پودمان ۲

پایدارسازی کشتی

واحد یادگیری ۲
پایدارسازی کشتی

آیا تا کنون پی برده‌اید

- نیروهای وارد بر شناور کدام‌اند و چه ویژگی‌هایی دارند؟
- چه‌طور یک کشتی که از فلز ساخته شده است، روی آب شناور می‌ماند؟
- قوانین شناوری کدام‌اند؟
- چگالی آب چه تأثیری در تغییر آبخور شناور دارد؟
- آبخور شناور به چه صورت خوانده می‌شود؟
- بارگیری و تخلیهٔ کالا چه تأثیری در جابه‌جایی مرکز ثقل کشتی دارد؟

استاندارد عملکرد

یکی از مباحث مهم ایمنی شناور، حفظ تعادل شناور در وضعیت‌های مختلف از قبیل بارگیری، تخلیه و جابه‌جایی کالا در شناور می‌باشد. برای حفظ سلامت جان افراد و نیز ایمنی کشتی و کالا در شرایط مختلف، باید ملاحظات ضروری مدنظر قرار گیرد. در این پودمان سعی می‌شود تا هنرجویان با توجه به شناخت مفاهیم اصول تعادل، نسبت به مباحث تعادل کشتی، درک درست و مناسبی درخصوص رعایت نکات مهم تعادلی شناور داشته باشند.

انتظار می‌رود در پایان این پودمان هنرجویان بتوانند به شناخت مفیدی از مفاهیم و اصول تعادل شناور دست یابند و با به‌کارگیری قوانین شناوری، محاسبات مربوط به تعادل شناور از قبیل تغییرات آبخور و جابه‌جایی مرکز ثقل شناور را انجام دهند.

بررسی نیروها و قوانین شناوری

توانایی یک شناور برای بازگشت به وضعیت اولیهٔ پس از وارد آمدن یک نیروی خارجی را «تعادل» می‌نامند. وقتی سوار یک کشتی می‌شوید، حرکات کشتی را در اثر موج یا باد خواهید دید. وقتی شناور بر اثر موج دریا به طرف چپ یا راست می‌غلتد، پس از چند لحظه، شناور برمبنای اصل شناوری، به وضعیت اولیهٔ خود برمی‌گردد.
با توجه به اینکه عوامل بسیاری بر روی بدنهٔ شناور اثر می‌گذارد تا باعث غلتش شناور شود، بنابراین بدنهٔ شناور باید طوری ساخته شود تا در مقابل این عوامل مقاومت نماید.

شکل ۱

الف) بررسی نیروهای وارد بر بدنهٔ کشتی

در ابتدا دو کمیت نیرو و گشتاور نیرو مورد بررسی قرار می‌گیرند و سپس به نیروهای وارد بر بدنهٔ کشتی پرداخته می‌شود.
نیرو (Force): به هر نوع فشار و یا کششی که به یک جسم وارد شود، «نیرو» نامیده می‌شود. واحد اندازه‌گیری نیرو در واحد متریک (S.I)، «نیوتن» است.

تحقیق کنید

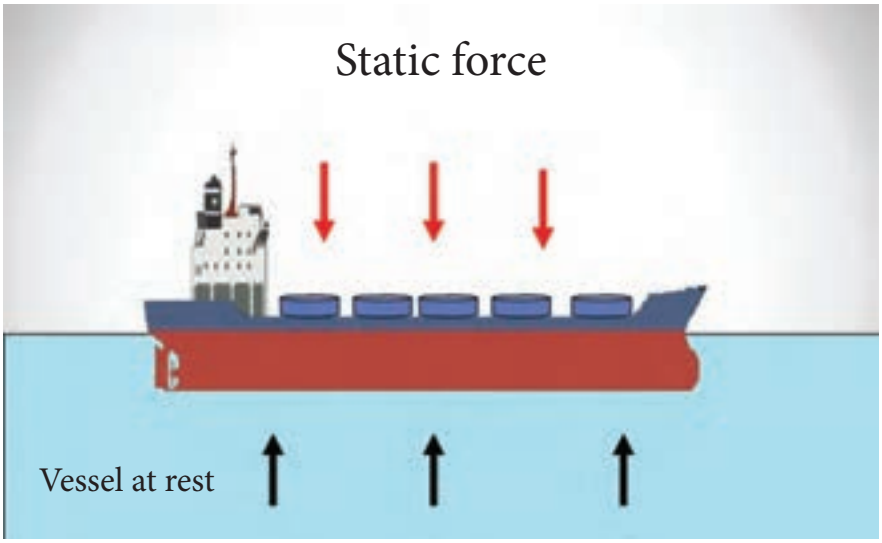
به غیر از واحد اندازه‌گیری نیرو در واحد متریک (S.I)، چه واحدهای اندازه‌گیری دیگری وجود دارد؟ نتیجه را در کلاس ارائه نمایید.

نکات زیر در مورد نیرو اهمیت دارند:
الف) اندازهٔ نیرو؛ ب) جهت نیرو؛ ج) موقعیت اعمال نیرو.
برایند نیروها: وقتی دو یا چند نیرو به نقطه‌ای وارد می‌شود، مجموعهٔ اثرات آنها را می‌توان به‌وسیلهٔ یک نیرو که دارای همان اثر باشد، نشان داد. این نیرو را برایند نیروهای وارده می‌گویند.
گشتاور نیرو: گشتاور یک نیرو عبارت است از تأثیر چرخش یک نیرو حول یک نقطه. اثر این چرخش به اندازهٔ نیرو و فاصلهٔ اعمال نیرو تا نقطهٔ مورد نظر زیر بستگی دارد.

اندازهٔ گشتاور از حاصل‌ضرب اندازهٔ نیرو در فاصلهٔ عمودی نیرو تا محل گشتاورگیری به‌دست می‌آید و واحد آن نیوتن متر است.

نیروهای وارد بر بدنه را می‌توان به طریق زیر دسته‌بندی کرد:

۱ **نیروهای ایستایی:** وقتی که یک شناور در آب ساکن و بی‌حرکت باشد، نیروهای وارد بر آن را نیروهای ایستایی می‌نامند که شامل دو نیروی وزن کشتی به سمت پایین و فشار آب به سمت بالا می‌باشد.

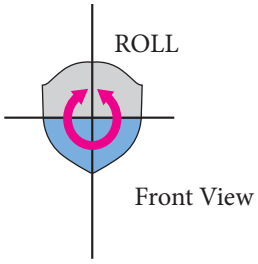


شکل ۲ــ نیروهای ایستایی وارده بر کشتی

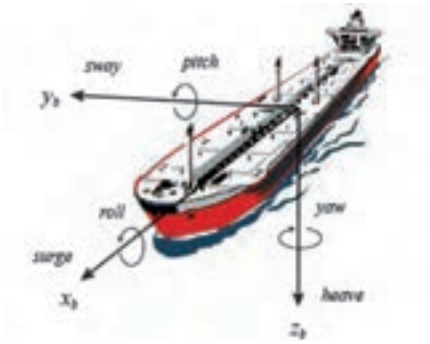
۲ **نیروهای دینامیکی:** نیروهایی که وقتی کشتی در حال حرکت است، ایجاد می‌گردند. کشتی تحت تأثیر نیروهای دینامیکی ممکن است حالات مختلفی داشته باشد. در این مورد به شش درجهٔ آزادی و شش نوع حرکت می‌توان اشاره کرد. این حرکات شامل سه حرکت خطی و سه حرکت چرخشی است.

کار در کلاس

جدول زیر را با توجه به ویژگی‌های نیروهای دینامیکی وارد بر بدنهٔ شناور تکمیل کنید:

ردیف	حرکات کشتی	شرح	تصویر
۱	Rolling	حرکت کشتی حول محور ..... آن، که می‌توان آن را نوسانات یا پیچش‌های عرضی نامید.	

۲	Pitching	حرکت کشتی حول محور ..... آن، که می‌توان آن را نوسانات یا پیچش‌های طولی نامید.	PITCH Profile
۳	Yawing	حرکت کشتی حول محور ..... آن، که می‌توان آن را حرکت چرخشی یا پیچشی نامید.	Yaw Top View
۴	Heaving	حرکت قائم (رو به ..... یا .....) بدنهٔ کشتی.	HEAVE Front View
۵	Swaying	حرکت پهلویی یا ..... کشتی.	SWAY Top View
۶	Surging	جهش کشتی در جهت ..... آن	SURGE Profile



شکل ۳

شکل ۴

مقابله با این حرکات و حفظ تعادل کشتی برای دریانوردان حائز اهمیت است و هر یک از این نوع حرکات می‌تواند حرکت یکنواخت کشتی را با مشکل روبه‌رو کند.

ب) بررسی قوانین شناوری

برای بررسی قوانین شناوری نیاز به اطلاعاتی از قبیل موقعیت مرکز ثقل و مرکز غوطه‌وری آن می‌باشد. در این قسمت به معرفی این نقاط و مراکز مهم پرداخته می‌شود.

گرانیگاه (Center of Gravity)

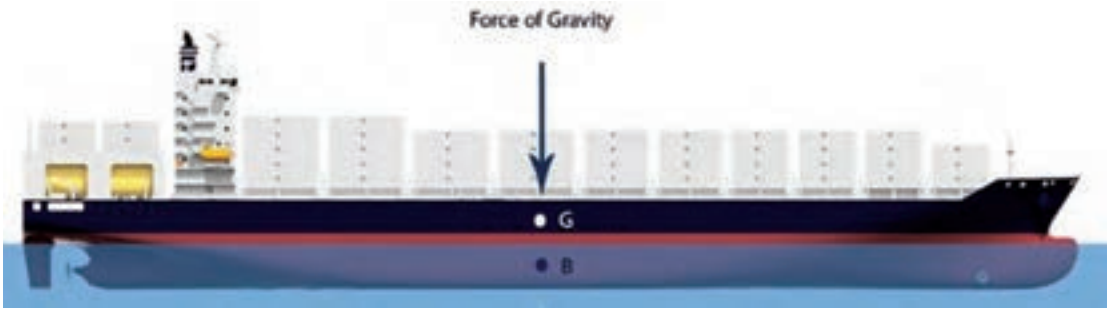
گرانیگاه یا مرکز ثقل یک جسم، نقطه‌ای است که برایند نیروهای جاذبهٔ زمین بر جسم، به آن نقطه از جسم اثر می‌کند. یعنی اگر آن جسم را از مرکز ثقل آویزان کنیم به حالت تعادل باقی می‌ماند و هیچ‌گونه حرکت غلتشی در آن اتفاق نمی‌افتد. به عبارت دیگر، مرکز ثقل یک جسم نقطه‌ای است که تمام وزن یک جسم در آن نقطه فرض می‌شود. معمولاً 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 ممکن است جابه‌جا شود.

کار در کلاس

مرکز ثقل اَشکال هندسی زیر را ترسیم کنید.

شکل ۵

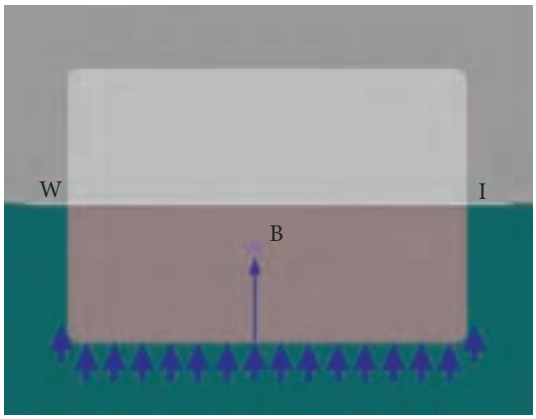
مرکز ثقل یک شناور نیز عبارت است از نقطه‌ای که برایند نیروی وزن کلیه قسمت‌های کشتی از آن نقطه به‌طور عمود و به‌طرف پایین وارد می‌شود. مرکز ثقل را با نقطهٔ G نشان می‌دهند. شکل ۶ محل مرکز ثقل یک شناور را نمایش می‌دهد. در این شکل، برایند کل نیروی وزن اجزا از نقطهٔ G عبور می‌کند.



شکل ۶ــ مرکز ثقل یک شناور

مرکز شناوری «Center of Buoyancy»

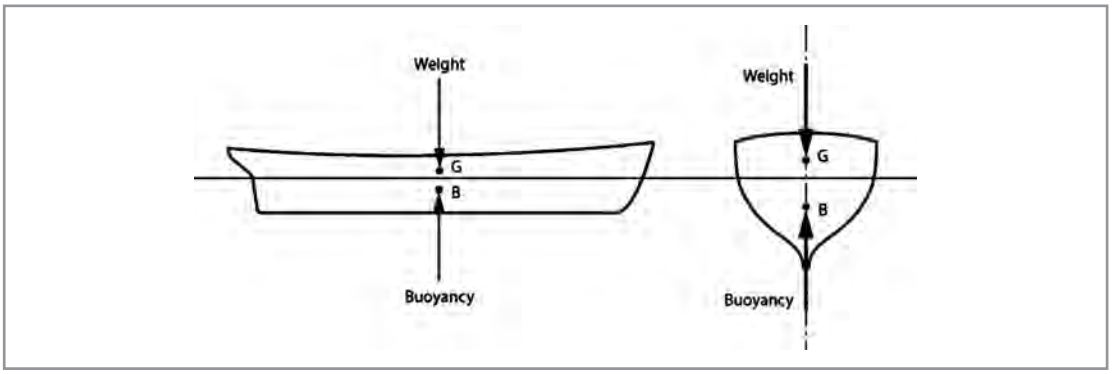
قبل از تعریف مرکز شناوری برای کشتی، بر تعدادی از تعاریف مفید و اصل کلی شناوری که توسط ارشمیدس بیان شده‌اند، مروری خواهیم داشت:



وزن جابه‌جایی (Displacement): عبارت است از وزن آبی که هنگام شناور شدن کشتی در آب، جابه‌جا می‌شود. یا به‌عبارت‌دیگر وزن جابه‌جایی برابر است با وزن مقدار آبی که قسمتی از کشتی جایگزین آن شده است. به همین ترتیب «حجم جابه‌جایی» نیز تعریف می‌شود.

اصل شناوری (اصل ارشمیدس): هرگاه تمام یا قسمتی از یک جسم در مایعی فرو رود، با نیرویی که مساوی با وزن مایع جابه‌جا شده توسط جسم است، به طرف بالا رانده می‌شود. بنابراین، منظور از شناوری در کشتی، مقدار نیرویی است که وقتی کشتی شناور است، آب به‌طور عمود و به طرف بالا به بدنهٔ کشتی وارد می‌کند. این نیرو برابر وزن آبی است که با ورود کشتی داخل آب، جابه‌جا شده است و به عبارت دیگر، برابر وزن مقدار آب هم حجم با قسمت غوطه‌ور (داخل آب) کشتی است. مقدار این نیرو برای کشتی درحال تعادل (سکون)، برابر با وزن کل کشتی است.

گرچه این نیرو به سراسر سطح بدنهٔ داخل آب کشتی وارد می‌شود ولی همانند مرکز ثقل، برایند این نیروها نیز از یک نقطه و به طرف بالا عبور می‌کند که اصطلاحاً به آن نقطه، «مرکز شناوری» کشتی می‌گویند. این نقطه را معمولاً با حرف B نمایش می‌دهند. شکل ۷ موقعیت نقطهٔ B و یا مرکز شناوری یک کشتی را نمایش می‌دهد.

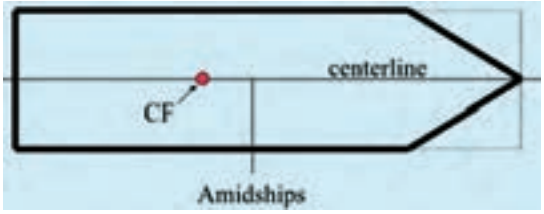


شکل ۷ــ مرکز شناوری کشتی

مرکز غوطه‌وری (CF: Center of Floatation)

مرکز غوطه‌وری نقطه‌ای است که چرخش‌های طولی و عرضی کشتی حول محورهایی که از این نقطه می‌گذرند صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، مرکز هندسی صفحات افقی، از جمله صفحهٔ خط آب را مرکز غوطه‌وری گویند.

مرکز تعادلی (Metacenter) طولی و عرضی شناور



شکل ۸ــ مرکز غوطه‌وری

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

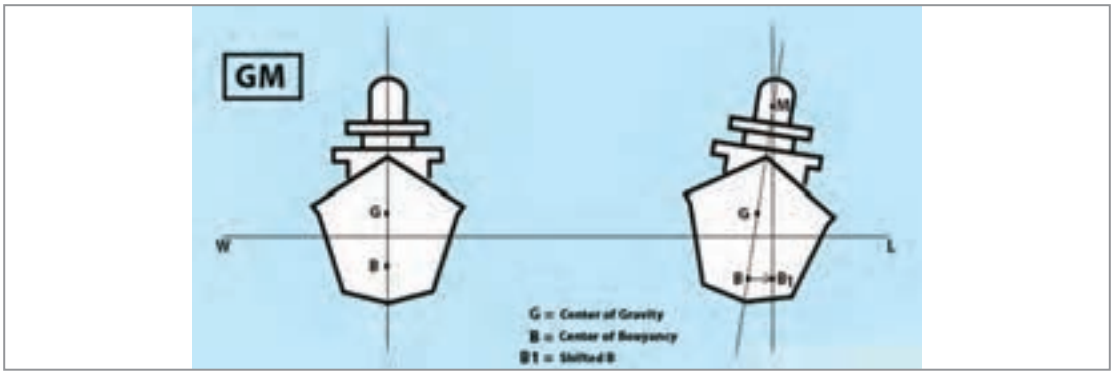
امتداد نیروهای شناوری برای دو حالت اولیه و حالت تغییر یافتهٔ کشتی یکدیگر را در یک نقطه قطع می‌کنند که آن را «مرکز تعادلی شناور» می‌نامند و با حرف M نشان می‌دهند.

از آنجا که کشتی ممکن است در دو جهت طولی و عرضی غلتش نماید، معمولاً برای کشتی دو مرکز تعادلی تعریف می‌شود، یکی مرکز تعادلی **طولی** و دیگری مرکز تعادلی **عرضی**.

البته باید توجه نمود که اغلب هنگام بحث اگر از «مرکز تعادلی» نام برده می‌شود، منظور مرکز تعادلی عرضی کشتی است. این بدان علت است که چرخش‌های عرضی و تعادل کشتی در جهت عرضی بسیار مهم‌تر از تعادل طولی کشتی است.

ارتفاع مرکز تعادلی

ارتفاع مرکز تعادلی، چه طولی و چه عرضی، عبارت است از فاصلهٔ بین مرکز ثقل و نقاط مرکز تعادلی طولی و یا عرضی کشتی که این فاصله به‌طور عمودی و مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. این فاصله را معمولاً با دو حرف GM نشان می‌دهند. شکل ۹ ارتفاع مرکز تعادلی عرضی را نشان می‌دهد.



شکل ۹ــ ارتفاع مرکز تعادلی عرضی

اصول آب ایستایی

طبق قانون ارشمیدس، هر جسمی که در مایعی غرق شود، از وزن آن به اندازهٔ وزن مایع هم حجمش کاسته خواهد شد. بنابراین، چنانچه جسمی درون سیّالی واقع شود همواره نیرویی به سمت بالا از سمت سیّال به آن وارد خواهد شد که به آن نیروی شناوری گفته می‌شود. 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 بدنهٔ کشتی وارد می‌شود که همین نیرو باعث باقی ماندن کشتی بر سطح آب دریاها می‌شود و اگر نیروی شناوری کمتر از نیروی وزن باشد، جسم به داخل آب فرو خواهد رفت.

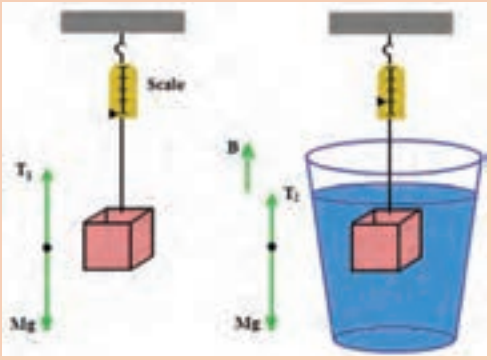
فکر کنید

با توجه به قانون ارشمیدس، تصاویر زیر را تفسیر کنید.

تفسیر:

.....

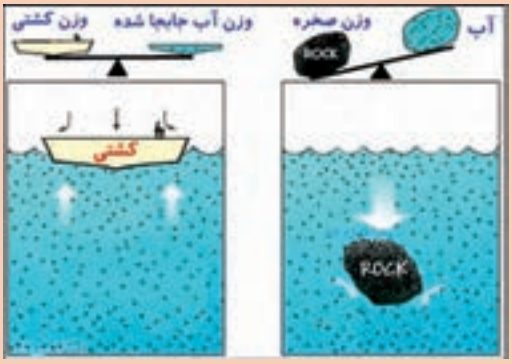
.....



تفسیر:

.....

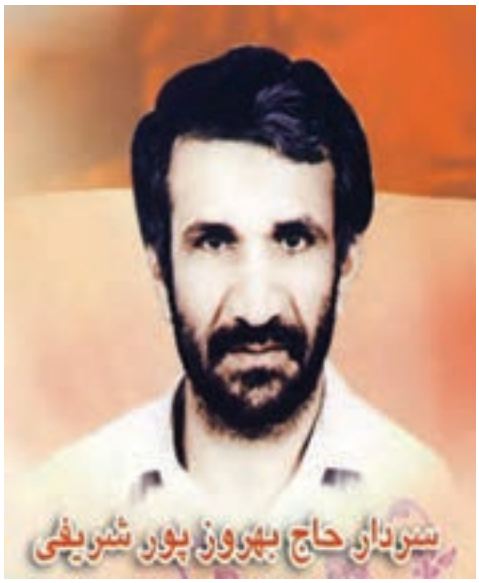
.....



تفسیر:

.....

.....



پل شناور خیبر؛ اوج خلاقیت مهندسی کشور در دفاع مقدس، طراحی و ساخت پل خیبر به عنوان طولانی‌ترین پل شناور نظامی‌جهان

در سال ۱۳۶۳ یگان مهندسی ـ رزمی سپاه با مشارکت جهاد سازندگی و وزارت صنایع سنگین وقت، در طرحی ابتکاری برای وصل کردن ساحل شرقی هورالهویزه به جزایر مجنون، در مدت ۷۵ روز پل شناوری به طول ۱۳ کیلومتر ساخت که از سه راهی فتح آغاز و به جزایر مجنون می‌رسید. ساخت چنین پلی در تاریخ جنگ‌ها بی‌سابقه بود.

برای شناورسازی آن از مواد پلیمری استفاده شد تا در صورت حملهٔ هوایی دشمن، به سرعت قابل تعمیر و تعویض باشد و در فواصل معیّنی از طول پل، پارکینگ و محل توپ ضد هوایی تعبیه شد و قطعات یدکی نیز در طول مسیر به پل اصلی متصل شد تا در صورت نیاز به سرعت عوض شود.

طراحی پل، حاصل مطالعات و کار شبانه‌روزی شهید مهندس «بهروز پورشریفی» و جهادگران جهاد سازندگی خراسان و همکاری مؤثر سپاه بود.

بدین ترتیب پل خیبر در قطعاتی به ابعاد ۵×۳ با سطحی مقاوم از پروفیل و محفظه‌ای از پلی اورانان فوم که به وسیلهٔ فایبر گلاس پوشیده شده بود، برای آب‌های با سرعت حداکثر ۲ متر بر ثانیه ساخته شد. هر قطعهٔ این پل ۱۲۰۰ کیلو گرم وزن داشت. سبُک بودن پل، ویژگی مهمی بود که در لحظات بحرانی جنگ قابل توجه بود. مهندس حاج بهروز همهٔ محاسبه‌های لازم را از قبیل نیروهای وارد بر پل و اتصال‌ها را خود به اتمام رساند و برای دفع نیروهای خطرآفرین احتمالی، پیش‌بینی‌های لازم را انجام داد. پل‌های خواسته شده در مدت معیّن ساخته شد و در هنگام اجرای عملیات عظیم خیبر مورد بهره‌برداری قرار گرفت. هدف این عملیات که با رمز «یا رسول‌الله صلی‌الله‌علیه‌وآله‌وسلم» در تاریخ ۶۲/۱۲/۳ ساعت ۸/۵ بعد از ظهر آغاز گردید، بازپس‌گیری و تأمین جزایر مجنون و بخشی از هورالهویزه بود. نتیجهٔ عملیات، آزادسازی جزایر مجنون و چندین روستای منطقه و کنترل حداقل ۵۰ حلقه چاه نفتی بود.

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
پایدارسازی کشتی	بررسی نیروها و قوانین شناوری	توانایی بررسی و تحلیل نیروها و قوانین شناوری	بالاتر از حد انتظار	۱ ـ نیروهای ایستایی و دینامیکی را بررسی کند. ۲ـ مرکز شناوری، غوطه‌وری، تعادلی و ارتفاع آن را بررسی کند. ۳ـ اصول آب ایستایی را بررسی کند. * هنرجو توانایی بررسی همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ نیروهای ایستایی و دینامیکی را بررسی کند. ۲ـ مرکز شناوری، غوطه‌وری، تعادلی و ارتفاع آن را بررسی کند. ۳ـ اصول آب ایستایی را بررسی کند. * هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			کمتر از حد انتظار	۱ـ نیروهای ایستایی و دینامیکی را بررسی کند. ۲ـ مرکز شناوری، غوطه‌وری، تعادلی و ارتفاع آن را بررسی کند. ۳ـ اصول آب ایستایی را بررسی کند. * هنرجو توانایی بررسی یکی از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

بررسی اصول تعادل

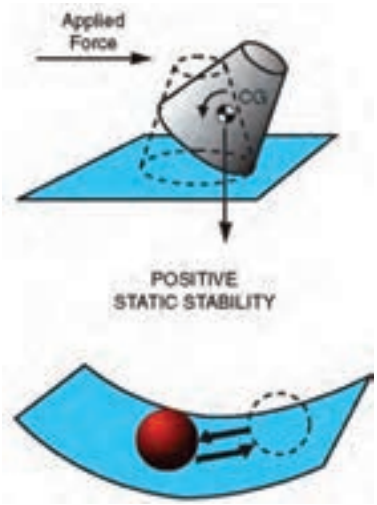
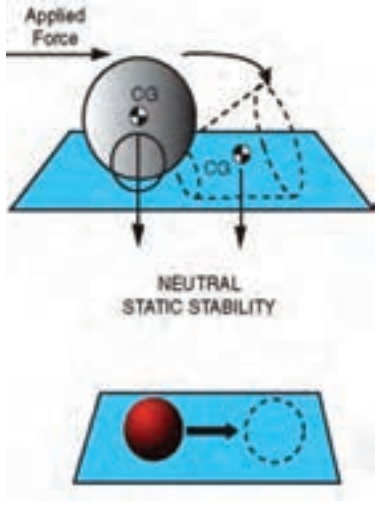
مفهوم تعادل در یک شناور بسیار پیچیده است. اما به‌طور کلی تعادل ایستایی (Static Stability) به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

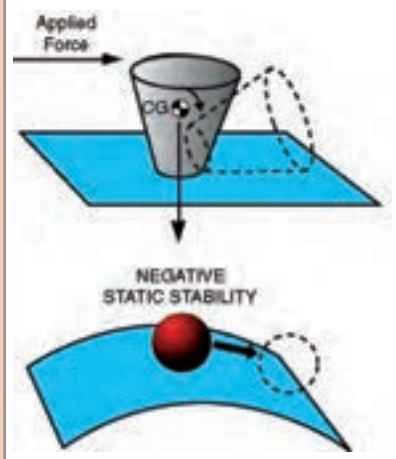
«هرگاه جسمی بی‌حرکت باشد، این جسم دارای تعادل ایستایی است».

برای تعادل نیز حالات مختلفی وجود دارد، که به معرفی تعدادی از آنها می‌پردازیم:

کار در کلاس

جدول زیر را با توجه به تصاویر و حالت‌های مختلف تعادل، تکمیل کنید:

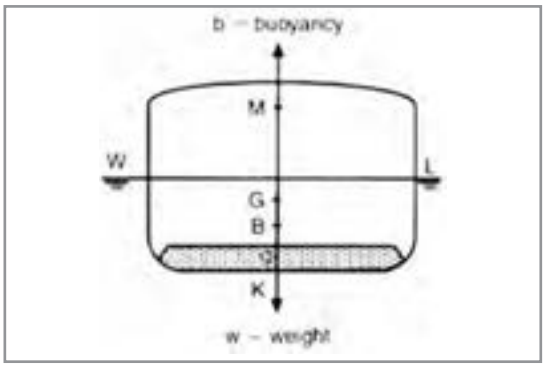
ردیف	حالت تعادل	شرح	تصویر
۱	Stable Stability (تعادل پایا)	اگر جسمی توسط نیرویی خارجی از حالت اولیهٔ خود خارج شود و پس از حذف نیرو، به حالت ..... این جسم دارای تعادل پایا است. شرط تعادل پایا برای یک شناور این است که کشتی‌ها بعد از کج شدن در اثر نیروهای خارجی بتوانند به ..... باز گردند.	
۲	Neutral Stability (تعادل خنثی)	اگر جسمی توسط نیرویی خارجی از حالت اولیهٔ خود خارج شود و پس از حذف نیرو، جسم نیز .....، 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 نیروی وارد بر آن از بین برود، سیلندر به همان حال باقی خواهد ماند.	

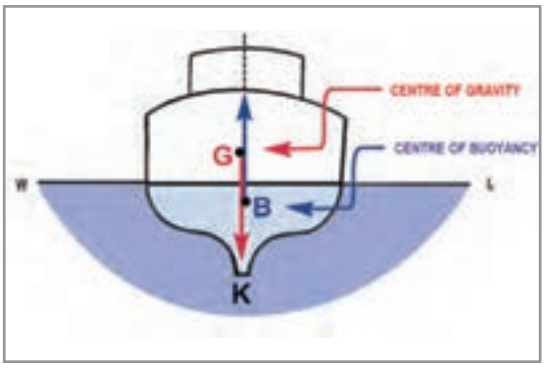
ردیف	حالت تعادل	شرح	تصویر
۳	Unstable Stability (تعادل ناپایا)	اگر جسمی توسط نیرویی ..... از حالت اولیهٔ خود خارج شود و پس از حذف نیرو همچنان ..... دور شود، این جسم دارای تعادل ناپایا است.	

نیروهای وارد بر کشتی

همان‌طور که قبلاً ذکر شد نیروهایی که به کشتی ساکن و شناور وارد می‌شوند، شامل دو نیروی وزن (Gravity.Force) به سمت پایین و فشار آب و یا نیروی شناوری (Bouyancy.Force) به طرف بالا می‌باشند.

وقتی کشتی در حال تعادل است، اثر این دو نیرو بر یک خط قائم قرار دارد. برای شناور ماندن کشتی، این دو نیروی در جهت مخالف، دقیقاً باید با هم برابر باشند.





شکل ۱۰ــ ارتفاع مرکز تعادلی

ارتفاع مرکز تعادلی شناور، معیاری برای پایداری اولیه

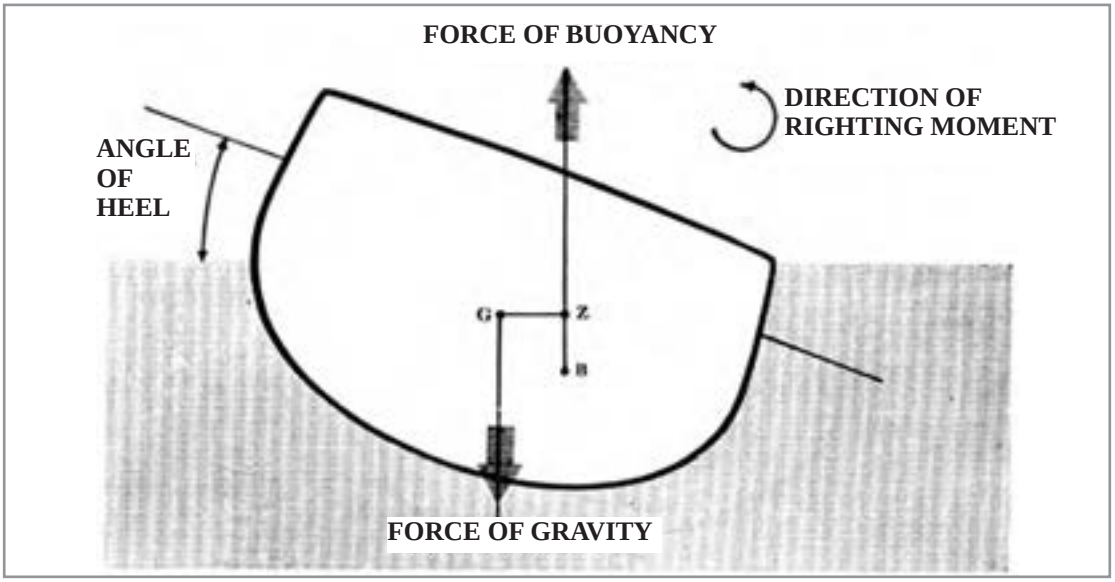
در شکل ۱۰، GM ارتفاع مرکز تعادلی و G مرکز ثقل کشتی نشان داده شده است. هرگاه از مرکز تعادلی و ارتفاع مرکز تعادلی سخن گفته می‌شود، منظور مرکز تعادلی عرضی است، به جز در مواردی که مشخصاً ارتفاع مرکز تعادلی طولی مورد بحث باشد که آن را با GML مشخص می‌کنند.

اگر نقطهٔ M بالای نقطهٔ G باشد، ارتفاع مرکز تعادلی مثبت است و اگر نقطهٔ M پایین نقطهٔ G قرار گیرد مقدار GM، منفی (ارتفاع مرکز تعادلی منفی) است. مطابق بحث قبلی، یک کشتی با GM مثبت دارای تعادل پایاست

و بعد از کج شدن به حالت مستقیم اولیه باز می‌گردد. در حالی که یک کشتی با GM منفی، دارای تعادل ناپایدار است و بعد از مقداری کج شدن، به حالت مستقیم اولیه باز نمی‌گردد و به‌تدریج واژگون می‌شود.
مرکز تعادلی طولی ML همیشه در بالای کشتی قرار دارد. در شرایط عادی، ارتفاع مرکز تعادلی طولی، منفی (GML<۰) نمی‌شود. این بدین معنی است که کشتی‌ها اغلب دارای تعادل پایای طولی هستند.

موقعیت مرکز تعادلی و تأثیر آن بر تعادل

وقتی که کشتی کج می‌شود، شکل قسمت زیر آبی آن تغییر می‌کند و در نتیجه موقعیت مرکز شناوری آن نیز عوض می‌شود؛ ولی موقعیت مرکز ثقل کماکان ثابت می‌ماند. هنگامی‌که کشتی در اثر نیروی خارجی کج شود، مرکز شناوری از روی صفحه تقارن کشتی جابه‌جا شده و در نتیجه، امتداد اثر نیروی شناوری از امتداد اثر نیروی وزن جدا می‌شود. جابه‌جایی در راستای اثر این دو نیروی مساوی و در جهت مخالف، یک گشتاور به‌وجود می‌آورد، که اندازهٔ آن برابر است با حاصل‌ضرب یکی از این دو نیرو (وزن کشتی) در فاصلهٔ مابین دو امتداد اثر نیروها. این گشتاور را که موجب بازگشت کشتی به وضعیت اولیه می‌شود، گشتاور بازگردانندهٔ مثبت می‌نامند و فاصلهٔ عمودی مابین خطوط اثر نیرو را «بازوی بازگرداننده» (GZ) می‌نامند.

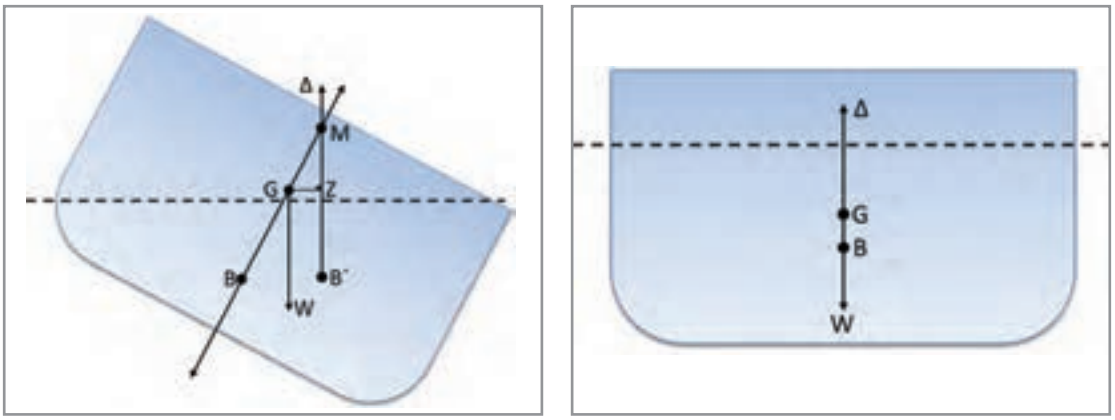


شکل ۱۱ــ گشتاور بازگرداننده مثبت

همان‌طور که قبلاً بیان شد مرکز تعادلی عبارت‌است از محل تلاقی امتداد اثر نیروی شناوری کشتی غلتیده، با امتداد قائم (قبل از غلتش). این نقطه در حالت عادی بر روی هر دو امتداد اثر نیروی وزن و نیروی شناوری قرار می‌گیرد.
در هنگام غلتش سه حالت برای تعادل کشتی قابل پیش‌بینی است:

۱ **مرکز تعادلی بالای مرکز ثقل قرار داشته باشد:** در این حالت، هنگامی که کشتی در اثر نیروی خارجی کج می‌شود، گشتاور بازگردانندهٔ مثبت تشکیل می‌شود و کشتی را به سوی حالت تعادل برمی‌گرداند. در این حالت کشتی تعادل پایا دارد.

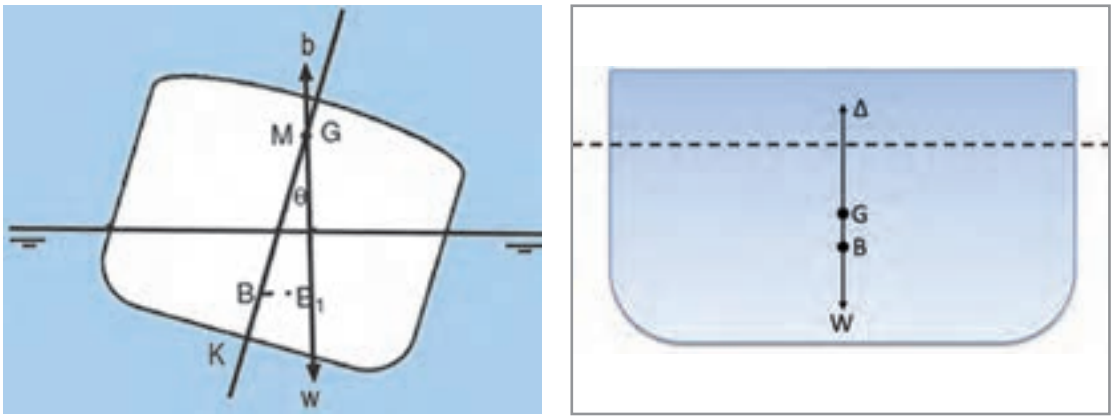
تعادل پایا



شکل ۱۲

۲ مرکز تعادلی و مرکز ثقل بر روی هم قرار گیرند: در این حالت، وقتی کشتی در اثر نیروی خارجی کج می‌شود، امتداد دو نیروی وزن و شناوری همواره در هر زاویهٔ غلتش، درست روبه‌روی هم قرار می‌گیرند و در نتیجه هیچ گشتاوری به‌وجود نمی‌آید و کشتی تعادل خنثی دارد. لذا در همان حالت کج باقی می‌ماند.

تعادل خنثی



شکل ۱۳

۳ مرکز تعادلی در زیر مرکز ثقل قرار گیرد: در این حالت، یک گشتاور منفی (واژگونی) تشکیل می‌شود و کشتی تعادل ناپایا خواهد داشت.

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

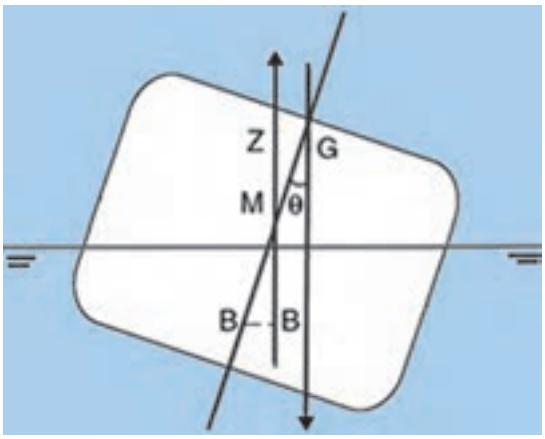
زوایای عرضی شناور

سه تعریف مختلف از زوایای عرضی شناور وجود دارد : زاویهٔ Heel، List و Loll.

زاویهٔ Heel: هنگامی که شناور بر اثر یک نیروی خارجی (مانند موج و باد)، دچار تغییر زاویهٔ عرضی می‌شود، این زاویه را Heel گویند. این زاویه حالت ایستایی دارد و هنگامی که حرکت نوسانی شناور بر اثر یک نیروی خارجی مدنظر باشد، به آن حرکتِ Roll گویند.

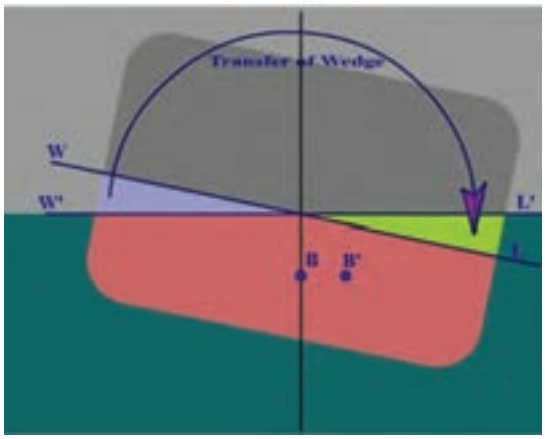
زاویهٔ List: هنگامی که شناور بر اثر یک نیروی داخلی (مثلاً جابه‌جایی عرضی یک کانتینر یا بار داخل انبار) دچار تغییر زاویهٔ عرضی می‌شود و به یک طرف متمایل می‌گردد، به آن زاویهٔ List گویند.

تعادل ناپایا



شکل ۱۴

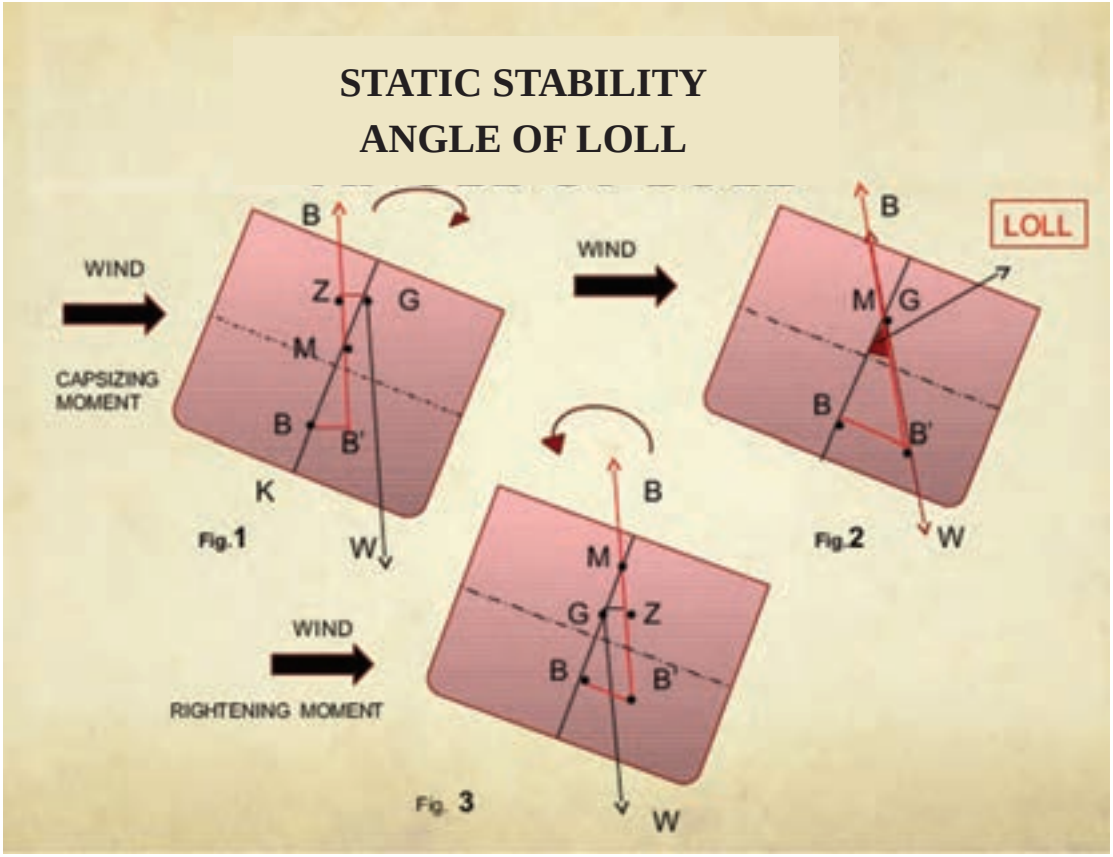
شکل ۱۶ــ زاویهٔ Heel



شکل ۱۵

شکل ۱۷ــ زاویهٔ List

زاویهٔ کجی(Angle of Loll):شناوری که دارای ارتفاع مرکز تعادلی (GM) اولیه است و قبل از کج شدن، مرکز تعادلی (M) در زیر مرکز ثقل (G) قرار دارد، دارای تعادل ناپایا است. در زمانی که نیروی خارجی از قبیل باد مطابق شکل ۱۸ باعث کج شدن شناور شود تا جایی که مرکز شناوری (B) جابه‌جا شده و امتداد نیروهای وزن و شناوری در یک راستا قرار گیرند، زاویه‌ای به نام زاویهٔ کجی به‌وجود می‌آید، در این حالت مرکز تعادلی (M) بر روی مرکز ثقل (G) قرار می‌گیرد. در واقع این زاویهٔ ناشی از ناپایداری شناور است که می‌تواند به دلیل قرار گرفتن بارهای سنگین در نقاط مرتفع کشتی باشد به گونه‌ای که باعث بالا آمدن مرکز ثقل تا بالای مرکز تعادلی شده و ارتفاع مرکز تعادلی منفی ایجاد کرده است. شناوری که دارای زاویهٔ کجی است، ممکن است براثر نیروهای خارجی بیشتر به سادگی واژگون شود.



شکل ۱۸ــ زاویهٔ کجی (Angle of Loll)

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
پایدارسازی کشتی	بررسی اصول تعادل	توانایی تحلیل مسائل مربوط به تعادل	بالاتر از حد انتظار	۱ـ حالت‌های مختلف تعادل شناور را بررسی کند. ۲ـ نیروهای وارد بر کشتی را بررسی کند. ۳ـ زوایای عرضی List و کجی شناور را بررسی کند. *هنرجو توانایی بررسی همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ حالت‌های مختلف تعادل شناور را بررسی کند. ۲ـ نیروهای وارد بر کشتی را بررسی کند. ۳ـ زوایای عرضی List و کجی شناور را بررسی کند. * هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			کمتر از حد انتظار	۱ـ حالت‌های مختلف تعادل شناور را بررسی کند. ۲ـ نیروهای وارد بر کشتی را بررسی کند. ۳ـ زوایای عرضی List و کجی شناور را بررسی کند. * هنرجو توانایی بررسی یکی از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

محاسبات شناوری و غوطه‌وری

چگالی و وزن مخصوص :(Density And Specific Gravity)

می‌دانیم که تغییرات مقدار آب جابه‌جا شده به‌وسیلهٔ یک شناور بستگی به چگالی آب دارد. و بدین معنی است که اگر وزن کشتی ثابت باشد. آن را یک بار در آب شور و بار دیگر در آب شیرین قرار دهیم نتیجه می‌گیریم که اگر کشتی در آب با چگالی کم قرار گیرد، مقدار فرورفتگی آن بیشتر از مقدار فرورفتگی همان کشتی در آبی با چگالی بیشتر خواهد بود. یعنی چون چگالی آب شور بیشتر از آب شیرین است، در نتیجه کشتی در آب شیرین بیشتر فرو خواهد رفت. همچنین اگر کشتی بارگیری نماید (یعنی وزن کشتی افزایش یابد) فرورفتگی آن در آب بیشتر از کشتی‌ای خواهد بود که باری را تخلیه نماید. می‌توان گفت چگالی عبارت است از مقدار جرم اجسام در واحد حجم. مثلاً چگالی آب شیرین(FW) برابر است با ۱۰۰۰ کیلوگرم در متر مکعب و چگالی آب شور(SW) برابر است با ۱۰۲۵ کیلوگرم در متر مکعب.

چگالی نسبی یا وزن مخصوص(SG)Specific Gravity :

چگالی نسبی عبارت است از نسبت وزن یک جسم بر وزن آب شیرین هم حجم آن. اگر حجمی برابر با یک متر مکعب را در نظر بگیریم چگالی نسبی یا غلظت نسبی آن جسم عبارت خواهد بود از نسبت چگالی آن جسم بر چگالی آب شیرین.یعنی:

$$\text{(چگالی نسبی) } SG = \frac{\text{چگالی جسم (ماده)}}{\text{چگالی آب شیرین}}$$

می‌دانیم که چگالی آب شیرین برابر است با ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب. بنابراین خواهیم داشت:

$$\text{چگالی یک جسم (ماده)} = \frac{\text{چگالی یک جسم در کیلو گرم بر متر مکعب}}{۱۰۰۰}$$

مثال ۱: در صورتی که غلظت آب شور ۱۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب باشد. چگالی نسبی آن را پیدا کنید.

داریم:

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی آب شور در متر مکعب}}{۱۰۰۰}$$

$$\text{چگالی نسبی آب شور} = \frac{۱۰۲۵}{۱۰۰۰} = ۱/۰۲۵$$

کار در کلاس

با توجه به مبحث چگالی نسبی، جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید.
مخزنی دارای ۱۲۰ تن آب شیرین است، در صورتی که مخزن کاملاً پر از آب باشد، این مخزن چه مقدار روغن با چگالی نسبی ۰/۴۸ گنجایش دارد.

جواب:

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{جرم روغن}}{\text{جرم آب شیرین}}$$

جرم ..... * جرم ..... = جرم روغن

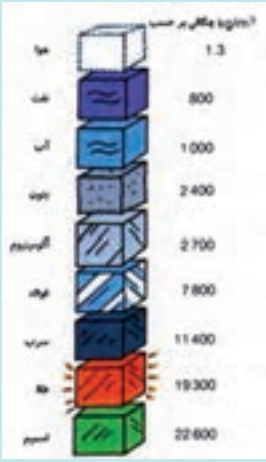
..... * ..... = جرم روغن

جرم روغن برابر ..... تن می‌باشد.

بیشتربدانید

چگالی

مردم گاهی می‌گویند سرب سنگین‌تر از پَر است. اما یک‌گونی بزرگ پُر از پَر، سنگین‌تر از یک ساچمه سربی است. پس واژه سنگینی مفهوم متفاوتی دارد. بنابراین، برای بیان دقیق باید بگوییم چگالی سرب بیشتر از چگالی پر است و در مورد شیر و آب نیز این امر صادق است. وقتی می‌گوییم که فولاد سنگین تر از چوب است باید توجه به حجم آن داشته باشیم. برای مقایسه سنگینی اجسام باید حجم یکسانی از آنها را در نظر آوریم. جرم یک مکعب از فولاد خیلی بیشتر از جرم همان جسم از چوب است. چگالی مقدار جرم موجود در واحد حجم ماده است که آن را با علامت اختصاری ρ نشان می‌دهند که از رابطهٔ $\rho=V/m$ یا $D=V/m$ به‌دست می‌آید. در این رابطه D یا ρ چگالی ماده، m جرم جسم و V حجم اشغال شده توسط آن ماده می‌باشد.



در تصویر روبه‌رو چگالی(وزن مخصوص یا جرم حجمی) مواد مختلف نشان داده شده است.

تمرین

یک شناور جعبه‌ای شکل با طول ۱۲۰ و عرض ۱۶ متر دارای آبخور ۶ متر در آب شور دریا (جرم حجمی ۱۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب) می‌باشد، چه مقدار بار می‌تواند بارگیری کند تا آبخور شناور به ۸ متر در آب شور دریا برسد؟

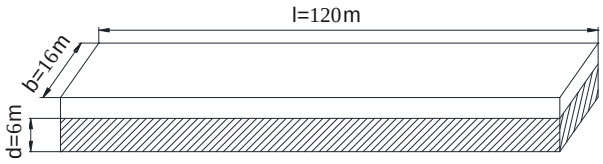
جواب:

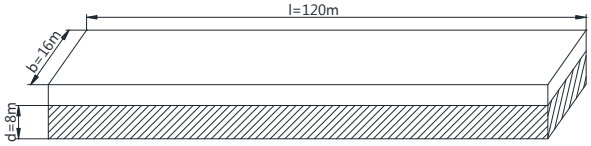
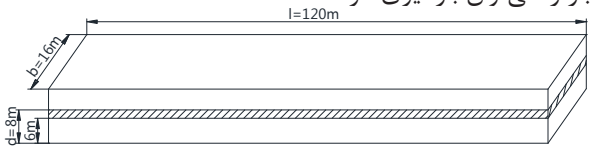
گام اول

حجم قسمت غوطه‌وری (زیر آب)کشتی را برای آبخور ۶ متر به‌دست می‌آوریم:

$\Delta 1=v\times \varphi$ $\quad v=l\times b\times d \quad \rightarrow\rightarrow\rightarrow \quad ۱۲۰\times۱۶\times۶=۱۱۵۲۰$

حجم زیر آب کشتی برابر ۱۱۵۲۰ مترمکعب می‌باشد.



گام دوم	وزن جا به‌جایی کشتی را برای آبخور ۶ متر به‌دست می‌آوریم: $\Delta 1=11520\times 1/025=11808\ t$ $\Delta 1=11808$ وزن جابه‌جایی کشتی با آبخور ۶ متر برابر ۱۱۸۰۸ تن است.
گام سوم	حجم قسمت غوطه‌وری (زیر آب)کشتی را برای آبخور ۸ متر به‌دست می‌آوریم: $v=120\times 16\times 8=15360$ حجم زیر آب کشتی برابر ۱۵۳۶۰ مترمکعب می‌باشد. 
گام چهارم	وزن کشتی را برای آبخور ۸ متر به‌دست می‌آوریم: $\Delta=15360\times 1/025=15744$ وزن کشتی با آبخور ۸ متر برابر ۱۵۷۴۴ تن است.
گام پنجم	اختلاف وزن جابه‌جایی کشتی بین آبخور ۸ متر و ۶ متر، مقدار بار قابل بارگیری را مشخص می‌کند: $\Delta-\Delta 1=15744-11808=3936\ t$ مقدار ۳۹۳۶ تن بار را می‌توان بارگیری کرد. 

کار در کلاس

با توجه به تمرین قبل، جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
مسئله	یک شناور جعبه‌ای شکل با طول ۱۰۰ و عرض ۱۴ متر دارای آبخور ۵ متر در آب با جرم حجمی ۱۰۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد، چه مقدار بار می‌تواند بارگیری کند تا آبخور شناور به ۷ متر در آب شور دریا (جرم حجمی ۱۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب) برسد؟
جواب:	
گام اول	حجم قسمت غوطه‌وری (زیر آب)کشتی را برای آبخور ۵ متر به‌دست آورید: ..... حجم زیر آب کشتی برابر ..... مترمکعب می‌باشد.
گام دوم	وزن کشتی را برای آبخور ۵ متر به‌دست آورید: ..... وزن کشتی با آبخور ۵ متر برابر ..... تن است.
گام سوم	حجم قسمت غوطه‌وری (زیر آب) کشتی را برای آبخور ۷ متر به‌دست آورید: ..... حجم زیر آب کشتی برابر ..... مترمکعب می‌باشد.

گام چهارم	وزن کشتی را برای آبخور ۷ متر به‌دست آورید: ..... وزن کشتی با آبخور ۷ متر برابر ..... تن است.
گام پنجم	اختلاف وزن کشتی بین آبخور ۷ متر و ۵ متر، مقدار بار قابل بارگیری را مشخص می‌کند: ..... مقدار ..... تن بار را می‌توان بارگیری کرد.

کار در منزل

با توجه به تمرین قبل، جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
مسئلهٔ اول	یک شناور بارج به‌طول ۸۰ و عرض ۱۲ متر دارای آبخور ۴ متر در آب با جرم حجمی ۱۰۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. در صورتی که مقدار ۲۰۰۰ تن بار، بارگیری شود، مقدار آبخور نهایی شناور در آب شور دریا (جرم حجمی ۱۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب) را به‌دست آورید.
جواب:	
گام اول	حجم قسمت غوطه‌وری(زیرآب) کشتی را برای آبخور ۴ متر به دست آورید. ..... حجم زیر آب کشتی برابر ..... متر مکعب می‌باشد.
گام دوم	وزن کشتی را برای آبخور ۴ متر به‌دست آورید. ..... وزن کشتی با آبخور ۴ متر برابر ..... تن است.
گام سوم	وزن کشتی را بعد از بارگیری به‌دست آورید. ..... وزن کشتی بعد از بارگیری برابر ..... تن می‌باشد.
گام چهارم	آبخور نهایی کشتی را (بعد از بارگیری) به‌دست آورید. ..... آبخور نهایی کشتی (بعد از بارگیری) برابر ..... متر است.
مسئلهٔ دوم	یک شناور بارج به طول ۴۰ و عرض ۸ متر دارای آبخور ۶ متر در آب با جرم حجمی ۱۰۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. در صورتی که مقدار ۵۰۰ تن بار آن تخلیه شود، مقدار آبخور نهایی شناور در آب بندر (جرم حجمی ۱۰۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب) را به‌دست آورید؟
جواب:	
گام اول	حجم قسمت غوطه‌وری (زیر آب)کشتی را برای آبخور ۶ متر به‌دست آورید. ..... حجم زیر آب کشتی برابر ..... مترمکعب می‌باشد.
گام دوم	وزن کشتی را برای آبخور ۶ متر به‌دست آورید. ..... وزن کشتی با آبخور ۶ متر برابر ..... تن است.

گام سوم	وزن کشتی را بعد از تخلیهٔ بار به‌دست آورید. ..... وزن کشتی را بعد از تخلیهٔ بار برابر ..... تن می‌باشد.
گام چهارم	آبخور نهایی کشتی را (بعد از تخلیه) به‌دست آورید. ..... آبخور نهایی کشتی (بعد از تخلیه) برابر ..... متر است.

تغییرات آبخور شناور در صورت ثابت بودن وزن آن:

گاهی چگالی آب، متفاوت از چگالی آب شور یا شیرین می‌باشد. در این مواقع از فرمولی استفاده می‌شود که به راحتی مقدار آبخور جدید را محاسبه می‌کند. این فرمول با استفاده از آبخور اولیه و چگالی آب در مبدأ و مقصد، میزان آبخور جدید شناور را به‌دست می‌آورد. فرمول از این قرار است:

$$\frac{\text{old draft}}{\text{new draft}} = \frac{\text{new density}}{\text{old density}} \quad \text{و یا} \quad \frac{\text{آبخور قدیم}}{\text{آبخور جدید}} = \frac{\text{چگالی جدید}}{\text{چگالی قدیم}}$$

این فرمول به منظور محاسبهٔ مقدار آبخور در حرکت از آب‌های با چگالی معلوم به‌کار می‌رود.

مثال: چنانچه شناوری از آبی با غلظت ۱۰۰۵ کیلوگرم بر متر مکعب با آبخور ۵/۲ متر به آبی با چگالی ۱۰۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب عزیمت می‌کند. آبخور جدید شناور را محاسبه کنید.

جواب: با توجه به فرمول داریم:

$$\frac{\text{آبخور قدیم}}{\text{آبخور جدید}} = \frac{\text{چگالی جدید}}{\text{چگالی قدیم}}$$

$$\frac{۵/۲}{\text{آبخور جدید}} = \frac{۱۰۲۰}{۱۰۰۵} \longrightarrow ۱۰۰۵ \times ۵/۲ = ۱۰۲۰ \times \text{new d} \longrightarrow \text{new d} = \frac{۱۰۰۵ \times ۵/۲}{۱۰۲۰} = ۵/۱۲\text{m}$$

مقدار آبخور شناور در شرایط بالا برابر با ۵/۱۲ متر می‌باشد.

کار در کلاس

با توجه به مثال قبل، جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
مسئله	چنانچه شناوری از آبی با چگالی ۱۰۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب با آبخور ۶/۵ متر به آبی با چگالی ۱۰۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب عزیمت می‌کند. آبخور جدید شناور را محاسبه کنید.

جواب	$\frac{\text{چگالی جدید}}{\text{چگالی قدیم}} = \frac{\text{آبخور قدیم}}{\text{آبخور جدید}}$ ..... مقدار آبخور شناور در شرایط بالا برابر با ..... متر می‌باشد.

کار در منزل

کار در منزل	با توجه به تمرین قبل، جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:
مسئلهٔ اول	چنانچه شناوری از آبی با چگالی ۱۰۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب با آبخور ۸/۵ متر به آبی با چگالی ۱۰۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب عزیمت می‌کند. آبخور جدید شناور را محاسبه کنید.
جواب	$\frac{\text{چگالی جدید}}{\text{چگالی قدیم}} = \frac{\text{آبخور قدیم}}{\text{آبخور جدید}}$ ..... مقدار آبخور شناور در شرایط بالا برابر با ..... متر می‌باشد.
مسئلهٔ دوم	شناوری از آبی با چگالی ۱۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب با آبخور ۱۰/۶ متر به بندری با چگالی آب ۱۰۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب وارد می‌شود. آبخور جدید شناور را در بندر محاسبه کنید.
جواب	$\frac{\text{چگالی جدید}}{\text{چگالی قدیم}} = \frac{\text{آبخور قدیم}}{\text{آبخور جدید}}$ ..... مقدار آبخور شناور در شرایط بالا برابر با ..... متر می‌باشد.

آبخور شناور

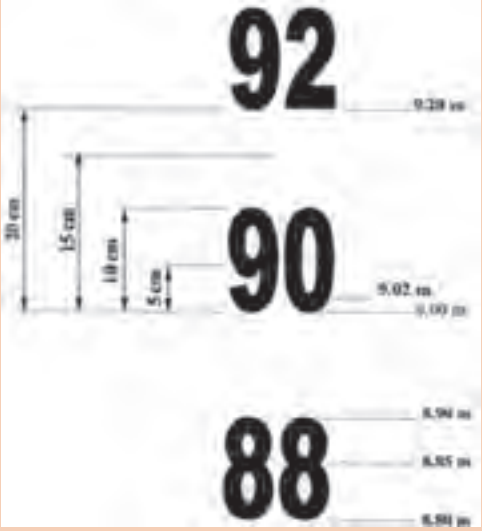
معمولاً آبخور را با اعدادی که در قسمت سینه، وسط و پاشنه شناور حک شده است، نشان می‌دهند. این اعداد معمولاً مقدار آبخور شناور را بر حسب فوت و یا متر بیان می‌کنند.

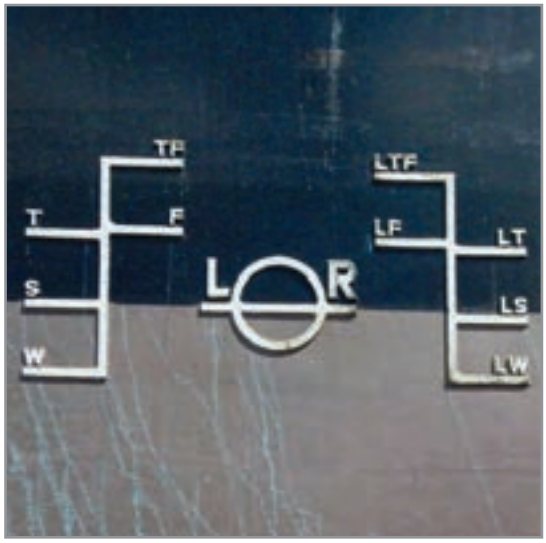
روش خواندن مقدار آبخور شناور

ارتفاع هر عدد مطابق شکل روبه‌رو برابر ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد.

فکر کنید

با توجه به توضیحات بالا درخصوص عدد ۸ و ۹، شما معیار اندازه‌گیری ارتفاع آبخور برای عدد ۲ و ۴ را بررسی کنید.



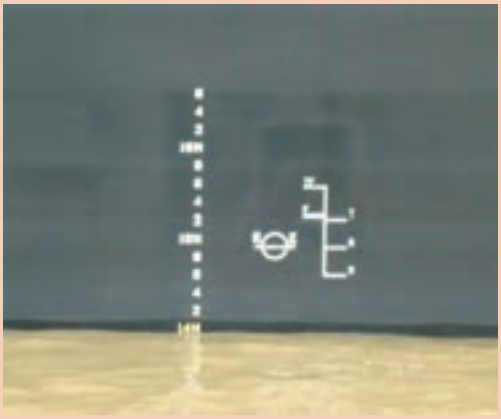


شکل ۱۹

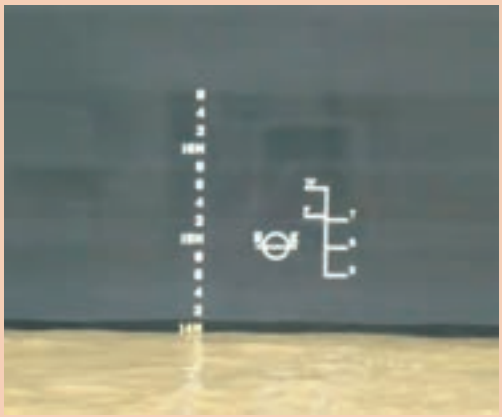
کار در کلاس

با توجه به تصاویر جدول، مقدار آبخور شناورها را مشخص کنید.

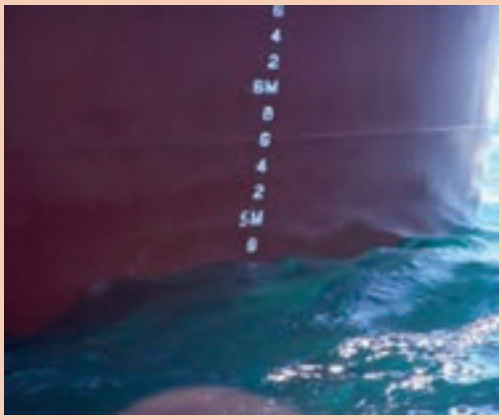
مقدار آبخور ----- متر.



مقدار آبخور ----- متر.



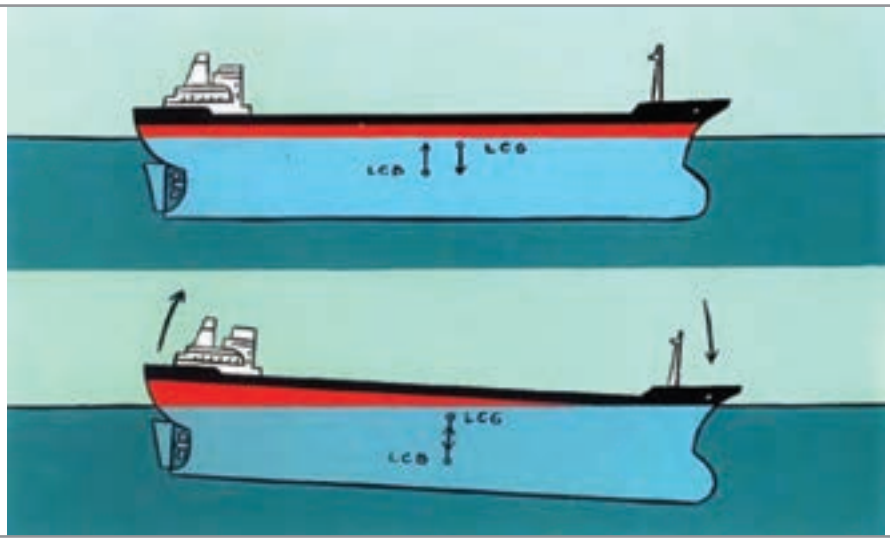
مقدار آبخور ----- متر.



مقدار آبخور ----- متر.

شیب طولی (TRIM)

آبخور شناورها در سه محل اندازه‌گیری می‌شود. این سه محل عبارت‌اند از **سینه، پاشنه** و **میانهٔ** شناور. حال اگر به عدد این آبخور دقت کنیم، متوجه می‌شویم که اگر پاشنه سنگین‌تر باشد، مقدار آبخور در پاشنه بیشتر می‌شود. در واقع پاشنهٔ شناور بیشتر از سینه در آب فرو می‌رود. زمانی که آبخور پاشنه بیشتر از سینه و یا آبخور سینه بیشتر از پاشنه باشد، شناور دارای شیب طولی (Trim) می‌باشد. **شیب طولی به سینه (Trim by Head)** زمانی است که آبخور سینهٔ شناور بیشتر از پاشنهٔ آن باشد و **شیب طولی به پاشنه (Trim by Aft)** زمانی است که آبخور پاشنهٔ بیشتر از آبخور سینهٔ شناور باشد. مقدار شیب طولی شناور تفاوت مقدار عدد آبخور سینه و پاشنهٔ آن است. در حالتی که آبخور سینه و پاشنه با یکدیگر مساوی باشند، حالت تراز طولی (Even Keel) در شناور به‌وجود می‌آید.



شکل ۲۰ـ شیب طولی (Trim)

کار در کلاس

با توجه به تمرین قبل، جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
آبخور سینهٔ شناور ۵/۵ متر (TF = ۵/۵ m) و آبخور پاشنهٔ شناور ۶/۷ متر (TA = ۶/۷ m) می‌باشد. مقدار شیب طولی (Trim) شناور را محاسبه کنید.	
جواب	Trim = ... چون مقدار آبخور ..... شناور بیشتر از آبخور ..... شناور است، لذا مقدار تریم برابر ..... متر به ..... می‌باشد.

آبخور متوسط: میانگین آبخور سینه و پاشنهٔ شناور را آبخور متوسط می‌نامند.

کار در کلاس

جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
آبخور سینهٔ شناور ۵/۵ متر (TF = ۵/۵ m) و آبخور پاشنهٔ شناور ۴/۵ متر (TA = ۴/۵ m) می‌باشد. مقدار آبخور متوسط و شیب طولی (Trim) شناور را محاسبه کنید.	
آبخور متوسط	..... آبخور متوسط شناور برابر ..... متر می‌باشد.
شیب طولی شناور	Trim = ... چون مقدار آبخور ..... شناور بیشتر از آبخور ..... شناور است، لذا مقدار تریم برابر ..... متر به ..... می‌باشد.

Tons Per Centimeter (TPC)

کشتی همیشه مقدار آبی برابر با وزن خود را جابه‌جا می‌کند؛ اگر وزنه‌ای به آن افزوده شود، کشتی بیشتر در آب فرو می‌رود و خط آبخور جدیدی پیدا خواهد کرد که فاصلهٔ بین دو خط آبخور برابر با مقدار بار اضافه شده است.

در محاسبات تغییر وزن جابه‌جایی، نسبت به تغییرات آبخور شناور، دانستن این نکته بسیار مهم است که بدانیم، چند تن بار لازم است بارگیری و یا تخلیه شود تا مقدار آبخور شناور به اندازهٔ یک سانتی‌متر تغییر کند؟

TPC مقدار وزنی است بر حسب تن که می‌تواند آبخور شناور را به اندازهٔ یک سانتی‌متر تغییر دهد. این مقدار در محاسبات مقدار آبخور در حین بارگیری یا تخلیه بسیار مهم می‌باشد. همچنین در محاسبات تغییرات آبخور سینه و پاشنهٔ شناور از این عدد استفاده می‌شود.

بیشتر بدانید

مقدار عددی TPC بستگی به شکل بدنهٔ شناور، چگالی آب و مساحت صفحهٔ آبخور شناور دارد. فرمول محاسبهٔ TPC برای شناوری با مساحت صفحهٔ آبخور A و شکل مستطیل، در آبی با غلظت نسبی ۱/۰۲۵ به‌صورت زیر می‌باشد:

$$TPC = \frac{A \times ۱/۰۲۵}{۱۰۰}$$

محاسبهٔ تغییرات آبخور: بارگیری و یا تخلیه باعث تغییر مقدار آبخور شناور می‌گردد. این تغییرات با توجه به مقدار وزن بار و مقدار TPC قابل محاسبه است. از آنجایی که TPC مقدار باری است که آبخور شناور را یک سانتی‌متر تغییر می‌دهد، برای به‌دست آوردن مقدار تغییر آبخور کافی است وزن بار تخلیه و یا بارگیری شده را بر عدد TPC تقسیم کنیم؛ آنگاه مقدار تغییرات آبخور محاسبه می‌گردد. چنانچه شناور در حال تخلیه باشد، واضح است که آبخور آن کم شده و اگر در حال بارگیری باشد آبخور آن زیادتر می‌شود.

مثال: شناوری با TPC= ۱۲ ، باری به وزن ۶۰ تن را بارگیری می‌کند. مطلوب است مقدار تغییر آبخور شناور؟

جواب:

$$\text{تغییرات آبخور} = \frac{\text{وزن بار}}{\text{TPC}}$$

$$\text{تغییرات آبخور} = \frac{\quad}{\text{TPC}} = \frac{۶۰}{۱۲} = ۵\text{cm}$$

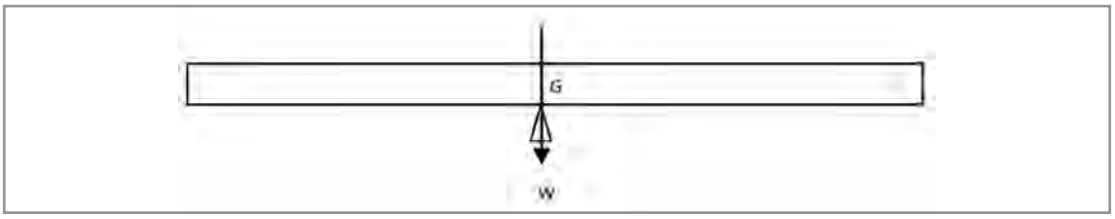
کار در کلاس

جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
شناوری دارای آبخور متوسط ۵/۵ متر با TPC= ۵ ، باری به وزن ۱۰۰ تن را بارگیری می‌کند. مطلوب است مقدار آبخور متوسط شناور بعد از بارگیری.	
گام اول	محاسبهٔ مقدار تغییر آبخور شناور: $\text{تغییرات آبخور} = \frac{\text{وزن بار}}{\text{TPC}}$ تغییرات آبخور = ...
گام دوم	مقدار آبخور نهایی: ..... مقدار آبخور نهایی شناور برابر ..... متر می‌باشد.

کار در منزل

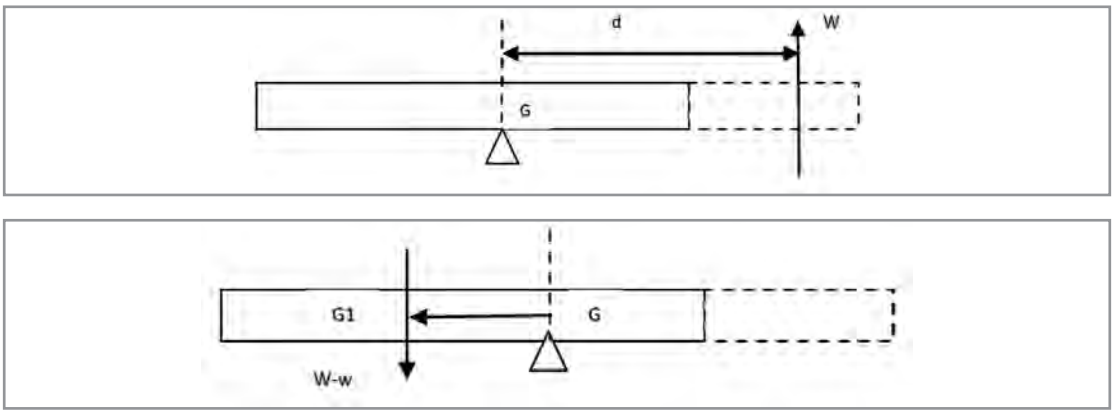
جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
شناوری دارای آبخور متوسط ۷/۵ متر با TPC= ۸ ، باری به وزن ۱۲۰ تن را تخلیه می‌کند. مطلوب است مقدار آبخور متوسط شناور بعد از عملیات تخلیه.	
گام اول	محاسبهٔ مقدار تغییر آبخور شناور: $\text{تغییرات آبخور} = \frac{\text{وزن بار}}{\text{TPC}}$ تغییرات آبخور = ...
گام دوم	مقدار آبخور نهایی: _____ مقدار آبخور نهایی شناور برابر ..... متر می‌باشد.

کاربرد مرکز ثقل: فرض کنید یک قطعه تختهٔ همگن در اختیار داریم. می‌دانیم که مرکز ثقل آن در مرکز هندسی آن قرار دارد. یعنی در وسطِ طول، عرض و ارتفاع. حال اگر وزن تخته،w کیلوگرم باشد و وسط تخته را روی یک پایه قرار دهیم همان‌طور که در شکل ۲۱ دیده می‌شود تخته به حالت تعادل قرار خواهد گرفت.



شکل ۲۱ــ مرکز ثقل تخته همگن

اکنون طولی از تختهٔ فوق را به وزنw کیلوگرم که فاصلهٔ مرکز ثقل آن قسمت تا مرکز ثقل اصلی d است، جدا می‌کنیم. بنابراین، طرف دیگر چوب طبیعتاً سنگین‌تر خواهد شد. این سنگینی باعث می‌شود که آن طرف از چوب به سمت پایین حرکت کند. با توجه به شکل ۲۲ مشاهده خواهید کرد که با برداشتن قسمتی از یک طرف تخته، گشتاوری برابر با W×D ایجاد می‌شود که تخته را حول مرکز ثقل، عکس حرکت عقربه‌های ساعت می‌گرداند. حال با توجه به‌طول جدید تخته، همان‌طور که در شکل ۲۲ نشان داده شده است، مرکز ثقل به وسط طول جدید تخته جابه‌جا خواهد شد.



شکل ۲۲ــ جابه‌جایی مرکز ثقل تخته همگن پس از بریده شدن

یعنی از نقطهٔ G به نقطه G_1 حرکت می‌کند. وزن جدید تخته W_w کیلوگرم، ایجاد گشتاوری حول نقطهٔ G می‌نماید.

$$\text{گشتاور حاصل} = (W_w) \times GG_1$$

تا وقتی که این دو نیروی مختلف‌الجهت اثری مانند هم داشته باشند، گشتاورشان نیز باید یکی باشد. با توجه به شکل‌های ۲۱ و ۲۲ خواهیم داشت :

$$(W_w) \times G\,G_1 = W \times d$$

و یا:

$$G\,G_1 = \frac{w \times d}{W - w} \ \text{متر}$$

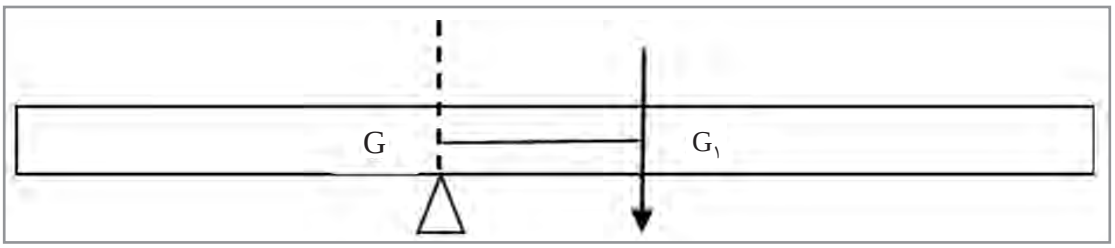
از مطالب فوق نتیجه می‌گیریم که وقتی جرمی از یک جسم برداشته شود، مرکز ثقل آن جسم به‌طور مستقیم در عکس جهت مرکز ثقل جرم برداشته شده حرکت می‌نماید و فاصلهٔ طی شده از فرمول:

$$G\,G_1 = \frac{w \times d}{\text{جرم نهایی}}$$

برحسب متر به‌دست می‌آید.

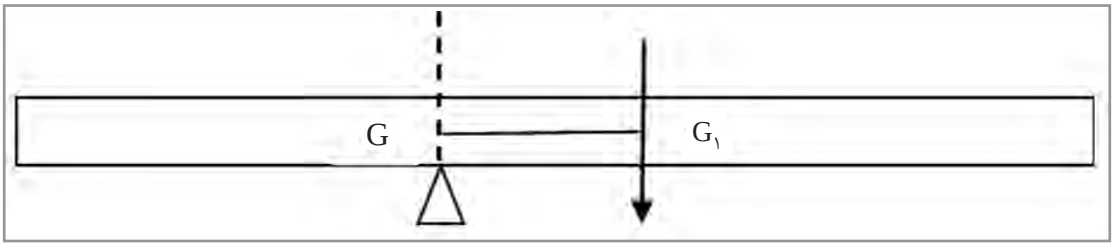
GG_1 عبارت است از مسافت جابه‌جا شدهٔ مرکز ثقل، w برابر است با جرم برداشته شده و d فاصلهٔ بین مرکز ثقل جرم برداشته شده تا مرکز ثقل جسم اولیه.

اکنون به بررسی این موضوع می‌پردازیم که در صورت اضافه کردن وزنه چه شرایطی پیش می‌آید؟ بار دیگر این آزمایش را روی یک تخته همگن انجام می‌دهیم. در شکل ۲۳ وقتی تخته روی مرکز ثقل خود قرار می‌گیرد به حالت تعادل می‌ایستد. حال اگر وزنهٔ W کیلوگرمی را در فاصلهٔ d از مرکز ثقل آن اضافه نماییم، خواهیم دید که طرف سنگین آن به طرف پایین به حرکت درخواهد آمد.



شکل ۲۳ـ ایجاد گشتاور بر اثر اضافه شدن وزن تخته

با اضافه‌کردن وزن W کیلوگرم در فاصلهٔ d از نقطهٔ G، گشتاوری نسبت به نقطهٔ G از فرمول w×d کیلوگرم متر به وجود می‌آید. حال طول جدید تخته را طبق شکل ۲۴ بررسی می‌نماییم.



شکل ۲۴ـ جابه‌جایی مرکز ثقل تختهٔ همگن پس از اضافه شدن وزن

مرکز ثقل جدید در فاصلهٔ نصف طول جدید قرار خواهد گرفت (G_1) و وزن جدید تخته، W+w کیلوگرم می‌شود. در این حال گشتاوری برابر با $GG_1 \times (W+w)$ کیلوگرم نسبت به G ایجاد می‌شود. دو گشتاور فوق باید با هم برابر باشند. شکل های ۲۳ و ۲۴. یعنی: $(W+w)\times GG_1 = w \times d$ و یا

$$G\,G_1 = \frac{w \times d}{W + w} \text{ متر}$$

از مطالب گفته شده نتیجه می‌گیریم که وقتی وزنه‌ای را به شناور اضافه نماییم، مرکز ثقل آن شناور مستقیماً به طرف مرکز ثقل وزنه جابه‌جا می‌شود و فاصلهٔ پیموده شده توسط G از رابطهٔ زیر به‌دست خواهد آمد:

$$G G_1 = \frac{w \times d}{\text{وزن جابه‌جایی نهایی}}$$

در این رابطه:

GG_1 برابر تغییر مکان مرکز ثقل شناور؛

W برابر وزنه اضافه شده؛

d برابر فاصلهٔ بین دو مرکز ثقل می‌باشد.

کار در کلاس

جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
وزن جابه‌جایی (Displacement) کشتی ۳۲۰۰ تن است. در صورتی که یک وزنهٔ ۲۰۰ تنی در فاصلهٔ ۱۷ متری از مرکز ثقل اولیهٔ آن افزوده شود، جابه‌جایی مرکز ثقل آن را پیدا کنید.	
گام اول	محاسبهٔ مقدار گشتاور ایجادی بر اثر مقدار ۲۰۰ تن وزنهٔ بارگیری شده: w × d = ...
گام دوم	مقدار وزن جابه‌جایی نهایی: W+w= ..... مقدار وزن جابه‌جایی نهایی شناور برابر ..... تن می‌باشد.
گام سوم	محاسبهٔ مقدار جابه‌جایی مرکز ثقل شناور پس از بارگیری: $G G_1 = \frac{w \times d}{\text{وزن جابه‌جایی نهایی}}$ GG_1 = ...

کار در منزل

جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
وزن جابه‌جایی (Displacement) کشتی ۲۰۰۰۰ تن است. در صورتی که یک وزنهٔ ۳۰۰ تنی در فاصلهٔ ۱۰ متری از مرکز ثقل اولیهٔ آن تخلیه شود، جابه‌جایی مرکز ثقل آن را پیدا کنید.	
گام اول	محاسبهٔ مقدار گشتاور ایجادی بر اثر مقدار ۳۰۰ تن وزنهٔ تخلیه شده: w × d = ...

گام دوم	مقدار وزن جابه‌جایی نهایی: W_w= ..... مقدار وزن جابه‌جایی نهایی شناور برابر ـــــــ تن می‌باشد.
گام سوم	محاسبهٔ مقدار جابه‌جایی مرکز ثقل شناور پس از تخلیه: $GG_1 = \frac{w \times d}{\text{وزن جابه‌جایی نهایی}}$ GG_1 = ...

فاصلهٔ مرکز ثقل تا کف شناور(KG)

KG در یک کشتی عبارت است از ارتفاع قائم نقطهٔ مرکز ثقل نسبت به موقعیت کف کشتی (Keel). این فاصله و یا ارتفاع را معمولاً با KG نشان می‌دهند. بر مبنای همین تعریف، اصطلاح زیر نیز برای کشتی‌ها بیان می‌شود:

Light KG: ارتفاع نقطهٔ 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، Light KG است.

محاسبهٔ KG نهایی بر اثر بارگیری یا تخلیهٔ کالا (یک مرحله)

همان‌طور که در مبحث گذشته بیان شد، پس از بارگیری، تخلیه و جابه‌جایی بار در کشتی مرکز ثقل آن جابه‌جا خواهد شد. از آنجا که کف کشتی (Keel) ثابت است، لذا پس از جابه‌جایی مرکز ثقل کشتی، مقدار فاصلهٔ مرکز ثقل جدید کشتی با کف کشتی جابه‌جا خواهد شد، بنابراین مقدار KG نهایی شناور معمولاً در مباحث تعادلی شناور محاسبه می‌شود.

تمرین

شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۱۲۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۶ متر است. در صورتی که یک بار ۵۰۰ تنی در فاصلهٔ ۱۰ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.	
جواب:	
گام اول	محاسبهٔ مقدار گشتاور ایجادی بر اثر مقدار ۵۰۰ تن وزن بارگیری شده: w × d = ۵۰۰× ۱۰= ۵۰۰۰ t.m
گام دوم	مقدار وزن جابه‌جایی نهایی: W+w= ۱۲۰۰۰+ ۵۰۰= ۱۲۵۰۰ t مقدار وزن جابه‌جایی نهایی شناور برابر ۱۲۵۰۰ تن می‌باشد.

گام سوم	محاسبه مقدار جابه‌جایی مرکز ثقل شناور پس از بارگیری: $GG_1 = \frac{w \times d}{\text{وزن جابه‌جایی نهایی}}$ $GG_1 = \frac{۵۰۰۰}{۱۲۵۰۰} = ۰/۴\ m$ چون بارگیری به سمت کف کشتی انجام شده است، بنابراین مرکز ثقل ۰/۴ به سمت کف کشتی جابه جا شده است.
گام چهارم	محاسبهٔ مقدار KG نهایی شناور پس از بارگیری ۵۰۰ تن: $Final\ KG = KG_1 = KG - GG_1 = ۶ - ۰/۴ = ۵/۶\ m$ مقدار KG نهایی شناور پس از بارگیری برابر ۵/۶ متر است.

کار در کلاس

جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
مسئله	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۵۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۴/۴ متر است. در صورتی که یک بار ۲۰۰ تنی در فاصلهٔ ۵ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری شود. مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.
جواب:	
گام اول	محاسبهٔ مقدار گشتاور ایجادی بر اثر مقدار ۲۰۰ تن وزن بارگیری شده: $w \times d = \ldots\ldots = \ldots\ldots\ t.m$
گام دوم	مقدار وزن جابه‌جایی نهایی: $W + w = \ldots\ldots = \ldots\ldots\ t$ مقدار وزن جابه‌جایی نهایی شناور برابر ..... تن می‌باشد.
گام سوم	محاسبهٔ مقدار جابه‌جایی مرکز ثقل شناور پس از بارگیری: $GG_1 = \frac{w \times d}{\text{وزن جابه‌جایی نهایی}}$ $GG_1 = \ldots\ldots = \ldots\ldots\ m$ چون بارگیری در بالای مرکز ثقل انجام شده است، بنابراین مرکز ثقل ـــــــ به سمت ـــــــ جابه جا شده است.
گام چهارم	محاسبهٔ مقدار KG نهایی شناور پس از بارگیری ۲۰۰ تن: $Final\ KG = KG_1 = \ldots\ldots = \ldots\ldots\ m$ مقدار KG نهایی شناور پس از بارگیری برابر ..... متر است.

کار در منزل

جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:	
مسئله	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۴۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۴/۲ متر است. در صورتی که یک بار ۲۰۰ تنی در فاصلهٔ ۴ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن تخلیه شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.
جواب:	
گام اول	محاسبهٔ مقدار گشتاور ایجادی بر اثر مقدار ۲۰۰ تن وزن بارگیری شده: w × d = ... = ... t.m
گام دوم	مقدار وزن جابه‌جایی نهایی: W_w= ..... = ... t مقدار وزن جابه‌جایی نهایی شناور برابر ــــــــ تن می‌باشد.
گام سوم	محاسبه مقدار جابه‌جایی مرکز ثقل شناور پس از تخلیه: $GG_1 = \frac{w \times d}{\text{وزن جابه‌جایی نهایی}}$ GG_1 = ... = ... m چون تخلیه در بالای مرکز ثقل انجام شده است، بنابراین، مرکز ثقل ــــــــ به سمت ــــــــ جابه جا شده است.
گام چهارم	محاسبهٔ مقدار KG نهایی شناور پس از تخلیهٔ ۲۰۰ تن: Final KG =KG_1= ..... = ... m مقدار KG نهایی شناور پس از تخلیهٔ بار، برابر ..... متر است.

محاسبهٔ KG نهایی بر اثر بارگیری و یا تخلیهٔ کالا (چند مرحله)

پس از هر مرحله عملیات بارگیری و یا تخیلهٔ بار در کشتی، مرکز ثقل آن جابه‌جا خواهد شد. در صورتی‌که چندین مرحله عملیات بارگیری و یا تخلیه انجام شود، برای محاسبهٔ مقدار KG نهایی شناور به روش زیر(تمرین) عمل می‌شود:

$$\text{Final KG} = \frac{\text{Final Moment}}{\text{Final Displacement}} = \frac{(\Delta \times KG) \pm (w_1 \times kg_1) \pm (w_2 \times kg_2) \pm \cdots}{\Delta \pm w_1 \pm w_2 \pm \cdots}$$

در رابطهٔ بالا، علامت مثبت مربوط به عملیات بارگیری و علامت منفی برای عملیات تخلیهٔ کالا است.

تمرین

شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۲۵۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۸ متر است. در صورتی که یک محمولهٔ ۵۰۰ تنی در فاصلهٔ ۵ متری از کف کشتی(Kg=۵m) بارگیری و یک محموله کالا به وزن ۲۰۰ تن در فاصلهٔ ۶ متری از کف کشتی(Kg=۶m) بارگیری شود و همچنین مقدار ۳۰۰ تن سوخت در فاصلهٔ ۴ متری از کف کشتی(Kg=۴m) تخلیه شود. مقدار KG نهایی شناور را محاسبهٔ کنید.

جواب:

گام اول

محاسبهٔ مقدار گشتاورهای ایجادی بر اثر بارگیری و تخلیهٔ کالا:

	W(Tonnes)	Kg(m)	Moment=w×Kg(T.m)
Ship	۲۵۰۰۰	۸	۲۰۰۰۰۰
Load	+ ۵۰۰	۵	+ ۲۵۰۰
Load	+ ۲۰۰	۶	+ ۱۲۰۰
Discharg	- ۳۰۰	۴	- ۱۲۰۰
Final	۲۵۴۰۰		۲۰۲۵۰۰

گام دوم

محاسبهٔ مقدار KG نهایی:

$$\text{Final KG} = \frac{\text{Final Moment}}{\text{Final Displacement}} = \frac{۲۰۲۵۰۰}{۲۵۴۰۰} = ۷/۹۷\text{m}$$

کار در کلاس

جاهای خالی را در این جدول تکمیل نمایید:

تمرین

شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۱۲۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۷ متر است. در صورتی که یک محمولهٔ ۸۰۰ تنی در فاصلهٔ ۴ متری از کف کشتی(Kg=۴m) بارگیری و یک محمولهٔ کالا به وزن ۶۰۰ تن در فاصلهٔ ۵ متری از کف کشتی(Kg=۵m) بارگیری شود و همچنین مقدار ۲۰۰ تن سوخت در فاصلهٔ ۸ متری از کف کشتی(Kg=۸m) تخلیه شود. مقدار KG نهایی شناور را محاسبه کنید.

جواب:

گام اول

محاسبه مقدار گشتاورهای ایجادی بر اثر بارگیری و تخلیهٔ کالا:

	W(Tonnes)	Kg(m)	Moment=w×Kg(T.m)
Ship	۱۲۰۰۰	۷	۸۴۰۰۰
Load	+	.....	.....
Load	+	.....	.....
Discharg	–	.....	.....
Final	.....		.....

گام دوم

محاسبهٔ مقدار KG نهایی:

$$\text{Final KG} = \frac{\text{Final Moment}}{\text{Final Displacement}} = \frac{\cdots\cdots}{\cdots\cdots} = \cdots\cdots \text{m}$$

ارزشیابی

۱	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۱۶۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۶/۲ متر است. در صورتی که یک محمولهٔ ۸۰۰ تنی در فاصلهٔ ۴ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیه و یک محمولهٔ ۲۰۰ تنی در فاصلهٔ ۶ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.
۲	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۱۸۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۵/۸ متر است. در صورتی که یک وزنه ۲۰۰ تنی در فاصلهٔ ۴ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن تخلیه و یک وزنه ۶۵۰ تنی در فاصلهٔ ۶ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری شود. مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.
۳	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۸۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۷/۶ متر است. در صورتی که یک محمولهٔ ۲۵۰ تنی در فاصلهٔ ۱/۵ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیه بارگیری و مقدار ۳۰۰ تن سوخت در فاصلهٔ ۷ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیهٔ آن تخلیه شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.

۴	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۳۰۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۷/۴ متر است. در صورتی که یک محمولهٔ ۵۰۰ تنی در فاصلهٔ ۴ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن تخلیه و یک محمولهٔ ۵۰۰ تنی در فاصلهٔ ۴ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیهٔ آن تخلیه شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.
۵	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۹۹۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۶/۴ متر است. در صورتی که یک محمولهٔ ۵۰۰ تنی در فاصلهٔ ۲ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری و یک محمولهٔ ۵۰۰ تنی در فاصلهٔ ۲ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.
۶	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۵۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۴/۲ متر است. در صورتی که یک محمولهٔ ۵۰۰ تنی در فاصلهٔ ۲ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری و یک محمولهٔ ۵۰۰ تنی در فاصلهٔ ۲ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.
۷	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۱۵۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۲/۷ متر است. در صورتی که یک محمولهٔ ۵۰ تنی در فاصلهٔ ۲ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری و مقدار ۶۰ تن سوخت در فاصلهٔ ۲ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.
۸	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۴۰۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۵/۴۶ متر است. در صورتی که یک محمولهٔ ۴۰ تنی در فاصلهٔ ۱/۵ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن تخلیه و یک محمولهٔ ۲۵ تنی در فاصلهٔ ۲ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.
۹	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۷۵۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۷/۸ متر است. در صورتی که کالایی به وزن ۶۰ تن در فاصلهٔ ۱/۵ متری به سمت بالا از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری و مقدار ۳۰ تن آب توازن از مخزن در فاصلهٔ ۶/۵ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیهٔ آن تخلیه شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.
۱۰	شناوری با وزن جابه‌جایی (Displacement) ۸۵۰۰ تن و مقدار KG اولیهٔ ۴/۶ متر است. در صورتی که کالایی به وزن ۵۵ تن در فاصلهٔ ۱/۵ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیهٔ آن تخلیه و مقدار ۳۵ تن سوخت در فاصلهٔ ۳/۵ متری به سمت پایین از مرکز ثقل اولیهٔ آن بارگیری شود، مقدار KG نهایی شناور را پیدا کنید.

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
پایدارسازی کشتی	محاسبات غوطه‌وری	توانایی تحلیل و بررسی مسائل مربوط به غوطه‌وری	بالاتر از حد انتظار	۱ـ محاسبات مربوط به تغییرات آبخور شناور را بر اثر تغییر غلظت آب انجام دهد. ۲ـ محاسبات مربوط به جابه‌جایی مرکز ثقل شناور را بر اثر بارگیری و تخلیه انجام دهد. ۳ـ محاسبات مربوط به KG نهایی شناور بر اثر بارگیری و تخلیه را انجام دهد. * هنرجو توانایی بررسی همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ محاسبات مربوط به تغییرات آبخور شناور را بر اثر تغییر غلظت آب انجام دهد. ۲ـ محاسبات مربوط به جابه‌جایی مرکز ثقل شناور بر اثر بارگیری و تخلیه را انجام دهد. ۳ـ محاسبات مربوط به KG نهایی شناور بر اثر بارگیری و تخلیه را انجام دهد. * هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			کمتر از حد انتظار	۱ـ محاسبات مربوط به تغییرات آبخور شناور را بر اثر تغییر غلظت آب انجام دهد. ۲ـ محاسبات مربوط به جابه‌جایی مرکز ثقل شناور را بر اثر بارگیری و تخلیه انجام دهد. ۳ـ محاسبات مربوط به KG نهایی شناور بر اثر بارگیری و تخلیه را انجام دهد. * 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 پایدارسازی کشتی

۱ شرح کار:

■ بررسی اصول تعادل کشتی

بررسی نیروهای وارد بر بدنهٔ کشتی ⇐ بررسی قوانین شناوری ⇐ بررسی اصول تعادل ⇐ محاسبات شناوری و غوطه‌وری

۲ استاندارد عملکرد:

پس از اتمام این واحد یادگیری انتظار می‌رود هنرجویان بتوانند نیروهای وارده به بدنهٔ شناور را درک کرده و با توجه به قوانین شناوری و اصول تعادل، محاسبات مربوط به شناوری و غوطه‌وری را به درستی انجام دهند.

■ **شاخص‌ها:**

■ تشخیص نیروهای وارده بر بدنهٔ شناور و حرکات مختلف آن، درک صحیح از مفاهیم مربوط به قوانین شناوری و اصول تعادل و نیز انجام محاسبات مربوط به شناوری و غوطه‌وری.

۳ شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

شرایط: کارگاه مجهز ناوبری به همراه بازدید نوبه‌ای و مشخص از شناورها در هنگام بارگیری و تخلیهٔ کالا و شبیه‌ساز پل فرماندهی شناور.

ابزار وتجهیزات: ماکت شناور، شبیه‌ساز ناوبری و نرم‌افزارهای مربوطه.

۴ معیارشایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	بررسی نیروهای وارد بر بدنهٔ کشتی	۲	
۲	بررسی قوانین شناوری	۲	
۳	بررسی اصول تعادل	۲	
۴	انجام محاسبات مربوط به شناوری و غوطه‌وری	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست‌محیطی و نگرش‌ها: ۱ـ استفاده از لباس کار و کفش ایمنی برای بازدید از شناور؛ ۲ـ استفاده صحیح و مناسب از ابزار و تجهیزات؛ ۳ـ دقت و سرعت عمل در انجام محاسبات.	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی وکسب شایستگی ۱۰ می‌باشد.