

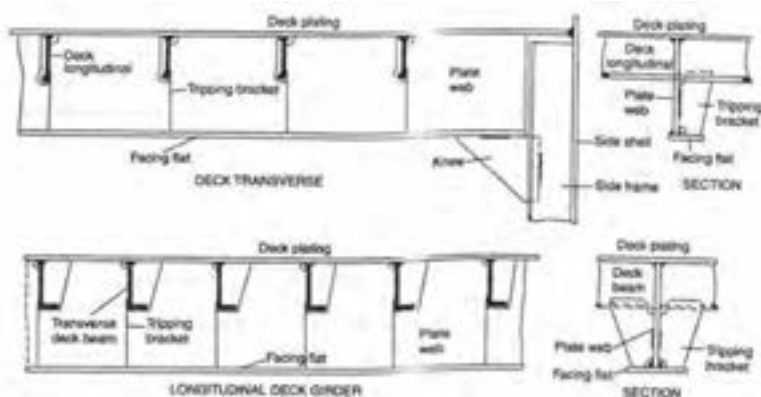
عرشه‌های واقع در ساختمان کشتی با توجه به نوع استفاده، به چندین نوع طبقه‌بندی می‌شود. از جمله انواع آن، عرشه ضدآب، عرشه‌های مقاوم و یا عرشه‌های مربوط به مخازن و اماکن زیست می‌باشند. عرشه‌های ضدآب در بخش تحتانی کشتی برای محافظت کردن از بدنه اصلی مناسب می‌باشند. مهم‌ترین عرشه، عرشه آزاد یا بالاترین عرشه کشتی بوده که تجهیزات خاص و همچنین هیچ‌ها در آن در نظر گرفته می‌شود. اگر تمامی عرشه‌ها در استحکام سازه‌ای ساختمان کشتی مؤثرند ولی مهم‌ترین عرشه از لحاظ سازه‌ای در بخش فوقانی ساختمان کشتی، عرشه مقاوم (strength deck) می‌باشد. عرشه‌های سبک‌تر که ضدآب نیستند به جهت انعطاف‌پذیری بیشتر آنها، اغلب به عنوان کف و سقف مخازن و اماکن زیست مناسب‌اند. در کشتی‌های باربری، این نوع عرشه‌ها معروف به عرشه دوم (tweens deck) بوده که تأمین‌کننده فضایی جهت بارگیری کالاهای سبک‌تر به‌طوری که فشار زیادی به این عرشه‌ها وارد نشود خواهد بود.

برای بارگیری و تخلیه کالا در کشتی و دسترسی به فضای پایین‌تر کشتی لازم است که در عرشه‌ها بریدگی‌هایی ایجاد گردد و درهای مربوط به آنها ضدآب یا غیرآب‌بند باشد. برخی از این بریدگی‌ها جهت برقراری رفت و آمد پرسنل و

مسافران به عرشه‌های مختلف و در موتورخانه جهت ورود تجهیزات و ماشین‌آلات به داخل آن و خارج کردن احتمالی آنها برای تعمیرات اساسی و همچنین تأمین کننده روشنایی و هوا برای این فضا می‌باشد. سوپرستراکچرهایی بر روی این بریدگی‌ها به منظور پوشش آنها و ایجاد اماکن زیست و پل فرماندهی در نظر گرفته شده است. روی بالاترین عرشه کامل، در سینه و پاشنه کشتی انبارها و فضاهایی ایجاد شده که به ترتیب به نام‌های forecastle و poop deck معروف‌اند و جهت حفاظت بیشتر دو انتهای کشتی در دریا در نظر گرفته می‌شود.

عرشه‌های آزاد دارای کمی کمانش به بالا هستند (camber)، به‌خصوص در کشتی‌های کانتینربر ایجاد این حالت در عرشه‌های آزاد باعث استحکام بیشتر عرشه در برابر کمانش دک‌ها در اثر بارگذاری‌ها بر روی عرشه خواهد بود. عرشه‌های پایین‌تر که دارای طول کوتاه‌تری هستند به‌صورت تخت ساخته می‌شوند.

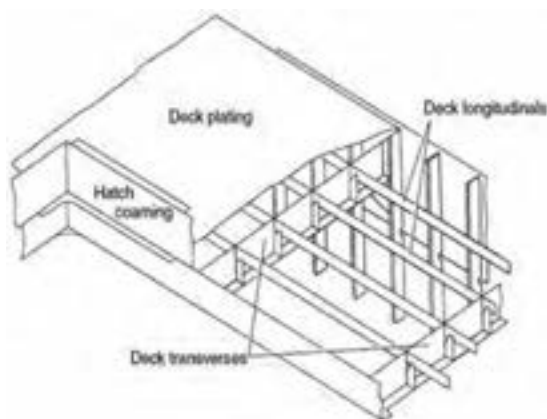
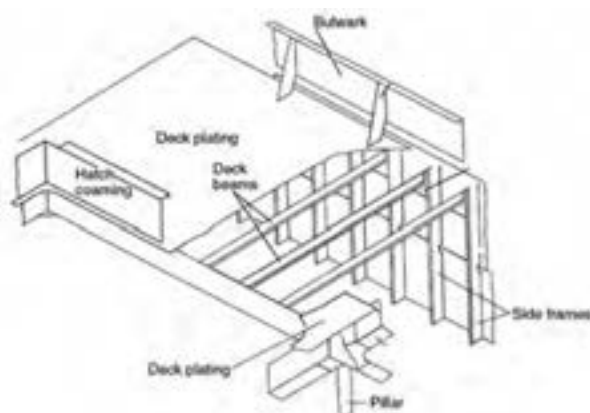
ورق عرشه‌ها با تیرچه‌ها (stiffeners) و تیرهای طولی و عرضی (longitudinals & deck beams) تقویت می‌شوند و همچنین میزان تقویت‌کننده‌ها در نواحی بریدگی‌های ایجاد شده در عرشه افزایش می‌یابد مطابق شکل زیر. تقویت‌کننده‌های طولی عرشه توسط فریم‌های عرضی و تقویت‌کننده‌های عرضی توسط فریم‌های طولی تقویت می‌شوند.



### ورق کاری عرشه‌ها

مجاور هیچ‌ها ضخامت ورق‌ها، کیفیت ورق‌ها و میزان جوشکاری ورق عرشه‌ها افزایش می‌یابد. ورق عرشه کمی به داخل هچ ادامه می‌یابد. این کار در افزایش استحکام طولی عرشه و کاهش وزن مجموعه عرشه و تقویت‌کننده‌ها مؤثر است. با توجه به اینکه تنش‌های خمشی در وسط طول کشتی ماکزیمم خواهد بود، لذا ضخامت ورق عرشه‌ها در وسط کشتی تا محدوده ۴۰ درصدی طول کشتی ضخیم‌تر

بوده و از این محدوده به طرف سینه و پاشنه ضخامت ورق‌ها به تدریج کاهش می‌یابد. البته در مناطقی که میزان تنش‌ها بالاتر باشد، ضخامت ورق‌ها در نواحی مورد نظر افزایش می‌یابد. از جمله این نواحی می‌توان به جاهایی که لیفت تراک‌ها، جرثقیل‌ها، فعالیت می‌کنند و یا مخازن عمیق اشاره کرد. درجه بندی ورق برای ضخامت ورق‌ها تا ۳۰ میلی‌متر از نوع فولاد با گرید B و تا ضخامت ۴۰ میلی‌متر با گرید D بوده که در محدوده وسط کشتی، نواحی اتصال سوپراستراکچرها به عرشه و هچ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع ورق استرینگر (استرینگر نوار طولی کناری دک که به‌طور عمود به شیراستریک یا دیگر استریک‌های پوسته بدنه کشتی جوش داده می‌شود) در کشتی‌های با طول کمتر از ۲۶۰ متر، اگر ضخامت ورق بیشتر از ۱۵ میلی‌متر باشد فولاد با گرید B و در اماکنی نظیر محدوده وسط کشتی، هچ‌ها در کشتی کانتینربر که ضخامت ورق به بیش از ۲۵ میلی‌متر می‌رسد، فولاد گرید





D می‌باشد. در بخش‌هایی که سردخانه تعبیه می‌گردد، به‌دلیل اینکه فولادها در دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد، بسته به ضخامت فولاد از گرید D, B و E استفاده می‌شود. البته تغییرات ضخامت در عرشه‌های دیگر، اما با مقادیر کمتر، مشابه تغییرات ضخامت در عرشه اصلی است. عرشه‌های آزاد توسط لایه‌ای از چوب یا ترکیباتی جدیدتری پوشانیده می‌شود تا نه تنها در زیبایی ظاهری عرشه آزاد، بلکه در کاهش انتقال حرارت به عرشه‌های پایین‌تر مؤثر واقع شود. همچنین در استحکام سازه‌ای عرشه‌ها نیز مؤثر خواهد بود، لذا در عرشه آزاد ضخامت ورق‌ها به دلیل این پوشش کاهش می‌یابد، به‌خصوص در محدوده‌ای که سوپر استراکچر بنا می‌شود و این پوشش هم وجود داشته باشد، کاهش بیشتر ضخامت ورق عرشه را در پی دارد. البته قبل از نصب این لایه بر روی ورق عرشه، بایستی مسئله خوردگی بررسی شده و اقداماتی جهت کنترل آن در نظر گرفته شود.

سعی می‌شود تا میزان بیرون زدگی ورق دک از دیواره هیچ حداقل باشد و گوشه‌های آن نیز به‌صورت صاف و قائمه است و لذا بایستی مساحت مقطع ورق دک بزرگ‌تر باشد. معمولاً گوشه ورق عرشه در هیچ‌های بزرگ به‌صورت کمانی از دایره گرد شده و البته اگر به‌صورت بیضی درآورده شود به‌طور قابل ملاحظه‌ای در کاهش تمرکز تنش مؤثر خواهد بود.

#### فعالیت



با هماهنگی مدیر هنرستان از یک کشتی بازدید کرده و با کسب اجازه از فرمانده کشتی از تیرهای سقفی عکس تهیه کرده و توسط پرده‌نگار در کلاس ارائه نمایید.

با هماهنگی مدیر از یک کشتی بازدید کرده و با کسب اجازه از فرمانده کشتی از تیرهای سقفی عکس تهیه کرده و توسط پرده‌نگار در کلاس ارائه نمایید.

#### تحقیق



برای غلبه بر تحذب و تقعر چه تمهیداتی در ساختمان کشتی باید اندیشید؟ برای خنثی کردن فشارهای وارده به قسمت تحتانی، باید خن کفی را به اندازه کافی محکم بسازند و این عمل بیشتر در اجزای طولی آن انجام می‌شود. در بخش فوقانی نیز برای جلوگیری از ترک خوردن یا پیچیدگی، سعی می‌کنند دیواره‌های طبقات را ضخیم‌تر و محکم‌تر انتخاب نمایند و برای استحکام بیشتر از تیغه‌های حامل L شکل برای کنار دیواره‌های طبقات، به‌خصوص در طبقات بالاتر استفاده می‌کنند. کشتی‌های طولی‌تر بیشتر تحت تأثیر این نیروها قرار می‌گیرند لذا در ساخت این‌گونه کشتی‌ها از فلزات خاصی که بتوانند در مقابل این فشارها مقاومت نمایند، در ساختمان تیغه‌های فلزی خان کفی یا دو جداره

و نیز در دیواره‌های طبقات استفاده می‌نمایند. همچنین در ساختمان خن کفی از تیر آهن‌های طولی خیلی محکم و در تیغه‌های حامل طبقات از فلزات خاصی که برای این منظور ساخته شده استفاده می‌شود. با توجه به اینکه میان کشتی بیشتر در معرض این خطر قرار دارد لذا استحکام‌بندی میان کشتی بیشتر از دو انتهای آن ضرورت خواهد داشت.

#### فعالیت

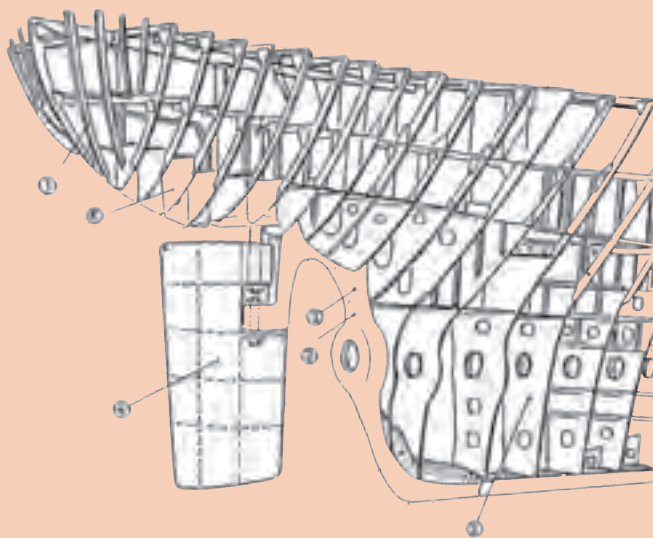


کلمات انگلیسی در شکل ۲۲ کتاب درسی را ترجمه کنید. در فعالیت بالا به دلیل ترجمه نشدن کلمات از هنرجویان بخواهید پیشنهادات خود را ارائه نمایند و بهترین پیشنهادات را در اختیار سرگروه‌های آموزشی قرار دهید.

#### فعالیت



با توجه به شکل زیر اسامی اجزای شماره‌گذاری شده را بیابید.



- Cant frame ۱
- Propeller post ۲
- Sternframe ۳
- Rudder ۴
- Deep floor ۵
- Floor ۶

بحث کلاسی



ارزشیابی



بالچه تعادل باید در چه ارتفاعی از کشتی نصب گردد؟

زیر خط آبخور باید نصب شود. اتصال آن به بدنه کشتی باید به دقت انجام شود تا در صورت به گل نشستن کشتی، صدمه‌ای به آن وارد نیاید.

جواب ۱-

مقاطع پر کاربرد در ساختمان کشتی	
نام	توضیحات
ورقه‌های فلزی (Plates)	یکی از قسمت‌های اصلی و مهم برای ساختن کشتی، ورقه‌های فلزی بدنه آن است.
تسمه (Flat Bars)	نوارهای باریکی که از ورقه‌های فلزی ساخته می‌شوند.
مقاطع حبابی (Bulb bar) یا (Holland Bar(HP))	ورقه‌های فلزی باریکی هستند که یک لبه آنها به شکل گرد یا حبابی در آمده باشد.
نبشی‌ها (Angle Bars) یا (L Bar)	این نوع نبشی‌ها برای اتصال قسمت‌های مختلف به یکدیگر و یا برای استحکام ورقه‌های فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
نبشی‌های کانالی (Channel Bars)	محکم‌تر از نبشی‌های معمولی بوده و درجایی که استحکام زیادی مورد نیاز باشد از آن استفاده می‌شود.
سپری (T- Bar)	به‌عنوان یکی از پرکاربردترین اجزا در ساختمان کشتی استفاده می‌شود.

**جواب ۲-** وقتی لبه سطوح فلزی آزاد تحت فشار قرار گیرد، امکان تاب برداشتن یا کج شدن آن به‌خصوص وقتی که قسمتی از تیرحامل را تشکیل می‌دهد، وجود دارد و در نتیجه قدرت آن کاهش می‌یابد. در این صورت به روش‌های زیر می‌توان آن را تقویت کرد:

۱ با خم کردن قسمتی از لبه آن؛

۲ با جوش دادن یک تسمه روی لبه ورق.

**جواب ۳-** ساختمان کشتی به گونه‌ای است که برای ایجاد استحکام سازه‌ای نیاز

به یک اسکلت‌بندی دارد. این مهم توسط یک سری اجزای سازه‌ای به نام فریم و شاه تیر اصلی کشتی صورت می‌گیرد.

**جواب ۴-** تیرهای سقفی عبارت‌اند از تیرهای فولادی عرضی یا طولی که ورق عرشه روی آنها قرار می‌گیرد. تیرهای عرضی دارای دو وظیفه عمده هستند:

- ۱ اتصال دو کناره بدنه به یکدیگر.
  - ۲ حفاظت از عرشه‌ها در برابر فشار آب از یک سو و فشار کالا از سوی دیگر.
- تیرهای طولی نیز در استحکام طولی عرشه مورد استفاده قرار می‌گیرند. از انواع پروفیل‌های نبشی، حبابی و سپری به عنوان تیرهای طولی و عرضی استفاده می‌شود.

### جواب ۵-

انواع شاه تیر (Keel)	
نوع شاه تیر (Keel)	توضیحات
Barkeel	در این نوع شاه تیر اصلی بدنه، ارتفاع تیر آهن بین ۳ تا ۶ برابر عرض آن است. طول آن بستگی به طول کشتی دارد که به وسیله صفحات قائم به همدیگر متصل می‌شوند. این نوع شاه تیر اصلی بدنه بیشتر در لنج‌ها و قایق‌ها استفاده می‌شود.
Flat Keels	عرض ورقه‌های فلزی این نوع شاه تیرها می‌تواند ۱ تا ۲ متر باشد. ضخامت آن تا طول کشتی باید یکنواخت حفظ شود ولی مقدار ضخامت می‌تواند به تدریج به طرف دو انتهای کشتی کاهش پیدا کند. تیغه حامل مرکزی به شاه تیر اصلی بدنه متصل بوده و تقریباً روی تیغه حامل مرکزی سطحی موازی با سطح شاه تیر اصلی بدنه به طور یکنواخت در سرتاسر آن جوش داده می‌شود و در این نوع اتصال هرگز نباید جوش دادن به شکل دالبر یا کنگره‌ای انجام شود.
Duct keels	شبیه به Flat Keels بوده با این تفاوت که به جای یک تیغه حامل مرکزی، دارای دو تیغه حامل مرکزی (Side girder) است. تیغه‌های حامل مرکزی معمولاً بین دیواره‌های ضد تصادم و دیواره جلویی موتورخانه قرار گرفته و تونلی را تشکیل می‌دهد. برای استحکام تیغه‌های حامل مرکزی، از تیغه‌های عرضی قائم و یا لچکی‌ها که غالباً بین شاه تیر اصلی بدنه و صفحه روی تیغه حامل مرکزی قرار دارد، استفاده می‌شود.

**جواب ۶-** به فضای ضد نفوذ آب که بین کف کشتی و کف انبارها قرار دارد، کف دو جداره می‌گویند. کف دو جداره به وسیله صفحات عمودی به قسمت‌های مختلف تقسیم شده و مخازن را تشکیل می‌دهد. در این مخازن در صورت لزوم

می‌توان آب تعادل، سوخت، آب خنک‌کننده و یا آب شیرین را جای داد.  
**جواب ۷-** بالچه تعادل برای کاهش دوره تناوب نوسانات عرضی کشتی (Rolling) به کار می‌رود.  
**جواب ۸-**

جدول - روش‌های مختلف اسکلت بندی کشتی	
نام روش	شکل و توضیحات
اسکلت‌بندی با فریم‌های عرضی	در این روش از فریم‌های عرضی با فواصل کم استفاده می‌شود. کاربرد بیشتر این روش در کشتی‌های چوبی و بادبانی است. در این سیستم استحکام طولی کشتی اهمیت کمتری دارد؛ چون از نظر اندازه طولی نسبتاً کوچک هستند و فشارهای تحدب (Hogging) و تقعر (Sagging) روی آن کمتر اثر می‌گذارد.
اسکلت‌بندی با فریم‌های طولی	با افزایش طول کشتی، تأثیر Hogging و Sagging افزایش یافت و طراحان و سازندگان خیلی زود متوجه این نکته شدند که برای استحکام طولی بیشتر کشتی، به استفاده از فریم‌های طولی نیاز است به این شرط که تعداد مناسبی از فریم‌های عرضی نیز به کار گرفته شود. این روش اسکلت‌بندی دارای معایبی بود؛ تا اینکه سیستم فریم‌بندی رضایت بخشی اختراع گردید. در این روش، از فریم‌های طولی در قسمت‌های مختلف از جمله، قسمت تحتانی، اطراف بدنه و طبقات و از فریم‌های عرضی نیز برای نگهداری فریم‌های طولی استفاده شد.
اسکلت‌بندی ترکیبی یا ادغامی	در این روش به علت اینکه استحکام طولی زیادی مورد نیاز است، در قسمت تحتانی و طبقات کشتی از فریم‌های طولی و در اطراف بدنه آن، از فریم‌های عرضی استفاده می‌شود. همچنین استفاده از این نوع اسکلت‌بندی برای حمایت و تقویت فریم‌های طولی مناسب است.
اسکلت‌بندی چهارچوب حفاظ (Cantilever Framing)	این روش برای کشتی‌های مدرن پیشنهاد می‌شود که دارای درپچه یا درهای بزرگ انبار با طول و عرض زیادی هستند که در این صورت، دارای عرشه و ستون‌های عرضی کمی خواهند بود. در نتیجه برای حفظ مقاومت طولی و فشارهای عرضی دارای استحکام لازم نیستند. بنابراین، قدرت و استحکام اصلی کشتی به صورت دیگری پیش بینی شده است. استحکام عرضی آن حتی الامکان با استفاده از فریم‌های سنگین‌تر تأمین می‌شود که آنها را در طرف راست و چپ در انبار قرار می‌دهند. برای استحکام طولی آن از تیغه‌های مخصوصی و ورقه‌هایی به صورت طولی که در زیر طبقات قرار می‌گیرد استفاده می‌شود.

**جواب ۹-** اگر رو به سینه کشتی بر روی خط سراسری (Center Line) بایستیم، دست راست ما سمت راست کشتی (StarBoard Side) و دست چپ ما سمت چپ کشتی (Port Side) خواهد بود. سمت راست کشتی را با STB و سمت چپ کشتی را با PS نمایش می‌دهند.

**جواب ۱۰-** برای آدرس‌دهی کمپارتمنت‌ها در کشتی باید بدانیم در بین کدام فریم‌ها، در کدام عرشه و در کدام سمت کشتی قرار دارد. به‌صورت کلی همهٔ ساختمان کشتی به دو بخش سازهٔ اصلی (Structure) و روسازه (Superstructure) تقسیم بندی می‌شود. سازهٔ اصلی تا عرشهٔ اصلی (Main Deck) بوده و بالای آن روسازه می‌باشد.

کشتی‌ها به‌طور معمول به کمپارتمنت‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. کمپارتمنت‌های سمت راست کشتی با شماره فرد و کمپارتمنت‌های سمت چپ کشتی با اعداد زوج نمایش داده می‌شوند. از طرفی کشتی‌ها به یک سری بخش‌های نفوذناپذیر آب تقسیم می‌شوند (Section). این بخش‌ها به ترتیب با حروف انگلیسی بزرگ A, B, C ... مشخص می‌گردند. بنابراین برای آدرس‌دهی یک کمپارتمان در کشتی که در عرشه ۲ و در بخش B و دومین اتاق در سمت راست کشتی نسبت به خط مرکزی کشتی می‌باشد، آدرس زیر به آن اختصاص داده می‌شود:

۵- B- ۲

از طرفی در برخی از کشتی‌ها به جای بخش‌های نفوذناپذیر از شمارهٔ فریم استفاده می‌شود. برای مثال اگر محفظه‌ای بین فریم‌های ۲۰ تا ۴۵، یک عرشه زیر عرشهٔ اصلی و در سمت راست کشتی واقع شده باشد، به روش زیر آدرس‌دهی می‌کنیم:

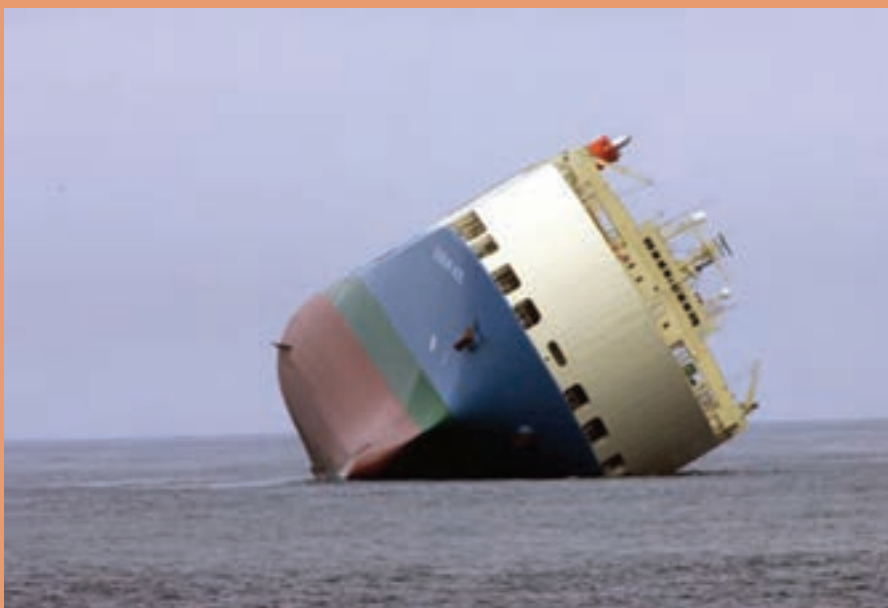
Fr ۲۰- ۴۵

Deck: D۲

SIDE: STB

## فصل ۳

### بررسی اصول تعادل کشتی



این تصویر یک کشتی که بر اثر نیروی خارجی کج شده و در همان حالت باقی مانده است را نشان می‌دهد در واقع نیروی وزن کشتی و نیروی حاصل از آب (بویانسی) در یک امتداد قرار گرفته‌اند.

نوع درس: نظری

کل ساعات: ۳۰ ساعت

ساعات نظری: ۳۰ ساعت

## اهداف کلی

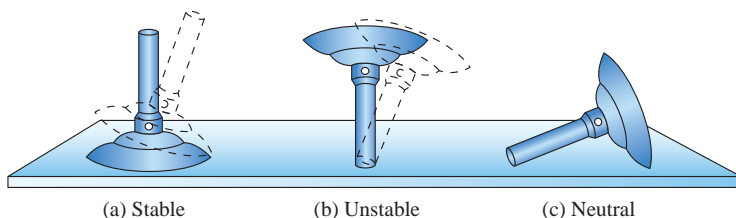
هنرجو باید پس از پایان این پودمان قادر باشد:

- ۱ انواع تعادل را بشناسد.
- ۲ جابه‌جایی و شناوری را بداند.
- ۳ مرکز ثقل و تأثیر جابه‌جایی آن بر تعادل کشتی را بشناسد.
- ۴ مراکز بویانسی، غوطه‌وری و متاسنتر را بداند.
- ۵ بازوی بازگرداننده، منحنی GZ و محدوده پایداری را بشناسد.
- ۶ اصطلاحات پر کاربرد و ضرایب بدنه را بداند.
- ۷ TPC و تأثیر چگالی بر پایداری را بداند.

## 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 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.
- ۳ بهتر است برای تفهیم بهتر مطالب و مفاهیم درس از انجام آزمایش‌های ساده که امکان‌پذیر است در کلاس استفاده نماید مانند استفاده از اجسام موجود در کلاس برای نشان دادن تعادل و مرکز ثقل و یا استفاده از ظرف آب و جسمی سبک برای نشان دادن غوطه‌وری، آبخور و غیره.
- ۴ بهتر است برای تفهیم بهتر درس، از فیلم‌هایی که در اینترنت موجود است و غرق‌شدن کشتی بر اثر بار ناصحیح یا نیروی خارجی را نشان می‌دهد، استفاده گردد.
- ۵ در صورت امکان با حضور بر روی یک کشتی و استفاده از تجربیات خدمه آن، کمک به درک بهتر تعادل برای هنرجو نماییم.
- ۶ پیشنهاد می‌شود از انجام تکالیف متن توسط هنرجو مطمئن شده و آنها را مورد بررسی قرار دهید.





بحث کلاسی



اصطلاحات به کار رفته در شکل بالا را ترجمه کنید.

Stable: محکم - استوار      unstable: متزلزل      neutral: خنثی

تحقیق



آیا تعادل انواع دیگری هم دارد و نتیجه تحقیق را در کلاس ارائه دهید.  
تعادل غیر از حالت استاتیکی، حالت دینامیکی هم دارد که شامل موارد زیر است:  
**۱ تعادل انتقالی [translational equilibrium]:** حالتی برای جسم که در آن جسم یا ساکن می ماند یا با سرعت ثابت بر روی خطی راست در حرکت است. در این نوع تعادل اگر نیرو به جسم وارد شود جسم به حرکت در آمده و با برداشتن نیرو همچنان به حرکت خود ادامه می دهد.

**۲ تعادل چرخشی [rotational equilibrium]:** وضعیت سامانه ای که یا نمی چرخد یا با سرعت زاویه ای ثابت می چرخد.

آیا تاکنون چرخشی را به حرکت در آورده اید؟ چرخ بعد از دوران بالاخره در کجا متوقف می شود؟ وقتی چرخ حول یک محور ثابت می چرخد، از موقعیت خود خارج نمی شود، در این وضعیت چرخ در حالت تعادل انتقالی است، زیرا نیرویی که شما به چرخ وارد کرده با پس زدن کشسانی محور خنثی شده است. نیرویی که شما به چرخ وارد کرده اید چرخ را به دوران در آورده است اما آن را جابه جا نکرده است. اگر نیروی اصطکاک روی چرخ اثر نمی کرد، برای همیشه در حالت دوران باقی می ماند. تنها چیزی که باعث کند شدن چرخ و در نهایت توقف چرخ می شود اصطکاک محور است. هر جسمی که با سرعت زاویه ای ثابت بچرخد در حالت تعادل چرخشی است و تا زمانی که چیزی روی آن اثر نکند به چرخش خود ادامه خواهد داد... زمین چندین میلیارد سال است که حول محور خود می چرخد و سال ها پیش از آنکه من و شما فراموش شویم به این کار ادامه خواهد داد.

### کاربرد خط بار

باید توجه داشت که کاربرد علامت خط بار در حداکثر بارگیری شناور (جابه جایی سنگین) می باشد. یعنی اگر شناور به اندازه حداکثر تناژ مجاز خود بارگیری شده باشد و در آبی با چگالی  $1/0.25$  تن بر متر مکعب شناور باشد، آبخور شناور در محل مرکز دایره یا خط  $s$  قرار می گیرد و اگر با همین بار به منطقه دیگری با چگالی  $1$  تن بر مترمکعب برود، آبخور شناور در محل خط  $F$  قرار می گیرد و اگر در آب شیرین در منطقه گرمسیری وارد شود، آبخور به  $TF$  می رسد. همچنین اگر شناور در جابه جایی سنگین به آب های آتلانتیک شمالی در فصل زمستان وارد شود که چگالی از  $1/0.25$  بیشتر است، آبخور به  $WNA$  می رسد. دانستن مقدار آبخور در جابه جایی سنگین (حداکثر تناژ شناور) در جلوگیری از تصادم شناور با کف دریا یا موانع زیر آبی بسیار اهمیت دارد و در تعیین عوارض بندری نیز به کار می رود.

### مرکز ثقل و جابه جایی آن

دو مفهوم اصلی و کاربردی در تعیین مرکز ثقل شناور بیان می گردد:

(الف) نحوه تعیین مؤلفه های مرکز ثقل شناور.

(ب) نحوه تأثیر جابه جایی بار بر جابه جایی مرکز ثقل شناور.

هر یک از موارد فوق به صورت زیر تشریح می گردد:

(الف) نحوه تعیین مؤلفه های  $x, y, z$  مرکز ثقل شناور: همان طور که می دانیم یک شناور از هزاران اقلام وزنی تشکیل شده است که هر یک نسبت به محور مختصات تعریف شده دارای مختصات  $Z_i, Y_i, X_i$  هستند. محور مختصات معمولاً از نظر طولی منطبق بر عمود پاشنه، از نظر عمودی منطبق بر خط مبنا و از نظر عرضی منطبق بر خط مرکزی در نظر گرفته می شود. برآیند مؤلفه های هر یک از این وزن ها به صورت مؤلفه های مرکز ثقل شناور به صورت زیر تعیین می گردند:

$$X_G = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$Y_G = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + \dots + m_n y_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$Z_G = \frac{m_1 z_1 + m_2 z_2 + \dots + m_n z_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

مثال



مختصات مرکز ثقل شناوری که مشخصات وزنی آن در جدول زیر ثبت شده است را به دست آورید. (یک شناور از هزاران ارقام وزنی تشکیل شده است که وزن و مرکز ثقل این ارقام باید به طور دقیق ثبت و در محاسبه مرکز ثقل کل شناور لحاظ گردد). در اینجا برای حل مسئله، ارقام وزنی اصلی به اختصار ارائه شده‌اند:

ارقام وزنی	m	x	y	z	m <sub>x</sub>	m <sub>y</sub>	m <sub>z</sub>
کاسه بدنه	۶۵۵	۳۸/۳	۰	۱/۴	۲۵۰۸۶/۵	۰	۲۶۸۵/۵
روبناسازی	۱۴۰	۷	۰/۲	۱۱	۹۸۰	۲۸	۱۵۴۰
تجهیزات داخل روبناسازی	۳۵	۵	۰/۱	۱۱/۳	۱۷۵	۳/۵	۳۹۵/۵
بار انبار و عرشه	۲۲۷۵	۴۵/۶	۰	۴/۷	۱۰۳۷۴۰	۰	۱۰۶۹۳
موتور، ژنراتور و شافت پروانه	۹۵	۴	۰	۲/۵	۳۸۰	۰	۲۳۷/۵
سایر تجهیزات موتورخانه	۶۰	۳	- ۰/۳۷	۲/۹	۱۸۰	- ۲۲/۲	۱۷۴
خدمه، سوخت و آب	۱۸۵	۴/۵	- ۰/۱	۱۰	۸۳۲/۵	- ۱۸/۵	۱۸۵۰
سرب‌های جلو	۲۰	۷۵	۰	۰/۵	۱۵۰۰	۰	۱۰
سرب‌های عقب	۵	۴	- ۰/۰۱	۰/۳	۲۰	- ۰/۰۵	۱/۵
سایر موارد	۳۰	۳۸	۰/۳۱	۹	۱۱۴۰	۹/۳	۲۷۰
مجموع	۳۵۰۰				۱۳۴۰۳۴	۰/۰۵	۱۷۸۵۷

$$X_G = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} = \frac{134034}{3500} = 38/30$$

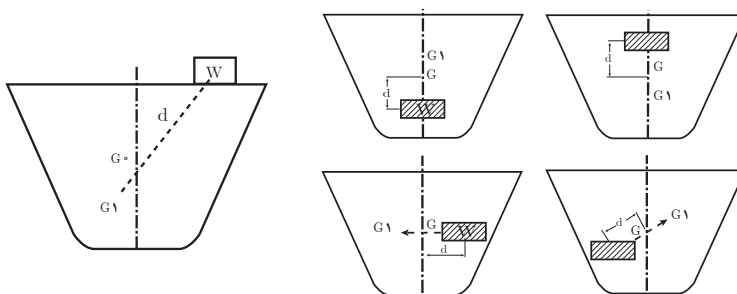
$$Y_G = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i} = \frac{0/05}{3500} = 0/00$$

$$Z_G = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i} = \frac{17857}{3500} = 5/10$$

از آنجا که معمولاً مرکز ثقل شناور در محل مطلوب به دست نمی آید و قسمت پاشنه به دلیل نصب موتورخانه، سنگین تر از سینه شناور است لذا وزنه های سربی برای تنظیم مرکز ثقل به کار می روند و به گونه ای توزیع می شوند که شناور در حالت بدون بارگیری دارای شیب صفر باشد. در این جدول اقلام وزنی بر حسب تن و فواصل بر حسب متر هستند. X فاصله از عمود پاشنه، Y فاصله از خط مرکزی و Z فاصله از خط مبنا است.

ب) تأثیر تغییرات بار بر جابه جایی مرکز ثقل شناور: مطابق شکل زیر باری به وزن W به فاصله d در داخل شناور جابه جا می شود. این جابه جایی باعث جابه جا شدن مرکز ثقل به اندازه GG<sub>1</sub> می شود که داریم:

$$GG_1 = \frac{w.d}{W}$$



برداشتن بار از روی شناور نیز مطابق شکل بالا قابل توضیح است:

$$GG_1 = \frac{w.d}{W - w}$$

به طور مثال برداشتن جسم از سمت راست شناور باعث جابه جایی مرکز ثقل کل

شناور به سمت چپ می‌شود. در این حالت برای یافتن امتداد جابه‌جایی  $GG_1$  خطی از بار به مرکز ثقل کشتی وصل می‌کنیم. نقطه  $G$  نیز در امتداد این خط می‌باشد و بدین ترتیب علاوه بر محاسبه مقدار  $GG_1$ ، راستای آن نیز مشخص می‌گردد. در هنگام بارگیری نیز مقدار جابه‌جایی مرکز ثقل شناور و راستای آن به‌طور مشابه تعیین می‌گردد با این تفاوت که:

$$GG_1 = \frac{w.d}{W + w}$$

که در صورت بارگذاری، وزن نهایی برابر  $W + w$  و در صورت باربرداری برابر  $W - w$  و در صورت جابه‌جایی بار نیز وزن نهایی برابر  $W$  می‌باشد ( $W$  وزن اولیه کل شناور است). فاصله جابه‌جایی بار ( $d$ ) می‌تواند طولی، عرضی، عمودی و یا به‌صورت مایل باشد که در هر صورت رابطه فوق برای  $GG_1$  برقرار است.

#### کار کلاس



یک کشتی به وزن ۵۰۰۰ تن دارای باری به وزن ۲۰۰ تن در قسمت سینه و به فاصله ۵۰ متر از وسط کشتی قرار دارد، اگر بار ۴۲ متر به سمت وسط کشیده شود، مرکز ثقل چقدر جابه‌جا می‌شود:

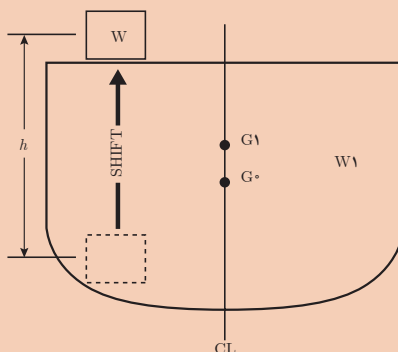
$$\text{جابه‌جایی مرکز ثقل} = \frac{200 \times (50 - 42)}{5000} = \frac{1600}{5000} = 0.32 \text{ m}$$

#### تمرین در خانه



با توجه به شکل زیر معادله مرکز ثقل جدید را به‌دست آورید:

$$G.G_1 = \frac{wh}{w_1 + w}$$





یک کشتی ۱۲۰۰۰ تنی حامل باری به وزن ۶۰ تن در روی عرشه است. از جرثقیل با بومی که به ارتفاع ۸ متر بالاتر از مرکز ثقل قرار دارد استفاده شده تا بار در داخل کشتی ۱۰ متر زیر دک قرار گیرد. موقعیت مرکز ثقل را در حالت بلند شدن بار از روی دک و قرار گرفتن در کف محاسبه کنید.

حل:

= جابه‌جایی مرکز ثقل، قبل از بلند شدن بار به وسیله جرثقیل به طرف بالا

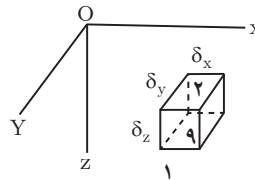
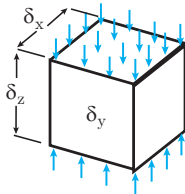
$$\frac{w_1 d_1}{w} = \frac{60 \times 8}{12000} = 0.004$$

$$\text{جابه‌جایی مرکز ثقل بعد از قرار گرفتن بار در کف کشتی} = \frac{w_1 d_2}{w} = \frac{60 \times 10}{12000} = 0.005$$

## دانش‌افزایی

### مرکز بویانسی و تغییرات آن

**ماهیت نیروی بویانسی:** همان‌طور که بیان شد نیروی ارشمیدس همان نیروی بویانسی است که بر جسمی که داخل سیال شناور باشد، به صورت نیروی رو به بالا بر آن وارد می‌شود. این نیرو «نیروی شناوری» نیز نامیده می‌شود. ماهیت نیروی بویانسی از اختلاف فشار بین سطوح فوقانی و تحتانی جسم می‌باشد. جسمی مکعبی شکل را طبق شکل زیر در نظر بگیرید. اختلاف ارتفاع سطح فوقانی و تحتانی این مکعب برابر است با:  $Z_1 - Z_2 = \delta z$



اگر فشار در سطح فوقانی این مکعب برابر  $P_1$  باشد، نیروی وارد بر این سطح برابر است با  $P_1 \cdot \delta x \cdot \delta y$ . همچنین اگر فشار وارد بر سطح تحتانی برابر  $P_2$  باشد، نیروی وارد بر این سطح با توجه به فشار ارتفاع آب  $\delta z$  برابر است با:

$$P_2 \cdot \delta x \cdot \delta y + \rho \cdot g \cdot \delta x \cdot \delta z$$

برای داشتن حالت تعادل، این دو نیرو که در راستای عمودی هستند باید با هم برابر باشند:

$$P_1 - \delta x = \delta y \approx P_2 \cdot \delta x \cdot \delta y + \rho \cdot g \cdot \delta x \cdot \delta y \cdot \delta z$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\delta Z} = \rho \cdot g$$

اگر  $z \rightarrow 0$  و  $P_1 \rightarrow P_2$  می‌توانیم بنویسیم:

$$\frac{dp}{dz} = \rho \cdot g$$

که با انتگرال‌گیری از این رابطه داریم:

$$P = \rho \cdot g \cdot z$$

باید توجه داشته باشیم که نیروهای هیدرواستاتیکی افقی وارد بر جسم (نیروهای وارد بر سطوح عمودی) برای هر جسمی، برابر و قرینه هم هستند و برآیند آنها برابر صفر است. لذا برای این مکعب (که المانی از هر جسم می‌تواند باشد) نیز نیروهای افقی وارد بر سطوح عمودی، با هم برابر هستند. لذا نیروی خالص وارد بر یک جسم شناور، تنها یک نیروی عمودی می‌باشد که این نیرو، (ناشی از جابه‌جایی سیال)، یک نیروی رو به بالا می‌باشد.

با توجه به اینکه نیرو حاصل ضرب فشار در سطح است لذا، نیروی بویانسی وارد به جسم برابر است با:

$$\delta F_B = \rho \cdot g \cdot \delta z \cdot \delta x \cdot \delta y = \rho \cdot g \cdot \delta V = \Delta$$

لذا ملاحظه می‌گردد که «ماهیت نیروی بویانسی برآیند اختلاف فشار وارد بر سطوح افقی فوقانی و تحتانی جسم می‌باشد یا برآیند اختلاف فشاری که در راستای عمودی بر جسم وارد می‌شود». در نهایت نیروی بویانسی برابر است با:

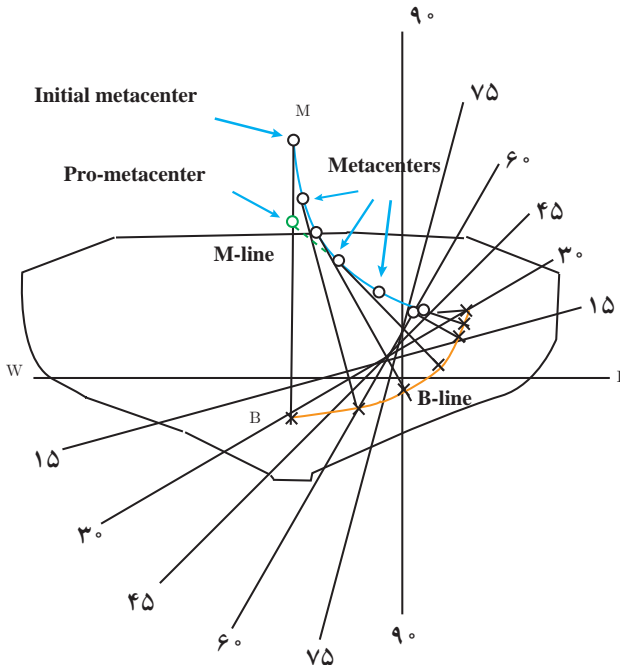
$$F_B = \Delta$$

که همان وزن آب جابه‌جا شده توسط حجم داخل آب جسم می‌باشد که آن را با علامت  $\Delta$  نشان می‌دهند و در اصطلاح مهندسی دریایی «جابه‌جایی» نامیده می‌شود.

**تغییرات مرکز بویانسی:** مرکز بویانسی عبارت است از مرکز حجم داخل آب شناور. اگر یک جسم به‌طور کامل در داخل آب باشد (مانند زیر دریایی)، با غلتش طولی یا عرضی یا حرکات دیگر شناور، مرکز بویانسی تغییر نمی‌کند چرا که در هر صورت، کل جسم در داخل آب است ولی اگر جسم در سطح آب بوده و قسمتی از آن داخل آب و قسمت دیگر خارج از آب باشد، غلتش طولی یا عرضی شناور باعث تغییر محل مرکز بویانسی می‌شود که مکان هندسی این تغییرات بسیار اهمیت دارد. گوشه‌ای از شناور که به داخل آب فرو می‌رود، مرکز بویانسی نیز به همان

سمت جابه‌جا می‌شود.

در یک تناژ ثابت جابه‌جایی مرکز بویانسی در غلتشی طولی و عرضی، روی یک مکان هندسی جابه‌جا خواهد شد که این سطح را «مکان هندسی بویانسی» گویند.



تغییرات مرکز بویانسی در غلتیدن طولی و عرضی مؤثر است لذا تغییرات مرکز بویانسی برای یک شناور با شکل مشخص و تناژ ثابت، محدود به این سطح می‌شود و نمی‌تواند خارج یا داخل این سطح باشد و مرکز بویانسی دقیقاً به روی این سطح جابه‌جا می‌شود. «مکان هندسی بویانسی» وابسته به شکل بدنه شناور، می‌تواند شکل‌های مختلفی داشته باشد که در شکل بالا نمونه‌ای از آن آمده است. وقتی کشتی بدون غلتش است، مرکز بویانسی در پایین‌ترین نقطه سطح بویانسی قرار دارد و هر چه شناور غلتش می‌کند، باز هم مرکز بویانسی به گونه‌ای جابه‌جا می‌شود که در پایین‌ترین نقطه سطح بویانسی غلتیده (با فرض غلتیدن سطح بویانسی به همراه کشتی)، قرار گیرد.

### ذخیره شناوری (reserve of buoyancy)

ذخیره شناوری (ذخیره بویانسی) برابر است با حجم آب ناپذیر بالای خط آب‌خور. در صورت آب‌گرفتگی بدنه کشتی، ذخیره شناوری از غرق شدن آن



جلوگیری می‌کند. لذا از نظر ایمنی و غرق ناپذیری کشتی از اهمیت فراوانی برخوردار است. در اغلب مواقع، ذخیره شناوری به صورت درصد بیان می‌شود که عبارت است از نسبت حجم آب ناپذیر بالای خط آب به حجم بدنه در زیر آب به صورت درصد. بدین ترتیب اگر ذخیره شناوری یک کشتی ۳۰ درصد باشد یعنی معادل ۳۰ درصد از حجم جابه‌جایی کشتی، حجم آب ناپذیر در بالای خط آب‌خور وجود دارد. هرچه مقدار فری برد کشتی بیشتر باشد در واقع ذخیره بویانسی بیشتر شده است. درصد ذخیره بویانسی در شناورهای مختلف با توجه به نوع آنها و اهمیت غرق نشدن آنها مختلف و متفاوت است و ربطی به تناژ و ابعاد کشتی ندارد. جدول زیر نمونه‌هایی از درصد ذخیره شناوری در کشتی‌های مختلف را ارائه کرده است.

جدول درصد ذخیره شناوری در کشتی‌های مختلف

نوع کشتی	درصد ذخیره بویانسی
ناو هواپیما بر	۸۰٪
ناوچه	۷۰٪
نفت‌کش	۲۰٪
زیر دریایی در زیر آب	۰٪
زیر دریایی در سطح آب	۱۰٪

### مفهوم نقطه متاسنتر و نحوه به‌دست آوردن آن

مفهوم نقطه متاسنتری و پرومتاسنتر همان‌طور که در بخش پارامترهای مؤثر در تحلیل پایداری، توضیح داده شد، کشتی در غلتش عرضی حول نقطه‌ای غلتش یا دوران می‌کند که «متاسنتر عرضی» نامیده می‌شود و غلتش طولی نیز حول نقطه «متاسنتر طولی» انجام می‌شود. بنابراین غلتش شناور حول یک نقطه تصادفی نیست بلکه حول یک نقطه مشخص به نام «نقطه متاسنتر» انجام می‌شود. این نقطه یا مرکز، در زوایای غلتش کوچک (تا حداکثر ۸ درجه) نقطه ثابتی در نظر گرفته می‌شود و در زوایای غلتش بزرگ، نقطه ثابتی نیست و به روی یک منحنی مشخص حرکت می‌کند که در این حالت به آن «پرومتاسنتر» گویند. تعیین محل این نقطه به کمک پارامتری به نام «شعاع متاسنتری» تعریف می‌شود و این شعاع همان شعاع دایره‌ای است که شناور حول نقطه متاسنتر (مرکز دایره) نوسان می‌کند.

شعاع متاسنتری (BM) که فاصله مرکز بویانسی تا نقطه متاسنتر است از رابطه مقابل به دست می‌آید:

$$BM = \frac{I}{\nabla}$$

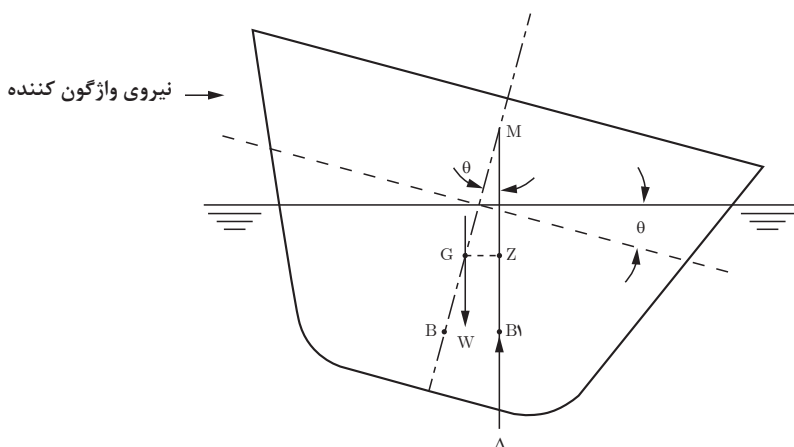
**I:** ممان دوم سطح آب‌خور (برای غلتش عرضی حول محور  $x, x_{xx}$  و برای غلتش حول محور  $y, y_{yy}$  می‌باشد.  $\nabla$  حجم جابه‌جایی (حجم زیر آب شناور). دیمانسیون  $I, I$  (m<sup>4</sup>) و دیمانسیون  $\nabla$ ، است و در نتیجه دیمانسیون شعاع متاسنتری نیز بر حسب متر (m) است.

**تعیین نقطه متاسنتر به روش ترسیمی:** در زوایایی غلتش کوچک، نقطه M را به روش ترسیمی و به صورت زیر می‌توان به دست آورد. هنگامی که شناور غلتش می‌کند، مرکز بویانسی از B به B منتقل می‌شود. راستای نیروی بویانسی همواره به صورت عمودی است که امتداد دادن راستای نیروی بویانسی، خط مرکزی شناور را قطع می‌کند. محل تقاطع این دو خط همان نقطه متاسنتر (M) است. باید توجه داشت که با بزرگ‌تر شدن زاویه غلتش، نقطه M دیگر بر خط مرکزی شناور منطبق نیست و همان‌طور که توضیح داده شده بر روی یک منحنی حرکت می‌کند. در زوایای غلتش بزرگ، متاسنتر از محل تقاطع امتداد مرکز بویانسی جدید و قدیم به دست می‌آید یعنی محل پرومتاسنتر در واقع وابسته به موقعیت مرکز بویانسی (B) است و مسیر تغییرات B نیز در مطالب قبل توضیح داده شد. بنابراین مرکز بویانسی و متاسنتری به‌طور پیوسته با غلتش شناور تغییر می‌کنند.

### منحنی GZ و کاربردهای آن

در مهندسی دریایی باید وضعیت پایداری شناور در زوایایی غلتش مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. پایداری شناور با عاملی به نام GZ بیان می‌شود که برای پایدار بودن شناور، مقدار GZ باید مثبت باشد و در صورت صفر یا منفی بودن GZ، شناور دارای پایداری خنثی یا ناپایدار خواهد بود. همان‌طور که در شکل زیر ملاحظه می‌شود، GZ فاصله افقی بین مرکز ثقل (G) و مرکز بویانسی و در واقع بازوی ممان بین B و G می‌باشد که به این بازو، «بازوی بازگرداننده» گویند. «ممان بازگرداننده» باعث می‌شود که طبق شکل، اگر شناور به یک سمت به اندازه زاویه  $\theta$ ، غلتش کند، این ممان، شناور را به حالت اولیه خود باز می‌گرداند.

$$RM = GZ. A$$

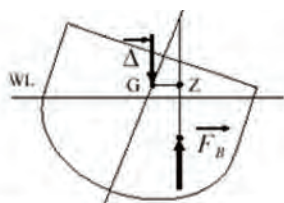


بنابراین داریم:

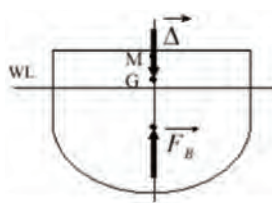
**RM:** ممان باز گرداننده شناور به حالت اولیه.  $GZ$ : بازوی بازگرداننده شناور به حالت اولیه.  $\Delta$ : جابه جایی یا همان وزن کل شناور که برابر با بویانسی ( $F_B$ ) می باشد. در واقع این ممان بازگرداننده، می تواند ممان حاصل از نیروهای خارجی (نشان داده شده در شکل بالا) را که باعث غلتش شناور شده است، خنثی می کند. ممان بازگرداننده هنگامی مثبت است که  $GZ$  مثبت باشد و  $GZ$  هنگامی مثبت است که  $GM$  مثبت باشد چرا که  $GZ = GM \cdot \sin\theta$  (در زوایای غلتش کوچک). مثبت بودن  $GM$  نیز به این معناست که  $M$  (نقطه متاسنتر) بالای مرکز ثقل ( $G$ ) باشد. اگر  $GM = 0$  باشد در نتیجه  $GZ = 0$  و به معنای پایداری خنثی و اگر  $GM < 0$  باشد،  $GZ < 0$  است که به معنای ناپایداری شناور است. آنچه اهمیت دارد تغییرات مقدار  $GZ$  در زوایای مختلف غلتش ( $\theta$ ) است که اگر این تغییرات روی یک نمودار ترسیم شوند، آن نمودار  $GZ - \theta$  می باشد که معیار تحلیل پایداری شناور است. برای بررسی این تغییرات شکل های صفحه بعد را به عنوان نمونه مثال در نظر می گیریم. این شناور دارای حالت اولیه پایدار است. در حالت  $A$  ملاحظه می شود که زاویه غلتش برابر صفر ( $\theta = 0$ ) و شناور دارای حالت اولیه پایدار است چرا که  $M$  بالای  $G$  قرار دارد یعنی  $GM > 0$  است ولی مقدار  $GZ$  برابر صفر می باشد چرا که داریم:

$GZ = GM \cdot \sin\theta$  و چون  $\theta = 0$  است لذا  $GZ = 0$ . در حالت  $B$  شناور به اندازه ۲۵ درجه غلتیده است و در این حالت  $GZ$  دارای مقدار مثبتی است، در حالت  $C$  شناور تا ۵۰ درجه غلتیده است و در این حالت  $GZ$  دارای بیشترین مقدار شده است و از آن پس مقدار  $GZ$  کاهش می یابد چرا که قسمتی از عرشه وارد آب می شود. در حالت  $D$  شناور تا زاویه ۷۵ درجه غلتیده که مقدار  $GZ$  همچنان

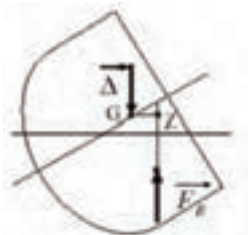
کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که در حالت E راستای نیروی ثقل و بویانسی بر هم منطبق می‌شوند و  $GZ=0$  می‌شود. در این حالت در واقع  $G$  و  $M$  بر هم منطبق شده‌اند که  $GM=0$  و در نتیجه  $GZ=0$  شده است. در این حالت شناور دارای تعادل خنثی می‌باشد در حالی که تا قبل از این دارای تعادل پایدار بوده است. هر چه شناور از این حد، بیشتر غلتش کند، وارد محدوده تعادل ناپایدار شده است یعنی بازوی بازگرداننده  $GZ<0$  شده و همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، ممان حاصل از  $B$  و  $G$  متمایل به واژگون کردن شناور است و این ممان به غلتیدن بیشتر شناور کمک می‌کند، در صورتی که در حالت‌های  $B$  تا  $D$  ممان بازگرداننده، متمایل به بازگرداندن شناور به حالت اولیه خود و متوقف کردن زاویه غلتش است. در این حالت در واقع  $GM<0$  و در نتیجه  $GZ<0$  و لذا ممان بازگرداننده  $RM<0$  شده است. در این وضعیت،  $GZ$  را «بازوی واژگون کننده» گویند.



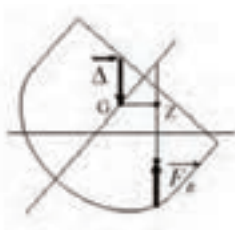
حالت B: غلتش ۲۵ درجه با  $GZ=17$  cm



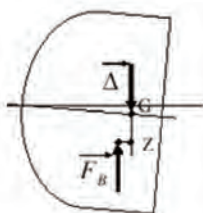
حالت A: حالت بدون غلتش با  $GZ=0$



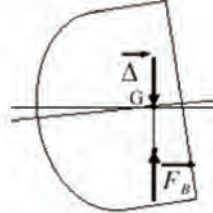
حالت D: غلتش ۷۵ درجه با  $GZ=8$  cm



حالت C: غلتش ۵ درجه با  $GZ=30$  cm

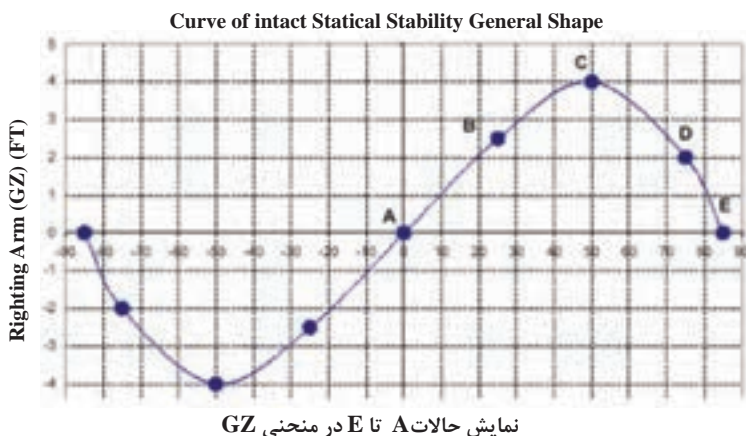


حالت F: غلتش بیش از ۸۵ درجه با  $GZ$  منفی



حالت E: غلتش ۸۵ درجه با  $GZ=0$

نمایش مقادیر  $GZ$  در زوایای غلتش مختلف



تحلیل‌هایی که براساس منحنی GZ انجام می‌شوند: همان‌طور که بیان شد منحنی  $GZ - \theta$  اساس بسیاری از تحلیل‌های پایداری شناور است و عوامل مختلفی از آن برداشت می‌شود که از جمله مهم‌ترین موارد آن عبارت است از:

**۱ محدوده پایداری:** حداکثر زاویه‌ای که شناور می‌تواند غلتش کند بدون اینکه  $GZ$  آن منفی شود، را «محدوده پایداری» گویند. در این محدوده اگر شناور بدون زاویه لیست اولیه باشد، شناور از حالت قائم با  $GZ = 0$  شروع به غلتش کرده و تا رسیدن مجدد به  $GZ = 0$  می‌تواند در حالت پایدار غلتش کند.

**۲ حداکثر بازوی بازگرداننده ( $GZ$ ):** حداکثر بازوی بازگرداننده نیز از عوامل مهم در تحلیل پایداری و نشان‌دهنده حداکثر ممان واژگون‌کننده‌ای است که شناور می‌تواند بدون واژگون شدن تحمل کند.

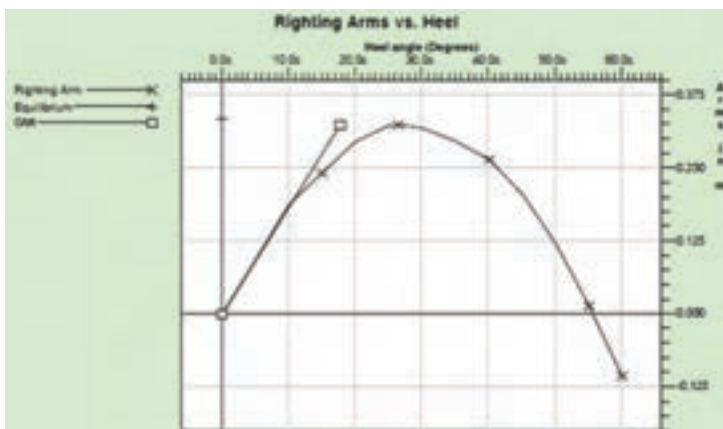
از جمله بارگذاری‌های بحرانی نیروی مداوم باد، بارگذاری‌های نامتقارن، ضربه و آب‌گرفتگی جانبی می‌باشد که  $GZ_{max}$  نقش اساسی در جبران آنها دارد.

**۳ زاویه متناظر با  $GZ_{max}$ :** زاویه‌ای که در آن حداکثر بازوی بازگرداننده را داریم نیز بسیار حائز اهمیت است چرا که از این زاویه به بعد، خرسی عرشه و کاهش بازوی بازگرداننده را داریم که برای پایداری شناور، غلتش بیشتر از این زاویه بسیار خطرناک است. زاویه خرسی عرشه از زوایای مهم در پایداری است که نشان‌دهنده شروع تضعیف پایداری شناور است.

**۴ پایداری دینامیکی:** پایداری دینامیکی عبارت است از کار انجام شده برای غلتیدن شناور تا یک زاویه مشخص. این کار از حاصل ضرب سطح زیر نمودار  $GZ - \theta$  در جابه‌جایی (تناژ) به‌دست می‌آید.

**۵ محاسبه مقدار GM:** اگر خطی مماس بر نمودار  $GZ - \theta$  در محل  $\theta = 0$

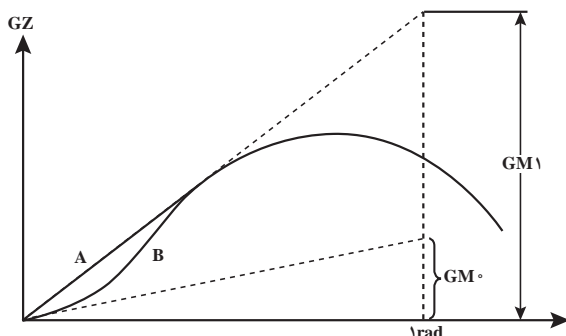
رسم کنیم (شیب نمودار در  $\theta = 0^\circ$ ، و از زاویه یک رادیان ( $\theta = 1 \text{ rad}$ ) یک خط عمود رسم کنیم، ارتفاع محل تقاطع این خط مماس با خط عمود، برابر با ارتفاع متانستری (GM) می‌باشد.



نمایش خط مماس در زاویه صفر درجه

### رام یا سرکش بودن شناور:

اگر شیب نمودار GZ در نقطه  $\theta = 0^\circ$  بزرگ باشد کشتی عکس‌العمل شدیدی به نیروهای خارجی خواهد داشت و پریود نوسانات عرضی کشتی کوچک خواهد بود از این رو حرکات کشتی بسیار شدید و قوی می‌باشد. که در این حالت به این کشتی سرکش گویند. اگر این شیب کوچک باشد در واقع کشتی عکس‌العمل ملایم به نیروهای خارجی وارد بر شناور خواهد داشت و پریود نوسانات عرضی کشتی بزرگ خواهد بود. کشتی با این حرکات آرام و نرم را کشتی رام گویند. بنابراین از روی نمودار GZ می‌توان رام یا سرکش بودن شناور را تشخیص داد. مطابق شکل زیر با توجه به شیب منحنی GZ در محل مبدأ مختصات، شناور A دارای GM بیشتر است و در نتیجه سرکش می‌باشد ولی شناور B دارای GM کمتر و در نتیجه رام می‌باشد.



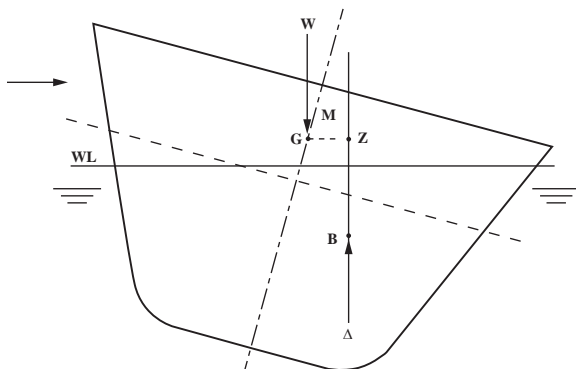
سه بعدی کامپیوتری استخراج کنیم مراحل زیر را طی می کنیم:



زاویه هیل معین، رسیدن به تناژ اولیه است.

٢

٣



## محاسبه GZ به روش ترسیمی

بحث کلاسی



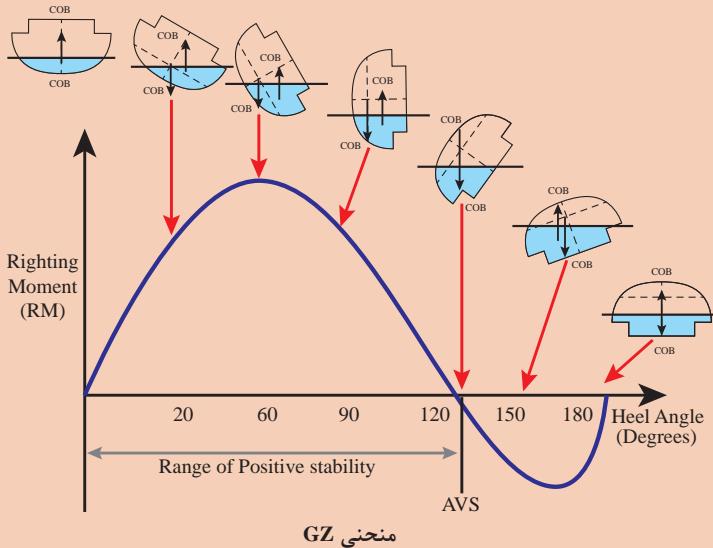
شناوری جعبه‌ای شکل، با ابعاد ۱۰۵ متر طول، ۳۰ متر عرض و ۲۰ متر عمق در آب شیرین شناور است. در صورتی که وزن شناور ۱۹۵۰۰ تن باشد، حجم ذخیره آن را پیدا کنید.

چگالی ÷ جرم = حجم آب جابه‌جا شده

مترمکعب ۱۹۵۰۰ = حجم آب جابه‌جا شده

مترمکعب ۶۳۰۰۰ =  $۱۰۵ \times ۳۰ \times ۲۰$  = حجم شناوری

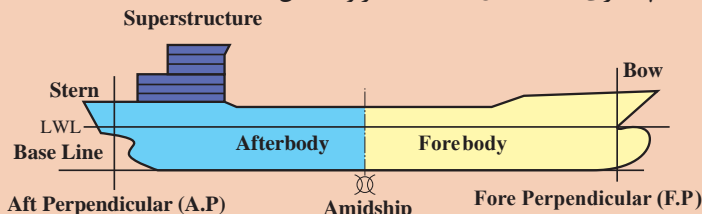
۴۳۵۰۰ = حجم آب جابه‌جا شده - حجم کشتی = شناوری ذخیره



بحث کلاسی



اصطلاحات به کار رفته در شکل بالا را ترجمه کنید.  
 Righting Moment: گشتاور راست کننده  
 Range of positive Stability: ناحیه پایداری مثبت  
 Heel Angle: زاویه هیل



اصطلاحات کشتی

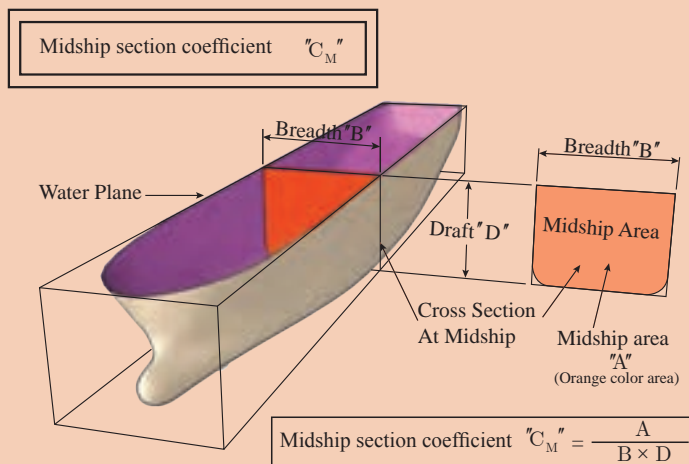


بحث کلاسی



اصطلاحات به کار رفته در شکل صفحه قبل که در ادامه ترجمه نشده‌اند را ترجمه کنید.

Afterbody: نیمه جلویی بدنه Forebody: نیمه انتهایی بدنه



ضرب مقطع عرضی

بحث کلاسی



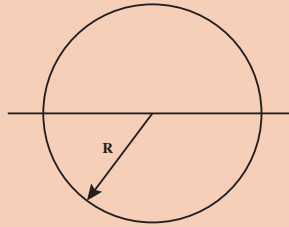
اصطلاحات به کار رفته در شکل بالا را ترجمه کنید.

Breadth: عرض Midship area: سطح میانی Water plane: سطح آب‌خور  
Draft: ارتفاع

Cross section At Midship: سطح مقطع میانی



استوانه‌ای به طول  $L$  با سطح مقطع زیر در نظر است، ضرایب بدنه آن را به دست آورید:



$$\text{Block coefficient: } C_B = \frac{\nabla}{L_{WL} B_{WL} T} = \frac{A_M L}{L B_{WL} T} = \frac{\pi R^2}{2 R R} = \frac{\pi}{4}$$

$$\text{Midship section coefficient: } C_M = \frac{A_M}{B_{WL} T} = \frac{\pi R^2}{2 R R} = \frac{\pi}{4}$$

$$\text{Prismatic coefficient: } C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{\pi/4}{\pi/4} = 1$$

$$\text{Waterplane area coefficient: } C_{WP} = \frac{A_{WP}}{L_{WL} B_{WL}} = \frac{L \times 2R}{L \times 2R} = 1$$

$$\text{Vertical prismatic coefficient: } C_{VP} = \frac{C_B}{C_{WP}} = \frac{\pi/4}{1} = \frac{\pi}{4}$$

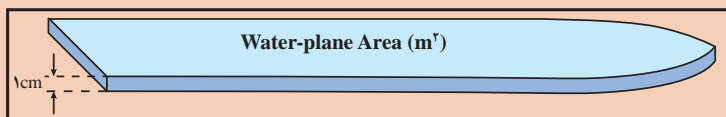
بحث کلاسی



طول یک کشتی برابر با ۶۴ متر و عرض آن ۱۰ متر است. آبخور کشتی در حالت خالی برابر با ۱/۵ متر و در صورتی که بارگیری شده باشد برابر با ۴ متر است. ضریب ظرافت حجمی آن برابر با ۰/۶ در آبخور حالت خالی کشتی و ۰/۷۵ در آبخور بارگیری شده است. مقدار وزن بار کشتی را پیدا کنید. (چگالی آب برابر با ۱/۰۲۵ است)

حل:

متر مکعب  $C_b$ . آبخور.  $L.B.$  = وزن کشتی قبل از بارگیری  
 متر مکعب ۵۷۶ =  $۱۰ * ۱/۵ * ۰/۶$  = وزن کشتی پس از بارگیری  
 متر مکعب  $C_b = ۱۹۲۰$ . آبخور.  $L.B.$  = وزن کشتی پس از بارگیری  
 $۱۳۴۴ = ۵۷۶ - ۱۹۲۰$  = وزن کشتی قبل از بارگیری وزن کشتی پس از بارگیری = وزن بار  
 $۱۳۴۴ * ۱/۰۲۵ = ۱۳۷۷/۶$  = وزن بار



$$TPC = \frac{WPA}{100} \times \rho$$

Where:

TPC: tonnes per cm

WPA: water plane area m<sup>2</sup>

$\rho$ : water density 1.025 t/m<sup>3</sup>

مفهوم TPC

بحث کلاسی



اصطلاحات به کار رفته در شکل بالا را ترجمه کنید.  
 Tonnes per cm: تن بر سانتی متر  
 Water plane area: سطح صفحه آبخور  
 Water density: چگالی آب

### اختلاف آبخور در آب شور و شیرین (FWA)

هنگامی که شناور از منطقه‌ای با آب شور به آب شیرین منتقل می‌شود، به دلیل کاهش چگالی آب، آبخور شناور افزوده می‌گردد. چگالی آب شور  $(\frac{t}{m})$  ۱/۰۲۵ و چگالی آب شیرین  $(\frac{t}{m})$  ۱ در نظر گرفته می‌شود. اگر چگالی آب شور با  $\rho_s$  و چگالی آب شیرین با  $\rho_f$  نمایش داده شود، شناوری که با آبخور  $d_s$  در آب شور قرار داشته و وارد آب شیرین شود، آبخور جدید  $d_s + FWA$  افزایش خواهد یافت. بنابراین

$$\frac{d_s + FWA}{\rho_s} = \frac{\rho_s}{\rho_f} \rightarrow d_s + FWA = d_s \frac{\rho_s}{\rho_f}$$

$$FWA = d_s \frac{\rho_s}{\rho_f} - d_s \rightarrow FWA = d_s \left( \frac{\rho_s}{\rho_f} - 1 \right) = d_s \left( \frac{1/025}{1} - 1 \right)$$

بر حسب متر  $FWA = 0.025 d_s$

مقدار FWA برای خط بار تابستان با خطوط بار نزدیک آن اهمیت دارد. چرا که فاصله بین S و F و همچنین فاصله بین T و TF برابر FWA است. بنابراین FWA تنها هنگامی قابل استفاده است که شناور دارای آبخوری نزدیک به خط بار تابستان باشد. FWA را می‌توان بر حسب TPC نیز محاسبه کرد. اگر d آبخور مربوط به خط بار تابستان در آب شور باشد داریم:

$$FWA = 25 d_s \frac{A \times 1/025 \times 10^{-2}}{A \times 1/025 \times 10^{-2}}$$

که A مساحت سطح آبخور مربوط به خط بار تابستان است.

کار در کلاس



سطح مقطع یک کشتی در آبخور آن ۱۵۵۷ مترمربع است. T.P.C و میزان افزایش آبخور در صورت افزایش وزنه‌ای به وزن ۲۷۵ تن را به دست آورید. چگالی آب دریا را ۱/۰۲۵ تن بر مترمکعب فرض کنید.

$$TPC = \frac{A \times 1/025}{100} = \frac{1557 \times 1/025}{100} = 15/96$$

$$\text{میزان افزایش آبخور} = \frac{275}{15/96} = 17/23 \text{ cm}$$

## 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

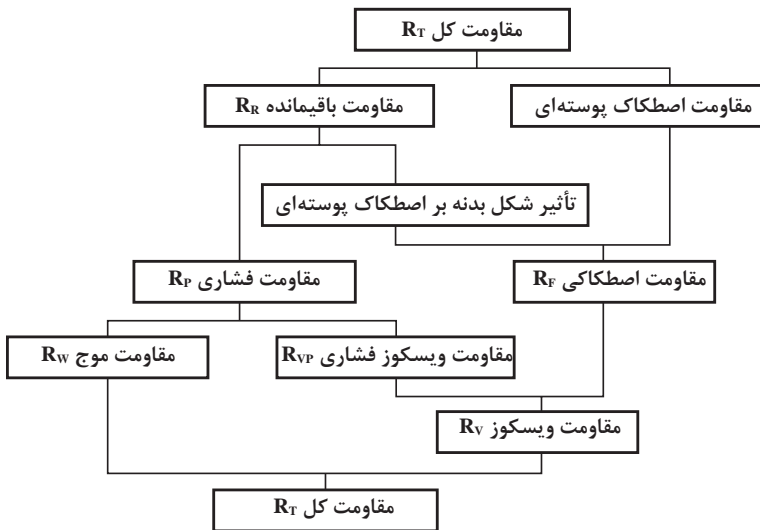
همان‌گونه که مستحضرید، هر جسمی به جرم  $m$  چه در حال سکون باشد و یا چه در حال حرکت، اگر تحت تأثیر نیروی  $F$  قرار گیرد، دارای شتابی می‌شود که از رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$F = ma$$

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.

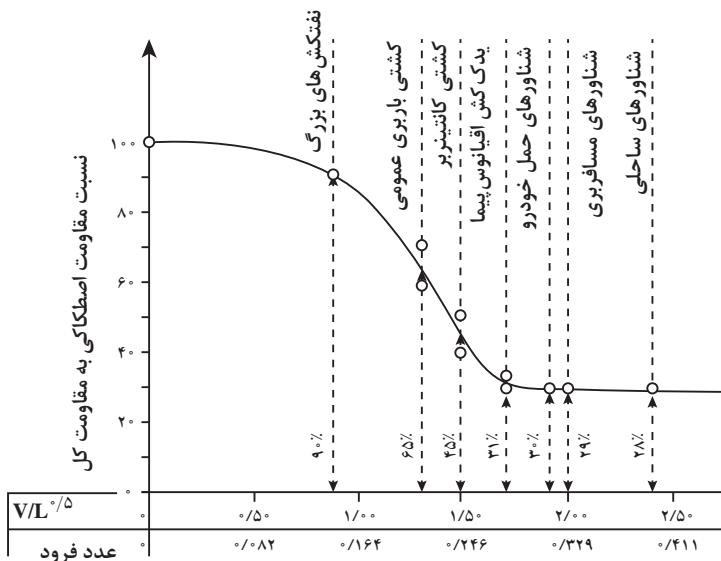
این میزان مقاومت، معمولاً سهم زیادی از کل مقاومت‌های ذکر شده در شکل بالا دارد، به همین دلیل برای دانشمندان و دریانوردان بسیار مهم قلمداد می‌گردد. این نسبت مقاومت به کل مقاومت، برای چند نوع شناور تجاری در جدول صفحه بعد نشان داده شده است. باید در نظر داشت که هر چه بدنه شناور از آب بیشتر بیرون باشد یعنی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

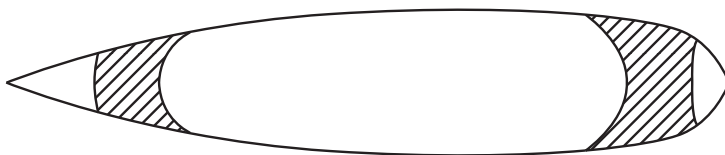
مقاومت باقی‌مانده = مقاومت اصطکاک پوسته‌ای - مقاومت کل

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.

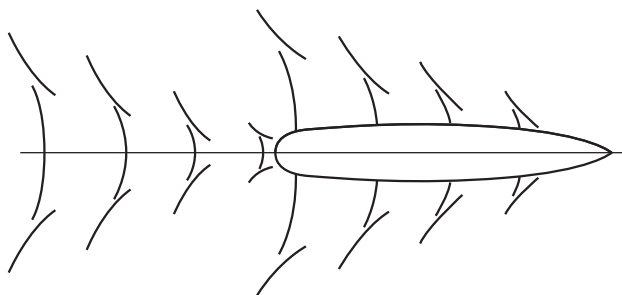
**پاسخ:** سیالات (مایعات و گازها) دارای یک نیروی چسبندگی بین مولکول‌های خود هستند. این نیرو، باعث می‌شود که مولکول‌ها نسبت به هم به سادگی حرکت نکنند و یا جدا نشوند. هرگاه نیرویی بر آنها اعمال می‌گردد، مقاومتی از خود نشان می‌دهند. این میزان مقاومت در سیالات، با آزمایش تعیین می‌گردد. معمولاً با افزایش 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 مواج به خوبی قابل مشاهده است (شکل زیر). در این شکل هم تشکیل امواج و هم شکست موج را می توان مشاهده نمود.



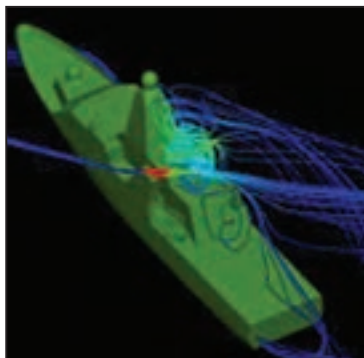
تشکیل امواج بر اثر حرکت شناور

**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:** ملحقات 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)



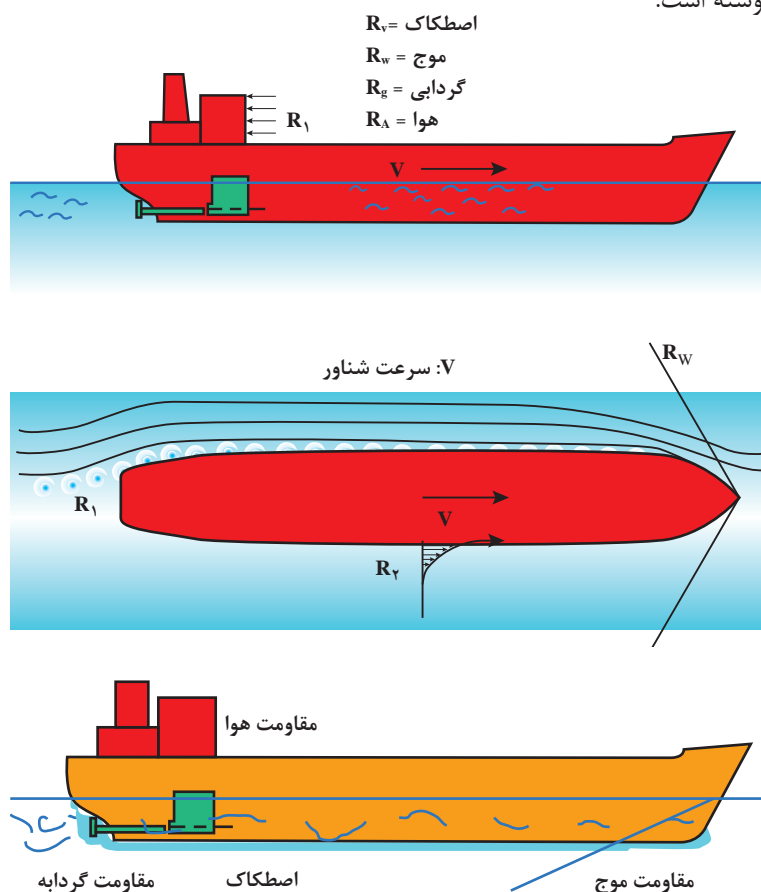
مقاومت پاشش آب به واسطه برخورد شناور به آب دریا

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

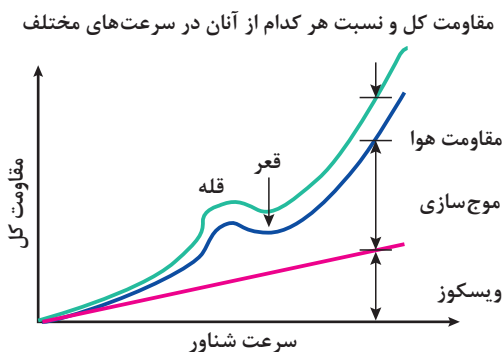
شکل زیر، محل به وجود آمدن مهم‌ترین نوع مقاومت‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل، مقاومت گردابه‌ای ناشی از ملحقات شناور یا همان پروانه است که به وقوع پیوسته است.



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 موج‌سازی غالب است

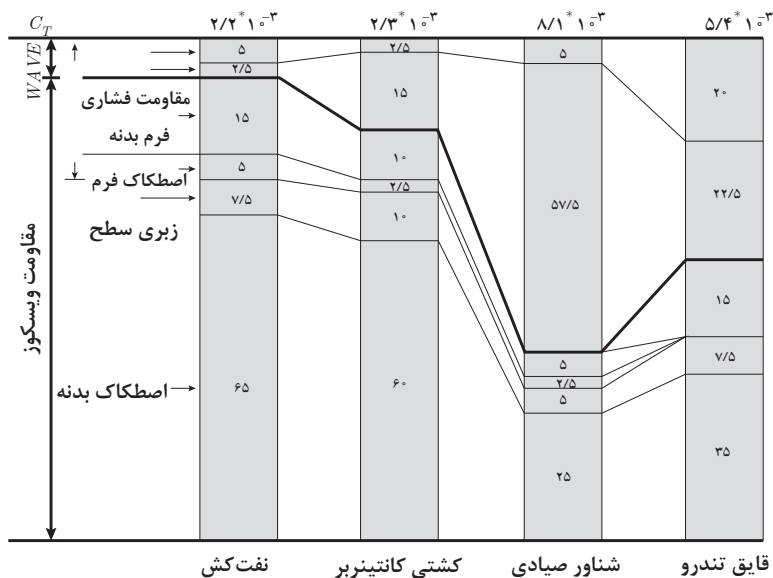
مقاومت‌های اصلی و ترکیب آنها در سرعت‌های مختلف کشتی

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  $C_V$  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،  $\nabla$  حجم کل قسمت زیر آب شناور و  $L_{wl}$  بیانگر طول بین دو عمود شناور (در می‌بخت 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.



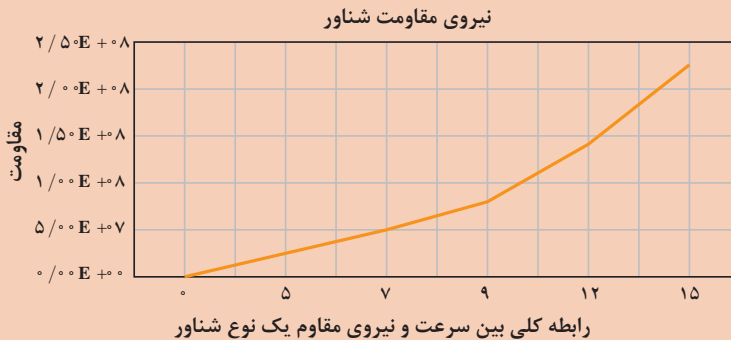
سطح خیس شده شناور. ناحیه آبی رنگ



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  $F = \frac{1}{2} C_V S$  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،  $\mu$  ضریب ویسکوزیته یا لزجت و  $\rho$  چگالی آب دریاست.

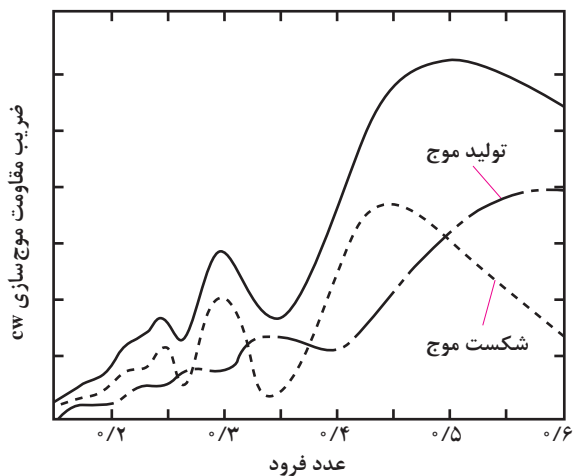
تمرین



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:

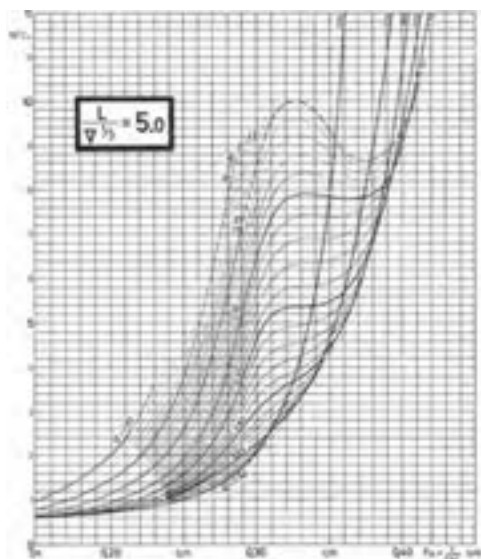
$$R_e = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{1020 \times 5 \times 45}{0.0012} = \frac{229500}{12 \times 10^{-4}} = 191250000 = 19/125 \times 10^7$$

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،  $\nabla$  حجم قسمت زیر آب شناور،  $Fr$  عدد فرود و نیز  $\Phi$  ضریب بلوکی یا چاقی شناور است.



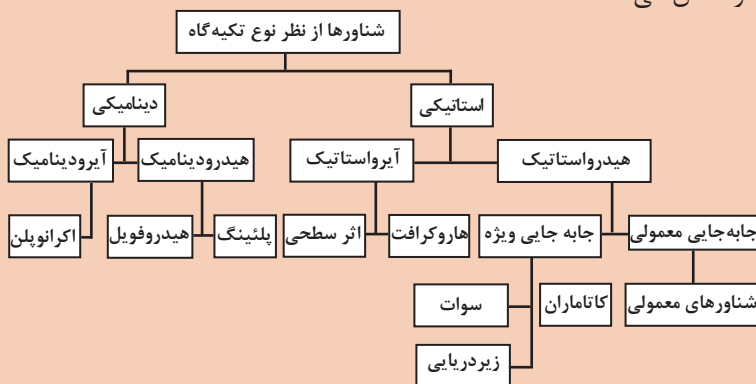
جدول تعیین مقاومت باقیمانده شناور برای نسبت ابعادی



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:

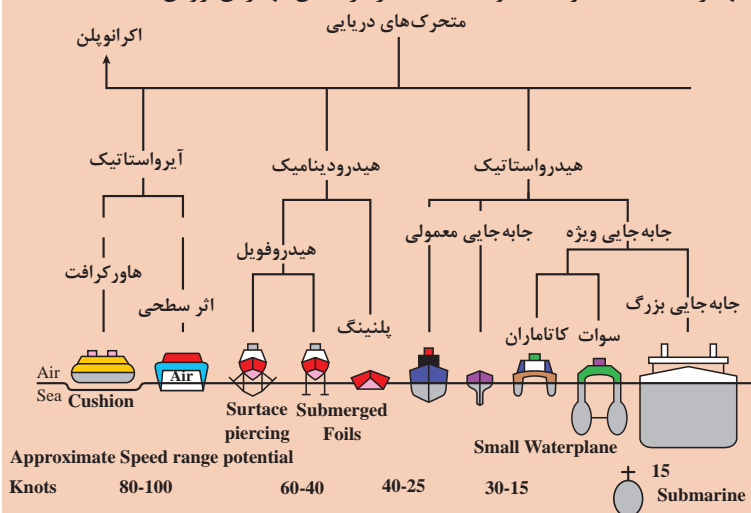
به دلیل افزایش حمل و نقل دریایی، چه در زمینه بار و چه در زمینه مسافر، و نیز چه در زمینه عملیات جنگی، نیاز بشر به کاهش زمان رفت و آمد و در نتیجه افزایش سرعت شناورها حس می‌شد. امروزه شناورهای تندرو هم جهت جابه‌جایی بار، هم مسافر و هم سایر اهداف (امداد و نجات، جنگی و...) مورد استفاده قرار می‌گیرند و میزان 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.



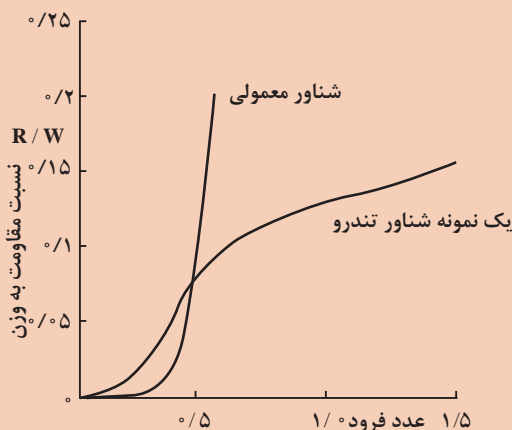
دسته بندی شناورهای دریایی

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

**هاورکرافت:** 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 هاورکرافت را نشان می‌دهد.



هاورکرافت

**شناورهای اثر سطحی (SES):** این شناورها شباهت زیادی به هاورکرافت 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 هاورکرافت از آب بالا نمی‌آیند. می‌توان گفت ترکیبی از کاتاماران و هاورکرافت 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،  $\Delta$  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

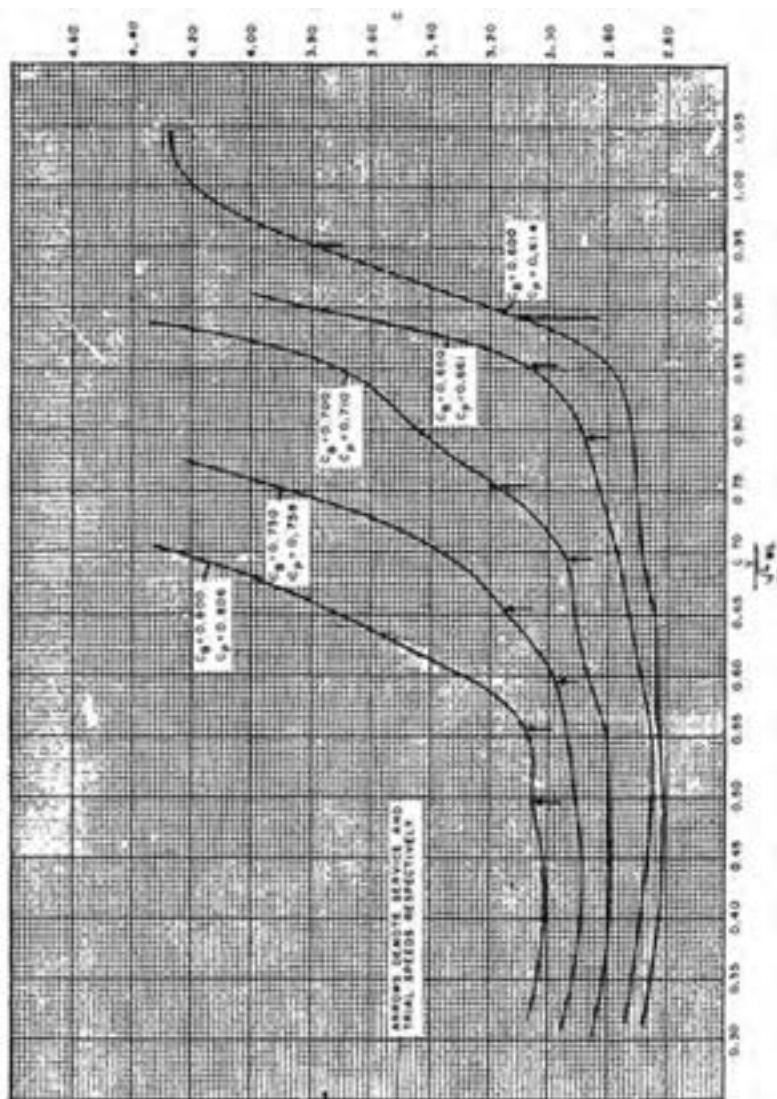
در این روش، با استفاده از آمار ثبت شده دریانوردی شناورهایی که قبلاً در دریا سفر نموده اند، با توجه به نوع شناور، تناژ، ابعاد و سرعتشان، نمودارهایی جهت تخمین توان و نیز جداولی آمده است که با استفاده از آنان می توان یک توان تخمینی را جهت شناورمان تعیین نماییم. یک نمونه از این سری ها، سری ۶۰

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	$\rho_L$	$\rho_s$	$\rho_{ss}$	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
0.445	11.0	44.8	3681	0.320	0.322	1.144	0.860	1.032	0.779
0.456	12.0	48.8	3490	0.314	0.320	1.137	0.863	1.035	0.790
0.398	12.0	38.8	4473	0.315	0.318	1.140	0.882	1.029	0.777
0.606	14.0	37.1	3717	0.314	0.319	1.136	0.890	1.009	0.773
0.607	15.0	31.8	7173	0.311	0.320	1.132	0.890	1.003	0.766
0.636	13.8	43.7	7934	0.306	0.320	1.137	0.890	1.007	0.764
0.646	18.0	46.1	6671	0.306	0.321	1.122	0.890	1.006	0.760
0.649	16.8	48.5	9787	0.304	0.324	1.114	0.839	1.031	0.737
0.686	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	0.333	1.099	0.833	1.040	0.747
0.748	18.8	79.3	14900	0.301	0.334	1.096	0.831	1.043	0.744
0.749	19.0	81.2	16430	0.302	0.317	1.083	0.848	1.044	0.739
0.790	19.8	84.0	18430	0.306	0.335	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	23430	0.304	0.340	1.092	0.826	1.051	0.731
0.831	21.0	93.8	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	103.0	37040	0.306	0.341	1.092	0.807	1.043	0.690

یک نمونه جدول سری ۶۰ جهت تعیین توان شناور



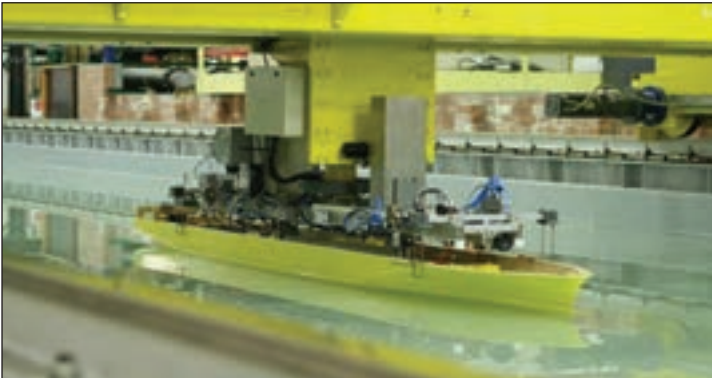


تعیین ضریب مقاومت کل برای یک سری از بدنه‌ها از روی نمودار

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.

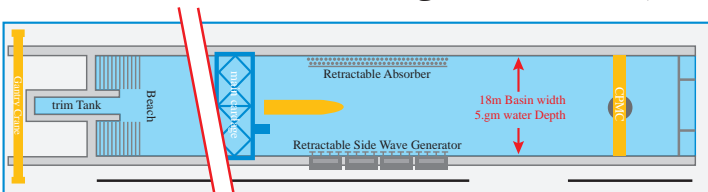
## روش آزمایش مدل

از بین سه روش ذکر شده، بهترین و دقیق‌ترین روش، تست مدل در حوضچه کشتی 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 کشتی 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 سومی 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 کشتی 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 کشتی 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، به‌خصوص 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 مالک‌اشتر شیراز را نام برد.



حوضچه کشتی دانشگاه صنعتی مالک اشتر شیراز

همان گونه 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 می توان  $g$  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 می کنیم:

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

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

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

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

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 را در حوضچه کشش مدل تعیین می نماییم. بدین شکل که مدل را در سرعت تعیین شده در حوضچه می کشیم و نیروی لازم جهت کشیدن مدل در حوضچه با این سرعت را تعیین می نماییم.

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

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.



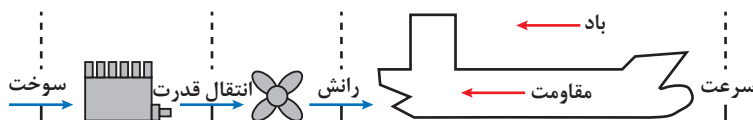
با استفاده از داده‌های آماری، نیروی وارد بر یک شناور در دریا، برابر با ۲۰۰۰ کیلو نیوتن تخمین زده شده است. اگر قرار باشد این شناور با سرعت ۱۴ گره دریایی حرکت نماید، توان لازم برای ایجاد این حرکت چقدر است؟ پاسخ:

$P = F.V$

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

$P = F.V = 2000 \times 7 = 14000 \text{ کیلووات}$

چون نیروی لازم جهت رانش شناور طبق رابطه  $F = \frac{1}{2} C_V^2 S$  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.



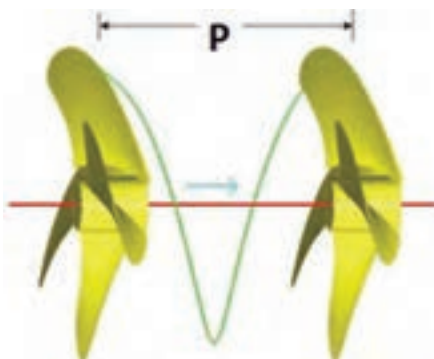
نحوه انتقال قدرت از موتور به شناور جهت رانش شناور

### ساختمان پروانه

یک پروانه معمولی، دارای دو و یا بیشتر پره یا تیغه است که بر روی یک توبی نصب شده‌اند و توبی 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.

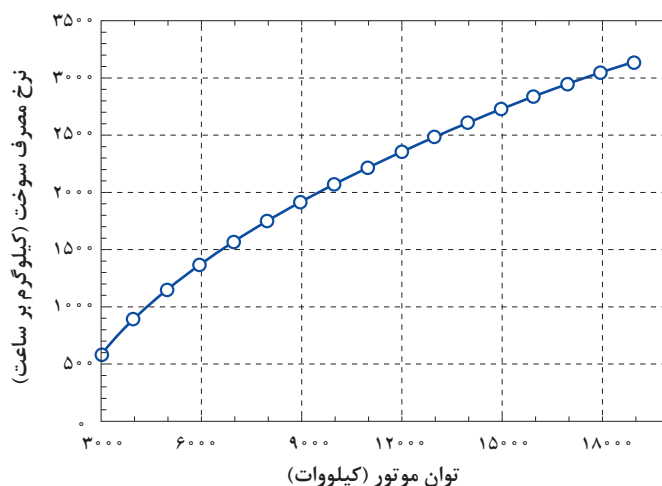


محل اتصال تیغه‌ها به توپی تیز نیست ( $R=75$ ,  $R=200$ ). و این به‌خاطر این است که استحکام پروانه در این نقاط زیاد گردد و اصطلاحاً پخ‌دار شود. در شکل سمت پایین، طول توپی و همچنین میزان خم شدن تیغه‌ها از خط عمود بر توپی نشان داده شده است. این وضعیت هندسه پروانه از آزمایش شکل گرفته است و هدف، رانش شناور 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.



## 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 می گردد. شکل زیر، یک نمونه از این نمودارهاست که برای یک نمونه موتور استاندارد دریایی ثبت شده است. داده های این موتور، به ما می گوید که در چه توانی، چه میزان سوخت مصرف می گردد. کسانی که دریا شناور را به اجاره زمانی در می آورند، از نمودار مصرف سوخت و یا جداولی به عنوان جدول مصرف سوخت، از مصرف سوخت شناور در طی دریانوردی اطمینان حاصل می نمایند چرا که بر هزینه های سفرشان تأثیر مستقیم می گذارد. معمولاً مصرف سوخت را به صورت کیلوگرم بر ساعت و یا تن بر روز در نظر می گیرند چرا که سفرهای دریایی طولانی معمولاً بیش از یک روز به طول می انجامد. علاوه بر مصرف سوخت در زمان حرکت شناور، در اسکله نیز شناور به دلیل روشن بودن ژنراتورها و احیاناً جرثقیل های روی عرشه، مقداری سوخت مصرف می نماید 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



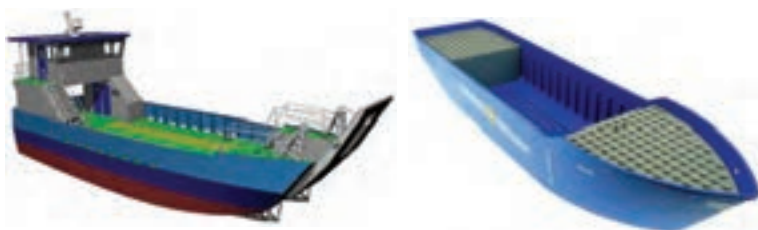
### جدول روش های کاهش مقاومت شناور

ردیف	نوع روش	نوع تأثیرگذاری
۱	بهینه سازی فرم بدنه	باعث کاهش مقاومت اصطکاکی و موج سازی می شود
۲	روانکاری با دمیدن هوا	باعث کاهش سطح خیس شده شناور می شود
۳	استفاده از پوشش های ضد خزه	مانع از چسبیدن خزه های دریایی به سطح بدنه می گردد
۴	استفاده از یک سری از ملحقات به بدنه شناور	باعث تغییر جهت گیری شناور و نیز کاهش فشار می شود
۵	تعمیرات دوره ای به موقع شناور	باعث کنده شدن ناپاکی ها و خزه ها روی سطح شناور می شود و عملکرد سامانه رانش بهبود می یابد

روش های مربوط به جدول بالا در ادامه توضیح داده می شود:

#### بهینه سازی فرم بدنه:

اگر مقاطع موازی با سطح آب دریا در شناورها را که به آن مقاطع سطح آب (waterplane area) گفته می شود به صورت فرضی ببریم، این مقاطع فرم دوکی شکل به خود می گیرند و همان گونه 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 نمی کند، ایجاد این نوع از فرم بدنه ها ضروری نیست چرا که باعث سخت تر شدن فرایند ساخت شناور و ایجاد جانمایی در شناور و همچنین گران تر شدن قیمت شناور می گردد. شکل زیر نشان دهنده دو نوع از شناورهاست که یکی لندینگ کرافت است که با سرعت پایین حرکت می کند و دیگری قایق که با سرعت بالا حرکت می کند. به دلیل سرعت پایین لندینگ کرافت، لازم نیست بدنه آن دوکی شکل ساخته شود.



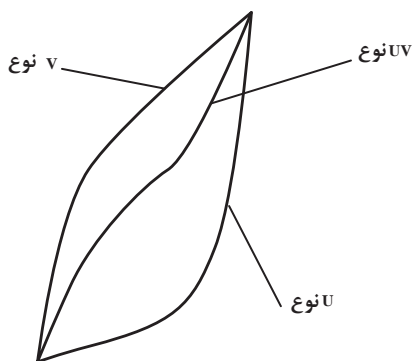
دو نوع فرم بدنه، لندینگ کرافت (سمت چپ) و یک نوع قایق (سمت راست)

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:

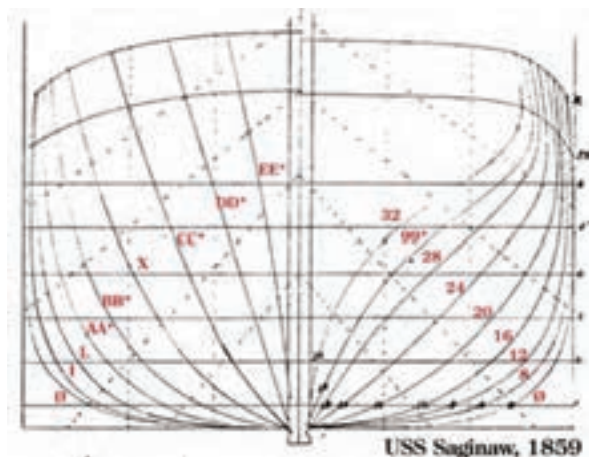
جدول ویژگی‌های سه نوع خطوط بدنه

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

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 می گردد (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 ضنائم 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، شنآوری 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 شنآوری 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.

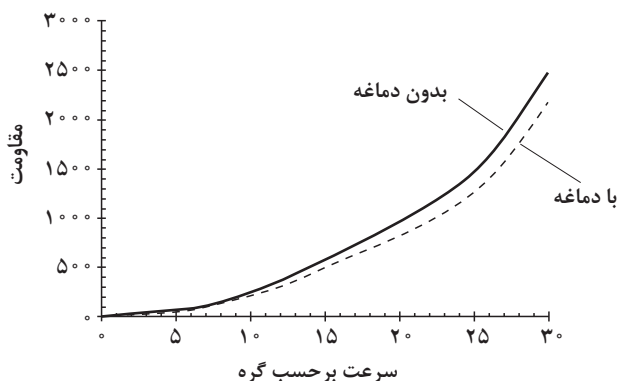


فرم بدنه معمولی شناور



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

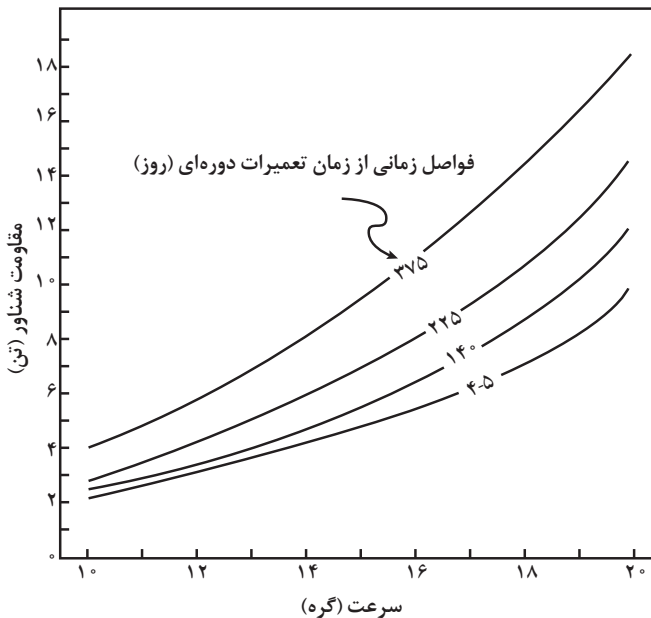
یکی دیگر از این ملحقات، هیدروفویل است. وجود هیدروفویل در بدنه شناور باعث می‌شود که شناور از سطح آب بالاتر آمده و در نتیجه سطح خیس شده کمتر و در نتیجه مقاومت هیدرودینامیکی کمتری داشته باشد. شکل زیر یک نمونه از این شناور را نشان می‌دهد که از آب تا حد زیادی بیرون آمده است. در حقیقت نقش هیدروفویل شبیه به 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.

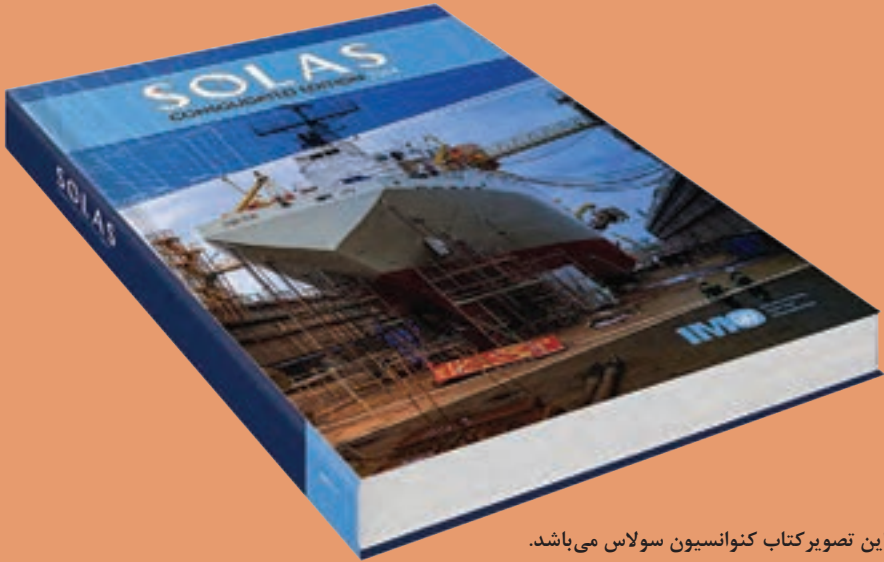


افزایش مقاومت شناور به دلیل افزایش زمان از تعمیرات دوره‌ای قبلی



## فصل ۵

### کسب اطلاعات فنی



این تصویر کتاب کنوانسیون سولاس می باشد.

نوع درس: نظری

کل ساعات: ۳۰ ساعت

ساعات نظری: ۳۰ ساعت

## اهداف کلی

هنرجو باید پس از پایان این فصل قادر باشد:

۱ نام انگلیسی دستگاه‌ها را بداند.

۲ متون فنی مربوطه را ترجمه کنند.

## روش تدریس

زبان انگلیسی به عنوان کاربردی‌ترین زبان در صنایع دریایی برای شاغلین در این صنایع اهمیت بسیاری دارد و از ارتباطات کلامی و کتبی روزانه گرفته تا مطالعه دفترچه راهنمای ماشین‌آلات همه جوانب شغلی آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نظر به این موضوع درس زبان تخصصی در مجموعه دروس هنرجویان این رشته گنجانیده شده است، همان‌گونه که از متن درس برمی‌آید هدف آموزش زبان انگلیسی صرف و یا مطالب فنی نبوده و تمرکز اصلی بر روی یادگیری اصطلاحات و اسامی انگلیسی تجهیزات بوده است.

در زیر ترجمه متن درس جهت بهره‌برداری همکاران گرامی قرار داده شده و در آن سعی بر ترجمه جملات و لغات به صورت کاربردی بوده و از ترجمه لغت به لغت و یا ترجمه سلیس به فارسی اجتناب شده است.

توصیه می‌شود در تدریس این درس از روش تداعی معانی استفاده شود به این صورت که مثلاً به جای گفتن میل لنگ یعنی crank shaft به هنرجویان میل لنگ را نشان داده و در ادامه ضمن اشاره به آن گفته شود crank shaft تا شکل قطعه و اسم آن هم زمان در ذهن هنرجو نقش ببندد.

## واحد درسی (۱): اول ایمنی

کار کردن روی کشتی جالب است شما کارهای زیادی را یاد می‌گیرید تعمیر اساسی یک پمپ، تنظیم سوپاپ‌های یک موتور، چک کردن کارایی یک موتور و خیلی کارهای دیگر تمام این کارها می‌تواند به طور ایمن و به سادگی انجام شود اگر شما قوانین ایمنی را رعایت کنید.

ایمنی یعنی محافظت از خودتان و دیگران در برابر خطرات احتمالی  
به علائم زیر که معمولاً به دیواره‌های کشتی نصب می‌شود نگاه کنید:

	آتش خاموش کن
	شیلنگ آتش‌نشانی
	جلیقه نجات
	قایق نجات
	تلفن اضطراری
	محل تجمع اضطراری
	حلقه نجات
	جان پناه دریایی
	جعبه کمک‌های اولیه
	لباس غوطه‌وری

این علائم به شما کمک می کنند تا ایمن بمانید اما کار کردن در محیط های صنعتی بالقوه خطرناک مانند موتورخانه کشتی ها نیاز به تجهیزات محافظتی ویژه دارد. برخی از این تجهیزات عبارت اند از:

	دستکش
	عینک حفاظتی
	لباس کار یکسره
	کفش ایمنی
	یراق ایمنی
	ماسک گرد و خاک
	کلاه ایمنی
	محافظ گوش

کشتی‌ها همچنین مجهز به ماشین‌آلاتی هستند برای محافظت از محیط‌زیست مانند:

	جداساز آب و روغن
	دستگاه استحاله فاضلاب
	سوزاننده زباله / لجن

تمام تجهیزات گفته شده در بالا و بسیاری دیگر در کشتی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند تا از خطرهای جلوگیری کنند.

به علاوه قوانین و مقرراتی وجود دارد که توسط سازمان‌های بین‌المللی تدوین می‌شوند مانند سازمان جهانی دریانوردی (IMO) و سازمان‌های دولتی مثل سازمان بنادر و دریانوردی جمهوری اسلامی ایران (PMO)

تبعیت از این قوانین و مقررات الزامی است و کشتی‌های تجاری باید آنها را رعایت کنند اما کشتی‌های نظامی بعضاً مستثنی هستند برای مثال کنوانسیون بین‌المللی ایمنی در دریا یک معاهده‌نامه بین‌المللی دریایی است که حداقل استانداردهای ایمنی را در رابطه با ساختمان، تجهیزات و عملیات کشتی‌های تجاری وضع می‌کنند که باید توسط سازندگان و صاحبان کشتی‌ها اجرا شوند.

<p>بلند کردن صحیح</p>  <p>Don't break yourself by breaking your back.</p>	<p>محافظت از چشم</p>  <p>You can work safely, however, you can't work with your eyes.</p>	<p>لیز خوردن و افتادن</p>  <p>When safety slips, are you?</p>
<p>با شکستن کمربان رکوردها را نشکنید</p>	<p>شما می‌توانید با پای مصنوعی راه بروید با چشم مصنوعی چه کار می‌توانید بکنید؟</p>	<p>وقتی ایمنی بلغزد شما هم می‌لغزید</p>

به یاد داشته باشید ایمنی همه چیز شما را در زندگی تحت تأثیر قرار می‌دهد پس‌ای من فکر کنید.

تکلیف



در خلال بازدید از یک کشتی از علائم ایمنی آن عکس تهیه و در کلاس خود ارائه دهید و معنی آنها را به زبان انگلیسی بیان کنید.

## واحد درسی (۲): ماشین‌های ساده

**اهرم:** یک ماشین ساده شامل یک قطعه صلب که بر روی نقطه‌ای به نام تکیه‌گاه می‌چرخد.

**چرخ و محور:** یک ماشین ساده شامل یک چرخ که بر روی یک محور دوران می‌کند.

**قرقره:** یک ماشین ساده شامل یک چرخ با شیار حاشیه دار که از میان آن یک طناب، سیم یا زنجیر عبور می‌کند و کشیده می‌شود تا شی سنگین بلند شود.

**بلوک و قرقره:** ترکیبی از یک پولی ثابت و متحرک به همراه طناب که به نام بلوک و قرقره شناخته می‌شود.

**گوه:** گوه ابزاری است به شکل مثلث در آورده شده و شامل یک سطح شیب‌دار قابل حمل است و یکی از شش ماشین ساده سنتی است. آن می‌تواند برای جداسازی دو شی از یکدیگر استفاده شود.

**سطح شیب‌دار:** یک ماشین ساده در ساده‌ترین حالت خود یک سطح با زاویه‌ای نسبت به خط افق.

**لنگ:** وسیله‌ای برای تبدیل حرکت رفت و برگشتی به حرکت دورانی و یا برعکس. پیچ: پیچ یک سطح شیب‌دار ساده پیرامون یک سیلندر است.

تمرین واژگان



۱ اهرم چیست؟

۲ چرخ و محور شامل چه چیزهایی است؟

۳ میل لنگ چه کار می‌کند؟

۴ قرقره را شرح دهید؟

۵ بلوک و قرقره چیست؟

۶ گوه چیست؟

۷ سطح شیب‌دار چیست؟

۸ پیچ را شرح دهید؟

هنگامی که یک مرد و یا زن ماقبل تاریخ (اولیه) از چوب دستی برای بلند کردن یک سنگ استفاده کرد اهرم ابداع شد آن یکی از شش ماشین ساده است که در این بخش شرح داده شد. اهرم یک میله سفت است مانند چوب دست انسان اولیه که حول نقطه‌ای به نام تکیه‌گاه می‌گردد وقتی که نیرو به نقطه ابتدا (اهرم) اعمال گردد این نیرو به نقطه ثانویه (محل نیروی مقاوم) منتقل می‌گردد جایی که در آن کار صورت می‌پذیرد.



دسته گریس پمپ یک مثال از اهرم است.

چرخ و محور دوم این نوع از ماشین‌های ساده است محور یک شفت است که چرخ می‌تواند حول آن بچرخد ترکیب چرخ و محور اولین بار حدود پنج هزار سال پیش استفاده شد برای حمل و نقل و بالا آوردن آب از چاه‌ها امروزه موارد استفاده بی‌شماری برای چرخ وجود دارد و یکی از آنها چرخ سکان کشتی است.



چرخ سکان یک کشتی بادبانی



چرخ سکان یک کشتی مدرن



چرخ آبی

با توسعه لنگ ظرفیت‌های بالقوه چرخ توسعه پیدا کرد لنگ وسیله‌ای است که می‌تواند حرکت را انتقال دهد یا حرکت دورانی را به رفت و برگشتی و برعکس تبدیل کند برای مثال یک چرخ آبی می‌تواند برای اهرم کردن چوب مورد استفاده قرار بگیرد.

سومین ماشین ساده قرقره است در ساده ترین شکل خودش شامل یک چرخ است با شکاری در دور تا دور سطح خارجی خودش که طناب سیم یا زنجیر می تواند از میان آن عبور کند این وسیله ساده در زمان های قدیم مورد استفاده بود برای کارهایی مانند بالا آوردن آب از چاه و برافراشتن بادبان کشتی ها. قرقره ای که در درون یک محفظه قرار گرفته باشد بلوک نامیده می شود وقتی که یک بلوک ثابت با یک بلوک متحرک که به آن وزن (بار) متصل شده به کار گرفته شود به این وسیله بلوک و قرقره می گویند. سه ماشین ساده باقی مانده بسیار به یکدیگر مرتبط هستند به گونه ای که گاهی با هم در یک گروه قرار می گیرند آنها گوه، سطح شیب دار و پیچ هستند گوه یک سه وجهی است با دو سطح اصلی که با یک زاویه تیز با همدیگر تقاطع می کنند. یکی از کاربردهای گوه این است که از آنها برای ایجاد شکافتگی و یا جداسازی استفاده می شود.

سطح شیب دار یک عامل مهم است که مورد توجه مهندسین عمران می باشد به هنگامی که یک بزرگراه یا راه آهن را طراحی می کنند یک مهندس مکانیک بیشتر اوقات از پیچ استفاده می کند.

یک شکل مارپیچی از سطح شیب دار که اغلب برای بستن قطعات به همدیگر استفاده می شود.

پیچ کاربردهای خیلی زیادی در ماشین های مدرن دارد که لیست کردن همه آنها غیر ممکن است اما یکی که به شدت جالب است حرکت دورانی پروانه کشتی است که همان طور که می پیچد، راهش را در درون آب باز می کند و کشتی را به جلو حرکت می دهند.

#### گفت و گو



- ۱ وقتی مرد یا زن ماقبل تاریخ یک سنگ را با چوب دستی بلند کرد چه ماشینی مورد استفاده بود؟
  - ۲ یک لنگ چه کار می کند؟
  - ۳ سومین نوع ماشین ساده چیست؟
  - ۴ بلوک و قرقره چه کار می کنند؟
  - ۵ ماشین های ساده باقی مانده که گاهی با هم در یک گروه دسته بندی می شوند کدام هستند؟
  - ۶ پروانه یک کشتی چگونه حرکتی دارد؟ نتیجه این حرکت چیست؟
- کلمات را در سمت چپ با شرح آنها در سمت راست تطبیق دهید:



Block and tackle	A combination of a fixed and movable block
Pulley	A wheel with grooved surface through which a rope, wire, or chain passes
Axle	A shaft on which a wheel rotates
Crank	A bent shaft or arm for transmitting motion changing reciprocating to rotary motion or the opposite
Fulcrum	The point on which the lever turns
Lever	A machine consisting of a rigid bar that turns on a point
Wedge	A triangle of material tapering to a thin edge
Block	A pulley contained in a hosing

### واحد درسی (۳): موتور احتراق داخلی

**موتور چهار زمانه:** موتور چهار زمانه یک موتور احتراق داخلی است به گونه ای که پیستون در حالی که میل لنگ را می چرخاند چهار کورس مجزا را کامل می کند.  
**میل لنگ:** میل لنگ یک قطعه مکانیکی است که در موتورهای رفت و برگشتی حرکت رفت و برگشتی را به حرکت گردشی تبدیل می کند.

**میل بادامک:** میل بادامک یک شفت است که مجهز شده به (برجستگی هایی به نام) بادامک برای کنترل سوپاپ هایی که اجازه ورود و خروج گاز به سیلندر را می دهند.

**سیلندر:** سیلندر یک قطعه مرکزی در کارکرد موتور رفت و برگشتی است که پیستون در آن حرکت می کند.

**میله متصل کننده (شاتون):** میله متصل کننده (شاتون) یک شفت است که پیستون را به میل لنگ متصل می کند.

**سرسیلندر:** یک قطعه ریخته گری شده از فلز و قابل جدا شدن که به بالای بلوک سیلندر نصب می شود در یک موتور (سرسیلندر) شامل بخشی از محفظه احتراق است و در بیشتر موتورهای سوپاپ ها و مکانیسم عملکرد آنها را در خود جای داده است.

**شمع جرقه زنی:** وسیله ای که شامل یک جفت الکترود و یک عایق است و فاصله لازم برای جرقه در سیلندر موتور را فراهم می کند.

**کاربراتور:** وسیله ای که در آن بنزین تبدیل به بخار و سپس با هوا مخلوط می شود.



- ۱ کاربراتور چه کار می کند؟
- ۲ شمع جرقه زنی چه کار می کند؟
- ۳ میل بادامک چه کار می کند؟
- ۴ میل لنگ چه کار می کند؟
- ۵ سرسیلندر را تشریح کنید؟
- ۶ موتور چهار زمانه را شرح دهید؟

احتراق کلمه‌ای است برای آتش زدن یا عمل سوختن. موتور احتراق داخلی موتوری است که سوختن در داخل موتور اتفاق می‌افتد. یک موتور بخار از آتش درون بویلر به جای درون موتور استفاده می‌کند به این دلیل موتورهای بخار گاهی موتور احتراق خارجی نامیده می‌شود.

امروزه بیشتر موتور کشتی‌ها موتورهای احتراق داخلی هستند. دو نوع (از این موتورها) وجود دارد رفت و برگشتی و دوار رفت و برگشتی یعنی حرکت رو به بالا و پایین یا جلو و عقب. تقریباً در تمام کشتی‌ها محرک ژنراتورها از نوع رفت و برگشتی هستند به این نوع موتورها موتورهای پیستونی می‌گویند.

موتورهای دوار دارای قسمت گردنده‌ای هستند که می‌گردد یا دوران می‌کند توربین بخار یک نمونه از موتورهای احتراق داخلی دوار است.

دو نوع موتور پیستونی وجود دارد (موتور بنزینی) spark ignition و (موتور دیزلی) compression ignition (که) خیلی شبیه به یکدیگر هستند هر دو دارای پیستون‌هایی‌اند که در درون سیلندر به بالا و پایین حرکت می‌کنند و از طریق شاتون به میل‌لنگ متصل هستند.

اختلاف بین این دو (موتور) اینها هستند:

- نوع سوختی که استفاده می‌کنند
- روشی که سوخت به درون سیلندر می‌رسد
- روشی که سوخت محترق می‌شود

موتور spark ignition (بنزینی) سوختی بسیار فرار استفاده می‌کند مثل بنزین که به سادگی به بخار تبدیل می‌شود و این وظیفه کاربراتور است که نسبت صحیحی از هوا - سوخت را مهیا کند. این مخلوط از طریق سوپاپ هوا وارد سیلندر شده و فشرده می‌شود سپس یک جرقه الکتریکی تولید شده توسط سامانه جرقه‌زنی باعث احتراق در درون محفظه احتراق می‌گردد قطعات اصلی سامانه جرقه‌زنی شامل شمع جرقه‌زنی تقسیم کننده جرقه (دلکو) و کوئل است.

در موتور compression ignition یا دیزلی هوا به تنهایی به داخل سیلندر کشیده می‌شود سپس سوخت به داخل محفظه احتراق تزریق (اسپری) می‌شود عمل تزریق سوخت توسط پمپ سوخت، لوله‌های فشار بالا و انژکتور انجام می‌شود بقیه قطعات

مثل سامانه عملکرد سوپاپ‌ها و سامانه خنک‌کننده و غیره اغلب یکسان هستند.

#### بحث و گفتگو

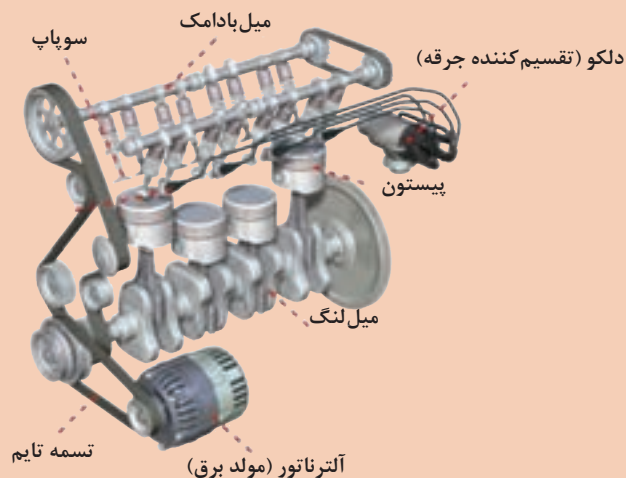


- ۱ چرا گاهی موتور بخار به نام موتور احتراق خارجی خوانده می‌شوند؟
- ۲ چگونه یک موتور بخار تفاوت خود را از یک موتور احتراق داخلی نشان می‌دهد؟
- ۳ نام سه قطعه اصلی موتور چهار زمانه را بگویید.
- ۴ موتور دیزل بر چه اصلی کار می‌کند؟
- ۵ فرق بین موتورهای بنزینی و دیزل چیست؟

#### بررسی



- ۱ combustion کلمه‌ای به معنی آتش و سوختن.
- ۲ در یک موتور ۴-strok پیستون دو حرکت رو به بالا و دو حرکت رو به پایین دارد.
- ۳ بنزین به بخار تبدیل و با هوا مخلوط می‌شود در carburetor.
- ۴ valve operating mechanism باز و بسته شدن سوپاپ‌ها را در سیلندر کنترل می‌کند.
- ۵ در موتور احتراق داخلی یا سوختن در درون موتور صورت می‌گیرد.
- ۶ یک موتور احتراق داخلی که هوا را فشرده می‌کند تا چنان گرم شود که وقتی سوخت به داخل سیلندر تزریق می‌شود انفجار رخ دهد به نام موتور compression\_ignition شناخته می‌شود.
- ۷ قطعات موتور احتراق داخلی شکل زیر را نام‌گذاری کنید.



## واحد درسی (۴): انواع کشتی‌ها

کشتی‌ها دارای گوناگونی زیادی‌اند و دسته‌بندی تمامی آنها مشکل است اما سه نوع اصلی عبارت‌اند از:

■ کشتی‌های نظامی

■ کشتی‌های تجاری

■ کشتی‌های بادبانی

هر کدام از انواع بالا بر اساس نوع کاربری می‌توانند به گروه‌های کوچک‌تری تقسیم شوند برخی از این گروه‌ها عبارت‌اند از:

کشتی‌های نظامی که یا جنگی هستند و یا کشتی‌ها پشتیبانی کشتی جنگی می‌تواند بر اساس نوع و کلاس خود تقسیم‌بندی شود. عبارت تایپ (نوع) کشتی‌ها را براساس منظور ساخت آنها تقسیم‌بندی می‌کند برای مثال «جماران» یک ناوشکن ساخت ایران است و «خارک» یک کشتی پشتیبانی است که به منظور پشتیبانی از کشتی‌های جنگی در دریا طراحی شده است.

کشتی‌های تجاری با توجه به هدف از ساخت آنها می‌توانند تقسیم‌بندی شوند برای مثال کشتی‌های لوله‌گذار برای کار گذاشتن لوله در بستر دریا ساخته شده‌اند و کشتی‌های باری به منظور حمل بار برخی از انواع اصلی کشتی‌های باری عبارت‌اند از:

**کانتینر بر:** کشتی‌هایی که طراحی شده‌اند برای حمل بارهای مکعبی شکلی به نام کانتینر

**فله بر:** کشتی‌های اختصاصاً طراحی شده به منظور حمل بارهایی به صورت غیر بسته‌بندی و فله مانند دانه‌های گیاهی - زغال سنگ - پودر آهن و سیمان

**کشتی‌های حمل کالای عمومی:** کشتی‌های طراحی شده برای حمل همه انواع بارهای خشک

**کشتی‌های یخچالی:** برخی بارها مانند موز و گوشت نیازمند سرد کردن هستند تا در طول زمان حمل کیفیت آنها حفظ شود فضای انبار کشتی‌های ساخته شده برای این تجارت عایق و سرد شده‌اند برای مناسب‌ترین دمای آن بار خاص

**تانکرها:** کشتی‌های طراحی شده برای حمل یا ذخیره مایعات و یا گازها به صورت فله. انواع اصلی کشتی‌های تانکر شامل تانکرهای نفت، مواد شیمیایی و گاز هستند.

**کشتی‌های مسافربری:** کشتی‌هایی که منظور از ساخت آنها حمل نفرات به عنوان مسافر است اما برخی اوقات خودرو یا بار هم حمل می‌کنند.

**کشتی بادبانی:** کشتی‌هایی که معمولاً برای آموزش و یا تفریح استفاده می‌شوند اما ممکن است مورد استفاده محققین هم باشند.

با تحقیق در اینترنت منظور از ساخت کشتی‌های زیر را پیدا کنید و در کلاس خود

به زبان انگلیسی ارائه دهید.

**کشتی‌های رو رو:** به منظور حمل خودرو به نحوی که خودرو با پای خود به کشتی وارد و از آن خارج شود.

**کشتی‌های حمل دام زنده:** که کشتی امکانات حمل دام به صورت زنده را در خود دارد.

**کشتی‌های نجات:** منظور از این کشتی‌ها نجات سایر کشتی‌هایی است که به هر دلیل در دریا از کار افتاده و متوقف شده‌اند.

**کشتی‌های صنعتی:** این گونه کشتی‌ها به صورت یک کارخانه شناور عمل می‌کنند مثلاً ماهی را پس از صید به کنسرو تبدیل کرده و یا نفت را پس از استخراج تا حدودی فراوری کرده و سپس به خشکی منتقل می‌کنند.

**کشتی‌های ماهیگیری:** وظیفه صید انواع ماهی‌ها را به عهده دارند.

کشتی‌های مسافری که در مسافت کوتاه اقدام به حمل مسافر می‌کنند.

- ۱ استاتیک و دینامیک مقدماتی، وحید طاووسی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۳.
- ۲ کتاب جامع مهندسی معماری دریایی، محمد مونسان، انتشارات پژوهش، ۱۳۹۱.
- ۳ کتاب تعادل کشتی، محمود سالاری، انتشارات مرکز برنامه ریزی و تألیف کتاب‌های درسی سپاه.
- ۴ برنامه درسی رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۵ استاندارد شایستگی حرفه رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۶ استاندارد ارزشیابی حرفه رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۷ راهنمای عمل طراحی و تألیف بسته تربیت و یادگیری رشته‌های فنی و حرفه‌ای. (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۸ SHIPCONSTRUCTION", D.J.EYRES", SEVENTH EDITION", 1991
- ۹ MERCHANT SHIP CONSTRUCTION "H.J PURSEY", FOURTH EDITION", 1994
- ۱۰ LLOYD'S REGISTER RULE 2017
- ۱۱ Principles of Naval Architecture" E.V.Lewis" 1988, Vol.III, SNAME
- ۱۲ Methodical Experiments with models of Single Screw Merchant Ships", F.H.Todd," 1963
- ۱۳ Marine propellers and propulsion", J.S. Carlton,"2007, Elsevier publications
- ۱۴ ENGLISH FOR SEAFARERS "NIBET-KUTZ-LOGIE P",UBLISHED BY MARLINS
- ۱۵ Engineering Mechanics Statics, 7<sup>th</sup> edition, J. L. Meriam, John Wiley & Sons, Inc.2011.
- ۱۶ Engineering Mechanics Dynamics, 6<sup>th</sup> edition, J. L. Meriam, John Wiley & Sons, 2010.



ارگان‌ها و مؤسساتی که در فرایند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت داشته‌اند:  
۱ اداره کل امور دریایی و سازمان‌های تخصصی بین‌المللی سازمان بنادر و دریانوردی

۲ مؤسسه آموزشی کشتی‌رانی جمهوری اسلامی ایران

۳ نیروی دریایی راهبردی ارتش جمهوری اسلامی ایران

۴ نیروی دریایی سپاه پاسداران انقلاب اسلامی ایران

۵ مرزبانی نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران

۶ دبیرخانه کشوری هنرستان‌های علوم و فنون دریایی

هنرآموزان محترم، می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را درباره مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران -

صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام‌نگار [tvoccd@roshd.ir](mailto:tvoccd@roshd.ir) ارسال نمایند.

وبگاه: [tvoccd.oerp.ir](http://tvoccd.oerp.ir)

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش