بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

دانش فنی تخصصی

رشتهٔ مکانیک موتورهای دریایی

گروه تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایهٔ دوازدهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: دانش فنی تخصصی (رشتهٔ مکانیک موتورهای دریایی) ـ ۲۱۲۲۲۴

پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: ارسلان اقدامی، عبدالرضا باباخانی، مصطفی ربیعی، مصطفی زنگنه، بیژن شعبانی چاله‌سرایی، کریم اکبری وکیل‌آبادی، جلیل محمولی اسدآبادیان، فرهاد میریانی و محمدرضا نخعی امرودی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
مصطفی زنگنه، ارسلان اقدامی، عبدالرضا باباخانی، بیژن شعبانی چاله‌سرایی، جلیل محمولی اسدآبادیان، کریم اکبری وکیل آبادی و محمد رضا نخعی امرودی (اعضای گروه تألیف) ـ عزت‌الله خیرالله(ویراستار ادبی) ـ سید عباس کاظمی(ویراستار زبان)

مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) ـ صبا کاظمی‌دوانی (طراح جلد)ـ پرویز معزز (صفحه‌آرا)

نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)**تلفن:** ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، **دورنگار:** ۸۸۳۰۹۲۶۶، **کد پستی:** ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹ **وب سایت:** www.chap.sch.ir

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)
تلفن: ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، **دورنگار:** ۴۴۹۸۵۱۶۰/ **صندوق پستی:** ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ سوم ۱۳۹۹

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هر گونه 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.

شابک ۸- ۳۱۵۱ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 - 964 - 05 - 3151-8**

ملت شریف ما اگر در این انقلاب بخواهد پیروز شود باید دست از آستین برآرد و به کار بپردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و باغستان‌ها تا آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.

امام خمینی «قُدِّسَ سِرُّهُ»

فهرست

پودمان ۱:استاتیک و دینامیک کاربردی

واحد یادگیری ۱: استاتیک و دینامیک کاربردی ۲

ارززشیابی شایستگی : استاتیک و دینامیک کاربردی ۵۰

پودمان ۲: اصول بررسی ساختمان کشتی

واحد یادگیری ۲: اصول بررسی ساختمان کشتی ۵۲

ارزشیابی شایستگی : اصول بررسی ساختمان کشتی ۸۴

پودمان ۳: بررسی اصول تعادل کشتی

واحد یادگیری ۳: بررسی اصول تعادل کشتی ۸۶

ارزشیابی شایستگی : بررسی اصول تعادل کشتی ۱۱۲

پودمان ۴: بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی

واحد یادگیری ۴: بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی ۱۱۴

رزشیابی شایستگی : بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی ۱۴۲

پودمان ۵: کسب اطلاعات فنی

واحد یادگیری ۵: کسب اطلاعات فنی ۱۴۴

ارزشیابی شایستگی : کسب اطلاعات فنی ۱۷۷

سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی بر اساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌های درسی تغییر رویکرد آموزشی، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار در محیط واقعی بر اساس استاندارد عملکرد تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی ـ حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی درنظر گرفته شده است:

۱ـ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند کار بر روی شناورها.

۲ـ شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند مسئولیت‌پذیری، نوآوری و مصرف بهینه انرژی.

۳ـ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها و انواع شبیه‌سازها.

۴ـ شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر.

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف برای هر یک از کتاب‌های درسی در هر رشته است.

درس دانش فنی تخصصی، از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که ویژه رشتهٔ مکانیک و موتورهای دریایی برای پایه ۱۲ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های فنی و غیرفنی این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و توسعه آن بر اساس جدول توسعه حرفه‌ای بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

این کتاب نیز شامل پنج پودمان است. هنرجویان عزیز پس از طی فرایند یاددهی ـ یادگیری هر پودمان می‌توانند شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنند. در پودمان «کسب اطلاعات فنی» هدف توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای شما بعد از اتمام دوره تحصیلی در مقطع کنونی است تا بتوانید به درک مطالب از منابع غیر فارسی در راستای یادگیری

در تمام طول عمر گام بردارید. در دنیای متغیر و متحول کار و فناوری اطلاعات خود را به‌روزرسانی کنید. هنرآموز محترم شما مانند سایر دروس این خوشه برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نماید. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی مجدد تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. در کارنامه شما این درس شامل ۵ پودمان درج شده که هر پودمان از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی تشکیل می‌شود و چنانچه در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید، لازم است در همان پودمان مورد ارزشیابی قرار گیرید. همچنین این درس دارای ضریب ۴ بوده و در معدل کل شما بسیار تأثیر می‌گذارد. همچنین در کتاب همراه هنرجو واژگان پرکاربرد تخصصی در رشته تحصیلی-حرفه‌ای شما آورده شده است.کتاب همراه هنرجوی خود را هنگام یادگیری، آزمون و ارزشیابی همراه داشته باشید. در این درس نیز مانند سایر دروس اجزایی دیگر از بسته آموزشی در نظر گرفته‌شده است و شما می‌توانید با مراجعه به وب‌گاه رشتهٔ خود با نشانی www.tvoccd.oerp.ir از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی مانند مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط‌زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی، طراحی و در کتاب درسی و بستهٔ آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به‌کار گیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرآموزان

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و تغییرات سریع عصر فناوری و نیازهای متغیر جامعه بشری و دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته مکانیک و موتورهای دریایی بازطراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. این کتاب و درس از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که در سبد درسی هنرجویان برای سال دوازدهم تدوین و تألیف شده است. مانند سایر دروس شایستگی و کارگاهی دارای ۵ پودمان می‌باشد. کتاب دانش فنی تخصصی مباحث نظری و تفکیک شده دروس کارگاهی و سایر شایستگی‌های رشته را تشکیل نمی‌دهد بلکه پیش نیازی برای شایستگی‌های لازم در سطوح بالاتر صلاحیت حرفه‌ای ـ تحصیلی می‌باشد. هدف کلی کتاب دانش فنی تخصصی آماده‌سازی هنرجویان برای ورود به مقاطع تحصیلی بالاتر و تأمین نیازهای آنان، در راستای محتوای دانش نظری است. یکی از پودمان‌های این کتاب با عنوان «کسب اطلاعات فنی» با هدف یادگیری مادام‌العمر و توسعه شایستگی‌های هنرجویان بعد از دنیای آموزش و ورود به بازار کار، ساماندهی محتوایی شده است. این امر با آموزش چگونگی استخراج اطلاعات فنی مورد نیاز از متون فنی غیر فارسی و جداول، راهنمای ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی، دستگاه‌های اداری، خانگی و تجاری و درک مطلب آنها در راستای توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای محقق خواهد شد. تدریس کتاب در کلاس درس به‌صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می‌گیرد.

به مانند سایر دروس هنرآموزان گرامی برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد و نمره هر پودمان از دو بخش ارزشیابی پایانی و مستمر تشکیل می‌شود. این کتاب مانند سایر کتاب‌ها جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ برخی از فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. در هنگام ارزشیابی استاندارد عملکرد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند.

کتاب دانش فنی تخصصی شامل پودمان‌هایی به شرح زیر است:

پودمان اول: استاتیک و دینامیک کاربردی

پودمان دوم: اصول بررسی ساختمان کشتی

پودمان سوم: «بررسی اصول تعادل کشتی»

پودمان چهارم: بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی

پودمان پنجم: کسب اطلاعات فنی

هنرآموزان گرامی در هنگام یادگیری و ارزشیابی، هنرجویان بایستی کتاب همراه هنرجو را با خود داشته باشند.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

پودمان ۱

استاتیک و دینامیک کاربردی

واحد یادگیری ۱
استاتیک و دینامیک کاربردی

آیا تاکنون پی‌برده‌اید:

- ضرب خارجی و داخلی بردارها به چه صورت انجام می‌شود؟
- روش حل مسائل مربوط به تعادل چگونه هست؟
- روش‌های تجزیه وتحلیل نیروها در اجزای خرپا چگونه است؟
- رابطهٔ سرعت خطی و زاویه‌ای چیست؟
- نحوهٔ محاسبهٔ گشتاور در موتورهای الکتریکی چگونه خواهد بود؟
- ماشین‌های سادهٔ مکانیکی کدام‌اند و محاسبهٔ نیروها در این ماشین‌ها چگونه خواهد بود؟

استاندارد عملکرد

در پایان این پودمان انتظار داریم هنرجویان بتوانند نیروهای ایجادشده در خرپاها و ماشین‌های سادهٔ مکانیکی را محاسبه کرده و راندمان را در این ماشین‌ها به دست آورند.

مقدمه

در فیزیک پایهٔ دهم با کمیت‌های نرده‌ای و برداری آشنا شده‌اید. همان‌طور که آموخته‌اید، برای نشان دادن کمیت‌های نرده‌ای یا اسکالر تنها نیاز به اندازه و یکای مناسب می‌باشد که کار، جرم، دما، فاصله و تندی جزء این کمیت‌ها می‌باشند.

امّا کمیت‌های برداری، علاوه بر اندازه و یکای مناسب، راستا و جهت نیز دارند. سرعت و نیرو جزء کمیت‌های برداری هستند. به‌عنوان مثال فاصله جزیرهٔ کیش تا بندرعباس ۱۰ مایل (۲۰ کیلومتر) است. اما آیا به نظر شما برای طی کردن این مسافت دریایی (جزیرهٔ کیش تا بندرعباس) دانستن فاصله به تنهایی کافی است؟ مسلماً برای دانستن موقعیت این دو بندر نسبت به هم لازم است، طول و عرض جغرافیایی هر دو و یا راستا و جهت حرکت از بندری به بندر دیگر مشخص شود. به همین دلیل است که در کشتی‌ها از وسایل جهت‌یابی مختلفی مثل قطب‌نما استفاده می‌شود.

در جدول زیر، کمیت‌های برداری و نرده‌ای را که در این کتاب کاربرد دارند، فهرست شده‌اند.

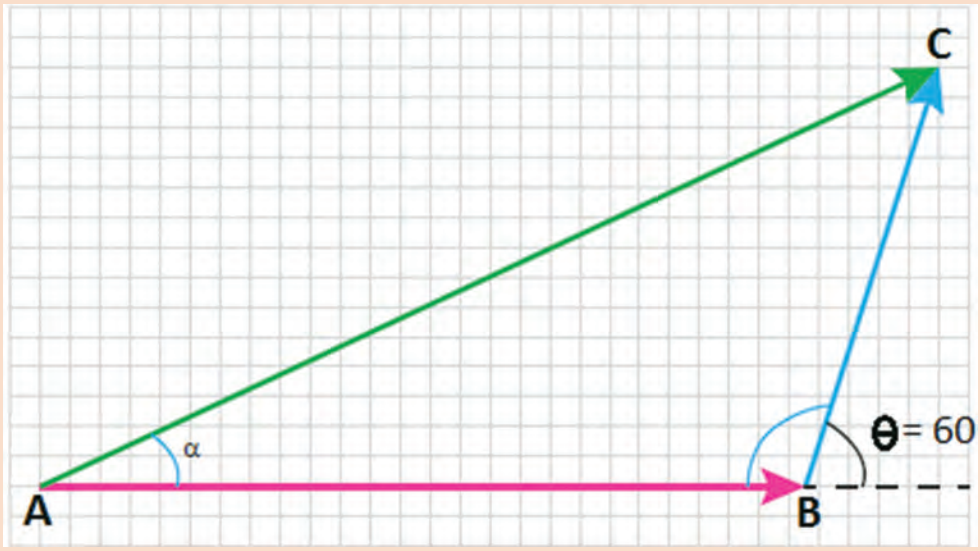
کمیت	نوع	واحد	نماد
نیرو	برداری	N نیوتن	$\vec{F}$
زمان	نرده‌ای	s ثانیه	t
شتاب	برداری	$m.s^{-2}$ متر بر مجذور ثانیه	$\vec{a}$
سرعت	برداری	$m.s^{-1}$ متر بر ثانیه	$\vec{v}$
تندی	نرده‌ای	$m.s^{-1}$ متر بر ثانیه	V
مسافت	نرده‌ای	m متر	s یا d
جابه‌جایی	برداری	m متر	$\vec{\Delta R}$

تمرین

کشتی حامل بار از جزیرهٔ A به اندازه ۳۰ کیلومتر در جهت شرق حرکت کرده و به جزیرهٔ B می‌رسد و بعد از آن ۴۰ کیلومتر در جهت شمال و به سمت شرق (با زاویهٔ ۶۰ درجه نسبت به شرق) حرکت کرده و به جزیرهٔ C می‌رسد. (شکل ۱)

۱ بردار جابه‌جایی AC را محاسبه کنید.

۲ اگر کشتی بخواهد به‌طور مستقیم از جزیرهٔ A به جزیرهٔ C برود، باید با چه زاویه‌ای نسبت به‌محور افق حرکت کند و چه مسافتی را طی کند؟



شکل ۱ـ مسیر حرکت کشتی حامل بار از جزیرهٔ A به جزیرهٔ C

با جمع و تفریق بردارها و تجزیه آن در ریاضی پایهٔ هشتم و فیزیک پایهٔ دهم آشنا شده‌اید. برای محاسبهٔ بردار جابجایی، مسافت بین دو جزیرهٔ A و C و زاویهٔ حرکتی کشتی از روش تجزیه بردارها و متوازی‌الاضلاع استفاده می‌کنیم.

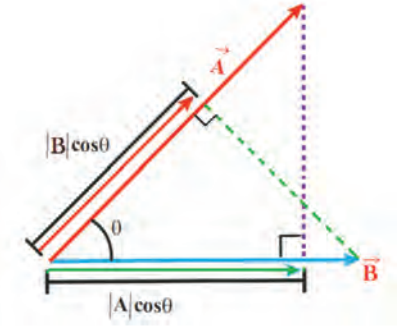
ضرب بردارها

برای ضرب یک بردار در بردار دیگر، دو روش وجود دارد: در یک روش یک اسکالر تولید می‌شود (ضرب داخلی یا اسکالر) و در دیگری یک بردار جدید حاصل می‌شود (ضرب خارجی یا برداری)

ضرب داخلی

ضرب داخلی بردارهای A و B در شکل (۲) نشان داده است و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\vec{A}.\vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\,Cos(\theta)$$



شکل ۲ـ ضرب داخلی دو بردار

که در آن |A| بزرگی بردار A ، |B| بزرگی بردار B و θ زاویهٔ بین دو بردار است.
ضرب نقطه‌ای را می‌توان همانند یک ضرب دو کمیت در نظر گرفت: ۱ـ بزرگی یکی از بردارها و ۲ـ مؤلفهٔ اسکالر بردار دوم در راستای بردار اول. برای مثال در شکل ۲، مؤلفهٔ اسکالر بردار A در راستای بردار B برابر با |A|Cosθ است و مشابه آن، مؤلفهٔ اسکالر بردار B در راستای A برابر است با |B|Cosθ است.
به عبارت دیگر می‌توانیم بنویسیم:

$$\vec{A}.\vec{B} = (|\vec{A}|)(|\vec{B}|\,Cos(\theta)) = (|\vec{B}|)(|\vec{A}|\,Cos(\theta))$$

اگر زاویهٔ بین دو بردار ۰° باشد، مؤلفهٔ یکی از بردارها در راستای بردار دیگر، بیشینه است و بنابراین حاصل ضرب اسکالر آنها نیز بیشینه خواهد بود. اگر زاویهٔ بین دو بردار ۹۰° باشد، مؤلفهٔ یکی از بردارها در راستای بردار دیگر صفر است، بنابراین حاصل‌ضرب اسکالر آنها نیز صفر خواهد بود. است.
با به‌کارگیری اصل جابه‌جاپذیری برای ضرب اسکالر می‌توانیم بنویسیم:

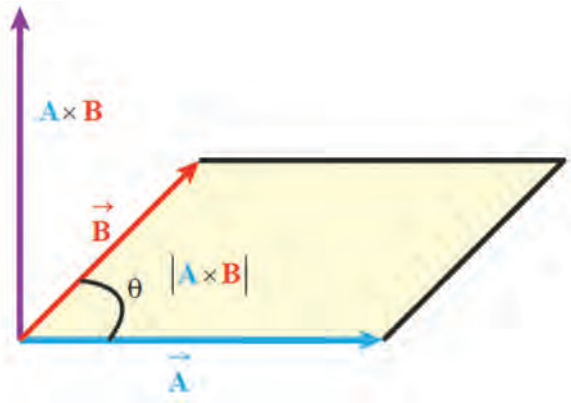
$$\vec{A}.\vec{B} = \vec{B}.\vec{A}$$

ضرب خارجی

ضرب خارجی بردارهای A و B که با A×B نشان داده می‌شود یک بردار سوم C تولید می‌کند که بزرگی آن برابر است با:

$$|\vec{C}| = |\vec{A}\times\vec{B}| = |\vec{A}||\vec{B}|\,Sin(\theta)$$

در اینجا θ زاویهٔ بین دو بردار است.
مطابق شکل ۳، این اندازه برابر است با مساحت متوازی‌الاضلاع تشکیل‌شده توسط دو بردار.

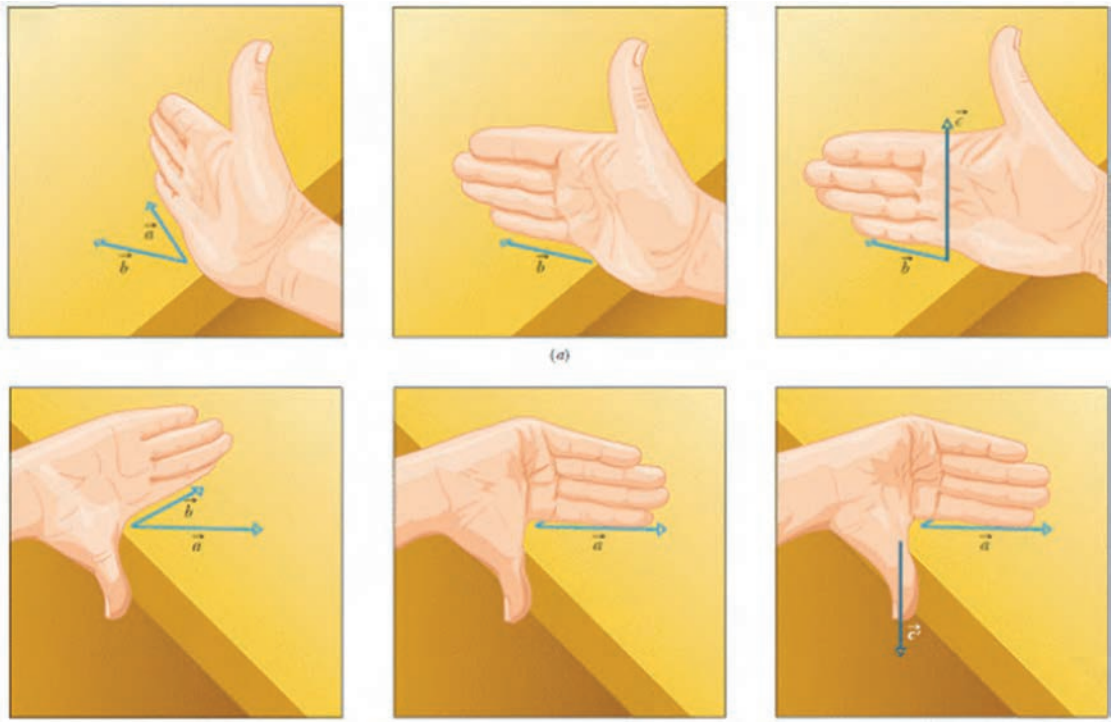


«اگر بردارهای A و B موازی یا پاد موازی باشند، حاصل‌ضرب برداری آنها صفر است. بزرگی ضرب خارجی بردارهای A×B، هنگامی بیشینه است که دو بردار A و B برهم عمود باشند.»

ما می‌توانیم از قاعدهٔ دست راست برای مشخص کردن جهت بردار C در ضرب خارجی بردار C = A×B استفاده می‌کنیم. اگر چهار انگشت دست راست در جهت مثبت بردار A قرار داشته و به‌طرف بردار B خم شوند، جهت شست دست راست در حالت کشیده در جهت بردار C قرار می‌گیرد.

توجه داشته باشید که ترتیب بردارها، در ضرب خارجی مهم است. در شکل ۴، ما جهت بردار C = B×A را تعیین کرده‌ایم. در این شکل جهت شست در خلاف جهت قبلی است، بنابراین باید داشته باشیم:

$$\vec{A}\times\vec{B} = -(\vec{B}\times\vec{A})$$



شکل ۴ـ نحوه به دست آوردن جهت ضرب خارجی دو بردار

شاید برای درک بهتر ضرب داخلی و خارجی بتوان این مثال را ذکر کرد. در بحث کار و انرژی، مقدار کار در اصل نوعی حاصل‌ضرب بردارهای جابه‌جایی و نیرو است. مقدار کار به دست آمده از این طریق یک بردار نیست و بلکه یک کمیت نرده‌ای است. به این نوع ضرب، ضرب داخلی می‌گویند. در مورد گشتاور که دردانش فنی پایهٔ دهم با آن آشنا شدید، در ضربی مشابه بحث کار و انرژی، از ضرب خارجی یا برداری استفاده می‌شودکه حاصل‌ضرب آن همان گشتاور است که یک بردار است.

نیرو

در کتاب‌های فیزیک و دانش فنی پایهٔ دهم با مباحث نیرو و قوانین نیوتن آشنا شدید. زمانی که به یک جسم نیرو وارد می‌شود، این نیرو باعث تغییر سرعت و جابه‌جایی آن جسم خواهد شد.
اگر نیروی وارد شده بر جسم نتواند آن جسم را جابه‌جا کند، کار انجام یافته توسط نیرو صفر خواهد بود؛ در حالی که مطابق شکل (۵) اگر این نیرو، باعث جابه‌جای جسم شود کاری انجام‌شده است که مقدار کار انجام‌شده بر روی جسم از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$W = Fd\cos\theta$$

جسم در جهت نیرو، به اندازهٔ d جابه‌جا شده است.

شکل ۵ـ انجام کار W برای جابه‌جایی جعبه به مسافت d

تمرین

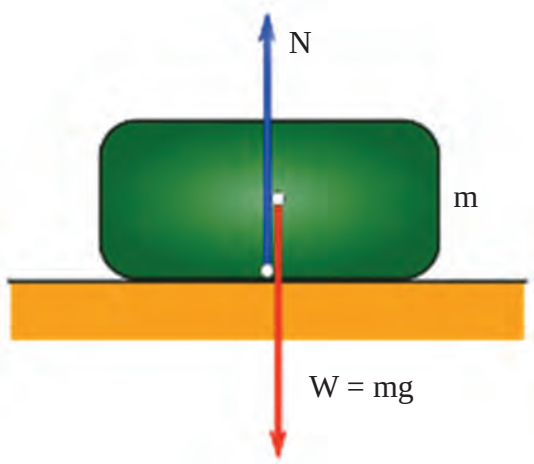
برای حمل ۵۰۰۰ تن زغال سنگ بین دو جزیرهٔ A و B به مسافت ۲۰ کیلومتر، از یک یدک‌کش استفاده‌شده که با دو طناب به قطر و طول ۱۰m به بارج وصل شده است. اگر یدک‌کش با نیروی ۲۰ کیلو نیوتن بارج را یدک کند.

۱ کار انجام‌شده توسط یدک‌کش چه مقدار است؟

۲ در صورتی که فاصلهٔ 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؟

اگرچند نیروی مختلف به یک جسم وارد شود و برآیند نیروهای وارد بر این جسم برابر صفر باشد آن جسم در حال تعادل است.
شکل (۶) یک شیء را بر روی میز نشان می‌دهد. شیء در حال حرکت نیست. دلیلش این است که نیروی گرانش، شیء را رو به پایین می‌کشد و میزان نیروی گرانش، برابر و مخالف جهت نیروی میز است که رو به بالا است. نیروی خالص، صفر است و نیروها در حال تعادل‌اند.



شکل ۶ـ نیروهای وارد بر یک جسم که در حال تعادل است

نیرویی که از طرف میز به جسم وارد می‌شود نیروی عمودی تکیه‌گاه نام دارد.

$\vec{F}_T = 0 \Rightarrow \vec{N} + \vec{W} = 0$ (برایند نیروهای وارد بر جعبه)

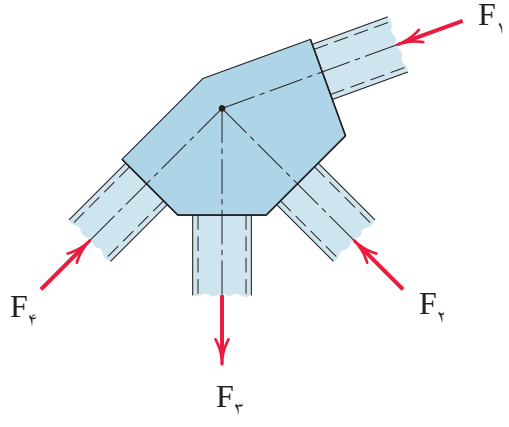
$N + (-W) = 0 \Rightarrow N = W = mg$

نیروهایی که بر این جسم وارد می‌شوند دقیقاً از مرکز جرم این جسم عبور می‌کنند. به دلیل مساوی بودن این دو نیرو، جسم در حالت سکون است.

تعادل اجسام

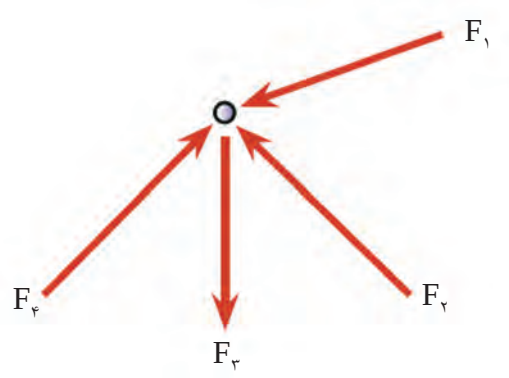
اجسامی در حال تعادل هستند که در حال سکون باشند و یا با سرعت ثابت و بدون چرخش در حال حرکت‌اند. اولین شرط تعادل اجسام این است که برآیند نیروهای وارده بر جسم صفر باشد.
مطابق شکل (۷)، باید برآیند نیروها حول یک نقطه در نظر گرفته شود که به این نیروها، نیروهای همرس گفته می‌شود. **نیروهای هم رس خط اثرشان در یک نقطه مشترک است.**

$\sum F = 0$



شکل ۷ـ نیروهای همرس وارده بر یک قطعه

چنان‌چه از ابعاد قطعات اتصال صرف‌نظر شود، وضعیت نیروها به‌صورت شکل (۸) خواهد بود.



شکل ۸ـ رسم نیروهای وارد بر جسم بدون در نظر گرفتن ابعاد قطعه

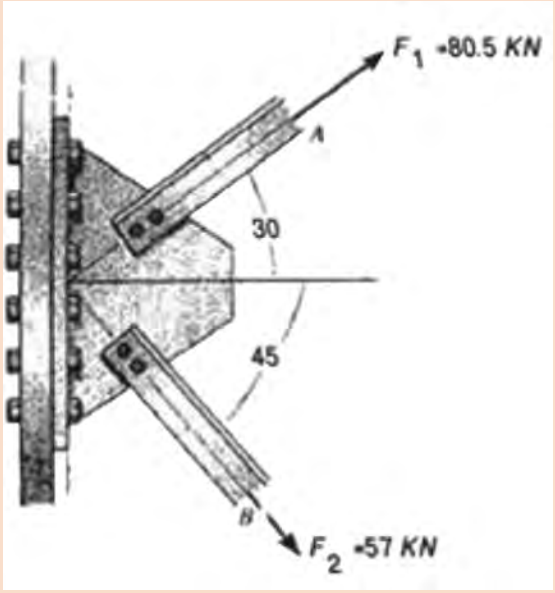
برای تعادل جسم، برآیند این نیروها که حول یک نقطه رسم می‌شود باید برابر صفر باشد. برای این منظور در صفحهٔ مختصات دکارتی، رابطه $\sum \vec{F} = 0$ را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \sum \vec{F_x} = 0 \\ \sum \vec{F_x} = 0 \end{cases}$$

در این پودمان به مسائل سه‌بعدی پرداخته نمی‌شود ولی در حالت سه‌بعدی، $\sum \vec{F_z} = 0$ معادلات بالا اضافه می‌شود.

تمرین

برایند نیروهای وارد بر نبشی‌های پایهٔ یک دکل نفتی در خلیج فارس را به دست آورید.

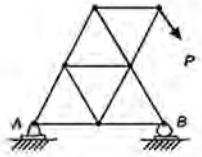
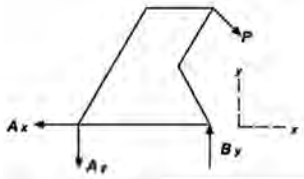
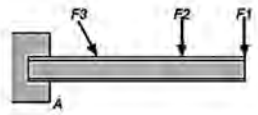
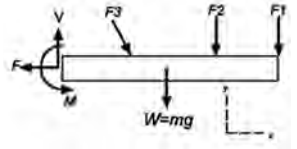
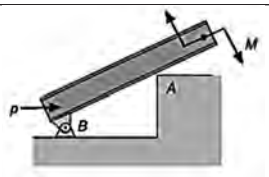
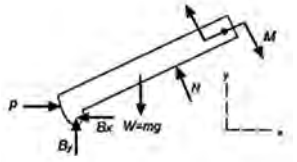


روش حل مسائل تعادل

در تحلیل اجسام در حال تعادل، مهم‌ترین نکته، شناخت کامل نیروهای وارد بر جسم و محل اثر آن است. برای بررسی تعادل جسم به روش زیر عمل می‌شود:

۱ـ رسم نمودار جسم آزاد : به‌منظور 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. در رسم نیروها دقت شود که جهت نیروها صحیح انتخاب شود چون در اثر انتخاب ناصحیح، مقدار نیروها منفی به دست می‌آید. در زیر نمونه‌هایی از نمودار جسم آزاد بعضی از دستگاه‌های مکانیکی نشان داده‌شده است.

نمونه‌هایی از ترسیم جسم آزاد برای سیستم‌های مکانیکی

عنوان و توضیح	سیستم مکانیکی	نمودار جسم آزاد
۱ـ خرپای صفحه‌ای از وزن خرپا در مقابل نیروی P صرف‌نظر شده است.		
۲ـ تیر یک سر آزاد (یا طره‌ای): جرم تیر m در نظر گرفته شده است.		
۳ـ تیر: جرم تیر، m فرض شده و تیر در نقطه A تکیه‌گاه بدون اصطکاک دارد.		

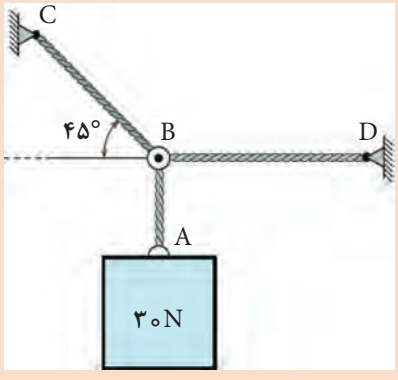
۲ـ با انتخاب دستگاه مختصات مناسب، تمام نیروها را به مؤلفه‌های عمود بر هم تجزیه می‌کنیم و رابطهٔ $\sum \vec{F} = 0$ را برای نیروها به کار می‌بریم. در نظر گرفتن درست علامت و جهت نیروها بسیار مهم است.

۳ـ با استفاده از قانون تعادل، چند معادله به‌دست می‌آید که با حل آنها می‌توانیم مؤلفه‌های مجهول را به‌دست آوریم.

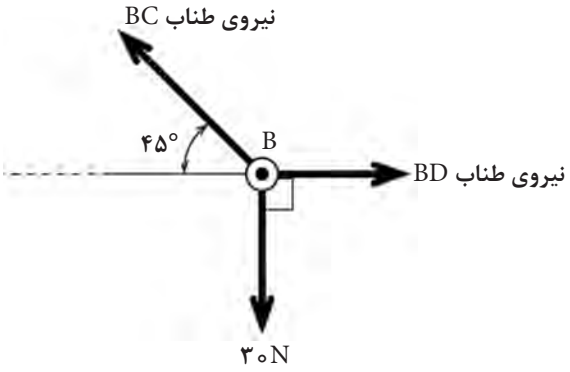
برای یادگیری بهتر مراحل حل مسائل تعادل، یک مثال در زیر آورده شده است.

مثال

در شکل زیر وزنه ۳۰N توسط سه طناب AB و BC و BD نگهداری شده است. مقدار نیروی وارد بر هریک از رشته‌ها را به‌دست آورید.

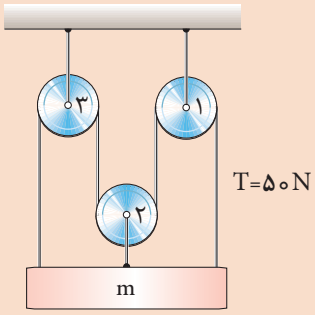


چون کابل‌ها فقط نیروی کششی را تحمل می‌نمایند بنابراین، نیروهای وارد به نقطهٔ B به‌صورت کششی بوده و نمودار جسم آزاد آن مطابق شکل زیر خواهد بود.



تمرین

در شکل زیر جسمی به جرم m به‌وسیله سیستم قرقره‌ها ثابت نگه‌داشته می‌شود؛ جرم جسم را به‌دست آورید.



ایستایی

تابه‌حال فرض بر این بود که لازم است اجسام را به‌عنوان یک نقطه مادی در نظر بگیرید و یا نیروها باید همرس باشند تا شرایط تعادل را بررسی نماییم؛ درحالی‌که چنین فرضی همیشه امکان‌پذیر نخواهد بود و نمی‌توان از ابعاد جسم صرف‌نظر نمود. بنابراین، در این حالت، نیروها در یک نقطه متقارن نخواهند بود و علاوه بر حرکت، امکان دَوَران (گشتاور) جسم تحت تأثیر نیروهای وارده نیز وجود دارد. برای مثال شکل ۹ را در نظر بگیرم که در آن، دو نیرو با اندازهٔ یکسان و در خلاف جهت هم به این جسم وارد می‌شود و این دو نیرو در یک راستا (همرس) نیستند در این حالت برای این جسم چه اتفاقی خواهد افتاد؟

شکل ۹ـ اعمال دو نیروی در خلاف جهت هم به جسم، که این دو نیرو همرس نیستند

همان‌طور که در شکل می‌بینیم، وقتی نیرو در خارج از مرکز جرم جسم به آن وارد شود، اثر گشتاوری خود را نشان می‌دهد. این گشتاور می‌تواند مانند نیرو، موجب تغییر شکل و یا به حرکت درآمدن یک جسم شود. همان‌طور که در دانش فنی پایهٔ دهم آموخته‌اید، گشتاور کمیتی برداری است که از حاصل‌ضرب نیرو (نیوتن (N)) در فاصله (متر (m)) به‌دست می‌آید و واحد آن N.M (نیوتن در متر) است.

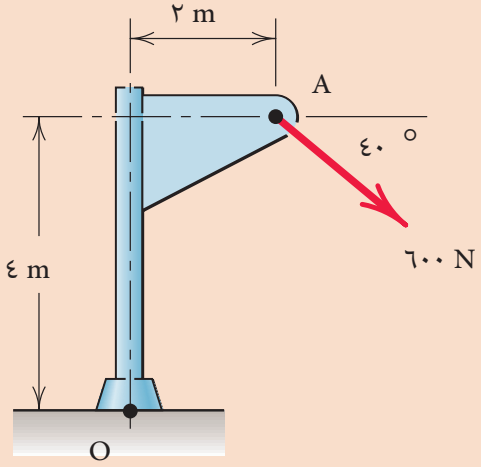
لذا شرط تعادل در مورد اجسام صلب در مختصات دکارتی (دوبعدی) به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{cases} \sum F_X = ۰ \\ \sum F_Y = ۰ \\ \sum M = ۰ \end{cases}$$

فراموش نکنید که رابطهٔ بالا نیز در مورد یک نقطه خاص نوشته می‌شود و معمولاً برای این کار یکی از تکیه‌گاه‌ها یا مرکز جرم جسم را در نظر می‌گیرند.

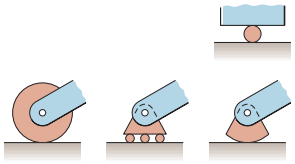
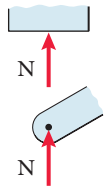
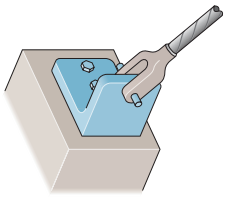
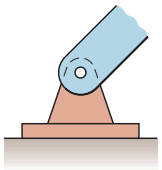
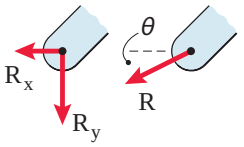
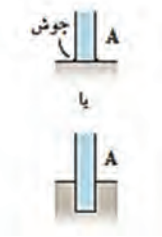
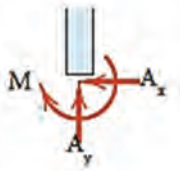
تمرین

مطابق شکل زیر نیرویی به اندازه ۶۰۰N به ستون وارد می‌شود. گشتاور حاصل از این نیرو را در نقطه O به‌دست آورید.



انواع تکیه‌گاه‌ها

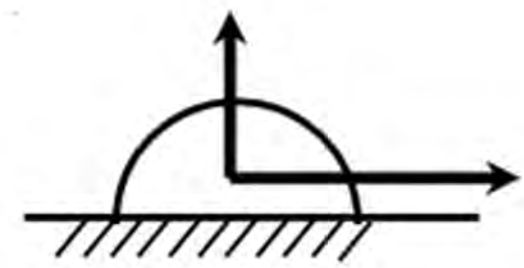
برای اینکه یک سازه، تحت تأثیر نیروهای خارجی یا وزن خود حرکت نکند، باید توسط قیدهایی به محیط (زمین یا هر جسم دیگر) متصل شود. به این قیدها، تکیه‌گاه می‌گویند. تکیه‌گاه‌ها برحسب قیدی که در مقابل حرکت به وجود می‌آورند، به انواع مختلفی دسته‌بندی می‌شوند. در ادامه، سه نمونه از معروف‌ترین و کاربردی‌ترین آنها در جدول زیر نشان داده‌شده است.

انواع تکیه‌گاه				
ردیف	نوع تکیه‌گاه	شکل واقعی	شکل شماتیک	عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی
۱	غلتکی			
۲	مفصلی			
۳	گیردار			

۱ـ تکیه‌گاه مفصلی متحرک (غلتکی)

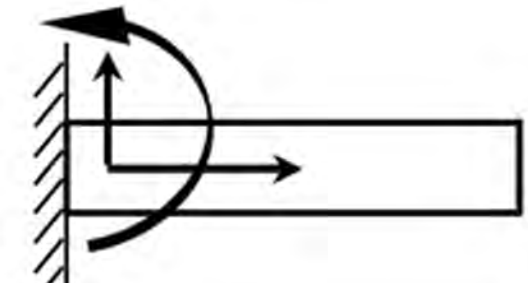
تکیه‌گاه غلتکی یا تکیه‌گاه مفصلی متحرک کاملاً شبیه تکیه‌گاه لولایی است، با این تفاوت که نسبت به آن، درجهٔ آزادی بیشتری دارد. این درجهٔ آزادی، همان حرکت پایه در امتداد حرکت غلتک‌هاست. در واقع در این نوع تکیه‌گاه‌ها تنها یک امتداد حرکت محدود می‌شود و درنتیجه واکنش تکیه‌گاهی ایجادشده، در امتدادی است که از حرکت پایه در آن امتداد جلوگیری شده است. این واکنش تکیه‌گاهی، عمود بر امتداد قابل حرکت تکیه‌گاه است که از مرکز مفصل هم می‌گذرد.

۲ـ تکیه‌گاه مفصلی ثابت (لولایی)



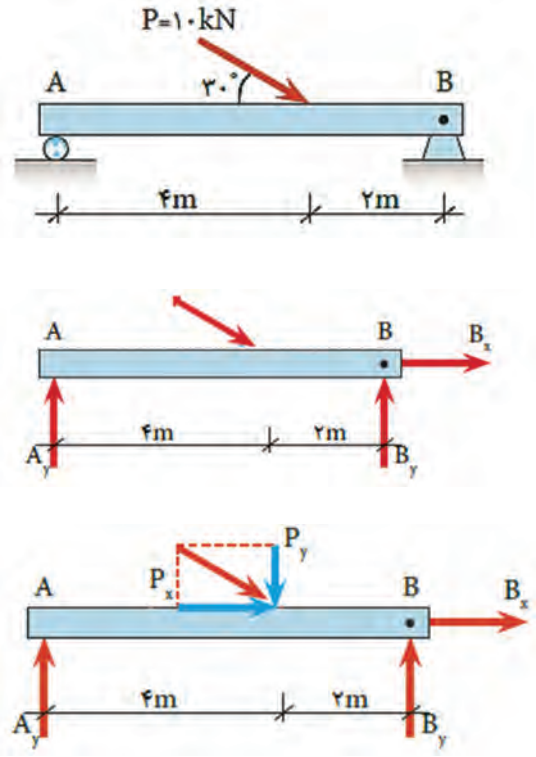
تکیه‌گاه مفصلی ثابت یا تکیه‌گاه لولایی، نوعی از تکیه‌گاه است که از هرگونه تغییر مکان جلوگیری به عمل می‌آورد اما هیچ مقاومتی در برابر دوران سازه نمی‌کند و به‌راحتی می‌توانیم سازه را حول نقطه تکیه‌گاه بچرخانیم. بنابراین، چنانچه سازه‌ها به این نوع تکیه‌گاه متکی باشد، در مقابل چرخش آن حول محورهای پایه، هیچ‌گونه گشتاوری ایجاد نمی‌شود ولی به علت محدود شدن دو امتداد حرکت در صفحه، در حالت کلی دو مؤلفهٔ واکنش تکیه‌گاهی در صفحه ایجاد می‌شود.

۳ـ تکیه‌گاه گیردار (طره‌ای)



تکیه‌گاه گیردار از حرکت نقطهٔ تکیه‌گاهی در امتداد محورهای y و x و همچنین از دوران جسم حول نقطهٔ تکیه‌گاهی جلوگیری می‌کند. بنابراین سه مؤلفهٔ واکنش تکیه‌گاهی در این نوع تکیه‌گاه ایجاد می‌شود. اگر جسمی فقط یک تکیه‌گاه گیردار داشته باشد کاملاً پایدار خواهد بود.

محاسبهٔ عکس‌العمل تکیه‌گاهی اجسام صلب:



به‌طور مثال تیر زیر را در نظر بگیرید که در نقطه A و B به ترتیب دارای تکیه‌گاه غلتکی و لولایی است و نیروی P=۱۰KN با زاویهٔ ۳۰° به آن وارد شده است. همان‌طور که گفته شد شرط تعادل اجسام صلب برآورده شدن معادلات تعادل است و برای رسیدن به این هدف مراحل زیر را انجام می‌دهیم:

۱ـ رسم نمودار جسم آزاد

ابتدا جسم را از تکیه‌گاه‌ها جدا نموده و با توجه به نوع تکیه‌گاه، عکس‌العمل‌های مربوطه را در محل تکیه‌گاه و در جهت دلخواه قرار می‌دهیم.

۲ـ تجزیهٔ نیروها در جهت‌های افقی و عمودی

همه نیروهای مورب را روی پیکر آزاد در صورت وجود، به مؤلفه‌های آنها تجزیه می‌نماییم. به‌عنوان مثال نیروی P به دو مؤلفهٔ عمود بر هم تجزیه‌شده است.

$$P_x = P.Cos\theta = ۱۰ \times Cos۳۰^\circ = ۸,۶۶kN$$

$$P_y = P.Sin\theta = ۱۰ \times Sin۳۰^\circ = ۵kN$$

۳ـ تشکیل معادلات تعادل و حل آنها

$$\begin{cases}\sum \overrightarrow{F_X} = ۰ \\ \sum \overrightarrow{F_Y} = ۰ \\ \sum M = ۰\end{cases}$$

$$\sum \overrightarrow{F_x}^{+} = ۰ \Rightarrow B_x + P_x = ۰ \Rightarrow B_x + ۸/۶۶ = ۰ \Rightarrow B_x = -۸/۶۶\text{kN}$$

علامت منفی در جواب فوق به این معنی است که جهت صحیح عکس‌العمل B_x در پیکر آزاد تیر به سمت چپ است.

$$+\uparrow \sum F_y = ۰ \Rightarrow A_y + B_y - P_y = ۰ \Rightarrow A_y + B_y = P_y \Rightarrow A_y + B_y = ۵\text{kN}$$

در معادلهٔ بالا دو مؤلفهٔ مجهول وجود دارد که برای حل آنها از معادلهٔ سوم تعادل $\sum M = ۰$ استفاده می‌شود که نقطهٔ مدنظر برای محاسبهٔ گشتاور یکی از نقاط اعمال این دونیرو است.

$$\sum M_B = ۰ \Rightarrow A_y \times ۶ - P_y \times ۲ = ۰ \Rightarrow A_y \times ۶ - ۵ \times ۲ = ۰ \Rightarrow ۶A_y = ۱۰$$

$$A_y = \frac{۱۰}{۶} \Rightarrow A_y = ۱/۶۷\text{kN}$$

حال مقدار A_y را در معادله قبل قرار داده و مقدار B_y را به‌دست می‌آوریم.

$$A_y + B_y = ۵ \Rightarrow ۱/۶۷ + B_y = ۵ \Rightarrow B_y = ۵ - ۱/۶۷ \Rightarrow B_y = ۳/۳۳\text{kN}$$

نکته

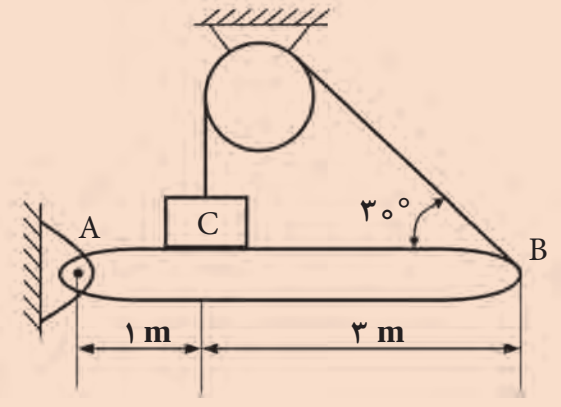
۱ هرگاه یک نیرو خودش یا امتدادش از یک نقطه یا یک تکیه‌گاه بگذرد گشتاور آن نسبت به آن نقطه یا تکیه‌گاه صفر است.

۱ اغلب برای گشتاور گرفتن، نسبت به تکیه‌گاهی گشتاور می‌گیریم که بیشترین نیروها را داشته باشیم. با این روش ساده‌ترین معادله برای حل مجهولات به دست می‌آید.

تمرین

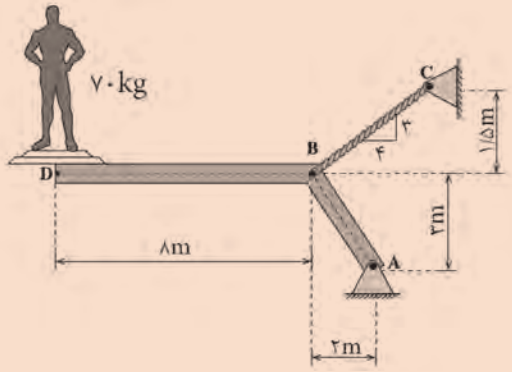
جسم C به وزن ۵۰۰N بر روی تیر AB به وزن ۲۰۰N مطابق شکل تکیه کرده است کشش در طناب را حساب کنید.

نیروی تکیه‌گاهی در نقطه A را به‌دست آورید.



تمرین

عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی را در شکل زیر به دست آورید.



خرپا

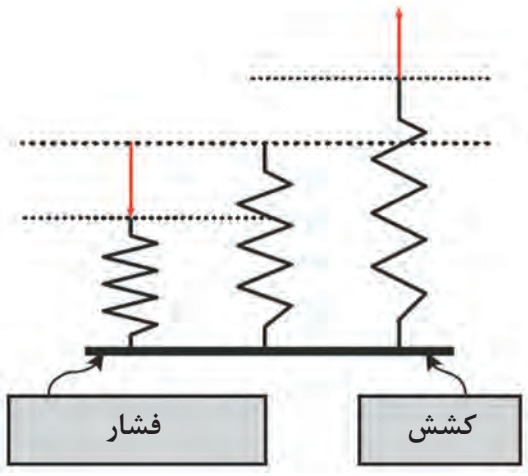
خرپا یکی از سازه‌های اصلی مهندسی است. خرپا مجموعه‌ای است از میله‌های مستقیم که به‌طور مفصلی به هم متصل شده و شبکه‌های مثلثی شکلی را به‌وجود می‌آورند. این مثلث ازنظر هندسی یکتا است؛ یعنی با اعمال نیروی خارجی، به مثلث دیگری تبدیل نخواهد شد. نمونه‌هایی از سازه‌های خرپا در شکل (۱۰) نشان داده‌شده است.

شکل ۱۰ـ نمونه‌ای از سازه‌های خرپا

در خرپاها، فرض می‌شود که اعضا در انتهای خود، به اعضای دیگری لولا شده‌اند به‌گونه‌ای که توانایی تحمل نیروهای کششی و فشاری را دارند.

فشار (Compression): نیرویی که تمایل دارد عضو تحت اثرش را فشرده یا کوتاه کند.

کشش (Tension): نیرویی که تمایل دارد عضو تحت اثرش را طویل یا گسترده کند. (شکل ۱۱)



شکل ۱۱ـ نحوه تغییر شکل در اثر کشش و فشار در اعضای خرپا

پایداری سازه

یک سازه باید در مقابل نیروهای وارده صلب باشد یعنی بتواند شکل خود را حفظ نماید. به عبارت دیگر در اثر وارد شدن نیروهای خارجی، سازه فرو نریزد. با اجرای یک آزمون بسیار ساده می‌توان فهمید که یک سازه، خرپا است یا خیر. رابطه زیر می‌تواند تعداد مجهولات را در یک سازه تعیین کند.

$$K = 2J - R$$

که در آن:

K = تعداد مجهولات؛

J = تعداد مفاصل؛

M = تعداد اعضا؛

(تعداد اضلاع مثلث ۳= R).

حال با توجه به شرایط زیر، پایداری و قابل‌حل بودن سازه مشخص می‌شود:

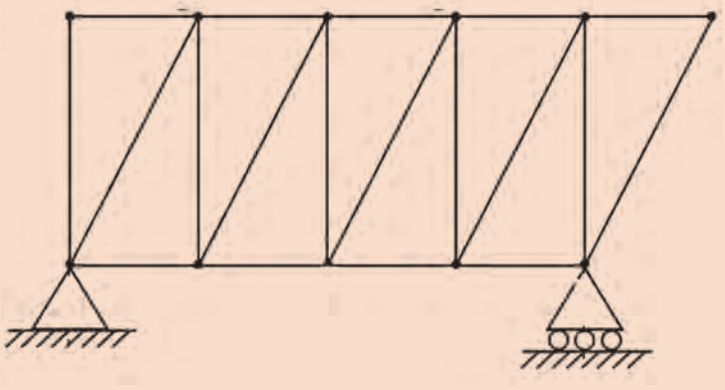
۱ـ اگر $M = K$ باشد سازه خرپا است، یعنی پایدار و قابل‌حل است.

۲ـ اگر $M < K$ باشد سازه نه پایدار است نه قابل‌حل.

۳ـ اگر $M > K$ باشد سازه پایدار است اما معادلات آن، قابل‌حل نیست.

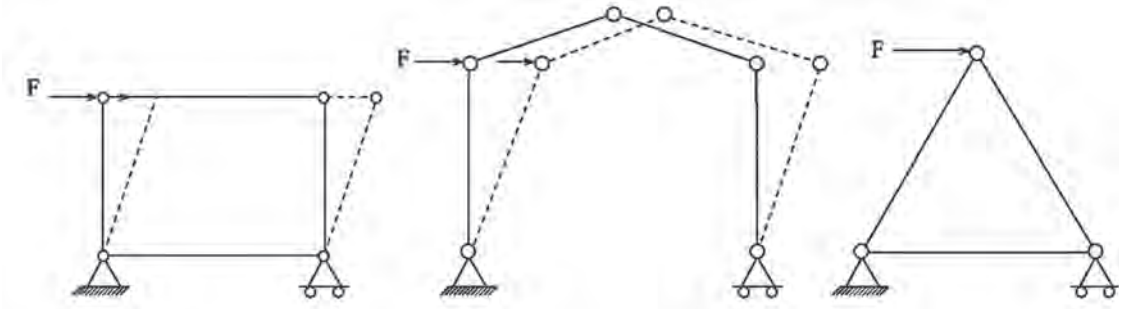
مثال

تعیین کنید که آیا شکل زیر خرپا است یا خیر؟



J=۱۱ و M=۱۹ است پس ۱۹= ۳ - (۱۱) ۲ = K که با توجه به شرایط ذکرشده، سازه خرپا است (پایدار و قابل‌حل است).

در شکل‌های زیر ۳ سازه مختلف دیده می‌شود که فقط یکی از آنها پایدار است که شکل آن به‌صورت مثلثی است.



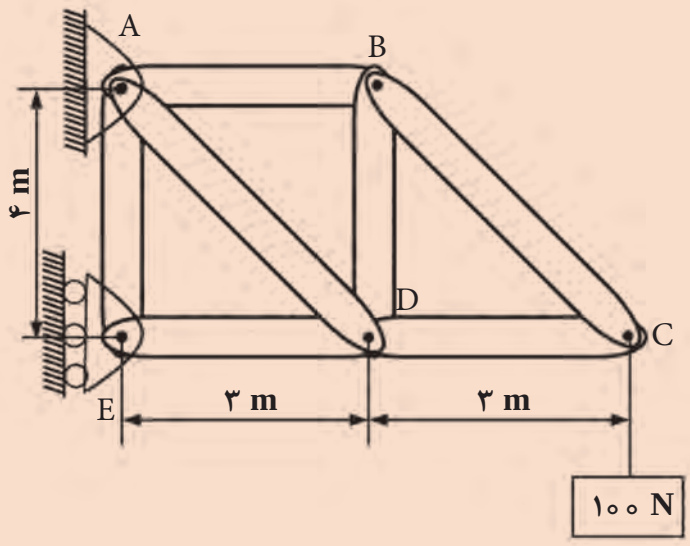
الف) حالت پایدار ب) حالت ناپایدار

حل مسائل مربوط به خرپا

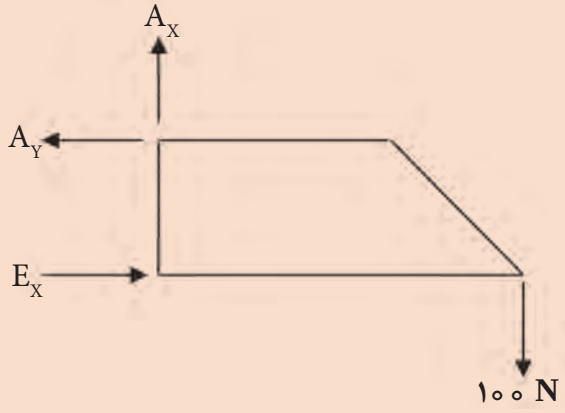
برای حل معادلات یک خرپا پس‌ازاینکه بررسی کردیم و متوجه خرپا بودن آن شدیم، کافی است معادلات تعادل را یک‌بار برای کل و یک‌بار برای تک‌تک مفاصل بنویسیم. در مثال زیر با این روش آشنا می‌شوید. دقت کنید که در نوشتن معادلات برای یک مفصل، نیازی به نوشتن معادلات مربوط به گشتاور نیست زیرا همه نیروها از یک نقطه می‌گذرند.

مثال

در خرپای زیر، نیروها را به‌دست آورده و کششی یا فشاری بودن آنها را مشخص کنید.



ابتدا کل خرپا را به‌عنوان یک سیستم مکانیکی در نظر می‌گیریم که نمودار جسم آزاد آن به‌صورت زیر است.



