

فصل ۳

بررسی اصول تعادل کشتی



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

نوع درس: نظری

کل ساعات: ۳۰ ساعت

ساعات نظری: ۳۰ ساعت

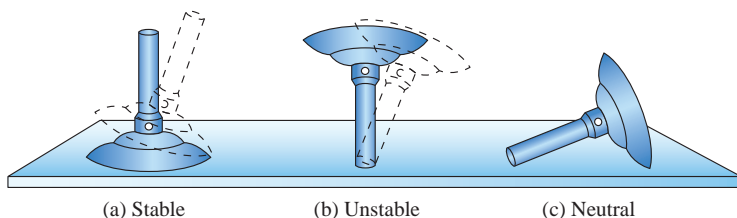
اهداف کلی

هنرجو باید پس از پایان این پودمان قادر باشد:

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

روش تدریس

- ۱ عموماً در ابتدای درس و در جلسه اول به مقدماتی که در محتوای درس ارائه شده پرداخته می‌شود تا دانش‌آموز با موضوعات درسی درگیر شود.
- ۲ پیشنهاد می‌گردد هنرآموز برای توضیحات تکمیلی مطالب فصل، موارد ذکر شده در بخش‌های **دانش‌افزایی** را مورد توجه قرار داده و هنگام آموزش آنها را به کار گیرد.
- ۳ بهتر است برای تفهیم بهتر مطالب و مفاهیم درس از انجام آزمایش‌های ساده که امکان‌پذیر است در کلاس استفاده نماید مانند استفاده از اجسام موجود در کلاس برای نشان دادن تعادل و مرکز ثقل و یا استفاده از ظرف آب و جسمی سبک برای نشان دادن غوطه‌وری، آبخور و غیره.
- ۴ بهتر است برای تفهیم بهتر درس، از فیلم‌هایی که در اینترنت موجود است و غرق‌شدن کشتی بر اثر بار ناصحیح یا نیروی خارجی را نشان می‌دهد، استفاده گردد.
- ۵ در صورت امکان با حضور بر روی یک کشتی و استفاده از تجربیات خدمه آن، کمک به درک بهتر تعادل برای هنرجو نماییم.
- ۶ پیشنهاد می‌شود از انجام تکالیف متن توسط هنرجو مطمئن شده و آنها را مورد بررسی قرار دهید.



بحث کلاسی



اصطلاحات به کار رفته در شکل بالا را ترجمه کنید.
 Stable: محکم - استوار unstable: متزلزل neutral: خنثی

تحقیق



آیا تعادل انواع دیگری هم دارد و نتیجه تحقیق را در کلاس ارائه دهید.
 تعادل غیر از حالت استاتیکی، حالت دینامیکی هم دارد که شامل موارد زیر است:
1 تعادل انتقالی [translational equilibrium]: حالتی برای جسم که در آن جسم یا ساکن می‌ماند یا با سرعت ثابت بر روی خطی راست در حرکت است. در این نوع تعادل اگر نیرو به جسم وارد شود جسم به حرکت در آمده و با برداشتن نیرو همچنان به حرکت خود ادامه می‌دهد.
2 تعادل چرخشی: [rotational equilibrium]: وضعیت سامانه‌ای که یا نمی‌چرخد یا با سرعت زاویه‌ای ثابت می‌چرخد.
 آیا تاکنون چرخ‌خی را به حرکت در آورده‌اید؟ چرخ بعد از دوران بالاخره در کجا متوقف می‌شود؟ وقتی چرخ حول یک محور ثابت می‌چرخد، از موقعیت خود خارج نمی‌شود، در این وضعیت چرخ در حالت تعادل انتقالی است، زیرا نیرویی که شما به چرخ وارد کرده با پس‌زدن کشسانی محور خنثی شده است. نیرویی که شما به چرخ وارد کرده‌اید چرخ را به دوران در آورده است اما آن را جابه‌جا نکرده است. اگر نیروی اصطکاک روی چرخ اثر نمی‌کرد، برای همیشه در حالت دوران باقی می‌ماند. تنها چیزی که باعث کند شدن چرخ و در نهایت توقف چرخ می‌شود اصطکاک محور است. هر جسمی که با سرعت زاویه‌ای ثابت بچرخد در حالت تعادل چرخش است و تا زمانی که چیزی روی آن اثر نکند به چرخش خود ادامه خواهد داد... زمین چندین میلیارد سال است که حول محور خود می‌چرخد و سال‌ها پیش از آنکه من و شما فراموش شویم به این کار ادامه خواهد داد.

کاربرد خط بار

باید توجه داشت که کاربرد علامت خط بار در حداکثر بارگیری شناور (جابه‌جایی سنگین) می‌باشد. یعنی اگر شناور به اندازه حداکثر تناژ مجاز خود بارگیری شده باشد و در آبی با چگالی $1/025$ تن بر متر مکعب شناور باشد، آب‌خور شناور در محل مرکز دایره یا خط S قرار می‌گیرد و اگر با همین بار به منطقه دیگری با چگالی 1 تن بر مترمکعب برود، آب‌خور شناور در محل خط F قرار می‌گیرد و اگر در آب شیرین در منطقه گرمسیری وارد شود، آب‌خور به TF می‌رسد. همچنین اگر شناور در جابه‌جایی سنگین به آب‌های آتلانتیک شمالی در فصل زمستان وارد شود که چگالی از $1/025$ بیشتر است، آب‌خور به WNA می‌رسد. دانستن مقدار آب‌خور در جابه‌جایی سنگین (حداکثر تناژ شناور) در جلوگیری از تصادم شناور با کف دریا یا موانع زیر آبی بسیار اهمیت دارد و در تعیین عوارض بندری نیز به کار می‌رود.

مرکز ثقل و جابه‌جایی آن

دو مفهوم اصلی و کاربردی در تعیین مرکز ثقل شناور بیان می‌گردد:
 الف) نحوه تعیین مؤلفه‌های مرکز ثقل شناور.

ب) نحوه تأثیر جابه‌جایی بار بر جابه‌جایی مرکز ثقل شناور.
 هر یک از موارد فوق به صورت زیر تشریح می‌گردد:

الف) نحوه تعیین مؤلفه‌های x, y, z مرکز ثقل شناور: همان‌طور که می‌دانیم یک شناور از هزاران اقلام وزنی تشکیل شده است که هر یک نسبت به محور مختصات تعریف شده دارای مختصات Z_i, Y_i, X_i هستند. محور مختصات معمولاً از نظر طولی منطبق بر عمود پاشنه، از نظر عمودی منطبق بر خط مبنا و از نظر عرضی منطبق بر خط مرکزی در نظر گرفته می‌شود. برآیند مؤلفه‌های هر یک از این وزن‌ها به صورت مؤلفه‌های مرکز ثقل شناور به صورت زیر تعیین می‌گردند:

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

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

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

مثال



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

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

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

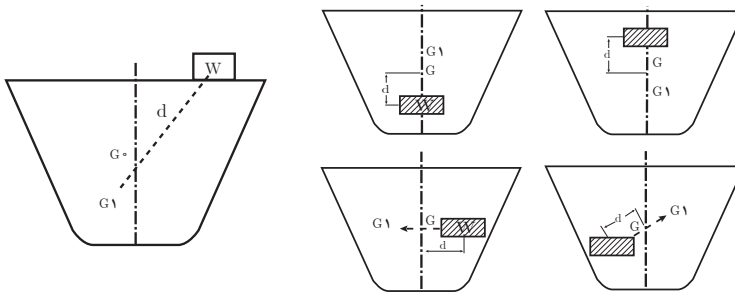
$$Y_G = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i} = \frac{0/05}{3500} = 0/00$$

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

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

ب) تأثیر تغییرات بار بر جابه‌جایی مرکز ثقل شناور: مطابق شکل زیر باری به وزن W به فاصله d در داخل شناور جابه‌جا می‌شود. این جابه‌جایی باعث جابه‌جا شدن مرکز ثقل به اندازه GG₁ می‌شود که داریم:

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



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

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

به‌طور مثال برداشتن جسم از سمت راست شناور باعث جابه‌جایی مرکز ثقل کل

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

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

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

کار کلاس



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

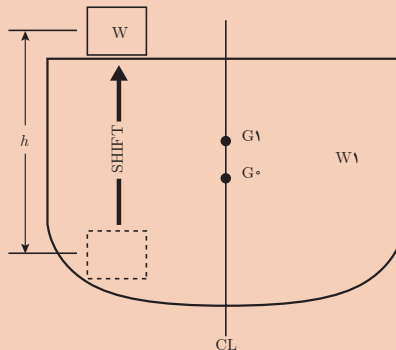
$$\text{جابه‌جایی مرکز ثقل} = \frac{۲۰۰ \times (۵۰ - ۴۲)}{۵۰۰۰} = \frac{۱۶۰۰}{۵۰۰۰} = ۰/۳۲\text{m}$$

تمرین در خانه



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

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





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

حل:

= جابه‌جایی مرکز ثقل، قبل از بلند شدن بار به‌وسیله جرثقیل به‌طرف بالا

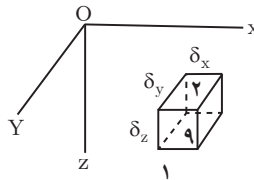
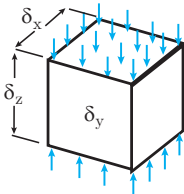
$$\frac{w_1 d_1}{w} = \frac{60 \times 8}{12000} = 0.04$$

$$\text{جابه‌جایی مرکز ثقل بعد از قرار گرفتن بار در کف کشتی} = \frac{w_1 d_2}{w} = \frac{60 \times 10}{12000} = 0.05$$

دانش‌افزایی

مرکز بویانسی و تغییرات آن

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



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

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

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

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

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

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

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

که با انتگرال‌گیری از این رابطه داریم:

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

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

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

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

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

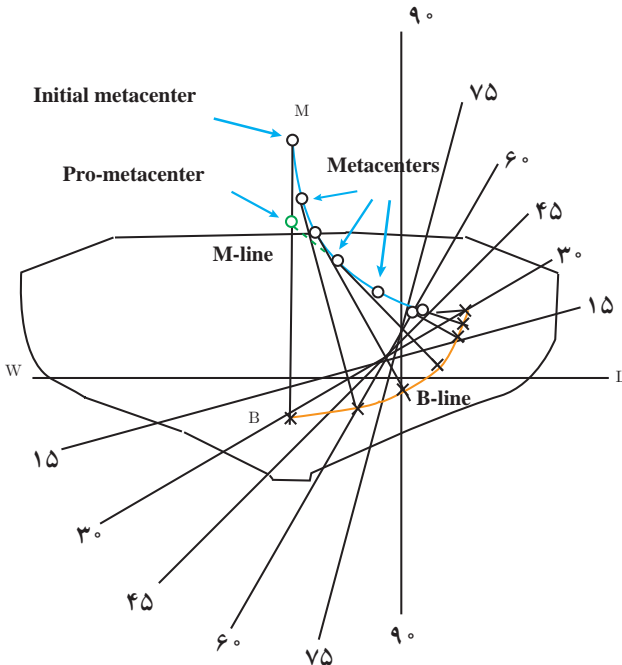
$$F_B = \Delta$$

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

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

سمت جابه‌جا می‌شود.

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



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

ذخیره شناوری (reserve of buoyancy)

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

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

جدول درصد ذخیره شناوری در کشتی‌های مختلف

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

مفهوم نقطه متاسنتر و نحوه به دست آوردن آن

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

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

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

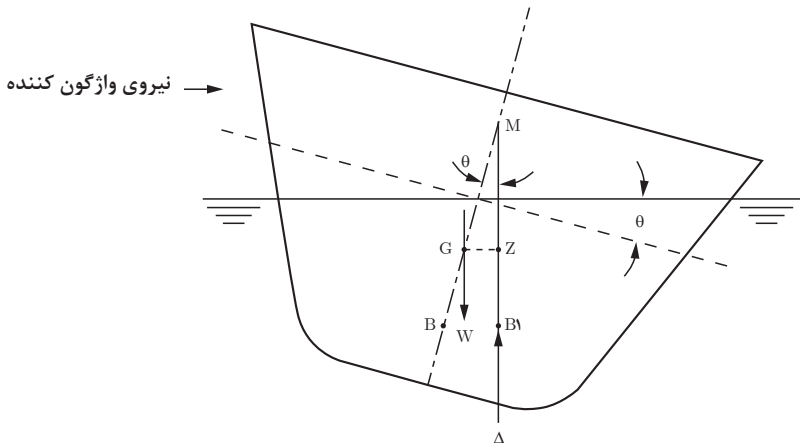
I: ممان دوم سطح آبخور (برای غلتش عرضی حول محور x, x ، I_{xx} و برای غلتش حول محور y, y ، I_{yy} می‌باشد. ∇ حجم جابه‌جایی (حجم زیر آب شناور). دیمانسیون I ، (m^4) و دیمانسیون ∇ ، (m^3) است و در نتیجه دیمانسیون شعاع متاسنتری نیز بر حسب متر (m) است.

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

منحنی GZ و کاربردهای آن

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

$$RM = GZ. A$$

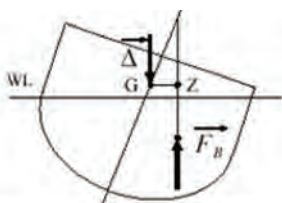


بنابراین داریم:

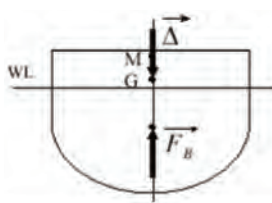
RM: ممان باز گرداننده شناور به حالت اولیه. GZ : بازوی بازگرداننده شناور به حالت اولیه. Δ : جابه جایی یا همان وزن کل شناور که برابر با بویانسی (F_B) می باشد. در واقع این ممان بازگرداننده، می تواند ممان حاصل از نیروهای خارجی (نشان داده شده در شکل بالا) را که باعث غلتش شناور شده است، خنثی می کند. ممان بازگرداننده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

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

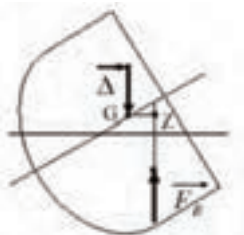
کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که در حالت E راستای نیروی ثقل و بویانسی بر هم منطبق می‌شوند و $GZ=0$ می‌شود. در این حالت در واقع G و M بر هم منطبق شده‌اند که $GM=0$ و در نتیجه $GZ=0$ شده است. در این حالت شناور دارای تعادل خنثی می‌باشد در حالی که تا قبل از این دارای تعادل پایدار بوده است. هر چه شناور از این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



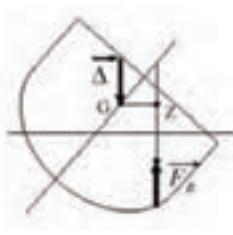
حالت B: غلتش ۲۵ درجه با $GZ=17$ cm



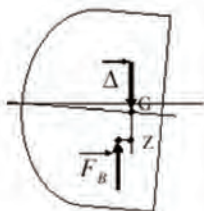
حالت A: حالت بدون غلتش با $GZ=0$



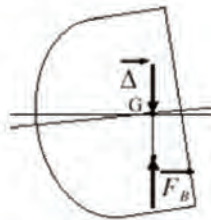
حالت D: غلتش ۷۵ درجه با $GZ=8$ cm



حالت C: غلتش ۵۰ درجه با $GZ=30$ cm

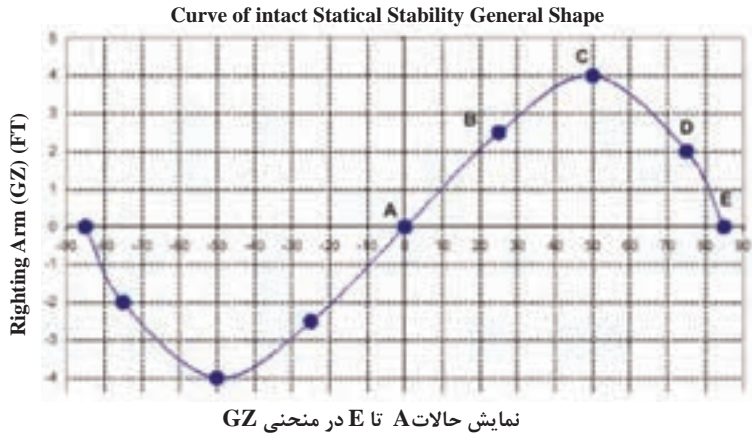


حالت F: غلتش بیش از ۸۵ درجه با GZ منفی



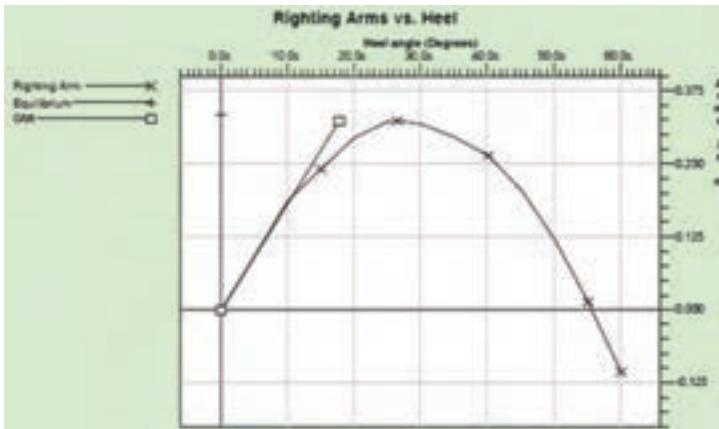
حالت E: غلتش ۸۵ درجه با $GZ=0$

نمایش مقادیر GZ در زوایای غلتش مختلف



- تحلیل‌هایی که براساس منحنی GZ انجام می‌شوند: همان‌طور که بیان شد منحنی $GZ - \theta$ اساس بسیاری از تحلیل‌های پایداری شناور است و عوامل مختلفی از آن برداشت می‌شود که از جمله مهم‌ترین موارد آن عبارت است از:
- ۱ **محدوده پایداری:** حداکثر زاویه‌ای که شناور می‌تواند غلتش کند بدون اینکه GZ آن منفی شود، را «محدوده پایداری» گویند. در این محدوده اگر شناور بدون زاویه لیست اولیه باشد، شناور از حالت قائم با $GZ = 0$ شروع به غلتش کرده و تا رسیدن مجدد به $GZ = 0$ می‌تواند در حالت پایدار غلتش کند.
 - ۲ **حداکثر بازوی بازگرداننده (GZ):** حداکثر بازوی بازگرداننده نیز از عوامل مهم در تحلیل پایداری و نشان‌دهنده حداکثر ممان واژگون‌کننده‌ای است که شناور می‌تواند بدون واژگون شدن تحمل کند.
 - از جمله بارگذاری‌های بحرانی نیروی مداوم باد، بارگذاری‌های نامتقارن، ضربه و آب‌گرفتگی جانبی می‌باشد که GZ_{max} نقش اساسی در جبران آنها دارد.
 - ۳ **زاویه متناظر با GZ_{max} :** زاویه‌ای که در آن حداکثر بازوی بازگرداننده را داریم نیز بسیار حائز اهمیت است چرا که از این زاویه به بعد، خرسی عرشه و کاهش بازوی بازگرداننده را داریم که برای پایداری شناور، غلتش بیشتر از این زاویه بسیار خطرناک است. زاویه خرسی عرشه از زوایای مهم در پایداری است که نشان‌دهنده شروع تضعیف پایداری شناور است.
 - ۴ **پایداری دینامیکی:** پایداری دینامیکی عبارت است از کار انجام شده برای غلتیدن شناور تا یک زاویه مشخص. این کار از حاصل ضرب سطح زیر نمودار $GZ - \theta$ در جابه‌جایی (تناژ) به دست می‌آید.
 - ۵ **محاسبه مقدار GM :** اگر خطی مماس بر نمودار $GZ - \theta$ در محل $\theta = 0$

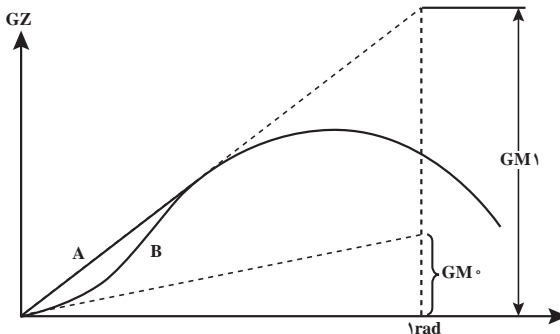
رسم کنیم (شیب نمودار در $\theta = 0$)، و از زاویه یک رادیان ($\theta = 1 \text{ rad}$) یک خط عمود رسم کنیم، ارتفاع محل تقاطع این خط مماس با خط عمود، برابر با ارتفاع متانستری (GM) می‌باشد.



نمایش خط مماس در زاویه صفر درجه

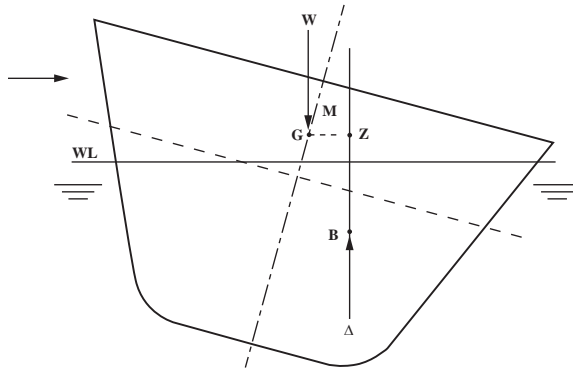
رام یا سرکش بودن شناور:

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



محاسبه GZ به روش ترسیمی: اگر بخواهیم منحنی GZ را با استفاده از فایل سه بعدی کامپیوتری استخراج کنیم مراحل زیر را طی می‌کنیم:

- ۱ ابتدا موقعیت خط آبخور را در زاویه مورد نظر ترسیم می‌کنیم. گفتیم که در زوایای غلتش بزرگ دیگر خطوط آبخور در خط مرکزی هم گرا باشد و بخش زیر آب رفته عرشه جبران گردد. به دست آوردن مقدار جابه‌جایی شناور ثابت خط آبخور باید به صورت سعی و خطا به دست آید و مبنای سعی و خطا در یک زاویه هیل معین، رسیدن به تناژ اولیه است.
- ۲ در موقعیت به دست آمده خط آبخور محل مرکزی بویانسی B را معین می‌کنیم.
- ۳ از مرکز ثقل G و مرکز بویانسی B دو خط موازی عمود بر خط آبخور جدید رسم می‌کنیم. فاصله این دو خط برابر GZ می‌باشد.



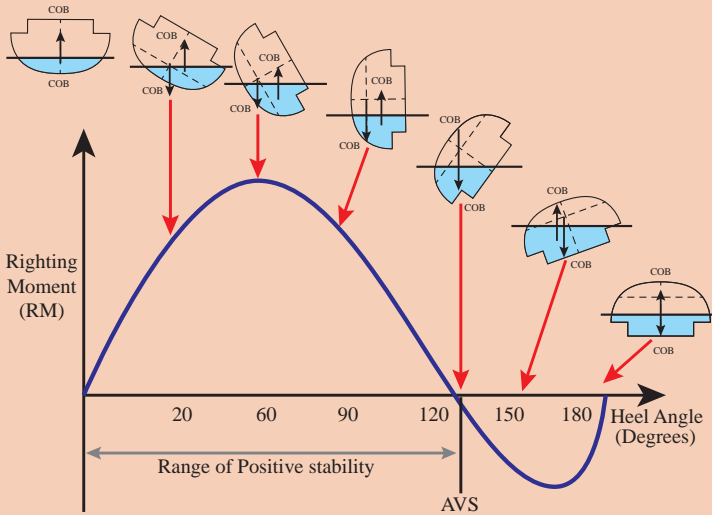
محاسبه GZ به روش ترسیمی

بحث کلاسی



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

چگالی ÷ جرم = حجم آب جابه‌جا شده
 مترمکعب ۱۹۵۰۰ = حجم آب جابه‌جا شده
 مترمکعب ۶۳۰۰۰ = $۱۰۵ \times ۳۰ \times ۲۰$ = حجم شناوری
 ۴۳۵۰۰ = حجم آب جابه‌جا شده - حجم کشتی = شناوری ذخیره

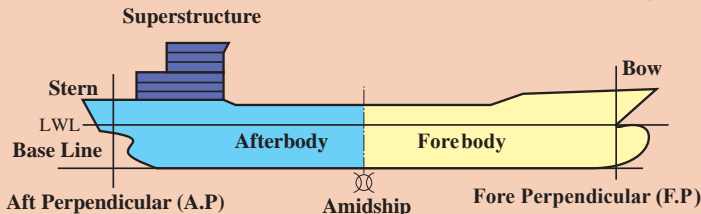


منحنی GZ

بحث کلاسی



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



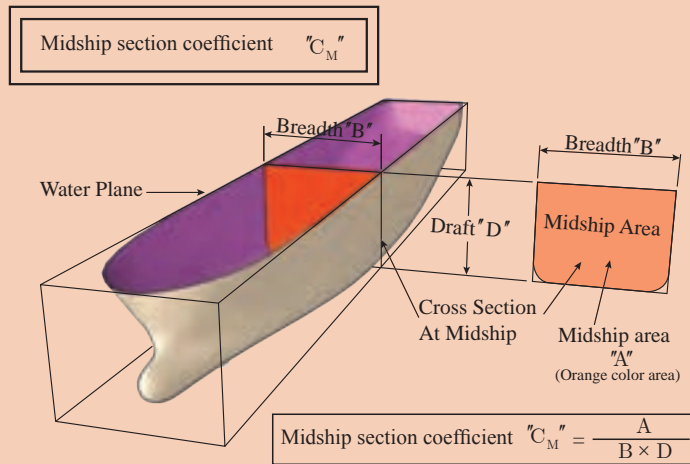
اصطلاحات کشتی

بحث کلاسی



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

Afterbody: نیمه جلویی بدنه Forebody: نیمه انتهایی بدنه



ضریب مقطع عرضی

بحث کلاسی



اصطلاحات به کار رفته در شکل بالا را ترجمه کنید.

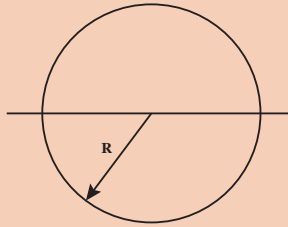
Breadth: عرض Midship area: سطح میانی Water plane: سطح آب‌خور

Draft: ارتفاع

Cross section At Midship: سطح مقطع میانی



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



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

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

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

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

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

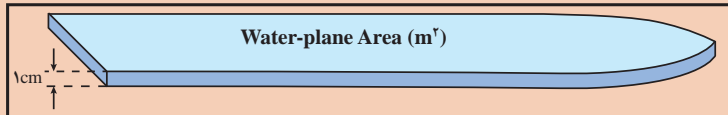
بحث کلاسی



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

حل:

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



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

Where:

TPC: tonnes per cm

WPA: water plane area m²

ρ : water density 1.025 t/m³

مفهوم TPC

بحث کلاسی



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

اختلاف آبخور در آب شور و شیرین (FWA)

هنگامی که شناور از منطقه‌ای با آب شور به آب شیرین منتقل می‌شود، به دلیل کاهش چگالی آب، آبخور شناور افزوده می‌گردد. چگالی آب شور $(\frac{t}{m})$ $1/0.25$ و چگالی آب شیرین $(\frac{t}{m})$ ۱ در نظر گرفته می‌شود. اگر چگالی آب شور با ρ_s و چگالی آب شیرین با ρ_f نمایش داده شود، شناوری که با آبخور d_s در آب شور قرار داشته و وارد آب شیرین شود، آبخور جدید $d_s + FWA$ افزایش خواهد یافت. بنابراین

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

$$FWA = d_s \frac{\rho_s}{\rho_f} - d_s \quad \rightarrow \quad FWA = d_s \left(\frac{\rho_s}{\rho_f} - 1 \right) = d_s \left(\frac{1/0.25}{1} - 1 \right)$$

بر حسب متر $FWA = 0.025 d_s$

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

$$FWA = 25 d_s \frac{A \times 1/0.25 \times 10^{-2}}{A \times 1/0.25 \times 10^{-2}}$$

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

سطح مقطع یک کشتی در آبخور آن ۱۵۵۷ مترمربع است. T.P.C و میزان افزایش آبخور در صورت افزایش وزنه‌ای به وزن ۲۷۵ تن را به دست آورید. چگالی آب دریا را $1/0.25$ تن بر مترمکعب فرض کنید.

$$TPC = \frac{A \times 1/0.25}{100} = \frac{1557 \times 1/0.25}{100} = 15/96$$

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

کار در کلاس