حال، معادلات مربوط به تعادل را می‌نویسیم:

$$\sum \overrightarrow{F_x} = ۰ \rightarrow E_x - A_y = ۰ \rightarrow E_x = A_y$$

$$\sum \overrightarrow{F_y} = ۰ \rightarrow A_x - ۱۰۰ = ۰ \rightarrow A_x = ۱۰۰N$$

برای حل معادلهٔ اول، حول نقطهٔ A گشتاور می‌گیریم:

$$\sum M_A = ۰ \rightarrow E_x \times ۴ - ۱۰۰ \times ۶ = ۰ \rightarrow E_x = ۱۵۰N$$

در نتیجه:

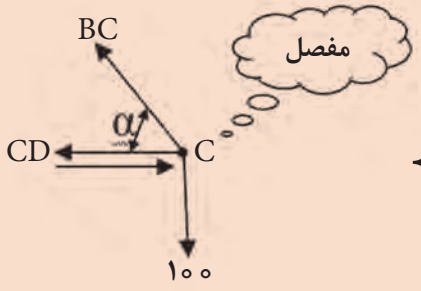
$$A_y = ۱۵۰N$$

برای محاسبهٔ نیروهای درون اعضای خرپا داریم:

$$Cos\alpha = \frac{۳}{۵} = ۰/۶ \qquad Sin\alpha = \frac{۴}{۵} = ۰/۸$$

نکته

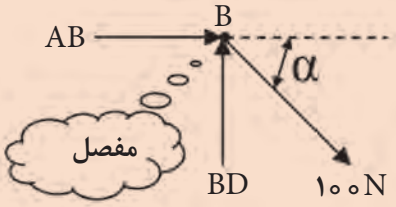
وقتی فلش به سمت تکیه‌گاه باشد، نیروی داخلی فشاری است.
وقتی فلش برعکس تکیه‌گاه باشد، نیروی داخلی کششی است.
ابتدا از مفصل C شروع می‌کنیم:



$$\sum \overrightarrow{F_y} = ۰ \qquad \sum \overrightarrow{F_x} = ۰$$

$$\begin{cases} -۱۰۰ + BC\,Sin\alpha = ۰ \\ BC = \dfrac{-۱۰۰}{۰/۸} = ۱۲۵N \end{cases} \qquad \begin{cases} -BC\,Cos\alpha + CD = ۰ \\ -۱۲۵ \times ۰/۶ + CD = ۰ \\ CD = ۷۵N \end{cases}$$

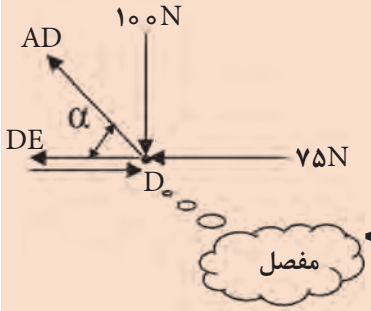
حال مفصل B را در نظر می‌گیریم:



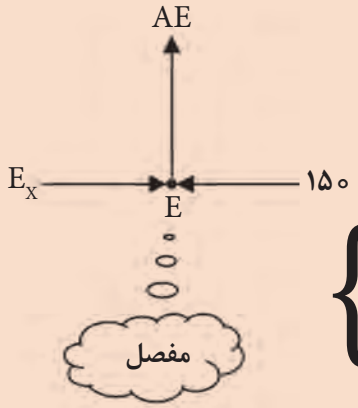
$$\begin{cases} \sum \overrightarrow{F_x} = ۰ \\ ۱۲۵\text{Cos}\alpha + AB = ۰ \\ AB = ۱۲۵ \times ۰/۶ = -۷۵ \\ AB = -۷۵ \end{cases} \qquad \begin{cases} \sum \overrightarrow{F_y} = ۰ \\ -۱۲۵\text{Sin}\alpha + BD = ۰ \\ BD = ۱۰۰\text{N} \end{cases}$$

چون مقدار AB منفی است، پس نتیجه می گیریم جهت نیروی AB برعکس در نظر گرفته‌شده است.

در مرحلهٔ بعد مفصل D را در نظر می‌گیریم:



$$\begin{cases} \sum \overrightarrow{F_x} = ۰ \\ -۷۵ - ۱۲۵\ \text{Cos}\alpha + DE = ۰ \\ DE = ۷۵ + ۱۲۵ \times ۰/۶ = ۱۵۰\text{N} \end{cases} \qquad \begin{cases} \sum \overrightarrow{F_y} = ۰ \\ -۱۰۰ + AD\ \text{Sin}\alpha = ۰ \\ AD = \dfrac{۱۰۰}{\text{Sin}\alpha} = \dfrac{۱۰۰}{۰/۸} = ۱۲۵\text{N} \end{cases}$$



$DE = ۱۵۰\text{N}$

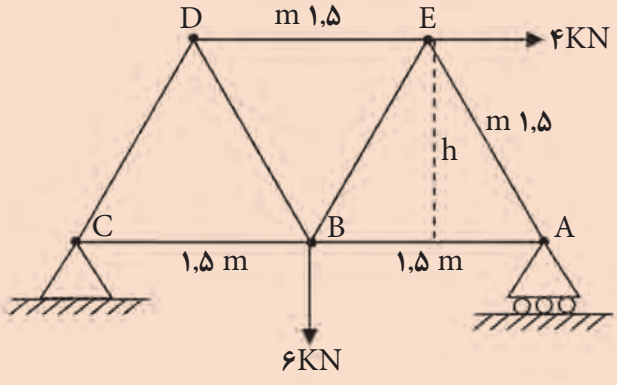
$AD = ۱۲۵\text{N}$

در مرحلهٔ آخر نیز مفصل E را در نظر می‌گیریم:

$$\begin{cases} \sum \overrightarrow{F_x} = ۰ \\ -۱۵۰ + E_x = ۰ \\ E_x = ۱۵۰\text{N} \end{cases} \qquad \begin{cases} \sum \overrightarrow{F_y} = ۰ \\ AE = ۰ \end{cases}$$

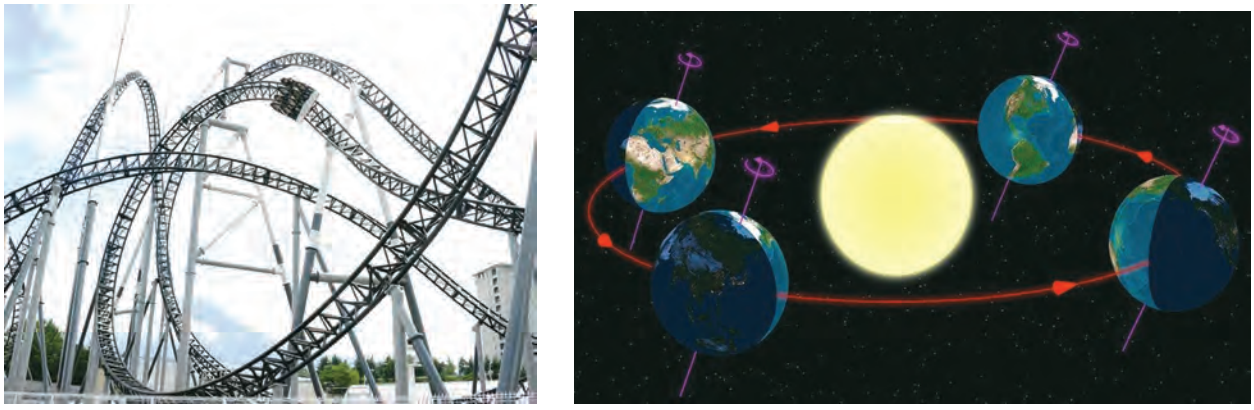
تمرین

نیروهای داخلی اعضای خرپای نشان داده‌شده را به‌دست آورید.



حرکت دورانی

در فیزیک پایهٔ دهم با حرکت انتقالی آشنا شدیم که در آن، جسم در طول یک مسیر مستقیم حرکت می‌کرد. در این حرکت، سرعت از تقسیم بردار جابه‌جایی بر واحد زمان (یا تغییرات زمان) به دست می‌آید. گاهی مواقع اجسام حرکت دارند اما نه از نوع مستقیم، بلکه حول محور خود دوران می‌کنند. مسیر حرکت ماه و ماهواره‌ها به دور زمین و برخی سیاره‌ها به دور خورشید تقریباً دایره‌ای است. در بعضی وسایل خانگی مانند لباس‌شویی، آب‌میوه‌گیری و... اجسام درونِ آنها در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کنند. در شکل ۱۲، نمونه‌هایی از حرکت اجسام بر مسیر دایره را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۲ــ نمونه‌هایی از حرکت دورانی بر مسیر دایره‌ای

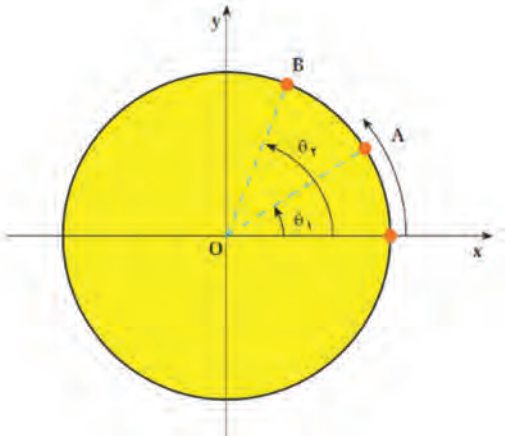
اکنون به بررسی حرکت دایره‌ای و دینامیک آن می‌پردازیم.

سرعت زاویه‌ای متوسط

آهنگ تغییرات جابه‌جایی زاویه‌ای ذرهٔ (θ) نسبت به زمان به‌عنوان سرعت زاویه‌ای متوسط تعریف می‌شود. مطابق شکل (۱۳) درواقع اگر تغییرات زاویه‌ای را از A تا B با $\Delta\theta = (\theta_2 - \theta_1)$ و مدت‌زمان این تغییر را با Δt نشان دهیم، در این صورت سرعت زاویه‌ای برابر است با:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

یکای سرعت زاویه‌ای عکس یکای زمان است و معمولاً یکاهای آن را رادیان بر ثانیه انتخاب می‌کنند.



شکل ۱۳ــ تغییرات زاویه‌ای از A به B در مدت زمان t

برای تبدیل زاویهٔ برحسب درجه به رادیان، می‌توانیم از جدول زیر برای بعضی از زوایای معروف استفاده کنیم.

درجه	۰°	۳۰°	۴۵°	۶۰°	۹۰°	۱۸۰°	۲۷۰°	۳۶۰°
رادیان	۰	$\frac{\pi}{۶}$	$\frac{\pi}{۴}$	$\frac{\pi}{۳}$	$\frac{\pi}{۲}$	π	$\frac{۳\pi}{۲}$	۲π

برای زوایای دیگر، با توجه به نسبت و تناسب که در ریاضی پایهٔ دهم آموخته‌اید می‌توانید درجه را به رادیان تبدیل کنید.

مثال

۱۵۰° چند رادیان است؟

$$\frac{۳۶۰^\circ}{۱۵۰^\circ}=\frac{۲\pi}{x}\rightarrow x=\frac{۱۵۰\times۲\pi}{۳۶۰}=\frac{۵\pi}{۶}\,\text{rad}$$

مثال

حرکت زمین به دور خورشید تقریباً دایره‌ای است، سرعت زاویه‌ای متوسط زمین به دور خورشید را محاسبهٔ کنید.

زمین در مدّت ۳۶۵ روز، یک‌بار به دور خورشید می‌چرخد و در این مدت ۲π رادیان طی می‌کند؛ بنابراین:

$$\omega=\frac{\Delta\theta}{\Delta t}=\frac{۲\pi}{۳۶۵\times۲۴\times۳۶۰۰}=۲\times۱۰^{-۷}\,(\text{rad}/\text{s})$$

سرعت دورانی

سرعت دورانی برابر است با تعداد دوری که یک جسم حول محورش در یک دقیقه می‌زند که با دور بر دقیقه یا rpm نشان داده می‌شود. هر دور برابر ۲π رادیان تغییرات زاویهٔ است و هر دقیقه برابر ۶۰ ثانیه است. لذا برای تبدیل سرعت دورانی (N) به‌سرعت زاویه‌ای از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$N=\omega\times\frac{۶۰}{۲\pi}\rightarrow N\cong۱۰\omega$$

دورهٔ تناوب و فرکانس

به مدت‌زمانی که متحرک، یک دور کامل را طی می‌کند، دورهٔ تناوب گفته می‌شود که با T نشان داده می‌شود و واحد آن ثانیه است.

به تعداد دور متحرک در واحد زمان بسامد یا فرکانس گفته می‌شود که واحد آن هرتز $(\frac{۱}{s})$ است و با f نشان داده می‌شود.

در نتیجه :

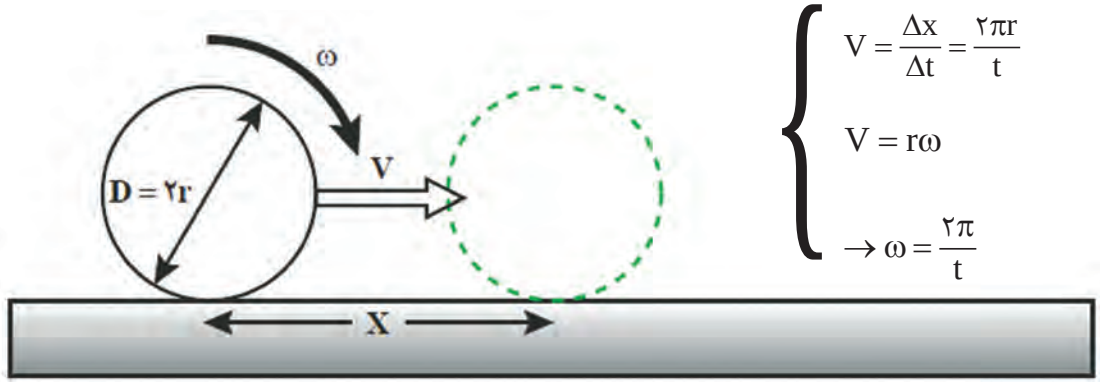
$$T = \frac{۱}{f}$$

چون ذره در هر دور، ۲π رادیان طی می‌کند، سرعت زاویه‌ای آن برابر است با:

$$\omega = \frac{۲\pi}{T} = ۲\pi f$$

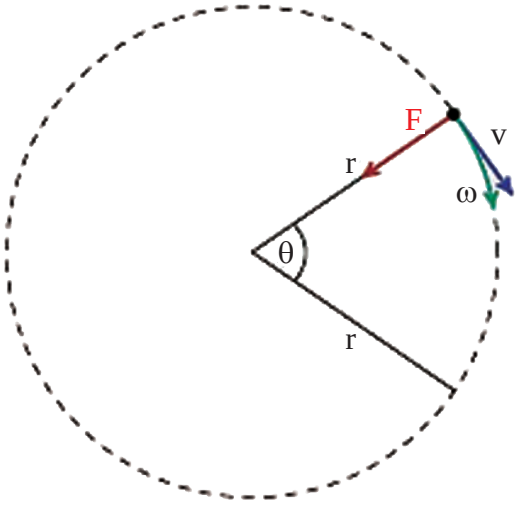
رابطهٔ سرعت خطی و زاویه‌ای

فرض کنید یک استوانه (مثلاً چرخ یک گاری) در زمان Δt یک دور روی زمین بچرخد. در این حالت استوانه به‌اندازه محیطش حرکت کرده و به‌اندازه $x = ۲\pi r$ به جلو رفته است. شکل (۱۴)
با توجه به مطالبی که در حرکت یکنواخت فیزیک پایهٔ دهم آموخته‌اید، مقدار سرعت برابر است با:



$$\begin{cases} V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۲\pi r}{t} \\ V = r\omega \\ \rightarrow \omega = \frac{۲\pi}{t} \end{cases}$$

شکل ۱۴ـ جابه‌جایی مرکز جرم در اثر دوران



این سرعت برابر با سرعت خطی متحرک است که مطابق شکل (۱۵) درحرکت دورانی، همواره مماس بر مسیر حرکت است.

شکل ۱۵ـ جهت سرعت یک متحرک، که بر روی مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند.

اگر متحرکی بر روی یک دایره، قوس‌های مساوی را در زمان‌های مساوی طی کند، حرکتش دورانی یکنواخت است که در این نوع حرکت اندازه بردار سرعت V در هرلحظه ثابت است ولی جهت آن تغییر می‌کند.

مثال

در یک شهربازی، گردونه‌ای افراد را در یک سطح افقی و در مسیر دایره‌ای می‌گرداند به‌طوری که هر فرد حرکت دایره‌ای یکنواختی دارد. اگر گردونه در هر ۱۰ ثانیه یک دور بزند و شعاع چرخش برای هر نفر ۵m باشد، سرعت زاویه‌ای و سرعت خطی هر شخص را در این گردونه محاسبه کنید.

مدت‌زمان یک دور چرخش $T = ۱۰s$ است، پس‌سرعت زاویه‌ای برابر است با:

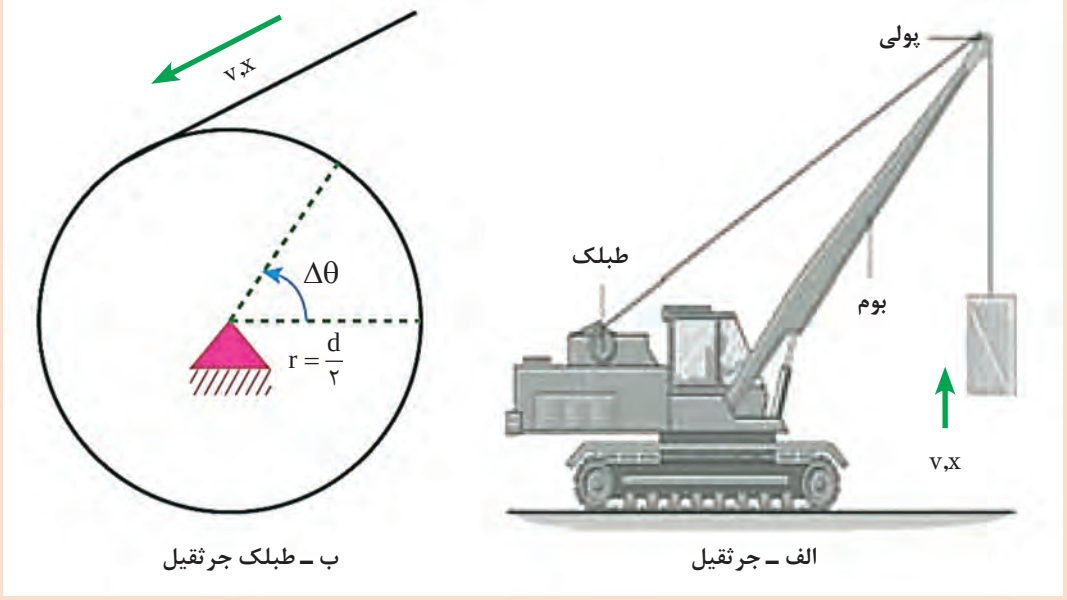
$$\omega = \frac{۲\pi}{t} = \frac{۲\pi}{۱۰} = \frac{\pi}{۵}(rad/s)$$

و سرعت خطی آن نیز برابر خواهد بود با:

$$V = r\omega = ۵ \times \frac{\pi}{۵} = ۳/۱۴(\frac{m}{s})$$

مثال

طبلک یک جرثقیل با سرعت ۵۰rpm می‌چرخد. اگر قطر این طبلک ۴۰ سانتی‌متر باشد سرعت بالابری این جرثقیل چقدر خواهد بود؟



ب ـ طبلک جرثقیل

الف ـ جرثقیل

روش اول: مقدار سرعت زاویه‌ای با استفاده از سرعت دورانی به‌دست می‌آید.

$$N = \omega \times \frac{۶۰}{۲\pi} \rightarrow \omega = \frac{N \times ۲\pi}{۶۰} = \frac{۵۰ \times ۲ \times \pi}{۶۰} = ۵/۲۵(\frac{rad}{s})$$

بعد از آن سرعت خطی را به‌دست می‌آوریم.

$V = r\omega = ۰/۲ \times ۵/۲۵ = ۱/۰۵ (m/s)$

روش دوم: هر بار که طبلک به دور خود می‌چرخد، کابل جرثقیل را به‌اندازهٔ یک محیط، به دور خود می‌پیچد. پس با هر مقدار کشیده شدن کابل، جسم به همان مقدار بالا کشیده می‌شود. درواقع با هر دورچرخیدن طبلک، جسم به‌اندازه یک محیط طبلک جابه‌جا می‌شود.
پس برای هر دور دوران طبلک جابه‌جایی برابر است با:

$x = ۲\pi r = ۲ \times ۳/۱۴ \times ۰/۲ = ۱۲۵/۶ \text{ cm}$

از طرفی در هر دقیقه، طبلک ۵۰ دور می‌زند پس جابه‌جایی طناب در یک دقیقه کار جرثقیل برابر است با:

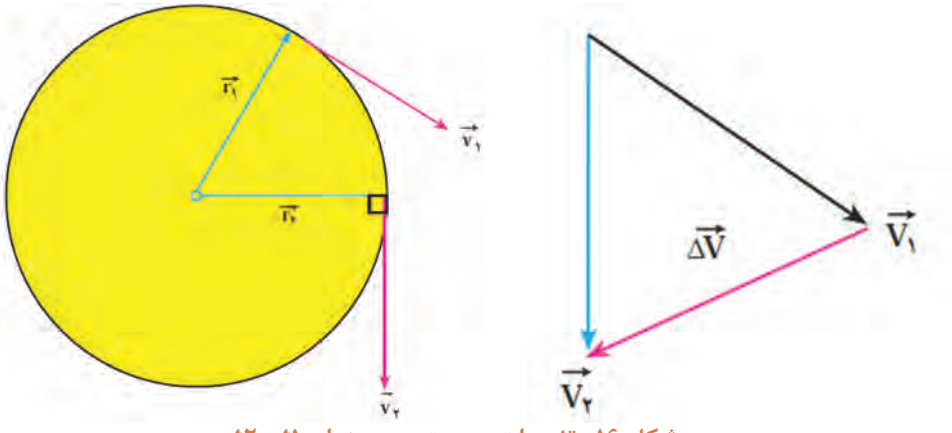
$x_{\text{دقیقه}} = x \times ۵۰ = ۱۲۵/۶ \times ۵۰ = ۶۲۸۰ \text{ cm} = ۶۲/۸ \text{m}$

حال می‌توان با تقسیم جابه‌جایی بر زمان، سرعت خطی جسمی را که جرثقیل بلند می‌کند، را می‌توان به‌دست آورد.

$$V = \frac{x}{۶۰} = \frac{۶۲/۸}{۶۰} = ۱/۰۵ (m/s)$$

شتاب در حرکت دایره‌ای یکنواخت

می‌دانیم که سرعت یک کمیت برداری است. در کمیت‌های برداری، تغییر در راستا و اندازه باعث تغییربردار می‌شود. درحرکت‌های دورانی به علت تغییر در راستای بردار سرعت، متحرک دارای شتاب می شود و این شتاب متحرک به علت تغییر جهت است و اندازهٔ بردار سرعت تغییر نمی‌کند.
همان‌طور که پیش از این اشاره شد بردار سرعت درحرکت دورانی، در هرلحظه مماس بر مسیر است. مطابق شکل (۱۶) اگر موقعیت ذره در زمان $t_۱$، $r_۱$ و در زمان $t_۲$، $r_۲$ باشد، بردارهای سرعت در این نقاط بر $r_۱$ و $r_۲$ عمودند. پس بردار سرعت برابر $\Delta V = V_۱ - V_۲$ است و با اینکه بزرگی بردار ثابت است ولی $\Delta V \neq ۰$ است.



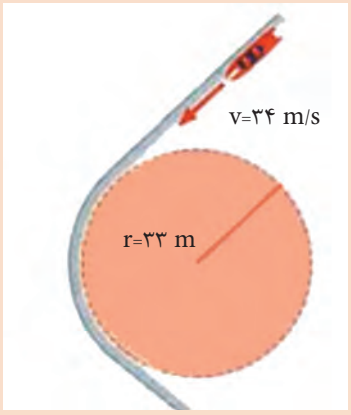
شکل ۱۶ــ تغییرات سرعت در دو زمان t۱ و t۲

اندازهٔ شتاب متوسط در این حالت از رابطهٔ $|a|=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ به‌دست می‌آید. راستای این شتاب در راستای شعاع دایره و جهت آن به‌طرف مرکز است، به این علت این شتاب را شتاب مرکزگرا گویند که از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید و واحد آن $\frac{m}{s^2}$ است:

$$a=\frac{V^2}{r}\rightarrow a=r\omega^2\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

مثال

خودرویی پیچ جاده‌ای به شعاع ۳۴m را با سرعت ثابت ۳۳m/s می‌پیماید. شتاب مرکزگرای این خودرو را محاسبه کنید.



$$a=\frac{V^2}{r}=\frac{34^2}{33}=35/03\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

دینامیک حرکت دایره‌ای یکنواخت

همان‌طور که در بخش قبل دیدید، جهت شتاب در حرکت دایره‌ای یکنواخت به سمت مرکز و در جهت راستای شعاع دایره است. با توجه به قانون دوم نیوتن، جهت شتاب و نیرو باهم یکسان است؛ در نتیجه درحرکت دایره‌ای یکنواخت، برآیند نیروها در جهت راستای شعاع و به سمت مرکز است. از این‌رو برایند نیروهای وارد بر جسم را که منجر به‌حرکت دایره‌ای می‌شوند، **نیروی مرکزگرا** می‌نامند.

با توجه به قانون دوم نیوتن، برایند نیروهای وارد بر جسم در راستای شعاع دایره به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

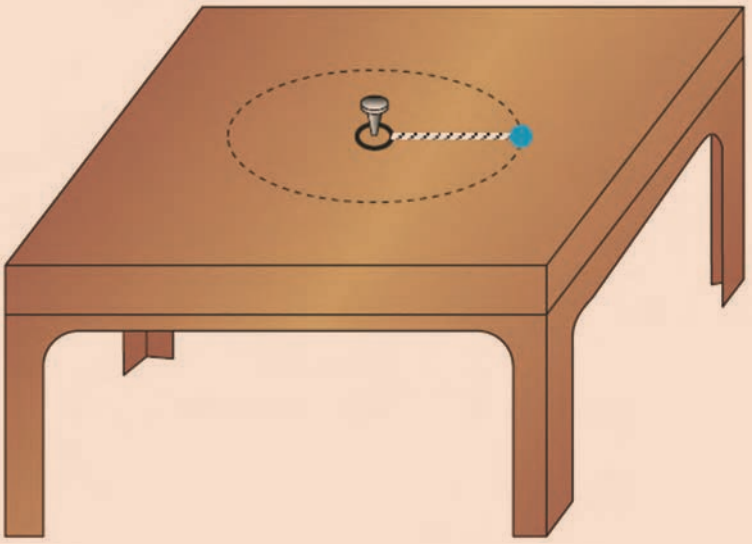
$$F=ma=\frac{mV^2}{r}\qquad \text{یا}\qquad F=mr\omega^2$$

مثال

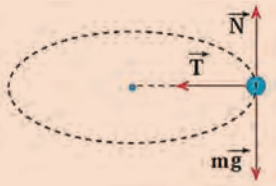
مهره‌ای به جرم ۲۰g را به نخی با طول ۲۵cm می‌بندیم و به انتهای دیگر نخ، حلقه کوچکی وصل می‌کنیم. سپس حلقه را با میخ کوتاهی در وسط یک میز ثابت می‌کنیم. (اصطکاک میز با سکه ناچیز است) با یک ضربه که به مهره وارد می‌کنیم آن را روی مسیر دایره‌ای به حرکت درمی‌آوریم.

نیروهای وارد بر مهره را با رسم شکل مشخص کنید.

اگر مهره در هر ثانیه یک دور بزند، بزرگی نیروی کشش نخ را محاسبه کنید.



نیروهای وارد بر مهره در زیر نشان داده‌شده است. در راستای قائم، نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه بر جسم اثر می‌کنند. برآیند این دونیرو صفر است:



$$N - mg = 0$$

$$N = mg$$

تنها، نیروی کشش نخ می‌ماند که در اینجا همان نیروی مرکزگرا یعنی، $T = \frac{mV^2}{r}$ است.

سرعت زاویه‌ای برابر است با:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \text{rad/s}$$

سرعت خطی برابر است با:

$$V = r\omega = 0/25 \times 2\pi = \frac{\pi}{2} \simeq 1/57 \text{m/s}$$

و نیروی کشش نخ برابر است با:

$$T = m\frac{V^2}{r} = 20 \times 10^{-3} \times \frac{\pi^2}{4} \times \frac{1}{0/25} \simeq 0/2\text{N}$$

برای مطالعه

همان‌طور که در حرکت خطی برای اجسام، شتاب خطی، تعریف می‌شود در حرکت دورانی نیز شتاب دورانی تعریف می‌شود. شتاب دورانی برابر است با تغییرات سرعت دورانی بر تغییرات زمان یعنی:

$$a = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}(rad.s^{-2})$$

همچنین در قانون اول و دوم نیوتن برای اجسام در حرکت خطی یک لختی تعریف می‌شد. لختی به معنای مقاومت جسم در برابر تغییر سرعت تعریف می‌شود. در حرکت دورانی نیز لختی دورانی تعریف می‌شود. لختی دورانی به معنی مقاومت جسم در برابر تغییرات سرعت دورانی (یا زاویه‌ای) جسم است. رابطهٔ قانون دوم نیوتن برای گشتاور، لختی دورانی و شتاب دورانی به شکل زیر بازنویسی می‌شود:

$$\vec{\tau} = I.\vec{a}$$

گشتاور و توان موردنیاز موتور

گشتاور نیرو، عاملی است که سبب چرخش جسمی حول یک محور می‌شود و کمیتی برداری است. اگر اثر آن در خلاف جهت حرکت عقربهٔ ساعت باشد، گشتاور مثبت و اگر در جهت حرکت عقربه ساعت باشد، گشتاور منفی است. مطابق مطالبی که در دانش فنی و فیزیک پایهٔ دهم آموخته‌اید، قوانین نیوتن که برای تعریف رابطه نیرو و حرکت خطی اجسام کاربرد داشت، در مورد گشتاور و حرکت دورانی اجسام نیز کاربرد دارد.

برای انواع موتورها، اعم از الکتریکی، پنوماتیکی، هیدرولیکی یا احتراقی معمولاً دو مشخصه اهمیت بسیار دارند و همواره به همراه اطلاعات موتور ارائه می‌شوند. این دو مشخصه عبارتند از:

۱ سرعت دورانی

۲ گشتاور تولیدی موتور

با توجه به اینکه در مطالب این کتاب، حرکت دورانی یکنواخت موردبررسی قرارگرفته است؛ بنابراین از تغییرات سرعت دورانی و وجود لختی دورانی برای اجسام، در مسائل کاربردی این کتاب صرف‌نظر شده است؛ ولی در مسائل حساس و مهم مهندسی لازم است که این عوامل تأثیرگذار را در نظر گرفت. چیزی که در اینجا اهمیت بیشتری دارد، محاسبهٔ گشتاور لازم برای یک موتور به منظور ایجاد حرکت در اجسام، در ماشین‌ها است.

مثال

فرض کنید یک موتور با سرعت ۱۴۰rpm به یک پولی کوپل شده است و این پولی می‌بایست یک جسم به وزن ۷۰ کیلو را در ثانیه نیم متر با طناب بالا ببرد. ($g = ۱۰$)

- قطر پولی که لازم است به شفت موتور وصل شود چقدر باید باشد؟
- توان موتور با گشتاور آن را محاسبه کنید.

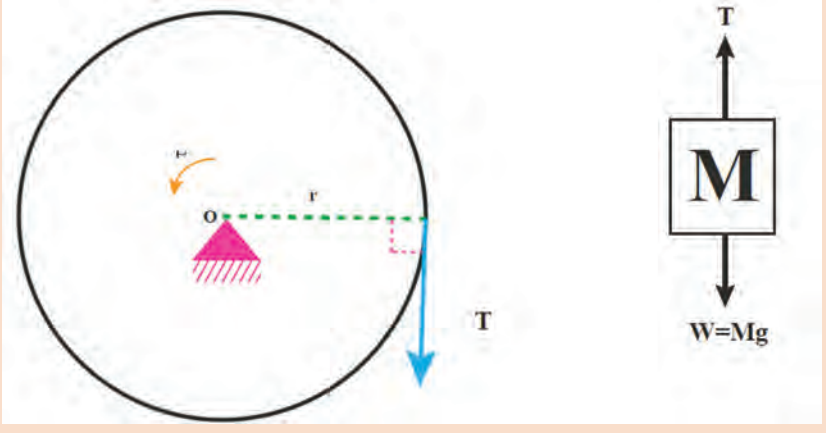
با توجه به اینکه سرعت دورانی برابر ۱۴۰rpm است، پس‌سرعت زاویه‌ای برابر است با:

$$N=\omega\times\frac{60}{2\pi}\quad\rightarrow\quad\omega=\frac{N\times2\pi}{60}=\frac{140\times2\times\pi}{60}=14/65\left(\frac{rad}{s}\right)$$

درنتیجه قطر پولی برابر است با:

$$V=r\omega\quad\rightarrow\quad r=\frac{V}{\omega}=\frac{0/5}{14/65}=0/034m=3/4cm$$

برای محاسبهٔ مقدار گشتاور موتور ابتدا نمودار جسم آزاد وزنه و طبلک را رسم می‌کنیم.



دقت کنید که در این‌گونه مسائل اگر اشاره‌ای به حرکت شتاب‌دار نشده باشد، به این معنی است که حرکت با سرعت ثابت مفروض است. پس می‌توان شرایط ایستایی را برای وزنه و پولی به‌صورت جداگانه نوشت.

وزنه:

$$\sum Fy=0\quad\rightarrow\quad W-T=0\quad\rightarrow\quad T=mg=7\times10=700N$$

پولی:

$$\sum M = ۰ \rightarrow \tau - T \times r = ۰ \rightarrow \tau = ۷۰۰ \times ۰/۰۳۴ = ۲۳\,(N.m)$$

مقدار گشتاور موتور برابر $۲/۳\,N.m$ است که برای محاسبهٔ توان از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$P = \frac{\tau \times RPM}{۵۲۵۲} = \frac{۲۳ \times ۱۴۰}{۵۲۵۲} = ۰/۶۱\,hp$$

بنابراین توان موتور برابر ۰/۶۱ اسب بخار است.

سرعت نسبی

ما در زندگی روزمرهٔ خود اکثرا با این مفهوم برخورد می‌کنیم، زمانی که در داخل ماشین خود نشسته‌ایم و به ماشین‌هایی که از رو به رو به سمت ما می‌آیند نگاه می‌کنیم، احساس می‌کنیم که آنها بسیار سریع به ما نزدیک می‌شوند. یعنی نسبت به ما سرعت بیشتری دارند.

در حقیقت سرعت هر متحرک را نسبت به یک مرجع یا دستگاه می‌سنجیم؛ حال با توجه به این مرجع، دو حالت رخ می‌دهد:

۱ اگر این مرجع ساکن باشد، به این سرعت، مطلق یا همان سرعت جسم گفته می‌شود.

۲ اگر این مرجع متحرک باشد، به این سرعت «سرعت نسبی» گفته می‌شود. کسی که داخل ماشین متحرک قرار دارد، سرعت اجسام دیگر را نسبت به خودش که متحرک است می‌سنجد یعنی سرعتی که به دست می‌آورد، سرعت نسبی است.

بنابراین، درحرکت نسبی اگر دو جسم به ترتیب با سرعت‌های $V_۱$ و $V_۲$ در خلاف جهت هم در حال حرکت باشند، پس‌سرعت نسبی از جمع دو سرعت$(V_۲+V_۱)$ به دست می‌آید و در صورتی که حرکت این دو جسم، هم‌جهت باشد، سرعت نسبی از تفریق دو سرعت $(V_۲-V_۱)$ به دست می‌آید.

مثال

یک یدک‌کش با سرعت ۴۰ گره دریایی به سمت شمال و یک کشتی با سرعت ۲۵ گره دریایی به سمت جنوب و در همان مسیر یدک‌کش در حرکت است. ملوانان روی کشتی نفت‌کش می‌بینند که یدک‌کش با سرعت به آنها نزدیک می‌شود. سرعت نزدیک شدن یدک‌کش به نفت‌کش را بیابید.

با توجه به مطالب گفته شده، زمانی که دو جسم متحرک می‌باشند و در خلاف جهت هم حرکت می‌کنند، سرعت نسبی برابر جمع دو سرعت است.

$V_{۲/۱} = V_۲ + V_۱ = ۴۰ + ۲۵ = ۶۵ \text{ knot}$

در مثال قبل اگر کشتی دوم نیز به سمت شمال در حرکت باشد، کارکنان این کشتی، سرعت یدک‌کش را چقدر می‌بینند؟

در این حالت، جهت دو جسم متحرک باهم یکسان است پس:

$V_{۲/۱} = V_۲ + V_۱ = ۴۰ - ۲۵ = ۱۵ \text{ knot}$

همان‌طور که در قبل اشاره شد، سرعت، یک کمیتی برداری است و سرعت نسبی نیز کمیت برداری خواهد بود. اگر حرکت دو جسم در جهت خلاف هم باشد از خاصیت برداری آن استفاده می‌شود.

مثال

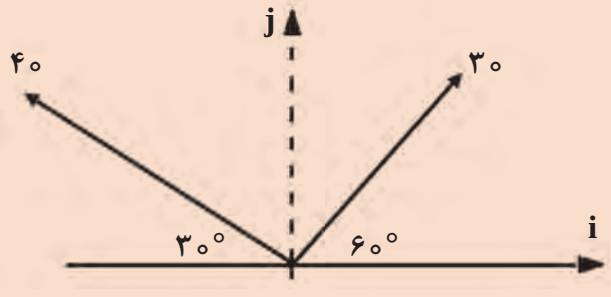
یک کشتی یدک‌کش با سرعت ۳۰ گره دریایی به سمت شمال شرق (زاویهٔ ۶۰° نسبت به افق) و یک ناوشکن نظامی با سرعت ۴۰ گره دریایی ولی در جهت شمال غرب (زاویهٔ ۳۰° نسبت به افق) در حرکت هستند. سرعت نسبی آنها نسبت به هم چقدر است؟

ابتدا یک شکل نمادین رسم می‌کنیم تا مسئله را بهتر درک کنیم. هر یک از سرعت‌ها را به مؤلفه‌های آن تقسیم می‌کنیم و در انتها آنها را باهم جمع می‌کنیم.

$V_۱ = ۳۰\cos(۶۰)\mathbf{i} + ۳۰\sin(۶۰)\mathbf{j}$

$V_۲ = -۴۰\cos(۳۰)\mathbf{i} + ۴۰\sin(۳۰)\mathbf{j}$

$$V_{۱۲} = \left((۳۰\times\frac{۱}{۲}) - (۴۰\times\frac{\sqrt{۳}}{۲})\right)\mathbf{i} + \left((۳۰\times\frac{\sqrt{۳}}{۲}) + (۴۰\times\frac{۱}{۲})\right)\mathbf{j} = -۱۹/۶\mathbf{i} + ۴۵/۹\mathbf{j}$$



تأثیر جریان آب بر سرعت و راه

اگر کشتی‌ای که در آب آرام حرکت می‌کند وارد محیطی با «جریان آب» شود سرعت و جهت حرکت کشتی تغییر می‌کند. به این صورت که سرعت و جهت جدیدحرکت کشتی برآیند کار پروانه و تیغه سکان در آب آرام به علاوه سرعت جریان آب است.

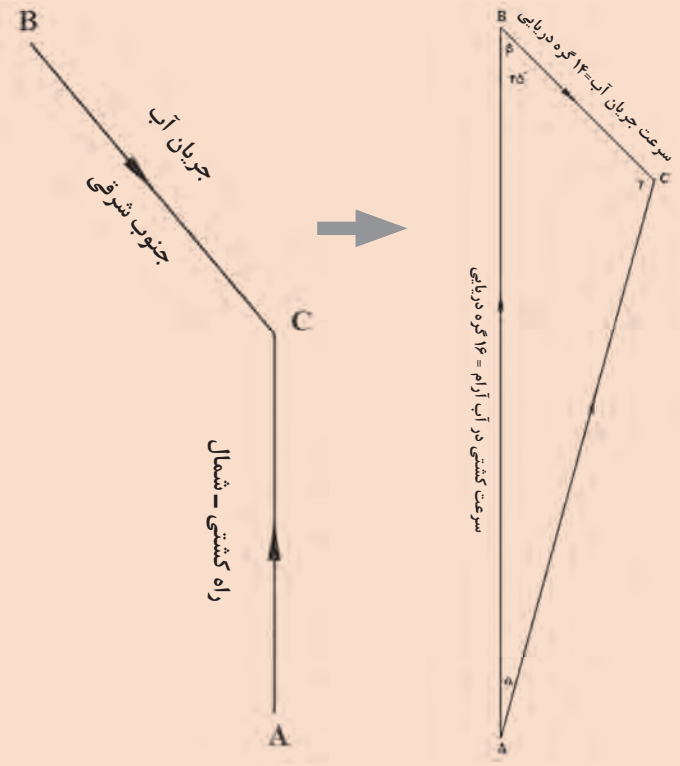
برای مثال، فردی را در نظر بگیرید که با سرعت (V) در جهت آب و یا خلاف آن با سرعت (V′) شنا کند.

جریان آب در حالت موافق، باعث افزایش سرعت فرد ($V' + V$) می‌شود درحالی‌که اگر در حالت خلاف شنا کند حالات زیر پیش خواهد آمد:

- اگر ($V' < V$) باشد، پس فرد با سرعت ($V' + V$) در خلاف جهت جریان آب حرکت می‌کند.
- اگر ($V' = V$) باشد، پس فرد ثابت در آب می‌ماند.
- اگر ($V' > V$) باشد، پس جریان آب، فرد را با سرعت ($V' - V$) با خود می‌برد.

مثال

یک کشتی با سرعت ۱۶ گره دریایی در جهت شمال وارد محیطی با جریان آب به‌سرعت ۴ گره دریایی به سمت جنوب شرقی (زاویهٔ 45°) می‌شود. برایند سرعت و جهت حرکت کشتی را به دست آورید.



حل:

نموداربرداری، قابل رسم است. نموداربرداری، سرعت و جهت اولیهٔ کشتی (یعنی سرعت و جهت در آب آرام) و سرعت و جهت جریان آب را که کشتی وارد آن می‌شود نشان می‌دهد.

$$(ac)^2 = (ab)^2 + (bc)^2 - 2(ab)(bc)\cos\beta = 16^2 + 4^2 - 2\times16\times4\cos45^\circ$$

$$= 256 + 16 - 90/51 = \sqrt{181/49} \Rightarrow ac = 13/47 \text{ گره دریایی}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dfrac{4}{\sin\alpha} = \dfrac{13,47}{\sin45} \Rightarrow \sin\alpha = 0/21 \\ \alpha = 12^\circ 7' \end{cases}$$

بنابراین سرعت کشتی در جریان آب و جهت حرکت آن برابر است با:

گره دریایی ۱۳/۴۷ = سرعت کشتی در جریان آب

$12^\circ 7'$ = جهت حرکت کشتی در جریان آب

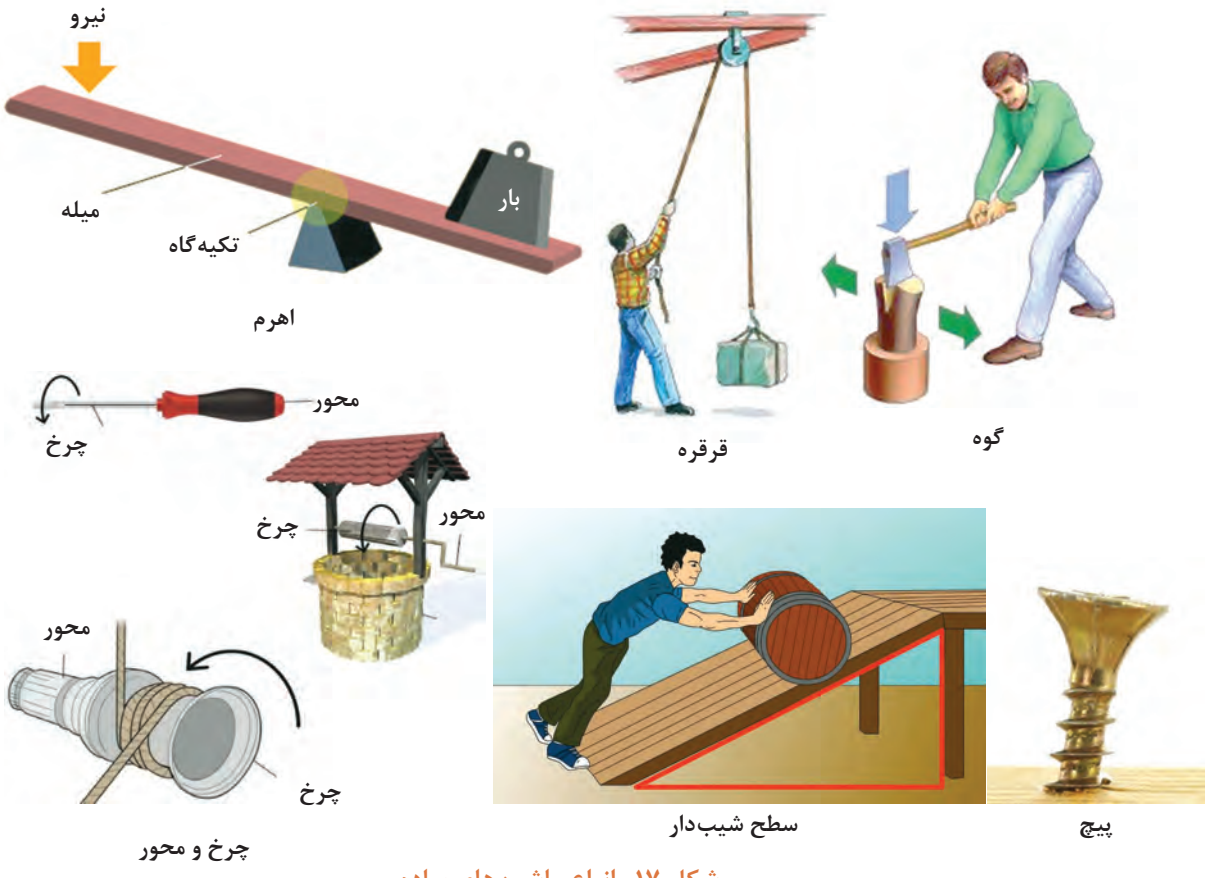
ماشین‌های جابه‌جایی و بالابر

برای اینکه جسمی جابه‌جا شود و حرکت کند باید به آن نیرو وارد کنیم. استفاده از نیروی ماهیچه‌ها برای انجام بسیاری از کارها کافی نیست و سبب خستگی می‌شود. همچنین مدت‌زمان زیادی طول می‌کشد که کار انجام شود و به همین دلیل باید از ابزارها استفاده کنیم. ابزارها موجب افزایش قدرت، سرعت، راندمان، دقت و بهره‌وری می‌شوند. ما نمی‌توانیم میخ را با دست‌خالی در یک‌تخته چوبی فروکنیم ولی با کمک چکش دستی که به‌عنوان یک ابزار ساده است انجام این فرایند امکان‌پذیر می‌شود. به‌طورکلی می‌توان ابزارها را تحت عنوان ابزارهای دستی، ابزارهای دستی برقی و ماشین‌ها طبقه‌بندی نمود.

ماشین وسیله‌ای است که به ما کمک می‌کند تا کارها را آسان‌تر انجام دهیم. ماشین‌ها به دو گروه ساده و پیچیده تقسیم می‌شوند.

ماشین‌های ساده

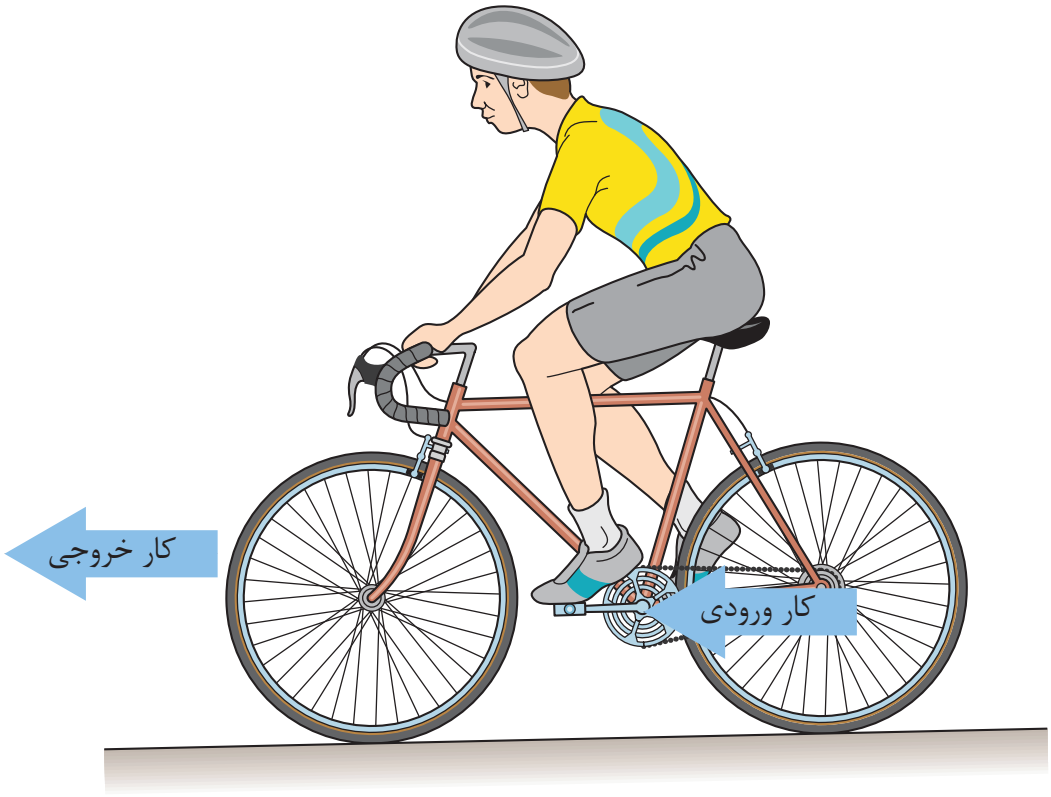
ماشین‌های ساده گروهی از ماشین‌ها هستند که پایه و اساس ساخت ماشین‌های دیگر را تشکیل می‌دهند. ماشین‌های ساده در شش نوع **اهرم، قرقره، چرخ محور، سطح شیب‌دار، گوه و پیچ** دسته‌بندی می‌شوند. (شکل ۱۷)



شکل ۱۷ــ انواع ماشین‌های ساده

ماشین‌های مرکب یا پیچیده

گاهی دو یا چند ماشین ساده باهم ترکیب می‌شوند و ماشین جدیدی را به‌وجود می‌آورند به چنین ماشین‌هایی، ماشین‌های مرکب یا پیچیده می‌گویند. این ماشین‌ها تغییر شکل یافتهٔ ماشین ساده یا ترکیبی از چند ماشین ساده با یکدیگر هستند. مثلاً در ساخت دوچرخه از ماشین‌های ساده‌ای مانند: اهرم، چرخ و محور، پیچ و مهره، چرخ‌دنده و... استفاده می‌شود تا بتواند کار نیروی ماهیچه‌ای (کار ورودی) ما را تبدیل به انرژی جنبشی کند به‌طوری‌که دوچرخه به ما امکان حرکت سریع‌تر و جابه‌جایی بیشتری (کار خروجی) را می‌دهد.



اهرم

اهرم، میلهٔ بلند و محکمی است که نقطه‌ای از آن بر چیزی تکیه داده می‌شود، تا با کمک آن بتوان چیزهای سنگین را آسان‌تر جابه‌جا کرد.

مطابق شکل (۱۸) اهرم از قسمت‌های مختلفی تشکیل‌شده است که عبارت‌اند از:

۱ **تکیه‌گاه:** تکیه‌گاه ممکن است بین دو قسمت دیگر قرار گیرد. به‌طورکلی در وسایل مختلف محل تکیه‌گاه تغییر می‌کند.

۲ **نیروی محرک ($\mathbf{E}$):** نیرویی که به اهرم وارد می‌کنیم.

۳ **نیروی مقاوم ($\mathbf{R}$):** نیرویی که اهرم بر جسم وارد می‌کند.

۴ **بازوی محرک ($\mathbf{L_E}$):** فاصلهٔ نقطه اثر نیروی محرک تا تکیه‌گاه را بازوی محرک می‌گویند.

۵ **بازوی مقاوم ($\mathbf{L_R}$):** فاصلهٔ نقطه اثر نیروی مقاوم تا تکیه‌گاه را بازوی مقاوم می‌گویند.

شکل ۱۸ــ قسمت‌های مختلف اهرم

در شکل (۱۸) مقدار کار انجام‌شده از رابطه زیر به دست می‌آید.

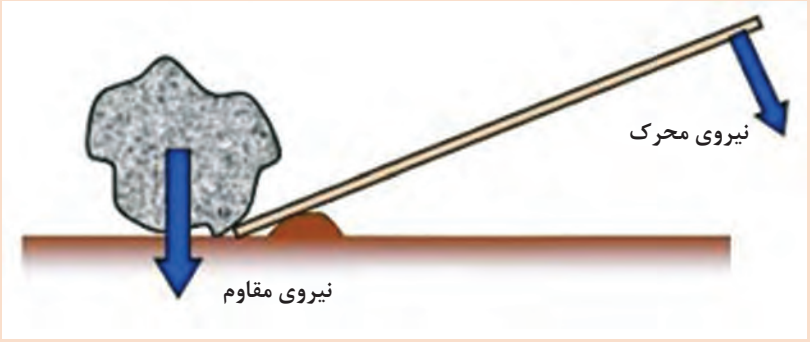
$$W = E \times L_E = R \times L_R$$

مثال

میله‌ای به طول ۲ متر را به‌عنوان دیلم به کار می‌بریم، طول بازوی مقاوم چند سانتی‌متر باشد تا نیروی ما ۷ برابر شود؟

$$W = E \times L_E = R \times L_R \quad \frac{R}{E} = \frac{L_E}{L_R} = ۷ \rightarrow L_E = ۷L_R$$

$$L_E + L_R = ۲m \rightarrow ۸L_R = ۲m \rightarrow L_R = ۲۵۰cm$$



اهرم‌ها برحسب ساختمان (تکیه‌گاه، نیروی مقاوم، نیروی محرک) آنها به سه دسته تقسیم می‌شوند.

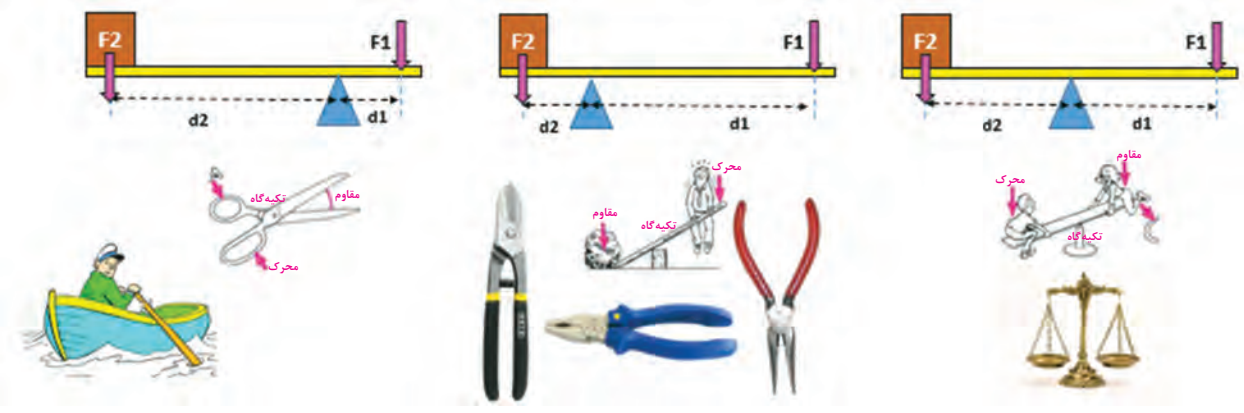
اهرم نوع اول: در اهرم نوع اول، تکیه‌گاه بین نیروی محرک و مقاوم قرار دارد. اهرم نوع اول باعث تغییر جهت می‌شود. با توجه به محل قرارگیری تکیه‌گاه و اینکه به کدام نیرو نزدیک‌تر باشد، این نوع اهرم خود به

سه دسته تقسیم می‌شود: (شکل ۱۹)

۱ یا تکیه‌گاه به نیروی محرک نزدیک‌تر است یعنی بازوی مقاوم بازوی محرک است مثل قیچی خیاطی

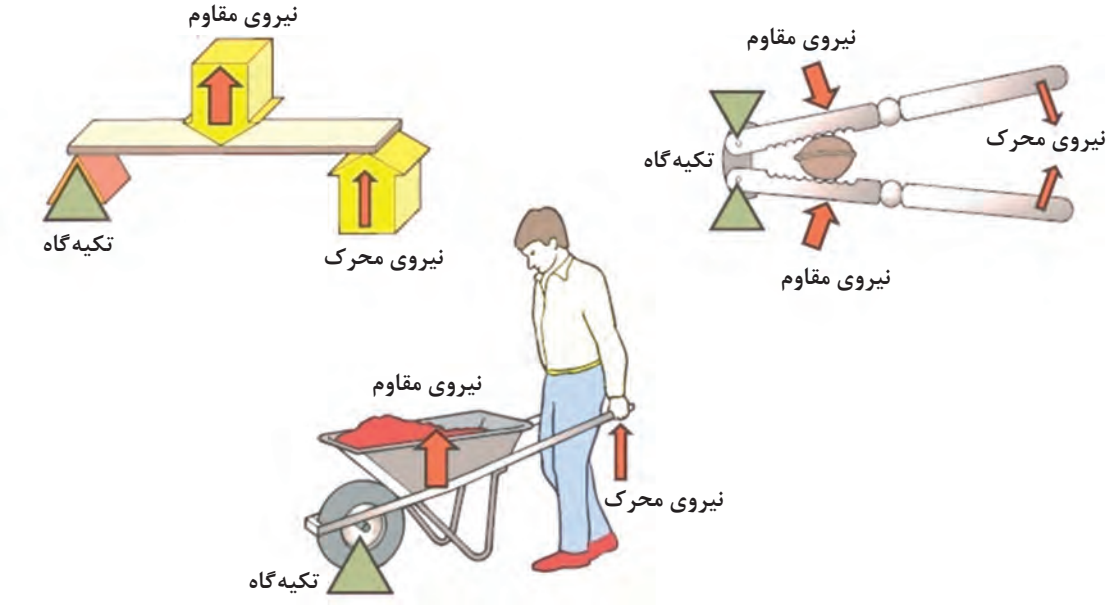
۲ یا تکیه‌گاه به نیروی مقاوم نزدیک‌تر است یعنی بازوی مقاوم بازوی محرک است مثل دیلم

۳ یا تکیه‌گاه به فاصله برابر از نیروی محرک و مقاوم است یعنی بازوی مقاوم = بازوی محرک است مثل الاکلنگ



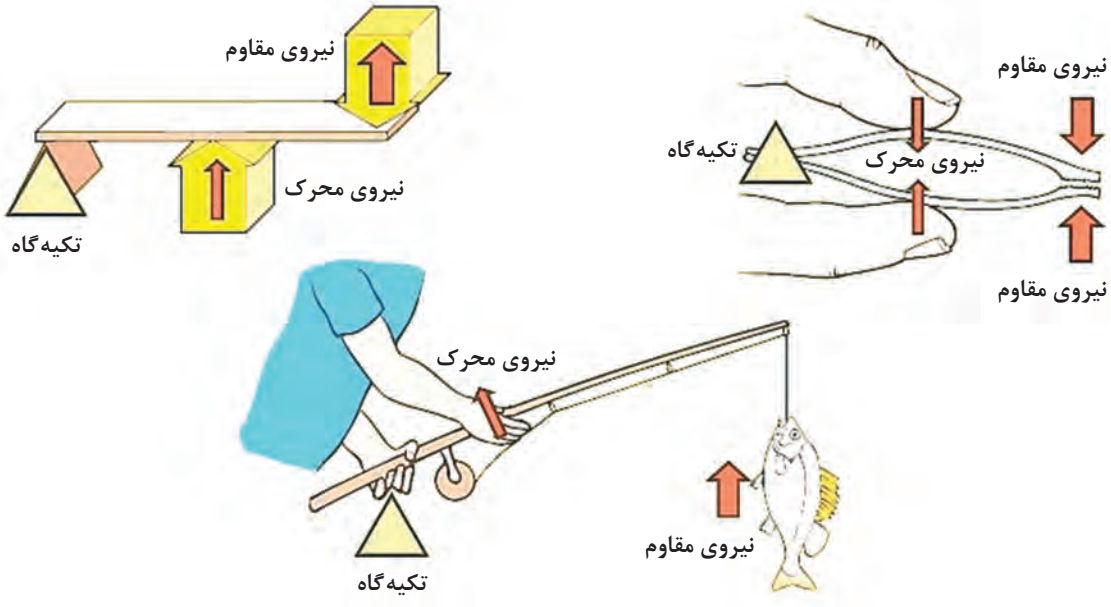
شکل ۱۹ـ انواع اهرم نوع اول

اهرم نوع دوم: در اهرم نوع دوم، نیروی مقاوم بین تکیه‌گاه و نیروی محرک قرار دارد. در این حالت، بازوی محرک بزرگ‌تر از بازوی مقاوم است. اهرم نوع دوم باعث افزایش نیرو می‌شود. (شکل ۲۰)



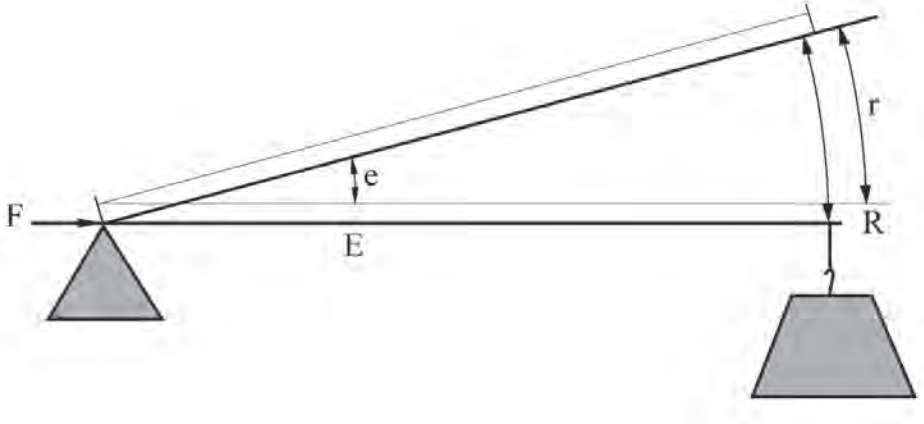
شکل ۲۰ـ انواع اهرم نوع دوم

اهرم نوع سوم: در اهرم نوع سوم، نیروی محرک بین تکیه‌گاه و نیروی مقاوم است. در این حالت، بازوی مقاوم بزرگ‌تر از بازوی محرک است. اهرم نوع سوم، سرعت و مسافت اثر نیرو را افزایش می‌دهد. (شکل ۲۱)



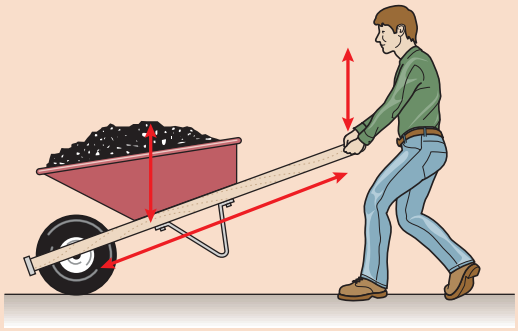
شکل ۲۱ــ انواع اهرم نوع سوم

در این نوع اهرم، سرعت حرکت بار زیاد است بنابراین نیروی کارگر باید بیشتر باشد. همان‌طور که در شکل روبه‌رو ملاحظه می‌شود نقطهٔ اتکا در محل نگه‌داشتن دسته قلاب ماهیگیری با دست چپ صیاد قرار دارد. نیروی مقاوم (بار) که ماهی صید شده است در انتهای اهرم است و نیروی کارگر که به‌وسیلهٔ دست راست صیاد وارد می‌شود بین نقطه اتکا و بار قرارگرفته است. همچنان که مشاهده می‌شود، نیروی محرک در فاصلهٔ نزدیک‌تری از تکیه‌گاه قرار دارد؛ پس باید مقدار آن از نیروی مقاوم بیشتر باشد. در شکل روبرو مشاهده می‌شود که همچنان که نیروی E فاصله e را طی می‌کند. ملاحظه می‌شود نیروی مقاوم (بار) R فاصله r را می‌پیماید. مقدار r بزرگ‌تر از e است پس سرعت حرکت R باید بزرگ‌تر از E باشد چون R نسبت به E در مدت‌زمان یکسان، مسافت بیشتری را طی می‌کند. این پدیده عیناً در مورد صیاد و ماهی به وجود می‌آید.



مثال

اگر نیروی ملوان بر دسته‌های فرغون برابر ۲۲۰ نیوتون و در فاصلهٔ ۱/۲متری از نقطهٔ اتکا (چرخ فرغون) باشد و فاصلهٔ مرکز ثقل نیروی بار از نقطهٔ اتکا برابر ۰/۳ متر باشد، مقدار نیروی مقاوم (بار) که به‌وسیلهٔ ملوان قابل بلند کردن است چقدر است؟



$E \times L_E = R \times L_R$

$۲۲۰ \times ۱/۲ = R \times ۰/۳$

$R = ۸۸۰N$

چنانچه فاصلهٔ مرکز ثقل بار از چرخ فرغون ۰٫۴متر شود، اندازهٔ نیروی کارگر چقدر باید باشد؟

$E \times L_E = R \times L_R$

$E \times ۱/۲ = ۸۸۰ \times ۰/۴$

$E = ۲۹۳/۳N$

بنابراین، در صورت افزایش فاصلهٔ بار از نقطهٔ اتکا، نیروی کارگر نیز باید افزایش یابد.

بهرهٔ مکانیکی

ملاحظه شد که در اهرم‌های نوع اول و دوم مقدار بار، بزرگ‌تر از مقدار نیروی کارگر می‌شود. افزایش نیروها در اهرم نوع اول و دوم به بهرهٔ مکانیکی مثبت موسوم است. اهرم نوع سوم بهرهٔ مکانیکی مثبت ندارد ولی می‌تواند سرعت یا مسافت جابه‌جایی را افزایش دهد. در اهرم نوع سوم نیروی کارگر بیشتر از نیروی مقاوم (بار) است. بهره مکانیکی به‌صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$\text{بهره مکانیکی} = \frac{\text{بار}}{\text{نیروی کارگر}} \quad \text{یا} \quad \frac{\text{بازوی محرک}}{\text{بازوی مقاوم}} \rightarrow ME = \frac{R}{E} = \frac{L_E}{L_R}$$

مثال

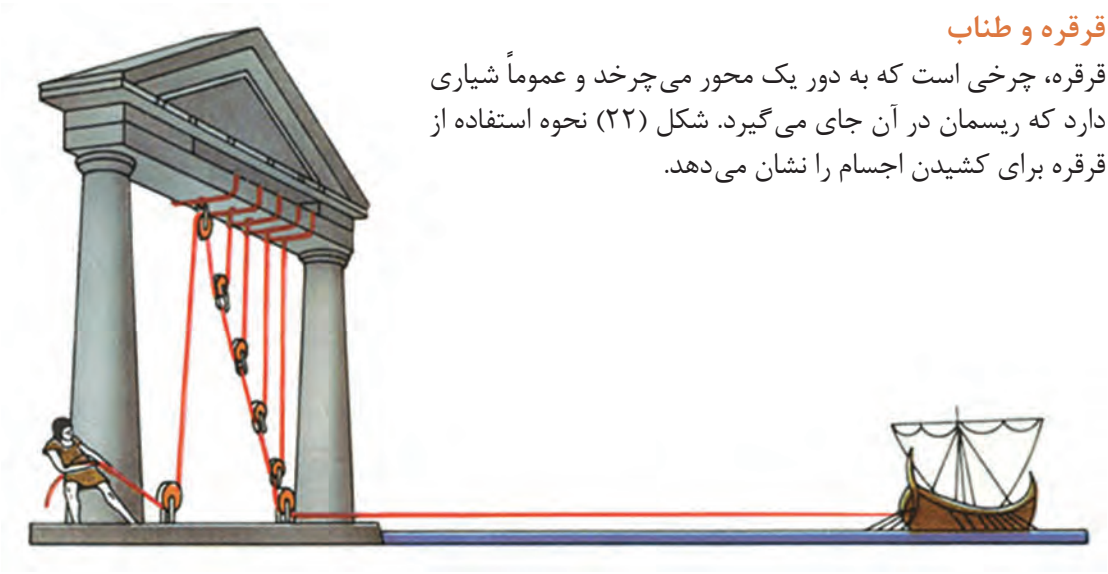
در مثال قبل بهره مکانیکی را حساب کنید.

قسمت ۱: $ME = \frac{R}{E} = \frac{۸۸۰}{۲۲۰} = ۴$

قسمت ۲: $ME = \frac{R}{E} = \frac{۸۸۰}{۲۲۹/۳} = ۳$

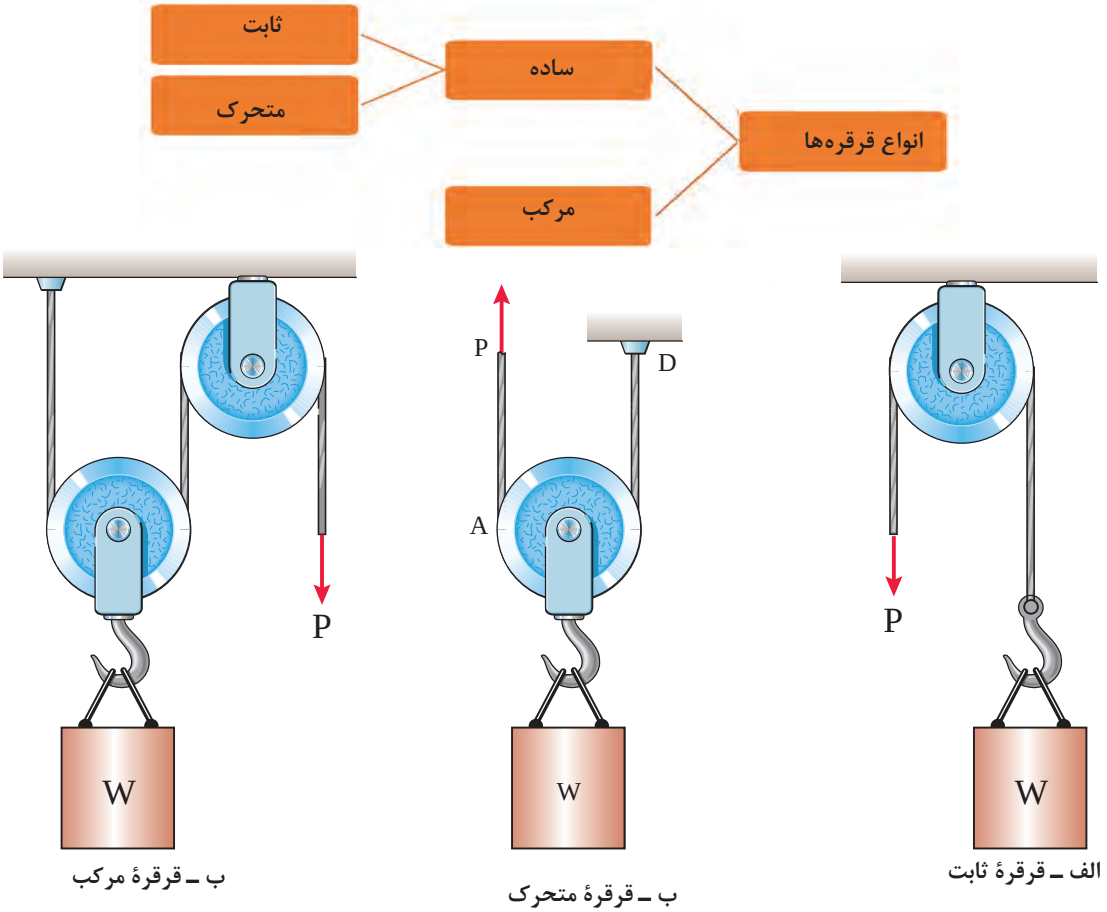
قرقره و طناب

قرقره، چرخی است که به دور یک محور می‌چرخد و عموماً شیاری دارد که ریسمان در آن جای می‌گیرد. شکل (۲۲) نحوه استفاده از قرقره برای کشیدن اجسام را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲ـ استفاده از ترکیب چندین قرقره برای کشیدن اجسام

قرقره‌ها را معمولاً به دودسته تقسیم می‌کنند: (شکل ۲۳)



ب ـ قرقرهٔ مرکب

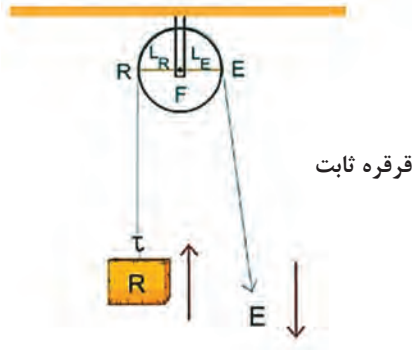
ب ـ قرقرهٔ متحرک

الف ـ قرقرهٔ ثابت

شکل ۲۳ـ انواع قرقره

قرقره ثابت: به قرقره‌ای که قلاب آن درجایی ثابت شده و قرقره حول محور خود می‌چرخد، قرقره ثابت می‌گوییم (شکل ۲۴). بهره مکانیکی این قرقره همواره برابر با یک است و از راه تغییر جهت نیرو به ما کمک می‌کند. این قرقره نظیر اهرم نوع اول حالت اول است.

$$ME = \frac{L_E}{L_R} = ۱ \qquad \text{یا} \qquad ME = \frac{R}{E} = ۱$$

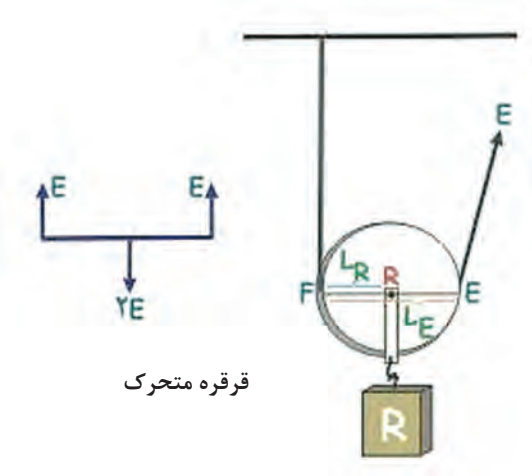


قرقره ثابت

شکل ۲۴ـ قرقره ثابت

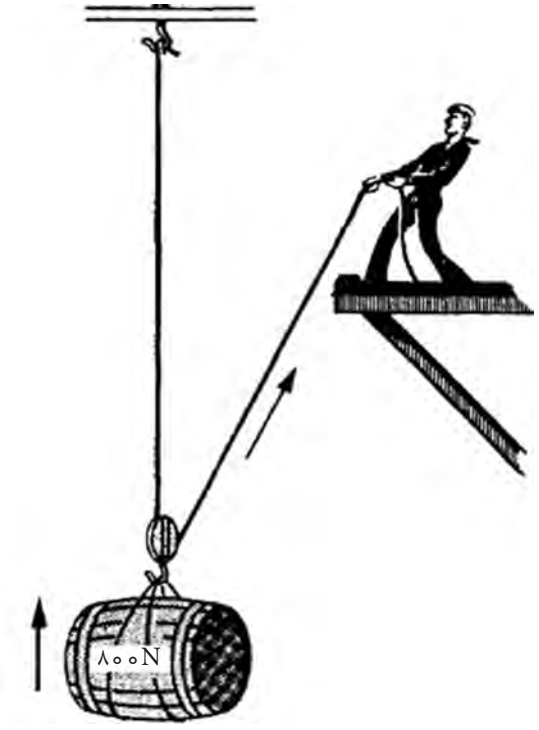
قرقرهٔ متحرک: این قرقره آزادانه روی ریسمان (طناب) جابه‌جا می‌شود و از راه افزایش نیرو به ما کمک می‌کند. بهرهٔ مکانیکی کامل این قرقره برابر با ۲ است. مطابق شکل (۲۵) بازوی محرک (قطر چرخ) همواره دو برابر بازوی مقاوم (شعاع چرخ) است. قرقره متحرک مانند اهرم نوع دوم است، با این تفاوت که بهرهٔ مکانیکی اهرم (با تغییر دادن محل نیروی مقاوم) قابل‌تغییر است درحالی‌که بهرهٔ مکانیکی این قرقره تغییر نمی‌کند و برابر با ۲ است.

$$ME = \frac{L_E}{L_R} = \frac{D}{r} = ۲ \qquad \text{یا} \qquad ME = \frac{R}{E} = \frac{۲E}{E} = ۲$$



قرقره متحرک

شکل ۲۵ـ قرقره متحرک



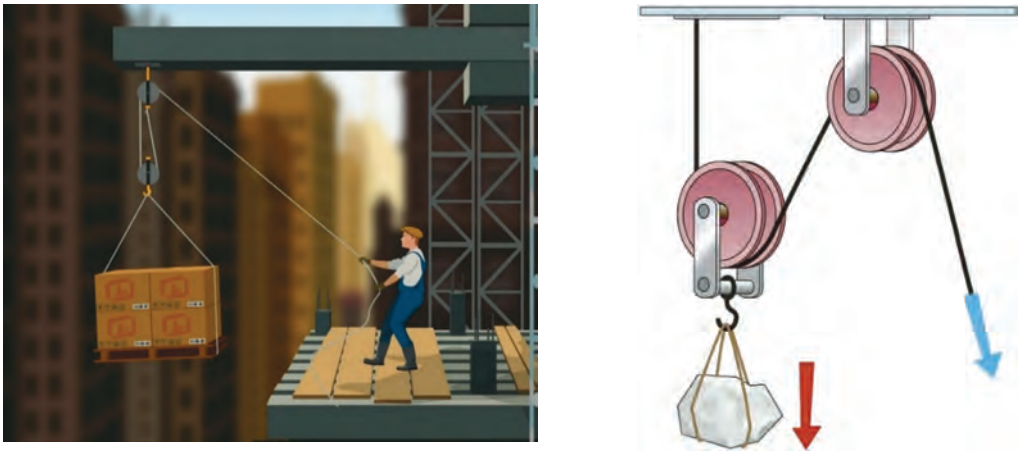
در شکل روبه‌رو یک انتهای طناب از سقف آویزان است و انتهای دیگرش در دست فرد است. بشکه‌ای به وزن ۸۰۰ نیوتون به‌وسیلهٔ قرقره و طناب تحمل می‌شود. با کشیدن طناب، قرقره و بشکه باهم بالا می‌آیند. با توجه به اینکه وزن بشکه ۸۰۰ نیوتون است، هر نیمه از طناب به همراه قرقره ۴۰۰ نیوتون از بار را تحمل می‌کند.

بهرهٔ مکانیکی برابر است با:

$$ME = \frac{R}{E} = \frac{۸۰۰}{۴۰۰} = ۲$$

دستگاه قرقره مرکب

برای دستیابی به بهره‌های مکانیکی بالاتری می‌توان دو یا چند قرقره ثابت و متحرک را باهم ترکیب کرد و یک قرقره مرکب به وجود آورد. (شکل ۲۶)



شکل۲۶ـ ترکیب دو قرقره برای افزایش بهره مکانیکی

در این حالت، قرقره‌ها را به شکل‌های مختلفی با یکدیگر ترکیب می‌کنیم. برای به دست آوردن بهره مکانیکی کامل این دستگاه‌ها، به‌صورت زیر عمل می‌شود:

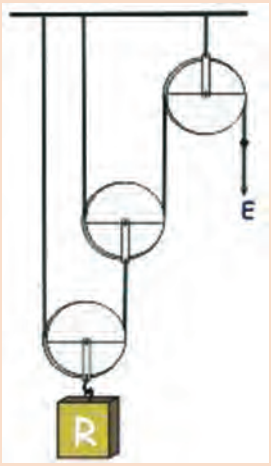
۱ ابتدا نیروی کشش نخ (T) را که همان نیروی موردنیاز برای جابه‌جایی بار (E) می‌باشد، با استفاده از قوانین تعادل مشخص می‌کنیم.

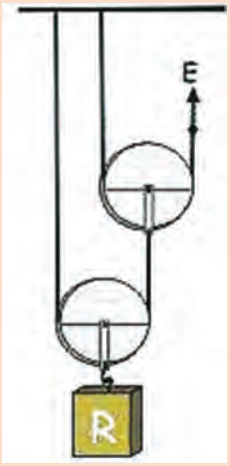
۲ پس با استفاده از فرمول، بهرهٔ مکانیکی را به‌دست می‌آوریم.

$$\text{بهرهٔ مکانیکی} = \frac{\text{بار}}{\text{نیروی کارگر}}$$

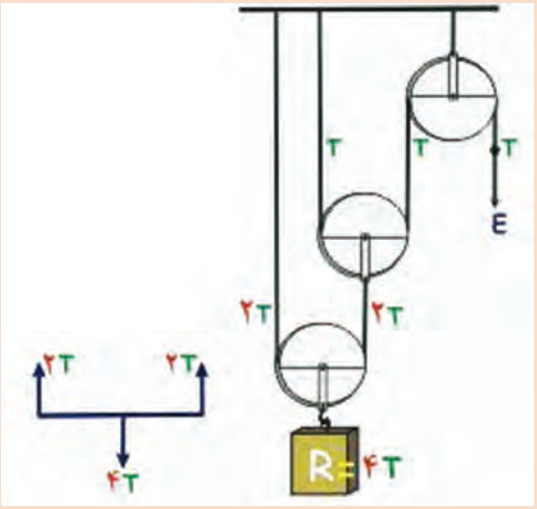
مثال

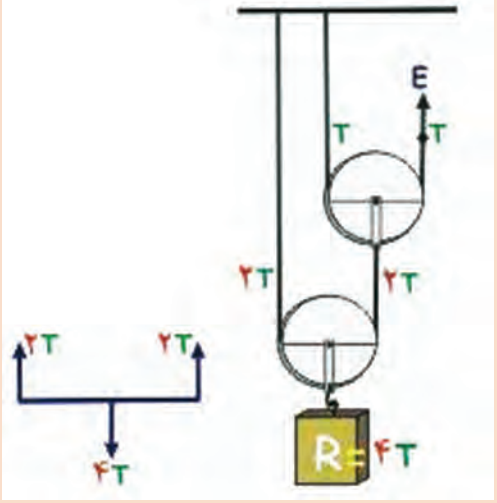
در دو دستگاه زیر مقدار بهره مکانیکی را به دست آورید.





برای به دست آوردن بهرهٔ مکانیکی باید رابطهٔ بین نیروی E را با مقدار بار R به دست آوریم. اگر مقدار نیروی E را برابر مقدار T بگیریم پس داریم:





درنتیجه بهرهٔ مکانیکی برای دو دستگاه بالا برابر است با:

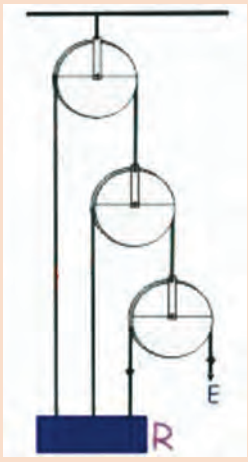
$$ME = \frac{R}{E} = \frac{۴T}{T} = ۴$$

توجه

وجود قرقرهٔ ثابت در بهرهٔ مکانیکی کامل دستگاه بالا هیچ تأثیری ندارد ولی چون کشیدن ریسمان به سمت پایین آسان‌تر از کشیدن به سمت بالاست، گاهی برای آسان‌تر شدن کار از قرقره ثابت استفاده می‌شود.

تمرین

در دستگاه روبه‌رو بهرهٔ مکانیکی را به دست آورید.



اکنون آنچه را که در مورد قرقره و طناب آموختیم به‌طور خلاصه در ادامه می‌آوریم تا به‌طور عملی، در کشتی قابل استفاده باشد.

- تنها مزیت قرقرهٔ ثابت تک شیار، تغییر در جهت کشیدن طناب است و بهرهٔ مکانیکی آن برابر عدد یک است.
- در قرقرهٔ متحرک تک شیار، بهرهٔ مکانیکی برابر ۲ است.
- مجموعهٔ قرقره و طناب را می‌توان به‌صورت‌های مختلفی با ترکیب قرقره‌های تک شیاره، دو شیاره و سه شیاره و بهره مکانیکی بزرگ‌تر استفاده نمود.
- تعداد بخش‌های طناب که از یک قرقرهٔ متحرک می‌گذرند مشخص‌کنندهٔ تقریبی بهرهٔ مکانیکی آن هستند.
- اگر انتهای طناب به یک قرقرهٔ متحرک محکم شود بهرهٔ مکانیکی به‌اندازهٔ عدد یک افزایش می‌یابد.

راندمان ماشین

تاکنون آموختیم که مجموعهٔ قرقره و طناب درواقع نوعی ماشین بالابر است. ماشین بالابر، مکانیزمی برای جابه‌جایی بار در امتداد قائم و امتداد افقی و یا هر دو است.

بازده یا راندمان ماشین‌های ساده از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\text{بازده یا راندمان ماشین} = \frac{\text{انرژی یا کار مفید گرفته شده از ماشین}}{\text{کل انرژی داده شده به ماشین}} \times ۱۰۰$$

طبق قانون پایستگی انرژی، انرژی از بین نمی‌رود بلکه از نوعی به نوع دیگر و از صورتی به‌صورت دیگر تبدیل می‌شود. بنابراین مقدار انرژی داده‌شده به یک ماشین همیشه با مقدار انرژی گرفته‌شده از آن برابر است:

(انرژی گرفته‌شده از ماشین = انرژی داده‌شده به ماشین)

توجه داشته باشید که مقدار انرژی داده‌شده به ماشین، صرف انجام کار مورد نظر ما می‌شود که به آن کار مفید می‌گوییم. بقیهٔ انرژی به‌صورت‌های مختلف مثلاً به‌صورت گرمای ناشی از اصطکاک هدر می‌رود. که به آن «انرژی تلف‌شده» یا «کار غیرمفید» می‌گویند.

پس درنتیجه:

(کار مفید + کار غیرمفید = کل کار انجام‌شده)

روابط موجود برای کار ورودی و کار مفید به شرح زیر است:

$E \times A$ = تغییر مکان به‌وسیلهٔ نیروی کارگر × نیروی کارگر = کار ورودی یا کل کار

$R \times a$ = تغییر مکان بار × نیروی بار = کار مفید

نسبت «تغییر مکان به‌وسیلهٔ نیروی کارگر» به «تغییر مکان بار»، به نسبتِ سرعت یا به اختصار V.R موسوم است. اندازهٔ نسبت سرعت برای هر ماشین خاص، ثابت است و بستگی به طراحی آن ماشین دارد. نسبت سرعت، با انجام آزمایش به دست می‌آید اما می‌توان رابطه زیر را برای آن معرفی کرد.

$$\text{نسبت سرعت (v.r)} = \frac{\text{تغییر مکان به‌وسیلهٔ نیروی کارگر}}{\text{تغییر مکان بار}} = \frac{A}{a}$$

همان‌طور که در بالا اشاره شد، بازده ماشین، با نسبت کار مفید انجام‌شده به کار ورودی داده‌شده به ماشین برابر است.

درنتیجه داریم:

$$\text{بازده} = (\text{بهرهٔ مکانیکی}) \times \left(\frac{۱}{\text{نسبت سرعت}}\right)_{(v.r)} \rightarrow \left(\frac{R}{E}\right) \times \left(\frac{a}{A}\right) = \frac{R \times a}{E \times A} = \frac{\text{کار مفید}}{\text{کار ورودی}} = \text{نسبت سرعت} \rightarrow$$

$$\text{بازده ماشین} = \frac{M.E}{v.r} \times ۱۰۰$$

چنان‌چه اصطکاک نادیده گرفته شود یا وجود نداشته باشد، کار مفید باکار ورودی برابر خواهد بود و درنتیجه، راندمان آن ماشین صددرصد یا مساوی عدد یک است.

مثال

مجموعه قرقره و طناب مطابق شکل زیر باری به وزن ۴۰۵ نیوتون را به فاصله یک متر بالا می‌کشد. اگر نیروی کارگر مساوی ۹۰ نیوتون باشد راندمان مجموعه چقدر است؟

حل:

با توجه به اینکه بار به‌وسیله پنج بخش از طناب تحمل می‌شود؛ بنابراین فاصلهٔ طی شده به‌وسیلهٔ نیروی کارگر برابر ۵ متر و فاصله طی شده به‌وسیلهٔ بار مساوی یک متر است.

$$\text{v. r. (نسبت سرعت)} = \frac{۵}{۱} = ۵$$

$$\text{(M. E) بهرهٔ مکانیکی} = \frac{۴۰۵}{۹۰} = ۴/۵$$

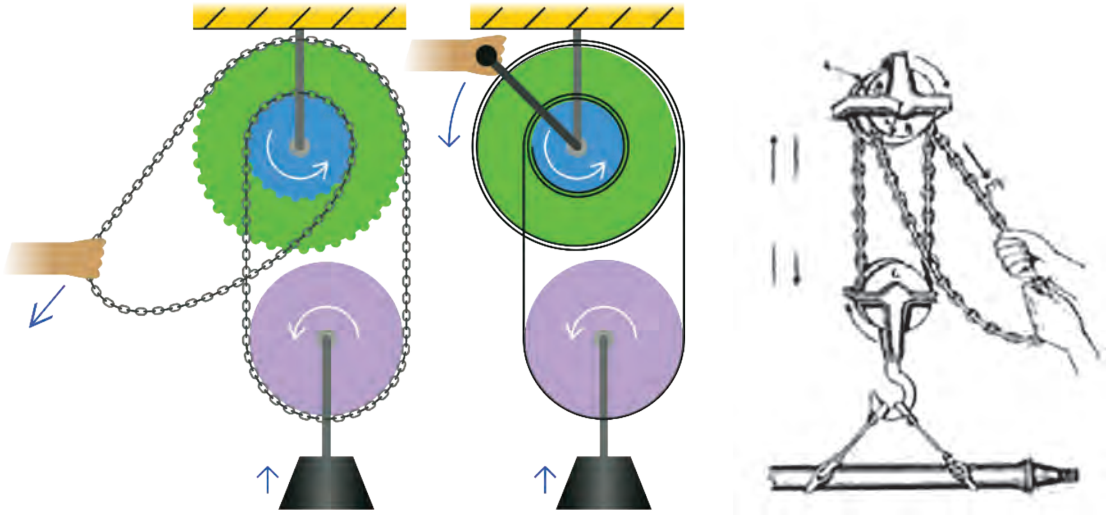
$$\text{راندمان} = \frac{M.E.}{v.r.} \times ۱۰۰$$

$$\text{راندمان} = \frac{۴/۵}{۵} \times ۱۰۰$$

$$\text{راندمان} = ۹۰٪$$

قرقره زنجیری

قرقرهٔ زنجیری که قرقرهٔ اختلافی نیز نامیده می‌شود معمولاً از سقف موتورخانهٔ کشتی و یا کارگاه ساحلی به‌وسیلهٔ روروک آویزان است و برای جابه‌جایی عمودی و افقی اجسام و بارهای سنگین استفاده می‌شود. قرقرهٔ مزبور در شکل (۲۷) نشان داده شده است. ماشین شامل دو قرقرهٔ متحدالمرکز به‌عنوان قرقرهٔ ثابت و یک قرقرهٔ تک شیارهٔ متحرک است. هر دو قرقرهٔ فوقانی هم‌زمان باهم می‌چرخند.



شکل ۲۷ـ قرقره زنجیری

وقتی نیروی کارگر بر زنجیر وارد می‌شود یک‌سوی قرقرهٔ متحرک به‌طرف قرقرهٔ بزرگ کشیده می‌شود ولی سوی دیگر آن با چرخیدن قرقرهٔ کوچک پایین می‌آید. درنتیجه، جابه‌جایی قرقره رو به بالا خواهد بود.
اگر D و d به ترتیب قطر قرقرهٔ بزرگ و قرقرهٔ کوچک باشند، پس با یک دور چرخش کامل قرقرهٔ ثابت داریم:

$$\text{تغییر مکان بار} = \frac{(\pi D - \pi d)}{۲}$$

$$\text{نسبت سرعت (v.r.)} = \frac{\text{تغییر مکان به‌وسیلهٔ نیروی کارگر}}{\text{تغییر مکان بار}}$$

$$\text{نسبت سرعت (v.r.)} = \frac{\pi D}{\frac{۱}{۲}(\pi D - \pi d)}$$

$$(\text{v.r.}) = \frac{۲\pi D}{(\pi D - \pi d)} = \frac{۲\pi(۲R)}{۲\pi R - ۲\pi r} = \frac{۲R}{R - r}$$

رابطه بالا نسبت سرعت را در یک قرقرهٔ زنجیری نشان می‌دهد. در این رابطه، R شعاع قرقرهٔ بزرگ و r شعاع قرقرهٔ کوچک است.

مثال

قطر قرقره‌های بزرگ و کوچک در یک قرقرهٔ زنجیری به ترتیب ۱۲۰ و ۱۱۰ میلی‌متر است. برای بالا بردن باری به مقدار ۲/۴ کیلو نیوتون، نیروی کارگری به مقدار ۲۵۰ نیوتون لازم است. نسبت سرعت، بهرهٔ مکانیکی و راندمان را تعیین کنید. همچنین مقدار نیروی کارگر را که برای جبران اصطکاک مصرف می‌شود، محاسبه کنید.

$$v.r. = \frac{۲D}{D-d} = \frac{۲\times ۱۲۰}{۱۲۰-۱۱۰} = ۲۴$$

$$M.A. = \frac{R}{E} = \frac{۲۴۰۰}{۲۵۰} = ۹/۶$$

$$\text{راندمان} = \frac{M.A.}{v.r.} = \frac{۹/۶}{۲۴} = ۰/۴ \quad \text{یا} \quad ۴۰٪$$

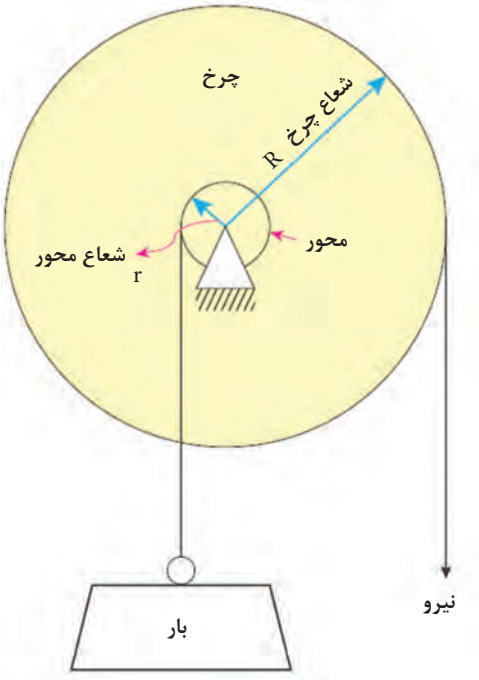
$$\text{نیروی کارگر مطلوب} = \frac{R}{v.r.} = \frac{۲۴۰۰}{۲۴} = ۱۰۰ \text{ نیوتون}$$

نیروی کارگر مطلوب - نیروی کارگر حقیقی = نیروی کارگر مصرف شده برای اصطکاک

$= ۲۵۰ - ۱۰۰ = ۱۵۰$ نیوتون

چرخ و محور

این ماشین شامل یک قرقرهٔ تک شیاره به همراه یک محور است. یک سر طناب یا سیمی که قلاب بار از آن آویزان می‌شود، به محور متصل و محکم شده و به دور آن می‌پیچد. یک سر دیگر طناب یا سیمی که نیروی کارگر آن را می‌کشد، به دور قرقره می‌پیچد. این ماشین در شکل (۲۸) نشان داده‌شده است.



شکل ۲۸ـ چرخ و محور

طناب بار و طناب نیروی کارگر در دو جهت مخالف به دور محور و قرقره پیچیده می‌شوند. با اعمال نیروی کارگر قرقره می‌چرخد و طناب به‌طرف کارگر کشیده می‌شود. هم‌زمان طناب بار در جهت مخالف به دور محور می‌پیچد و بار بالا می‌رود.

درصورتی‌که D و R به ترتیب قطر و شعاع قرقره و d و r قطر و شعاع محور باشند و با فرض اینکه نیروی کارگر، قرقره و محور را یک دور کامل بچرخاند می‌توان نوشت:

$$\text{نسبت سرعت (r.v.)} = \frac{\text{تغییر مکان به‌وسیله نیروی کارگر}}{\text{تغییر مکان بار}} = \frac{\text{طول محیط قرقره}}{\text{طول محیط محور}}$$

از نسبت بالا می‌توان نتیجه گرفت:

$$(\text{v.r.}) = \frac{\pi D}{\pi d} = \frac{D}{d} = \frac{R}{r}$$

دقت کنید درصورتی‌که ضخامت طناب در مسئله ذکر شود باید ضخامت آن را به قطر مؤثر افزود.

البته ممکن است به‌جای طناب کارگر از یک دسته به‌عنوان اهرم استفاده شود که این سامانه در چر خ چاه دیده می‌شود. شکل مثال بعد نیز نوعی ماشین چرخ و محور (چرخ چاه) را نشان می‌دهد که نیروی کارگر به‌جای وارد شدن به طناب به یک دسته وارد می‌شود.

مثال

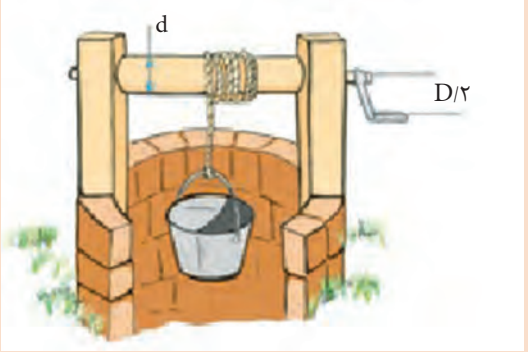
در یک ماشین چرخ و محور، قطر قرقره و محور به ترتیب ۲۲۰ و ۴۰ میلی‌متر است. قطر طناب‌های بار و نیروی کارگر به ترتیب ۱۰ و ۵ میلی‌متر است. درصورتی‌که راندمان ماشین ۰/۹۲ باشد مقدار نیروی کارگر برای بالا بردن باری به مقدار ۴۰۰ نیوتون را محاسبه کنید.

قطر طناب نیروی کارگر + قطر قرقره = قطر مؤثر قرقره

میلی‌متر ۵۰=۱۰+۴۰=

قطر طناب بار + قطر محور = قطر مؤثر محور

میلی‌متر ۵۰=۱۰+۴۰=



$$\text{نسبت سرعت (v.r.)} = \frac{D}{d} = \frac{۲۲۵}{۵۰} = ۴/۵$$

$$\text{بهره مکانیکی (M.A.)} = \text{راندمان ماشین} \times \text{v.r.}$$

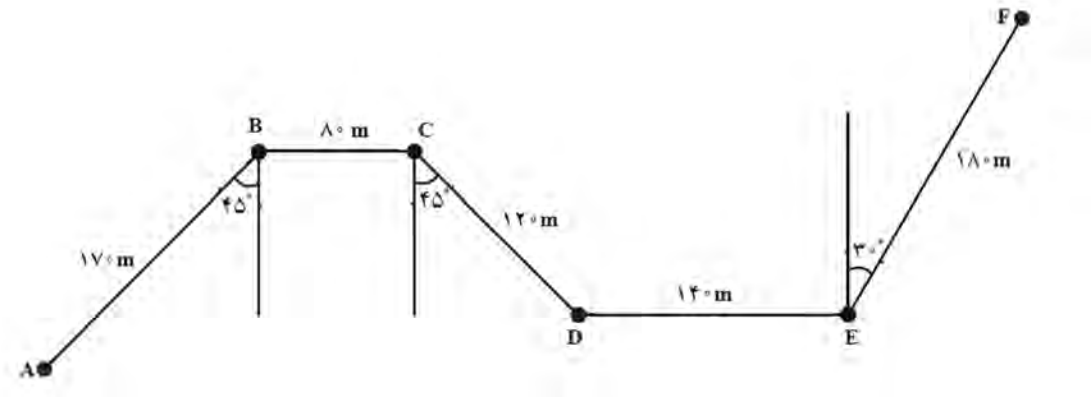
$$= ۰/۹۲ \times ۴/۵$$

$$= ۴/۱۴$$

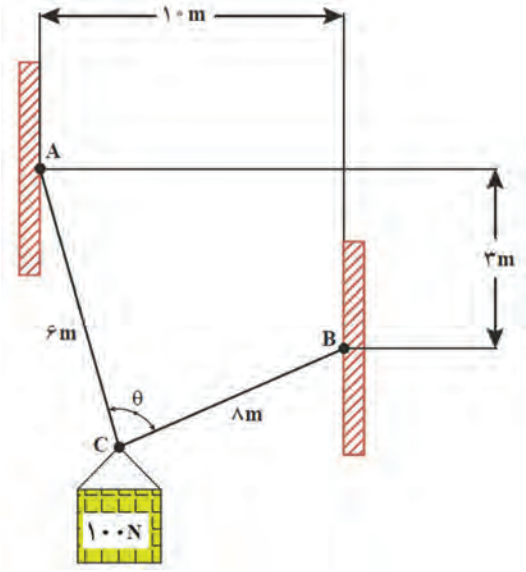
$$\text{نیروی کارگر} = E = \frac{R}{M.E} = \frac{۴۰۰N}{۴/۱۴} = ۹۶/۶۱N$$

ارزشیابی

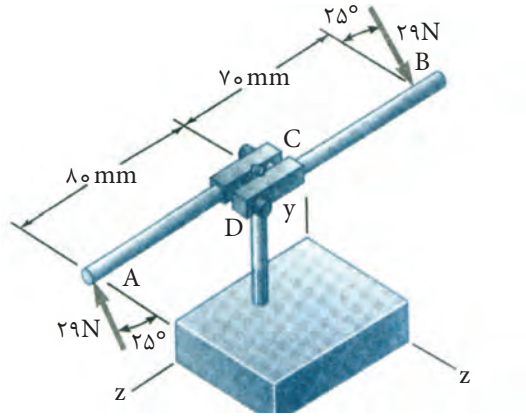
۱ـ یک قایق مسیر زیگزاگ را از نقطه A تا F را می‌پیمایید با توجه به جمع برداری، فاصله مستقیم بین دو نقطه A تا D و A تا F را رسم کرده و اندازهٔ آن را تعیین کنید.



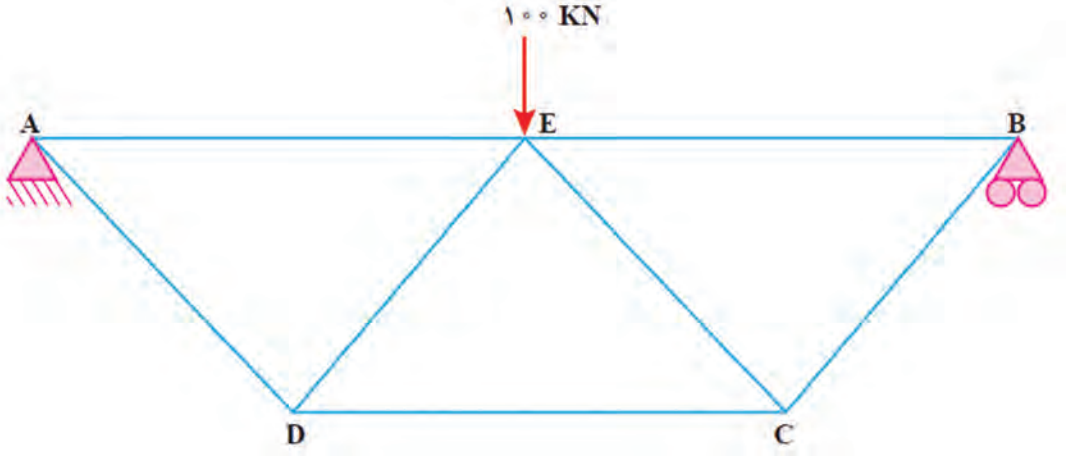
۲ـ وزنه ۱۰۰ N، مطابق شکل زیر از کابل‌های AC و BC آویزان شده است. مقدار نیرو را در این دو طناب به‌دست آورید.



۳ـ مکانیکی با اعمال نیروی افقی نشان داده شده بر دسته قلاویز، در حال قلاویز کردن سوراخی است. برآیند نیروها و گشتاور اعمالی به قلاویز چه مقدار خواهد بود:



۴ـ در سازهٔ شکل زیر کلیه عضوهای مورّب دارای زاویه ۴۵ درجه با عضو مجاورخود هستند. باری به اندازهٔ ۱۰۰KN در وسط سازه قرار دارد. نیروهای موجود در عضوها را رسم و اندازه‌گیری کنید و اندازهٔ نیروها و ماهیت آنها (کششی یا فشاری) را در یک جدول بنویسید.



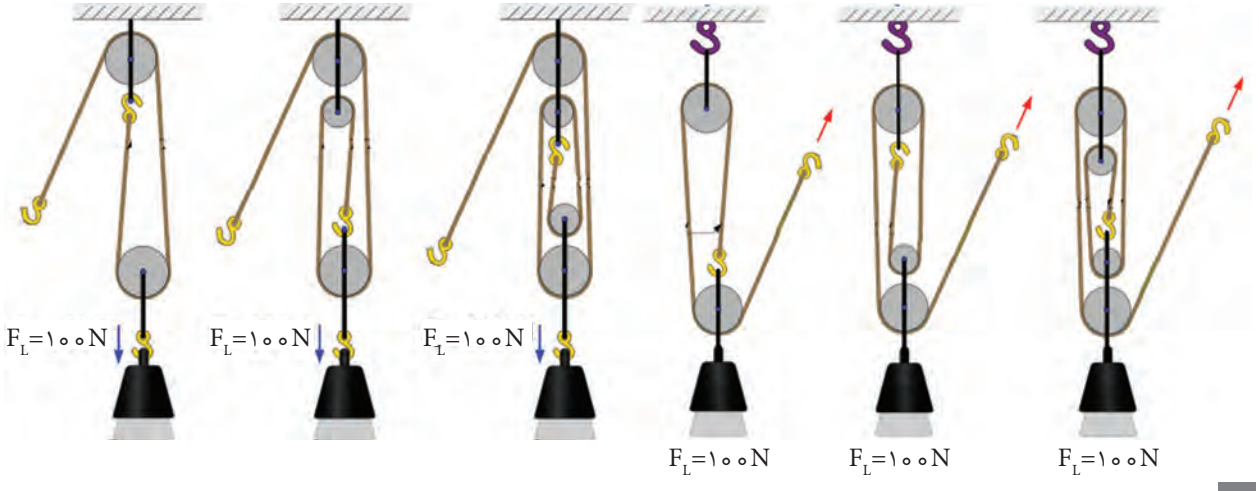
۵ـ میله پله‌دار شکل زیر با سرعت ۶۰۰RPM در یک دستگاه تراش می‌چرخد. تندی خطی یک نقطه را برحسب متر بر ثانیه در موارد زیر محاسبه کنید:

۱ـ نقطه‌ای روی قسمتی که قطر آن ۷ سانتی‌متر است.

۲ـ نقطه‌ای روی قسمتی که قطر آن ۵ سانتی‌متر است.

۳ـ نقطه‌ای روی قسمتی که قطر آن ۴ سانتی‌متر است.

۶ـ ترکیب‌های مختلفی از انواع قرقره در شکل زیر نشان داده شده است، بهرهٔ مکانیکی آنها را محاسبه کنید.



۷ـ در یک ماشین بالابر نوع چرخ و محور دوپله‌ای از دسته اهرم به طول ۲۴۰ میلی‌متر به جای قرقره کارگر استفاده می‌شود. قطر محورهای دوپله‌ای به ترتیب ۱۱۰ و ۸۰ میلی‌متر است. برای بالا بردن باری به مقدار ۱/۱۲ کیلو نیوتون به نیروی کارگر معادل ۸۰ نیوتون نیاز است. نسبت تندی، بهره مکانیکی و راندمان ماشین را تعیین کنید.

۸ـ قطر قرقره کوچک یک مجموعه قرقره زنجیری (اختلافی) ۱۳۰ میلی‌متر است. برای بالا بردن باری به مقدار ۵۶۰ نیوتون نیروی کارگر به مقدار ۵۰ نیوتون لازم است. در صورتی که راندمان ماشین ۴۰ درصد باشد. قطر قرقره بزرگ چقدر است؟

ارزشیابی پودمان استاتیک و دینامیک کاربردی

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
استاتیک و دینامیک کاربردی	توانایی تحلیل نیروها در مسائل استاتیکی و دینامیکی	محاسبهٔ نیروها در اجزای مختلف در حالت استاتیکی و دینامیکی و محاسبهٔ نیروها در ماشین‌های مکانیکی	بالاتر از حد انتظار	۱ـ تحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزاء خرپا ۲ـ تحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی ۳ـ تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی توانایی تحلیل همه شاخص‌ها را داشته باشد	۳
			در حد انتظار	۱ـتحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزاء خرپا ۲ـ تحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی ۳ـ تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی توانایی تحلیل ۲مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
	توانایی تحلیل نیروها در ماشین‌های ساده مکانیکی و به دست آوردن راندمان در این ماشین‌ها		پایین‌تر از حد انتظار	۱ـ تحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزاء خرپا ۲ ـتحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی ۳ـ تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی توانایی تحلیل ۱مورد از شاخص‌ها را داشته باشد	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

شرح کار: ۱ـ تحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزای خرپا ۲ـ تحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی ۳ـ تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی
استاندارد عملکرد: در این پودمان انتظار داریم هنرجویان بتوانند نیروهای ایجادشده در خرپا و ماشین‌های سادهٔ مکانیکی را محاسبه کرده و راندمان را در این ماشین‌ها به‌دست آورند **شاخص‌ها:** ۱ـ توانایی تحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزای خرپا ۲ـ توانایی تحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی ۳ـ توانایی تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی
شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات: **شرایط:** کلاس مجهز به پرده نگار **ابزار و تجهیزات:** یک دستگاه رایانه و یک دستگاه پرده نگار

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	تحلیل مسائل تعادل و نیروهای وارد بر اجزای خرپا		
۲	تحلیل مسائل مربوط به حرکت دورانی و سرعت نسبی		
۳	تحلیل نیروها و راندمان در ماشین‌های مکانیکی		
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی، ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر ۴ـ اخلاق حرفه‌ای	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۲

اصول بررسی ساختمان کشتی

واحد یادگیری ۲

اصول بررسی ساختمان کشتی

آیا تاکنون پی برده‌اید

- چه نیروهای متفاوتی بر ساختمان کشتی در حال حرکت و بدون حرکت وارد می‌شود؟
- نیروهای وارد بر ساختمان کشتی چه تأثیری بر کشتی می‌گذارند؟
- چگونه اجزای داخلی کشتی را تقویت می‌کنند؟
- اجزای ساختمان کشتی چگونه کنار هم قرار می‌گیرند؟
- آدرس‌دهی در کشتی چگونه انجام می‌گیرد؟

استاندارد عملکرد

در این پودمان هنرجویان با نیروهای وارد بر ساختمان کشتی آشنا می‌شوند و به تأثیر آنها بر بدنه و ساختمان کشتی پی می‌برند؛ سپس با مقاطع فلزی پرکاربرد در ساخت کشتی، انواع اتصالات و اجزای داخلی ساختمان کشتی آشنا شده و کاربرد و محل قرارگیری هر جزء ساختمان کشتی را بررسی می‌نمایند و تأثیر آنها بر استحکام ساختمان کشتی را فرا می‌گیرند. همچنین با سازهٔ سینه و پاشنهٔ کشتی، کف دو جداره، بالچهٔ تعادل و انواع شاه‌تیر اصلی آشنا شده و کاربرد و تأثیر هریک را بر تعادل و استحکام سازهٔ کشتی بررسی می‌کنند.

نیروهای وارد بر ساختمان کشتی

اگر کشتی در حال حرکت باشد تحت تأثیر نیروهای مختلفی قرار می‌گیرد، این نیروها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود:

جدول ۱ـ نیروهای وارد بر کشتی

انواع نیروها	اصطلاح فارسی	اصطلاح انگلیسی
نیروهای ساختمانی	تحدّب و تقعّر	Hogging and sagging
	فشار ناشی از پیچش عرضی	Racking
	فشار آب بر بدنهٔ کشتی	Effect of water pressure
نیروهای موضعی	تپش سینه	Panting
	ضربهٔ سینه	pounding
	بارهای محلی	Local weight
	فشار ناشی از حوضچه خشک	Drydocking
	فشار ناشی از لرزش	Vibration

البته باید توجه کرد که نیروها را می‌توان به دو دستهٔ دیگر نیز تقسیم‌بندی نمود:

ـ نیروهای پایا (استاتیکی): نیروهایی که تابع زمان نبوده و به سازهٔ کشتی وارد می‌شوند. نیروهایی مانند وزن کشتی، نیروی شناوری و نیروی ناشی از حوضچهٔ خشک.

ـ نیروهای پویا (دینامیک): نیروهایی که تابع زمان بوده و به سازهٔ کشتی وارد می‌شود.نیروهایی از قبیل نیروی کوبش (Slamming)، تپش سینه (Panting) و نیروی حاصل از امواج و ضربات آب در مخازن (Sloshing) که در هنگام حرکت کشتی به آن وارد می‌شوند. در ادامه به توضیح این نیروها و فشارها می‌پردازیم.

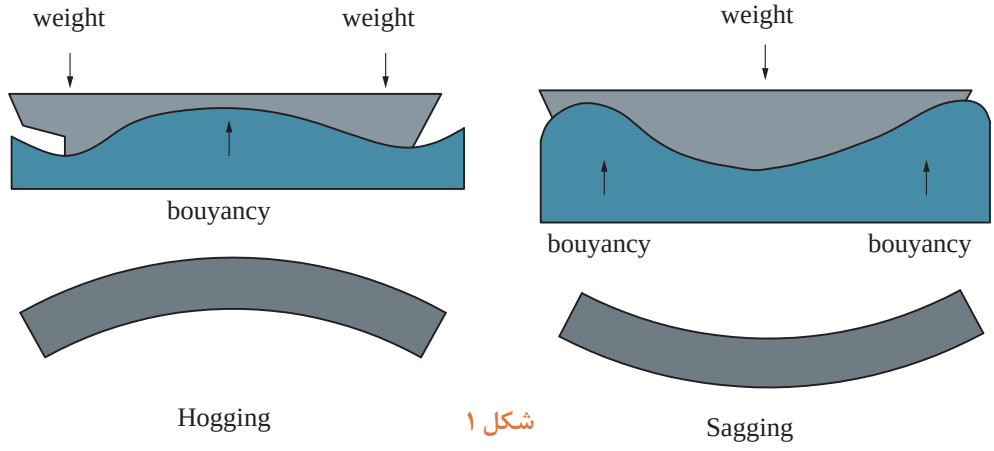
تحدّب و تقعّر (Hogging and sagging)

کشتی‌ها در هنگام دریانوردی به راحتی تحت تأثیر امواج قرار می‌گیرند. به بالاترین قسمت موج، قلهٔ موج و به پایین‌ترین قسمت آن، قعر موج می‌گویند. همچنین فاصله بین دو قله یا دو قعر متوالی موج را طول موج می‌نامند.

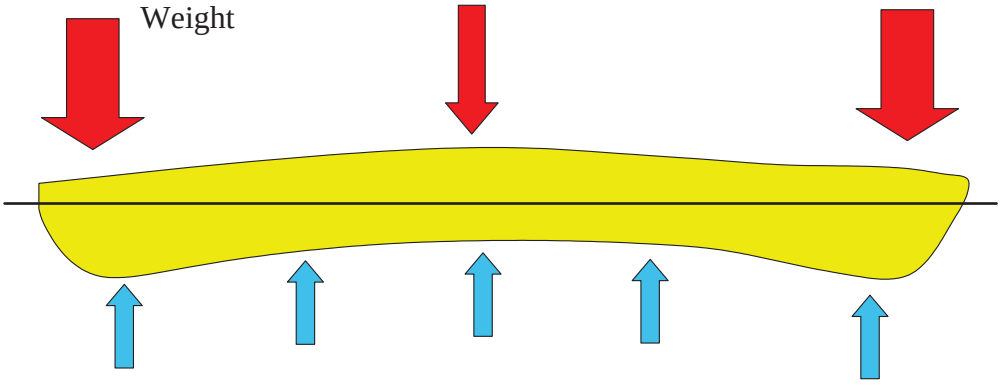
حالت تشکیل تحدب (Hogging) زمانی به وجود می‌آید که میان کشتی روی فراز موجی به طول موجی برابر با طول کشتی قرار گرفته باشد. در این صورت فشار آب از میان کشتی به طرف بالا وارد شده و در نتیجه، وزن کشتی از سینه و پاشنهٔ آن به طرف پایین وارد می‌شود (شکل ۱).

حالت تشکیل تقعر (Sagging) زمانی که سینه و پاشنه کشتی روی فراز موجی به طول موج برابر با طول

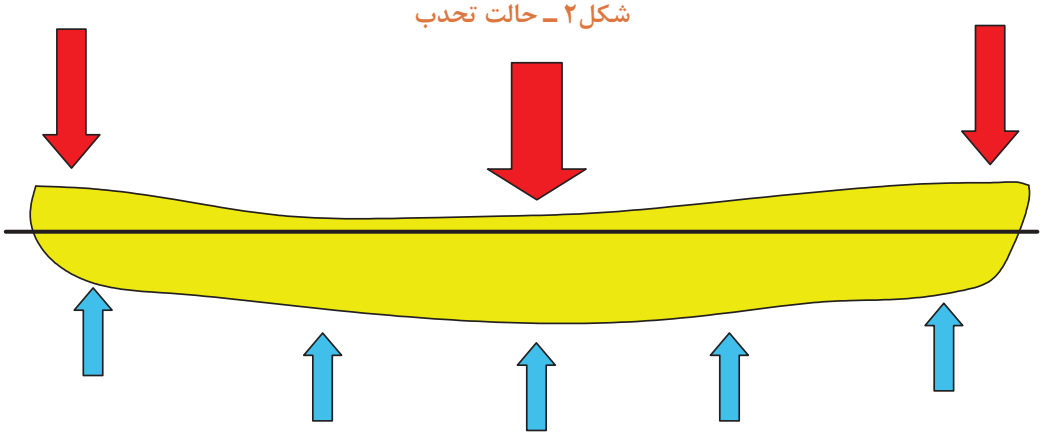
کشتی قرار گرفته، و وسط کشتی در فرود موج باشد، بوجود می‌آید. در این حالت فشار آب از سینه و پاشنه به طرف بالا و وزن کشتی از قسمت میان کشتی به طرف پایین وارد می‌آید (شکل ۱).
باید توجه داشت حالت تحدب و تقعر در زمانی که توزیع بار بر روی کشتی نامناسب باشد هم به وجود می‌آیند (شکل ۲ و ۳). در نظر داشته باشید که تغییرشکل‌ها به‌صورت اغراق آمیز نشان داده شده است و تغییر فرم بدنهٔ شناور به این اندازه نیست.



شکل ۱



شکل ۲ ـ حالت تحدب



شکل ۳ـ حالت تقعر

بحث کلاسی

با توجه به شکل‌های۴و۵ دربارهٔ علت ایجاد شکست بدنه کشتی‌ها در کلاس بحث و گفتگو کنید.

شکل ۴

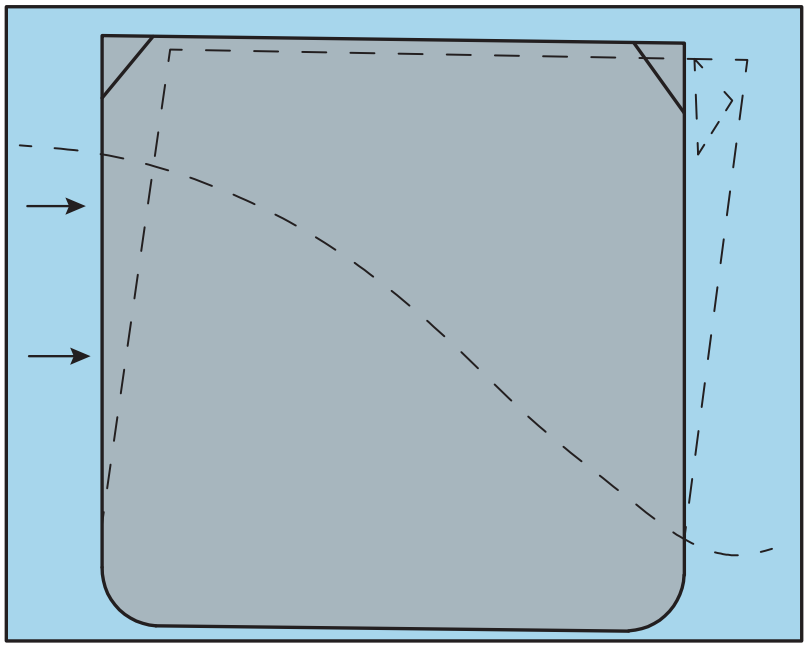
شکل ۵

تحقیق کنید

تحدب و تقعر بر کشتی چه اثراتی می‌گذارد؟

فشار ناشی از پیچش عرضی (Racking)

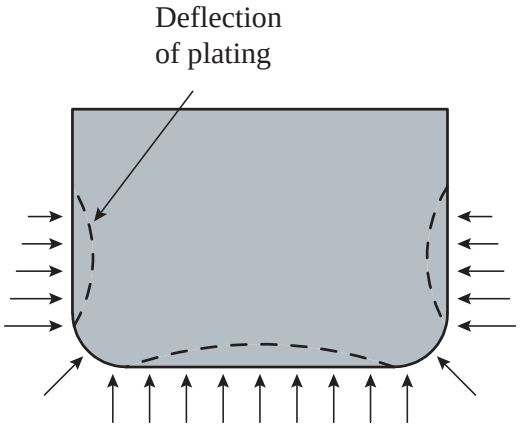
وقتی کشتی در حال پیچش عرضی است فشارهایی به بدنه آن وارد می‌گردد که باعث کج شدن بدنه آن می‌شود. این حالت را Racking می‌گویند (شکل ۶). برای جلوگیری از این حالت می‌توان از تیغه‌های عرضی و نبشی‌های محکم در اطراف لبه‌های فوقانی و از فریم‌های خاصی در روی بدنه استفاده نمود تا بتواند در برابر این فشارها مقاومت نماید.



شکل ۶ـ Racking (کج شدن بدنهٔ کشتی که با خط چین نمایش داده شده برای درک بهتر، اغراق‌آمیز رسم شده است).

فشار آب بر بدنهٔ کشتی (Effect of water pressure)

فشار آب از دو طرف وکف کشتی به بدنهٔ آن وارد می‌شود که در صورت عدم استحکام لازم در ساختمان کشتی، باعث تورفتگی در بدنهٔ آن می‌گردد. این فشار توسط دیواره‌ها، فریم‌ها و صفحات عرضی خنثی می‌گردد (شکل ۷).



شکل ۷ـ فشار آب بر بدنهٔ کشتی

تپش سینه (Panting)

هنگام عبور کشتی از میان امواج بزرگ که قسمت اعظم سینه کشتی را در بر می‌گیرد، اختلاف فشاری که به علت برخورد سیّال به سینهٔ کشتی به وجود می‌آید باعث حرکت رو به داخل و خارج ورقهٔ فلزی سینه می‌شود. این حالت را تپش سینهٔ کشتی می‌گویند.

فعالیت کارگاهی

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

کوبش سینه (Slamming) و ضربهٔ سینه (Pounding):

وقتی کشتی دارای نوسانات طولی (Pitching) است، اگر ارتفاع موج زیاد باشد در اثر حرکت ممکن است پاشنهٔ کشتی، بیشتر در آب فرو رفته و سینهٔ آن کاملا از آب خارج شود، در نتیجه سینهٔ آن به آب ضربه می‌زند که این حالت را کوبش سینه (Slamming) می‌گویند. تحلیل اثرات کوبش سینه در سازهٔ کشتی را ضربهٔ سینه (Pounding) می‌گویند. این مهم در فاصله طول کشتی از سینه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شکل ۸ـ شناوری که حالت Slamming برای آن اتفاق افتاده

تحقیق کنید

تأثیر موج بر ایجاد شش در جه آزادی کشتی چگونه است؟

فشار ناشی از حوضچهٔ خشک (Drydocking)

گاهی اوقات به علل مختلف از جمله تعمیرات دوره‌ای، تعمیرخسارت‌های زیرآبی و خزه زدایی، لازم است کشتی به داخل حوضچهٔ خشک برده شود. وقتی کشتی داخل حوضچه می‌شود آب زیر آن تخلیه شده و کشتی بر روی یک سری بلوک‌ها قرار داده می‌شود. در این هنگام کلیهٔ وزن کشتی به بلوک‌های زیر آن منتقل می‌گردد. لذا سازهٔکف شناور باید استحکام کافی برای تحمل بارهای وارد شده از طرف بلوک‌ها را داشته باشد.

تحقیق کنید

در کشتی‌های دو جداره برای جلوگیری از آسیب دیدن بدنهٔ کشتی از فشار ناشی از فشار داک چه فکری شده است؟

شکل۹ـ تصویر شناور بر روی بلوک‌های چوبی در داخل حوضچهٔ خشک

فعالیت کارگاهی

در صورت وجود حوضچه خشک در محل اقامت خود، از آنجا بازدید کنید و از محل تماس بلوک‌ها با بدنه کشتی بر روی داک، عکس گرفته و در کلاس ارائه نمایید.

فشارهای ناشی از لرزش (Vibration)

لرزش ناشی از موتور کشتی، سامانهٔ انتقال قدرت،پروانه و دیگر ماشین‌آلات موجب ایجاد ارتعاش در سازه کشتی می‌شود و برای جلوگیری از این وضعیت،لازم است سازهٔ قسمت تحت تأثیر تقویت شود همچنین برای کاهش انتقال ارتعاشات ناشی از دستگاه‌های ذکر شده، لازم است از قطعات جاذب ارتعاش (Vibration damper) استفاده شود.

بارهای محلی (Local weight)

وزن تجهیزات روی کشتی و کالای بارگیری شده، فشار زیادی به محل نصب تجهیزات و محل نگهداری کالا وارد می‌آورد. با طراحی نشیمنگاه مناسب و تقویت کردن محل نصب تجهیزات و محل نگهداری کالا می‌توان از بروز آسیب دیدگی و خسارت به بدنهٔ کشتی جلوگیری کرد.

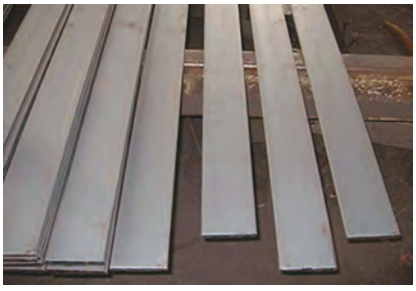
اجزای ساختمان کشتی

برای اینکه ساختمان کشتی در مقابل نیروهای وارد بر آن مقاومت کافی و یکپارچگی سازه‌ای مناسبی داشته باشد، از یک ترکیب و چیدمان سازه‌ای از ورق و انواع مقاطع فلزی بهره برده می‌شود. متناسب با مقدار نیروها در اماکن مختلف کشتی، نوع سازهٔکشتی در اماکن مختلف متفاوت می‌باشد.

ـ مقاطع فلزی پرکاربرد در ساختمان کشتی

در ساخت کشتی از قطعات مختلف بسیار زیادی استفاده می‌شود که نوع و شکل آنها معمولاً استاندارد بوده ولی اندازهٔ آنها متناسب با اندازهٔ ساختمان کشتی است.

جدول۲ـ مقاطع پر کاربرد در ساختمان کشتی

نام	شکل	توضیحات
ورقه‌های فلزی (Plates)		یکی از قسمت‌های اصلی و مهم برای ساختن کشتی، ورقه‌های فلزی بدنهٔ 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 لبهٔ 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 در جایی که استحکام زیادی مورد نیاز باشد از آن استفاده می‌شود.
سپری (Bar_T)		به عنوان یکی از پر کاربردترین اجزا در ساختمان کشتی استفاده می‌شود.

تحقیق کنید

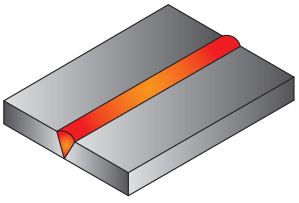
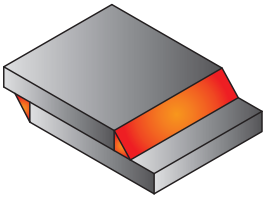
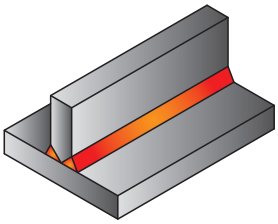
چه مقاطع فلزی دیگری ممکن است در ساخت کشتی استفاده شود؟

ـ اتصالات

اگر بخواهیم که کشتی استحکام کافی داشته باشد، لازم است اجزا و قسمت‌های مختلف آن به‌طور صحیح به همدیگر متصل شوند. بدین منظور از اتصالات مختلفی استفاده می‌شود که در ادامه به چند روش از آنها اشاره می‌شود.

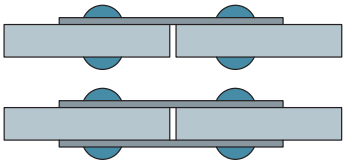
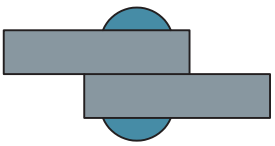
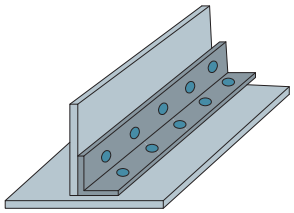
۱ **اتصالات جوشی:** مهم‌ترین انواع اتصالات جوشی که در ساخت کشتی به‌کار می‌روند، در جدول۳ ارائه شده‌اند. این اتصالات قبلاً در کتاب جوشکاری برق و گاز توضیح داده شده‌اند.

جدول۳ـ اتصالات جوشی پرکاربرد در ساخت کشتی

		
اتصال لب به لب (Butt joints)	اتصال روی هم (Lapped Joints)	اتصال T شکل

۲ **اتصالات پرچی:** برای اتصال فلزهای غیرهمجنس به یکدیگر در کشتی‌ها معمولاً از اتصالات پرچی استفاده می‌گردد.در مواردی چون معماری داخل کشتی، عایق‌کاری و کانال‌کشی از پرچ برای ایجاد اتصال استفاده می‌شود.

جدول۴ـ اتصال‌های پرچی پرکاربرد در ساخت کشتی

		
اتصال لب به لب (Butt joints)	اتصال روی هم (Lapped Joints)	اتصال قائم یا T شکل

فعالیت کارگاهی

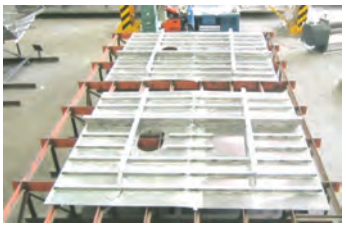
با هماهنگی مدیر هنرستان از یک کشتی بازدید کرده (ترجیحاً از موتورخانه) و با کسب اجازه از فرماندهٔ کشتی، از اتصالات ذکر شده در بالا عکس تهیه کرده و توسط پرده‌نگار در کلاس ارائه نمایید.

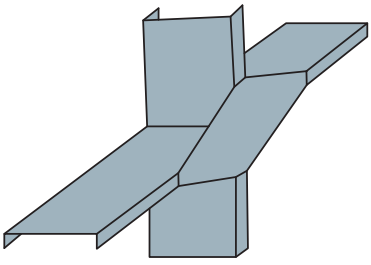
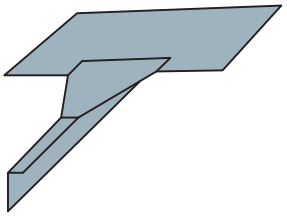
ـ تقویت ورق‌ها و اجزای سازه‌ای در کشتی

کشتی، سازه‌ای است فولادی که به‌صورت یکپارچه ساخته می‌شود. این سازه، از پوسته‌ای غیرقابل نفوذ آب تشکیل شده است که برای تحمل نیروها و فشارهای ذکر شده نیاز به تقویت دارد.

به دلیل ابعاد بزرگ ورق‌ها و قابل انعطاف بودن آنها، در سازهٔ کشتی از ورق‌های صاف به‌صورت خام استفاده نمی‌شود. برای اینکه این ورق‌ها بتوانند در مقابل نیروهای وارده استحکام کافی داشته باشند، لازم است به‌گونه‌ای آنها را تقویت نمود. یکی از روش‌های تقویت ورق‌ها کنگره‌ای کردن آنها (corrugate) و روش دیگر اتصال تقویتی‌ها به ورق‌های صاف (Stiffened plate) می‌باشد. همچنین برای حفظ یکپارچگی تقویتی‌های ورق، نیاز به استفاده از یک سری اجزای تقویتی می‌باشد. در جدول زیر برخی از روش‌های تقویت ورق‌های فلزی نشان داده شده است.

جدول۵ـ روش‌های تقویت کردن ورق‌های فلزی

روش تقویت ورق فلزی	شکل	کاربرد
تقویتی‌ها (Stiffeners)		ورق‌های فلزی مورد استفاده در سازهٔ کشتی معمولاً توسط یک سری تقویتی‌ها از قبیل تسمه،نبشی،سپری و HP با استفاده از فرآیند جوشکاری تقویت می‌شوند.
لچکی (Bracket)		معمولاً در اتصال فریم‌ها و ایجاد قاب در کشتی و همچنین نصب ستون‌ها از یک سری سازه‌های مثلثی شکل استفاده می‌گردد که به آنها لچکی می‌گویند.
لچکی ضد پیچش (Tripping Brackets)		برخی از سازه‌های کشتی همچون شاه‌تیر بدنهٔ اصلی و نشیمنگاه موتورها تحت گشتاورهای پیچشی قرار می‌گیرند برای مقابله با این پیچش از یک نوع لچکی استفاده می‌شود که به آنها لچکی ضد پیچش می‌گویند.
تقویت لبه‌های آزاد ورق (Stiffeners of Free Edges)		وقتی لبهٔ سطوح فلزی آزاد تحت فشار قرار گیرد، امکان تاب برداشتن یا کج شدن آن بخصوص 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: ۱ـ با خم کردن قسمتی از لبهٔ آن؛ ۲ـ با جوش دادن یک تسمه روی لبهٔ ورق.

پابندهای صفحه‌ای (Face Straps)		وقتی تیرهای نگهدارنده همدیگر را قطع می‌کنند، گاهی ضرورت ایجاب می‌نماید که محل اتصال آنها به‌صورت اتصال سطوح فلزی به‌وسیلهٔ بندهای صفحه‌ای محکم شود. بهترین روش‌های شناخته شده استفاده از صفحات لوزی شکل یا نیمه لوزی است.
پشت‌بند (Gussets)		صفحات مثلث شکلی هستندکه برای مقاصد مشابه بندهای صفحه‌ای، یا برای محکم کردن اتصال گوشه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.
تقویت بازشوها (Reinforcement Of Openings)		وقتی قسمتی از سطوح فلزی بریده می‌شود برای تقویت قسمت بریده شده می‌توان از صفحات باریک، یا تسمه استفاده نمود. استفاده از صفحات باریک گاهی اوقات در اطراف لبه‌های بزرگ و یا استفاده از آن درست در قسمت گوشه‌ها مناسب‌تر است.
دوبله کردن صفحات	 	معمولاً در گوشه‌های دهنه‌های بزرگ و گاهی اوقات در اطراف دهانه به‌کار می‌رود. در کارهای جوشکاری معمولاً به‌جای دوبله کردن سطوح، از ورقه‌های ضخیم‌تر استفاده می‌شود.

کنگره‌ای کردن ورق (corrugate)		ورق‌های فلزی صاف را به‌صورت کنگره‌ای خمکاری می‌کنند تا مقاومت آنها در برابر نیروهای وارده بیشتر شود.

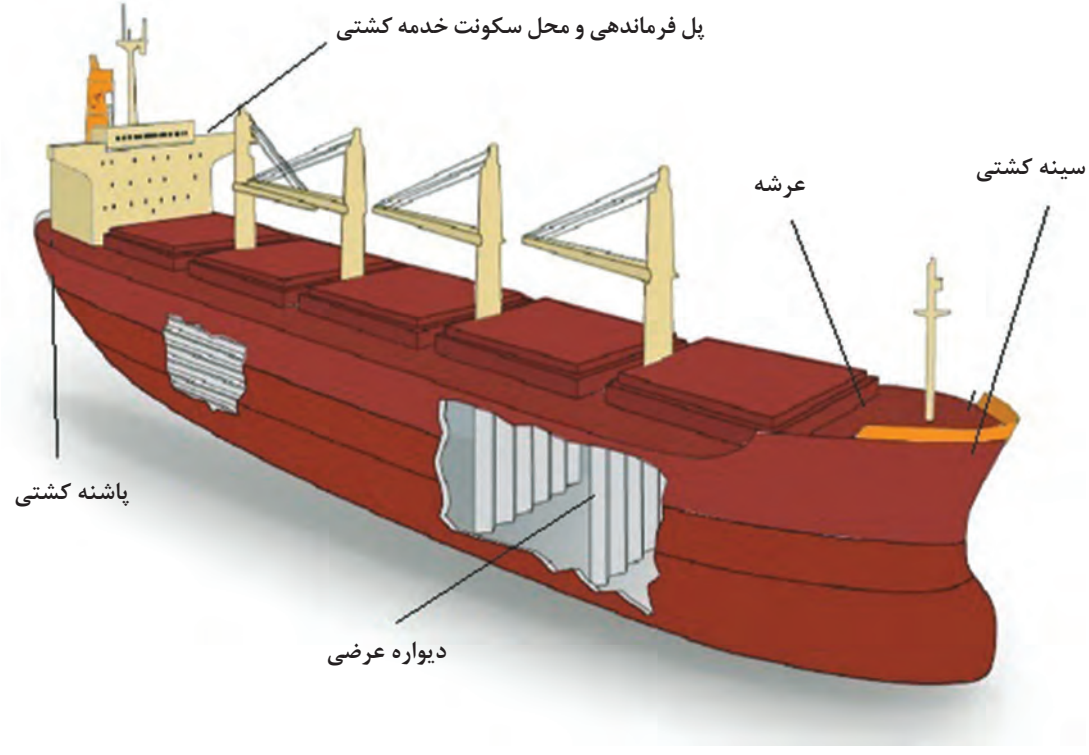
تحقیق کنید

بررسی کنید چه نمونه‌های دیگری از لچکی‌ها وجود دارد؟

فعالیت کارگاهی

با هماهنگی مدیر از یک کشتی بازدید کنید و با کسب اجازه از فرماندهٔ کشتی، از تقویت کننده‌های آن عکس تهیه کرده و توسط پرده‌نگار در کلاس ارائه نمایید.

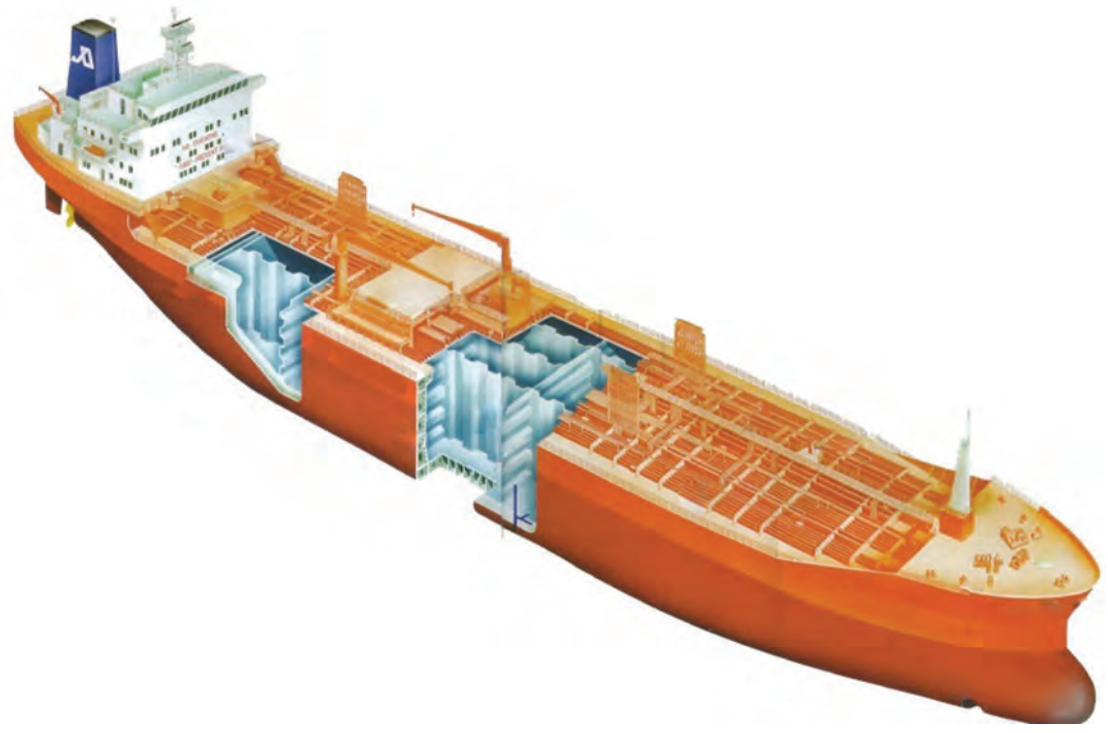
کشتی از بخش‌های مختلفی مانند سینه، پاشنه، عرشه، محل سکونت، دیواره‌ها و قسمت‌های دیگرتشکیل شده است در زیر به شرح سازهٔ برخی از این قسمت‌ها می‌پردازیم.



شکل ۱۰ــ قسمت‌های اصلی یک کشتی

دیوارهٔ جداکننده (Bulk head)

دیواره‌ها به منظور جداسازی قسمت‌های داخلی کشتی به‌طور عمودی هم در عرض (transverse Bulk head) و هم در طول (Longitudinal Bulk head) به‌کار گرفته می‌شوند. تقسیم‌بندی داخل کشتی به‌وسیلهٔ این دیواره‌ها به چندین منظور انجام می‌گیرد از جمله بخش‌بندی بدنه به محفظه‌های جداگانه (Compartments)، مقابله با نفوذ آب به سایر قسمت‌های دیگر در صورت پارگی بدنه و ایجاد یکپارچگی سازه‌ای.



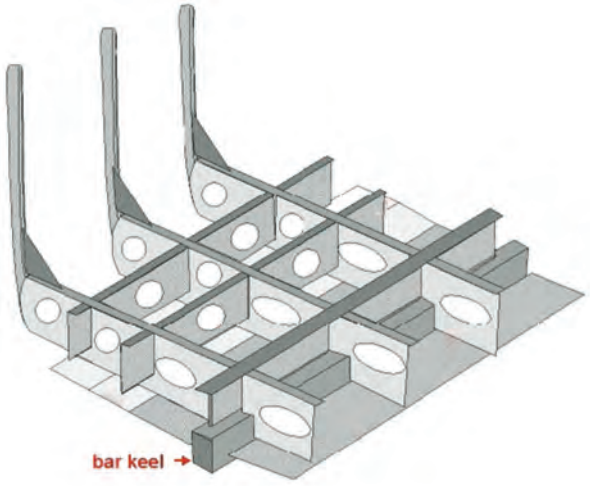
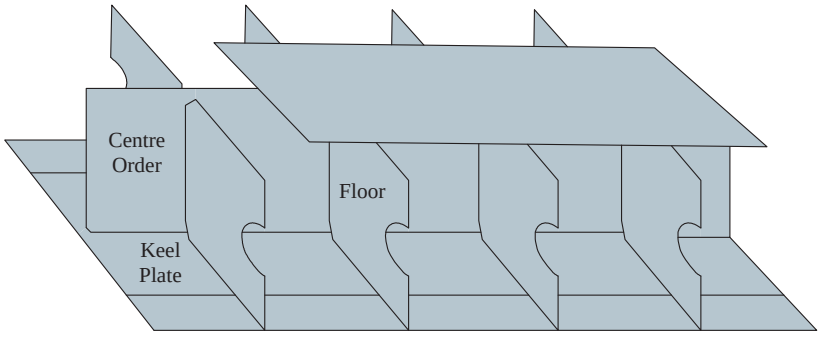
شکل۱۱ـ دیواره‌های طولی و عرضی کشتی

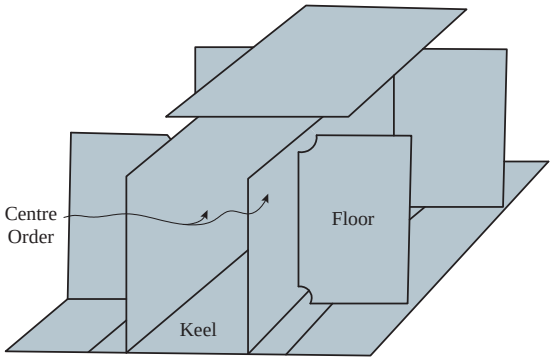
قسمت تحتانی کشتی

شاه‌تیر اصلی بدنه (Keel)

مهم‌ترین سازه درکف کشتی‌ها، شاه‌تیر بدنهٔ اصلی می‌باشد که به‌عنوان ستون فقرات کشتی شناخته می‌شود. کلیه قسمت‌های اصلی سازه به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم با شاه‌تیر اصلی بدنه ارتباط دارند. انواع شاه‌تیرهای اصلی مورد استفاده در کشتی در جدول صفحهٔ بعد آمده است:

جدول ۶ـ انواع شاه‌تیر (Keel)

نوع شاه‌تیر (Keel)	توضیحات
Barkeel	
	در این نوع شاه‌تیر اصلی بدنه، ارتفاع تیرآهن بین ۳ تا ۶ برابر عرض آن است. طول آن بستگی به طول کشتی دارد که به‌وسیلهٔ صفحات قائم به همدیگر متصل می‌شوند. این نوع شاه‌تیر اصلی بدنه بیشتر در لنج‌ها و قایق‌ها استفاده می‌شود.
Flat Keels	
	عرض ورقه‌های فلزی این نوع شاه‌تیرها 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. تیغهٔ حامل مرکزی به شاه‌تیر اصلی بدنه متصل بوده و تقریباً روی تیغهٔ حامل مرکزی سطحی موازی با سطح شاه‌تیر اصلی بدنه به‌طور 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 به‌جای یک تیغهٔ حامل مرکزی، دارای دو تیغهٔ حامل مرکزی (Side girder) است. تیغه‌های حامل مرکزی معمولا 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 لچکی‌هاکه غالباً بین شاه‌تیر اصلی بدنه و صفحهٔ روی تیغهٔ حامل مرکزی قرار دارد، استفاده می‌شود.

بحث کلاسی

فضای بین Duct keels چه کاربردی دارد؟

نمایش فیلم

فیلم مربوط به Duct Keels نمایش گذاشته شود.

فریم (Frames)

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 شاه‌تیر اصلی کشتی صورت می‌گیرد. که به‌صورت کلی انواع آنها توضیح داده شده است.

فریم‌های معمولی:

تیغه‌های حاملی هستند که به‌صورت نوارهایی از قسمت داخل به صفحات فلزی بدنهٔ کشتی متصل بوده و از قسمت کیل کشتی تا بالاترین عرشهٔ فوقانی امتداد می‌یابند. فریم‌ها از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده‌اند و به منظور استحکام بدنه و نگهداری ورقه‌های خارجی به‌کار می‌روند. در واقع شکل عرضی مقاطع مختلف بدنه را تشکیل می‌دهند. فریم‌ها به‌صورت طولی نیز به ورقه‌های بدنه متصل می‌شوند. اتصال این فریم‌ها به بدنهٔ کشتی به روش جوشکاری انجام می‌شود.

فریم‌های قوی (Web frame):

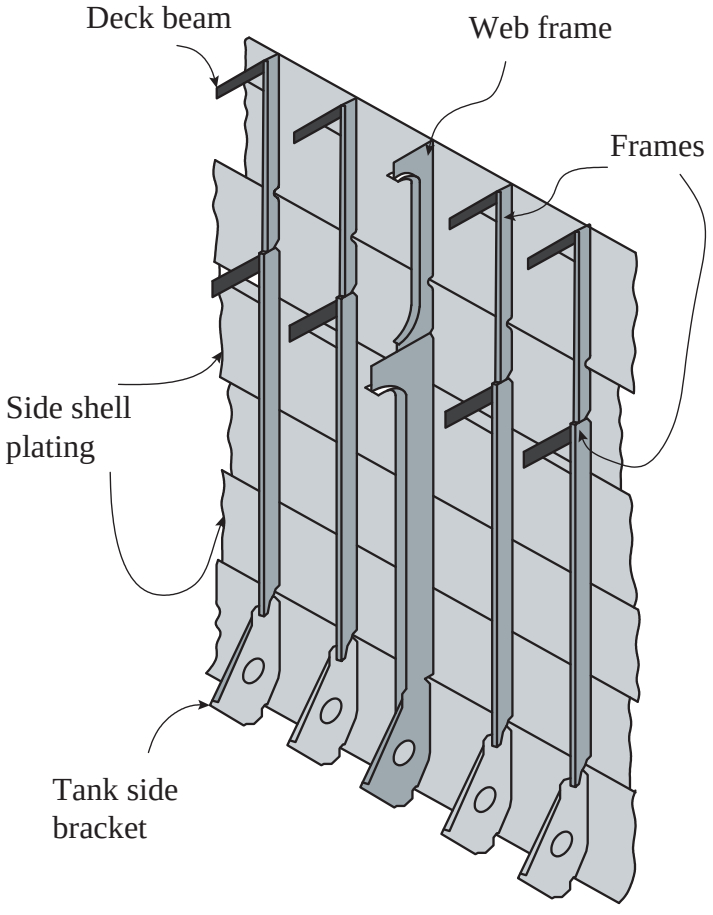
فریم‌های تخت و سنگینی هستند که در سیستم فریم‌های عرضی به‌کار نمی‌روند بلکه در محل‌های خاصی از کشتی برای استحکام قسمت‌های مورد نیاز استفاده می‌شوند. معمولاً در اتاق موتورخانه و در قسمت‌های دیوارهٔ انتهایی به فاصله هر چهار فریم، یکی از آنها روی طبقاتی غیر از طبقات فوقانی و تحتانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فاصلهٔ بین فریم‌ها (Frame Spacing):

اسکلت‌بندی کشتی توسط یک سری فریم و دیوارهٔ جدا کننده صورت می‌پذیرد. فریم‌بندی کشتی‌ها می‌تواند به‌صورت طولی، عرضی و یا ترکیبی صورت پذیرد. فاصلهٔ فریم‌ها در کشتی‌ها (Frame Spacing) متناسب با نوع کشتی، اندازه کشتی و نوع فریم‌بندی بر اساس محاسبات سازه‌ای استخراج می‌گردد. فاصلهٔ فریم‌ها در سینه، وسط و پاشنهٔ کشتی معمولاً متفاوت می‌باشد.

شماره‌گذاری فریم‌ها:

شماره‌گذاری فریم‌ها معمولاً از عمود پاشنهٔ کشتی شروع می‌شود؛ لذا فریم شمارهٔ ۱ اولین فریم بعد از قائم پاشنه است.



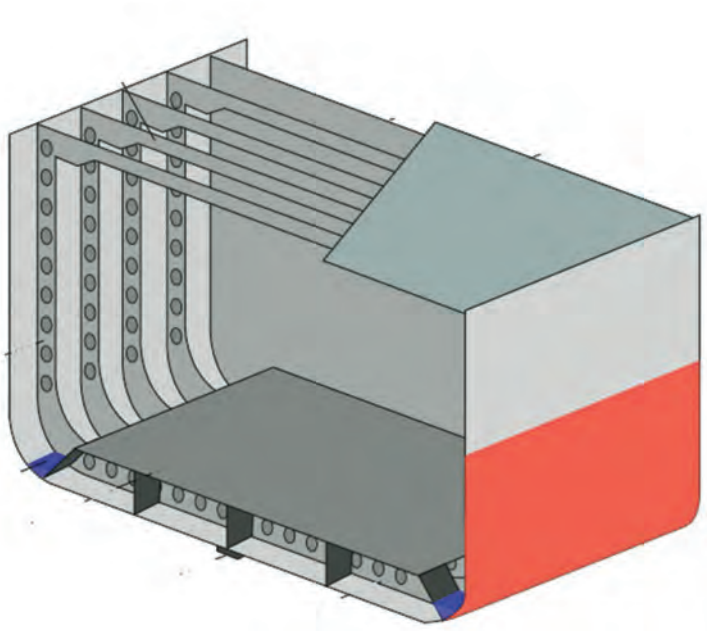
شکل ۱۲ـ انواع فریم‌ها

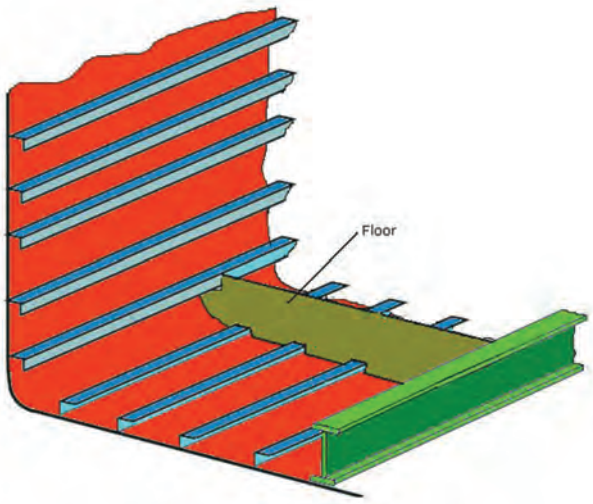
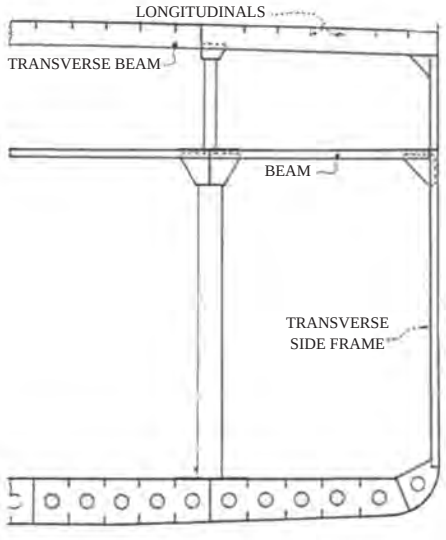
تحقیق کنید

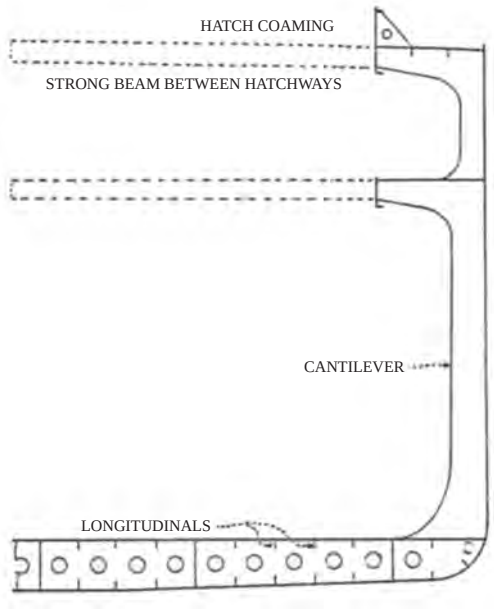
در حوضچهٔ خشک، بلوک‌های چوبی در چه قسمت‌هایی از بدنه خارجی کشتی قرار می‌گیرند؟

برای اسکلت‌بندی کشتی طرز قرارگیری فریم‌ها، مقاطع و اتصالات بسیار مهم است. چهار روش مختلف برای اسکلت‌بندی کشتی وجود دارد که در جدول زیر به آنها می‌پردازیم:

جدول ـ روش‌های مختلف اسکلت‌بندی 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 تحدّب (Hogging) و تقعّر (Sagging) روی آن کمتر اثر می‌گذارد.

اسکلت‌بندی با فریم‌های طولی	
	با افزایش طول کشتی، تأثیرتحدّب و تقعّر 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 به‌کار گرفته شود. این روش اسکلت‌بندی دارای معایبی بود؛ تا اینکه سیستم فریم‌بندی رضایت‌بخشی 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 ولی در اطراف بدنهٔ 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 می‌شودکه دارای دریچه یا درهای بزرگ انبار با طول و عرض زیادی هستند که در این صورت، دارای عرشه و ستون‌های عرضی کمی‌خواهند بود. در نتیجه برای حفظ مقاومت طولی و فشارهای عرضی دارای استحکام لازم نیستند. بنابراین، قدرت و استحکام اصلی کشتی به‌صورت دیگری پیش‌بینی شده است. استحکام عرضی آن حتی‌الامکان با استفاده از فریم‌های سنگین‌تر تأمین می‌شود که آنهارا در طرف راست و چپ در انبار قرار می‌دهند. برای استحکام طولی آن از تیغه‌های مخصوصی و ورقه‌هایی به‌صورت طولی که در زیر طبقات قرار می‌گیرد استفاده می‌شود.

فعالیت کارگاهی

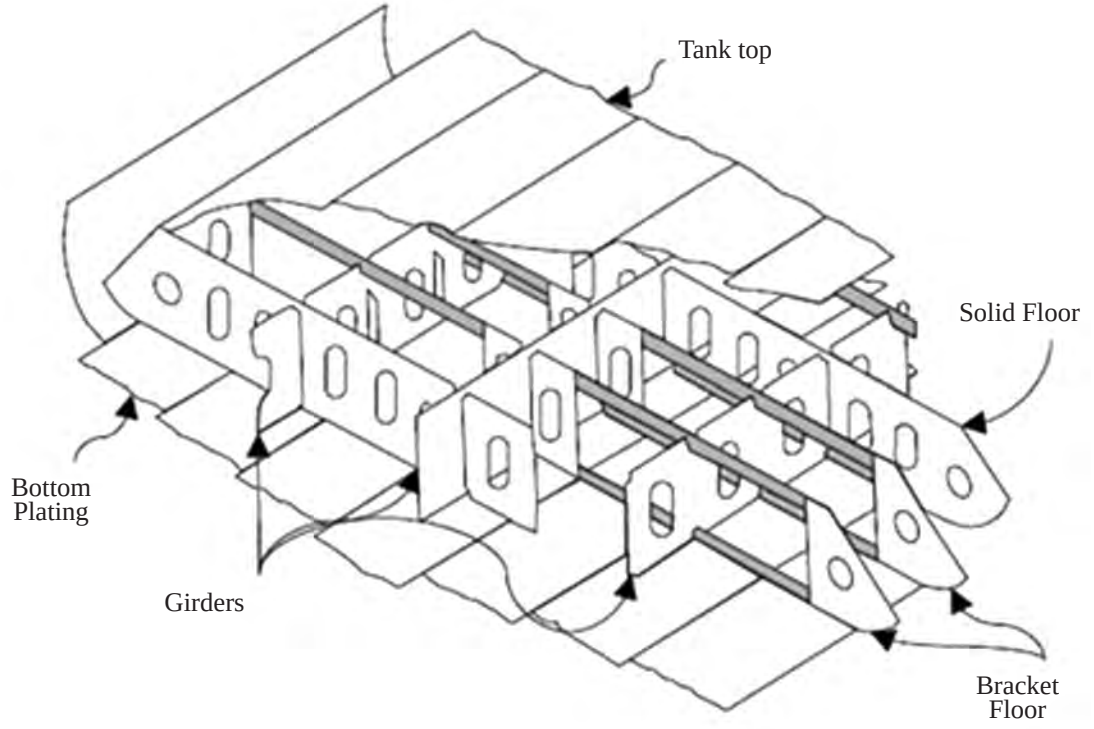
با جست‌وجو در اینترنت عکس‌هایی از اسکلت‌بندی کشتی‌های مختلف تهیه و آنها را با هم مقایسه کنید.

در ادامه، ساختار سازه‌ای برخی از بخش‌های کشتی شامل عرشه، کف کشتی، کنارهٔ کشتی، بخش سازهٔ سینه و بخش سازهٔ پاشنه توضیح داده می‌شود.

کف دو جداره (Double Bottom)

به فضای ضدنفوذ آب که بین کف کشتی و کف انبارها قرار دارد،کف دو جداره می‌گویند. کف دو جداره به‌وسیله 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. تقسیم‌بندی کف دو جداره می‌تواند با تیغه‌های عرضی یا طولی انجام گیرد.
روی تیغه‌های حامل کناری و یا سایر قسمت‌های مورد لزوم سوراخ‌هایی ایجاد می‌کنند که تهویهٔ مناسبی ایجاد شود. ساختمان کف دو جداره در شکل‌های (۱۳ و ۱۴)مشاهده می‌شود.



شکل ۱۳ـ کف دوجداره

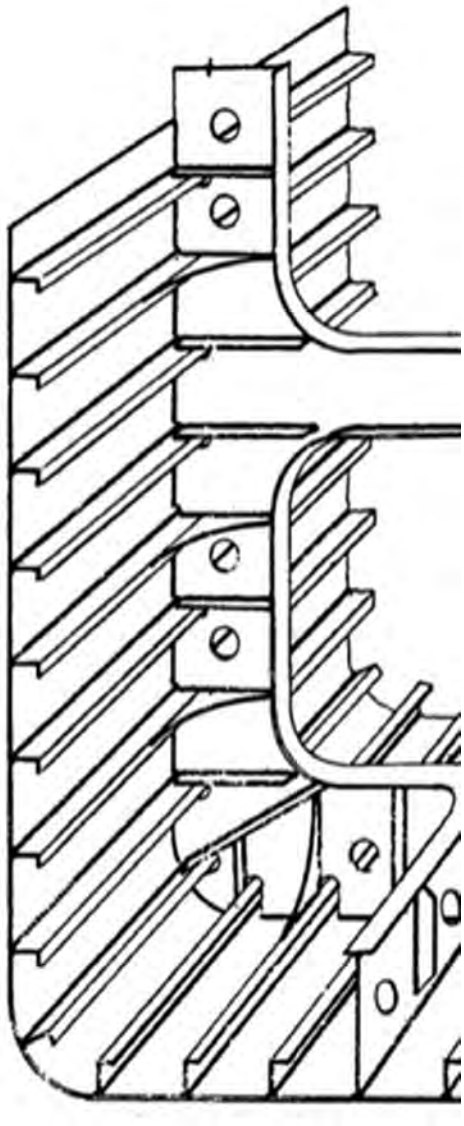
شکل ۱۴ـ کف دو جداره یک کشتی در حال ساخت

بحث کلاسی

دلیل دو جداره بودن کف کشتی چیست؟

سازه کناره کشتی

ساختمان سازه کناری کشتی همان‌طور که در شکل زیر نمایش داده شده است از ورق‌های بدنهٔ کشتی، فریم‌های عرضی و تقویتی‌های طولی تشکیل شده است. ورق‌های بدنهٔ کشتی با توجه به ناحیهٔ استفاده شده (سینه، پاشنه و میان کشتی) دارا ی ضخامت‌های متفاوتی می‌باشد. فریم‌های کار شده در عرض کشتی به ورق‌های بدنهٔ کشتی جوش می‌شوند.



شکل ۱۵ـ سازه کناره کشتی

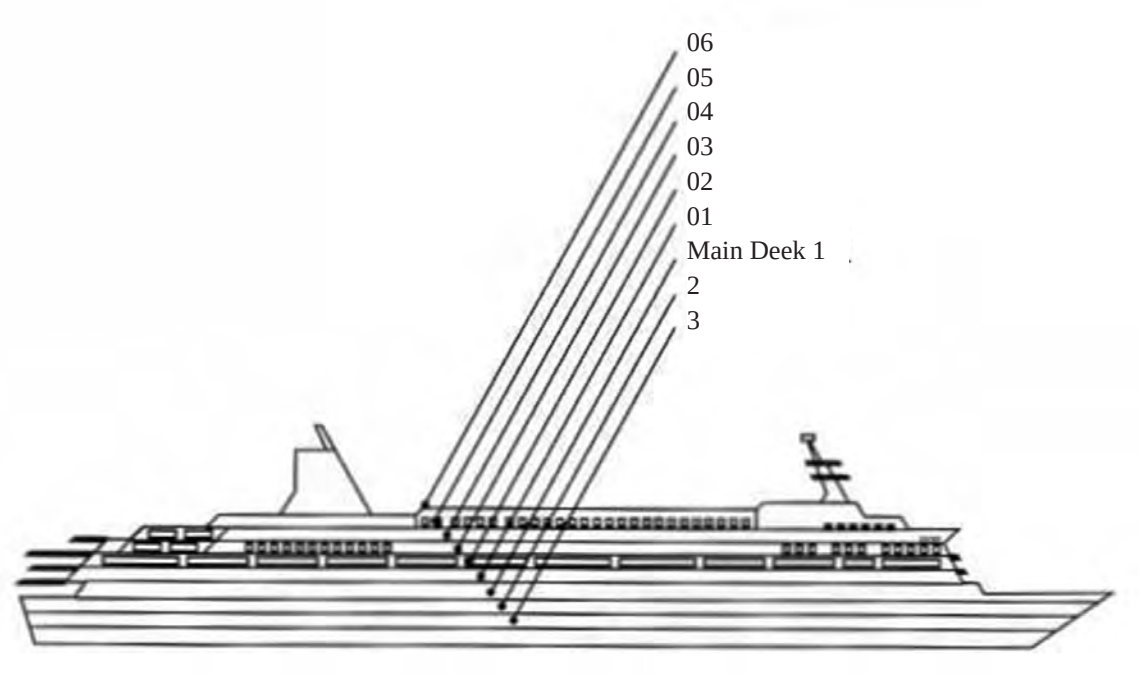
عرشه (Deck)

جداسازی هر طبقه از کشتی به‌طور افقی توسط عرشه صورت می‌گیرد. سطح عرشه به‌وسیلهٔ ورق‌های فلزی که بر روی تیرهای سقفی قرار گرفته و در انتها به دو لبهٔ پوستهٔ کشتی متصل می‌گردند، پوشیده شده است. ضخامت ورق عرشه و تیرهای تقویتی آن باید به گونه‌ای طراحی گردد که عرشه در مقابل نیروهای وارده استحکام کافی داشته باشد.

شماره‌گذاری عرشه‌ها:

کشتی‌ها معمولاً دارای چندین عرشه می‌باشند. برای موقعیت‌یابی و آدرس‌دهی راحت‌تر بر روی کشتی، عرشه‌ها را شماره‌گذاری می‌کنند. عرشهٔ اصلی (Main Deck) به‌عنوان عرشهٔ ۱ و عرشه‌های پایین‌تر به

ترتیب ۲ و ۳ و... شماره‌گذاری می‌شوند. عرشهٔ بالای سر مخازن به نام Tank Top شناخته می‌شود. عرشهٔ روسازه با شمارهٔ ۰۱ و بالای آن ۰۲، ۰۳ و... شماره‌گذاری می‌شود (شکل ۱۶).



شکل ۱۶ـ روش شماره‌گذاری عرشه‌ها

تیرهای سقفی (Beams)

تیرهای سقفی عبارت‌اند از تیرهای فولادی عرضی یا طولی که ورق عرشه روی آنها قرار می‌گیرد. تیرهای عرضی دارای دو وظیفهٔ عمده هستند:

۱ اتصال دو کنارهٔ 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 پرفیل‌های نبشی، حبابی و سپری به عنوان تیرهای طولی و عرضی استفاده می‌شود.

تیرهای طولی و عرضی به‌وسیلهٔ جوش به همدیگر متصل می‌شوند و در محل‌هایی که به دیواره‌های عرضی می‌رسند، بریده شده و در آن قسمت، تیرها به‌وسیلهٔ لچکی به دیواره‌ها متصل می‌شوند (شکل۱۷ و ۱۸).

معمولاً در اتاق موتورخانه و ژنراتور، از تیرهای قدرتمند به‌صورت طولی در زیر طبقات و یا زیر دریچه انبارها استفاده می‌شود.

فعالیت کارگاهی

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

شکل ۱۷ـ تیرهای سقفی عرضی یک کشتی در حال ساخت

شکل ۱۸ـ تیرهای سقفی طولی یک کشتی در حال ساخت

ستون‌ها (Pillars)

برای انتقال نیروهای عمودی از عرشه‌های فوقانی به عرشه‌های زیرین و کف کشتی، نیاز به استفاده از یک سری ستون می‌باشد.

ستون معمولی:

این ستون‌ها از پرفیل‌ها یا لوله‌های فلزی ساخته شده‌اند. هر کشتی معمولاً دارای یک ردیف پایه است که در امتداد خط سرتاسری کشتی، کار گذاشته می‌شود. هرچه کشتی بزرگ‌تر ساخته می‌شوند پایه‌ها نیز بزرگ‌تر و یا تعداد ردیف‌های آنها بیشتر می‌شود (شکل۱۹).

در بعضی از قسمت‌های از دیواره‌ها به‌جای ستون استفاده می‌شود، که این دیواره‌ها نیازی به غیر قابل نفوذ بودن در برابر آب ندارند.

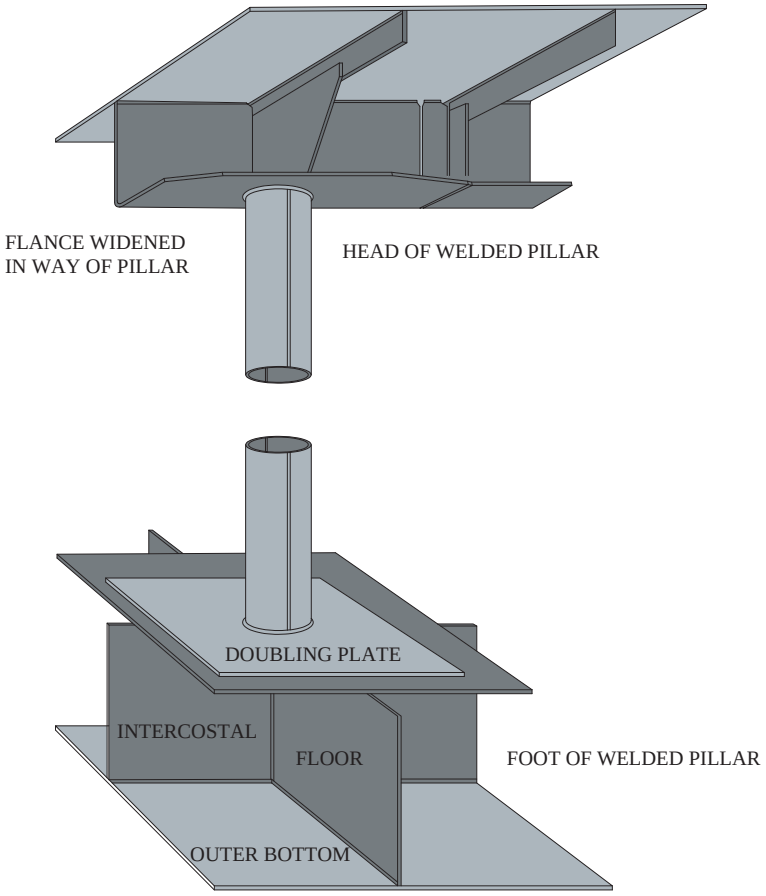
ستون‌های ترکیبی:

این ستون‌ها عبارت‌اند از ورقه‌هایی فلزی که به‌صورت استوانه شکل می‌باشند و گاهی اوقات به‌صورت مکعب‌های توخالی و یا به‌صورت نبشی‌های کانالی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تیغه‌های نگهدارنده معمولاً به‌صورت متقاطع به‌کار برده می‌شوند که با برگرداندن لبه‌های پایینی می‌توان به آن استحکام بیشتری داد.

این تیغه‌ها به‌وسیله نبشی‌های حالت‌دار به زیر طبقه مورد نظر جوش داده می‌شوند. اندازه و قدرت پایه‌ها و صفحات نگهدارنده، به موارد استفاده و محل آنها بستگی دارد.

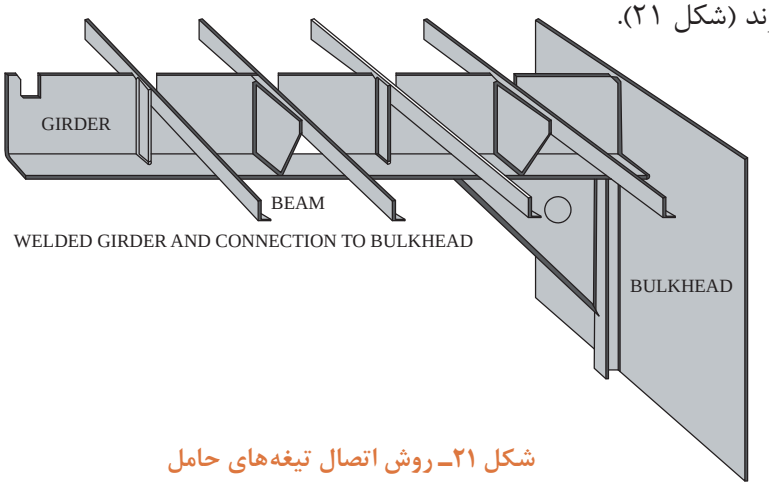
ستون‌های طبقات میانی را در صورت امکان روی ستون‌های طبقات زیرین قرار می‌دهند تا تقریباً پایهٔ واحدی را تشکیل داده و که از نظر استحکام، کارایی بیشتری را داشته باشند.

شکل۱۹ــ ستون معمولی در کشتی



شکل ۲۰ـ قسمت‌های مختلف ستون‌های ترکیبی

درصورتی‌که در ساختمان طبقات از تیرهای سقفی عرضی استفاده شده باشد، در محل اتصال نگهدارنده شکافی روی آنها ایجاد شده تا تیرهای سقفی درون آن شکاف قرار گرفته و سپس جوش داده شوند. اگر تیغه‌ها یا صفحات، حامل یک لبه، یعنی به شکل L باشند به‌وسیلهٔ یک لچکی به دومین تیر متصل می‌شود و اگر تیغه‌های حامل، دو لبه یعنی به شکل T باشند، از هر دوطرف به‌وسیلهٔ لچکی و به چهارمین تیر سقفی متصل می‌شوند (شکل ۲۱).



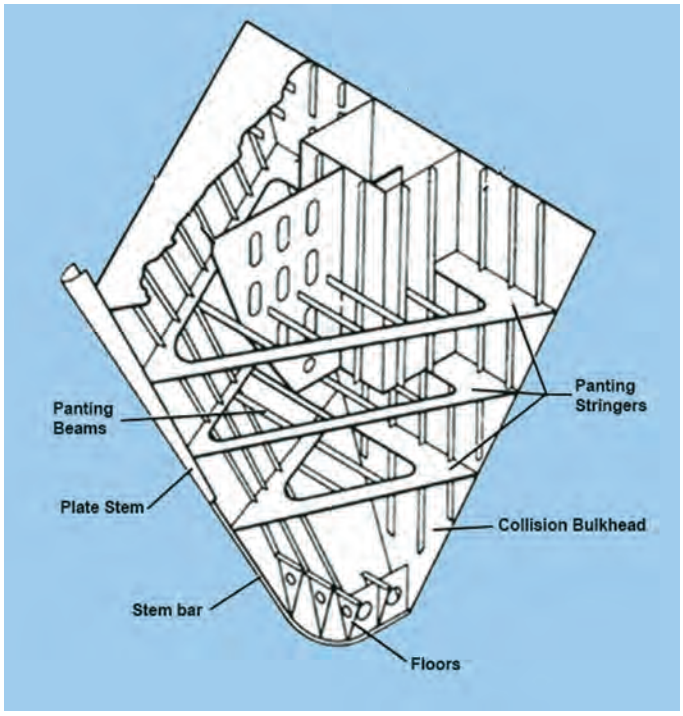
شکل ۲۱ـ روش اتصال تیغه‌های حامل

تحقیق کنید

برای غلبه بر تحدب و تقعر چه تمهیداتی در ساختمان کشتی باید اندیشید؟

سازهٔ سینهٔ کشتی (Forend structure)

ساختمان سینهٔ کشتی در برخورد با موج‌های بزرگ دچار تپش سینه می‌شود و نیاز به تقویت دارد. این قسمت شامل تیری محکم در جلوی کشتی است که به‌صورت عمودی قرار گرفته، یک سری تقویتی‌های عمودی و افقی (stringer) به آن متصل هستند.



شکل ۲۲ـ ساختمان سازهٔ سینه کشتی

شکل ۲۳ـ سازهٔ سینهٔ یک شناور در حال ساخت

فعالیت کارگاهی

کلمات انگلیسی در شکل ۲۲ را ترجمه کنید.

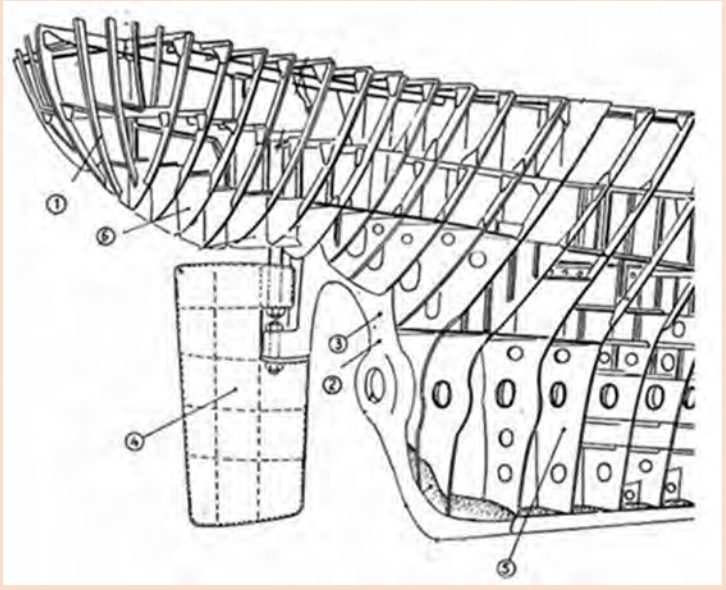
سازهٔ پاشنه کشتی (Forend stracture)

پاشنهٔ کشتی به دلیل اینکه در معرض کوبش (Slamming) است نیاز به تقویت دارد. در این ناحیه، ورق بدنه توسط یک سری فریم‌های خاص (Cant frame) و عرشهٔ این قسمت،توسط تیرهایی (Cant beam) تقویت می‌شوند. همچنین تقویتی‌های افقی (stringer) از انتهای پاشنه تا اولین فریم عرضی امتداد دارند. بخش زیر آبی پاشنه نیز برای تقویت، توسط یک سری لچکی خاص (Deep floor) به شاه‌تیر اصلی متصل می‌شود.

شکل ۲۴ـ پاشنهٔ کشتی

فعالیت کارگاهی

با توجه به شکل ۲۵، اسامی اجزای شماره‌گذاری شده را بیابید.



شکل ۲۵

بالچهٔ تعادل (Bilge keel)

بالچهٔ تعادل برای کاهش دوره تناوب نوسانات عرضی کشتی (Rolling)) به‌کار می‌رود (شکل۲۶).
این بالچه معمولاً در محدودهٔ $\frac{۲}{۳}$ طول کشتی در ناحیه میانی کشتی نصب می‌شود. در هنگام نصب بالچه بر روی بدنه باید دقت شود که بالچه در راستای خطوط جریان بر روی بدنه نصب شود.
بالچهٔ تعادل روی بدنه کشتی جوش داده می‌شود. اتصال آن به بدنهٔ کشتی باید با دقت انجام شود تا در صورت به گل نشستن کشتی، صدمه‌ای به آن و به بدنهٔ کشتی وارد نیاید. در کشتی‌های بزرگ، به علت اینکه بالچهٔ تعادل در عمق زیادتری قرار می‌گیرد، به‌صورت مثلث ساخته می‌شود (شکل ۲۷).

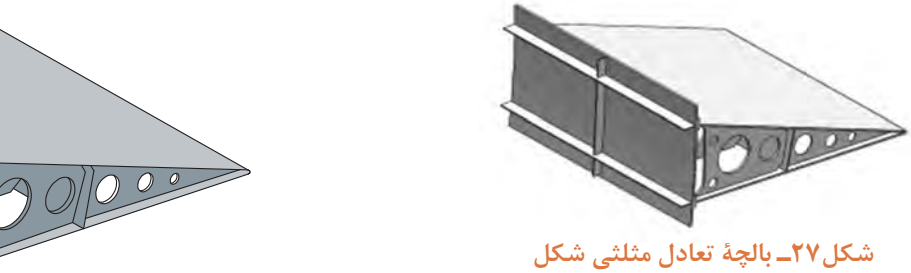
بحث کلاسی

بالچه تعادل باید در چه ارتفاعی از کشتی نصب گردد.

متعادل‌کنندهٔ فعال (Stabilizer)

امروزه در شناورهای نظامی و مسافربری علاوه بر استفاده از بالچهٔ تعادل از متعادل‌کنندهٔ فعال نیز استفاده می‌شود.

شکل۲۶ـ بالچهٔ تعادل



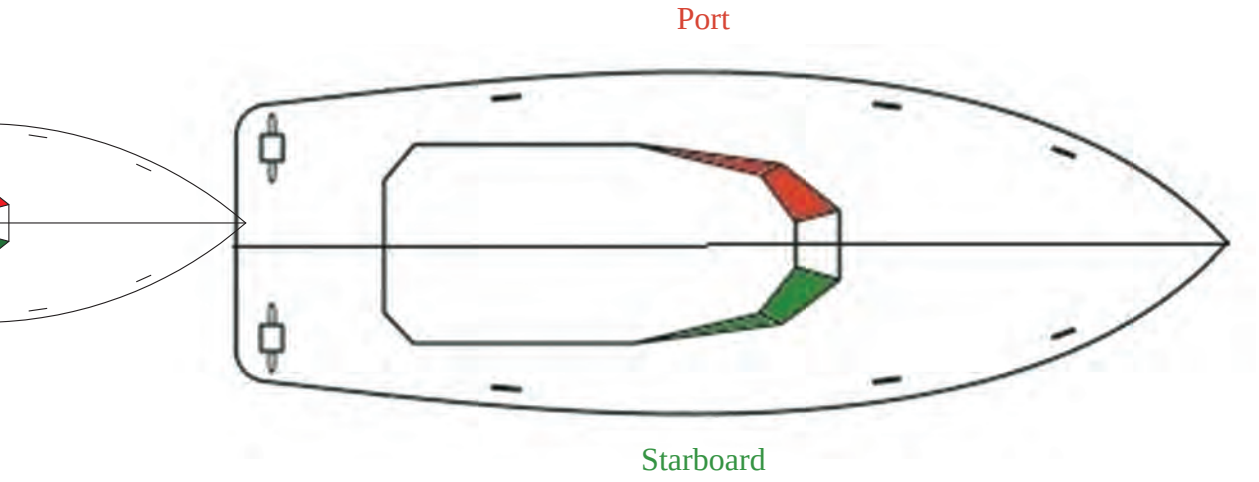
شکل ۲۷ـ بالچهٔ تعادل مثلثی شکل

فعالیت کارگاهی

با جست‌وجو در اینترنت،عکس‌هایی از بالچهٔ تعادل کشتی و متعادل‌کنندهٔ فعال پیدا کرده و توسط پرده‌نگار در کلاس ارائه نمایید.

آدرس‌دهی در کشتی

برای آدرس‌دهی در کشتی باید سمت چپ و راست آن را بدانیم. مانند شکل (۲۸) اگر رو به سینهٔ 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 باSTB و سمت چپ کشتی را با PS نمایش می‌دهند.



شکل ۲۸

آدرس‌دهی تجهیزات

هر تجهیزی در کشتی را با توجه به اینکه در چه فاصله‌ای از نزدیک‌ترین فریم، در چه ارتفاعی از شاه‌تیر اصلی بدنه کشتی و در چه فاصله‌ای از خط سراسری در سمت چپ یا راست کشتی قرار دارد، آدرس‌دهی می‌شود. اگر از تجهیزی چند دستگاه وجود داشته باشد از پاشنه به طرف سینه با توجه به اینکه سمت راست یا چپ

کشتی باشد به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند. عدد زوج برای تجهیزات سمت چپ و عدد فرد برای تجهیزات سمت راست استفاده می‌شود. جهت نمایش فریم (Frame).fr و ارتفاع تجهیز (elevation).el استفاده می‌شود. به عنوان مثال اگر از تجهیزی چهار دستگاه وجود داشته باشد و دو دستگاه آن سمت چپ کشتی نزدیک فریم‌های ۲۰ و ۳۰ باشند، دستگاهی را که ۴۰ سانتی‌متر مانده به فریم ۳۰، در ارتفاع ۳ متری از شاه‌تیر اصلی و ۲ متری از خط سراسری قرار داشته باشد را به‌صورت زیر نمایش می‌دهند.

NO: 4
40 mm to fr 30
2000 mm of CL (PS)
EL: 3000 mm

آدرس‌دهی کمپارتمنت‌ها (Compartment) و مخازن در کشتی (Tanks)

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) تقسیم‌بندی 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:

2 - B - 5

از طرفی در برخی از کشتی‌ها به‌جای بخش‌های نفوذ ناپذیر از شمارهٔ فریم استفاده می‌شود. برای مثال اگر محفظه‌ای بین فریم‌های ۲۰ تا۴۵، یک عرشه زیر عرشهٔ اصلی و در سمت راست کشتی واقع شده باشد، به روش زیر آدرس‌دهی می‌کنیم:

Fr 20 - 45
Deck: D2
SIDE: STB

ارزشیابی

۱ انواع مقاطع پرکاربرد فلزی را بررسی کنید.
۲ روش‌های جلوگیری از تاب برداشتن لبه‌های آزاد تیغه‌های فلزی را بیان کنید.
۳ کاربرد فریم در سازهٔ کشتی را بررسی و تحلیل کنید.
۴ کاربرد تیرهای سقفی را بررسی کنید.
۵ انواع کیل و کاربرد آن را بررسی و تحلیل کنید.

۶ ساختمان کف دو جداره را تشریح و کاربرد آن را تحلیل کنید.
۷ کاربرد بالچهٔ تعادل را بررسی کنید.
۸ انواع فریم‌بندی و کاربرد هریک را در سازه کشتی تحلیل کنید.
۹ سمت چپ و راست کشتی چگونه مشخص می‌شود؟
۱۰ روش‌های آدرس‌دهی مخازن و کمپارتمنت‌های کشتی را بررسی کنید.

جدول ارزشیابی پودمان

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
اصول بررسی ساختمان کشتی	شناخت نیروهای وارد بر ساختمان کشتی، شناخت اجزای سازهٔ کشتی و بررسی تأثیر آنها بر سازهٔ کشتی	آشنایی با نیروهای وارد بر ساختمان کشتی و تأثیر آنها بر بدنهٔ کشتی، شناخت مقاطع پر کاربرد، اتصالات و اجزای داخلی کشتی، کاربرد و محل قرارگیری هر جزء ساختمان کشتی و بررسی تأثیر آنها بر استحکام ساختمان کشتی، آشنایی با سازهٔ سینه و پاشنهٔ کشتی، کف دو جداره، بالچهٔ تعادل و انواع شاه‌تیر اصلی و تحلیل تأثیر هریک بر استحکام بدنهٔ کشتی	بالاتر از حد انتظار	۱ـ بررسی نیروهای وارد بر ساختمان کشتی ؛ ۲ـ بررسی اجزای ساختمان کشتی و تأثیرشان در استحکام سازهٔ آن؛ ۳ـ بررسی تأثیر نیروهای وارد بر قسمت‌های مختلف کشتی؛ هنرجو توانایی بررسی همه شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ بررسی نیروهای وارد بر ساختمان کشتی؛ ۲ـ بررسی اجزای ساختمان کشتی و تأثیرشان در استحکام سازهٔ آن؛ ۳ـ بررسی تأثیر نیروهای وارد بر قسمت‌های مختلف کشتی؛ هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
	شناخت قسمت‌های مختلف کشتی و بررسی تأثیر نیروهای وارد بر آنها		پایین‌تر از حد انتظار	۱ـ بررسی نیروهای وارد بر ساختمان کشتی؛ ۲ـ بررسی اجزای ساختمان کشتی و تأثیرشان در استحکام سازهٔ آن؛ ۳ـ بررسی تأثیر نیروهای وارد بر قسمت‌های مختلف کشتی؛ هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

ارزشیابی شایستگی اصول بررسی ساختمان کشتی

شرح کار:
- شناخت نیروهای وارد بر ساختمان کشتی
- شناخت اجزای سازهٔ کشتی و بررسی تأثیر آنها بر سازهٔ کشتی
- شناخت قسمت‌های مختلف کشتی و بررسی تأثیر نیروهای وارد بر آنها

استاندارد عملکرد:
آشنایی با نیروهای وارد برساختمان کشتی و تأثیر آنها بر بدنهٔ کشتی، شناخت مقاطع پرکاربرد، اتصالات و اجزای داخلی کشتی، کاربرد و محل قرارگیری هر جزء ساختمان کشتی و بررسی تأثیر آنها بر استحکام ساختمان کشتی، آشنایی با سازهٔ سینه و پاشنهٔ‌کشتی، کف دو جداره، بالچهٔ تعادل و انواع شاه‌تیر اصلی و تحلیل تأثیر هریک بر استحکام بدنهٔ کشتی.

شاخص‌ها:
- بررسی نیروهای وارد بر ساختمان کشتی
- بررسی اجزای ساختمان کشتی و تأثیرشان در استحکام سازهٔ آن؛
- بررسی تأثیر نیروهای وارد بر قسمت‌های مختلف کشتی؛

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: کلاس مجهز به پرده نگار.

ابزار و تجهیزات: یک دستگاه رایانه و یک دستگاه پرده نگار

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	بررسی نیروهای وارد بر ساختمان کشتی	۲	
۲	بررسی اجزای ساختمان کشتی و تأثیرشان در استحکام سازهٔ آن	۱	
۳	بررسی تأثیر نیروهای وارد بر قسمت‌های مختلف کشتی	۱	
شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر ۴ـ اخلاق حرفه‌ای		۲	
میانگین نمرات			*

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

پودمان ۳

بررسی اصول تعادل کشتی

واحد یادگیری ۳

بررسی اصول تعادل کشتی

آیا تاکنون پی برده‌اید؟

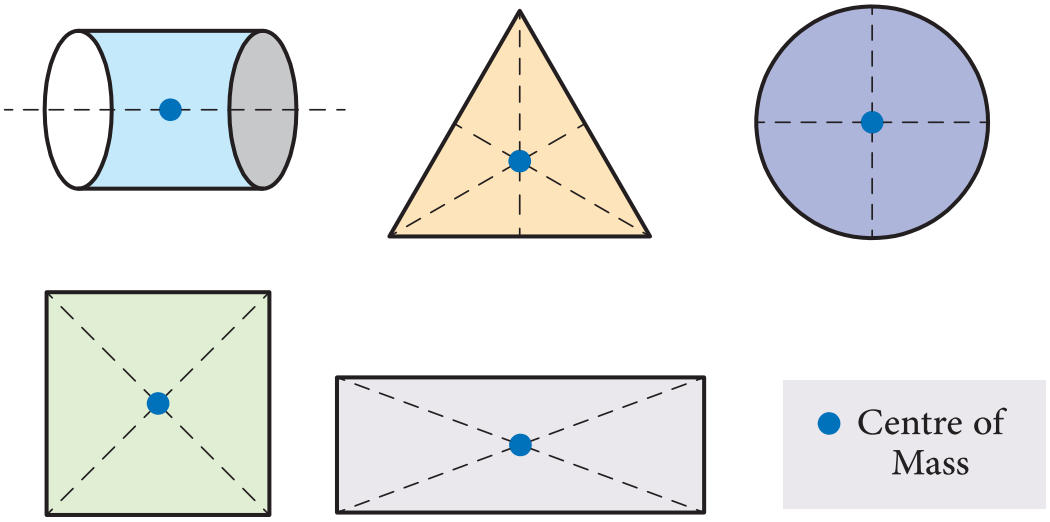
- طبق چه قوانینی کشتی روی آب شناور می‌ماند؟
- کشتی را تا چه مقدار می‌توان بارگیری کرد؟
- آیا میزان فرورفتگی کشتی در آب‌های مختلف تفاوت دارد؟
- تعادل کشتی در امواج و بارگیری‌های مختلف چگونه حفظ می‌شود؟
- کشتی تا چه زاویه‌ای تعادل پایدار داشته و به حالت اولیه باز می‌گردد؟
- جابه‌جایی بار چه تأثیری بر روی تعادل کشتی دارد؟

استاندارد عملکرد

بعد از پایان فصل، هنرجو باید بتواند مفهوم شناوری و تناژ، تعادل و انواع آن، اصول هیدرواستاتیک را توضیح دهد و همچنین نقاط مهم کشتی را شناخته و تأثیر بارگیری در تعادل کشتی را درک نماید.

مرکز ثقل و تعادل

مرکز ثقل یا گرانیگاه (Center of gravity)
مرکز ثقل یک جسم، نقطه‌ای است که برآیند نیروهای جاذبه وارده از طرف زمین بر جسم، به آن نقطه از جسم اثر می‌کند.



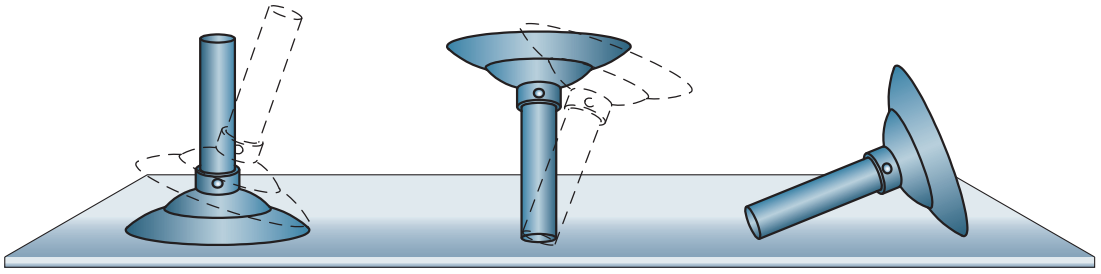
شکل ۱ـ مرکز ثقل اشکال مختلف

یعنی اگر آن جسم را از مرکز ثقل آویزان کنیم به حالت بدون حرکت باقی می‌ماند و هیچ‌گونه چرخشی در آن اتفاق نمی‌افتد؛ به‌عبارت دیگر مرکز ثقل یک جسم، نقطه‌ای است که تمام وزن یک جسم در آن نقطه فرض می‌شود. موقعیت مرکز ثقل هر جسم ثابت بوده و در صورت چرخش و یا انتقال جسم تغییر نمی‌کند. البته اگر اجزای داخلی جسم نسبت به یکدیگر حرکت کنند، محل مرکز ثقل جابه‌جا می‌شود.
برای مثال مرکز ثقل یک دایره در مرکز آن قرار دارد و یا مرکز ثقل یک مکعب مستطیل وسط محوری واقع است که از مرکز دو وجه مقابل هم عبور می‌کند.

تعادل

تعادل یکی از مهم‌ترین اصول در اجسام روی زمین و مخصوصاً کشتی شناور در آب است. اگر تعادل جسم برقرار نباشد حرکت ممکن نشده و جسم واژگون می‌شود. اگر تعادل کشتی برقرار نباشد بعد از به‌آب‌اندازی یا بعد از اولین بارگیری و یا برخورد با امواج، کشتی غرق خواهد شد. اگر بخواهیم تعادل را به‌درستی درک نماییم باید مفاهیم مؤثر در تعادل را به‌خوبی بشناسیم.
مفهوم تعادل بسیار پیچیده است؛ اما به‌طورکلی تعادل استاتیکی(Static stability) به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

«هرگاه جسمی بی‌حرکت باشد این جسم دارای تعادل استاتیکی است.»
برای تعادل حالت‌های مختلفی وجود دارد، که شامل موارد زیر است:
ـ تعادل پایدار ـ تعادل خنثی ـ تعادل ناپایدار



شکل ۲ـ انواع تعادل

بحث کلاسی

اصطلاحات به‌کار رفته در تصویر بالا را ترجمه کنید.

تعادل پایدار

اگر جسمی توسط نیرویی خارجی از حالت اولیه خود خارج شود و پس از برداشتن نیرو، به حالت اولیه خود برگردد، می‌گویند. این جسم دارای تعادل پایدار است.

تعادل خنثی

اگر جسمی توسط نیرویی خارجی از حالت اولیه خود خارج شود و پس از حذف نیرو، جسم نیز به همان حال باقی بماند، گفته می‌شود که این جسم دارای تعادل خنثی است. تعادل خنثی را می‌توان مشابه حالتی دانست که یک سیلندر گاز در آب شناور شود. در هر وضعیتی که نیروی وارد بر آن از بین برود، سیلندر به همان حال باقی خواهد ماند.

تعادل ناپایدار

اگر جسمی توسط نیرویی خارجی از حالت اولیه خود خارج شود و پس از حذف نیرو همچنان از حالت اولیه خود دور شود، این جسم دارای تعادل ناپایدار است.

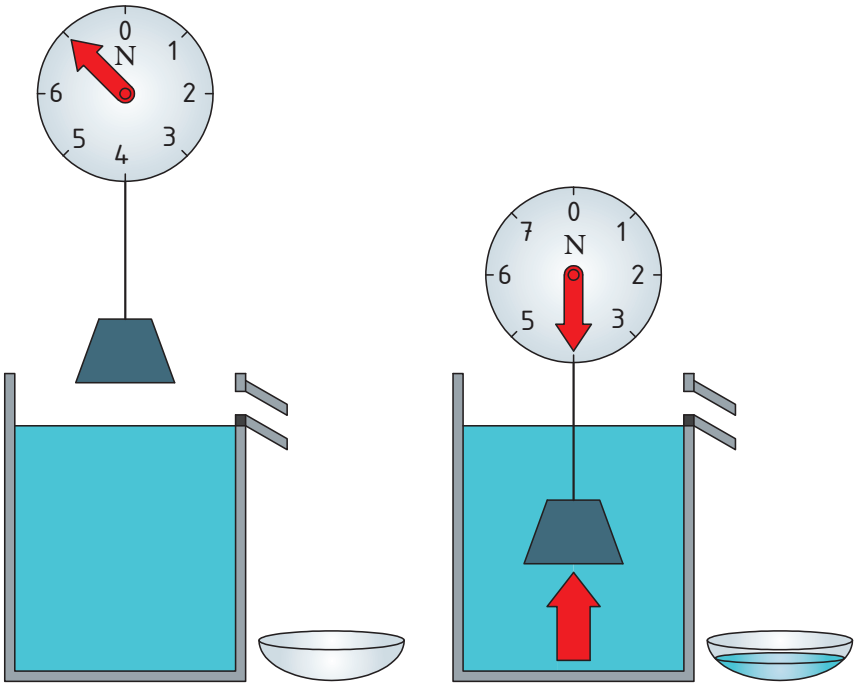
تحقیق کنید

آیا تعادل انواع دیگری هم دارد. و نتیجه تحقیق را در کلاس ارائه دهید.

مفهوم شناوری و جابه‌جایی

قانون ارشمیدس و کاهش وزن

هرگاه تمام یا قسمتی از یک جسم در مایعی فرورود، با نیرویی که مساوی با وزن مایع جابه‌جاشده توسط جسم است، به‌طرف بالا رانده می‌شود. به‌عبارت‌دیگر به‌اندازه وزن مایع جابه‌جا شده از وزن جسم کم می‌شود.



شکل ۳ـ مفهوم قانون ارشمیدس

جابه‌جایی (Displacement)

جابه‌جایی را وزن کل شناور نیز می‌گویند که از دو جز اصلی تشکیل می‌شود:

۱ وزن سبک کشتی (Light) که شامل وزن بدنه، ماشین‌آلات موتورخانه و کلیه اقلام ثابت کشتی است.

۲ وزن مرده شناور (Dead weight) که شامل وزن سوخت، آب، خدمه، مسافران و به‌طور کلی همه اقلام غیرثابت و مصرفی شناور است.

یعنی:

وزن سبک + وزن مرده = جابه‌جایی

در این رابطه، واحد جابه‌جایی برحسب نیوتن به‌دست می‌آید. در برخی منابع نیز واحد جابه‌جایی با «تن» بیان می‌شود.

حجم بسته داخل بدنه

برای بیان حجم بسته کل شناور که شامل حجم زیر عرشه اصلی و بالای عرشه است از دو تعریف تناژ ناخالص و تناژ خالص استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که اصطلاح «تناژ» به معنای جرم یا وزن نیست بلکه به مفهوم حجم است. تا سال ۱۹۸۲ مقدار تناژ به‌وسیله واحد ۱۰۰ فوت مکعب (۲/۸۳ مترمکعب) بیان می‌شد یعنی برای هر تن حجمی معادل ۲/۸۳ مترمکعب در نظر گرفته می‌شد. ولی از سال ۱۹۸۲، محاسبه مقدار تناژ (حجم بسته شناور) برای کلیه کشتی‌ها توسط قوانین کنوانسیون بین‌المللی اندازه‌گیری تناژ انجام می‌شود. دو تعریف کلی در این‌باره وجود دارد:

تناژ ناخالص (Gross tonnage): عبارت است از میزان حجم بسته کل کشتی که مبنای پرداخت هزینه حوض خشک، راهنمایی کشتی و بازرسی آن است. فضاهای بسته زیر، جزء فضاهای معاف شده هستند و تناژ ناخالص شناور محسوب نمی‌شود و مهم‌ترین این فضاها عبارت‌اند از:

۱ پل فرماندهی، اتاق نقشه، اتاق مخابراتی و اتاق ابزارآلات دریانوردی
۲ فضای آشپزخانه
۳ فضای شستشو و فاضلاب
۴ محل نگهداری وسایل ایمنی و نجات
۵ کانال‌های داخل بدنه

تناژ خالص (Net tonnage): تناژ خالص عبارت است از حجم فضای مفید کشتی که براساس آن مالیات و تعرفه‌ها محاسبه و اخذ می‌شود و به‌اختصار آن را با N.T نشان می‌دهند. عواملی که در تعیین تناژ خالص مؤثر هستند عبارت‌اند از:

۱ فضای قابل بارگیری برحسب مترمکعب.
۲ عمق و آبخور اندازه‌گیری شده از داخل.
۳ تعداد مسافران اگر بیش از ۱۳ نفر باشند.

این تناژ برگرفته از تناژ ناخالص است که فضا یا حجم خاصی از آن کاسته می‌شود. عمده‌ترین فضاهایی که از تناژ ناخالص باید کاسته شود عبارت‌اند از:

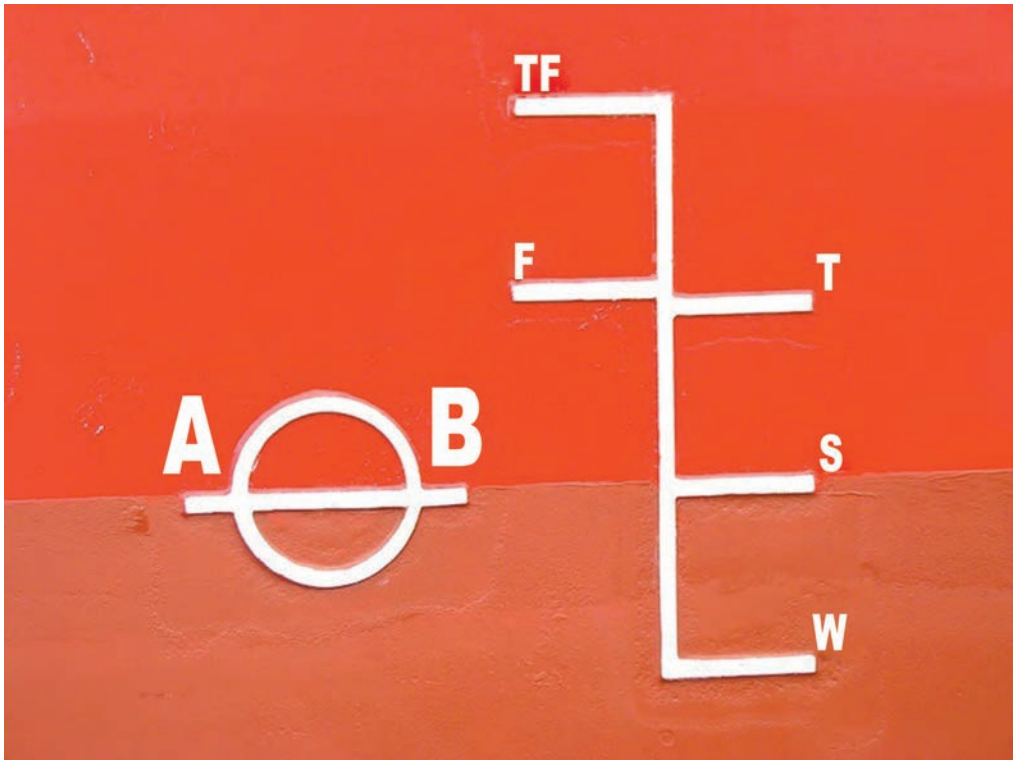
۱ کابین فرمانده و افسران کشتی، اتاق مخابرات و اتاق نقشه
۲ چاه زنجیر، محل عبور زنجیر و سیستم سکان کشتی
۳ کارگاه‌ها
۴ مخازن آب تعادل در صورتی‌که در موارد دیگر نتوان از آنها استفاده نمود
۵ اتاق مخصوص ماشین‌آلات که نیروی محرکه پروانه را ایجاد می‌نمایند.

ظرفیت حمل (Dead Weight Capacity)

ظرفیت حمل عبارت است از کل وزن بارهایی که کشتی می‌تواند آنها را حمل نماید. عمده‌ترین مواردی که کشتی حمل می‌کند عبارت‌اند از: کارکنان کشتی و لوازم آنها، مسافران و اثاثیه آنها، مواد غذایی، آب شیرین، لوازم خواب، لوازم پخت‌وپز، امانت‌های پستی، سوخت، روغن، آب‌شور تعادل، سیال داخل خن، قطعات یدکی و... طراحان کشتی در هنگام طراحی آن باید تلاش نمایند تا شرایط و وضعیت رضایت بخشی را بین تناژ حجمی و تناژ وزنی به‌وجود آورند.

خط (شاهین) بارگیری (load line)

خط بارگیری را معمولاً به نام علامت پلیمسول (Plimsoll Mark) می‌شناسند و محل آن درست در امتداد زیر خط عرشه کشتی است که فاصله بین بالای خط عرشه تا مرکز دایره، سطح آزاد تابستانی مقرر است. خطوط آبخور رسمی روی خط قائمی که در فاصله ۵۴۰ میلی‌متری جلوی دایره قرار دارد مشخص می‌شود و نشان می‌دهند که یک کشتی در شرایط مختلف تا چه خطی می‌تواند بارگیری نماید.
ارتفاع آزاد هر کشتی، سالانه از سوی مقامات بندری کشورها یا مؤسسات مجاز بازرسی می‌شود و براساس آن گواهینامه بین‌المللی خط شاهین بارگیری جدیدی برای کشتی صادر می‌شود یا گواهینامه قبلی آن پشت‌نویسی و تمدید می‌شود.



شکل ۴ـ خط بارگیری

خط بارگیری تابستانی (The summer load line)
این خط را با S نشان می‌دهند و در امتداد مرکز دایره قرار دارد.
خط بارگیری زمستانی (The winter load line)

این خط را با حرف W نمایش می‌دهند که به فاصله $\frac{۱}{۴۸}$ آبخور تابستانی و در زیر خط S قرار دارد.
خط بارگیری مناطق حاره یا نواحی گرمسیری (The Tropical load Line)

این خط را با حرف T نمایش می‌دهند که به فاصله $\frac{۱}{۴۸}$ آبخور تابستانی و در بالای خط S قرار دارد.

خط بارگیری در آب شیرین تابستانی (The Fresh Water Summer Load Line)

این خط را با حرف F نمایش می‌دهند و نشان‌دهنده آبخوری است که کشتی می‌تواند در آب شیرین بارگیری کند و پس از وارد شدن کشتی در آب‌شور، خط آبخور تا محل آبخور تابستانی (S) بالا خواهد آمد.

خط بارگیری آب شیرین نواحی گرمسیری (The Tropical Fresh Water Load Line)

این خط را با حروف TF نمایش می‌دهند که به فاصله $\frac{۱}{۴۸}$ آبخور تابستانی در بالای خط F قرار دارد. در صورتی‌که کشتی وارد آب‌شور دریا شود خط آبخور در محل T قرار خواهد گرفت.

خط عرشه (Deck Line)

خطی است افقی به طول ۳۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۲۵ میلی‌متر که از دو طرف بر روی بدنه در وسط کشتی علامت‌گذاری می‌شود.

تحقیق کنید

با جست‌وجو در اینترنت برای هر کدام از اصطلاحات عرشه سطح آزاد و خط عرشه یک تصویر یافته و در کلاس ارائه نمایید.

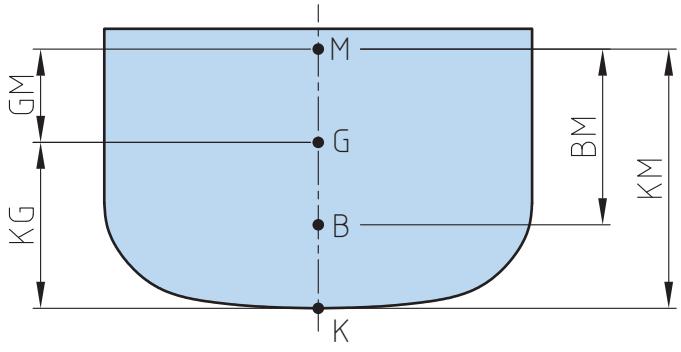
اصول هیدرو استاتیک

برای بررسی تعادل استاتیک هر کشتی، نیاز به اطلاعاتی از قبیل موقعیت مرکز ثقل، مرکز شناوری و مرکز غوطه‌وری است. که در ادامه به معرفی این نقاط مهم می‌پردازیم.

مرکز ثقل کشتی

مرکز ثقل یک کشتی نقطه‌ای است که برآیند نیروی وزن کلیه قسمت‌های کشتی از آن نقطه به‌طور قائم و به‌طرف پایین وارد می‌شود. مرکز ثقل را با نقطه G نشان می‌دهند. بر مبنای موقعیت مرکز ثقل، فاصله مهم (KG) که کاربرد زیادی در محاسبات تعادل کشتی دارد، قابل‌تعریف است:

(۱) فاصله طولی KG: عبارت است از ارتفاع قائم نقطه مرکز ثقل نسبت به موقعیت کیل کشتی. این فاصله و یا ارتفاع را معمولاً با KG نشان می‌دهند. بر مبنای همین تعریف، اصطلاح زیر برای کشتی‌ها تعریف می‌گردد.



شکل ۵ـ مکان مرکز ثقل کشتی

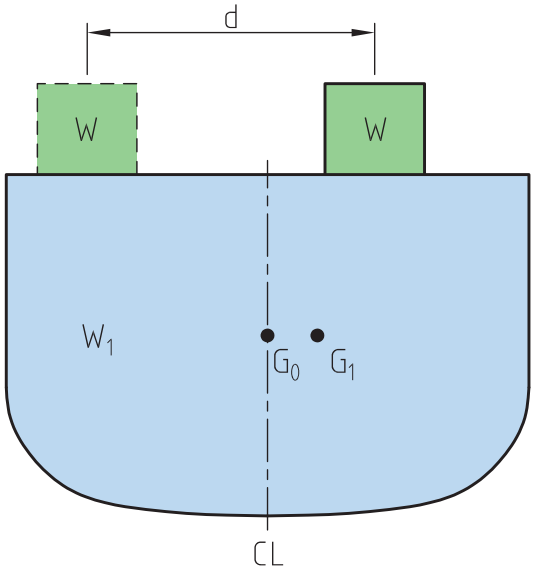
Light. KG: ارتفاع نقطه مرکز ثقل کشتی (G) از بالای کیل یک کشتی سبک (خالی از بار) قبل از بارگیری هر نوع کالا، وسایل غذایی و سوخت را که مهندسین ساختمان کشتی محاسبه می‌کنند، Light. KG می‌گویند. در اطلاعات مربوط به تعادل کشتی، آنچه به دریانوردان داده می‌شود همین عدد است.

جابه‌جایی مرکز ثقل در اثر جابه‌جایی وزنه

اگر روی یک کشتی که مرکز ثقل آن مشخص است وزنه‌ای را جابه‌جا کنیم، مرکز ثقل نیز جابه‌جا می‌شود. (محل مرکز ثقل به مقدار جرم و محل تک‌تک اجزای سازنده بستگی دارد).

فرض کنیم کشتی با بار آن شامل یک وزنه باشد که در ارتفاع مشخص‌شده قرار دارد، اگر وزنه w را به‌اندازه d (مطابق شکل ۶) جابه‌جا کنیم آنگاه داریم:

مجموع وزن‌ها/ مجموع گشتاورها (ممان‌ها) = مرکز ثقل



شکل ۶ـ جابه‌جایی مرکز ثقل

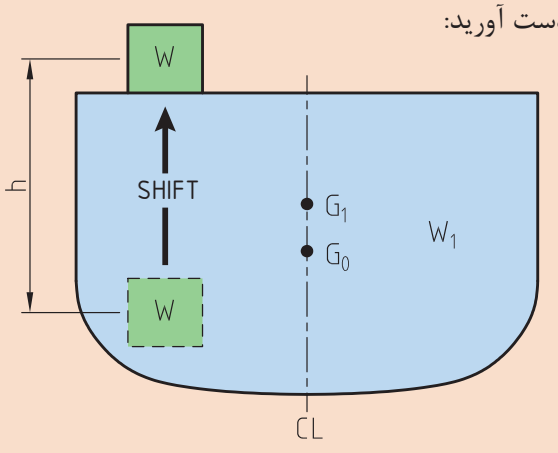
$$G.G_1 = \frac{w_1 d}{w_1 + w}$$

کاردرکلاس

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:

کاردرمنزل

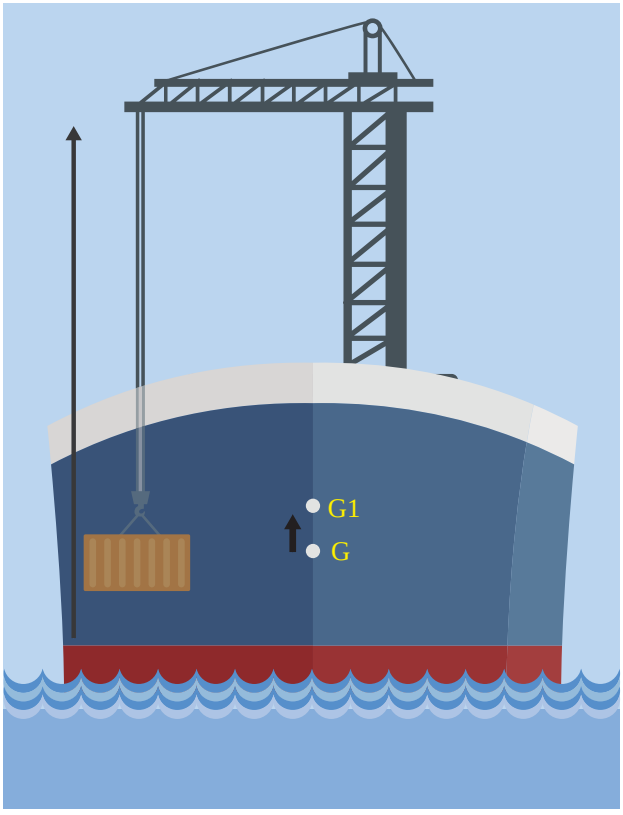
با توجه به شکل زیر معادله مرکز ثقل جدید را به‌دست آورید:



شکل ۷ـ جابه‌جایی وزنه در ارتفاع

تأثیر جابه‌جایی بار با جرثقیل و سطح آزاد مخازن بر مرکز ثقل و پایداری

تا زمانی که باری روی سطح کشتی قرار دارد مرکز ثقل بار نیز در همان نقطه واقع است ولی به‌محض آنکه بار از روی کشتی کنده شود مرکز ثقل سریعاً به نقطه آویز منتقل می‌شود.



شکل ۸ـ جابه‌جایی وزنه با جرثقیل

این نقطه ممکن است بر روی یک جرثقیل بلند و ده‌ها متر بالاتر از مکان اولیه باشد این جابه‌جایی مرکز ثقل به‌خصوص در مورد بارهای سنگین مشکلاتی را به‌وجود می‌آورد زیرا مرکز ثقل کشتی نیز سریعاً جابه‌جا می‌شود و ممکن است موجب از بین رفتن تعادل پایدار کشتی شود.

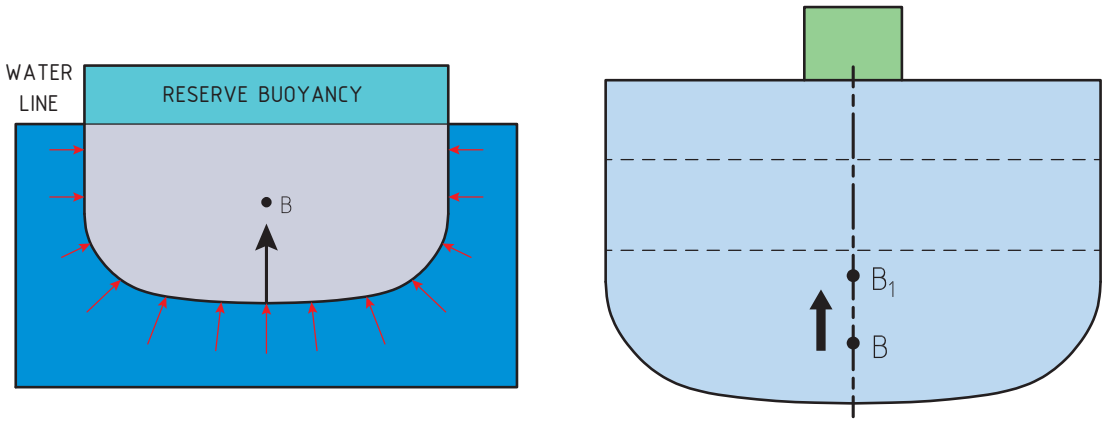
سطح آزاد مخازن نیز همچون اثر اجسام آویزان باعث تضعیف پایداری می‌گردد لذا سطح آزاد مخازن را باید به حداقل رسانید و تقسیم‌بندی داخلی مخازن به همین منظور انجام می‌شود. سطح آزاد مخازن باعث می‌شود براثر تلاطم شناور، سیال داخل مخزن از طرفی به‌طرف دیگر حرکت کند و باعث جابه‌جایی عرضی و عمودی مرکز ثقل شود که در نهایت باعث کاهش پایداری کشتی می‌گردد که در ادامه به آن می‌پردازیم.

کار در کلاس

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.

مرکز شناوری (بویانسی)(Center of buoyancy)

طبق قانون ارشمیدس منظور از شناوری در کشتی، مقدار نیرویی است که وقتی کشتی داخل آب قرار دارد به‌طور قائم و به‌طرف بالا به بدنه کشتی وارد می‌شود. این نیرو برابر وزن آبی است که با ورود کشتی داخل آب، جابه‌جاشده است و یا به عبارتی برابر وزن مقدار آب هم حجم با قسمت غوطه‌ور (فرورفته در آب) کشتی است. مقدار این نیرو برای کشتی در حال تعادل (سکون) برابر با وزن کل کشتی است.



شکل ۹ـ مرکز شناوری

گرچه این نیرو به سراسر سطح بدنه داخل آب وارد می‌شود ولی همانند مرکز ثقل برآیند این نیروها نیز از یک نقطه و به‌طرف بالا عبور می‌کند، که اصطلاحاً به آن نقطه «مرکز شناوری و یا بویانسی» کشتی می‌گویند و آن را با B نمایش می‌دهند.

کشتی‌ها که همواره روی سطح آب حرکت می‌کنند چگالی کلی کمتری نسبت به آب دریا دارند و لذا نیرویی برابر با وزن آنها از آب به بدنه کشتی وارد می‌شود که همین نیرو باعث باقی ماندن کشتی بر سطح آب دریاها می‌شود و اگر نیروی بویانسی کمتر از نیروی وزن باشد، کشتی به داخل آب فرو خواهد رفت.

شناوری ذخیره (رزرو شناوری)

شناوری ذخیره عبارت است از حجم فضای بسته‌ای که بالای خط آبخور قرار دارد. این قسمت برخلاف قسمت غوطه‌ور، باعث شناوری شناور نمی‌شود و در حقیقت این فضا به‌عنوان ذخیره‌ای برای شناوری عمل می‌کند. بدین معنی که وقتی وزنه‌ای به کشتی اضافه می‌شود، وزن کل کشتی افزایش می‌یابد، در نتیجه برای حفظ تعادل، نیروی شناوری (بویانسی) بیشتری مورد نیاز است در این حالت حجم خالی بالای خط آب (رزرو بویانسی) با فرورفتن در آب، این نیروی اضافه را تأمین می‌کند و کشتی به حالت شناور باقی می‌ماند.

کاردرکلاس

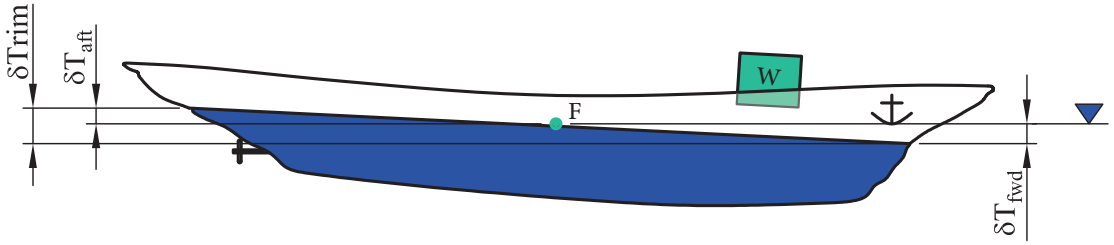
شناوری جعبه‌ای شکل، با ابعاد ۱۰۵ متر طول، ۳۰ متر عرض و ۲۰ متر عمق در آب شیرین شناور است. درصورتی‌که وزن شناور ۱۹۵۰۰ تن باشد، حجم شناوری ذخیره آن را پیدا کنید.

آب‌گرفتگی

چنانچه به هر دلیلی قسمتی از فضای بویانسی هر کشتی دچار آب‌گرفتگی شود، یعنی به علت صدمه دیدن بدنه شناور، آب وارد قسمتی از کمپارتمان‌های کشتی گردد (آب‌گرفتگی)، به مقدار همان حجمی که آب وارد شناور شده است، از بویانسی کل آن شناور کم می‌شود و چنانچه حجم آب ورودی به شناور از بویانسی کل شناور بیشتر و یا برابر آن گردد، شناور غرق خواهد شد. این پدیده دقیقاً عکس «رزرو بویانسی» است.

مرکز غوطه‌وری (Center of Floatation)

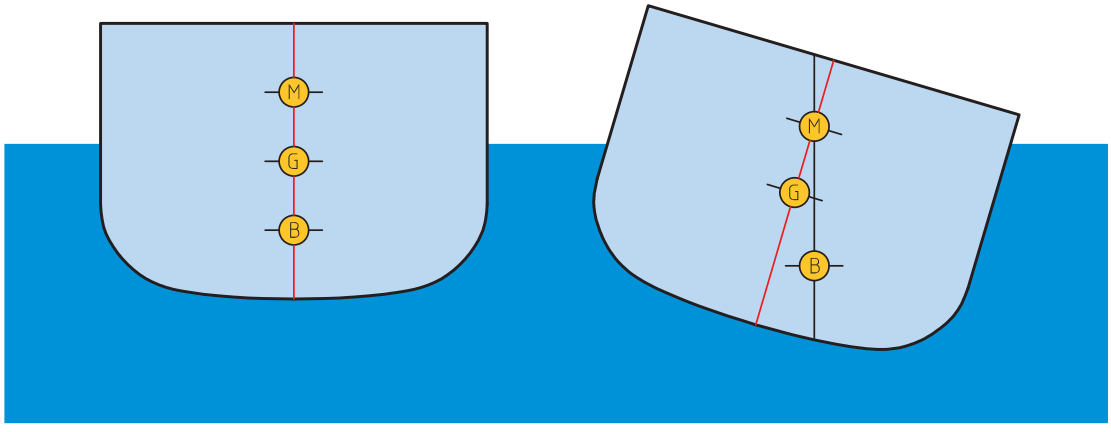
نقطه‌ای است که چرخش‌های طولی و عرضی کشتی حول محورهایی که از این نقطه می‌گذرد، صورت می‌گیرد؛ به‌عبارت‌دیگر مرکز هندسی صفحات افقی، از جمله صفحه خط آب را مرکز غوطه‌وری گویند.



شکل ۱۰ـ مرکز غوطه‌وری

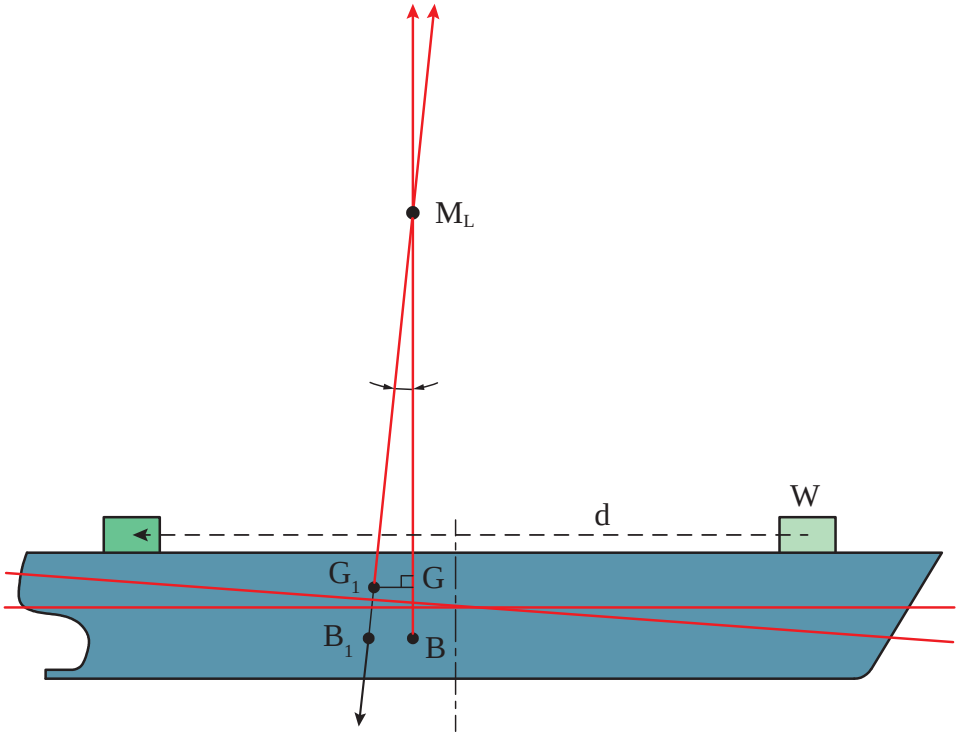
مرکز متاسنتریک (Metacenter) عرضی و طولی

وقتی کشتی تحت تأثیر یک نیروی خارجی، مثل موج، از حالت طبیعی خود خارج می‌شود، محل مرکز شناوری آن نیز تغییر نموده است. در این حالت، کماکان جهت نیروی شناوری عمود بر سطح آب و به سمت بالا باقی می‌ماند.



شکل ۱۱ـ مرکز متاسنتریک عرضی

امتداد نیروهای بویانسی، برای دو حالت اولیه و حالت تغییر یافته کشتی، یکدیگر را در یک نقطه قطع می‌کنند که آن را «متاسنتریک» می‌نامند و با M نشان می‌دهند.
از آنجا که کشتی ممکن است در دو جهت طولی و عرضی چرخش نموده و تعادل خود را از دست بدهد. معمولاً برای کشتی دو مرکز متاسنتریک تعریف می‌شود، یکی مرکز متاسنتریک طولی و دیگری مرکز متاسنتریک عرضی.



شکل ۱۲ـ متاسنتر طولی

ارتفاع متاسنتریک

ارتفاع متاسنتریک، چه طولی و چه عرضی، عبارت است از فاصله بین مرکز ثقل و نقاط متاسنتر طولی و یا عرضی کشتی که این فاصله به‌طور عمودی و مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. این فاصله را معمولاً با GM نشان می‌دهند.
متاسنتریک طولی را با GM_L مشخص می‌کنند. البته توجه نماییم که در هنگام بحث اگر از «مرکز متاسنتریک» نام برده می‌شود، اغلب منظور مرکز متاسنتریک عرضی کشتی است این بدان علت است که چرخش‌های عرضی و تعادل کشتی در جهت عرضی بسیار مهم‌تر از تعادل طولی کشتی است.

ارتفاع متاسنتریک معیاری برای پایداری اولیه

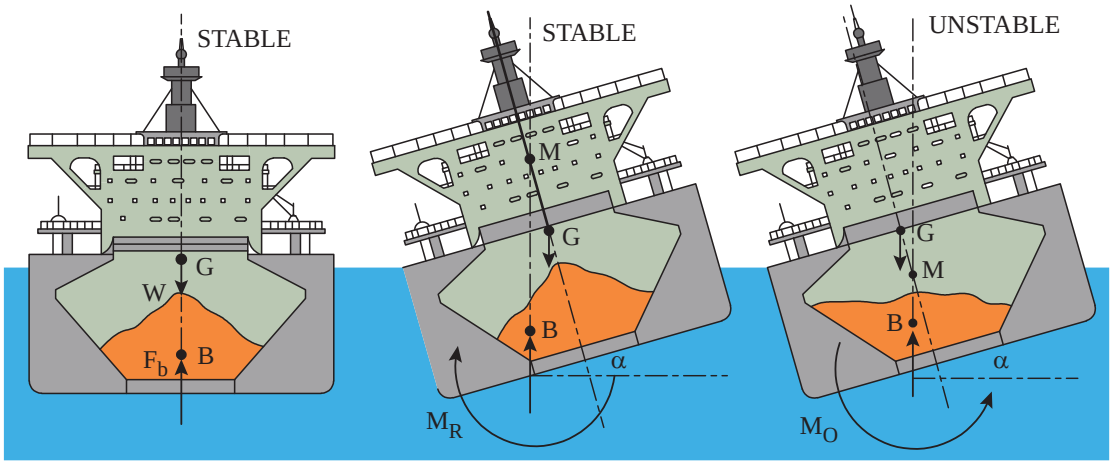
وقتی کشتی کج می‌شود شکل قسمت زیرآبی تغییر می‌کند و در نتیجه موقعیت مرکز شناوری (بویانسی) آن عوض می‌شود، ولی موقعیت مرکز ثقل کماکان ثابت می‌ماند، درنتیجه امتداد اثر نیروی شناوری از امتداد

اثر نیروی وزن جدا می‌شود. جابه‌جایی در راستای اثر این دو نیروی مساوی و مختلف‌الجهت، یک گشتاور (ممان) به‌وجود می‌آورد که اندازه آن برابر با حاصل‌ضرب یکی از این دو نیرو (وزن کشتی) در فاصله مابین دو امتداد اثر نیروها است. این گشتاور (ممان) را که موجب راست شدن کشتی می‌شود، ممان راست‌کننده مثبت می‌نامند و فاصله عمودی مابین خطوط اثر نیرو را «بازوی راست‌کننده» می‌گویند.

همان‌طور که قبلاً بیان شد، نقطه متاسنتر عبارت است از محل تلاقی امتداد اثر نیروی شناوری (بویانسی) کشتی غلتیده، با امتداد قائم (قبل از غلتیدن). این نقطه در حالت عادی بر روی هر دو امتداد اثر نیروی وزن و نیروی بویانسی قرار می‌گیرد.

در هنگام غلتش، سه حالت برای کشتی ایجاد می‌شود:

۱ **اگر نقطه متاسنتر بالای مرکز ثقل قرار داشته باشد:** هنگامی‌که کشتی در اثر نیروی خارجی کج می‌شود، ممان راست‌کننده مثبت تشکیل می‌شود و کشتی را به‌سوی حالت اولیه برمی‌گرداند. در این حالت، کشتی تعادل پایدار دارد.



شکل ۱۳ـ تأثیر محل متاسنتر بر تعادل

بحث کلاسی

اصطلاحات به‌کار رفته در تصویر بالا را ترجمه کنید.

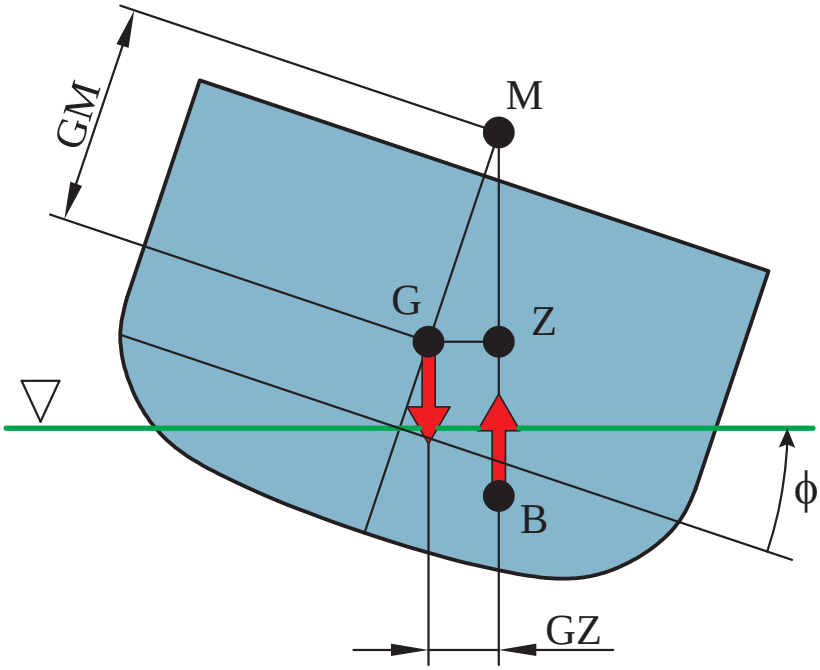
۲ **اگر نقطه متاسنتر و مرکز ثقل بر روی‌هم قرار گیرند:** وقتی کشتی در اثر نیروی خارجی کج می‌شود، امتداد دو نیروی وزن و شناوری (بویانسی) همواره در هر زاویه غلتش، درست روبروی هم قرار می‌گیرند. در نتیجه هیچ گشتاوری به‌وجود نمی‌آید و کشتی تعادل خنثی یافته و در همان حالت کج باقی می‌ماند.

۳ **اگر متاسنتر در زیر مرکز ثقل قرار گیرد:** یک گشتاور منفی و یا ممان واژگونی تشکیل می‌شود و کشتی تعادل ناپایدار خواهد داشت.

در بررسی رابطه نقطه متاسنتر و وضعیت تعادل کشتی، حتماً باید توجه شود که تعریف نقطه متاسنتر به‌صورتی که در بالا ذکر شد، فقط در زوایای کمتر از ۱۰ درجه غلتش معتبر است. بنابراین استفاده از موقعیت متاسنتر و مرکز ثقل، به‌عنوان شرط تعادل برای زوایای غلتش کوچک، مجاز است.

بازوی راست‌کننده

بازوی راست‌کننده کشتی، گشتاوری است که از نیروهای بویانسی و وزن تشکیل می‌شود. همان‌طور که در مبحث قبلی مطرح شد، مقدار گشتاور برگردانندِ کشتی برابر با حاصل‌ضرب وزن کشتی در فاصله بین دونیرو است که به آن «بازوی راست‌کننده» می‌گویند و با نشان می‌دهند. وقتی که وزن کشتی ثابت باشد می‌توان مقدار GZ را به‌عنوان معیاری برای پایداری استاتیکی در تمام زوایای غلتش به‌کار برد.



شکل ۱۴ـ بازوی راست‌کننده

در زوایای کوچک غلتش که امتداد اثر نیروی بویانسی در حالت غلتیده، امتداد محور تقارن قائم را در نقطه M قطع می‌کند.

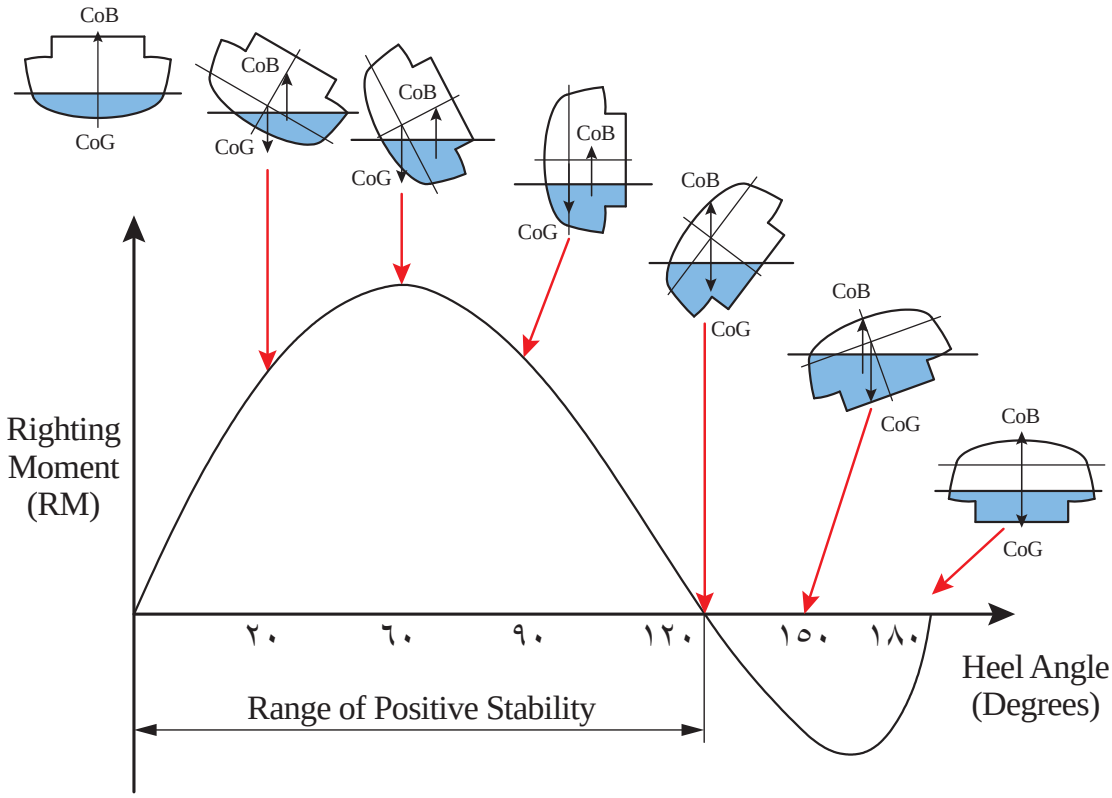
طبق شکل ۱۴، (Φ) زاویه غلتش عرضی برحسب درجه است؛ بنابراین مقدار آن می‌تواند جهت مقایسه پایداری اولیه دو کشتی مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

محدوده پایداری

محدوده پایداری به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

مقدار زاویه غلتش (برحسب درجه) که کشتی می‌تواند به راست یا چپ بچرخد به‌طوری‌که تعادل استاتیکی خود را حفظ کند.

این محدوده به عواملی از قبیل عرض کشتی، عرشه آزاد، آب‌بندی عرشه، سوپر استراکچر (رو سازه) و موقعیت مرکز ثقل کشتی، بستگی دارد. مقدار این محدوده، بیانگر اندازه بازوی راست‌کننده مثبت است. ازنظر تئوری محدوده پایداری، زاویه‌ای را نشان می‌دهد که کشتی می‌تواند در آب آرام تا آن زاویه غلتش کند بدون آنکه واژگون شود. برای پایدار بودن تعادل کشتی، ممان چرخشی (ناشی از نیروی امواج) در هر زاویه نباید از ممان راست‌کننده در همان زاویه بیشتر باشد.



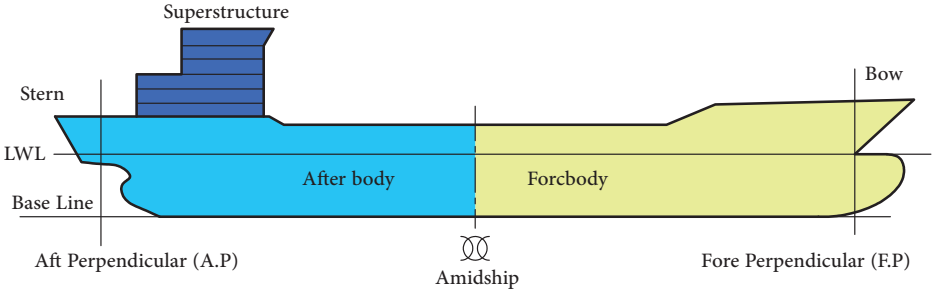
شکل ۱۵ـ منحنی GZ

بحث کلاسی

اصطلاحات به‌کار رفته در تصویر بالا را ترجمه کنید.

منحنی بازوی راست‌کننده، زاویه‌ای را نشان می‌دهد که مقدار بازوی راست‌کننده در آن ماکزیمم است. به‌طورکلی محدوده پایداری، مقدار ماکزیمم بازوی راست‌کننده و زاویه‌ای که این ماکزیمم در آن اتفاق می‌افتد و نیز سطح زیر منحنی همگی پارامترهای اساسی در ارزیابی نهایی پایداری کشتی هستند.

اصطلاحات کشتی



شکل ۱۶ـ اصطلاحات کشتی

بحث کلاسی

اصطلاحات به‌کار رفته در تصویر بالا که در ادامه ترجمه نشده‌اند را ترجمه کنید.

سینه و پاشنه

به قسمت جلوی کشتی سینه (bow) وبِ قسمت انتهای کشتی پاشنه (stern) گفته می‌شود.

عمود سینه (Fore Perpendicular)

خطی است که بر محل تقاطع سطح آب در محل سینه کشتی عمود می‌شود.

عمود پاشنه (Aft Parpendicular)

خطی است که در محل سکان بر سطح آب عمود می‌شود.

خط مبنا (base line)

خطی است که به پایین‌ترین قسمت کف کشتی به‌صورت طولی مماس می‌شود.

خط مرکزی (Center line)

خطی است که صفحه آبخور شناور را به دونیمه چپ و راست تقسیم می‌کند.

مقطع میانی (Amidship)

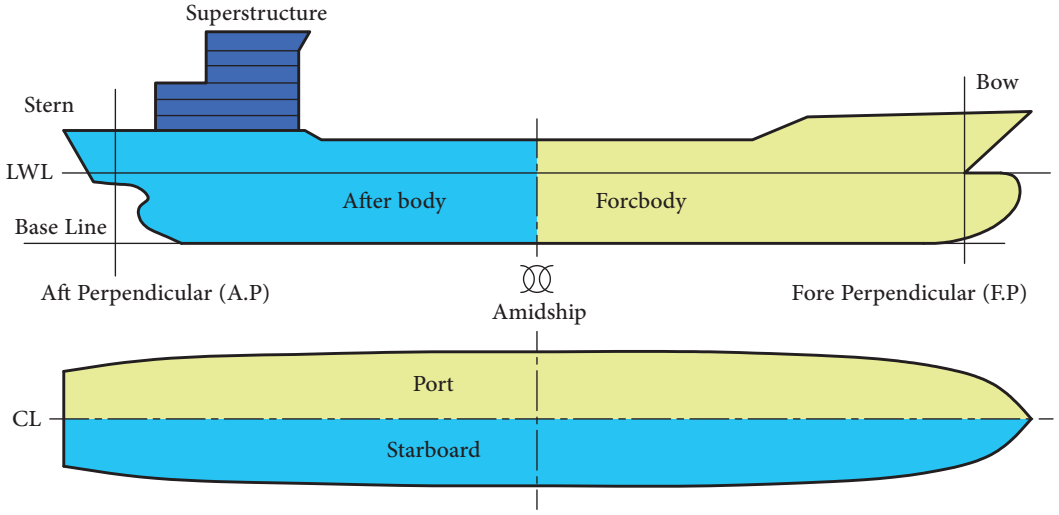
مقطعی است که کشتی را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند.

عرشه (Deck)

صفحه‌های افقی در ساختمان کشتی که به‌صورت طبقات متعددی می‌تواند باشد که بار یا مسافر بر روی آن حمل می‌شود.

سوپر استراکچر (Superstructure)

سازه‌ای است بر روی عرشه اصلی که معمولاً محل اسکان خدمه و فضای رفاهی است.

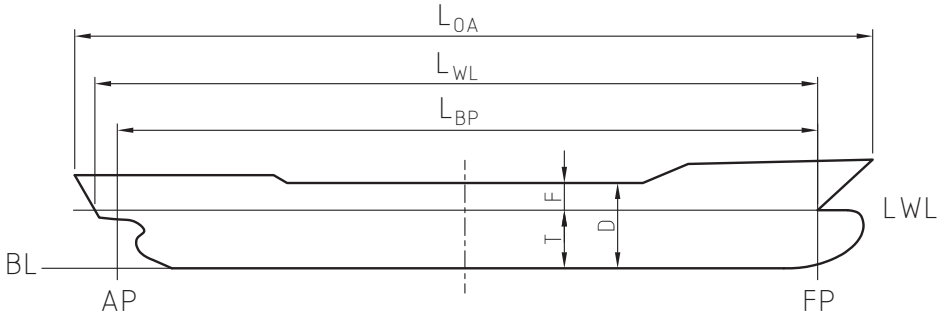


شکل ۱۷ـ اصطلاحات ابعادی کشتی

سمت چپ و راست کشتی

اگر بر روی کشتی بایستیم و به سمت جلو کشتی نگاه کنیم به سمت راست کشتی «Starboard» و به سمت چپ آن«port» گفته می‌شود.

ابعاد اصلی کشتی



شکل ۱۸ـ ابعاد اصلی کشتی

طول کلی (Length overall)

با LOA مشخص می‌شود و نشان‌دهنده طول بین انتهایی‌ترین نقاط سینه و پاشنه کشتی است و معمولاً روی عرشه اصلی اندازه‌گیری می‌شود.

طول بین دو عمود (length between perpendiculars)

با LBP مشخص می‌شود و برابر طول خط بین عمود پاشنه و عمود سینه کشتی است.

طول خط آبخور سنگین (length over load water lines)

با LWL مشخص می‌شود و نشان‌دهنده طول خط آبخور کشتی است در حالی که بارگیری شده است.

عرض کشتی (Beam)

با B مشخص می‌شود و برابر عرض در خط آبخور کشتی است.

ارتفاع کشتی (Depth)

با D مشخص می‌شود و برابر فاصله بین کیل و عرشه اصلی کشتی است.

آبخور کشتی (Draft)

با T مشخص می‌شود و نشان‌دهنده ارتفاع قسمتی از کشتی است که در زیرآب قرار می‌گیرد.

فری برد یا برد آزاد (Freeboard)

با F مشخص می‌شود و نشان‌دهنده فاصله خط آبخور تا عرشه اصلی در مقطع میانی کشتی است.

تریم (Trim)

برابر است با اختلاف آبخور سینه و آبخور پاشنه کشتی. اگر آبخور پاشنه بیشتر باشد، کشتی تریم به پاشنه دارد و بالعکس. معمولاً کشتی به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که‌تریم به پاشنه داشته باشد.

اندازه‌های گفته‌شده در بالا برای محاسبات تعادل کشتی‌ها هم در زمان ساخت و هم در زمان بهره‌برداری نقش مهمی دارند.

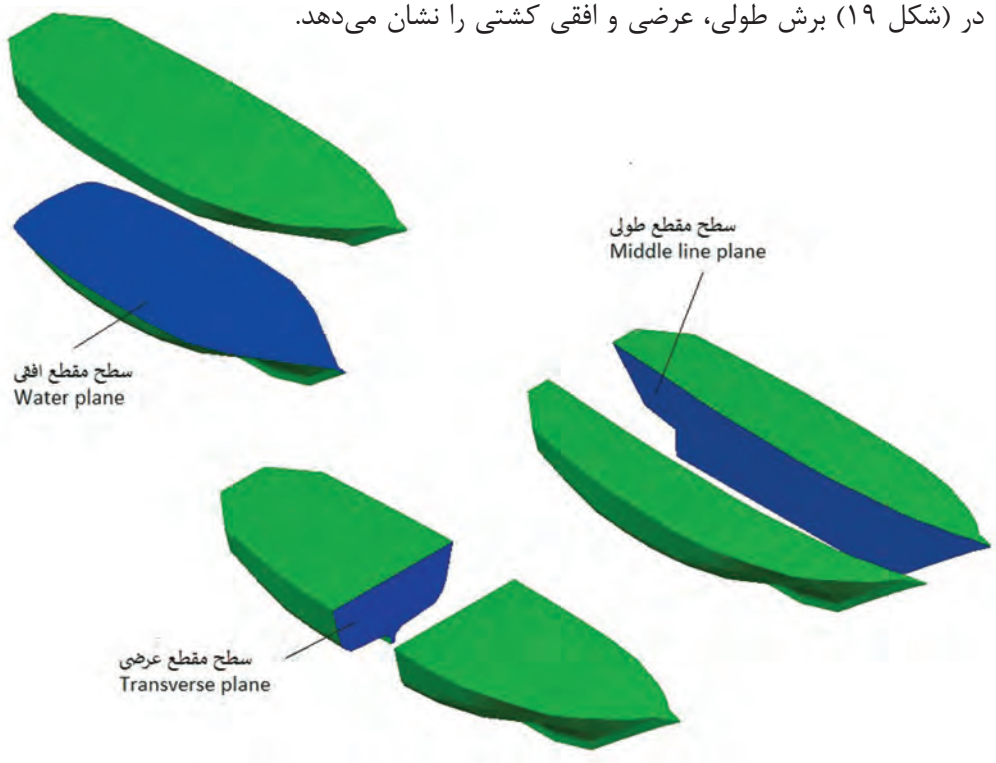
تحقیق کنید

با حضور در یک کشتی که برای تعمیر در حالت داک خشک قرار دارد اندازه‌های آن را استخراج کرده و در کلاس ارائه نمایید.

خطوط بدنه

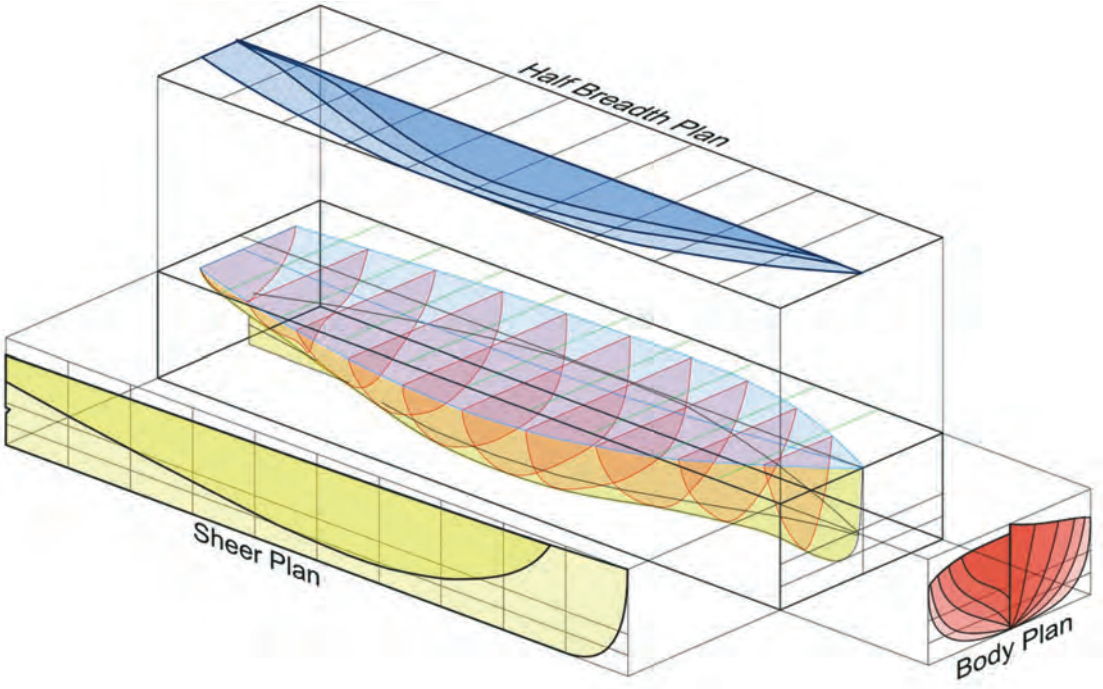
برای کاهش مقاومت و همچنین تعادل پایدار، کشتی طوری ساخته می‌شود که طرفین آن نسبت به صفحه‌ای که به‌طور قائم از سینه و پاشنه آن عبور می‌کند قرینه باشد. این صفحه یا سطح قائم سرتاسری ـ (Line PlaneMiddle) از سطوح بسیار مهم کشتی است. محل برخورد صفحه فوق با سطح عرشه خطی را تشکیل می‌دهد که به آن «خط سرتاسری» می‌گویند. اگر کشتی به‌وسیله این صفحه برش داده شود به آن «تصویر نیمرخ» یا «سطح مقطع طولی کشتی» می‌گویند. از سطوح مهم دیگری که می‌توان نام برد، سطح مقطع افقی است که به آن «سطح مقطع آبخور»(Design water plane) نیز می‌گویند. این سطح عمود بر سطح قائم سرتاسری است که آن نیز به‌عنوان سطح مبنا در اندازه‌گیری‌های ساختمان کشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

محل برخورد این سطح با بدنه کشتی را خط آبخور تشکیل می‌دهد که معمولاً حداکثر آبخور مجاز برای کشتی‌ها تا این سطح در نظر گرفته می‌شود. سومین سطح مهمی که می‌توان از آن نام برد، برش عرضی کشتی است که بر هر دو سطح قائم سرتاسری و سطح مقطع آبخور عمود بوده و با آنها زاویه قائمه می‌سازد. سطح مقطع یا برش عرضی معمولاً نشان‌دهنده قرینه بودن نسبت به خط وسط است. قسمت‌های آبی‌رنگ در (شکل ۱۹) برش طولی، عرضی و افقی کشتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹ـ برش‌های مختلف کشتی

اگر صفحاتی موازی با سطح مقطع آبخور و عمود بر سطح قائم سرتاسری، بدنه کشتی را قطع نمایند، به آنها نیز سطح مقطع آبخور می‌گویند، اگرچه این سطوح خارج از آب و یا در داخل آب قرار گرفته باشند. این سطوح معمولاً نسبت به خط سرتاسری قرینه هستند. همان‌طور که در شکل (۲۰) دیده می‌شود در تصویر قائم، سطح مقطع‌های آبخور یکی در داخل دیگری قرار می‌گیرد و خط بیرونی نشان‌دهنده عریض‌ترین قسمت بدنه کشتی است. در تصویر افقی، سطح مقطع یا برش عرضی را در سمت راست شکل می‌توان مشاهده کرد، به‌طوری‌که قسمت سمت راست نشان‌دهنده برش‌های عرضی قسمت سینه و سمت چپ برش‌های عرضی قسمت پاشنه را نمایش می‌دهد. خطوط افقی نشان داده‌شده در تصویر نیم‌رخ خطوط آبخور می‌باشند که یکی بالای دیگری و به‌طور موازی قرار گرفته‌اند.



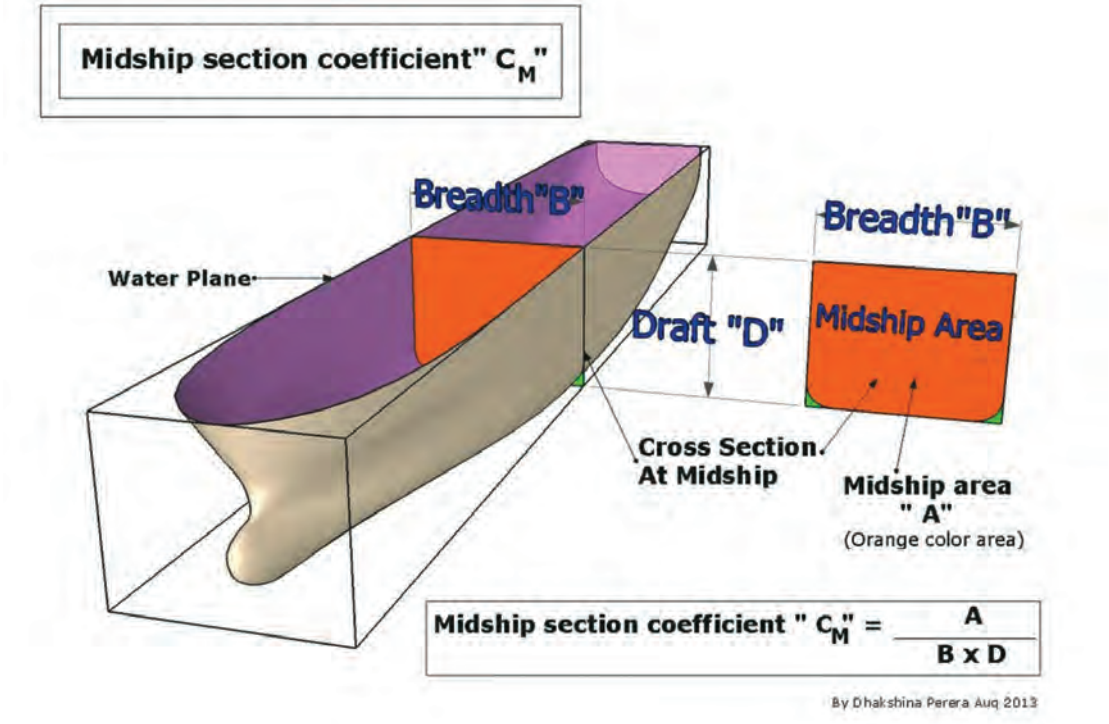
شکل ۲۰ ـ خطوط بدنه در مقاطع مختلف

ضرایب بدنه

همان‌طور که در مبحث قبل اشاره شد یک کشتی به‌صورت مکعب نبوده و برای کاهش مقاومت آب و تعادل بهتر به‌صورت انحنادار ساخته می‌شود که به همین دلیل نیاز به تعریف یک سری ضرایب بدنه است تا بتوان براساس آنها مساحت مقاطع و همچنین حجم زیرآبی را محاسبه کرد.

ضریب مقطع عرضی میانی C_m (Midship section coefficient)

این ضریب عبارت است از نسبت سطح مقطع آن در هر آبخور، به مستطیل معادل آن در قسمت زیر سطح آب.



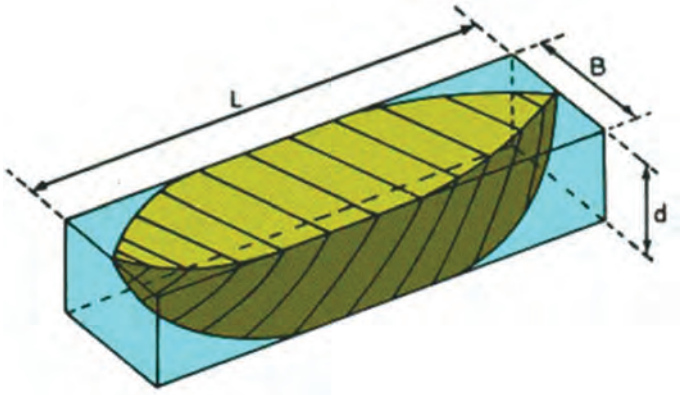
شکل ۲۱ـ ضریب مقطع عرضی میانی

بحث کلاسی

اصطلاحات به‌کار رفته در تصویر بالا را ترجمه کنید.

ضریب ظرافت و یا ضریب حجمی (Block coefficient) C_b

این ضریب برای هر مقدار از آبخور، عبارت است از نسبت حجم جابه‌جایی در آن آبخور به حجم مکعب مستطیل معادل آن حجم.



شکل ۲۲ـ ضریب ظرافت

$$C_B = \frac{\text{Volume of displacement}}{L \times B \times d}$$

Therefore:

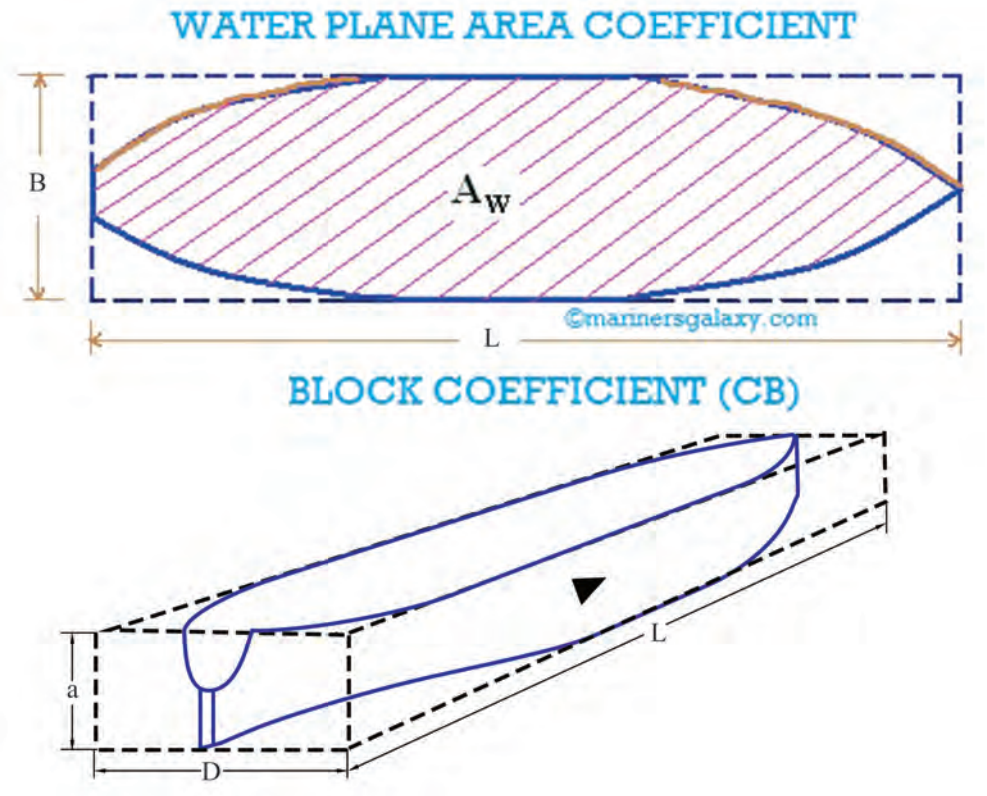
$$\text{Displacement}_{ship} = (L \times B \times d \times c_B) \times p$$

کار در کلاس

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 ۶/. در آبخور حالت خالی کشتی و ۷۵/. در آبخور بارگیری شده است. مقدار وزن بار کشتی را پیدا کنید.
(چگالی آب برابر با ۱/۰۲۵ است).

ضریب صفحه آب C_W (coefficient waterline)

این ضریب عبارت است از سطح مقطع آبخور به مستطیل معادل آنکه بر سطح مقطع آبخور محیط است.



شکل ۲۳ـ ضریب صفحه آب

محاسبه غوطه‌وری

برای انجام محاسبات پایداری، باید با مفهوم T.P.C آشنا شویم:

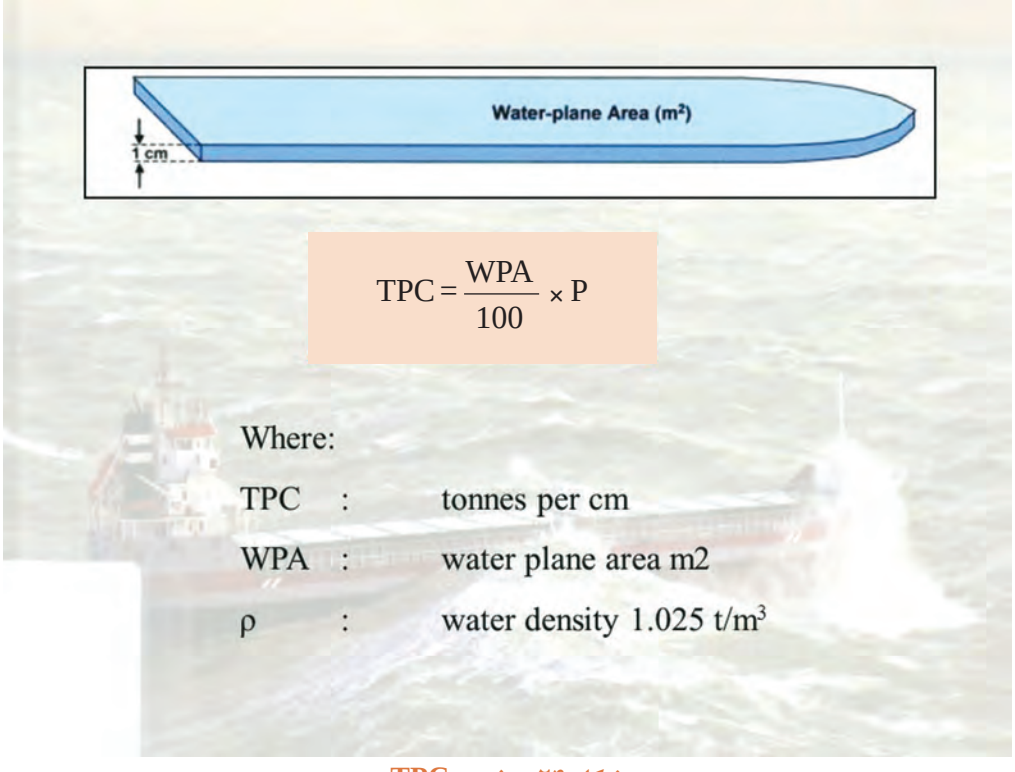
(Tones per Centimeter) T.P.C

کشتی همیشه مقدار آبی برابر با وزن خود را جابه‌جا می‌کند، اگر وزنه‌ای به آن افزوده شود، کشتی بیشتر در آب فرورفته و خط آبخور جدیدی پیدا خواهد کرد که فاصله بین دو خط آبخور برابر با مقدار اضافه‌شده است. در محاسبات تغییر وزن جابه‌جایی، نسبت به تغییرات آبخور، دانستن این نکته بسیار مفید خواهد بود که بدانیم چند تن بار لازم است تا یک سانتی‌متر در آبخور کشتی تغییر ایجاد شود. این حالت را اصطلاحاً T.P.C

می‌گویند.
T.P.C برای هر آبخور خاص عبارت است از میزان وزنی که به کشتی اضافه و یا از آن کم می‌شود تا آبخور آن در آب‌شور به‌اندازه یک سانتی‌متر افزایش و یا کاهش یابد.
از آنجایی‌که یک سانتی‌متر نسبت به ارتفاع کشتی بسیار کوچک است، در محاسبات با اطمینان می‌توان فرض نمود که دو سطح آبخور که یک سانتی‌متر باهم فاصله دارند، باهم برابرند و خط بدنه کشتی در فاصله این دو خط آبخور قائم است؛ بنابراین حجم قسمت بین دو سطح مقطع آبخور (میزان حجم جدیدی که داخل آب فرورفته) سطحی است برابر سطح آبخور که دارای ضخامت یک سانتی‌متر است.
اگر سطح خط آب (سطح مقطع آبخور) را با A نشان دهیم. حجم قسمت بین دو سطح مقطع آبخور (حجم اضافه فرورفته) برابر A/۱۰۰ می‌شود.

تعیین رابطه T.P.C

با توجه به (شکل ۲۴) فرض کنید وزن یک‌تن را به یک شناور اضافه کنیم تا باعث فرورفتگی کشتی به اندازه یک سانتی‌متر شود. جرم اضافه‌شده باعث می‌شود که کشتی آبی به وزن آن جرم را جابه‌جا کند و این جابه‌جایی باعث می‌شود کشتی یک سانتی‌متر بیشتر در آب فرو برود.



شکل ۲۴ـ مفهوم TPC

بحث کلاسی

اصطلاحات به‌کار رفته در تصویر بالا را ترجمه کنید.

بنابراین جرم مایع جابه‌جاشده را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$\text{جرم مایع جابه‌جا شده} = A \times \frac{۱}{۱۰۰} \times \rho$$

که در این رابطه، ρ چگالی آب است. چون W وزنه‌ای است که باعث فرورفتگی کشتی به‌اندازه یک سانتی‌متر گردیده است، لذا:

$$T.P.C = W$$

بنابراین

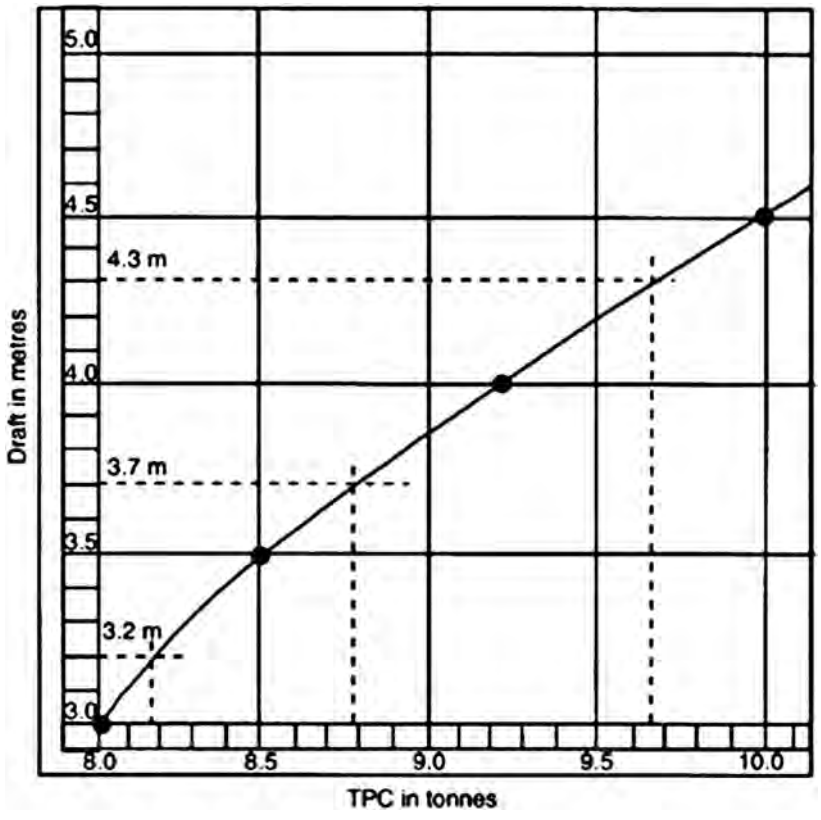
$$T.P.C = A \times \frac{۱}{۱۰۰} \times \rho$$

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 به‌دست آورید. چگالی آب دریا را ۱/۰۲۵ تن بر مترمکعب فرض کنید.

محاسبه TPC به کمک منحنی

این منحنی که با رسم T.P.C براساس آبخور یک کشتی به‌دست می‌آید در اختیار خریدار کشتی قرار می‌گیرد تا هنگام بارگیری مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲۵ـ منحنی TPC

با توجه به منحنی، مقدار T.P.C در آبخور ۳/۷، برابر با ۸/۷۸ تن می‌شود.

اثرات تغییر چگالی آب دریا بر پایداری کشتی

شناورها در مسیر تردد خود از آب‌هایی با چگالی‌های مختلف عبور می‌کنند. این محدوده تغییر چگالی از ۱/۰۰۵ در دهانه رودخانه‌ها و مناطق قطبی تا $1/028\ t/m^3$ در دریاچه‌های نمک و خلیج‌ها تغییر می‌کند. در برخی مواقع نیز فرض می‌شود شناور در آب شیرین با چگالی $1\ t/m^3$ قرار دارد.

تغییر چگالی باعث دو تغییر اساسی در وضعیت شناور می‌شود:

۱ تغییر آبخور.

۲ تغییر شیب براثر جابه‌جا شدن مرکز بویانسی و ایجاد ممان شیب‌دهنده.

نمادی از خودباوری

نوآوری پل دوبه‌ای ـ راز حفظ آبادان

خلاقیت در شرایط بحرانی نظامی، با وجود انسجام تمام توانایی فنّاوری دنیای استکبار برای مبارزه با انقلاب اسلامی، از ویژگی‌های مورد توجه در دفاع مقدس است.

وجود موانع طبیعی مثل آبراهه، رودخانه، هور و... در عرصه نبرد جنوب و غرب کشور و ضرورت گذر از آن به پل‌هایی متناسب با وضعیت جغرافیایی منطقه نیاز داشت.

در وضعیتی که خرمشهر اشغال‌شده بود و آبادان نیز در محاصره ارتش دشمن بعثی قرار داشت، نیروهای رزمنده و مدافعین شهر، نیاز ضروری به عملیات پشتیبانی و ارسال مهمات و تدارکات داشتند. از طرفی به‌منظور مقاومت در برابر ارتش مجهز دشمن نیاز به جابه‌جایی امکانات و نیروهای رزمی بود. ایجاد پل بشکه‌ای بر روی بهمن‌شیر یکی از این ابتکارات بود.

بعد از احداث پل بشکه‌ای بر روی بهمن‌شیر دشمن به فکر تخریب آن افتاد و برای انجام این ایده تعدادی سطح شناور را که به نام «بارج» یا معروف به «دوبه» که دارای وزن زیاد و سطح وسیعی بود بر روی آب بهمن شیر رها کرد تا با پل بشکه‌ای برخورد کرده و آن را تخریب نماید. در ابتدای کار دشمن به خواسته خود رسید اما با دست خودش مقدمات ساخت پل محکم‌تر و کارا مدتری را فراهم نمود.

سردار شهید مصطفی هزاردستان و دیگر نیروهای ایثارگر پشتیبانی و مهندسی جنگ جهاد سازندگی استان اصفهان، دست به یک ابتکار و خلاقیت بسیار جالب در زمینه احداث پل بر روی رودخانه «بهمن‌شیر» زدند. آنان با استفاده از همین دوبه‌ها اتصال آنها به یکدیگر، توانستند ارتباط لازم را جهت پشتیبانی از رزمندگان مستقر در منطقه آبادان برقرار سازند. (سطح یا بارج یا دوبه، سازهٔ فلزی مکعب مستطیلی است که به‌صورت توخالی ساخته شده است دارای حدود ۳۰ متر طول و ۱۰ متر عرض است که با ارتفاع ۱۰۰ تا ۲۵۰ سانتی‌متری خود دارای ۰/۵ تا ۲ متر آبخور است و به‌صورت شناور بر روی آب قرار می‌گرفت)

شهید مصطفی هزاردستان درباره ابتکار دوم چنین می‌گوید:

«ما دوبه‌ها را گرفتیم و به هم لولا کردیم. بازده این حرکت این شد که پلی زدیم به طول ۲۵۰ متر. از روی پل بشکه‌ای حداکثر یک تویوتا و یا یک آمبولانس می‌گذشت، ولی از روی این پل، روزها تانک چیفتن می‌آوردند عقب و شب‌ها آن را می‌بردند در خط مقدم، یعنی این پل بازده‌اش از پل اولی خیلی زیادتر بود.»

برای پیدا کردن دوبه‌ها سراسر رودخانه کارون و بهمن‌شیر و بخش‌هایی از رودخانه اروند مورد بررسی و دقت قرار گرفت و تعدادی دوبه از آب خارج شد. ابتدا با باز کردن دریچه‌ای و پمپاژ آب درون دوبه، گل‌ولای داخل آن را تخلیه می‌کردند و سپس سوراخ‌های ایجادشده در اثر ترکش ترمیم می‌شد (ابتدا سوراخ‌ها به‌وسیله کوبیدن چوب مسدود و سپس با جوشکاری کاملاً تعمیر می‌شد). در نهایت به‌وسیله یدک‌کش (تک) آنها را به محل احداث پل برده با جوشکاری به یکدیگر متصل می‌کردند.

پایه پل را با بتن‌ریزی در اطراف رودخانه محکم کردند و با سیم بکسل به پل متصل نمودند. مدت چهار ماه وقت و امکانات صرف شد تا اینکه دوبه‌های آماده، به همدیگر جوشکاری و این پل احداث گردید. مراحل مختلف ساخت و بهره‌برداری پل دوبه‌ای و مصاحبه شهید هزاردستان، کنار این پل، در شکل نشان داده شده است.
شهید هزاردستان دوازده پل را در مدت هیجده ماه برای رزمندگان ساخت و دوازدهمین و آخرین پل دوبه‌ایِ خود را باشکوه، زیبایی و استحکام، در ابتدای عملیات بیت‌المقدس در منطقه احداث کرد و پس از مدت کوتاه به شهادت رسید. (یادش گرامی و راهش پر رهرو باد).

ارزشیابی

۱ـ مرکز ثقل را تعریف نمایید.
۲ـ انواع تعادل را نام‌برده و هر کدام را توضیح دهید.
۳ـ بررسی نمایید کشتی طبق چه قانونی بر روی آب شناور می‌ماند و قانون مذکور را تشریح نمایید.
۴ـ بررسی کنید خط بارگیری چیست و چهار مورد از خطوط بارگیری را تشریح نمایید.
۵ـ بررسی نمایید اگر در یک کشتی ۱۲۰۰۰ تنی باری به وزن ۵۰ تن به‌اندازه ۳۰ متر به سمت راست کشیده شود، مرکز ثقل چقدر جابه‌جا خواهد شد.
۶ـ مراکز شناوری و متاسنتریک را بررسی نمایید.
۷ـ شناوری جعبه‌ای شکل، با ابعاد ۱۰۰ متر طول، ۳۰ متر عرض و ۱۵ متر عمق در آب شیرین شناور است. در صورتی‌که وزن شناور ۳۰ تن باشد، حجم شناوری ذخیره آن را پیدا کنید.
۸ـ ۶ مورد از اصطلاحات پرکاربرد در کشتی را تعریف نمایید.
۹ـ سه حالتی که مرکز ثقل و متاسنتر نسبت به هم در یک کشتی جابه‌جا می‌شوند را بررسی نمایید.
۱۰ـ ضرایب بدنه را تعریف نمایید.
۱۱ـ TPC به چه معناست.
۱۲ـ با حرکت کشتی از آب‌شور به آب شیرین چه تغییری در آب خور آن ایجاد می‌شود.
۱۳ـ سطح مقطع یک کشتی در آبخور آن ۱۵۰۰ مترمربع است. T.P.C و میزان افزایش آبخور در صورت افزایش باری به وزن ۳۰۰ تن را به دست آورید. چگالی آب دریا را ۱/۰۲۵ تن بر مترمکعب فرض کنید.

جدول ارزشیابی پودمان

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
پایداری کاربردی کشتی	تحلیل اصول شناوری	تحلیل اصول شناوری، انواع تعادل، تناژ، نقاط مؤثر بر تعادل و به‌کارگیری مدیریت صحیح در بارگیری برای حفظ پایداری کشتی	بالاتر از حد انتظار	۱ـ بررسی اصول شناوری. ۲ـ بررسی انواع تعادل و تناژ. ۳ـ بررسی نقاط مؤثر بر پایداری و بارگیری. هنرجو توانایی بررسی همه شاخص‌های بالا را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ بررسی اصول شناوری. ۲ـ بررسی انواع تعادل و تناژ. ۳ـ بررسی نقاط مؤثر بر پایداری و بارگیری. هنرجو توانایی بررسی ۲ مورد از شاخص‌های بالا را داشته باشد.	۲
	به‌کارگیری مدیریت صحیح در بارگیری برای حفظ پایداری کشتی		پایین‌تر از حد انتظار	۱ـ بررسی اصول شناوری. ۲ـ بررسی انواع تعادل و تناژ. ۳ـ بررسی نقاط مؤثر بر پایداری و بارگیری. هنرجو توانایی بررسی ۱ مورد از شاخص‌های بالا را داشته باشد.	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

ارزشیابی شایستگی بررسی اصول تعادل کشتی

شرح کار:
تحلیل اصول شناوری
به‌کارگیری مدیریت صحیح در بارگیری برای حفظ پایداری کشتی

استاندارد عملکرد:
تحلیل اصول شناوری، انواع تعادل، تناژ، نقاط مؤثر بر تعادل و به‌کارگیری مدیریت صحیح در بارگیری برای حفظ پایداری کشتی

شاخص‌ها:
ـ بررسی اصول شناوری.
ـ بررسی انواع تعادل و تناژ.
ـ بررسی نقاط مؤثر بر پایداری و بارگیری.
ـ بررسی TPC و تغییرات آن

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
شرایط: کلاس مناسب و پرده‌نگار
ابزار و تجهیزات: پرده‌نگار و رایانه

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	بررسی اصول شناوری	۲	
۲	بررسی انواع تعادل و تناژ	۲	
۳	بررسی نقاط مؤثر بر پایداری و بارگیری	۱	
۴	بررسی TPC و تغییرات آن	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر ۴ـ اخلاق حرفه‌ای	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۴

بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی

واحد یادگیری ۴

بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی

آیا تاکنون پی برده‌اید؟

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

استاندارد عملکرد

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

هیدرودینامیک

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

مقاومت شناور

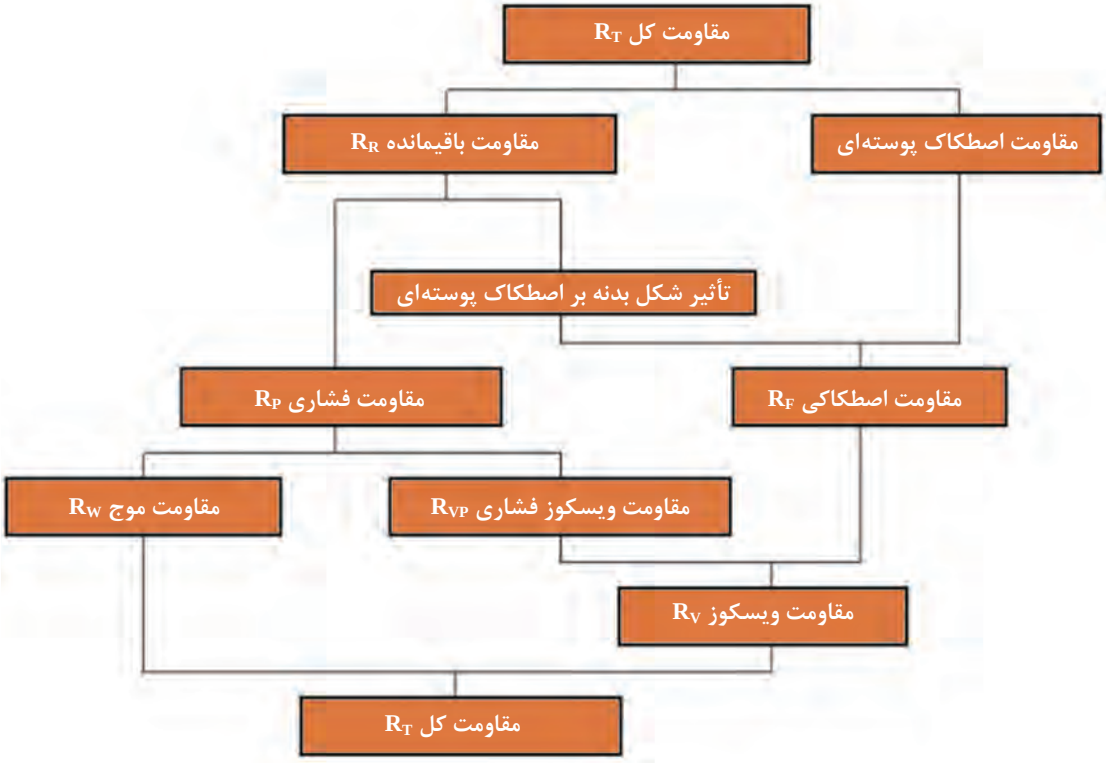
از کتاب فیزیک مکانیک و قانون دوم نیوتن به یاد دارید که هرگاه جسمی به جرم m تحت تأثیر نیروی F قرار گیرد، شتابی می‌گیرد که این شتاب با نیرو و جرم رابطهٔ زیر را دارد:

۱ـ $F=ma$

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

تقسیم‌بندی اجزای مقاومت در کشتی‌ها

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



شکل ۱: نمودار آبشاری تقسیم‌بندی مؤلفه‌های مقاومت کشتی

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

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

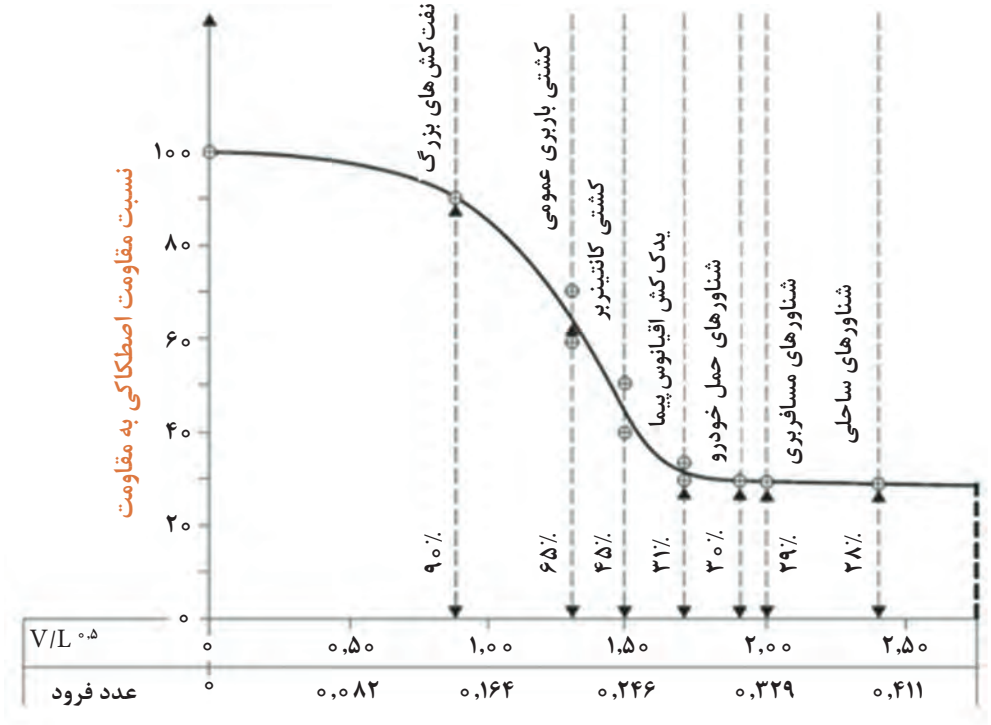
نسبت مقاومت اصطکاکی به مقاومت کل

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

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

کشی RO_RO	R_F/R_T=۳۰٪
کشتی مسافربری	R_F/R_T=۳۰٪
کشتی کانتینربر	R_F/R_T= ۴۰-۵۰٪
کشتی حمل کالای عمومی	R_F/R_T= ۶۰-۷۰٪
نفتکش‌های VLCC و ULCC	R_F/R_T=۹۰٪

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



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

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

مقاومت باقی‌مانده = مقاومت اصطکاک پوسته‌ای ـ مقاومت کل

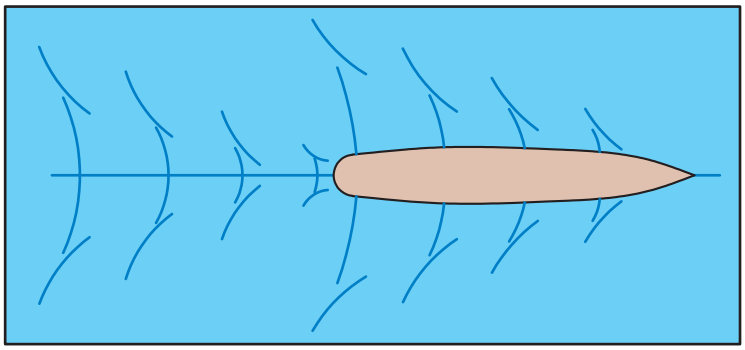
مقاومت فشاری (Pressure resistance): مقاومت فشاری زیرمجموعهٔ مقاومت باقی‌مانده بوده که دارای دو مؤلفهٔ مقاومت موج و مقاومت فشاری ویسکوز است. ماهیت این نوع مقاومت، تغییرات فشار سیّال (آب) در طول مسیر شناور است.

مقاومت فشاری ویسکوز (Viscose Pressure resistance): به دلیل ویسکوزیتهٔ سیّال مقاومتی به‌وجود می‌آید که «مقاومت فشاری ویسکوز» نامیده می‌شود.

تحقیق کنید

لزجت (ویسکوزیته) سیّال چیست؟

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



شکل ۳ـ تشکیل امواج عرضی و واگرا در سینه و پاشنه براثر حرکت شناور

شکل ۴ نیز این نوع تشکیل موج را به‌صورت ظاهری نشان می‌دهد که باعث ایجاد مقاومت موج‌سازی می‌شود.

شکل ۴ـ تشکیل امواج براثر حرکت شناور

مقاومت ویسکوز (Viscous resistance): مقاومت ناشی از ویسکوزیتهٔ سیّال بوده که حاصل جمع مقاومت اصطکاکی و مقاومت ویسکوز فشاری است. در رایج‌ترین تقسیم‌بندی، مؤلفه‌های مقاومت را می‌توان به‌صورت زیر در نظر گرفت:

$$R_T=R_f+R_W+R_{VP}$$ ـ۲

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

مقاومت باد (Air resistance): همواره بخشی از بدنهٔ شناور که بالاتر از سطح آب است، در معرض جریان باد قرار دارد و باعث مقاومت باد می‌شود. ازآنجاکه سطح در معرض باد، سطح قابل‌ملاحظه‌ای است، لذا این مقاومت باید در نظر گرفته شود. جهت تعیین نیروهای باد، با تکیه بر آمارها، روش‌های ریاضی خاصی موجود است.

مقاومت ضمائم و ملحقات (Appendage Resistance): علاوه بر بدنهٔ اصلی کشتی، قسمت‌های دیگری مانند باله‌های تعادل، نگه‌دارنده شافت، سکان و تجهیزات هدایت و ضمائم پروانه نیز به آن متصل هستند که باعث مقاومت دیگری بنام مقاومت ضمائم و ملحقات می‌شوند.

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

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

شکل ۵ـ پاره شدن طناب یدک‌کشی کشتی براثر نیروهای حاصل از امواج اقیانوس

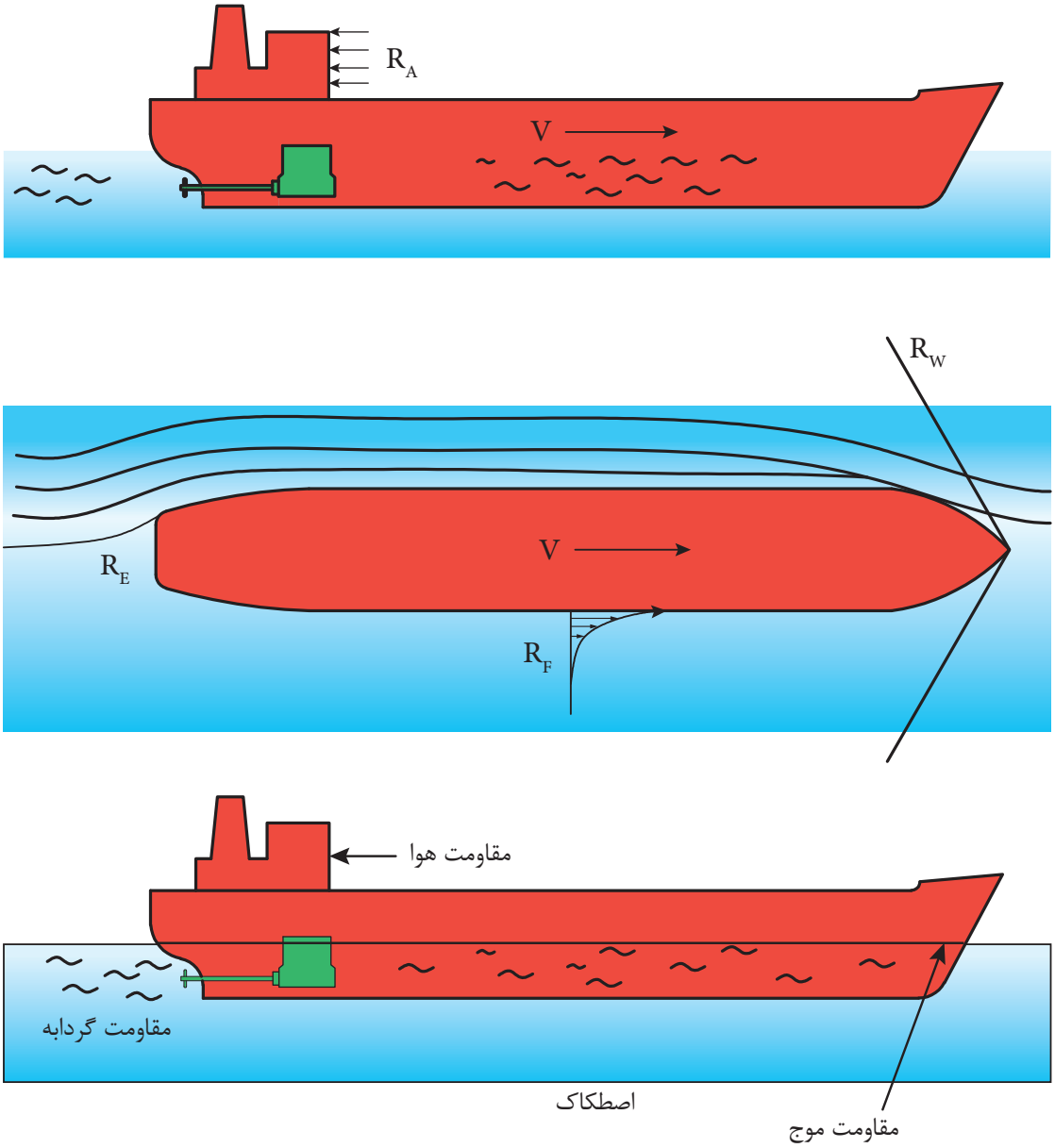
مقاومت حرکت در آب‌های کم‌عمق: اگر کشتی در آب‌های کم‌عمق یا کانال‌ها حرکت کند، کلیهٔ مؤلفه‌های مقاومت، افزایش می‌یابند.

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

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

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

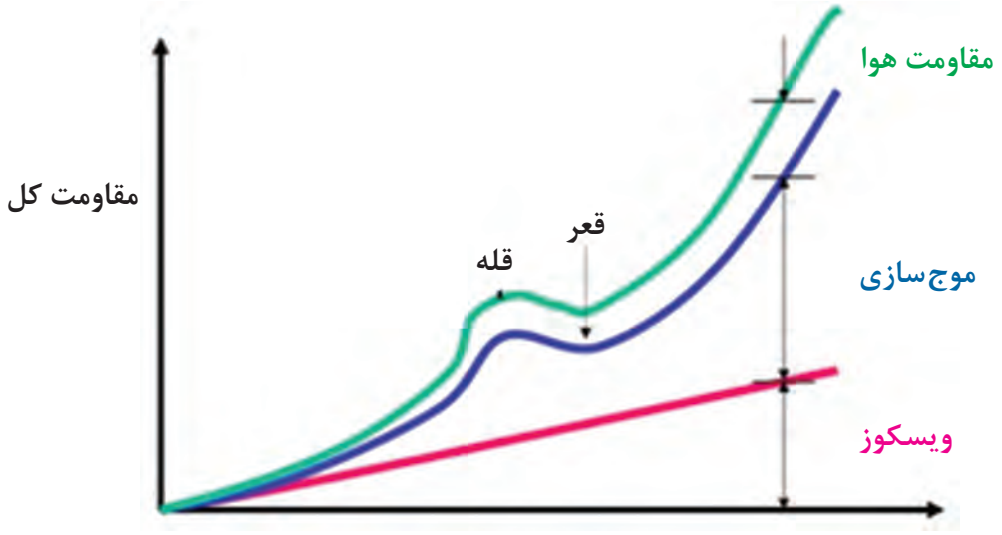
نوع مقاومت	درصد از مقاومت کل
	کشتی کشتی تندرو ـ معمولی
اصطکاک = R_F	۹۰-۴۵
موج = R_W	۴۰-۵
گردابی = R_E	۵-۳
هوا = R_A	۱۰-۲



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

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

مقاومت کل و نسبت هر کدام از آنان در سرعت‌های مختلف



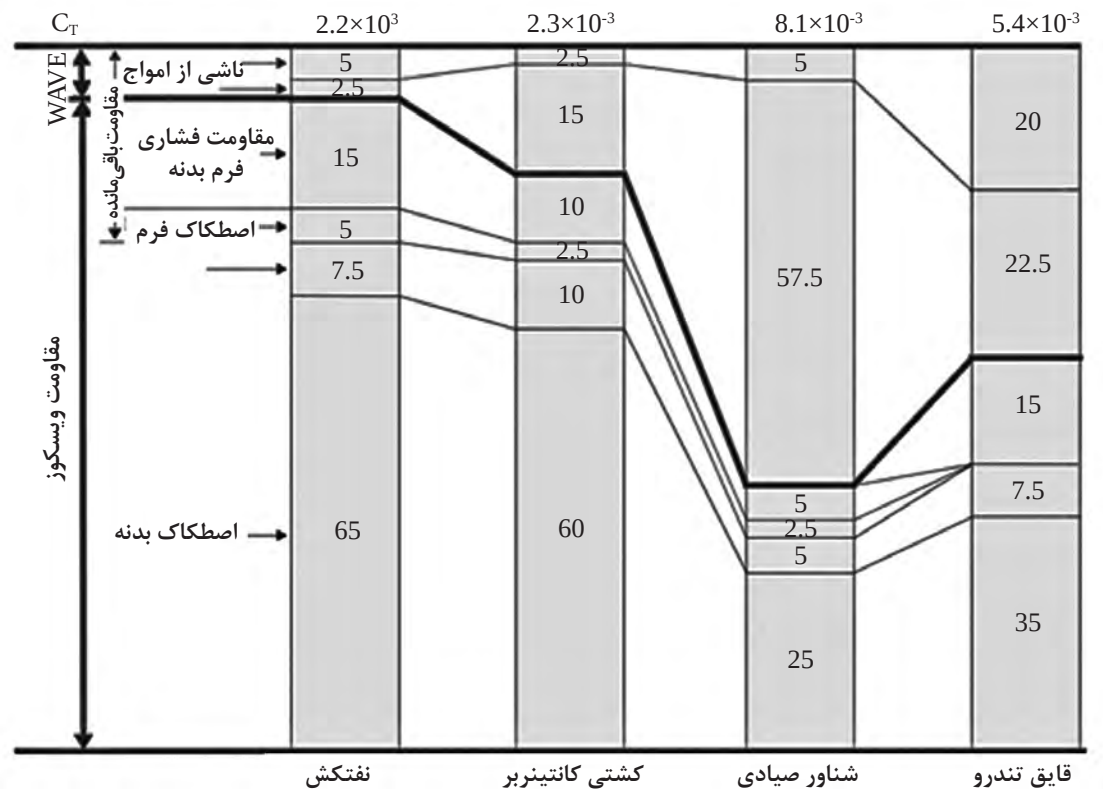
در سرعت‌های پایین مقاومت ویسکوز غالب است
در سرعت‌های بالا مقاومت موج‌سازی غالب است

شکل ۸ـ انواع مقاومت‌های شناور و ترکیب آنها

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

جدول ۲: مشخصات چهار کشتی نمونه

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



شکل ۹ـ مؤلفه‌های مقاومت برای چهار کشتی (به‌صورت درصدی از کل مؤلفه‌ها)

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

روش‌های تعیین مقاومت شناور

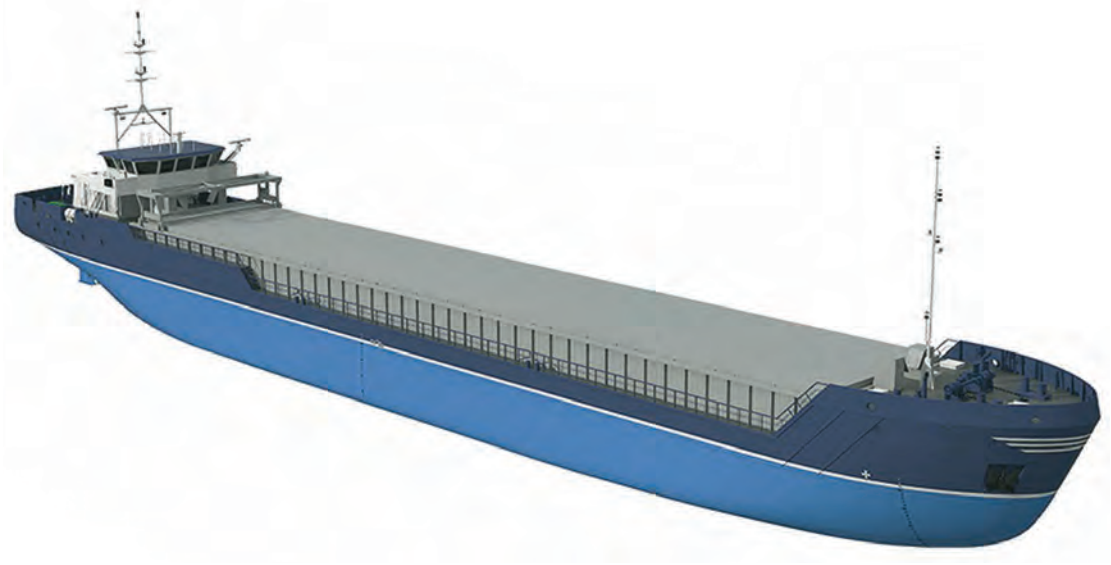
آنچه در علم هیدرودینامیک و باتجربه و آزمایش به آن رسیده شده است، رابطهٔ بین سرعت جسم در سیّال (آب یا هوا) و نیرویی که آن جسم را با سرعت موردنظر می‌راند، به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$F=CV^{2}A \qquad -۳$$

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

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

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

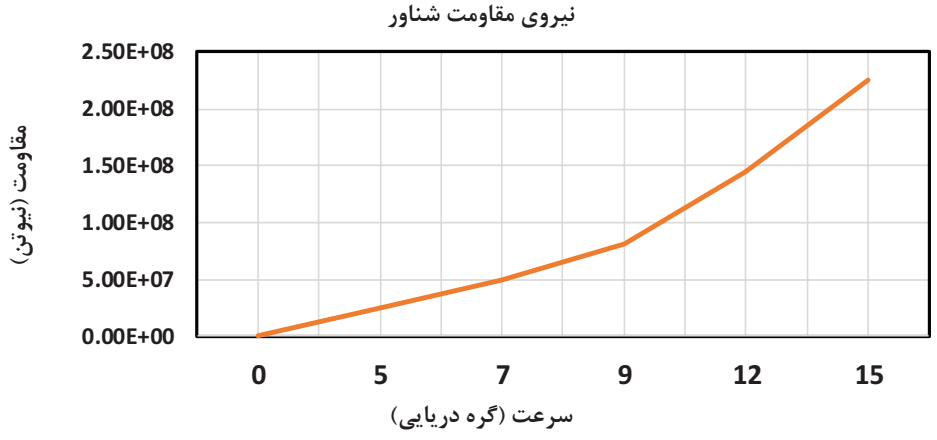


شکل ۱۰ـ سطح خیس شدهٔ شناور (ناحیهٔ آبی‌رنگ)

تحقیق کنید

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

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



شکل ۱۱ـ رابطهٔ کلی بین سرعت و نیروی مقاوم یک نوع شناور

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

$$C=C_F+C_R$$

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

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

$$C_F=\frac{۰/۰۷۵}{(\log R_e-۲)^۲}$$

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

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

تمرین

یک شناور با طول ۴۵ متر، در آب دریا با ویسکوزیتهٔ ۰/۰۰۱۲ و با چگالی ۱۰۲۰، با سرعت ۵ متر بر ثانیه حرکت می‌کند. مطلوب است عدد رینولدز.

بیشتربدانید

رینولدز کیست؟

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

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

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

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

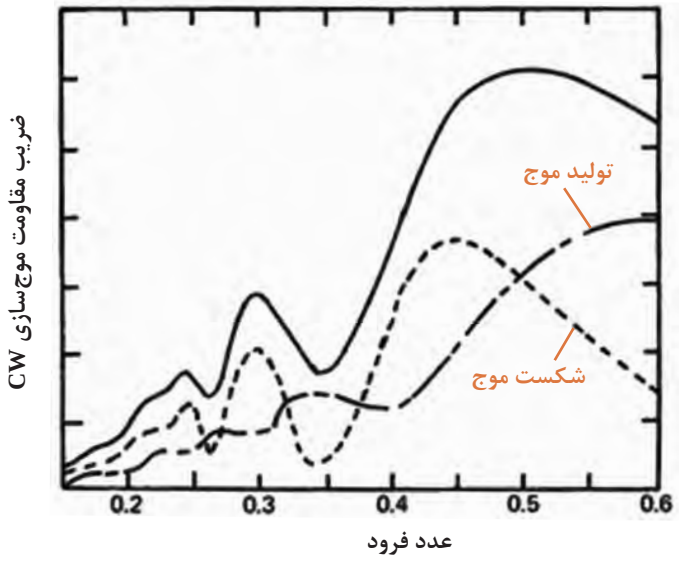
سهم رینولدز در مکانیک سیّالات در طراحی کشتی، توانایی ساخت مدل‌های کوچک از یک کشتی و استخراج اطلاعات قابل پیش‌بینی مفید نسبت به یک کشتی با اندازهٔ واقعی، مستقیماً وابسته به تجربیات کاربردی اصول تلاطم رینولدز در مورد تحلیل نیروی اصطکاک و کاربرد نظریات ویلیام فرود است.

در آغاز قرن بیستم او سلامتی‌اش را از دست داد و در سال ۱۹۰۵ بازنشسته شد.

از جمله دستاوردهای رینولدز یا دستاوردهایی که به‌افتخار وی نام‌گذاری شده‌اند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- عدد رینولدز؛
- نظریه انتقال رینولدز؛
- تنش رینولدز؛

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



شکل ۱۲ـ تعیین مقاومت موج سازی برای یک نوع شناور

تحقیق کنید

شناورهای تندرو، به دلیل نیاز به عملیات حمل‌ونقل سریع، در طی یک قرن اخیر طراحی و تولیدشده و روز به روز توسعه بیشتری پیدا می‌کنند. در مورد این نوع از شناورها با کمک هنرآموز خود تحقیق نمایید.

روش‌های تعیین مقاومت شناور

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

جدول ۳: روش‌های تعیین مقاومت شناور

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

حال به توضیح هرکدام از روش‌های بالا می‌پردازیم

روش کشتی مشابه

در این روش، ابتدا یک شناور مشابه تقریبی را که از نظر فرم و مأموریت مشابه شناور موردنظر است انتخاب می‌کنند و سپس سرعت معمول آن را در دریا که به آن سرعت سرویس‌دهی می‌گویند و نیز توان موتور و وزن جابه‌جایی آن را به دست آورده و در رابطهٔ زیر جای‌گذاری می‌کنند:

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

به این پارامتر، ضریب آدمیرالتی می‌گویند.

در این رابطه، V بیانگر سرعت شناور در دریا، ΔΔ بیانگر وزن جابه‌جایی شناور و P توان مصرفی شناور جهت حرکت در دریاست.

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

این روش محدودیت‌های زیادی دارد از جمله اینکه کشتی موردنظر و کشتی مشابه، از خیلی از جنبه‌ها باید شبیه یکدیگر باشند.

تمرین

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

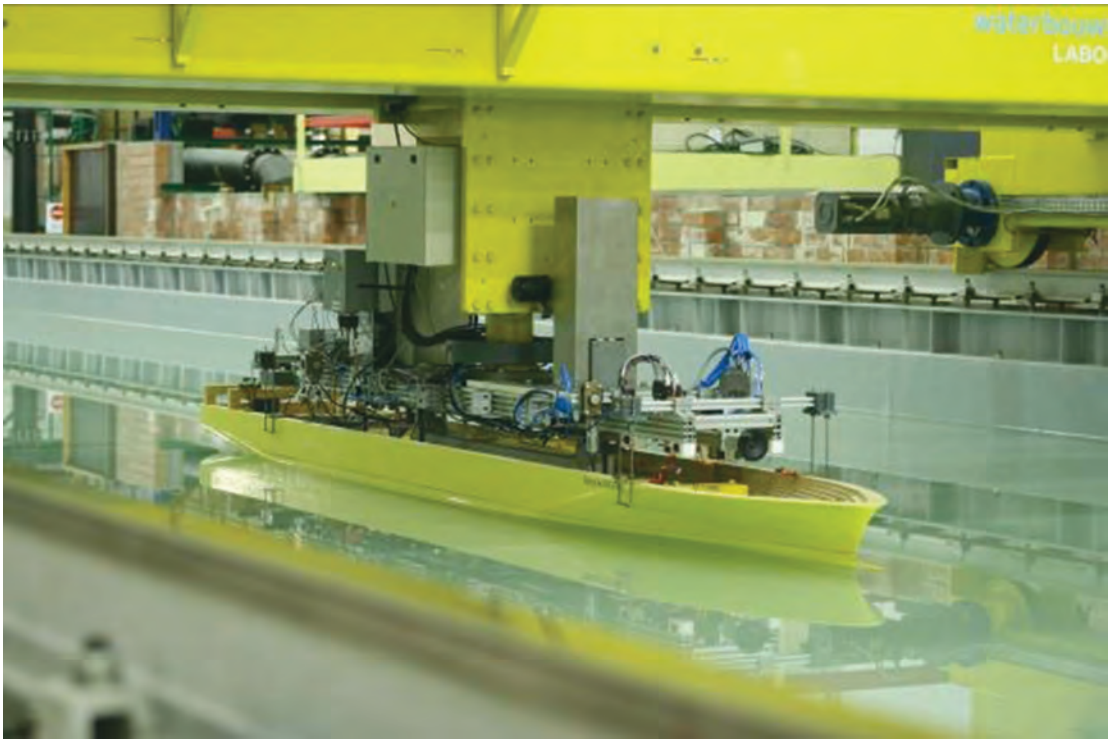
روش سری‌های استاندارد

این روش، استخراج داده‌های آماری مقاومت شناورهای مختلف است که در دریا سفرهای طولانی داشته‌اند و با توجه به ابعاد، آبخور، نوع شناور و... به شکل جدولی و یا نموداری، از حرکت و ثبت اطلاعات مربوط به توان موتور، سرعت و... به دست می‌آید. این روش، از روش قبل بهتر است ولی محدود به یک سری از شناورهای مرسوم همچون نفت‌کش، باری، فله‌بر و... می‌شود و شناورهای خاص را شامل نمی‌گردد. همچنین استخراج اطلاعات مربوطه از آنها، به دلیل وجود عوامل فراوان، سخت و مشکل است. از جمله مهم‌ترین سری‌های مورد استفاده در استخراج اطلاعات، سری ۶۰ است. از سری ۶۰ نه‌تنها جهت استخراج اطلاعات مربوط به مقاومت و رانش شناور، بلکه جهت تعیین فرم بدنه نیز استفاده می‌گردد. یک نمونهٔ دیگر از این سری‌ها، سری ۶۴ است که جهت تعیین فرم بدنهٔ برخی از شناورهای تندرو به‌کار می‌رود.

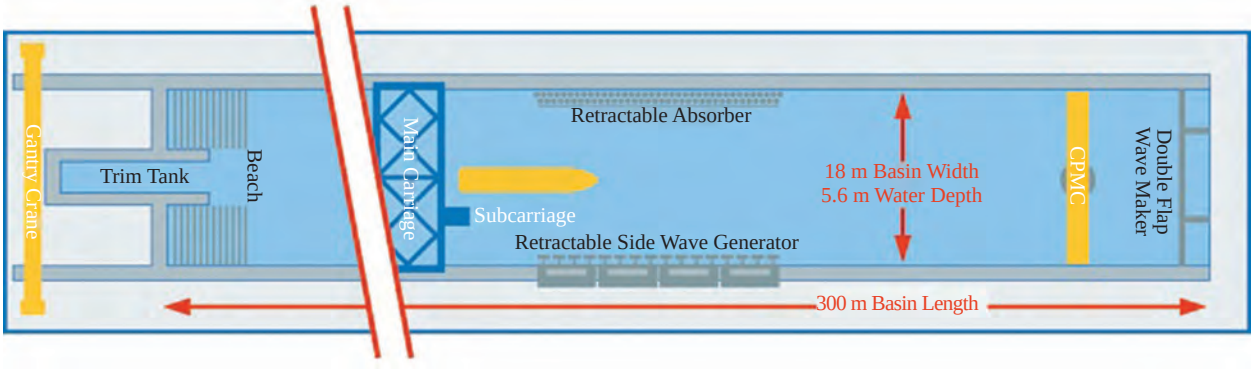
روش آزمایش مدل

این روش، بهترین و دقیق‌ترین روش جهت محاسبهٔ مقاومت شناور در دریا است. روش کار بدین صورت است که یک حوضچهٔ کشش استاندارد، در ابعاد مشخص که می‌تواند از چند متر تا چند صد متر باشد، ساخته و مجهز شده و مدل‌هایی که از ابعاد شناور اصلی به‌مراتب کوچک‌تر هستند ولی ازنظر هندسی شباهت کاملی با نمونه اصلی دارند، در این حوضچه، کشیده می‌شوند. مقدار نیروی کشش این مدل‌ها و سرعت آن‌ها ثبت گردیده و طبق روابطی، این نیروها تبدیل به نیروی مقاومت شناور اصلی با توجه به نسبت ابعاد مدل به شناور می‌گردد. در این آزمایش لازم است ملاحظات ویژه‌ای صورت گرفته و استانداردهای لازم رعایت گردد. شکل ۱۳ یک حوضچهٔ کشش و یک مدل شناور کانتینر بر را که درحال آزمون شدن است نشان می‌دهد. شکل ۱۴ نیز نقشهٔ یک حوضچهٔ آزمون مدل شناور را نشان می‌دهد.

برای انجام آزمایش‌های مدل در حوضچهٔ کشش یک کمیته بین‌المللی بنام کمیته بین‌المللی حوضچهٔ کشش» وجود دارد و با اسم مخفف ITTC (International Towing Tank Committee) شناخته می‌شود. این کمیته برای مشخصات حوضچه، مشخصات مدل نسبت به کشتی واقعی، تجهیزات اندازه‌گیری و کلیهٔ آزمایش‌هایی که درنظر است در حوضچه انجام پذیرد، توصیه‌ها و الزاماتی را ارائه نموده است که لازم است در هنگام آزمایش مدل، درنظر گرفته شوند.



شکل ۱۳ـ حوضچهٔ کشش و آزمون مدل یک شناور کانتینر بر



شکل ۱۴-نقشهٔ یک حوضچهٔ کشش استاندارد

تحقیق کنید

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

بیشتربدانید

فرود کیست؟

ویلیام فرود، یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان قرن نوزدهم است که در زمینهٔ مهندسی دریایی و هیدرودینامیک تحقیقات وسیعی را انجام داد. او در سال ۱۸۱۰ در انگلستان متولد شد. او در سال ۱۸۳۲ در رشتهٔ ریاضی فارغ‌التحصیل شد و پس از آن در یک مؤسسهٔ ساخت تأسیسات راه‌آهن به‌عنوان محقق، خدمات زیادی را انجام داد. سپس چند سالی در زمینهٔ ساختمان فعالیت نمود؛ اما اوج نبوغ این دانشمند، به مقالهٔ ایشان در سال ۱۸۶۱ برمی‌گردد که تأثیر شگرفی را در طراحی و ساخت کشتی ایجاد نمود و باعث گشت عدد فرود به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل طراحی و محاسبات هیدرودینامیکی شناور کشف گردد. ایشان در سال ۱۸۷۷ موفق به دریافت مدال رویال گردید.

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

رانش شناور

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

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

(۷)

$$P=F\times V$$

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

کاردرکلاس

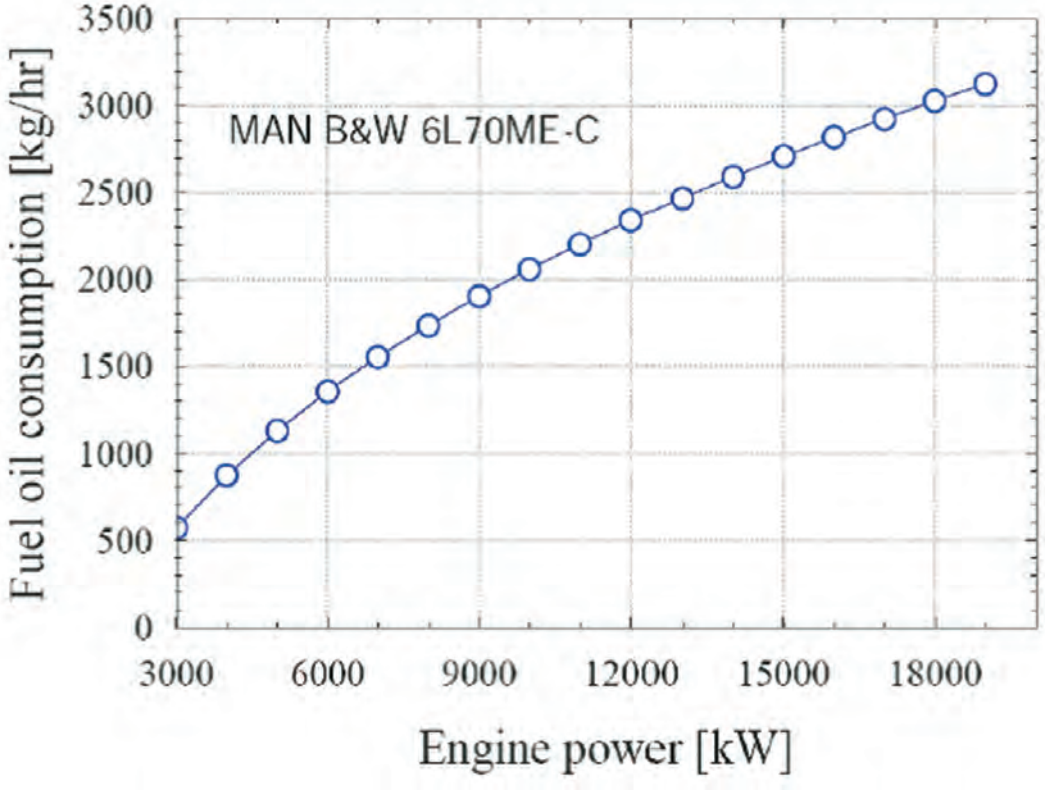
با استفاده از داده‌های آماری، نیروی وارد بر یک شناور در دریا، برابر با ۲۰۰۰ کیلو نیوتن تخمین زده شده است. اگر قرار باشد این شناور با سرعت ۱۴ گره دریایی حرکت نماید، توان لازم برای ایجاد این حرکت چقدر است؟

با توجه به رابطهٔ ۷ می‌توان نتیجه گرفت که قدرت لازم جهت حرکت شناور در دریا با توان سوم سرعت شناور رابطهٔ مستقیم دارد.
چراکه نیرو طبق رابطهٔ ۳ با توان دوم سرعت رابطهٔ مستقیم دارد و وقتی در سرعت ضرب می‌شود و حاصل قدرت را می‌دهد، قدرت با توان سوم شناور رابطهٔ مستقیم پیدا می کند.
همان‌گونه که می‌دانیم، انرژی موتور، به‌صورت دورانی به محور پروانه منتقل می‌گردد. حال، اگر قرار باشد این انرژی، باعث رانش شناور به جلو باشد، لازم است که از پروانه استفاده گردد. در حقیقت وظیفه اصلی پروانه، تبدیل انرژی دورانی به انرژی جنبشی و یا حرکت شناور روبه‌جلو است. حال باید دید که ساختار پروانه چگونه است. در شکل ۱۵، سلسله مراحل انتقال قدرت جهت حرکت شناور آمده است.

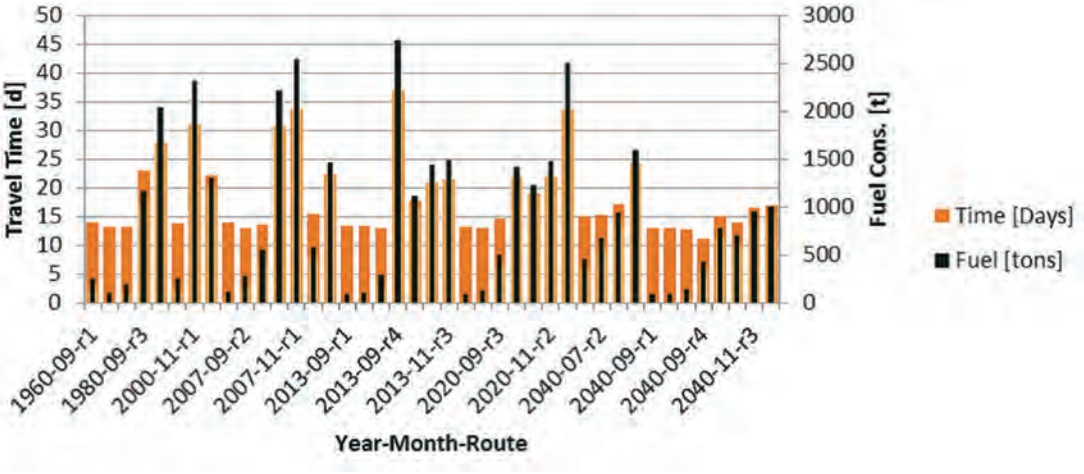
شکل ۱۵-نحوه انتقال قدرت از موتور به شناور جهت رانش شناور

محاسبهٔ مصرف سوخت در شناورها

یکی از مهم‌ترین پارامترهای محاسباتی در شناورها، مصرف سوخت موتور شناور است. موتورهای امروزی را به‌گونه‌ای طراحی نموده و ساخته‌اند که کمترین میزان مصرف سوخت را داشته باشند. همان‌گونه که در بحث رانش شناور ملاحظه شد، توان مصرفی شناور و درنتیجه مصرف سوخت شناور وابسته به مقاومت شناور و سرعت آن در دریاست. پس هرچه سرعت شناور کمتر باشد، مصرف سوخت آن کمتر خواهد شد. معمولاً برای شناورها جداولی به‌عنوان جدول مصرف سوخت (fuel consumption table) موجود است که همراه موتور می‌آید و مصرف سوخت را در شرایط متفاوت بیان می‌نماید (حالتی که شناور در دریا متحرک است و حالتی که در اسکله قرار دارد)
چون مصرف سوخت شناور به مدت‌زمان حرکت شناور در دریا و سرویس‌دهی نیز وابسته است، معمولاً رابطهٔ مصرف سوخت برحسب زمان (ساعت و یا روز) بیان می‌گردد. شکل ۱۶، یک منحنی مربوط به نوعی موتور برند MAN را نشان می‌دهد. شکل ۱۷ نیز مصرف روزانهٔ سوخت شناورهای نفت‌کش را به‌عنوان پیش‌بینی آینده نشان می‌دهد (تا سال ۲۰۴۰).


MAN B&W 6L70ME-C
Fuel oil consumption [kg/hr]
Engine power [kW]
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
3000
6000
9000
12000
15000
18000

شکل ۱۶


Travel Time [d]
Fuel Cons. [t]
Year-Month-Route
Time [Days]
Fuel [tons]
1960-09-r1
1980-09-r3
2000-11-r1
2007-09-r2
2007-11-r1
2013-09-r1
2013-09-r4
2013-11-r3
2020-09-r3
2020-11-r2
2040-07-r2
2040-09-r1
2040-09-r4
2040-11-r3

شکل ۱۷

کار در کلاس

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

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

روش‌های کاهش مقاومت شناور:

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

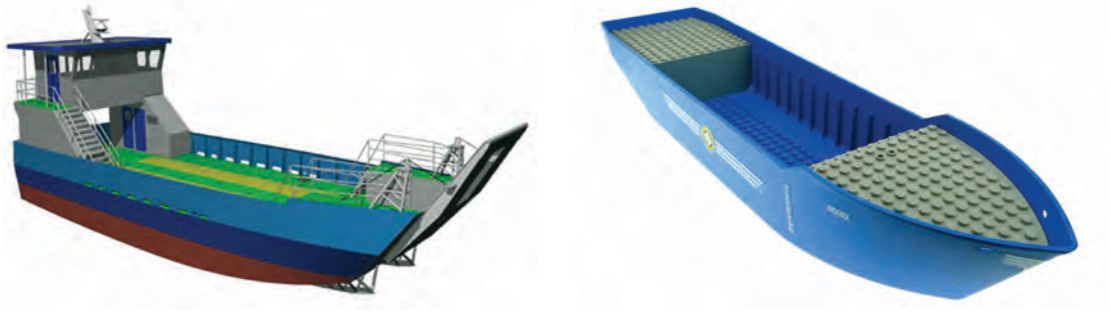
جدول ۵-روش‌های کاهش مقاومت شناور

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

حال به توضیح هر یک از روش‌های فوق‌الذکر پرداخته می‌شود:

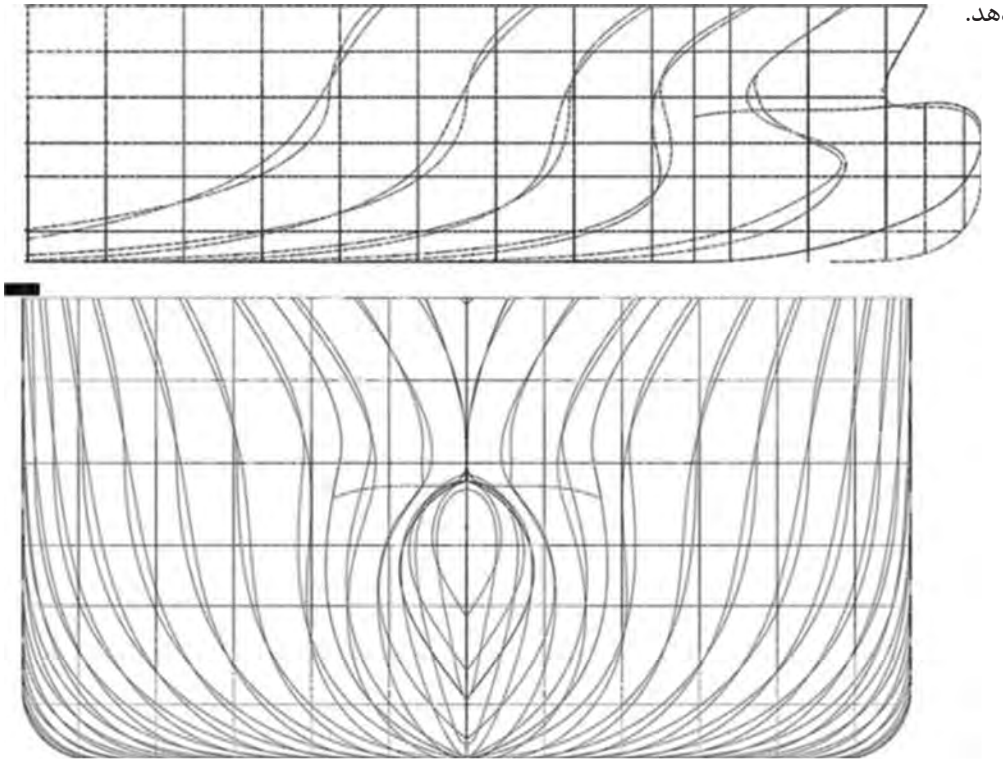
بهینه‌سازی فرم بدنه

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



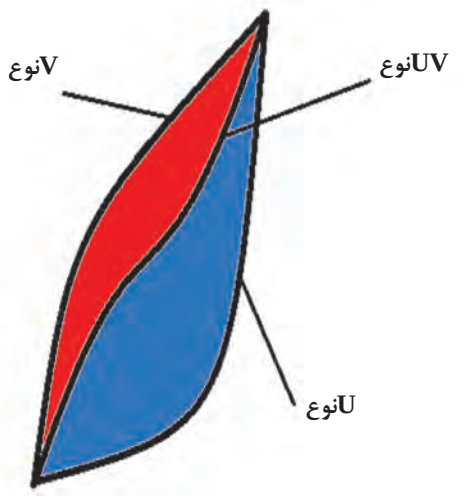
شکل ۱۸-دو نوع فرم بدنه، لندینگ کرافت (سمت چپ) و یک نوع قایق (سمت راست).

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



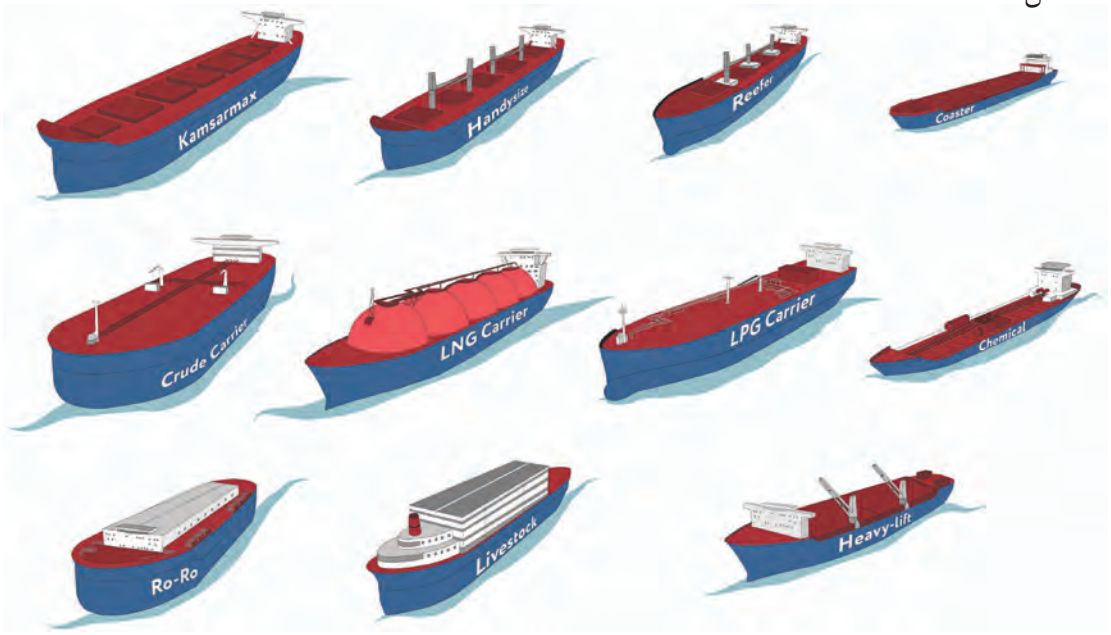
شکل ۱۹ـ فرم بدنهٔ شناورهای تجاری که با آزمایش مدل و محاسبات تعیین شده است

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



شکل ۲۰ – انواع فرم‌های بدنه

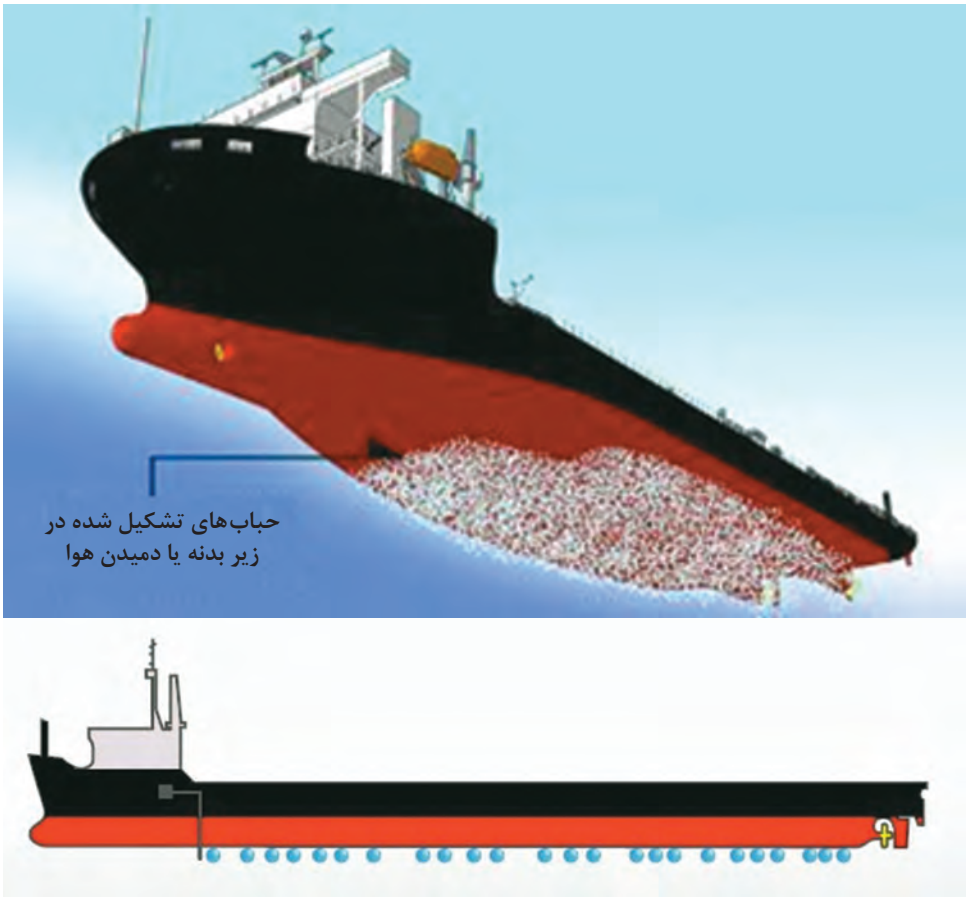
فرم U شکل، باعث پایداری بیشتر شناور در دریا شده ولی باعث افزایش مقاومت شناور می‌شود. فرم V دقیقاً عکس فرم U عمل می‌نماید؛ یعنی باعث کاهش پایداری و افزایش مقاومت می‌شود. فرم UV که تلفیقی از دو فرم U و V است، به‌جهت اینکه هر دو هدف پایداری و کاهش مقاومت به‌دست آید، طراحی‌شده است. البته مواردی مانند نوع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



شکل ۲۱ـ انواع فرم بدنهٔ شناورها

روان کاری با دمیدن هوا

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



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

استفاده از پوشش‌های ضدخزه

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

شکل ۲۳ـ چسبیدن خزه‌ها به بدنهٔ شناور و پاک‌سازی آنها

تحقیق کنید

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

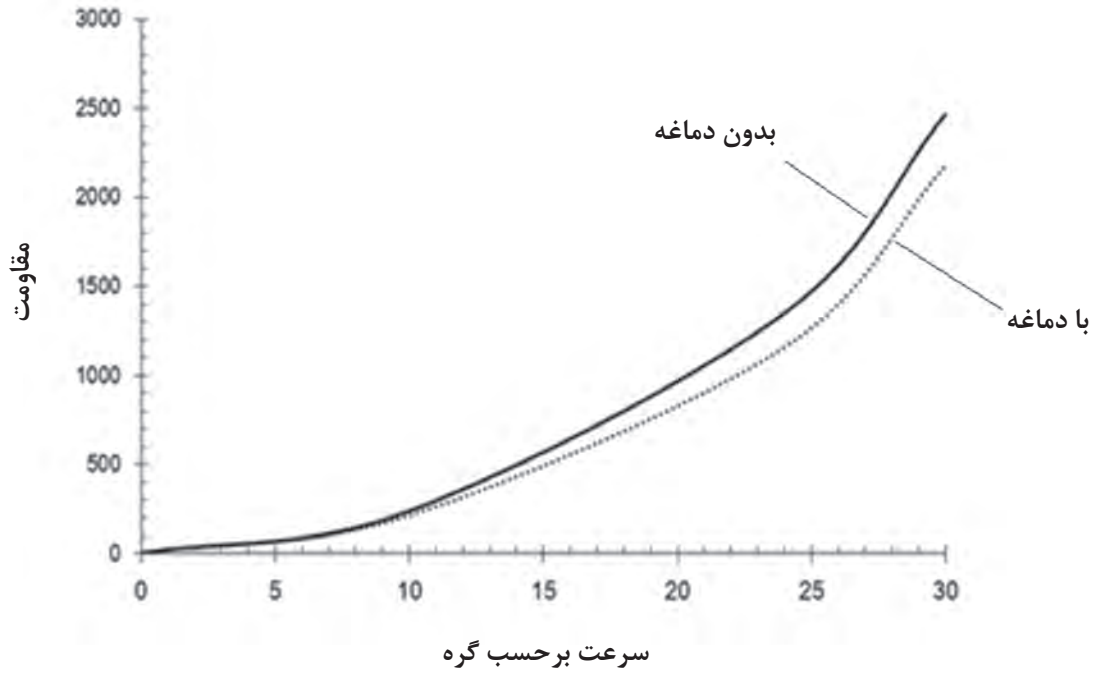
استفاده از یک سری ملحقات در بدنهٔ شناور

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

در شناورهای تندرو، از یک سری ضمایم به‌عنوان تریم تب استفاده می‌گردد که باعث پایداری و کاهش مقاومت شناور تندرو می‌گردد شکل (۲۶). شکل۲۷ نیز یک نمونه تریم‌تب را جهت استفاده در شناورهای کوچک نشان می‌دهد.

شکل ۲۴

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



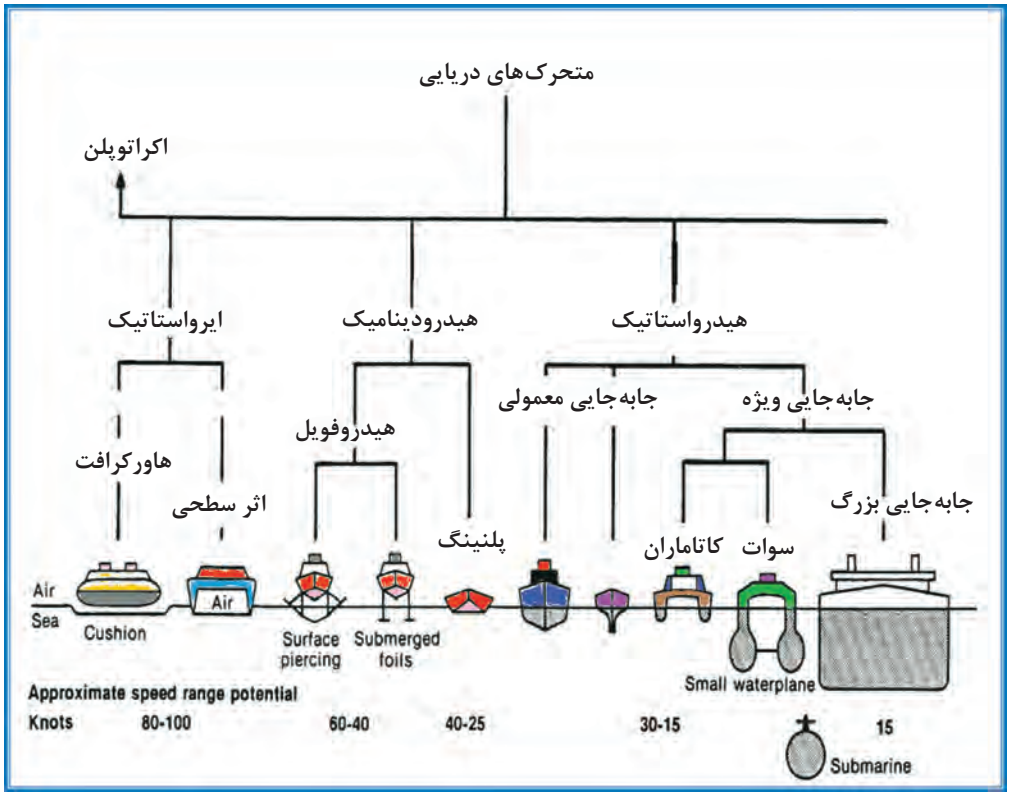
شکل ۲۵-اثر دماغه بر کاهش مقاومت یک نوع شناور

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

شکل ۲۷-اثر تریم تب بر پایداری و مقاومت شناور

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

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

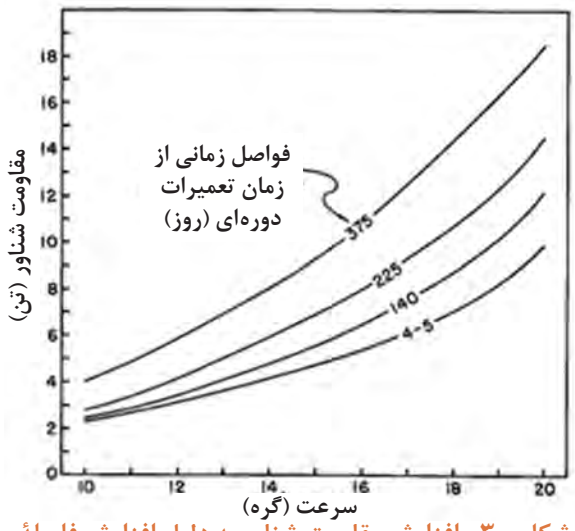


شکل ۲۹ ـ فرم بدنهٔ شناورهای مختلف که هیدروفیل نیز یکی از آن‌هاست

تعمیرات دوره‌ای به‌موقع شناور

این کار سبب می‌شود که خزه‌های دریایی و ناپاکی‌ها، برروی بدن شناور به‌موقع پاک گردد. گذر زمان باعث می‌شود که مقاومت شناور به‌دلیل افزایش چسبیدن خزه‌ها روی بدنه افزایش یابد. در طول عمر سرویس کشتی، برروی بدنهٔ کشتی خزه می‌چسبد و سطح بدنهٔ کشتی دارای یک زبری تأثیرگذار برروی مقاومت خواهد شد که متناسب بازمانی که کشتی در حوضچهٔ خشک به‌تعمیرات نرفته و خزه زدایی نشده باشد، تأثیر آن بر روی مقاومت کشتی متفاوت است.

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



شکل ۳۰- افزایش مقاومت شناور به دلیل افزایش فاصلهٔ زمانی از تعمیرات دوره‌ای قبلی

ساخت قایق ابتکاری ـــ برون‌رفت از باتلاق و نیزار

در دوران دفاع مقدس، موانع طبیعی متفاوتی ازجمله کوه، دشت، دریا، رمل، نیزار، باتلاق و... در صحنه کارزار وجود داشت و حتی در یک منطقهٔ عملیاتی، گاهی چندین نوع از این موانع طبیعی وجود داشت. چندگانه بودن اقلیم‌ها، راهکارهای متفاوتی را می‌طلبید. چند سال بعد از شروع جنگ، در مواقعی نیاز بود رزمندگان ابتدا وارد آب و باتلاق شده و سپس در خشکی به پیشروی ادامه دهند. به‌طور مثال یکی از مشکلاتِ ورود به مرداب، از کار افتادن پروانهٔ موتور قایق‌ها به دلیل حجم زیاد نی و گیاهان مرداب بود. در هـورالعظیم، برگ‌ها و قطعات بریده شده نی‌ها، بـعد از بریده شدن روی سطح آب شناور می‌شدند و به‌دور پرهٔ موتور قایق‌ها پیچیده و آن را از کار می‌انداختند؛ بنابراین باید نیروی پیش‌برندهٔ قایـق در بیرون از آب قرار می‌گرفت. به‌علاوه درجایی که آب نبود، قایق باید بر روی نی‌ها حرکت می‌کرد؛ در این شرایط نه وسایل صرفاً آبی کارگشا بود و نه وسایل صرفاً خاکی. ازاینرو طراحی و ساخت تجهیزات و وسایل نقلیه آبی ـ خاکی سبک در دستور کار پشتیبانی و مهندسیِ جنگ جهاد سازندگی قرار گرفت.

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

ابتدا با استفاده از یونولیت و فوم (به خاطر سبک شدن خودرو) طرح‌هایی آزمایش شد و در منطقه مورد استفاده قرار گرفت، اما به‌علت برخی مشکلات و حجم زیاد آن، تحرک لازم را نداشت.

طرح دیگری از طریق سبک کردن تویوتای لندکروز مورد آزمایش قرارگرفت که البته مزایایی داشت، ولی قدرت مانور خشکی آن کاسته شد. طرح تویوتای دوزیست مورد بررسی قرارگرفت و کارایی آن افزایش یافت اما در جریان کار، به‌علت وجود مناطق باتلاقی و ساحل‌های غیراستاندارد مناطق جنگی، مشکلاتی برای آن به وجود می‌آمد.

یکی از طرح‌های خودروی دوزیست، طرح شهید فارسی بود.

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

شهید علی فارسی

ارزشیابی مرحله‌ای

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

ارزشیابی شایستگی بررسی اصول هیدرودینامیک کشتی

شرح کار:
۱ـ بررسی مقاومت شناور و نیروهای وارد بر آن
۲ـ آشنایی با روش‌های استاندارد تعیین و اندازه‌گیری مقاومت شناور
۳ـ نحوهٔ کاهش مقاومت شناور در دریا

استاندارد عملکرد:
مؤلفه‌های اصلی و فرعی مقاومت شناور، آزمایش مدلی، سری استاندارد، بهینه‌سازی بدنه
شاخص‌ها:
نسبت مقاومت اصطکاکی و باقیمانده به مقاومت کل

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:
شرایط: کلاس مجهز به پرده‌نگار
ابزار و تجهیزات: یک دستگاه رایانه و یک دستگاه پرده‌نگار.

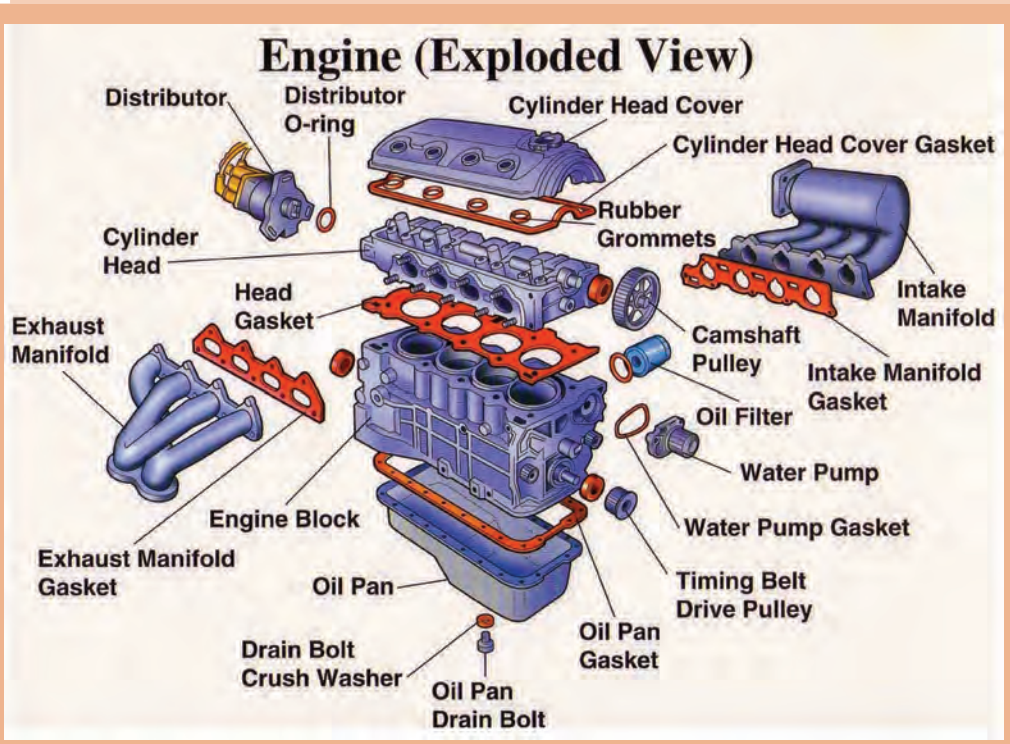
معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	بررسی اجزای مقاومت در کشتی‌ها	۲	
۲	محاسبه مصرف سوخت در شناورها	۱	
۳	بهینه‌سازی فرم بدنه	۱	
۴	چگونگی تعمیرات دوره‌ای به موقع شناور	۱	
شایستگی‌های اخلاقی، زیست‌محیطی، ایمنی، بهداشتی و..... ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر ۴ـ اخلاق حرفه‌ای		۲	
میانگین نمرات			*

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

پودمان ۵

کسب اطلاعات فنی



واحد یادگیری ۵

کسب اطلاعات فنی

کسب اطلاعات فنی، شایستگی درک و دریافت دانش از منابع مختلف فارسی و غیر آن می‌باشد.
با پیشرفت و گسترش و تنوع منابع، ضروری است که برای تحقق اهداف و توسعه شایستگی‌های خود به منابع و مراجع غیرفارسی نیز مراجعه کنیم. در این راستا پودمان حاضر به همین منظور در کتاب دانش فنی تخصصی طراحی و تألیف شده است.
برقراری ارتباط بین افراد شاغل در رشته‌هایی که به‌دلیل ماهیت‌شان نیازمند به تبادل اطلاعات هستند، اهمیت ویژه‌ای بیش از سایر رشته‌ها دارد.
با توجه به گستردگی علوم و فنون دریایی، توسعه روزافزون حمل‌ونقل و تجارت دریایی، فراگیری زبان انگلیسی به‌صورت عمومی و تخصصی برای دریانوردان ضروری می‌باشد. در کنار این موارد حضور کارکنان با ملیت و زبان‌های مختلف و همچنین ارتباط شناورها با یکدیگر در هنگام عملیات راهبری و هدایت کشتی، تخلیه و بارگیری و نیاز به برقراری ارتباط با پرسنلی که به زبان‌های مختلف سخن می‌گویند، سبب شده که «سازمان بین‌المللی دریانوردی» زبان انگلیسی را به‌عنوان زبان استاندارد رشته‌های دریایی انتخاب و تصویب نماید.
با توجه به اهمیت موضوع، هنرجویان پس از آشنایی با اصطلاحات مهم این رشته‌ها در این پودمان قادر خواهند بود مفاهیم بیان‌شده را (چه به صورت نوشتاری و چه به‌صورت گفتار) به‌درستی درک کرده و مفاهیم اولیهٔ موردنظر خود را به زبان انگلیسی بیان کنند.
بدیهی است هدف از ارائه این پودمان، تدریس زبان انگلیسی نمی‌باشد بلکه کسب مهم‌ترین اطلاعات فنی گذشته تخصصی، حرفه‌ای خود می‌باشد. از طریق خواندن منابع ذکر شده می‌توان به این هدف دست یافت. البته برای پشتیبانی این امر در کتاب همراه هنرجو، که خود نیز عملاً یک دانشنامه ویژه بیشتر به خواندن درست لغات، جملات و درک مطالب ارائه شده در کاتالوگ‌ها، بروشور و کتاب‌های راهنمای کاربردی تأکید دارد.
پودمان ذکر شده حاوی یک لوح فشرده (CD) آموزشی نیز می‌باشد. در این لوح مطالب ارائه شده در درس به زبان اصلی بیان می‌شود تا راهنمایی در خواندن و گفتار باشد.

پروژه پایانی

هر گروه درباره یکی از موضوعات تخصصی پودمان، یک سخنرانی ۱۰ دقیقه‌ای انجام داده و ۵ دقیقه نیز به پرسش و پاسخ انگلیسی در کلاس اختصاص یابد.

Sailing ships: Ships normally used for training or pleasure but some researchers also may use them.

Fig 46(Sailing ship)

Search the internet and find out the purpose of the following vessels and present it in your classroom in English language.

Ro-Ro ships
Cattle carrier
Salvage ships
Industrial ships
Fishing vessels
Ferries

Match the words on the left with the definitions on the right

Passenger ship	A ship designed to carry specially shaped cubic cargo
Auxiliary ship	A ship designed to transport or store liquids
Tanker ship	A ship designed to carry refrigerated cargo
Bulk carrier	A ship designed to carry the people
Refer ship	A ship designed to transport unpackaged cargo
Container carrier ship	A ship which is designed to support warships

Tankers: Vessels designed to transport or store liquids or gases in bulk. Major types of tank ships include the oil, chemicals and gas.

Oil tanker

Fig 44 : gasGas tanker

Passenger ships: Ships whose main purpose is to carry the people as passengers but, sometimes cars or cargos are carried as well.

Fig 45: passenger ship

General cargo ships: Ships designed to carry all types of dry cargo.

Fig 42: General cargo

Reefer ships: Some cargo, such as banana and meat, require refrigeration to maintain their condition during transit. The stowage compartments of ships built for this trade are insulated and refrigerated to the optimum temperature for the particular cargo

Fig 43: refrigeration ship

Container carriers: Ships designed to carry cubic shape cargo named container.

pipe laying vessel

Fig 40: container carrier

Bulk carriers: Ships specially designed to transport unpackaged bulk cargo, such as grains, coal, ore, and cement.

Fig 41: Bulk carrier

NAVAL SHIPS are either Warships or Auxiliary ships. Warships can be further classified under types and classes. The term type distinguishes between ships built for different purposes, for example **JAMARAN** is an Iranian made frigate and **KHARK** is an auxiliary ship which is designed to support warships at sea.

JAMARAN (destroyer)

Fig 39: KHARK (auxiliary)

Merchant ships can be classified by their purpose, for example, pipe laying vessels "PLV" are made to lay down the pipe line on the sea bed, and cargo ships' purpose is to carry cargo. Some main cargo ships types are as follows:

4. …… which controls the opening and closing of the valves in the cylinder.
5. In the internal combustion engine, a fire or combustion takes place inside the …… of the engine?
6. An internal combustion engine that compresses air until it becomes so hot that an explosion takes place when fuel is injected into the cylinder is known as a ……. Engine.
7. Label the parts in this diagram of the internal combustion engine.

Fig 38

Unit four

Types of ships

Ships have many varieties and, it is difficult to categorize them all, but three main types are:
• Naval ships
• Merchant ships
• Sailing ships
According to their purpose, each of the above types can be divided into smaller groups. Here are some groups;

The rest of the component such as valve operating mechanism, cooling systems, etc. are more likely the same.

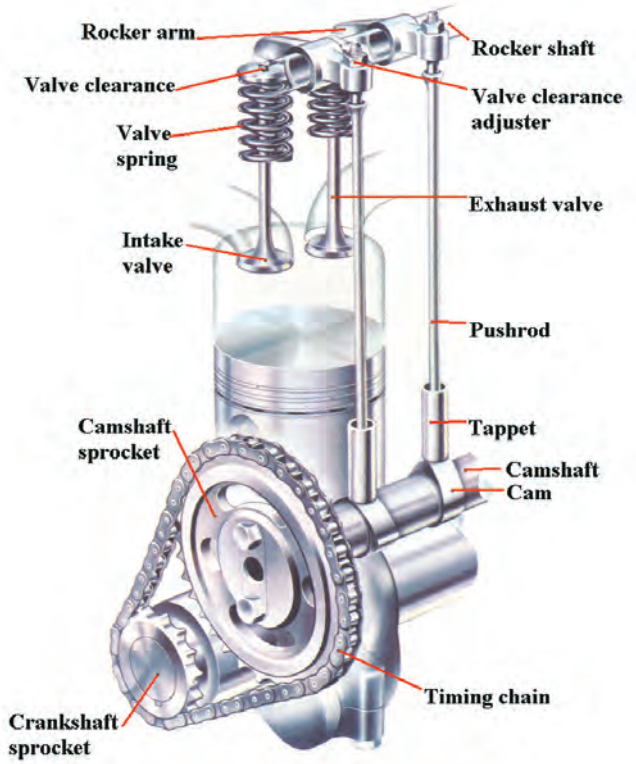


Fig 37: valves operating mechanism

discussion

1. Why is a steam engine sometimes called an external combustion engine?
2. How does a steam engine indicates its difference from an internal combustion engine?
3. Name three necessary components of the four stroke engine.
4. What is the principle on which the diesel engines work?
5. What is the difference between a spark – ignition engine and a compression-ignition engine?

Review

1. …… is a word that means fire or burning.
2. In a …… engine the piston makes two upward and two downward movements.
3. Gasoline is changed into a vapor and mixed with air in a ……..

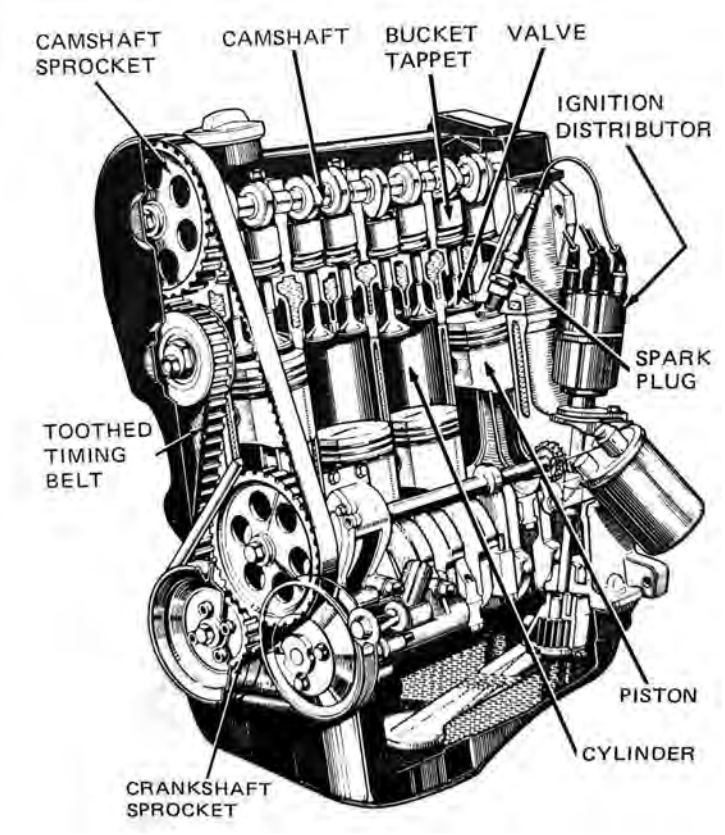


Fig 35: spark ignition engine

In the compression-ignition or diesel engine, the air alone is taken into the cylinder then the fuel is injected (sprayed) into the combustion chamber. The injection action is carried out by fuel pump, high pressure pipe and fuel valve.

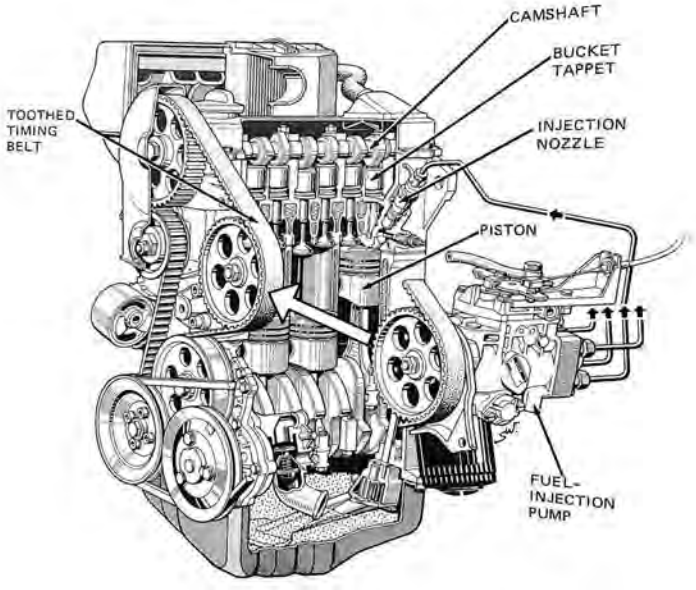


Fig 36: Diesel engine

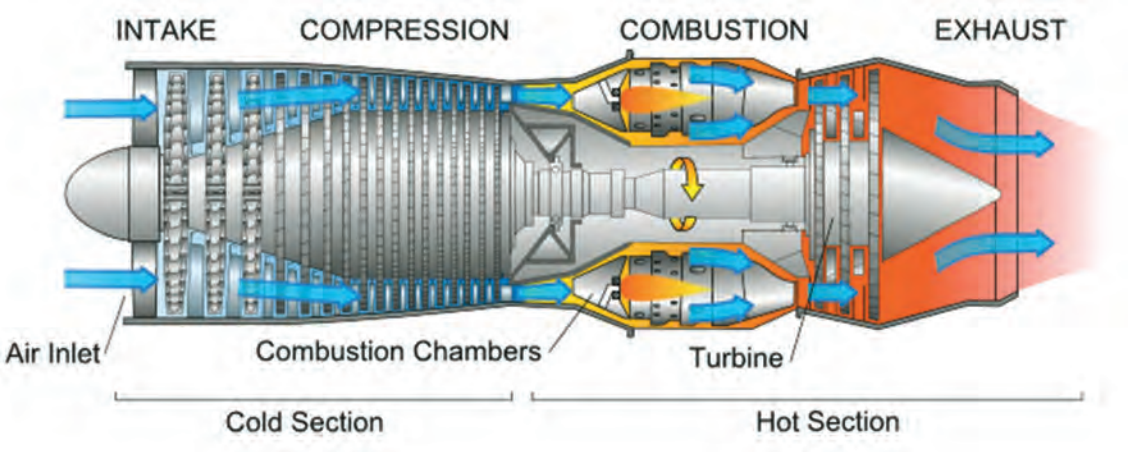


Fig 34: Gas turbine

There are two kinds of piston engine, *spark-ignition* and *compression-ignition* (diesel).

The *spark-ignition* and the *compression-ignition* are very much alike. They both have pistons that move up and down in cylinder which is connected to crankshaft through connecting rod. The differences between the two are:

• The type of the fuel used.

• The way the fuel gets into the engine cylinder.

• The way the fuel is ignited.

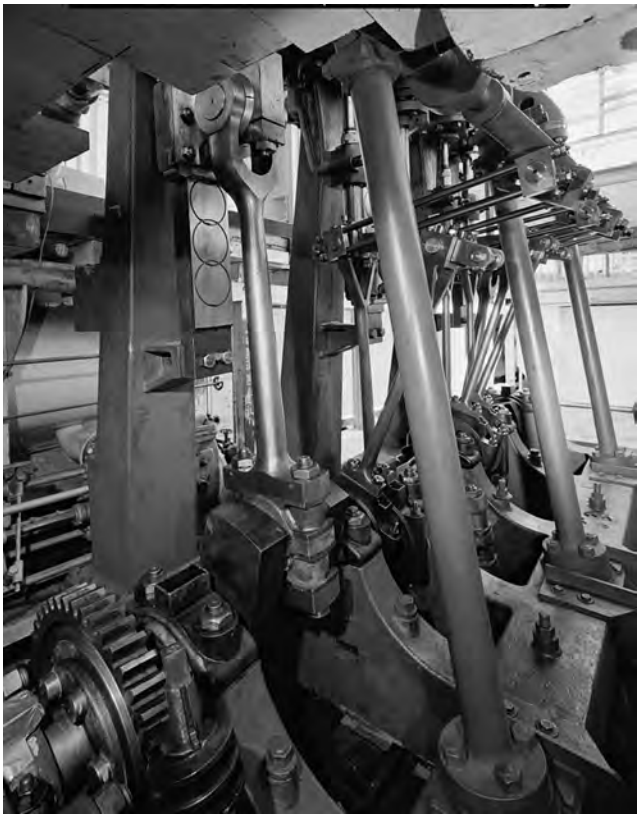
The spark – ignition engine uses a highly volatile fuel, such as gasoline, which turns to vapor easily, and it is the duty of the carburetor to prepare the correct amount of fuel-air ratio. This mixture then enters the cylinder through intake valve and is compressed. Next, an electric spark produced by ignition system sets fire in the combustion chamber. The main components of ignition systems are, spark plug, ignition distributor and ignition coil.

Train steam engine

Fig 33: Boiler

Nowadays, most of ships' engines are internal combustion engines. There are two types, reciprocating and rotary. Reciprocating means moving up and down, or back and forth. In almost all ships, electrical prime movers are of the reciprocating type. This type of engine is called a piston engine.

Rotary engines have rotors that spin, or rotate. A gas turbine is a famous rotary internal combustion engine.



steam ship engine

Steam ships boiler room

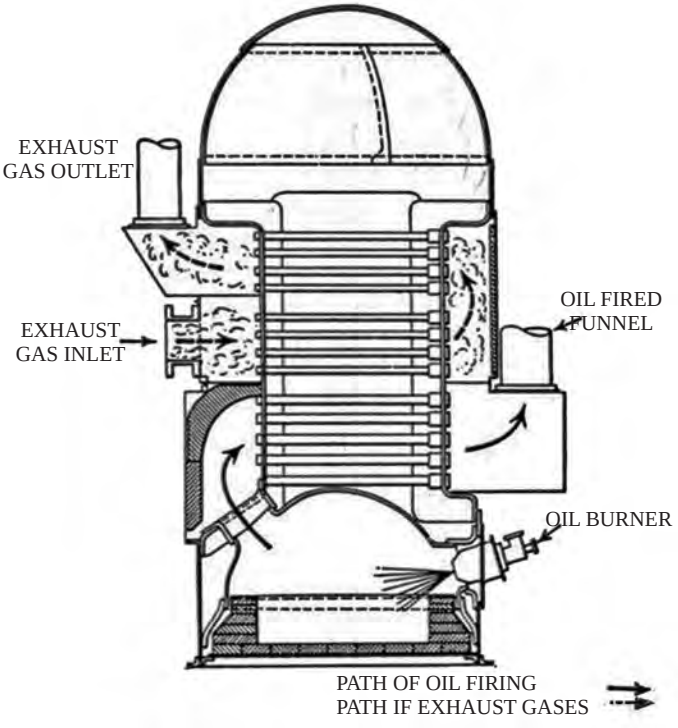
Carburetor: A device in which gasoline is changed into a vapor and mixed with air.

Fig 32: Carburetor

Vocabulary practice

1. What does a carburetor do?
2. What does a spark plug do?
3. What does a cam shaft do?
4. What does a crankshaft do?
5. Describe a cylinder head.
6. Describe a four stroke engine.

Combustion is a word for fire or burning, an internal combustion engine is one in which a fire occurs inside the engine. A steam engine uses fire in a boiler rather than inside the engine. For this reason, steam engines are sometimes called external combustion engines.



marine boiler

Cylinder head: A detachable metal casting that fits onto the top of a cylinder block. In an engine, it contains part of the combustion chamber and in most of the engines, it houses the valves and their operating mechanisms.

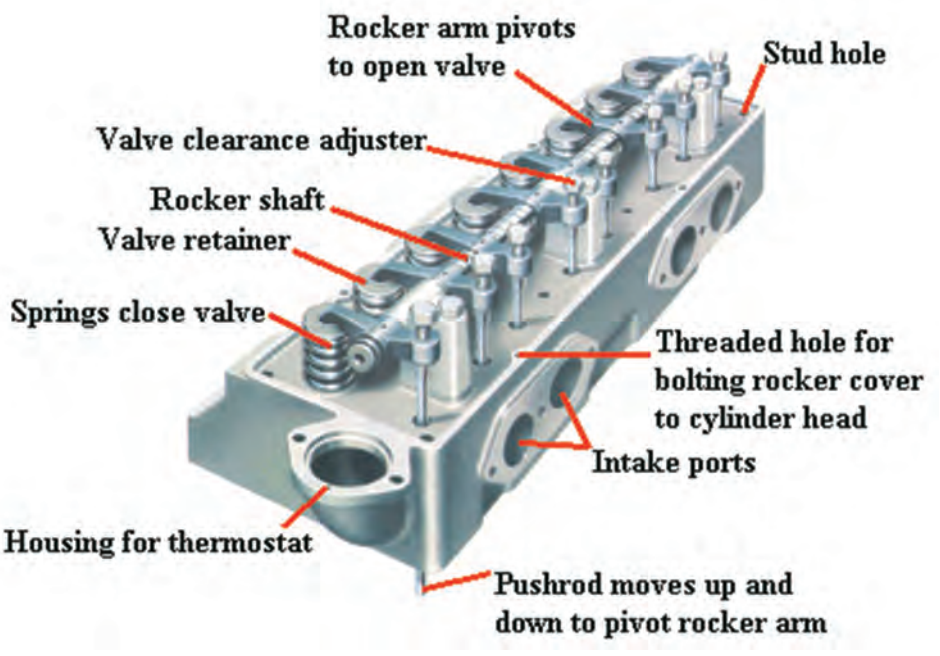


Fig 30

Spark plug: A device that includes a pair of electrodes and an insulator providing spark gap in the engine cylinder.

Fig 31: Spark plug

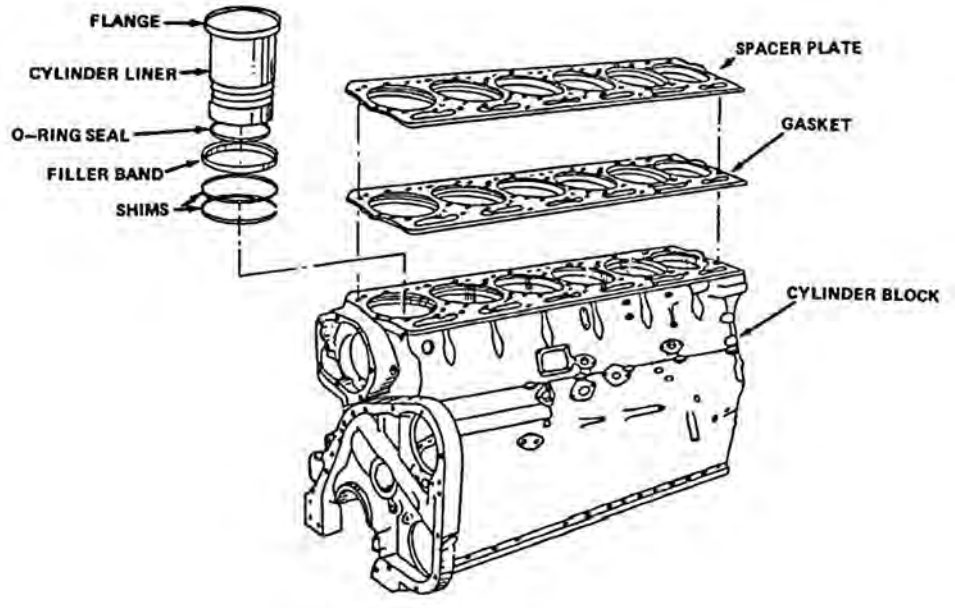


Fig 28: Cylinder

Connecting rod: A **connecting rod** is a shaft which connects a piston to a crankshaft.

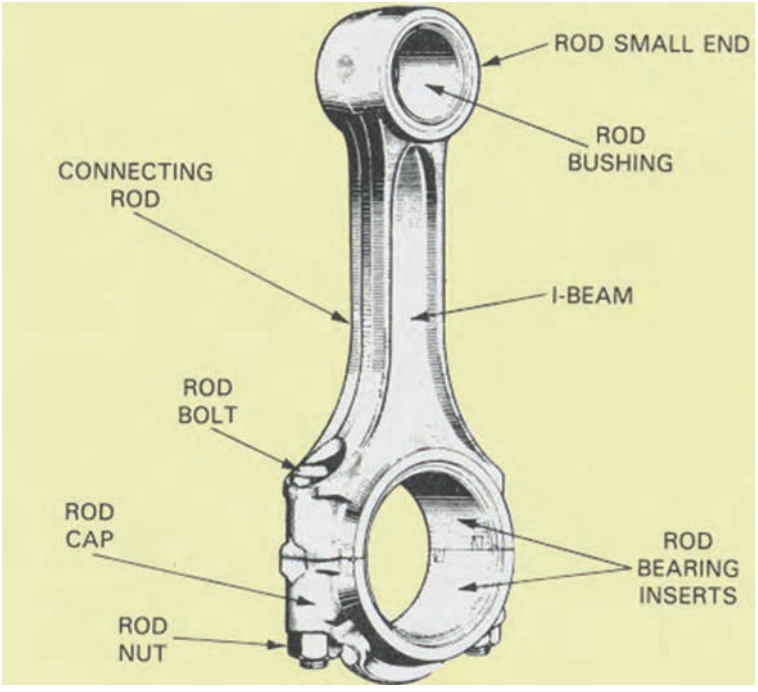


Fig 29: Conecting Rod

Camshaft: A **camshaft** is a shaft equipped with a cam to control the valves that let gases in and out of the cylinder.

Fig 26: Camshaft

Cylinder: A **cylinder** is the central working part of a reciprocating engine in which the piston travels.

Fig 27: Big engine cylinder liner

Fig 24: A four-Stroke Engine

Crank Shaft: A **crankshaft** is a mechanical part which converts reciprocating motion to rotational motion in reciprocating engines.

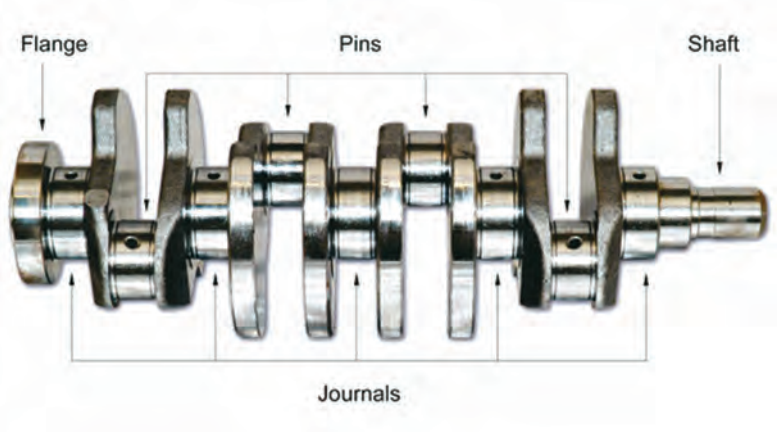


Fig 25: Crankshaft

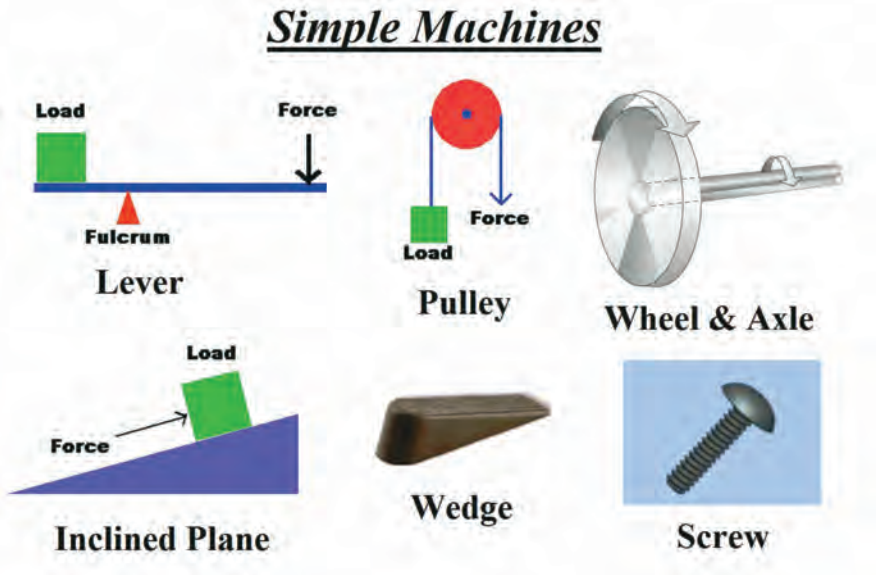


Fig 23

Match the words on the left with the definitions on the right

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

UNIT THREE

THE INTERNAL COMBUTION ENGINE

Four-Stroke Engine: A **four-stroke engine** is an internal combustion engine in which the piston completes four separate strokes while turning the crankshaft.

ship propeller

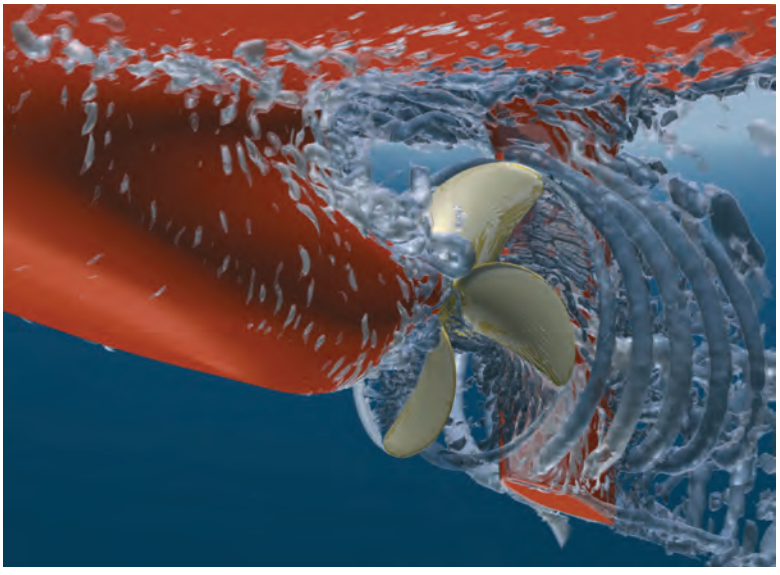


Fig 22: screwing effect

discussion

1. When a prehistoric man or woman pride up a stone with a stick, what machine was in use?
2. What can a crank do?
3. What is the third basic machine?
4. What can the block and tackle do?
5. What are the remaining basic machines that are sometimes grouped together?
6. What kind of motion does the propeller of a ship have? What is the result of this motion?

The inclined plane is an important factor that concerns civil engineerings when desining highways or railroads. A mechanical engineer more frequently uses the screw, a spiral form of the inclined plane which is mostly used for fastening parts together.

Fig 20: screw

Screws have so many applications in modern machines that it is impossible to list them all, but one which is extremely interesting is the rotary motion of a propellers on a ship which moves the vessel ahead as it screws its way through the water.

Fig 21: An inclined road

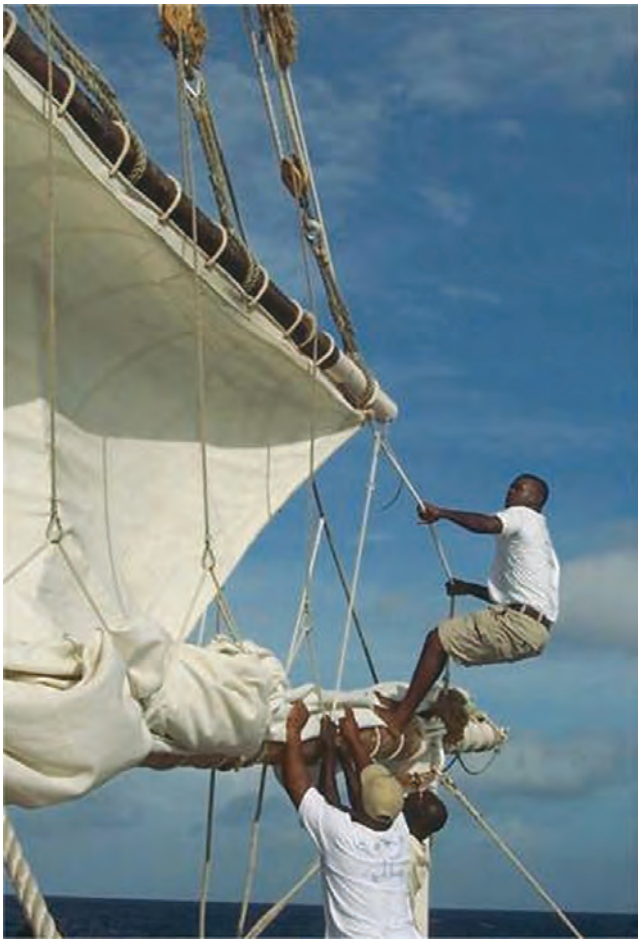


Fig 18

The three remaining basic machines are so related to one another that are sometimes grouped together. They are “wedges”, an “inclined planes”, and a “screws”.
The wedge is a triangle with two chief surfaces that meet in a sharp angle. One of wedges applications is that they are used for splitting open or pushing apart.

Fig 19: A flange splitter

Fig 16: A Modern ship steering wheel

The potential of the wheel was increased by the development of a “crank” . A crank is a device which can transmit motion or can change rotary motion into reciprocating motion and the reverse. For example, a water wheel could be used for sawing wood.

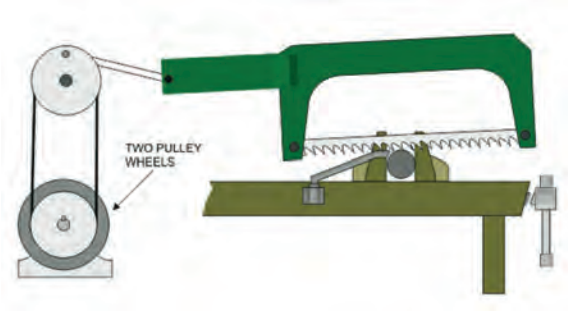


Fig 17 : water wheel

The third basic machine is a pulley. In its simplest form, it consists of a wheel with a groove around its outer surface through which a rope, wire, or chain can pass. This simple device was used in ancient times for tasks such as raising water from wells and hoisting sails onto ships. A pulley contained in a hosing is called a block. When a fixed block is used with movable block to which a weight is attached, this device is called a “block and thackle”.

metal sheet cutter

crowbar

Fig 15

The wheel and axle is the second basic type of machine. An axle is a shaft on which a wheel can turn. The wheel and axle combination may have first been used around 5000 years ago, for transportation and raising water from wells, nowadays, there are endless applications for wheels, and one of them is ship steering wheel!!!

A Sailling ship steering wheel

Vocabulary practice

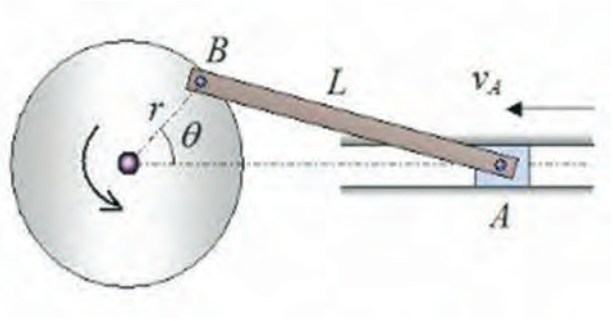
1. What is a lever?
2. What does a wheel and axle consist of?
3. What does a crank do?
4. Describe a pulley?
5. What is a block?
6. What is a wedge?
7. What is an inclined plane?
8. Describe a screw?

When a prehistoric man or woman used a stick to pry up a stone, the lever was invented. It is one of the six basic machines we will describe in this chapter. A lever is a rigid bar, like the early persons stick, which turns on a point called the fulcrum. When the force is applied at a first point, that force is transmitted to a second point where it can perform work. A grease pump handle is an example of lever.

Fig 14: Stick

Grease pump

CRANK: A device for converting reciprocating motion into rotary motion or vice versa.



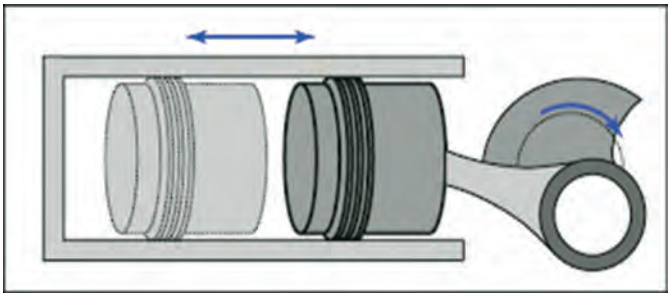


Fig 12: Crank

SCREW: A **screw** is simply an inclined plane around a cylinder.

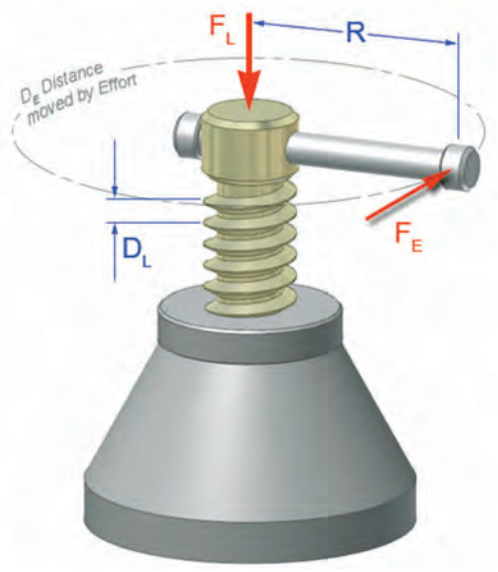


Fig 13

Fig 10

WEDGE: A wedge is a triangular shaped tool, and is a portable inclined plane, and one of the six classical simple machines. It can be used to separate two objects.

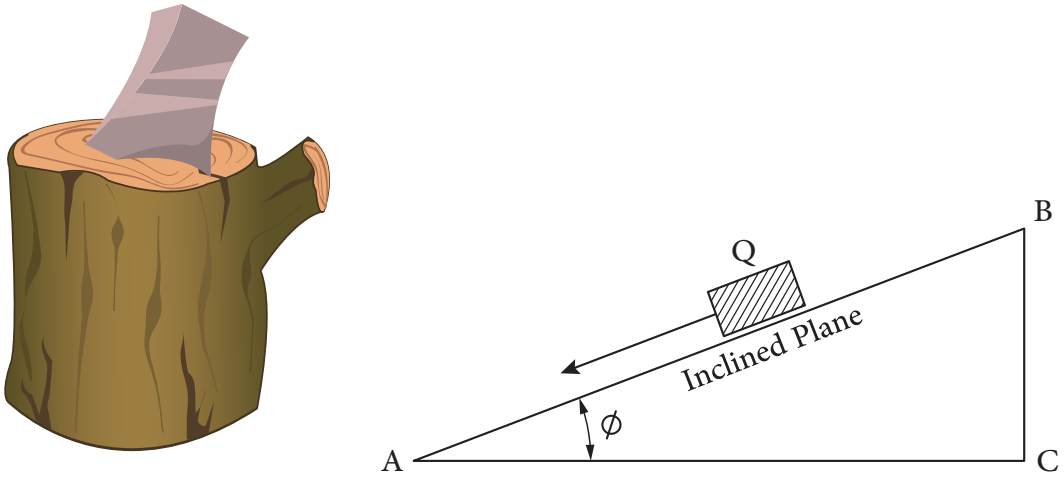


Fig 11

INCLINED PLANE: A basic machine, at its simplest form, a surface at an angle to the horizon.

PULLEY: A basic machine consisting of a wheel with grooved rim through which a rope, wire, or chain passes and is pulled to lift heavy things.

Pulley

Rope

Chain

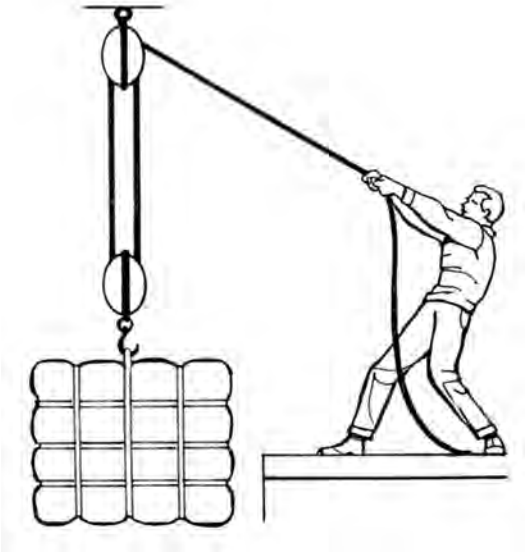
wire

Fig 9

UNIT TWO

BLOCK & TACKLE:

The combination of a fixed and movable pulley together with a rope is known as a BLOCK AND TACKLE.



Remember safety affects everything in your life so think safely.

Task
During your ship visit, take some pictures from her safety signs and present in your class, mention their meanings in English language.

THE BASIC MACHINES

LEVER: A basic machine consisting of a rigid piece that turns on a point called FULCRUM.

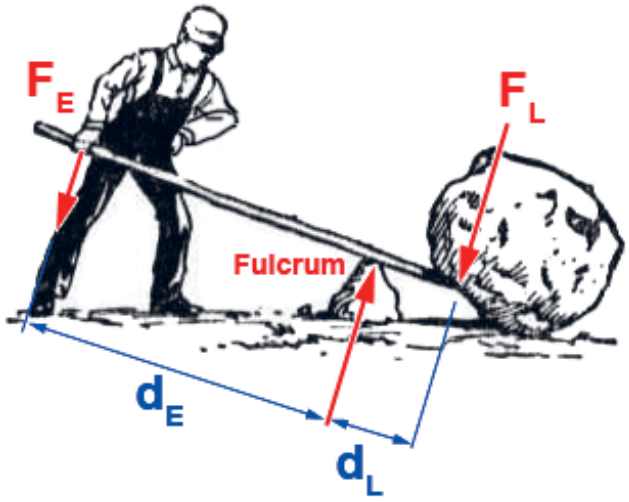


Fig 7

WHEEL AND AXLE: A basic machine consisting of a WHEEL that rotates on a shaft called the AXLE.

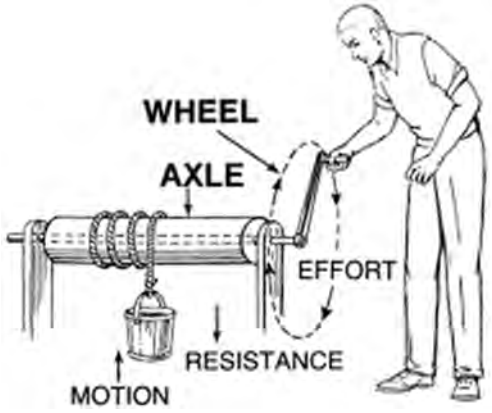


Fig 8

All the above mentioned equipment and many more are used on board ships to prevent harms.
In addition, there are some rules and regulations issued by international organizations such as INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION “IMO” and national administrations like ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN PORT AND MARITIME ORGANIZATION “PMO”
Following these rules and regulations is a “must” and all merchant vessels have to be comply with them, but navy ships have some exemptions.

For example, The **International Convention for the Safety of Life at Sea** (**SOLAS**) is an international maritime treaty, which sets minimum safety standards in the construction, equipment and operation of merchant ships.

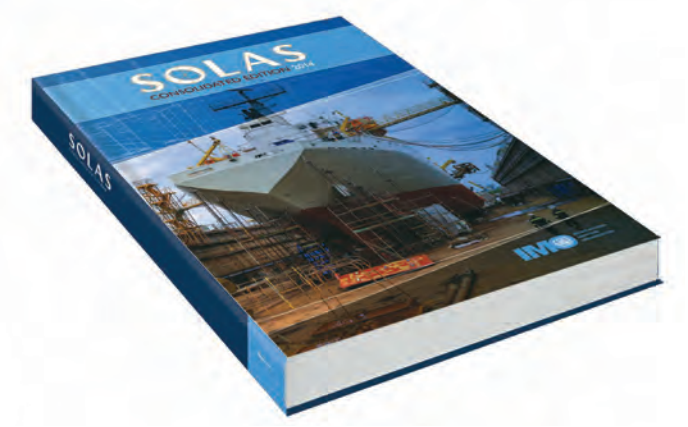


Fig 5

Which to be followed by ship builders and ship owners.

Fig 6

Ships are also equipped with some machinery to protect environment such as:

Oily water separator	
Sewage treatment plants	
Sludge/Garbage incinerator	

Fig 4

Life raft	Life buoy	Muster station	Emergency telephone
Immersion suit	First aid box		

Fig 2

This signs are helping you to be safe but working in potentially dangerous industrial areas such as ships engine room needs special protecting equipment.
Some of them are as follows:

Personal protective equipment “PPE”:

Safety shoes	Boiler suit	goggles	Hand gloves
Helmet	Ear muffs	Dust mask	Safety harness

Fig 3

UNIT ONE

SAFETY FIRST

Fig:1

Working on a ship is interesting; you will learn to do many jobs, overhauling a pump, adjusting engine valves, checking engine performance and many other jobs.
All of these jobs can be done easily and safely if you follow the safety rules.
Safety means protecting yourself and others from possible dangers.

Look at the following safety signs, which are normally, posted on ships bulkheads.

Lifeboat	Life jacket	Fire hose	Fire extinguisher

ارزشیابی مرحله‌ای کسب اطلاعات فنی

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
کسب اطلاعات فنی	توانایی کسب اطلاعات فنی	به‌کارگیری اطلاعات فنی در حوزهٔ تخصصی	بالاتر از حد انتظار	۱- کاربرد اصطلاحات تخصصی را بداند. ۲- توانایی نقشه‌خوانی، کاتالوگ‌خوانی و استفاده از برگه اطلاعات را داشته باشد. ۳- توانایی استخراج و کسب اطلاعات از منابع به‌روز را داشته باشد. **هنرجو توانایی بررسی همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.**	۳
			در حد انتظار	۱- کاربرد اصطلاحات تخصصی را بداند. ۲- توانایی نقشه‌خوانی، کاتالوگ‌خوانی و استفاده از برگه اطلاعات را داشته باشد. ۳- توانایی استخراج و کسب اطلاعات از منابع به‌روز را داشته باشد. **هنرجو توانایی بررسی ۲ مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.**	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	۱- کاربرد اصطلاحات تخصصی را بداند. ۲- توانایی نقشه‌خوانی، کاتالوگ‌خوانی و استفاده از برگه اطلاعات را داشته باشد. ۳- توانایی استخراج و کسب اطلاعات از منابع به‌روز را داشته باشد. **هنرجو توانایی بررسی ۱ مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.**	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

ارزشیابی شایستگی کسب اطلاعات فنی

شرح کار:
۱ـ پاسخگویی به کلیه فعالیت‌های پودمان
۲ـ شرکت در بحث‌های کلاسی
۳ـ ارایهٔ سخنرانی با موضوع دلخواه

استاندارد عملکرد:
به‌کارگیری اطلاعات فنی در حوزهٔ تخصصی
شاخص‌ها:
توانایی خواندن، نوشتن و بیان اطلاعات فنی

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:
شرایط: کلاس درس مجهز به پرده‌نگار
ابزار و تجهیزات: در کلاس امکان نمایش فایل‌های صوتی و تصویری وجود داشته باشد.

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	توانایی کاربرد اطلاعات تخصصی	۲	
۲	توانایی استخراج و بیان اطلاعات فنی از منابع مختلف	۱	
شایستگی‌های اخلاقی، زیست‌محیطی، ایمنی، بهداشتی و..... ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر ۴ـ اخلاق حرفه‌ای		۲	
میانگین نمرات			*

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

منابع

۱ـ استاندارد شایستگی حرفه رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
۲ـ استاندارد ارزشیابی حرفه رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
۳ـ 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.
۴ـ برنامه درسی رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
۵ـ استاتیک و دینامیک مقدماتی، وحید طاووسی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۳.
۶ـ کتاب جامع مهندسی معماری دریایی، محمد مونسان، انتشارات پژوهش،۱۳۹۱.
۷ـ کتاب تعادل کشتی، محمود سالاری، انتشارات مرکز برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی سپاه.

8- Ship Consturuction",D.J.Eyres", Seventh Edition",1991
9- Merchant Ship Consturuction ",H.J Pursey", Fourt Edition",1994
10- Lioyd'S Register Rule 2017.
11- Principles of Naval Architecture" E.V.Lewis" 1988, VolII, SNAME
12- Methodical Experiments with models of Single Screw Merchant Ships", F.H.Todd," 1963
13- Marine propellers and propulsion", J.S. Carlton,"2007, Elsevier publications
14- English For Seafarers ", Nibet-Kutz-Logie Published By Marlins
15- Engineering Mechanics Statics, 7th edition, J. L. Meriam, John Wiley & Sons, Inc.2011.
16- Engineering Mechanics Dynamics, 6th edition, J. L. Meriam, John Wiley & Sons, 2010.

ارگان‌ها و مؤسساتی که در فرایند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت داشته‌اند:
۱ـ اداره کل امور دریایی و سازمان‌های تخصصی بین‌المللی سازمان بنادر و دریانوردی
۲ـ مؤسسه آموزشی کشتیرانی جمهوری اسلامی ایران
۳ـ نیروی دریایی راهبردی ارتش جمهوری اسلامی ایران
۴ـ نیروی دریایی سپاه پاسداران انقلاب اسلامی ایران
۵ـ مرزبانی نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران
۶ـ دبیرخانه کشوری هنرستان‌های علوم و فنون دریایی

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب ازطریق نامه به‌نشانی تهران- صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵- گروه درسی مربوط و یا پیام‌نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب‌گاه: tvoccd.oerp.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش