

بنام خدا

خدا را شاکرم که کماکان قدرت درک مطالب و مفاهیم علمی را در من نگاه داشته است.

مجموعه پیش رو، مبحث تعادل (Stability) در کشتی، از دروس مهم افسری عرشه می باشد که توسط آقای محمد علی خادمی به نحو احسن تدریس گردیده و بنده آن را در یک قالب گنجانیده ام. امیدوارم همانگونه که برای خود من بسیار مفید واقع گردید، برای تمام همکارانی که پس از این، این مجموعه را می خوانند موثرتر ثمر باشد. تنها تقاضای بنده از خوانندگان طلب آمرزش درگذشتگان استاد مدرس (آقای محمد علی خادمی) و درگذشتگان بنده، با قرائت فاتحه می باشد.

با تشکر

احمد رضا زارع پور

آبان ماه ۱۳۹۶

غلظت یا چگالی (Density) (ρ):

غلظت معمولاً به صورت جرم بر واحد حجم تعریف می شود و به عبارتی میزان جرمی است که در یک واحد حجم اشغال شده است . چگالی را می توان بر حسب واحدهای زیر بیان کرد که عبارتند از :

(۱) گرم بر سانتی متر مکعب $\frac{gr}{cm^3}$

(۲) کیلوگرم بر متر مکعب $\frac{kg}{m^3}$

(۳) تن بر متر مکعب $\frac{t}{m^3}$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{چگالی} = \frac{(\text{جرم ماده})}{(\text{حجم اشغال شده توسط ماده})}$$

در امر دریانوردی بیشتر ما با سومین واحد چگالی، تن بر متر مکعب سر و کار داریم

نکته: چگالی آب شیرین و آب شور به شرح ذیل می باشد:

$$\rho_{\text{fresh water}} = 1000 \frac{kg}{m^3} = 1 \frac{t}{m^3}$$

$$\rho_{\text{salt water}} = 1025 \frac{kg}{m^3} = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

چگالی نسبی یا غلظت نسبی (RD) (Relative Density):

غلظت نسبی که به عبارت دیگر وزن مخصوص نیز نامیده می شود، عبارتست از نسبت غلظت یک ماده به غلظت آب شیرین و ضمناً هیچ گونه واحدی نخواهد داشت.

$$(RD) = \frac{\text{چگالی هر ماده}}{\text{چگالی آب شیرین}}$$

Example: 950 tones of liquid occupied in a box shaped ballast tank of long=22m, beam=8m and height=7m and tank is full, calculate density of liquid?

$$m = 950 \text{ tones} \quad L = 22 \text{ m} \quad B = 8 \text{ m} \quad H = 7 \text{ m} \quad \rho = ?$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = L B H = 22 \times 8 \times 7 = 1232 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{950}{1232} = 0.77 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

Example: find mass of salt water which can loaded box shaped tank of size 5mx3mx2m ?

$$L = 5 \text{ m} \quad B = 3 \text{ m} \quad H = 2 \text{ m} \quad \rho = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad m = ?$$

$$\rho = \frac{m}{V} \implies m = \rho V$$

$$V = L B H = 5 \times 3 \times 2 = 30 \text{ m}^3$$

$$m = 1.025 \times 30 = 30.75 \text{ tonnes}$$

Example: find volume of oil of density= 820 kg, which occupied by 850 tons of oil?

$$\rho = 0.820 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad m = 850 \text{ tons} \quad V = ?$$

$$\rho = \frac{m}{V} \implies V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{850}{0.820} = 1036.58 \text{ m}^3$$

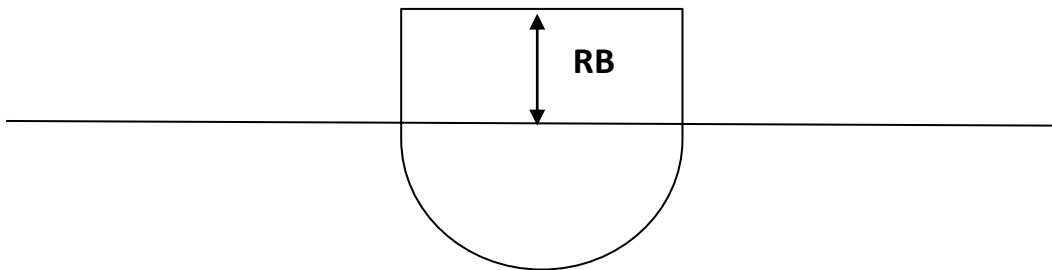
Example: find the relative density of salt water whose density is 1025 per Cu.m?

$$\rho = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$RD = \frac{\rho}{\rho_{fw}} = \frac{1.025}{1} = 1.025$$

ذخیره شناوری (RB) (Reserve Buoyancy) :

حجم فضای بسته بالای خط آب شناور را ذخیره شناوری می گویند. این مقدار ممکن است با حجم و یا با درصد حجم کلی کشتی بیان گردد . اگر بار اضافی بر روی شناور بارگیری شود و وزن کشتی بیشتر گردد بنابراین این فضای بالای خط آب، نیروی شناوری اضافی لازم را برای جلوگیری از غرق شدن کشتی بوجود می آورد.



Example: A box shaped vessel 105m = long, 30m = beam and 20m = deep is floating upright in fresh water, if the displacement is 19500 tons, find the volume of reserve buoyancy ?

$$L = 105\text{m} \quad B = 30\text{m} \quad H = 20\text{m} \quad \rho = 1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad m = 19500 \text{ t} \quad \text{RB} = ?$$

$$\text{RB} = V_{\text{total}} - V_{\text{occupied}}$$

$$V_{\text{total}} = L B H = 105 \times 30 \times 20 = 63000 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{occupied}} = \frac{m}{\rho_{\text{fw}}} = \frac{19500}{1} = 19500 \text{ m}^3$$

$$RB = 63000 - 19500 = 43500 \text{ m}^3$$

Example: A box shaped barge 55mx15mx6m is floating in water of density 1015 kg per Cu.m on an even keel, determine reserve buoyancy of ship if displacement of the ship was 3500 tons ?

$$L = 55 \text{ m} \quad B = 15 \text{ m} \quad H = 6 \text{ m} \quad \rho = 1.015 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad m = 3500 \text{ t} \quad RB = ?$$

$$RB = V_{\text{total}} - V_{\text{occupied}}$$

$$V_{\text{total}} = L B H = 55 \times 15 \times 6 = 4950 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{occupied}} = \frac{m}{\rho} = \frac{3500}{1.015} = 3448.27 \text{ m}^3$$

$$RB = 4950 - 3448.27 = 1501.73 \text{ m}^3$$

قانون ارشمیدوس (Archimedes Law):

هر جسم شناوری به اندازه مقدار آبی که جابجا می کند از وزن آن جسم شناور کاسته می شود بعبارت دیگر اگر یک جسم شناور را درون یک ظرف پر از آب قرار دهیم وزن مقدار آب جابجا شده و ریخته شده از آن ظرف برابر با وزن آن شناور می باشد.

: Displacement

مقدار آب جابجا شده بوسیله شناوری که روی سطح آب غوطه ور می باشد را گویند که همیشه برابر با وزن کلی کشتی بوده و واحد آن تن (ton) می باشد.

: Light Displacement

به وزن خالص کشتی یا وزن آب جابجا شده شناور بدون هیچ گونه بار، آب، سوخت و غیره می باشد و بعبارتی وزن آب جابجا شده یا وزن کشتی هنگامی که در کارخانه یا Dock ساخته و به آب انداخته می شود را گویند.

: Load Displacement

وزن کلی شناور هنگامی که شناور تا آبخور تاب ستانی (Summer load line) در آب شور بارگیری کرده باشد.

: Present Displacement

وزن کلی کشتی در حال کنونی و حاضر که برابر است با وزن خالص کشتی به اضافه تمام بارها، سوخت، آب و غیره که در حال حاضر در روی کشتی قرار دارد

: Dead Weight

وزن کل بار، سوخت، آب و غیره که کشتی می تواند بارگیری کند تا به خط آب خور تابستانی در آب شور برسد را گویند.

فرمولهای مربوط به تعاریف بالا برای کشتی های :

الف) جعبه ایی شکل (Box Shaped Vessel) :

(چگالی آب زیر کشتی) ρ L B D = (وزن آب جابجا شده) Displacement

(آب شور ρ) ρ_{sw} (آبخور کشتی خالی) L B D = Light Dispt.

$$\text{Load Dispt.} = L B D (\rho_{sw} \text{ (آب شور } \rho \text{) (آبخور کشتی پر)})$$

$$\text{Dead Weight} = \text{Dispt}_{\text{Load}} - \text{Dispt}_{\text{Light}}$$

$$\text{Present Dispt}_1 = L B D_1 \rho_1$$

$$\text{Present Dispt}_2 = L B D_1 \rho_2$$

$$W (\text{وزن بار تخلیه شده یا بارگیری شده}) = |\text{Dispt}_2 - \text{Dispt}_1|$$

Example: A Box shaped vessel with 45m=long, 12m=beam, 7m=height is floating in fresh water with draft=4.2m find dispt. of V/L ?

$$L = 45\text{m} \quad B = 12\text{m} \quad H = 7\text{m} \quad \rho = 1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad D = 4.2\text{m} \quad \text{Dispt.} = ?$$

$$\text{Dispt.} = L B D \rho = 45 \times 12 \times 4.2 \times 1 = 2268 \text{ tons}$$

Example: A box shaped ship long= 60m, maximum beam= 12m has a light draft= 2 meters, load draft= 5.2m, find dead weight ?

$$L = 60\text{m} \quad B = 12\text{m} \quad D_{\text{light}} = 2\text{m} \quad D_{\text{load}} = 5.2\text{m} \quad \text{Dead weight} = ?$$

$$\text{Dead weight} = \text{Dispt}_{\text{load}} - \text{Dispt}_{\text{light}}$$

$$\text{Dispt}_{\text{light}} = L B D_{\text{light}} \rho_{sw}$$

$$\text{Dispt}_{\text{light}} = 60 \times 12 \times 2 \times 1.025 = 1476 \text{ tons}$$

$$\text{Dispt}_{\text{load}} = L B D_{\text{load}} \rho_{\text{sw}}$$

$$\text{Dispt}_{\text{load}} = 60 \times 12 \times 5.2 \times 1.025 = 3837.6 \text{ tons}$$

$$\text{Dead weight} = 3837.6 - 1476 = 2361.6 \text{ tons}$$

Example: A box shaped ship long= 100m, wide= 12m has light draft of 4m and load draft= 9.2m, find her light Dispt., load Dispt. and dead weight ?

$$L = 100\text{m} \quad B = 12\text{m} \quad D_{\text{light}} = 4\text{m} \quad D_{\text{load}} = 9.2\text{m}$$

$$\rho = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad \text{Dispt}_{\text{light}} = ? \quad \text{Dispt}_{\text{load}} = ?$$

$$\text{Dead weight} = ?$$

$$\text{Dispt}_{\text{light}} = L B D_{\text{light}} \rho_{\text{sw}} = 100 \times 12 \times 4 \times 1.025$$

$$\text{Dispt}_{\text{light}} = 4920 \text{ tons}$$

$$\text{Dispt}_{\text{load}} = L B D_{\text{load}} \rho_{\text{sw}} = 100 \times 12 \times 9.2 \times 1.025$$

$$\text{Dispt}_{\text{load}} = 11316 \text{ tones}$$

$$\text{Dead weight} = \text{Dispt}_{\text{load}} - \text{Dispt}_{\text{light}} = 11316 - 4920 = 6396$$

Example: A Box shaped V/L with dimension of 48x10x8 m, floated in a water of density 1.019 tons per cubic meter with draft= 3.3m, She is loading a cargo in fresh water to reach draft= 6m, find amount of cargo loaded?

$$L = 48\text{m} \quad B = 10\text{m} \quad H = 8\text{m} \quad \rho_1 = 1.019 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad D_1 = 3.3\text{m}$$

$$\rho_2 = 1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad D_2 = 6\text{m} \quad w = ?$$

$$w = \text{dispt}_2 - \text{dispt}_1$$

$$\text{dispt}_1 = L B D_1 \rho_1 = 48 \times 10 \times 3.3 \times 1.019 = 1614.09 \text{ t}$$

$$\text{dispt}_2 = L B D_2 \rho_2 = 48 \times 10 \times 6 \times 1 = 2880 \text{ t}$$

$$w = 2880 - 1614.09 = 1265.91 \text{ t}$$

Example: A box shaped V/L of 60m= long, 15m= wide, floating in a water of density= 1017 kg per Cu.m with draft= 6.4m, She is going to discharge cargo of draft= 3.5m, find amount of cargo discharged?

$$L = 60\text{m} \quad B = 15\text{m} \quad \rho_1 = 1.017 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad D_1 = 6.4\text{m} \quad \rho_2 = \rho_1 = 1.017 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$D_2 = 3.5\text{m} \quad w = ?$$

$$w = \text{dispt}_1 - \text{dispt}_2$$

$$\text{dispt}_1 = L B D_1 \rho_1 = 60 \times 15 \times 6.4 \times 1.017 = 5857.92 \text{ tons}$$

$$\text{dispt}_2 = L B D_2 \rho_2 = 60 \times 15 \times 3.5 \times 1.017 = 3203.55 \text{ tons}$$

$$w = 5857.92 - 3203.55 = 2654.37 \text{ tons}$$

Example: A box shaped V/L with dimension 62x14x10 m, displaces 3200 tons in water of density 1014 kg per Cu.m, find present free board of V/L ?

$$L = 62\text{m} \quad B = 14\text{m} \quad H = 10\text{m} \quad \text{dispt} = 3200 \text{ tons} \quad \rho = 1.014 \frac{t}{m^3}$$

$$Fb = ?$$

$$Fb = H - D$$

$$\text{dispt} = L B D \rho \quad \text{====} > 3200 = 62 \times 14 \times D \times 1.014$$

$$D = \frac{3200}{880.152} = 3.63 \text{ m}$$

$$Fb = 10 - 3.63 = 6.37 \text{ m}$$

ضریب مکعبی (Cb) (Block coefficient) :

ضریب مکعبی یک شناور در هر آبخورد خاص عبارتند از نسبت حجم آب جابجا شده در آن آبخورد به حجم مکعبی قسمت غوطه ور شده در آب در همان آبخورد.

نکته ۱: لازم بذکر است با افزایش آبخورد، ضریب مکعبی نیز افزایش یافته و به ۱ نزدیکتر میشود.

نکته ۲: ضریب مکعبی کشتی های مکعبی (Box Shaped) ، ۱ می باشد و هر کشتی بغیر از کشتی های مکعبی این ضریب کمتر از ۱ می باشد.

ب) برای کشتی های غیر مکعبی شکل : (فرمولهای $dispt$)

$$dispt = L B D \rho C_b$$

$$dispt_{light} = L B D_{light} \rho_{sw} C_{b\ light}$$

$$dispt_{load} = L B D_{load} \rho_{sw} C_{b\ load}$$

$$Dead\ Weight = | dispt_{load} - dispt_{light} |$$

$$Present\ dispt_1 = L B D_1 \rho_1 C_{b\ 1}$$

$$Present\ dispt_2 = L B D_2 \rho_2 C_{b\ 2}$$

$$W_{load/discharged} = | dispt_2 - dispt_1 |$$

Example: A V/L with long= 48m, wide= 12m, has present draft= 4m with block coefficient of 0.78 in that draft in salt water, determine $dispt$ of V/L?

$$L = 48m \quad B = 12m \quad D = 4m \quad C_b = 0.78 \frac{t}{m^3} \quad \rho_{sw} = 1.025 \frac{t}{m^3} \quad dispt = ?$$

$$dispt = L B D \rho_{sw} C_b = 48 \times 12 \times 4 \times 1.025 \times 0.78 = 1842.048 \text{ tons}$$

Example: A ship is 150m long, has 20m beam load draft 8m, light draft 3m, the block coefficient at the load draft is 0.766 and at the light draft is 0.668 find the ship dead weight?

$$L = 150\text{m} \quad B = 20\text{m} \quad D_{\text{load}} = 8\text{m} \quad D_{\text{light}} = 3\text{m} \quad C_{b \text{ load}} = 0.766$$

$$C_{b \text{ light}} = 0.688 \quad \text{Dead weight} = ?$$

$$DW = \text{dispt}_{\text{load}} - \text{dispt}_{\text{light}}$$

$$\text{dispt}_{\text{load}} = L B D_{\text{load}} \rho_{\text{sw}} C_{b \text{ load}}$$

$$\text{dispt}_{\text{load}} = 150 \times 20 \times 8 \times 1.025 \times 0.766 = 18843.6 \text{ tons}$$

$$\text{dispt}_{\text{light}} = L B D_{\text{light}} \rho_{\text{sw}} C_{b \text{ light}} = 150 \times 20 \times 3 \times 1.025 \times 0.688$$

$$\text{dispt}_{\text{light}} = 6162.5 \text{ tons}$$

$$DW = 18843.6 - 6162.5 = 12681.3 \text{ tons}$$

Example: A ship 64m long, 10m maximum beam, has a light draft of 1.5m and a load draft of 4m the block coefficient of fineness is 0.600 at light draft and 0.750 at the load draft, find the dead weight ?

$$L = 64\text{m} \quad B = 10\text{m} \quad \text{draft}_{\text{light}} = 1.5\text{m} \quad \text{draft}_{\text{load}} = 4\text{m}$$

$$C_{b \text{ light}} = 0.600 \quad C_{b \text{ load}} = 0.750 \quad \text{dead weight} = ?$$

$$\rho = \rho_{sw} = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$\text{dead weight} = \text{dispt}_{\text{load}} - \text{dispt}_{\text{light}}$$

$$\text{dispt}_{\text{load}} = L B D_{\text{load}} \rho_{sw} C_{b \text{ load}} = 64 \times 10 \times 4 \times 1.025 \times 0.750$$

$$\text{dispt}_{\text{load}} = 1968 \text{ tons}$$

$$\text{dispt}_{\text{light}} = L B D_{\text{light}} \rho_{sw} C_{b \text{ light}} = 64 \times 10 \times 1.5 \times 1.025 \times 0.600$$

$$\text{dispt}_{\text{light}} = 590.4 \text{ tons}$$

$$\text{dead weight} = 1968 - 590.4 = 1377.6 \text{ tons}$$

Example: A ship 100m long, 15m beam & 12m deep is floating on an even keel at a draft= 6m with block coefficient= 0.72 in salt water, find amount of cargo to be loaded in water of density= 1012 kg per Cu.m with draft= 7.4m block, coefficient= 0.81

$$L = 100\text{m} \quad B = 15\text{m} \quad H = 12\text{m} \quad D_1 = 6\text{m} \quad C_{b1} = 0.72$$

$$\rho_1 = 1.025 \frac{t}{m^3} \quad \rho_2 = 1.012 \frac{t}{m^3} \quad D_2 = 7.4\text{m}$$

$$C_{b2} = 0.81 \quad w = ?$$

$$w = | \text{dispt}_2 - \text{dispt}_1 |$$

$$\text{dispt}_2 = L B D_2 \rho_2 C_{b2} = 100 \times 15 \times 7.4 \times 1.012 \times 0.81$$

$$\text{dispt}_2 = 9098.892 \text{ tons}$$

$$\text{dispt}_1 = L B D_1 \rho_1 C_{b1} = 100 \times 15 \times 6 \times 1.025 \times 0.72$$

$$\text{dispt}_1 = 6642 \text{ tons}$$

$$w = 9098.892 - 6642 = 2456.892 \text{ tons}$$

Example: A ship 120m long, 15m beam has block coefficient of 0.700 and is floating at the load of 7m in fresh water. find how much more cargo can be loaded if the ship is to float at the same draft in salt water?

$$L = 120\text{m} \quad B = 15\text{m} \quad C_{b1} = 0.700 \quad D_1 = 7\text{m}$$

$$\rho_1 = 1 \frac{t}{m^3} \quad D_2 = D_1 \quad C_{b1} = C_{b2} \quad \rho_2 = 1.025 \frac{t}{m^3} \quad w = ?$$

$$W = \text{dispt}_2 - \text{dispt}_1$$

$$\text{dispt}_1 = L B D_1 \rho_1 C_{b1} = 120 \times 15 \times 7 \times 1 \times 0.700$$

$$\text{dispt}_1 = 8820 \text{ tons}$$

$$\text{dispt}_2 = L B D_2 \rho_2 C_{b2} = 120 \times 15 \times 7 \times 1.025 \times 0.700$$

$$\text{dispt}_2 = 9040.5 \text{ tons}$$

$$W = 9040.5 - 8820 = 220.5 \text{ tons}$$

Example: A ship 100m long, 15m beam and 12m deep is floating on an even keel at a draft of 6m, block coefficient 0.8 the ship is floating in salt water. find the cargo to discharge so that the ship will float at the same draft in fresh water?

$$L = 100\text{m} \quad B = 15\text{m} \quad D_1 = 6\text{m} \quad C_{b1} = 0.8 \quad \rho_1 = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$D_2 = D_1 \quad C_{b2} = C_{b1} \quad \rho_2 = 1 \frac{t}{m^3} \quad W = ?$$

$$W = | \text{dispt}_2 - \text{dispt}_1 |$$

$$\text{dispt}_1 = L B D_1 \rho_1 C_{b1} = 100 \times 15 \times 6 \times 1.025 \times 0.8$$

$$\text{dispt}_1 = 7380 \text{ tons}$$

$$\text{dispt}_2 = L B D_2 \rho_2 C_{b2} = 100 \times 15 \times 6 \times 1 \times 0.8$$

$$\text{dispt}_2 = 7200 \text{ tons}$$

$$W = 7380 - 7200 = 180 \text{ tons}$$

ضریب مساحت یا محدوده سطح مقطع آب) Water plane area)
(C_w) (coefficient

نسبت مساحت یا محدوده سطح مقطع آب به مساحت یا محدوده مستطیلی آن که دارای طول و حداکثر عرض یکسان باشد را در یک آب‌خور خاص گویند که فرمول آن عبارتند از:

$$C_w = \frac{\text{area of water plane}}{\text{area of rectangular}}$$

$$C_w = \frac{\text{area of water plane}}{L \times B}$$

$$WPA = C_w \times L \times B$$

Example: Find the area of the water plane of a ship 36 meters long, 6 meters beam which has a coefficient of fineness of 0.8 ?

$$L = 36m \quad B = 6m \quad C_w = 0.8 \quad WPA = ?$$

$$WPA = C_w L B = 0.8 \times 36 \times 6 = 172.8 \, m^2$$

تأثیرات چگالی (Density) بر روی وزن کشتی (displacement):

برای کشتی های مکعبی یا غیر مکعبی هنگامیکه آبخور (draft) ثابت بماند:

$$L \quad B \quad D_1 \quad \rho_1 \quad C_{b1} =====> \text{dispt}_1 = LBD_1\rho_1C_{b1}$$

$$L \quad B \quad D_1 \quad \rho_1 \quad C_{b1} =====> \text{dispt}_1 = LBD_1\rho_1C_{b1}$$

if draft= constant =====>

$$\frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{LBD_1\rho_1C_{b1}}{LBD_2\rho_2C_{b2}} =====> \frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

Example: A ship displaces 7500 tons of water of density 1000 kg per Cu.m find displacement in tons when the ship is floating at the same draft in water of density 1010 kg per Cu.m ?

$$\text{dispt}_1 = 7500 \text{ tons} \quad \rho_1 = 1 \frac{t}{m^3} \quad \text{dispt}_2 = ?$$

$$\rho_2 = 1.010 \frac{t}{m^3} \quad \text{draft} = \text{const.}$$

$$\frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$\frac{7500}{\text{dispt } 2} = \frac{1}{1.010}$$

$$\text{dispt}_2 = 7500 \times 1.010 = 7575 \text{ tons}$$

Example: A ship displacement 7000 tons whilst floating in fresh water. Find the displacement of ship when floating at the same draft in water of density 1015 kg per cubic meter.

$$\text{dispt}_1 = 7000 \text{ tons} \quad \rho_1 = 1 \frac{t}{m^3} \quad \text{dispt}_2 = ?$$

$$\rho_2 = 1.015 \frac{t}{m^3} \quad \text{draft} = \text{const.}$$

$$\frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$\frac{7000}{\text{dispt } 2} = \frac{1}{1.015}$$

$$\text{dispt}_2 = 7000 \times 1.015 = 7105 \text{ tons}$$

Example: When floating in fresh water at a draft of 6.5m a ship displaces 4288 tons, find the displacement when the ship is floating at the same draft in water of density 1015 kg per Cu.m?

$$\text{dispt}_1 = 4288 \text{ tons} \quad \rho_1 = 1 \frac{t}{m^3} \quad \text{dispt}_2 = ?$$

$$\rho_2 = 1.015 \frac{t}{m^3} \quad \text{draft} = \text{const.}$$

$$\frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{\rho 1}{\rho 2}$$

$$\frac{4288}{\text{dispt } 2} = \frac{1}{1.015}$$

$$\text{dispt}_2 = 4288 \times 1.015 = 4352.32 \text{ tons}$$

Example: A ship of 6400 tons displacement is floating in salt water. The ship has to proceed to a berth where the density of the water is 1008 kg per Cu.m find how much cargo must be discharged if She is to remain at the salt water draft?

$$\begin{array}{lll} \text{dispt}_1 = 6400 \text{ tons} & \rho_1 = 1.025 \frac{t}{m^3} & \rho_2 = 1.008 \frac{t}{m^3} \\ \text{draft} = \text{const.} & \text{dispt}_2 = ? & w = ? \end{array}$$

$$\frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{\rho 1}{\rho 2}$$

$$\frac{6400}{\text{dispt } 2} = \frac{1.025}{1.008}$$

$$\text{dispt}_2 = \frac{6400 \times 1.008}{1.025} = 6293.85 \text{ tons}$$

$$w = \text{dispt}_1 - \text{dispt}_2 = 6400 - 6293.85 = 106.15 \text{ tons}$$

Example: A ship of 120m x 17m x 10m, has a block coefficient 0.800 and is floating at the load summer draft of 7.2m in fresh water, find how much cargo can be loaded to remain at the same draft in salt water?

$$\begin{aligned} L &= 120\text{m} & B &= 17\text{m} & H &= 10\text{m} & C_{b1} &= 0.8 \\ D_1 &= 7.2\text{m} & \rho_1 &= 1 \frac{t}{m^3} & \text{draft} &= \text{const.} & \rho_2 &= 1.025 \frac{t}{m^3} \\ w &= ? \end{aligned}$$

$$\frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$\text{Dispt}_1 = LBD_1\rho_1C_{b1} = 120 \times 17 \times 7.2 \times 1 \times 0.8 = 11750.4 \text{ tons}$$

$$\frac{11750.4}{\text{dispt } 2} = \frac{1}{1.025}$$

$$\text{dispt}_2 = 11750.4 \times 1.025 = 12044.16 \text{ tons}$$

$$w = \text{dispt}_2 - \text{dispt}_1 = 12044.16 - 11750.4 = 293.76 \text{ tons}$$

Example: A box-shaped vessel 24m x 6m x 3m, displaces in a draft of 2m with density= 1010 kg per Cu.m. find the density of water whilst in that ship displaces 292 tons with same draft?

$$L = 24\text{m}$$

$$B = 6\text{m}$$

$$H = 3\text{m}$$

$$D_1 = 2\text{m}$$

$$\rho_1 = 1.010 \frac{t}{m^3}$$

$$\rho_2 = ?$$

$$dispt_2 = 292 \text{ t}$$

$$draft = \text{const.}$$

$$\frac{dispt_1}{dispt_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$Dispt_1 = LBD_1\rho_1 = 24 \times 6 \times 2 \times 1.010 = 290.88 \text{ tons}$$

$$\frac{290.88}{292} = \frac{1.010}{\rho_2}$$

$$\rho_2 = \frac{292 \times 1.010}{290.88} = 1.013 \frac{t}{m^3}$$

تأثیرات تغییر آب‌خور بر روی وزن کشتی (displacement) هنگامیکه چگالی

آب ثابت بماند :

الف) برای کشتی‌های جعبه‌ای شکل (Box – Shaped Vessel) :

$$L \quad B \quad \rho_1 \quad D_1 \implies Dispt_1 = LBD_1\rho_1$$

$$L \quad B \quad \rho_2 \quad D_2 \implies Dispt_2 = LBD_2\rho_2$$

$$\implies \frac{dispt_1}{dispt_2} = \frac{LBD_1\rho_1}{LBD_2\rho_2} \quad \& \quad \rho_2 = \rho_1 \implies \frac{dispt_1}{dispt_2} = \frac{LBD_1\rho_1}{LBD_2\rho_1}$$

$$\implies \frac{dispt_1}{dispt_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

Example: A box-shaped vessel displaces 3450 tons has draft= 3.4m, She is to load cargo where draft reach to 6m, in same density, find new displacement of vessel?

$$\text{Dispt}_1 = 3450 \text{ t} \quad D_1 = 3.4\text{m} \quad D_2 = 6\text{m} \quad \rho_1 = \rho_2 \quad \text{dispt}_2 = ?$$

$$\frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{D_1}{D_2}$$

$$\frac{3450}{\text{dispt } 2} = \frac{3.4}{6}$$

$$\text{Dispt}_2 = \frac{6 \times 3450}{3.4} = 6088.23 \text{ tons}$$

Example: A box-shaped vessel displaces 2650 tons with draft= 7.3m, has arrive to berth & then discharge cargo, find amount of cargo discharged when draft reach to 4.2m on departure?

$$\text{Dispt}_1 = 2650 \text{ t} \quad D_1 = 7.3\text{m} \quad D_2 = 4.2\text{m} \quad \rho_1 = \rho_2 \quad w = ?$$

$$\frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{D_1}{D_2}$$

$$\frac{2650}{\text{dispt } 2} = \frac{7.3}{4.2}$$

$$\text{Dispt}_2 = \frac{2650 \times 4.2}{7.3} = 1524.65 \text{ tons}$$

$$W = \text{dispt}_1 - \text{dispt}_2 = 2650 - 1524.65 = 1125.35 \text{ t}$$

الف) برای کشتی های غیر جعبه ایی یا غیر مکعبی :

$$\text{حالت یک} : L \quad B \quad \rho_1 \quad D_1 \quad Cb_1 \implies \text{Dispt}_1 = LBD_1\rho_1 Cb_1$$

$$\text{حالت دو} : L \quad B \quad \rho_2 \quad D_2 \quad Cb_2 \implies \text{Dispt}_2 = LBD_2\rho_2 Cb_2$$

$$\implies > \frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{LBD_1\rho_1 Cb_1}{LBD_2\rho_2 Cb_2} \quad \& \quad \rho_2 = \rho_1 \implies > \frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{LBD_1\rho_1 Cb_1}{LBD_2\rho_1 Cb_2}$$

$$\implies > \frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{D_1 Cb_1}{D_2 Cb_2}$$

Example: A vessel of 2600 tons displacement has draft= 4.5m with block coefficient= 0.74 proceed to a port of same density, find new displacement of V/L when draft= 6.7m with block coefficient= 0.85 in destination?

$$\begin{aligned} \text{Dispt}_1 &= 2600 \text{ t} & Cb_1 &= 0.74 & \rho_1 &= \rho_2 & \text{Dispt}_2 &=? \\ D_2 &= 6.7\text{m} & Cb_2 &= 0.85 & D_1 &= 4.5\text{m} \end{aligned}$$

$$\frac{\text{dispt } 1}{\text{dispt } 2} = \frac{D_1 Cb_1}{D_2 Cb_2}$$

$$\frac{2600}{dispt\ 2} = \frac{4.5 \times 0.74}{6.7 \times 0.85}$$

$$Dispt_2 = \frac{2600 \times 6.7 \times 0.85}{4.5 \times 0.74}$$

$$Dispt_2 = 4446.546\ t$$

تأثیرات تغییر چگالی (Density) بر روی آب‌خور کشتی (Draft) هنگامیکه وزن کشتی (Displacement) ثابت بماند:

الف) برای کشتی‌های جعبه‌ای شکل (Box – Shaped Vessel):

$$L\ B\ \rho_1\ D_1 === > Dispt_1 = LBD_1\rho_1$$

حالت یک

$$L\ B\ \rho_2\ D_2 === > Dispt_2 = LBD_2\rho_2$$

حالت دو

$$=== > \frac{dispt\ 1}{dispt\ 2} = \frac{LBD_1\rho_1}{LBD_2\rho_2} \quad \&\ Dispt_2 = Dispt_1$$

$$=== > LBD_1\rho_1 = LBD_2\rho_2 === > D_1\rho_1 = D_2\rho_2$$

$$=== > \frac{D_1}{D_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Example: A Box-Shaped vessel floats at a mean draft of 2.1m meters; in dock water of density 1020 kg per Cu.m find the mean draft for the same mass displacement in salt water of density 1025 kg per cubic meter?

$$D_1 = 2.1m \quad \rho_1 = 1.020 \frac{t}{m^3} \quad D_2 = ? \quad Dispt_2 = Dispt_1$$

$$D_2 = ? \quad \rho_2 = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$\text{Dispt}_2 = \text{Dispt}_1 \implies \frac{D_1}{D_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$$\frac{2.1}{D_2} = \frac{1.025}{1.020}$$

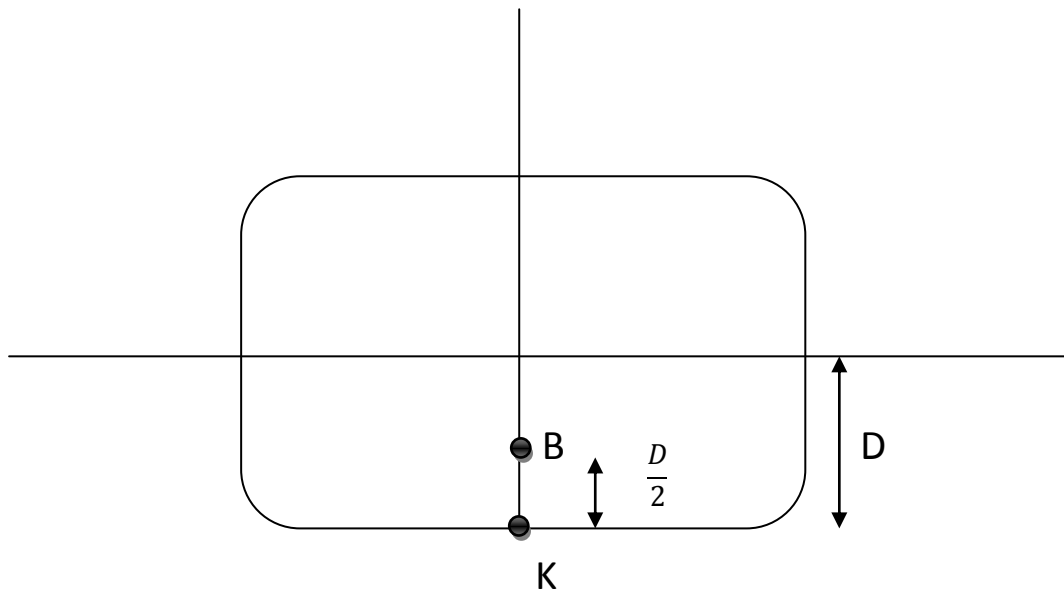
$$D_2 = \frac{2.1 \times 1.020}{1.025} = 2.089\text{m}$$

Example: A Box-Shaped vessel upright on an even keel as shown in fresh water of density 1000 kg per Cu.m and the center of buoyancy is 0.50m above the keel. Find the height of center of buoyancy above the keel when the V/L is floating in salt water of density 1025 kg per cubic meter.

$$\rho_1 = 1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad KB_1 = 0.5\text{m} \quad KB_2 = ? \quad \rho_2 = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

Note: the center of buoyancy is the geometric center of underwater volume and for a box shaped V/L must be at half drafts i.e. $KB = \frac{1}{2} D$

Ship Stability



$$\text{Dispt}_1 = \text{Dispt}_2$$

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$$\frac{1}{D_2} = \frac{1.025}{1} \implies D_2 = \frac{1}{1.025} \implies D_2 = 0.975\text{m}$$

$$KB_2 = \frac{D_2}{2} = \frac{0.975}{2} = 0.4875\text{m}$$

الف) برای کشتی های غیرجعبه ایی یا غیر مکعبی:

$$\text{حالت یک : } L \quad B \quad D_1 \quad \rho_1 \quad Cb_1 \implies \text{Dispt}_1 = LBD_1\rho_1 Cb_1$$

$$\text{حالت دو : } L \quad B \quad D_2 \quad \rho_2 \quad Cb_2 \implies \text{Dispt}_2 = LBD_2\rho_2 Cb_2$$

$$\implies \frac{\text{dispt}_1}{\text{dispt}_2} = \frac{LBD_1\rho_1 Cb_1}{LBD_2\rho_2 Cb_2} \quad \& \quad \text{Dispt}_2 = \text{Dispt}_1$$

$$\implies LBD_1\rho_1 Cb_1 = LBD_2\rho_2 Cb_2 \implies D_1\rho_1 Cb_1 = D_2\rho_2 Cb_2$$

$$\implies \frac{D_1}{D_2} = \frac{\rho_2 Cb_2}{\rho_1 Cb_1}$$

Example: A Vessel of draft= 4m with block coefficient= 0.66 floating in salt water, find new draft of ship with block coefficient= 0.71 when proceed in to water of density 1012 kg per Cu.m

$$D_1=4\text{m} \quad Cb_1= 0.66 \quad \rho_1=1.025 \frac{t}{m^3} \quad D_2=?$$

$$Cb_2= 0.71 \quad \rho_2=1.012 \frac{t}{m^3}$$

$$\text{Dispt}_2 = \text{Dispt}_1 \implies \frac{D_1}{D_2} = \frac{\rho_2 Cb_2}{\rho_1 Cb_1} \implies$$

$$\frac{4}{D_2} = \frac{1.012 \times 0.71}{1.025 \times 0.66} \implies D_2 = \frac{4 \times 1.025 \times 0.66}{1.012 \times 0.71} = 3.766\text{m}$$

TPC (Ton per Centimeter)

چنانچه به ازاء بارگیری و یا تخلیه یک بار بر روی شناور، آبخور آن شناور ۱ سانتی متر تغییر نماید به میزان تناژ بار تخلیه یا بارگیری شده TPC گویند.

بعبارتی می توان گفت میزان باری می باشد که می تواند آبخور یک شناور را 1cm تغییر دهد. واحد آن $\frac{ton}{cm}$ و بصورت عامیانه به ton بیان می شود و فرمولهای آن بشرح ذیل می باشد:

$$TPC = \frac{(W)(ton)}{(\Delta D)(cm)}$$

(میزان بارگیری یا تخلیه شده) (میزان تغییر آبخور شناور)

$$TPC = \frac{(WPA)(m^2) \times (\rho)(\frac{t}{m^3})}{100}$$

(مساحت سطح مقطع آب) (چگالی آب)

$$TPC = \frac{(Dispt)(ton)}{4 \times (FWA)(mm)}$$

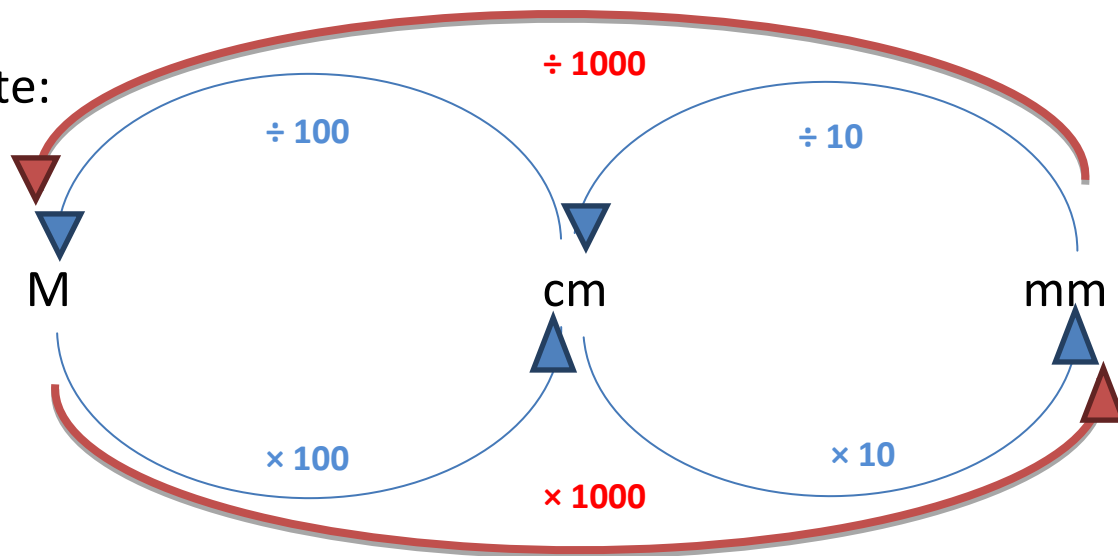
(شناور وزن) (فرجه آب شیرین)

Example: A Vessel with draft= 6.2m discharge a cargo of 80 tones, find TPC of V/L, when draft of V/L changed to 6.02m

$D_1 = 6.2m$ $w = 80 t$ $TPC = ?$ $D_2 = 6.02m$

$$TPC = \frac{w}{\Delta D} = \frac{80}{6.2 - 6.02} = \frac{80}{0.18m} = \frac{80}{18cm} = 4.44 \frac{t}{cm}$$

Note:



Example: A vessel of TPC= 8 tones per centimeters, loaded a weight of cargo, then draft changed about 150mm. find amount of cargo loaded?

$$\text{TPC} = 8 \frac{t}{cm} \quad \Delta D = 150\text{mm} \quad w = ?$$

$$\text{TPC} = \frac{w}{\Delta D} \quad \implies w = \text{TPC} \times \Delta D$$

$$\Delta D = 150\text{mm} = \frac{150}{10} \text{ cm} = 15 \text{ cm}$$

$$W = 8 \times 15 = 120 \text{ tons}$$

فرجه آب شیرین (Fresh Water allowance):

تغییرات آبخور یک شناور از آب شیرین به طرف آب شور و یا از آب شور به طرف آب شیرین را گویند و واحد آن به mm بوده و فرمول آن عبارتست از :

$$FWA = \frac{Dispt}{4 \times TPC}$$

فرمولهای کاربردی:

$$D_{sw} = D_{fw} - FWA$$

$$D_{fw} = D_{sw} + FWA$$

$$FB_{sw} = FB_{fw} + FWA$$

$$FB_{fw} = FB_{sw} - FWA$$

Example: A V/L displaces 1800 tons during the discharging of a weight of 150 tons has draft 0.75m had changed, find fresh water allowance?

$$Dispt = 1800 \text{ t} \quad w = 150 \text{ t} \quad \Delta D = 0.75 \text{ m} = 75 \text{ cm} \quad FWA = ?$$

$$FWA = \frac{Dispt}{4 \times TPC}$$

$$TPC = \frac{w}{\Delta D} = \frac{150}{75}$$

$$TPC = 2 \text{ tons}$$

$$FWA = \frac{1800}{4 \times 2} = \frac{1800}{8} = 225 \text{ mm}$$

Example: A ship of draft= 4.2m floating in a salt water, find new draft of her, if she proceed in fresh water with FWA= 50mm

$$D_{sw} = 4.2 \text{ m} \quad D_{fw} = ? \quad FWA = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$$

$$D_{fw} = D_{sw} + FWA$$

$$D_{fw} = 4.2 \text{ m} + 0.05 \text{ m} = 4.25 \text{ m}$$

Example: A vessel of 0.542m free board floating in a water of density 1000 kg per Cu.m find new free board of V/L whilst floated in a salt water with 2200 tons displacement, TPC= 18 tons

$$FB_1 = 0.542 \text{ m} \quad \rho_1 = 1 \frac{t}{m^3} \quad FB_2 = ? \quad \rho_2 = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$\text{dispt} = 2200 \text{ tons} \quad TPC = 18 \text{ t}$$

$$FB_2 = FB_1 + FWA$$

$$FWA = \frac{\text{Dispt}}{4 \times TPC} = \frac{2200}{4 \times 18} = \frac{2200}{72} = 30.555 \text{ mm} = 0.030 \text{ m}$$

$$FB_2 = 0.542 + 0.030 = 0.572 \text{ m}$$

Example: A Ship of 70m X 12m X 8m has draft= 5m with block coefficient= 0.8 floated in salt water, She arrive into fresh water, find new free board of ship, TPC= 10 tons.

$$L = 20 \text{ m} \quad B = 12 \text{ m} \quad H = 8 \text{ m} \quad D_1 = 5 \text{ m} \quad Cb_1 = 0.8$$

$$\rho_1 = 1.025 \frac{t}{m^3} \quad \rho_2 = 1 \frac{t}{m^3} \quad FB_1 = ? \quad TPC = 10 \text{ t}$$

$$FB_2 = FB_1 - FWA$$

$$FB_1 = H - D_1 = 8 - 5 = 3 \text{ m}$$

$$FB_1 = \frac{Dispt}{4 \times TPC}$$

$$Dispt = L_1 \times B_1 \times D_1 \times \rho_1 \times Cb_1 = 20 \times 12 \times 5 \times 1.025 \times 0.8 = 3444 \text{ tons}$$

$$FWA = \frac{3444}{4 \times 10} = \frac{3444}{40} = 86.1 \text{ mm} = 0.086 \text{ m}$$

$$FB_2 = 3 - 0.086 = 2.914 \text{ m}$$

فرجه آب Dock (Dock Water allowance):

Dock Water آبی می باشد که چگالی آن مابین آب شیرین و آب شور می باشد.

تغییرات آبخور یک شناور از آب شور بطرف آب Dock و یا از آب Dock به آب شیرین را فرجه آب Dock یا Dock water allowance گویند. واحد آن به میلی متر بوده و فرمول آن بشرح ذیل می باشد

$$DWA \text{ (mm)} = \frac{FWA \times (\rho_{sw} - \rho_{Dw})}{0.025}$$

فرمولهای کاربردی:

$$D_{sw} = D_{Dw} - DWA$$

$$D_{Dw} = D_{sw} + DWA$$

$$FB_{sw} = FB_{Dw} + DWA$$

$$FB_{Dw} = FB_{sw} - DWA$$

Example: A Ship with FWA= 150 mm floating in a water of density= 1010 kg per Cu.m find change of draft whilst entering in a water of density= 1025 kg per Cu.m?

$$FWA = 150 \text{ mm} \quad \rho_1 = 1.010 \frac{t}{m^3} \quad \Delta D = ? \quad \rho_2 = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

نکته : در این حالت ΔD همان DWA است پس:

$$\Delta D = DWA = \frac{FWA \times (\rho_{sw} - \rho_{DW})}{0.025} = \frac{150 \times (1.025 - 1.010)}{0.025} = 90 \text{ mm}$$

Example: A Ship of 3.5m draft floating in a salt water, find new draft of ship while She will arrive into water of density 1017 kg per Cu.m with fresh water allowance= 120 mm

$$D_1 = 3.5 \text{ m} \quad \rho_1 = 1.025 \frac{t}{m^3} \quad D_2 = ? \quad \rho_2 = 1.017 \frac{t}{m^3}$$

$$FWA = 120 \text{ mm}$$

$$D_{Dw} = D_{sw} + DWA$$

$$DWA = \frac{FWA \times (\rho_{sw} - \rho_{Dw})}{0.025} = \frac{120 \times (1.025 - 1.017)}{0.025} = \frac{120 \times 0.008}{0.025}$$

$$DWA = 38.4 \text{ mm} = 0.038 \text{ m}$$

$$D_{Dw} = D_{sw} + DWA = 3.5 + 0.038 = 3.538 \text{ m}$$

Example: A vessel of free board= 3.105 m floating in a water of density= $1.007 \frac{t}{m^3}$ determine new free board of vessel when proceed to a water of density= 1025 kg per Cu.m (FWA= 205 mm)

$$FB_1 = 3.105 \text{ m} \quad \rho_1 = 1.007 \frac{t}{m^3} \quad FB_2 = ? \quad \rho_2 = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$FWA = 205 \text{ mm}$$

$$FB_1 = FB_2 + DWA$$

$$DWA = \frac{FWA \times (\rho_2 - \rho_1)}{0.025} = \frac{205 \times (1.025 - 1.007)}{0.025} = \frac{205 \times 0.018}{0.025} = \frac{3.69}{0.025}$$

$$DWA = 147.6 \text{ mm} = 0.147 \text{ m}$$

$$FB_2 = 3.105 + 0.147 = 3.252 \text{ m}$$

Example: A Ship is loading in a summer zone in dock water of density 1005 kg per Cu.m FWA= 62.5 mm, TPC= 15 tons. The lower edge of summer load line is in the water line to port and is 5 cm above the water line to starboard side. Find how much more cargo may be loaded if the ship is to be at the correct load draft in salt water?

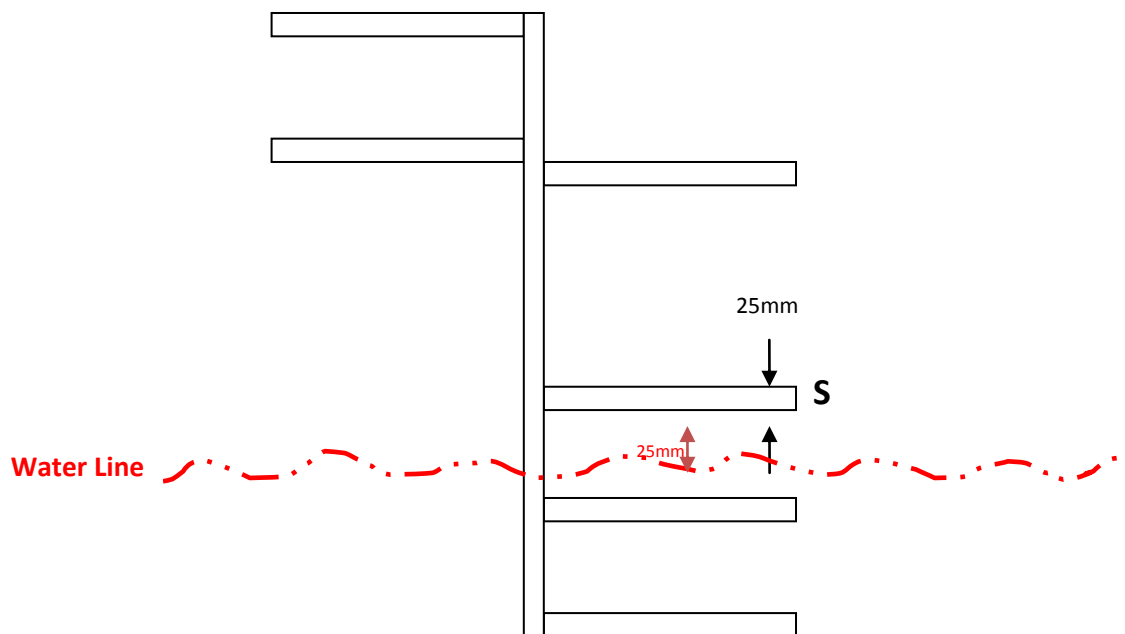
$$\rho_{Dw} = 1.005 \frac{t}{m^3} \quad FWA = 62.5 \text{ mm} \quad TPC = 15 \text{ t} \quad w = ?$$

توضیح : در مساله بالا همانطور که گفته شده است، در آب Dock حاشیه یا لبه پایینی خط تابستانی در سمت چپ کشتی مماس با خط آب و در سمت راست 5cm بالاتر از خط آب می باشد، بنابراین با توجه به شکل خط شاهین می توان بطور میانگین به این نتیجه رسید که در کشتی فوق خط آب د ر 2.5cm زیر لبه پایینی خط بارگیری تابستانی قرار دارد

بنابراین اگر بخواهیم فاصله تا لبه بالایی خط بارگیری تابستانی که معیار محاسبه ما می باشد را بدست آوریم باید فاصله خط آب تا لبه پایینی خط بارگیری تابستانی که 2.5cm بوده را با ضخامت خط بارگیری تابستانی که 25mm و بعبارتی 2.5cm است، جمع نماییم تا در نهایت فاصله از خط آب تا بالایی خط آب تابستانی (که برابر با $2.5 + 2.5 = 5\text{cm}$ است) بدست آید.

از طرف دیگر چونکه کشتی فوق در آب Dock قرار داشته و می خواهد تا آبخور تابستانی در آب شور بارگیری کند بنابراین به اندازه Dock water allowance نیز آبخور خود را افزایش دهد.

حال با استفاده از فرمول $w = \Delta D \times TPC$ میزان باری که می توان بارگیری کرد تا این کشتی در خط آب تابستانی قرار گیرد را بدست آورد.



$$DWA = \frac{FWA \times (\rho_{sw} - \rho_{Dw})}{0.025} = \frac{62.5 \times (1.025 - 1.005)}{0.025} = \frac{62.5 \times 0.020}{0.025} = \frac{1.25}{0.025} = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm}$$

$$\Delta D = 5 + DWA = 5 + 5 = 10 \text{ cm}$$

$$TPC = \frac{w}{\Delta D} \implies w = \Delta D \times TPC = 10 \times 15 = 150 \text{ tons}$$

تعریف مفاهیم پایه مربوط به تعادل کشتی:

۱ - حالت قائم (Upright):

به حالتی از تعادل کشتی گفته می شود که کشتی یا شناور بصورت عمود یا قائم بر روی سطح آب غوطه ور بوده و هیچ گونه حرکت عرضی نداشته باشد.

۲ - Heel:

کج شدن عرضی شناور بر اثر نیروی خارجی نظیر باد، جریان آب و غیره را Heel گویند.

۳ - List:

کج شدن عرضی شناور بر اثر چیدمان نامناسب بار را بر روی شناور List گویند. برای مثال هنگامیکه یک بار در راستای عرضی شناور جابجا گردد باعث کج شدن شناور گردیده که به این کج شدن List گویند.

۴ - Even Keel:

بحالتی گفته می شود که آبخور شناور در جلو و وسط و عقب یکسان باشد.

۵ - Trim:

هنگامیکه آبخور شناور در جلو و عقب یکسان نباشد به اختلاف و تفاوت آبخور جلو و عقب Trim گویند که ممکن است در دو حالت بوجود آید که عبارتند از:

الف) Trim By Head : که در این حالت آبخور سینه یا جلوی شناور بیشتر از آبخور پاشنه می باشد.

ب) Trim By Aft/Stern : به حالتی گفته می شود که آبخور پاشنه بیشتر از آبخور سینه می باشد.

۶ - Center Of Floatation (مرکز غوطه وری):

نقطه ایی است که شناور حول این نقطه نوسان طولی (Trim) می کند. برای کشتی های مکعبی (Box Shaped Vessel) این مرکز در وسط شناور (Amidships) می باشد.

۷ - مرکز ثقل یا COG یا G (Center Of Gravity):

نقطه ایی است که برآیند نیروهای وزن شناور از آن نقطه بصورت عمود بسمت پایین می گذرد و برابر با وزن کشتی می باشد. عبارت دیگر مرکز ثقل یک کشتی یا شناور، نقطه ایی است که تمام وزن یک شناور در آن نقطه فرض می شود، بنابراین اگر جسمی را از مرکز ثقل آن آویزان نماییم بحالت توازن و تعادل قرار خواهد گرفت.

۸ - مرکز شناوری یا COB یا B (Center Of Buoyancy):

نقطه ایی است که برآیند نیروهای شناوری عمود بسمت بالا از آن می گذرد و برابر با وزن آب جابجا شده بوسیله شناور می باشد بعبارتی مرکز ثقل زیر آبی شناور را، مرکز شناوری گویند.

۹ - نیروی شناوری یا FOB (Force Of Buoyancy) :

نیروی شناوری، نیرویی است که از طرف آبهای جابجا شده زیر کشتی بصورت عمود و بسمت بالا بر مرکز شناوری اعمال می شود.

۱۰ - Meta Center یا M :

اگر یک شناور در دریا بر اثر نیروی خارجی کج گردد (Heel) نقطه G در جای خود ثابت می ماند ولی نقطه B بدلیل تغییر شکل زیر آب شناور جایش تغییر می کند . نقطه ایی که خط نیروی شناوری اولیه قبل از کج شدن شناور و خط نیروی شناوری ثانویه بعد از کج شدن همدیگر را قطع می کنند، نقطه Meta Center گویند.

۱۱ - Meta Centric Height یا GM :

حد فاصل بین نقطه Meta Center تا مرکز ثقل کشتی (G) را گویند.

۱۲ - KM :

حد فاصل عمودی بین Keel کشتی تا نقطه Meta Center را گویند.

۱۳ - KG :

حد فاصل عمودی بین Keel تا مرکز ثقل کشتی را گویند.

۱۴ - Kg :

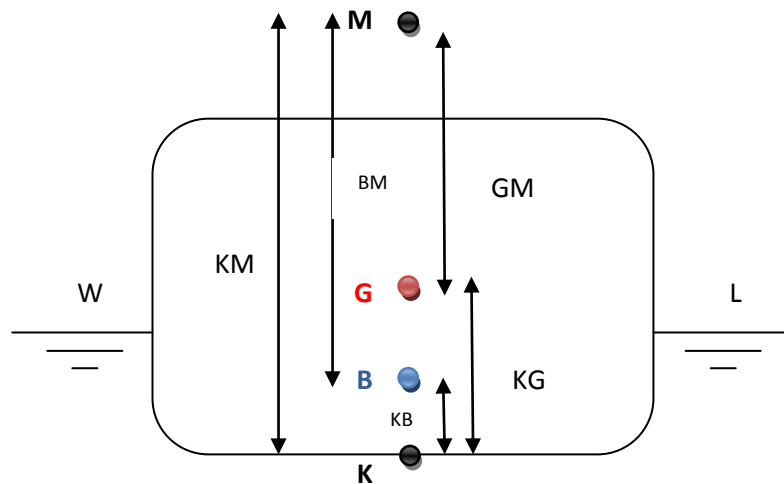
حد فاصل عمودی بین Keel کشتی تا مرکز ثقل بار بارگیری شده یا تخلیه شده ویا جابجا شده را گویند.

۱۵ - KB :

حد فاصل عمودی بین Keel تا نقطه شناوری را گویند.

۱۶ - BM :

حد فاصل عمودی بین Meta Center تا نقطه شناوری را گویند.

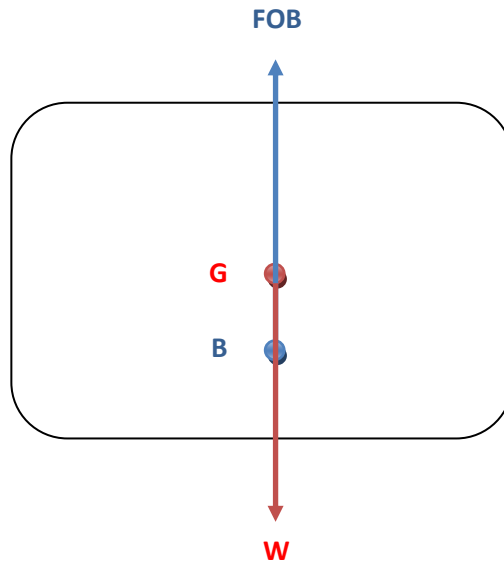


$$KM = KG + GM$$

$$KM = KB + BM$$

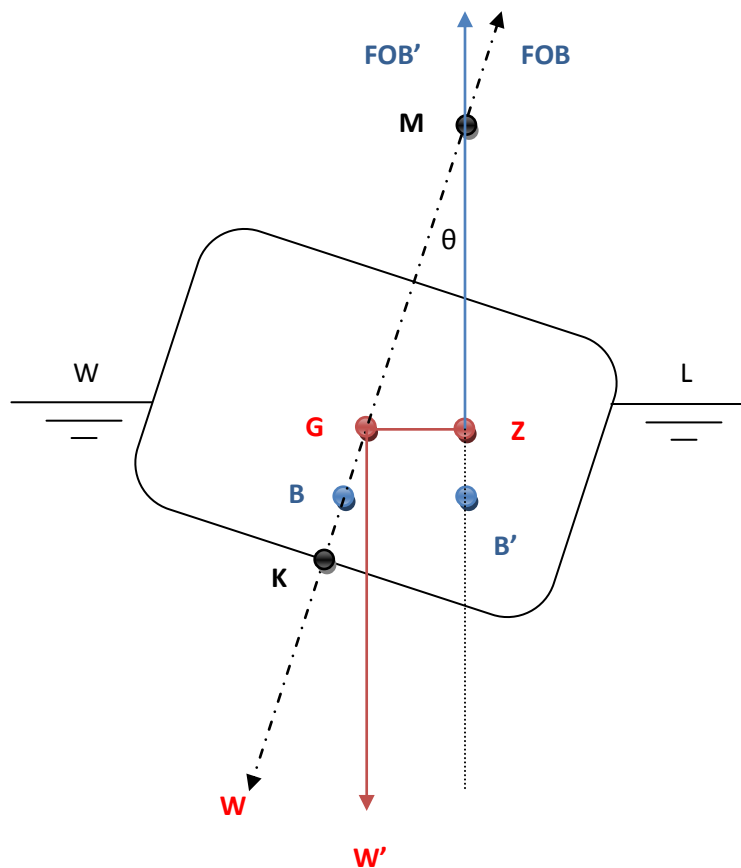
$$GM = KM - KG$$

$$KG = KM - GM$$



انواع تعادل در کشتی (Type Of Stability Equilibrium):

۱ - تعادل پایدار (Stable Equilibrium):



θ = Angel of Heel

Moment of statical stability = Dispt X GZ; $GZ = GM \times \sin \theta$

Moment of statical stability = Dispt X GM X Sin θ

وقتی که در یک شناور نقطه Meta Center یا M بالاتر از نقطه مرکز ثقل یا G باشد، اگر این شناور بر اثر نیروی خارجی به سمتی کج شود (Heel) آن شناور تمایل دارد بحالت اولیه بازگردد که به این حالت تعادل پایدار می گویند و بنابراین در این وضعیت کشتی دارای GM مثبت می باشد. اگر یک کشتی بر اثر یک نیروی خارجی به طرفی کج گردد، بدلیل تغییر شکل قسمت زیر آبی، مکان مرکز شناوری (B) تغییر می کند و به نقطه جدیدی بنام B' تغییر مکان می دهد و نیروی شناوری جدید از نقطه B' بصورت عمود بسمت بالا اعمال می گردد و از نقطه M می گذرد. همانطور که در شکل مشخص است یک اهرم که از نقطه G بصورت عمود بر نیروی شناوری جدید بوجود می آید و محل تلاقی آنرا Z می نامند و اهرم بوجود آمده را GZ (Righting Lever) نامیده که به اهرم بازگردانده مشهور بوده و باعث می گردد که یک گشتاور بازگردانده یا بعبارتی گشتاور تعادل استاتیکی (Moment of statical stability) بوجود آورد که اندازه آن برابر با $\text{Dispt} \times GM \times \sin \theta$ می باشد که در آن θ زاویه کج شدن شناور از خط عمود (Angel of heel) می باشد، نیروی وزن کشتی و نیروی شناوری کشتی از این اهرم (GZ) استفاده نموده و نیروهایی بر خلاف جهت همدیگر بوجود می آورد و باعث برگشت کشتی بحالت اولیه می گردد.

کشتی سرسخت (Stiff Ship):

هنگامیکه یک کشتی دارای GM مثبت بزرگ باشد، اگر بر اثر نیروهای خارجی بسمتی کج شود، آن شناور تمایل دارد که با سرعت و شدت زیادی بحالت اولیه خود بازگردد که این بعلت بزرگ بودن اهرم بازگرداننده یا GZ و یا بعبارتی بزرگ بودن مقدار GM می باشد که در نتیجه باعث می شود، گشتاور بازگرداننده مقدارش افزایش یافته و در نتیجه باعث می شود کشتی با سرعت بیشتری بحالت اولیه بازگردد و باعث بروز مشکلاتی بشرح ذیل می شود:

- ۱ - باعث اذیت و ناراحتی خدمه می گردد.
- ۲ - بارهای جابجا شده احتمالا Lashing ها را پاره می کند.
- ۳ - ضربه ایجاد شده در مخازن پر کشتی، توسط مایعات برای شناور خطرناک می باشد.
- ۴ - احتمال اینکه کشتی در زمان برگشت بحالت اولیه، بعلت شدت حرکت، تعادل خود را از دست داده و در سمت مقابل کج شدن اولیه واژگون گردد، زیاد است.

کشتی رام (Tender Ship):

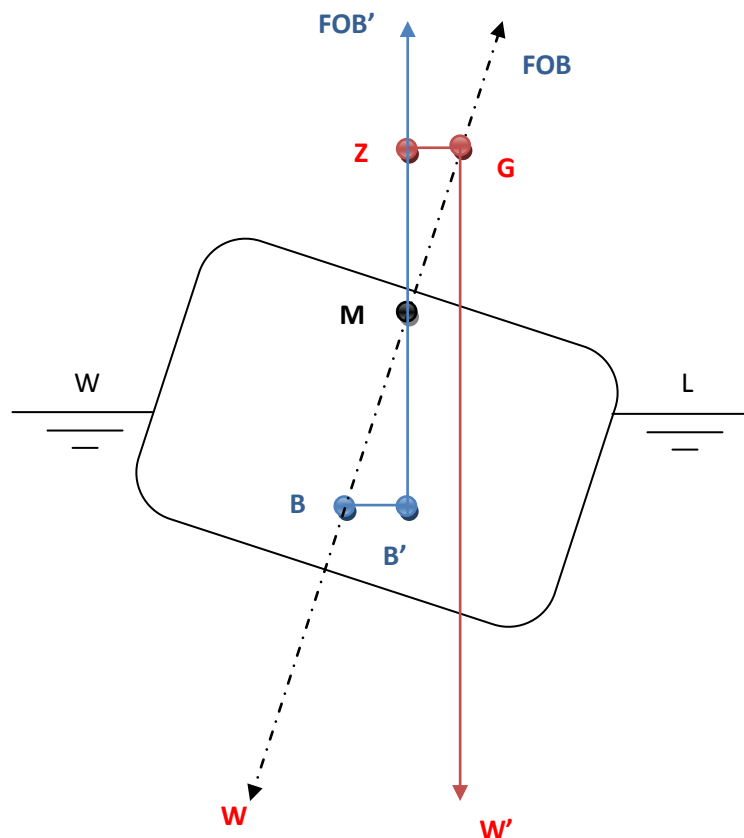
هنگامیکه یک کشتی دارای GM مثبت کوچک باشد اگر بر اثر نیروی خارجی بسمتی کج شود آن کشتی تمایل دارد که به آرامی بحالت اولیه خود برگردد که این بعلت کوچک بودن اهرم بازگرداننده (GZ) و بدنبال آن کوچک بودن GM کشتی می باشد و بنابراین در نهایت باعث می شود که گشتاور بوجود آمده برای بازگرداندن کشتی بحالت اولیه مقدارش کم بوده و بنابراین کشتی با شدت و سرعت کمی بحالت اولیه بازگردد . باید توجه داشت که این مشکل ممکن است زمانی خود را نشان دهد که کشتی بر اثر نیروی خارجی کج گردد و

هنگام برگشت بحالت اولیه موج بزرگ د یگری قبل از برگشت کشتی بحالت قائم آنرا فرا گیرد و باعث واژگونی کشتی گردد.

۲ - تعادل نا پایدار (Unstable Equilibrium) :

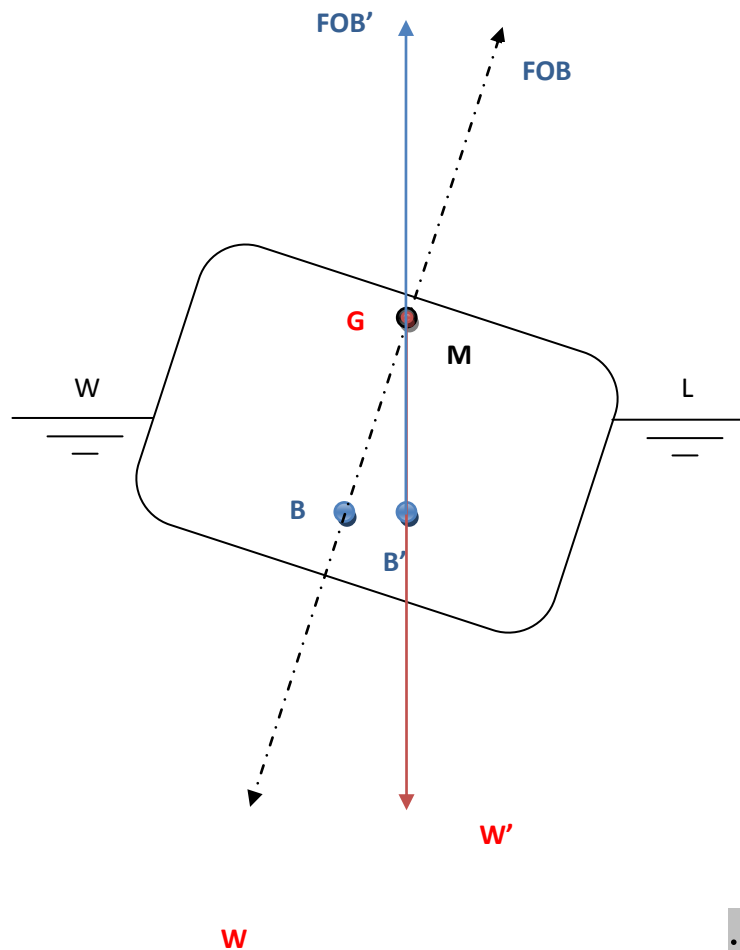
در یک شناور وقتی نقطه مرکز ثقل کشتی (G) بالاتر از نقطه (M) Meta Center باشد، (GM منفی می باشد)، اگر شناور بر اثر نیروی خارجی بسمتی کج شود این شناور تمایل دارد به کج شدن خود ادامه دهد تا نهایتاً واژگون گردد که به این وضعیت تعادل ناپایدار گویند

اگر یک شناور بر اثر نیروی خارجی کج گردد، نیروی وزن شناور بصورت عمود بسمت پایین اعمال می شود و بدلیل تغییر شکل شناوری، جای مرکز شناوری (B) تغییر نموده و به نقطه B' انتقال می یابد و نیروی شناوری جدید از نقطه B' بصورت عمود بر سطح آب بسمت بالا اعمال می گردد و از نقطه M می گذرد. همانطور که در شکل مشخص است اهرم GZ که عبارتی اهرم واژگون کننده می باشد، گشتاوری ایجاد می کند که بزرگی آن برابر با $\text{DisptXGMXSin } \theta$ بوده و به گشتاور واژگون کننده (Moment of capsizing) مشهور بوده و باعث واژگونی شناور بطرف کج شدن اولیه می گردد که در آن θ زاویه کج شدن (Angel of heel) می باشد.



۳ - تعادل خنثی (Neutral Equilibrium) :

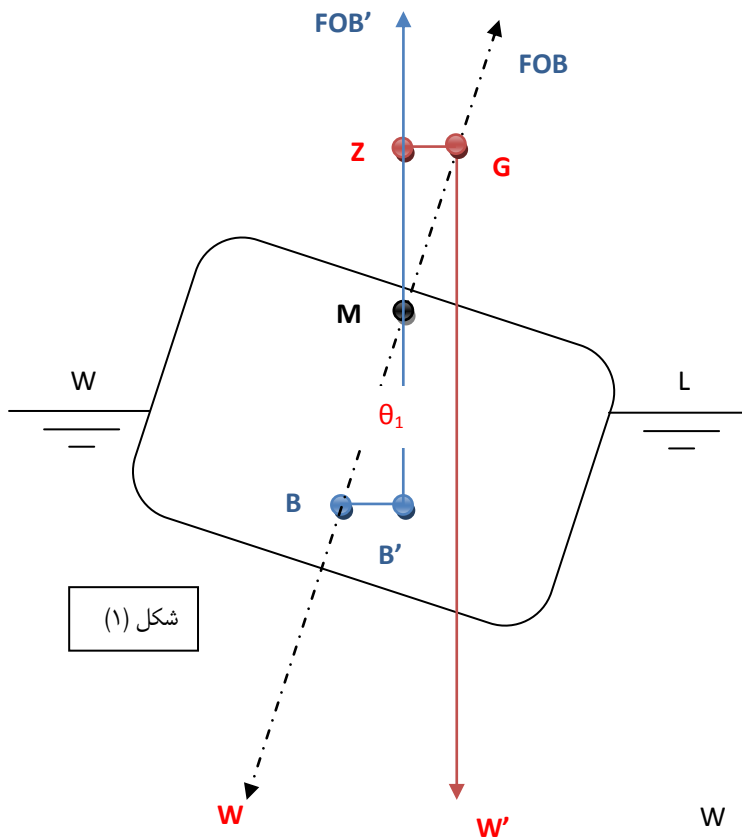
وقتی در یک شناور نقطه G (مرکز ثقل) و نقطه M یا Meta Center بر روی هم قرار گیرند و یا عبارتی $GM = 0$ باشد اگر بر اثر نیروی خارجی این شناور بسمتی کج شود، این شناور نه تمایل دارد به حالت اولیه خود بازگردد و نه تمایل دارد به کج شدن خود ادامه دهد. بنابراین در همان وضعیت کج شدن قبلی باقی می ماند بنابراین چونکه G و M برهم منطبق می باشند هیچ اهرمی برای بازگرداندن و یا واژگون شدن وجود نخواهد داشت و بنابراین $GZ = 0$ می شود و در نتیجه هیچ گونه گشتاوری نیز بوجود نمی آید و در نتیجه شناور هیچ تمایلی به چرخش عرضی نخواهد داشت.



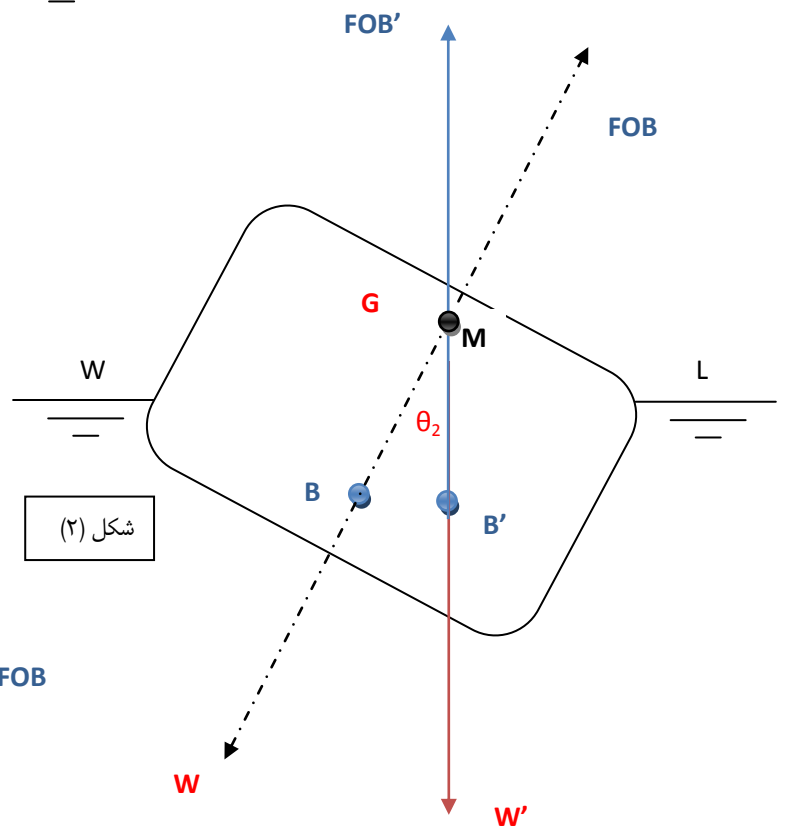
: Angle of Loll

چنانچه قبلاً گفته شد هنگامیکه یک کشتی دارای GM اولیه منفی باشد، چنانچه با یک زاویه کوچک کج گردد، دچار تعادل ناپایدار می شود. حال چنانچه زاویه کجی (Angle of heel) این کشتی افزایش یابد، مرکز شناوری (B) بطرف بیرون و سمت غوطه ور نقل مکان می کند، چنانچه مرکز شناوری (B) به موقعیتی برسد که بصورت عمودی دقیقاً زیر مرکز ثقل کشتی (G) قرار گیرد، دیگر گشتاور واژگونی (Moment of capsizing) ناپدید می گردد و از بین می رود. به آن زاویه کجی (Angle of heel) که این اتفاق افتاده است، $Angle\ of\ Loll$ گویند که بنابراین در این زاویه GZ برابر با صفر می گردد. حال اگر زاویه کجی $Angle\ of\ heel$ بیشتر از $Angle\ of\ Loll$ گردد، مرکز شناوری (B) در راستا و بسمت کجی بیشتر حرکت می کند تا اینکه یک اهرم بازگرداننده و بدنبال آن یک گشتاور ایجاد شده که باعث می گردد کشتی بحالت اولیه باز گردد.

Ship Stability

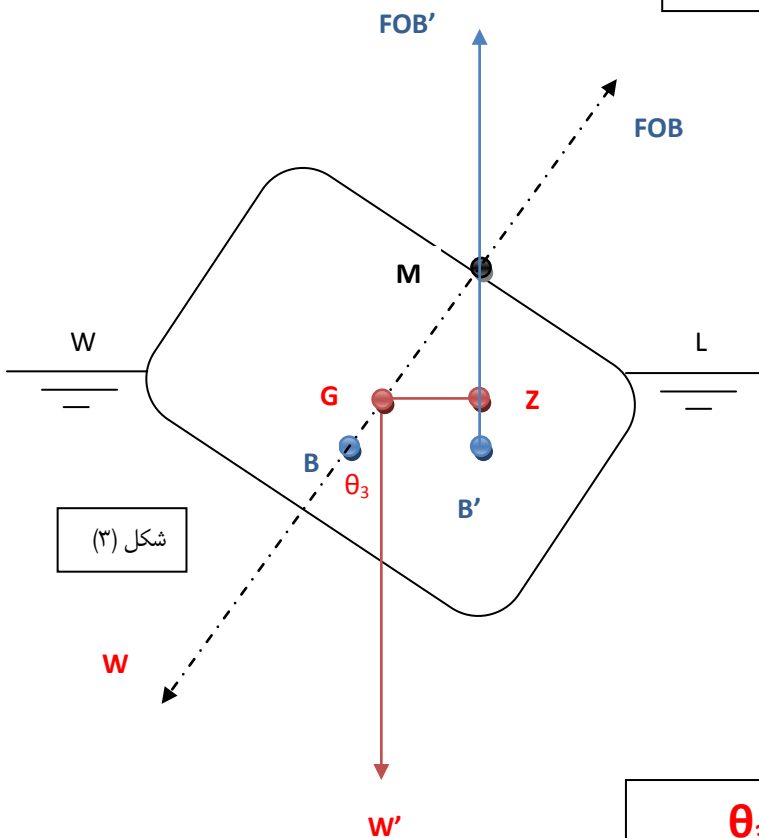


شكل (١)



شكل (٢)

$\theta_2 = \text{Angle Of Loll}$



شكل (٣)

$$\theta_3 > \theta_2 > \theta_1$$

تصحیح وضعیت زاویه Angel of Loll :

- ۱ در صورت امکان مخازن آب توازن سمتی که کج شده را پر کنیم.
- ۲ در صورت امکان بارهای سمت کج شده را از بالا به پایین انتقال دهیم.
- ۳ در صورت امکان مخازن آب توازن سمت مخالف کج شده کشتی را تخلیه کنیم.
- ۴ در مورد مخازن نیمه پر، عملیات بند ۱ و ۳ را انجام می دهیم.

تصحیح وضعیت تعادل ناپایدار :

- ۱ انتقال بارهای سنگین از انبارهای بالایی و عرشه به انبارهای پایین.
- ۲ تخلیه مخازن تعادل بالایی و پر کردن مخازن تعادل پایینی.
- ۳ تخلیه و یا پر کردن مخازن نیمه پر.
- ۴ اگر با اقدامات فوق GM اصلاح نشد، باید بارهای روی عرشه را تخلیه نمود.

محاسبه KG نهایی یا Final KG (KG_1) و GM نهایی یا Final GM (G_1M) و

جابجایی مرکز ثقل کشتی (GG_1) بعد از عملیات زیر تنها برای یک بار بر روی خط

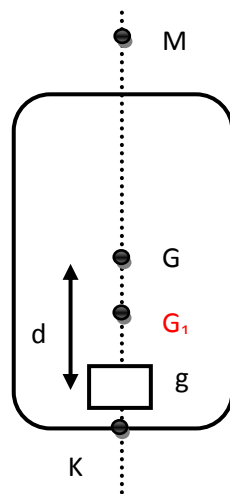
سرتاسری کشتی (Center Line) (CL) برای :

الف) بارگیری پایین تر از مرکز ثقل شناور (G) بر روی Center Line :

میزان وزن بارگیری شده w

فاصله عمودی مرکز ثقل بار تا مرکز ثقل کشتی d

وزن اولیه کشتی $Dispt$



$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt + w}$$

$$KG_1 = KG - GG_1$$

$$G_1M = GM + GG_1$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

Example: A Ship displaces 2000 tons has $KG = 10.8\text{m}$, find the KG/GM if a weight of 100 tons mass already loading on center line with $Kg = 6\text{m}$

Dispt= 2000 t

$KG = 10.8\text{ m}$

$KM = 13\text{ m}$

$KG_1 = ?$

$G_1M = ?$

$w = 100\text{ t}$

$Kg = 6\text{ m}$

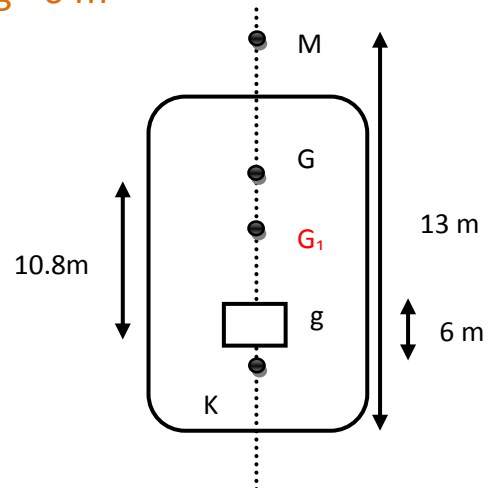
$$d = 10.8 - 6 = 4.8\text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt + w} = \frac{100 \times 4.8}{2000 + 100} = 0.228\text{ m}$$

$$KG_1 = KG - GG_1 = 10.8 - 0.228$$

$$KG_1 = 10.572\text{ m}$$

$$G_1M = KM - KG_1 = 13 - 10.572 = 2.428\text{ m}$$



Example: A ship of 700 tons displacement has $GM = 1.2$ m find new Meta centric height of ship while a cargo of 200 tons mass loading in 3.2 m below the central of gravity of ship?

Dispt= 700 t

$GM = 1.2$ m

$G_1M = ?$

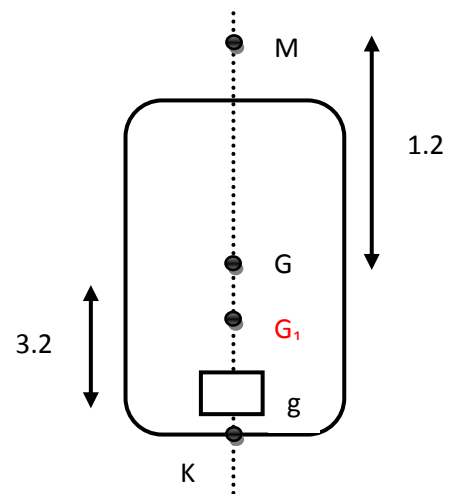
$d = 3.2$ m

$w = 200$ t

$$G_1M = GM + GG_1$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt + w} = \frac{200 \times 3.2}{700 + 200} = \frac{640}{900} = 0.71 \text{ m}$$

$$G_1M = 1.2 + 0.71 = 1.91 \text{ m}$$

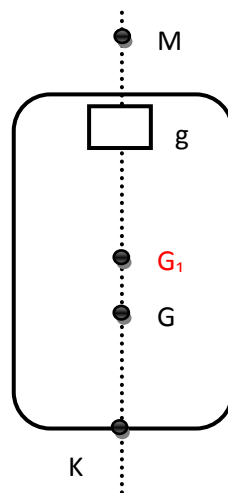


ب) بارگیری بالاتر از مرکز ثقل شناور (G) بر روی Center Line :

میزان وزن بارگیری شده $w =$

فاصله عمودی مرکز ثقل بار تا مرکز ثقل کشتی $d =$

وزن اولیه کشتی $Dispt =$



$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt + w}$$

$$KG_1 = KG + GG_1$$

$$G_1M = GM - GG_1$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

Example: A ship displaces 250 tons has $KM = 7.2$ m, $KG = 5$ m
find vertical shift of center of gravity & new Meta centric

height of ship if a weight of 50 tons with $Kg = 7.5$ m already loading in center line of ship.

$w = 250$ t $KM = 7.2$ m $KG = 5$ m $GG_1 = ?$ $G_1M = ?$

$w = 50$ t $Kg = 7.5$ m

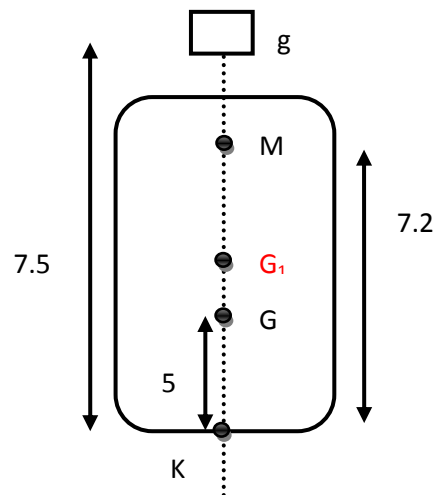
$$d = Kg - KG = 7.5 - 5 = 2.5 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt + w} = \frac{50 \times 2.5}{250 + 50} = \frac{125}{300} = 0.41 \text{ m}$$

$$G_1M = GM - GG_1 \text{ \& } GM = KM - KG$$

$$GM = 7.2 - 5 = 2.2 \text{ m}$$

$$G_1M = 2.2 - 0.41 = 1.79 \text{ m}$$

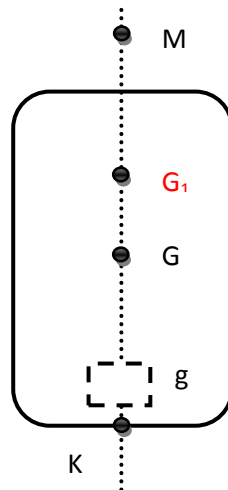


(ج) تخلیه بار زیر مرکز ثقل شناور (G) بر روی Center Line :

w = مقدار وزن بار تخلیه شده

d = فاصله عمودی مرکز ثقل بار تخلیه شده تا مرکز ثقل کشتی

$Dispt$ = وزن اولیه کشتی



$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt - w}$$

$$KG_1 = KG + GG_1$$

$$G_1M = GM - GG_1$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

Example: A ship has displacement 1750 tons, $KM = 6.5$ m, $KG = 5.9$ m. Calculate vertical shift of G & new Meta centric height of ship if a weight of 300 tons raised with $Kg = 3.3$ m (operation is on Φ)

Dispt= 1750 t

$KM = 6.5$ m

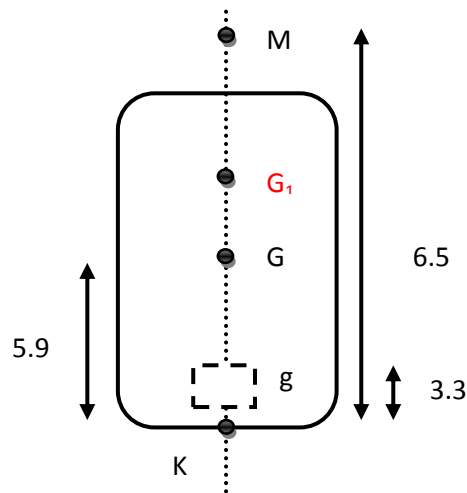
$KG = 5.9$ m

$w = 300$

$Kg = 3.3$ m

$GG_1 = ?$

$G_1M = ?$



$$d = KG - Kg = 5.9 - 3.3 = 2.6 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\text{Dispt} - w} = \frac{300 \times 2.6}{1750 - 300} = \frac{780}{1450} = 0.53 \text{ m}$$

$$GM = KM - KG = 6.5 - 5.9 = 0.6 \text{ m}$$

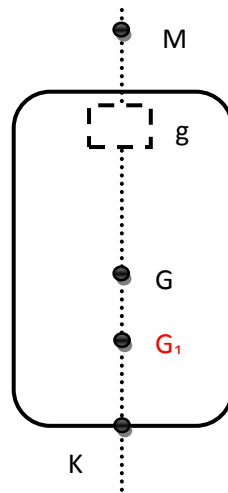
$$G_1M = GM - GG_1 = 0.6 - 0.53 = 0.07 \text{ m}$$

(د) تخلیه بار بالای مرکز ثقل شناور (G) بر روی Center Line :

مقدار وزن بار تخلیه شده = w

فاصله عمودی مرکز ثقل بار تخلیه شده تا مرکز ثقل کشتی = d

وزن اولیه کشتی = Dispt



$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt - w}$$

$$KG_1 = KG - GG_1$$

$$G_1M = GM + GG_1$$

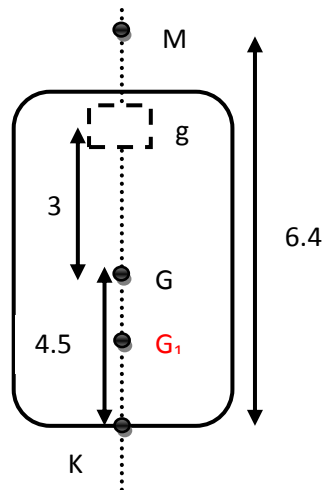
$$G_1M = KM - KG_1$$

Example: A box shaped vessel of 45 X 10 X 6 m, floating in a salt water, with draft= 4 m and has KG= 4.5 m , KM= 6.4 m, if a weight 200 tons discharged from a distance of 3 m above G on center line, find new GM?

$$L = 45 \text{ m} \quad B = 10 \text{ m} \quad H = 6 \text{ m} \quad D = 4 \text{ m}$$

$$KG = 4.5 \text{ m} \quad KM = 6.4 \text{ m} \quad w = 200 \text{ t} \quad d = 3 \text{ m}$$

$$\rho_{sw} = 1.025 \frac{t}{m^3} \quad G_1M = ?$$



$$\text{Dispt} = L \times B \times D_{\text{sw}} \times \rho_{\text{sw}} = 45 \times 10 \times 4 \times 1.025 = 1845 \text{ t}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\text{Dispt} - w} = \frac{200 \times 3}{1845 - 200} = \frac{600}{1645} = 0.36 \text{ m}$$

$$KG_1 = KG - GG_1 = 4.5 - 0.36 = 4.14 \text{ m}$$

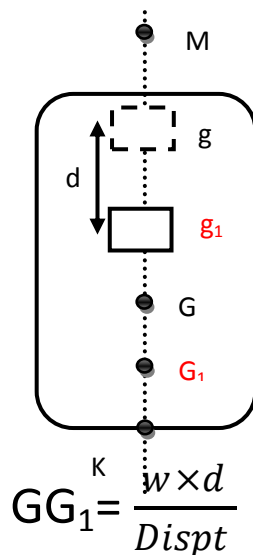
$$G_1M = KM - KG_1 = 6.4 - 4.14 = 2.26 \text{ m}$$

هـ) جابجایی بار از بالا بسمت پایین بر روی Center Line :

w = مقدار وزن بار جابجا شده

d = میزان جابجایی بار

Dispt = وزن اولیه کشتی



$$KG_1 = KG - GG_1$$

$$G_1M = GM + GG_1$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

Example: A Ship has displacement of 2000 tons has $GM = 1.5$ m, find new Meta centric height of ship if a weight of 200 tons on board shifted from main deck toward tween deck through a distance of 3 meters vertically on center line of ship?

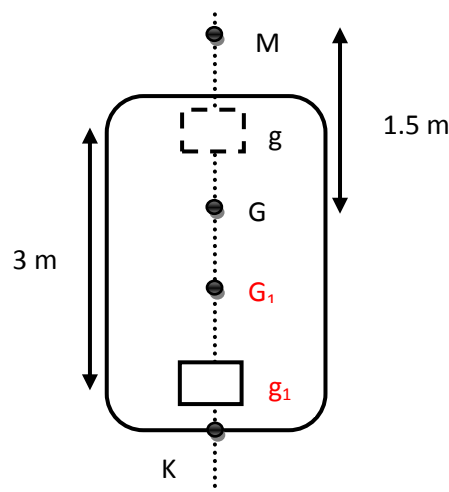
Dispt= 2000 t

$GM = 1.5$ m

$G_1M = ?$

$w = 200$ t

$d = 3$ m



$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt} = \frac{200 \times 3}{2000} = 0.3 \text{ m}$$

$$G_1M = GM + GG_1 = 1.5 + 0.3 = 1.8 \text{ m}$$

Example: A Ship displaces 1500 tons has $KM = 9$ m, $KG = 6.5$ m, a weight of 250 tons shifted downward vertically on the center line of ship through a distance of 2.5 m, determined final KG & GM ?

$$w = 1500 \text{ t} \quad KM = 9 \text{ m} \quad KG = 6.5 \text{ m} \quad w = 250 \text{ t}$$

$$d = 2.5 \text{ m} \quad KG_1 = ? \quad G_1M = ?$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt} = \frac{250 \times 2.5}{1500} = 0.41 \text{ m}$$

$$KG_1 = KG - GG_1 = 6.5 - 0.41 = 6.09 \text{ m}$$

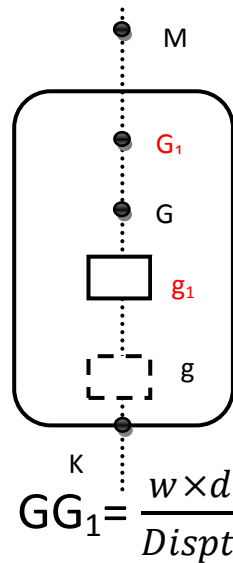
$$G_1M = KM - KG_1 = 9 - 6.09 = 2.91 \text{ m}$$

ی) جابجایی بار از پایین بسمت بالا بر روی Center Line :

w = مقدار وزن بار جابجا شده

d = میزان جابجایی بار

وزن اولیه کشتی = Dispt



$$KG_1 = KG + GG_1$$

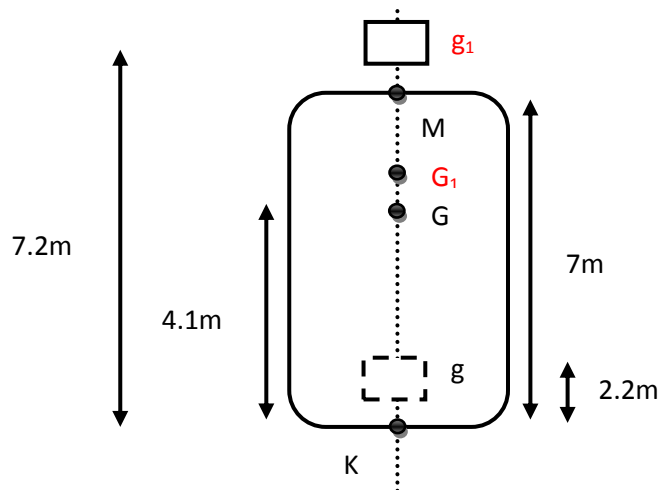
$$G_1M = GM - GG_1$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

Example: A Vessel 2400 tons displacement has $KM = 7$ m, $KG = 4.1$ m, a weight of 200 tons already on board shift from $Kg = 2.2$ m to $Kg = 7.2$ m, find vertical shift of ship's center of gravity & final Meta centric height (operation is on Φ)

Dispt= 2400 t $KM = 7$ m $KG = 4.1$ m $w = 200$ t

$Kg = 2.2$ m $Kg_1 = 7.2$ m $GG_1 = ?$ $G_1M = ?$



$$d = K g_1 - K g = 7.2 - 2.2 = 5 \text{ m}$$

$$G G_1 = \frac{w \times d}{\text{Dispt}} = \frac{200 \times 5}{2400} = 0.41 \text{ m}$$

$$K G_1 = K G + G G_1 = 4.1 + 0.41 = 4.51 \text{ m}$$

$$G_1 M = K M - K G_1 = 7 - 4.51 = 2.49 \text{ m}$$

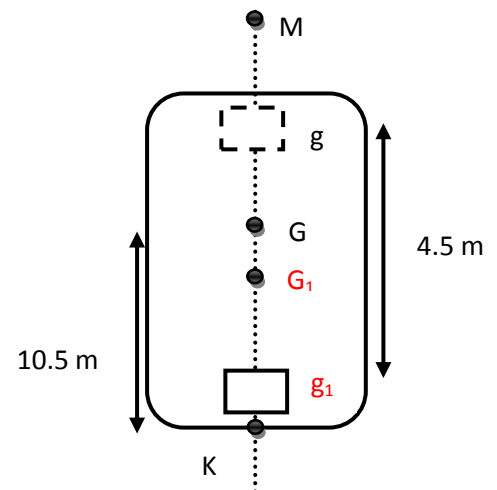
Example: A Ship has displacement of 2000 tons & $KG = 10.5$ m, find the new KG if the weight of 40 tons already on board is shifted from the tween deck to the lower hold, through a distance of 4.5 m vertically?

$$\text{Dispt} = 2000 \text{ t} \quad KG = 10.5 \text{ m} \quad KG_1 = ? \quad w = 40 \text{ t}$$

$$d = 4.5 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\text{Dispt}} = \frac{40 \times 4.5}{2000} = 0.9 \text{ m}$$

$$KG_1 = KG - GG_1 = 10.5 - 0.9 = 9.6 \text{ m}$$



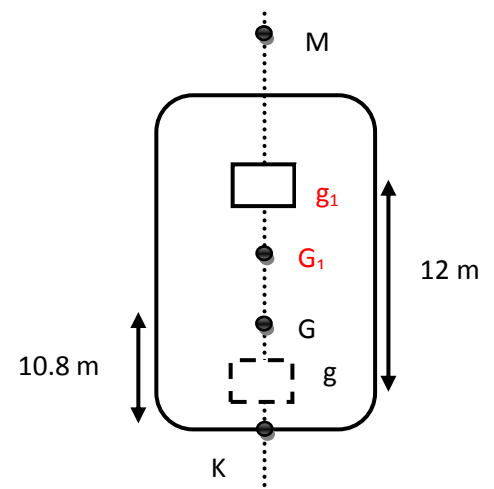
Example: A Ship has displacement of 2400 tons & KG= 10.8 m, find the new KG if a weight of 50 tons already on board is raised 12 meters vertically?

$$\text{Dispt} = 2400 \text{ t} \quad KG = 10.8 \text{ m} \quad KG_1 = ? \quad w = 50 \text{ t}$$

$$d = 12 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\text{Dispt}} = \frac{50 \times 12}{2400} = 0.25 \text{ m}$$

$$KG_1 = KG + GG_1 = 10.8 + 0.25 = 11.05 \text{ m}$$



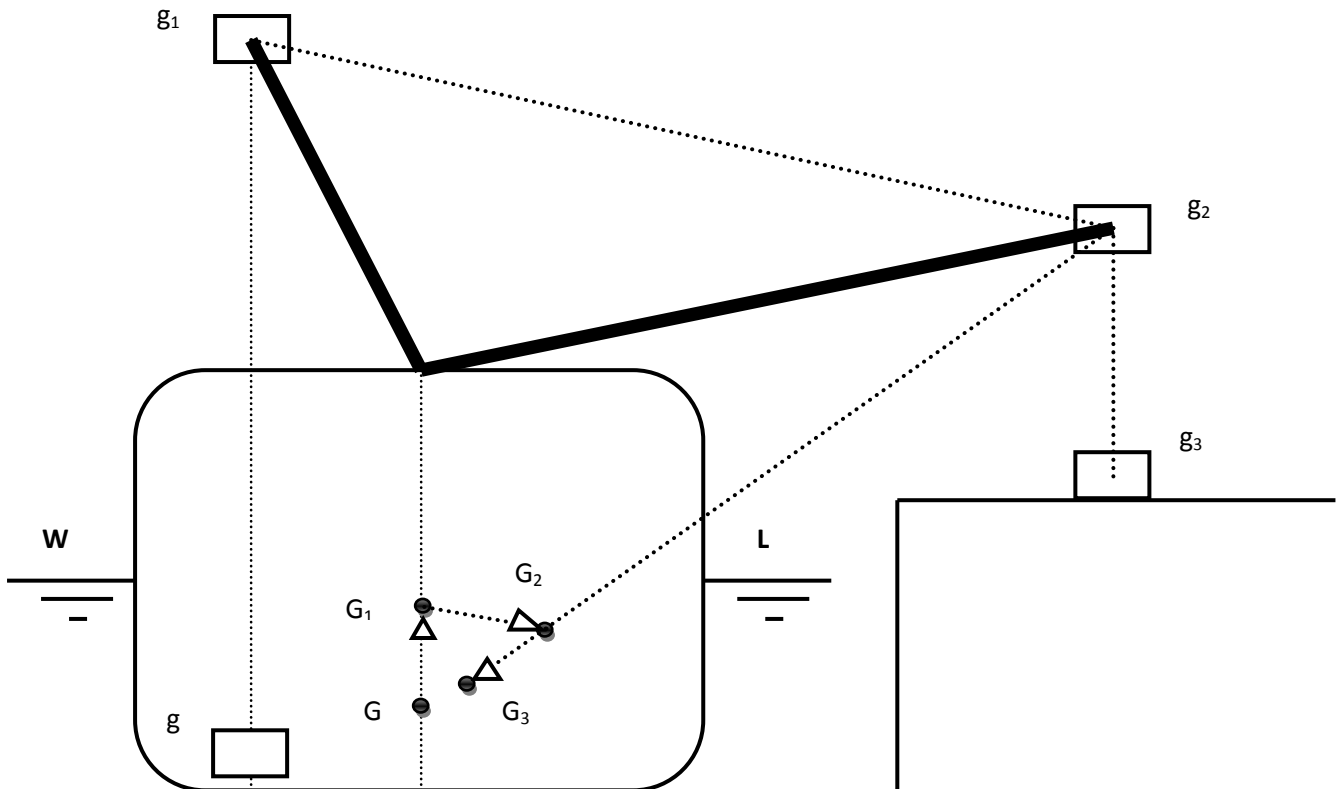
مراحل جابجایی مرکز ثقل کشتی از کف انبار تا تخلیه آن بر روی اسکله توسط

جرثقیل کشتی :

هنگامیکه یک بار در کف انبار باشد طبق شکل زیر مرکز ثقل کشتی در نقطه ایی بنام G قرار دارد، اما چنانچه این بار توسط جرثقیل کشتی از سطح کف انبار جدا شود (هرچند به اندازه یک میلی متر)، مرکز ثقل بار به نوک بوم جرثقیل منتقل می گردد. این انتقال بصورت عمودی می باشد در نتیجه مرکز ثقل کشتی نیز به موازات این جابجایی و بصورت عمودی در نقطه ایی بنام G_1 ظاهر می شود.

حال پس از چرخش بوم جرثقیل بطرف اسکله و قبل از ای نکه بار بر روی اسکله گذاشته شود، مرتباً مرکز ثقل کشتی جای آن و به موازات راستای جابجایی نوک بوم جرثقیل تغییر کرده و به نقطه ایی بنام نقطه G_2 منتقل می شود. در پایان هنگامیکه بار بر روی اسکله گذاشته شد مرکز ثقل کشتی در راستای نوک جرثقیل قبل از گذاشتن بار روی اسکله و در سمت مقابل نوک جرثقیل منتقل می گردد و به نقطه G_3 می رسد.

نکته: باید توجه داشت چنانچه این عملیات توسط جرثقیل اسکله انجام می گرفت تنها مرکز ثقل کشتی فقط در یک مرحله جابجا می شد و آنهم زمانی بود که بار از سطح انبار جدا می شد و جهت حرکت مرکز ثقل نیز بستگی به موقعیت بار جابجا شده داشته که آیا از زیر مرکز ثقل کشتی تخلیه شده است یا از بالای آن.



Example: A Ship of 2000 tons displacement has $KG = 4.5$ meters, a heavy lift 20 tons mass is in the lower hold and has $Kg = 2$ meters, this weight is then raised 0.5 meters clear of the tank top by a derrick whose head is 14 meters above the keel. Find the new KG of ship?

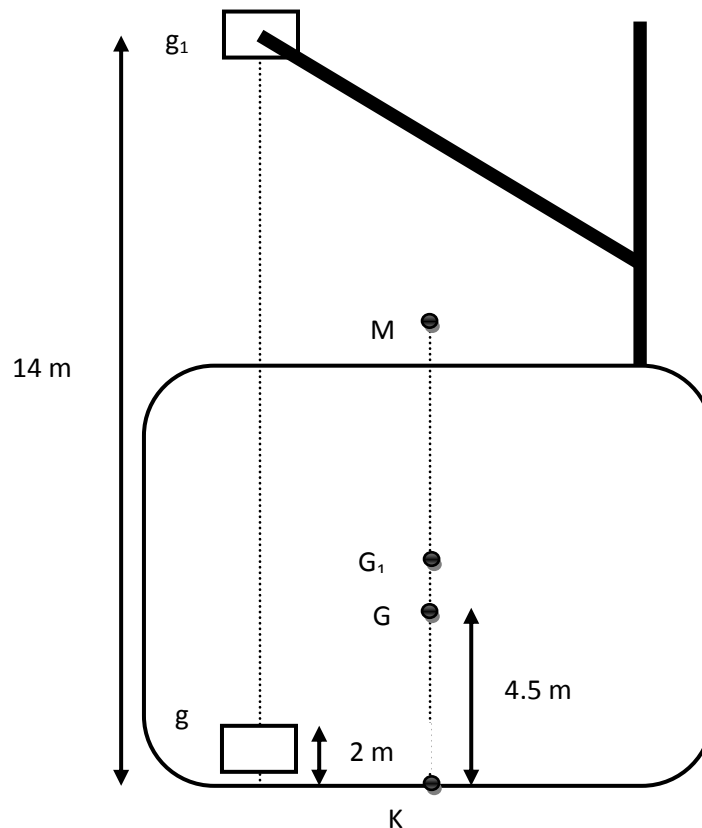
Dispt= 2000 t

KG= 4.5 m

w= 20 t

Kg= 2 m

$KG_1=?$



$$d = 14 - 2 = 12 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\text{Dispt}} = \frac{20 \times 12}{2000} = 0.12 \text{ m}$$

$$KG_1 = KG + GG_1 = 4.5 + 0.12 = 4.62 \text{ m}$$

Example: A Ship has displacement of 7000 tons & KG= 6 meters, a heavy lift in the lower hold has Kg= 3 meters and mass 40 tons. Find the new KG when this weight is raised through 1.5 meters vertically and is suspended by a derrick whose head is 17 meters above the keel.

Ship Stability

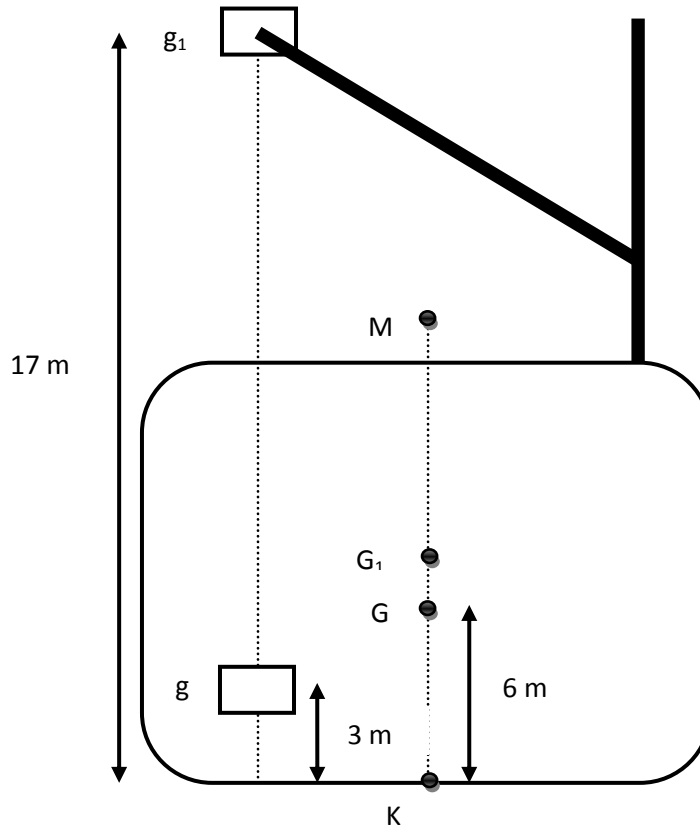
Dispt= 7000 t

KG= 6 m

Kg= 3 m

w= 40 t

$KG_1=?$



$$d = 17 - 3 = 14 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt} = \frac{40 \times 14}{7000} = 0.08 \text{ m}$$

$$KG_1 = KG + GG_1 = 6 + 0.08 = 6.08 \text{ m}$$

محاسبه KG نهایی (Final KG) و (KG_1) و GM نهایی (Final GM) (G_1M) و میزان جابجایی مرکز ثقل کشتی (GG_1) بعد از عملیات بارگیری، تخلیه و یا جابجایی بر روی خط سرتاسری کشتی (Center Line) برای بارهای مختلف:

$$KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

$$GG_1 = |KG - KG_1|$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

$$G_1M = GM \pm GG_1$$

Example: A Ship of 6000 tons displacement has $KG = 6 \text{ m}$ & $KM = 7.33 \text{ m}$ the following cargo is loaded:

1000 tons $Kg = 2.5 \text{ m}$

500 tons $Kg = 3.5 \text{ m}$

750 tons $Kg = 9.0 \text{ m}$

The following cargo is then discharged:

450 tons $Kg = 0.6 \text{ m}$

800 tons $Kg = 3.0 \text{ m}$

Find the final GM? (Operation is on C)

Ship Stability

Dispt= 6000 tons KG= 6 m KM= 7.33 m

Loading:

$w_1 = 1000 \text{ t} / K_g = 2.5 \text{ m}$

$w_2 = 500 \text{ t} / K_g = 3.5 \text{ m}$

$w_3 = 750 \text{ t} / K_g = 9 \text{ m}$

Discharging:

$w_4 = 450 \text{ t} / K_g = 0.6 \text{ m}$

$w_5 = 800 \text{ t} / K_g = 3 \text{ m}$

$G_1M = ?$

$$G_1M = KM - KG_1 \quad \& \quad KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+6000	6	+36000
	+1000	2.5	+2500
	+500	3.5	+1750
	+750	9	+6750
	-450	1.6	-270
	-800	3	-2400
Total	+7000		+44300

$$KG_1 = \frac{44300}{7000} = 6.33 \text{ m}$$

$$G_1M = 7.33 - 6.33 = 1 \text{ m}$$

Example: A Ship arrives in a port with displacement 7000 tons and $KG = 6 \text{ m}$, then She discharges and loads the following quantities:

Discharge:

1300 t $Kg = 4.5 \text{ m}$

680 t $Kg = 3.5 \text{ m}$

420 t $Kg = 9 \text{ m}$

Load:

980 t $Kg = 4.25 \text{ m}$

550 t $Kg = 6 \text{ m}$

700 t $Kg = 1 \text{ m}$

80 t $Kg = 12 \text{ m}$

During stay in the port 30 tons of oil ($Kg = 1 \text{ m}$) are consumed if the final KM is 6.8 m , find the GM on departure and vertical shift of G ? (Operation is on Φ)

Dispt= 7000 t $KG = 6 \text{ m}$

Discharge:

$$w_1 = 1300 \text{ t} / \text{Kg} = 4.5 \text{ m}$$

$$w_2 = 680 \text{ t} / \text{Kg} = 3.5 \text{ m}$$

$$w_3 = 420 \text{ t} / \text{Kg} = 9 \text{ m}$$

$$w_4 = 30 \text{ t} / \text{Kg} = 1 \text{ m}$$

Load:

$$w_5 = 980 \text{ t} / \text{Kg} = 4.25 \text{ m}$$

$$w_6 = 550 \text{ t} / \text{Kg} = 6 \text{ m}$$

$$w_7 = 700 \text{ t} / \text{Kg} = 1 \text{ m}$$

$$w_8 = 80 \text{ t} / \text{Kg} = 12 \text{ m}$$

$$KM = 6.8 \text{ m}$$

$$G_1M = ?$$

$$GG_1 = ?$$

$$G_1M = KM - KG_1 \quad \& \quad KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+7000	6	+42000
	+980	4.25	+4165
	+550	6	+3300
	+700	1	+700
	+80	12	+960
	-1300	4.5	-5850
	-680	3.5	-2380
	-420	9	-3780
	-30	1	-30
Total	+6880		+39085

$$KG_1 = \frac{39085}{6880} = 5.68 \text{ m}$$

$$G_1M = 6.8 - 5.68 = 1.12 \text{ m}$$

$$GG_1 = KG - KG_1 = 6 - 5.68 = 0.32 \text{ m}$$

Example: A Ship has displacement 2000 tons and $KG = 4 \text{ m}$, She loads 1500 tons of cargo ($Kg = 6 \text{ m}$), 3500 tons of cargo ($Kg = 5 \text{ m}$) and 1520 tons of bunker ($Kg = 1 \text{ m}$), She discharged 2000 tons of cargo ($Kg = 2.5 \text{ m}$) and consumed 900 tons of oil fuel ($Kg = 0.5 \text{ m}$). During the voyage, shift 120 tons of cargo from $Kg = 5.5 \text{ m}$ to $Kg = 2.2 \text{ m}$. Find the final KG on arrival at the port of destination? (Operation is on ¢)

Dispt= 2000 t KG= 4 m

Load:

$w_1 = 1500 \text{ t} / K_g = 6 \text{ m}$

$w_2 = 3500 \text{ t} / K_g = 5 \text{ m}$

$w_3 = 1520 \text{ t} / K_g = 1 \text{ m}$

Discharge:

$w_4 = 2000 \text{ t} / K_g = 2.5 \text{ m}$

$w_5 = 900 \text{ t} / K_g = 0.5 \text{ m}$

Shift:

$w_6 = 120 \text{ t} / \text{from } K_g = 5.5 \text{ m to } K_g = 2.2 \text{ m}$

$KG_1 = ?$

$$KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+2000	4	+8000
	+1500	6	+9000
	+3500	5	+17500
	+1520	1	+1520
	-2000	2.5	-5000
	-900	0.5	-450
	-120	5.5	-660
	+120	2.2	+264
Total	+5620		+30174

$$KG_1 = \frac{30174}{5620} = 5.37 \text{ m}$$

Example: A vessel of 2980 tons displacement has a constant KM= 5.1 m & a present KG= 4.4 m, the vessel load 30 tons of cargo on deck at KG= 7.5 m & then moves 80 tons of cargo from tween deck KG= 4.1 m to lower hold KG= 1.8 m. All weight being on center line, Calculate the final GM?

Dispt= 2980 t KM= 5.1 m KG= 4.4 m

Load:

$w_1 = 30 \text{ t} / Kg = 7.5 \text{ m}$

Shift:

$w_2 = 80 \text{ t}$ / from $Kg = 4.1 \text{ m}$ to $Kg = 1.8 \text{ m}$

$G_1M = ?$

$$G_1M = KM - KG_1 \quad \& \quad KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+2980	4.4	+13112
	+30	7.5	+225
	+80	1.8	+144
	-80	4.1	-328
Total	+3010		+13353

$$KG_1 = \frac{13353}{3010} = 4.37 \text{ m}$$

$$G_1M = 5.1 - 4.37 = 0.73 \text{ m}$$

Example: A Ship displacing 9000 tons, $KG = 6 \text{ m}$, $GM = 0.8 \text{ m}$, loads following weights:

200 t $Kg = 5 \text{ m}$

100 t $Kg = 4 \text{ m}$

400 t $Kg = 8 \text{ m}$

And discharges:

300 t Kg= 2 m

Find vertical shift of G (GG_1) and final GM?

(Operation is on C)

Dispt= 9000 t KG= 6 m GM= 0.8 m

Loaded:

$w_1 = 200 \text{ t} / \text{Kg} = 5 \text{ m}$

$w_2 = 100 \text{ t} / \text{Kg} = 4 \text{ m}$

$w_3 = 400 \text{ t} / \text{Kg} = 8 \text{ m}$

Discharged:

$w_4 = 300 \text{ t} / \text{Kg} = 2 \text{ m}$

$GG_1 = ?$ $G_1M = ?$

$$GG_1 = |KG - KG_1| \quad \& \quad KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+9000	6	+54000
	+200	5	+1000
	+100	4	+400
	+400	8	+3200
	-300	2	-600
Total	+9400		+58000

$$KG_1 = \frac{58000}{9400} = 6.17 \text{ m}$$

$$GG_1 = 6.17 - 6 = 0.17 \text{ m}$$

راه حل اول جهت محاسبه G_1M :

$$G_1M = KM - KG_1 \quad \& \quad KM = KG + GM = 6 + 0.8 = 6.8 \text{ m}$$

$$G_1M = 6.8 - 6.17 = 0.63 \text{ m}$$

راه حل دوم جهت محاسبه G_1M :

چون KG_1 بیشتر از KG شده است پس مرکز ثقل بسمت M رفته است پس :

$$G_1M = GM - GG_1 = 0.8 - 0.17 = 0.63 \text{ m}$$

Example: A Ship displacing 8400 tons, $KM = 7.2 \text{ m}$, $GM = 0.7 \text{ m}$, loads following weights:

300 t $Kg = 5 \text{ m}$

250 t $Kg = 4 \text{ m}$

Discharges:

150 t $Kg = 1 \text{ m}$

450 t $Kg = 1.7 \text{ m}$

Find vertical shift of G & final GM, if a cargo shifted from Kg= 4.2 m to Kg= 5 m with 200 t weight?

(Operation is on Φ)

Dispt= 8400 t KM= 7.2 m GM= 0.7 m

Loaded:

$w_1 = 300 \text{ t} / \text{Kg} = 5 \text{ m}$

$w_2 = 250 \text{ t} / \text{Kg} = 4 \text{ m}$

Discharged:

$w_3 = 150 \text{ t} / \text{Kg} = 1 \text{ m}$

$w_4 = 450 \text{ t} / \text{Kg} = 1.7 \text{ m}$

Shifted:

$w_5 = 200 \text{ t} / \text{from Kg} = 4.2 \text{ m to Kg} = 5 \text{ m}$

$GG_1 = ?$ $G_1M = ?$

$GG_1 = |KG - KG_1|$ & $KG = KM - GM = 7.2 - 0.7 = 6.5 \text{ m}$

$KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$

	w	Kg	Moment about Keel
	+8400	6.5	+54600
	+300	5	+1500
	+250	4	+1000
	-150	1	-150
	-450	1.7	-765
	-200	4.2	-840
	+200	5	+1000
Total	+8350		+56345

$$KG_1 = \frac{56345}{8350} = 6.74 \text{ m}$$

$$GG_1 = 6.74 - 6.5 = 0.24 \text{ m}$$

$$G_1M = KM - KG_1 = 7.2 - 6.74 = 0.46 \text{ m}$$

Example: A Ship of 5000 tons displacement has $KG = 4.5 \text{ m}$ & $KM = 5.3 \text{ m}$, the below cargo is loaded:

2000 t $Kg = 3.7 \text{ m}$

1000 t $Kg = 7.5 \text{ m}$

Find how much deck cargo ($Kg = 9 \text{ m}$) may now be loaded if the ship is to sail with minimum GM of 0.3 m?

(Operation is on Φ)

Ship Stability

Dispt= 5000 t KG= 4.5 m KM= 5.3 m

Loaded:

$w_1 = 2000 \text{ t} / K_g = 3.7 \text{ m}$

$w_2 = 1000 \text{ t} / K_g = 7.5 \text{ m}$

$w_3 = ? / K_g = 9 \text{ m}$

$G_1M = 0.3 \text{ m}$

$$G_1M = KM - KG_1$$

$$0.3 = 5.3 - KG_1$$

$$KG_1 = 5 \text{ m} \quad \& \quad KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+5000	4.5	+22500
	+2000	3.7	+7400
	+1000	7.5	+7500
	+ w_3	9	+ $9w_3$
Total	$8000 + w_3$		$37400 + 9w_3$

$$5 = \frac{37400 + 9w_3}{8000 + w_3}$$

$$5 \times (8000 + w_3) = 37400 + 9w_3$$

$$40000 + 5w_3 = 37400 + 9w_3$$

$$40000 - 37400 = 9w_3 - 5w_3$$

$$2600 = 4w_3$$

$$w_3 = 650 \text{ t}$$

Example: A Ship of 5500 tons displacement has $KG = 5 \text{ m}$ and She proceed to load the following cargo:

$$1000 \text{ t} \quad Kg = 6 \text{ m}$$

$$700 \text{ t} \quad Kg = 4 \text{ m}$$

$$300 \text{ t} \quad Kg = 5 \text{ m}$$

Then She discharge 200 tons of ballast $Kg = 0.5 \text{ m}$, find how much deck cargo ($KG = 10 \text{ m}$) can be loaded so that the ship may sail with a positive $GM = 0.3 \text{ m}$, the KM is 6.3 m

(Operation is on Φ)

$$\text{Dispt} = 5500 \text{ t} \quad KG = 5 \text{ m} \quad KM = 6.3 \text{ m} \quad G_1M = 0.3 \text{ m}$$

Loaded:

$$w_1 = 1000 \text{ t} / Kg = 6 \text{ m}$$

$$w_2 = 700 \text{ t} / Kg = 4 \text{ m}$$

$$w_3 = 300 \text{ t} / Kg = 5 \text{ m}$$

$$w_4 = ? / Kg = 10 \text{ m}$$

Discharged:

$$w_5 = 200 \text{ t / Kg} = 0.5 \text{ m}$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

$$0.3 = 6.3 - KG_1$$

$$KG_1 = 6 \text{ m} \quad \& \quad KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+5500	5	+27500
	+1000	6	+6000
	+700	4	+2800
	+300	5	+1500
	+w ₄	10	+10w ₄
	-200	0.5	-100
Total	+7300+w ₄		37700+10w ₄

$$6 = \frac{37700 + 10w_4}{7300 + w_4}$$

$$6 \times (7300 + w_4) = 37700 + 10w_4$$

$$43800 + 6w_4 = 37700 + 10w_4$$

$$43800 - 37700 = 10w_4 - 6w_4$$

$$6100 = 4w_4$$

$$w_4 = 1525 \text{ t}$$

Example: A Ship of 2980 tons displacement has $KG = 4 \text{ m}$, $KM = 5.5 \text{ m}$ and She proceed to load the following cargo:

$$80 \text{ t} \quad Kg = 5 \text{ m}$$

$$500 \text{ t} \quad Kg = 3 \text{ m}$$

$$200 \text{ t} \quad Kg = 4 \text{ m}$$

Then She discharges 150 tons of ballast $Kg = 0.4 \text{ m}$, find how much deck cargo of $Kg = 7 \text{ m}$ can be loaded so that the ship may sail with positive GM of 0.5 m. (Operation is on C)

$$\text{Dispt} = 2980 \text{ t} \quad KG = 4 \text{ m} \quad KM = 5.5 \text{ m} \quad G_1M = 0.5 \text{ m}$$

Loaded:

$$w_1 = 80 \text{ t} / Kg = 5 \text{ m}$$

$$w_2 = 500 \text{ t} / Kg = 3 \text{ m}$$

$$w_3 = 200 \text{ t} / Kg = 4 \text{ m}$$

$$w_4 = ? / Kg = 7 \text{ m}$$

Discharged:

$$w_5 = 150 \text{ t} / Kg = 0.4 \text{ m}$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

$$0.5 = 5.5 - KG_1$$

$$KG_1 = 5 \text{ m} \quad \& \quad KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+2980	4	+11920
	+80	5	+400
	+500	3	+1500
	+200	4	+800
	+w ₄	7	+7w ₄
	-150	0.4	-60
Total	+36100+w ₄		+14560+7w ₄

$$5 = \frac{14560 + 7w_4}{3610 + w_4}$$

$$5 \times (3610 + w_4) = 14560 + 7w_4$$

$$18050 + 5w_4 = 14560 + 7w_4$$

$$18050 - 14560 = 7w_4 - 5w_4$$

$$3490 = 2w_4$$

$$w_4 = 1745 \text{ t}$$

Example: A Ship has light displacement 2800 tons and light KM= 6.7 m, She loads 400 tons of cargo (Kg= 6 m) and 700 tons of cargo (Kg= 4.5 m). The Kg is then found to be 5.3 m.

Find the light GM? (Operation is on ¢)

Dispt= 2800 t KM= 6.7 m KG₁= 5.3 m

Loading:

w₁= 400 t / Kg= 6 m

w₂= 700 t / Kg= 4.5 m

GM=?

$$GM = KM - KG_1 \quad \& \quad KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+2800	KG	+2800KG
	+400	6	+2400
	+700	4.5	+3150
Total	+3900		5550+2800KG

$$5.3 = \frac{5550 + 2800 \text{ KG}}{3900}$$

$$5.3 \times 3900 = 5550 + 2800 \text{ KG}$$

$$20670 - 5550 = 2800 \text{ KG}$$

$$KG = \frac{15120}{2800} = 5.4 \text{ m}$$

$$GM = 6.7 - 5.4 = 1.3 \text{ m}$$

Example: A Ship's displacement is 4500 tons and $KG = 5 \text{ m}$, $KM = 6.6 \text{ m}$, the following cargo is loaded:

$$450 \text{ t} \quad Kg = 7.5 \text{ m}$$

$$120 \text{ t} \quad Kg = 6 \text{ m}$$

$$650 \text{ t} \quad Kg = 3 \text{ m}$$

Find how long far from the keel, a cargo of 555 tons must be loaded so that, the ship sail with minimum $GM = 0.6 \text{ m}$

(Operation is on C)

$$\text{Dispt} = 4500 \text{ t} \quad KG = 5 \text{ m} \quad G_1M = 0.6 \text{ m} \quad KM = 6.6 \text{ m}$$

Loaded:

$$w_1 = 450 \text{ t} / Kg = 7.5 \text{ m}$$

$$w_2 = 120 \text{ t} / Kg = 6 \text{ m}$$

$$w_3 = 650 \text{ t} / Kg = 3 \text{ m}$$

$$w_4 = 555 \text{ t} / Kg = ?$$

$$KG_1 = KM - G_1M = 6.6 - 0.6 = 6 \text{ m}$$

$$KG_1 = \frac{\text{Final Moment about Keel}}{\text{Final Dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+4500	5	+22500
	+450	7.5	+3375
	+120	6	+720
	+650	3	+1950
	+555	Kg	+555Kg
Total	+6275		+28545+555Kg

$$6 = \frac{28545 + 555Kg}{6275}$$

$$6 \times 6275 = 28545 + 555Kg$$

$$37650 - 28545 = 555Kg$$

$$Kg = \frac{9105}{555} = 16.4 \text{ m}$$

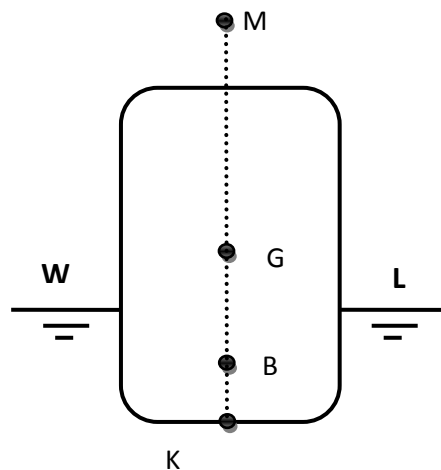
محاسبه KB و BM و KM :

الف) برای کشتی های جعبه ایی شکل (Box – Shaped V/L) :

$$KB = \frac{D}{2}$$

$$BM = \frac{B^2}{12 \times D}$$

$$KM = KB + BM$$



Example: A box shaped vessel has draft= 4 m and dimension is 20 X 15 X 6 m, floating in salt water, find KB, BM and KM?

$$D = 4 \text{ m} \quad L = 20 \text{ m} \quad B = 15 \text{ m} \quad H = 6 \text{ m} \quad \rho_{sw} = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$KB = ? \quad BM = ? \quad KM = ?$$

$$KB = \frac{D}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ m}$$

$$BM = \frac{B^2}{12 \times D} = \frac{15^2}{12 \times 4} = \frac{225}{48} = 4.7 \text{ m}$$

$$KM = KB + BM = 2 + 4.7 = 6.7 \text{ m}$$

Example: A box shaped vessel is 24 X 5 X 5 m and floats on an even keel at 2 m draft, KG= 1.5 m. Calculate the initial Meta centric height?

$$L = 24 \text{ m} \quad B = 5 \text{ m} \quad H = 5 \text{ m} \quad D = 2 \text{ m}$$

$$KG = 1.5 \text{ m} \quad GM = ?$$

$$GM = KM - KG \quad \& \quad KM = KB + BM$$

$$KB = \frac{D}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ m}$$

$$BM = \frac{B^2}{12 \times D} = \frac{5^2}{12 \times 2} = \frac{25}{24} = 1.04 \text{ m}$$

$$KM = 1 + 1.04 = 2.04 \text{ m}$$

$$GM = 2.04 - 1.5 = 0.54 \text{ m}$$

Example: A box shaped vessel 75 long, 12 m beam and 7 m deep is floating on an even keel @ 6 m draft, calculate KM?

$$L = 75 \text{ m} \quad B = 12 \text{ m} \quad H = 7 \text{ m} \quad D = 6 \text{ m}$$

$$KM = ?$$

$$KM = KB + BM$$

$$KB = \frac{D}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ m}$$

$$BM = \frac{B^2}{12 \times D} = \frac{12^2}{12 \times 6} = \frac{144}{72} = 2 \text{ m}$$

$$KM = 3 + 2 = 5 \text{ m}$$

Example: A box shaped vessel $L = 70 \text{ m}$, $B = 13 \text{ m}$, Draft = 6 m on an even keel, density = $1.025 \frac{t}{m^3}$ and FWA = 5 cm , find TPC and KM?

$$L = 70 \text{ m} \quad B = 13 \text{ m} \quad D = 6 \text{ m} \quad \rho = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$FWA = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm} \quad TPC = ? \quad KM = ?$$

$$TPC = \frac{Dispt}{4 \times FWA} \quad \& \quad Dispt = L \times B \times D \times \rho$$

$$Dispt = 70 \times 13 \times 6 \times 1.025 = 5596.5 \text{ t}$$

$$TPC = \frac{5596.5}{4 \times 50} = 27.98 \text{ tons}$$

$$KM = KB + BM$$

$$KB = \frac{D}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ m}$$

$$BM = \frac{B^2}{12 \times D} = \frac{13^2}{12 \times 6} = \frac{169}{72} = 2.347 \text{ m}$$

$$KM = 3 + 2.347 = 5.347 \text{ m}$$

Example: A box shaped vessel $L = 60 \text{ m}$, $B = 10 \text{ m}$, Draft = 5 m on an even keel, density = 1015 Kg per Cu.m and FWA = 40 mm , find TPC and KM?

$$L = 60 \text{ m} \quad B = 10 \text{ m} \quad D = 5 \text{ m} \quad \rho = 1.015 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$\text{FWA} = 40 \text{ mm} \quad \text{TPC} = ? \quad \text{KM} = ?$$

$$\text{TPC} = \frac{\text{Dispt}}{4 \times \text{FWA}} \quad \& \quad \text{Dispt} = L \times B \times D \times \rho$$

$$\text{Dispt} = 60 \times 10 \times 5 \times 1.015 = 3045 \text{ t}$$

$$\text{TPC} = \frac{3045}{4 \times 40} = 19.03 \text{ tons}$$

$$KM = KB + BM$$

$$KB = \frac{D}{2} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ m}$$

$$BM = \frac{B^2}{12 \times D} = \frac{10^2}{12 \times 5} = \frac{100}{60} = 1.66 \text{ m}$$

$$KM = 2.5 + 1.66 = 4.16 \text{ m}$$

(الف) برای کشتی های مثلثی یا منشوری شکل (Triangular Shaped)

: Prism V/L

$$KB = \frac{2 \times D}{3}$$

$$BM = \frac{B^2}{6 \times D}$$

$$KM = KB + BM$$

D= Draft

B= عرض خط آبی شناور

Example: A vessel is in the form of triangular prism 32 m long, 8 m wide at top and 5 m deep, KG= 3.7 m. Find the initial Meta centric height when floating on an even keel at 4 m draft F & A.

L= 32 m

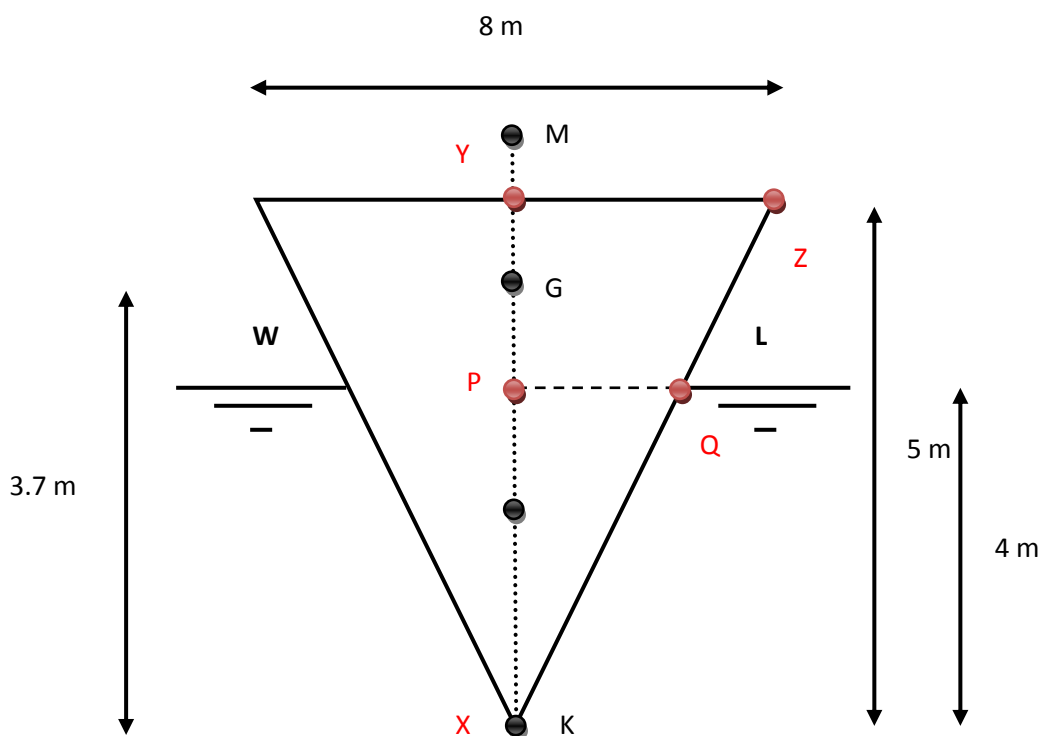
B= 8 m

H= 5 m

KG= 3.7 m

GM=?

D= 4 m



$$GM = KM - KG$$

$$KM = KB + BM$$

$$KB = \frac{2 \times D}{3} = \frac{2 \times 4}{3} = 2.66 \text{ m}$$

$$BM = \frac{B^2}{6 \times D}$$

در فرمول فوق B عرض خط آبی شناور است که باید آنرا محاسبه کنیم بصورت ذیل:

$$B = 2 \times PQ$$

$$\begin{array}{c} \triangle \\ XYZ \end{array} \text{ \& } \begin{array}{c} \triangle \\ XPQ \end{array} \quad === > \quad \frac{XY}{YZ} = \frac{XP}{PQ} \quad === > \quad \frac{5}{4} = \frac{4}{PQ}$$

$$PQ = \frac{4 \times 4}{5} = 3.2 \text{ m}$$

$$B = 2 \times 3.2 = 6.4 \text{ m}$$

$$BM = \frac{6.4^2}{6 \times 4} = 1.7 \text{ m}$$

$$KM = 2.66 + 1.7 = 4.36 \text{ m}$$

$$GM = 4.36 - 3.7 = 0.66 \text{ m}$$

Example: A vessel in form of triangular prism, 45 m long, $C_w=0.7$, $KG= 4 \text{ m}$, find initial Meta centric height when floating in draft= 3 m with water plane area= 200 m^2

$$L = 45 \text{ m} \quad C_w = 0.7 \quad KG = 4 \text{ m} \quad GM = ?$$

$$D=3 \text{ m} \quad WPA= 200 \text{ m}^2$$

$$GM= KM - KG$$

$$KM= KB + BM$$

$$KB= \frac{2 \times D}{3} = \frac{2 \times 3}{3} = 2 \text{ m}$$

$$BM= \frac{B^2}{6 \times D}$$

$$WPA= C_w \times B \times L$$

$$200= 0.7 \times B \times 45$$

$$B= \frac{200}{0.7 \times 45} = \frac{200}{31.5} = 6.35 \text{ m}$$

$$BM= \frac{(6.35)^2}{6 \times 3} = \frac{40.32}{18} = 2.24 \text{ m}$$

$$KM= 2 + 2.24= 4.24 \text{ m}$$

$$GM= 4.24 - 4= 0.24 \text{ m}$$

Example: A vessel in form of triangular prism 80 m long, 15 m wide and 6.5 m deep has $KG= 5.2 \text{ m}$. Find initial Meta centric height when floating on an even keel at 5 m draft.

Ship Stability

$L = 80 \text{ m}$

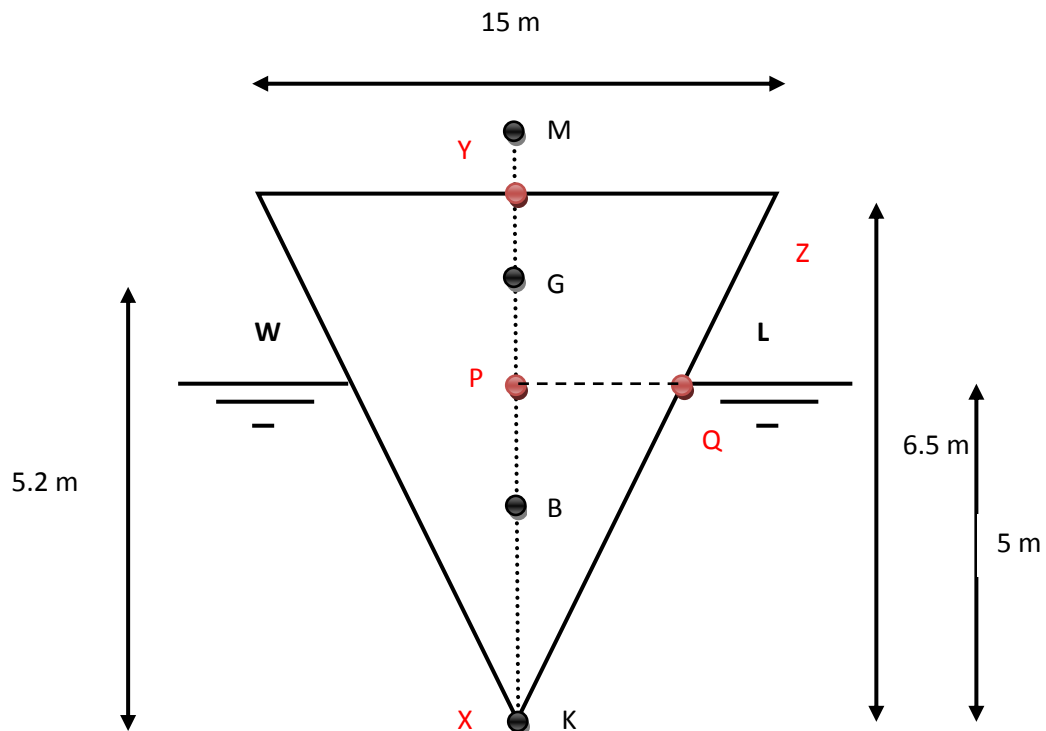
$B = 15 \text{ m}$

$H = 6.5 \text{ m}$

$KG = 5.2 \text{ m}$

$GM = ?$

$D = 5 \text{ m}$



$$GM = KM - KG$$

$$KM = KB + BM$$

$$KB = \frac{2 \times D}{3} = \frac{2 \times 5}{3} = 3.3 \text{ m}$$

$$B = 2 \times PQ$$

$$\triangle XYZ \text{ \& } \triangle XPQ \implies \frac{XY}{YZ} = \frac{XP}{PQ} \implies \frac{6.5}{7.5} = \frac{5}{PQ}$$

$$PQ = \frac{5 \times 7.5}{6.5} = 5.7 \text{ m}$$

$$B = 2 \times 5.7 = 11.4 \text{ m}$$

$$BM = \frac{11.4^2}{6 \times 5} = 4.33 \text{ m}$$

$$KM = 3.3 + 4.33 = 7.63 \text{ m}$$

$$GM = 7.63 - 5.2 = 2.43 \text{ m}$$

Example: Compare the initial Meta centric height of two barge, each 60 m long, 10 m beam at the water line, 6 m deep, floating upright on an even keel at 3 m draft and having $KG = 3 \text{ m}$. One barge is in the form of rectangular prism and the other is in form of a triangular prism, floating apex downwards.

$$L = 60 \text{ m} \quad B = 10 \text{ m (@water line)} \quad H = 6 \text{ m}$$

$$KG = 5.2 \text{ m} \quad D = 3 \text{ m} \quad GM_{\Delta} = ? \quad GM_{\square} = ?$$

$$GM_{\square} = KM_{\square} - KG_{\square}$$

$$KM_{\square} = KB_{\square} + BM_{\square}$$

$$KB_{\square} = \frac{D}{2} = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ m}$$

$$BM_{\square} = \frac{B^2}{12 \times D} = \frac{10^2}{12 \times 3} = 2.77 \text{ m}$$

$$KM_{\square} = 1.5 + 2.77 = 4.27 \text{ m}$$

$$GM_{\square} = 4.27 - 3 = 1.27 \text{ m}$$

$$GM_{\Delta} = KM_{\Delta} - KG_{\Delta}$$

$$KM_{\Delta} = KB_{\Delta} + BM_{\Delta}$$

$$KB_{\Delta} = \frac{2 \times D}{3} = \frac{2 \times 3}{3} = 2 \text{ m}$$

$$BM_{\Delta} = \frac{B^2}{6 \times D} = \frac{10^2}{6 \times 3} = 5.55 \text{ m}$$

$$KB_{\Delta} = 2 + 5.55 = 7.55 \text{ m}$$

$$GM_{\Delta} = 7.55 - 3 = 4.55 \text{ m}$$

پس GM در کشتی های Triangular بیشتر از کشتی های Rectangular است .

محاسبه گشتاور تعادل استاتیکی (Moment of Statical Stability):

الف) در هنگامی که کشتی در یک زاویه کوچک تا 10° دچار heel شده باشد:

(Angel of heel $< 10^{\circ}$)

Moment of statical stability = Dispt X GZ = Dispt X GM X Sin θ

θ = Angel of heel

ب) در هنگامی که کشتی در یک زاویه بیشتر از 10° دچار heel شده باشد:

(Angel of heel $> 10^{\circ}$)

Moment of statical stability = Dispt X GZ =

$$\text{Dispt} \times (\text{GM} + 0.5 \times \text{BM} \times \tan^2 \theta) \times \sin \theta$$

Example: A Ship of 4000 tons displacement has $\text{KG} = 5.5 \text{ m}$ and $\text{KM} = 6 \text{ m}$, calculate the moment of statical stability when heeled 5 degrees.

$$\text{Dispt} = 4000 \text{ t} \quad \text{KG} = 5.5 \text{ m} \quad \text{KM} = 6 \text{ m} \quad \theta = 5^\circ$$

Moment of statical stability = ?

$$\text{GM} = \text{KM} - \text{KG} = 6 - 5.5 = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Moment of St. St.} = \text{Dispt} \times \text{GM} \times \sin \theta = 4000 \times 0.5 \times \sin 5^\circ$$

$$\text{Moment of St. St.} = 174 \text{ t.m}$$

Example: A Ship of 10000 tons displacement has $\text{GM} = 0.5 \text{ m}$ calculates the moment of statical stability when ship is heeled $7\frac{3}{4}$ degrees.

$$\text{Dispt} = 100000 \text{ t} \quad \text{GM} = 0.5 \text{ m} \quad \text{Moment of statical stability} = ?$$

$$\theta = 7.75^\circ$$

$$\text{Moment of St. St.} = \text{Dispt} \times \text{GM} \times \sin \theta$$

$$\text{Moment of St. St.} = 10000 \times 0.5 \times \sin 7.75^\circ = 674.25 \text{ t.m}$$

Example: A Box shaped vessel 65m x 12m x 8m has KG 4m, and is floating in salt water upright on an even keel at 4m draft F&A. Calculate the moments of statical stability at:

a) 5 degrees

b) 25 degrees heel.

$$L = 65\text{m} \quad B = 12\text{m} \quad H = 8\text{m} \quad KG = 4\text{m}$$

$$\rho = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad D = 4\text{m} \quad \text{moment of St. St.} = ?$$

a) $\theta = 5^\circ$

$$\text{Moment of St. St.} = \text{Dispt} \times GM \times \sin \theta$$

$$\text{Dispt} = L \times B \times D \times \rho = 65 \times 12 \times 4 \times 1.025 = 3198 \text{ t}$$

$$GM = KM - KG$$

$$KM = KB + BM$$

$$KB = \frac{D}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ m}$$

$$BM = \frac{B^2}{12 \times D} = \frac{12^2}{12 \times 4} = 3 \text{ m}$$

$$KM = 2 + 3 = 5 \text{ m}$$

$$\text{Moment of St. St.} = 3198 \times 1 \times \sin 5^\circ = 3198 \times 0.087$$

$$\text{Moment of St. St.} = 278.72 \text{ t.m}$$

$$\text{a) } \theta = 25^\circ$$

$$\text{Moment of St. St.} = \text{Dispt} \times (GM + 0.5 \times BM \times \tan^2 \theta) \times \sin \theta$$

$$\text{Moment of St. St.} = 3198 \times (1 + 0.5 \times 3 \times 0.217) \times 0.423$$

$$\text{Moment of St. St.} = 1792.39 \text{ t.m}$$

Example: When a ship of 12000 tons displacement is heeled $6\frac{1}{2}$ degrees, the moment of statical stability is 600 tons meter, calculate the initial Meta centric height?

$$\text{Dispt} = 1200 \text{ t} \quad \theta = 6.5^\circ \quad \text{moment of St. St.} = 600 \text{ t.m}$$

$$GM = ?$$

$$\text{Moment of St. St.} = \text{Dispt} \times GM \times \sin \theta$$

$$600 = 12000 \times GM \times \sin 6.5^\circ$$

$$600 = 1356 \times GM$$

$$GM = \frac{600}{1356} = 0.442 \text{ m}$$

Example: When a ship of 12000 tons displacement is heeled $5\frac{1}{4}$ degrees, the moment of statical stability is 300 tons meter, if $KG = 7.5\text{m}$, find the height of the Meta center above the keel?

Dispt= 1200 t $\theta = 5.25^\circ$ moment of St. St. = 300 t.m

$KG = 7.5\text{m}$ $KM = ?$

$$KM = KG + GM$$

$$\text{Moment of St. St.} = \text{Dispt} \times GM \times \sin \theta$$

$$300 = 12000 \times GM \times \sin 5.25^\circ$$

$$300 = 12000 \times GM \times 0.091$$

$$300 = 1092 \times GM$$

$$GM = \frac{300}{1092} = 0.274 \text{ m}$$

$$KM = 7.5 + 0.274 = 7.774 \text{ m}$$

Example: When a ship of 10000 tons displacement is heeled 9 degrees, the righting lever is 0.2m, $KM = 6.8\text{m}$, find the KG and the moment of statical stability?

Dispt= 10000 t $\theta = 9^\circ$ $GZ = 0.2\text{m}$ $KM = 6.8\text{m}$

KM=? Moment of St. St. =?

$$\text{Moment of St. St.} = \text{Dispt} \times \text{GZ} = 10000 \times 0.2 = 2000 \text{ t.m}$$

$$\text{KG} = \text{KM} - \text{KG}$$

$$\text{Moment of St. St.} = \text{Dispt} \times \text{GM} \times \sin \theta$$

$$2000 = 10000 \times \text{GM} \times \sin 9^\circ$$

$$2000 = 10000 \times 0.156 \times \text{GM}$$

$$2000 = 1560 \times \text{GM}$$

$$\text{GM} = \frac{2000}{1560} = 1.28 \text{ m}$$

$$\text{KG} = 6.8 - 1.28 = 5.52 \text{ m}$$

Example: A Ship of 10000 tons displacement has KG= 5.5m
KB= 2.8m and BM= 3m, calculate the moment of statical
stability at:

a) 5 degrees of heel

b) 25 degrees of heel

$$\text{Dispt} = 10000 \text{ t} \quad \text{KG} = 5.5\text{m} \quad \text{KB} = 2.8\text{m} \quad \text{BM} = 3\text{m}$$

Moment of St. St. =?

$$a) \theta = 5^\circ$$

$$\text{Moment of St. St.} = \text{Dispt} \times \text{GM} \times \sin \theta$$

$$\text{GM} = \text{KM} - \text{KG}$$

$$\text{KM} = \text{KB} + \text{BM} = 2.8 + 3 = 5.8 \text{ m}$$

$$\text{GM} = 5.8 - 5.5 = 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Moment of St. St.} = 10000 \times 0.3 \times \sin 5^\circ$$

$$\text{Moment of St. St.} = 3000 \times \sin 5^\circ = 3000 \times 0.087$$

$$\text{Moment of St. St.} = 261 \text{ t.m}$$

$$b) \theta = 25^\circ$$

$$\text{Moment of St. St.} = \text{Dispt} \times (\text{GM} + 0.5 \times \text{BM} \times \tan^2 \theta) \times \sin \theta$$

$$\text{Moment of St. St.} = 10000 \times (0.3 + 0.5 \times 3 \times \tan^2 25^\circ) \times \sin 25^\circ$$

$$\text{Moment of St. St.} = 10000 \times (0.3 + 1.5 \times (0.466)^2) \times 0.422$$

$$\text{Moment of St. St.} = 10000 \times (0.3 + 1.5 \times 0.217) \times 0.422$$

$$\text{Moment of St. St.} = 10000 \times 0.625 \times 0.422$$

$$\text{Moment of St. St.} = 2637.5 \text{ t.m}$$

تأثیر سطح آزاد مایعات (Liquid free surface effect):

هنگامی که مخزن مایعات کاملاً پر یا خالی باشد، زمانیکه کشتی بدلیل نیروهای خارجی (heel) کج گردد، بعلت اینکه مایع درون مخزن کاملاً پر است هیچگونه حرکتی نمی تواند داشته باشد. بنابراین هیچ تغییری در مرکز ثقل کشتی بوجود نمی آید.

ولی زمانیکه یک مخزن نیمه پر باشد در هنگام کج شدن کشتی چون مقداری از این مایع از سمت مخالف کج شدن بطرف سمت کج شده شناور حرکت می نماید، باعث می شود که مقداری از وزن درون مخزن بسمت کج شده اضافه گردد و در نهایت مرکز ثقل بار اضافه شده بطرف کج شده کشتی، بطرف بالا جابجا گردیده و باعث می شود که GM کشتی بصورت مجازی کاهش یابد. بنابراین به این نتیجه می رسیم که بر اثر سطح آزاد مایعات GM کشتی کاهش می یابد و باید در صورت امکان این اثر را در شناورها کاهش دهیم. از راههای رایج کاهش تأثیر سطح آزاد مایعات می توان به تقسیم بندی یا دیواره بندی طولی در مخازن کشتی اشاره کرد، هر چه این دیواره بندی ها تعدادش بیشتر باشد باعث می شود که اثر سطح آزاد مایعات کمتر گردد.

مقدار کاهش مجازی GM کشتی بر اثر سطح آزاد مایعات بوسیله فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$\text{Virtual Loss of } GM = \frac{L \times B^3 \times \rho_1}{12 \times V \times \rho_2 \times n^2}$$

L = طول مخزن یا تانک

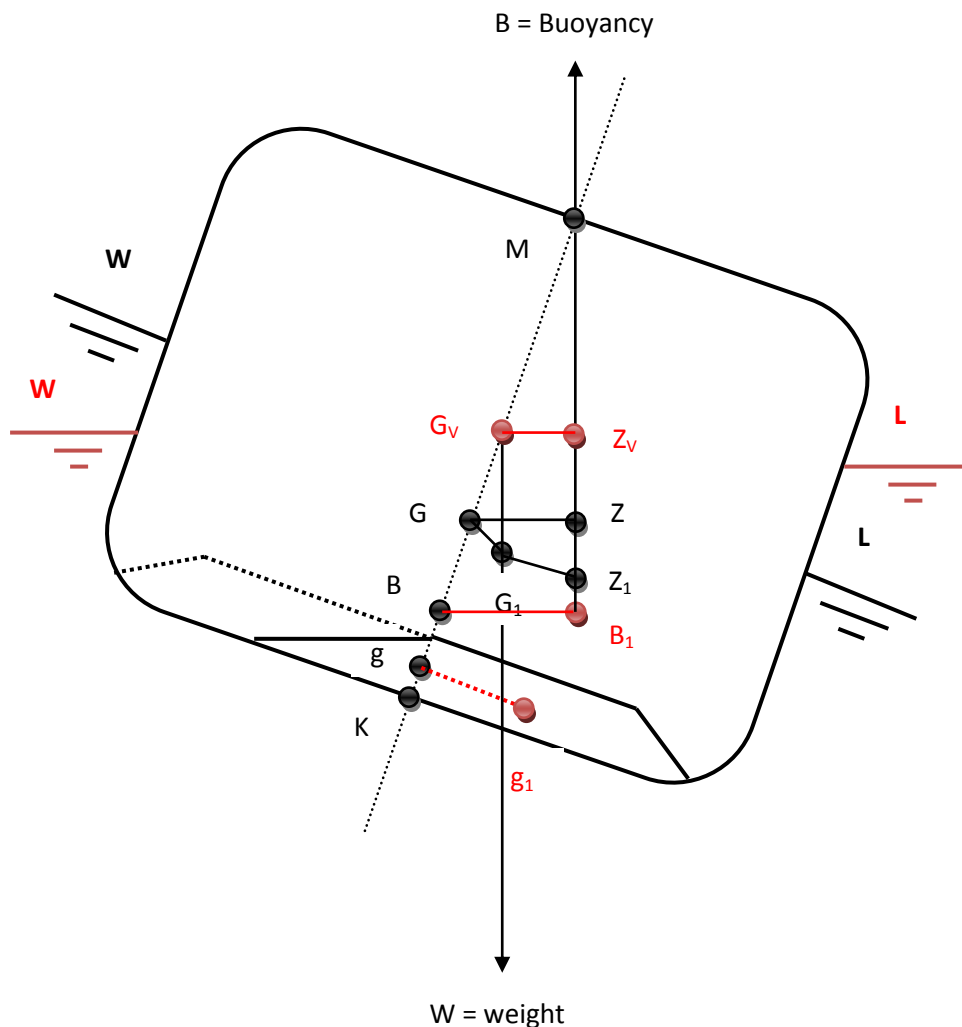
B = عرض مخزن یا تانک

ρ_1 = چگالی مایع درون مخزن یا تانک

ρ_2 = چگالی آب زیر کشتی

V = حجم زیر آبی کشتی (حجم اشغال شده آب جابجا شده توسط وزن کشتی)

n = تعداد مخزن های تقسیم شده کوچک توسط دیوار ههای طولی



Example: A Ship of 6000 tons displacement floating in salt water has a double bottom tank 20 x 12 x 2 m which is divided at the center line and is partially filled with oil of

relative density 0.82 find the virtual loss of Meta centric height?

$$\text{Dispt} = 6000 \text{ t} \quad \rho_2 = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad L_{\text{TK}} = 20\text{m} \quad B_{\text{TK}} = 12\text{m}$$

$$H_{\text{TK}} = 2\text{m} \quad n = 2 \quad \text{RD}_{\text{oil}} = 0.82 \quad \text{Virtual Loss of GM} = ?$$

$$\text{Virtual Loss of GM} = \frac{L \times B^3 \times \rho_1}{12 \times V \times \rho_2 \times n^2}$$

$$\text{RD}_{\text{oil}} = \frac{\rho_{\text{oil}}}{\rho_{\text{fw}}}$$

$$\rho_{\text{oil}} = \text{RD}_{\text{oil}} \times \rho_{\text{fw}}$$

$$\rho_{\text{oil}} = 0.82 \times 1 = 0.82 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{6000}{1.025} = 5853.65 \text{ m}^3$$

$$\text{Virtual Loss of GM} = \frac{20 \times 12^3 \times 0.82}{12 \times 5853.65 \times 1.025 \times 2^2} = \frac{28339.2}{287999.58}$$

$$\text{Virtual Loss of GM} = 0.0984 \text{ m}$$

Example: A Ship of 6000 tons displacement is floating in fresh water and has a deep tank 10 x 15 x 6 m which is undivided and is partially filled with oil of relative density 0.92 find the virtual loss of GM due to the free surface?

$$\text{Dispt} = 6000 \text{ t} \quad \rho_2 = 1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad L_{\text{TK}} = 10\text{m} \quad B_{\text{TK}} = 15\text{m}$$

$$H_{\text{TK}} = 6\text{m} \quad n = 1 \quad \text{RD}_{\text{oil}} = 0.92 \quad \text{Virtual Loss of GM} = ?$$

$$\text{Virtual Loss of GM} = \frac{L \times B^3 \times \rho_1}{12 \times V \times \rho_2 \times n^2}$$

$$\text{RD}_{\text{oil}} = \frac{\rho_{\text{iol}}}{\rho_{\text{fw}}}$$

$$\rho_{\text{oil}} = \text{RD}_{\text{oil}} \times \rho_{\text{fw}}$$

$$\rho_{\text{oil}} = 0.92 \times 1 = 0.92 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{6000}{1} = 6000 \text{ m}^3$$

$$\text{Virtual Loss of GM} = \frac{10 \times 15^3 \times 0.92}{12 \times 6000 \times 1 \times 1^2} = \frac{31050}{72000}$$

$$\text{Virtual Loss of GM} = 0.43125 \text{ m}$$

Example: A Ship of 10000 tons displacement is floating in dock water of density 1024 Kg per Cu.m and is carrying oil of relative density 0.84 in double bottom tank; the tank is 25m long, 15m wide and is divided at the center line. Find the virtual loss of GM due to this tank being slack?

$$\text{Dispt} = 10000 \text{ t} \quad \rho_2 = 1.024 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad \text{RD}_{\text{oil}} = 0.84$$

$$L_{\text{TK}} = 25\text{m} \quad B_{\text{TK}} = 15\text{m} \quad n = 2 \quad \text{Virtual Loss of GM} = ?$$

$$\text{Virtual Loss of GM} = \frac{L \times B^3 \times \rho_1}{12 \times V \times \rho_2 \times n^2}$$

$$RD_{\text{oil}} = \frac{\rho_{\text{iol}}}{\rho_{\text{fw}}}$$

$$\rho_{\text{oil}} = RD_{\text{oil}} \times \rho_{\text{fw}}$$

$$\rho_{\text{oil}} = 0.84 \times 1 = 0.84 \frac{t}{m^3}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{10000}{1.024} = 9765.62 \text{ m}^3$$

$$\text{Virtual Loss of GM} = \frac{25 \times 15^3 \times 0.84}{12 \times 9765.62 \times 1.024 \times 2^2} = \frac{70875}{479999.76}$$

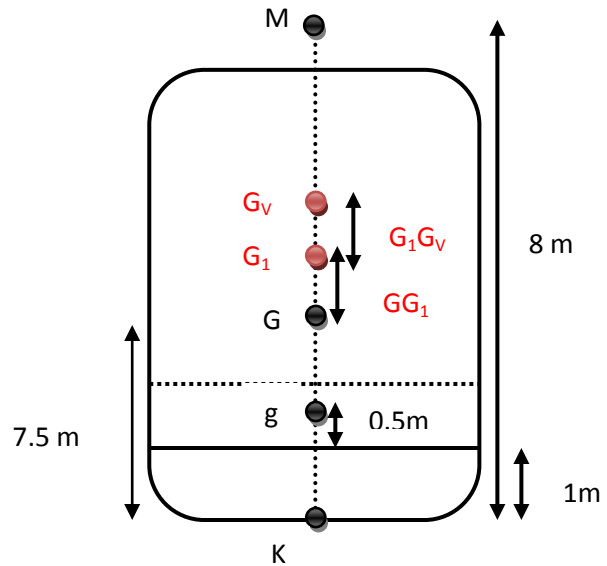
$$\text{Virtual Loss of GM} = 0.147 \text{ m}$$

Example: A Ship of 8153.75 tons displacement has KG= 7.5m & KM= 8m and has a double bottom tank 15x10x2 m, which is full of salt water ballast. Find the new GM if this tank is now pumped out till half empty?

$$\text{Dispt} = 8153.75 \text{ t} \quad \text{KM} = 8\text{m} \quad \text{KG} = 7.5\text{m} \quad L_{\text{TK}} = 15\text{m}$$

$$B_{\text{TK}} = 10\text{m} \quad H_{\text{TK}} = 2\text{m} \quad \rho_1 = \rho_2 = 1.025 \frac{t}{m^3} \quad n = 1$$

$$GM_{new}=?$$



$$GM_{new} = GM - GG_1 - G_1G_v$$

$$GM = KM - KG = 8 - 7.5 = 0.5 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt - w} : \text{به جهت تخلیه نصف تانک}$$

w = وزن آب تخلیه شده

d = فاصله مرکز حجم آب تخلیه شده تا G

$$Dispt = \text{حجم آب تخلیه شده} = V = L \times B \times H_{\text{نصف تانک}} = 15 \times 10 \times 1 = 150 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1.025 = \frac{m}{150}$$

$$m = w = 150 \times 1.025 = 153.75 \text{ tons}$$

$$d = KG - Kg = 7.5 - (1 + 0.5) = 6 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{153.75 \times 6}{8153.75 - 153.75} = \frac{153.75 \times 6}{8000} = 0.115 \text{ m}$$

$$G_1G_v = \text{Virtual Loss of GM} = \frac{L \times B^3 \times \rho_1}{12 \times V \times \rho_2 \times n^2}$$

$$V_{\text{زیر آبی}} = \frac{m}{\rho} = \frac{8153.75}{1.025} = 7954.67 \text{ m}^3$$

$$G_1 G_v = \text{Virtual Loss of GM} = \frac{15 \times 10^3 \times 1.025}{12 \times 7954.67 \times 1.025 \times 1^2} = \frac{15375}{97842.441}$$

$G_1G_v = \text{Virtual Loss of GM} = 0.157 \text{ m}$

$$GM_{\text{new}} = 0.5 - 0.115 - 0.157 = 0.228 \text{ m}$$

Example: A Ship of 8000 tons displacement has $KG = 3.75\text{m}$ & $KM = 5.5\text{m}$ a double bottom tank $16 \times 16 \times 1\text{ m}$ is subdivided at center line and is full of salt water ballast. Find the new GM if this tank is pumped out until it is half empty?

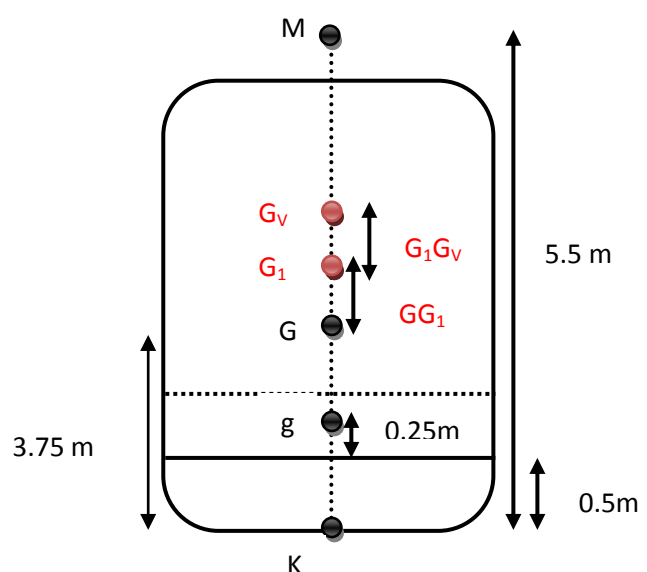
Dispt= 8000 t

KG= 3.75m

KM= 5.5m

$$L_{TK} = 16m \quad B_{TK} = 16m \quad H_{TK} = 1m \quad \rho_1 = \rho_2 = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

n= 2 GM_{new}=?



$$GM_{new} = GM - GG_1 - G_1G_v$$

$$GM = KM - KG = 5.5 - 3.75 = 1.75 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt - w} : \text{به جهت تخلیه نصف تانک}$$

w = وزن آب تخلیه شده

d = فاصله مرکز حجم آب تخلیه شده تا G

$$Dispt = \text{حجم آب تخلیه شده} = V = L \times B \times H_{\text{نصف تانک}} = 16 \times 0.5 \times 16 = 128 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1.025 = \frac{m}{128}$$

$$m = w = 1.025 \times 128 = 131.2 \text{ tons}$$

$$d = KG - Kg = 3.75 - (0.5 + 0.25) = 3 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{131.2 \times 3}{8000 - 131.2} = \frac{393.6}{7868.8} = 0.050 \text{ m}$$

$$G_1G_v = \text{Virtual Loss of GM} = \frac{L \times B^3 \times \rho_1}{12 \times V \times \rho_2 \times n^2}$$

$$V_{\text{زیر آبی}} = \frac{m}{\rho} = \frac{8000}{1.025} = 7804.87 \text{ m}^3$$

$$G_1G_v = \text{Virtual Loss of GM} = \frac{16 \times 16^3 \times 1.025}{12 \times 7804.87 \times 1.025 \times 2^2} = \frac{67174.4}{383999.604}$$

$$G_1G_v = \text{Virtual Loss of GM} = 0.174 \text{ m}$$

$$GM_{\text{new}} = 1.75 - 0.050 - 0.174 = 1.526 \text{ m}$$

Example: A Ship of 7000 tons displacement has $KM = 6.4\text{m}$ & $KG = 5\text{m}$ and has a double bottom tank $20 \times 12 \times 4\text{ m}$, find the new GM if this tank is now pumped in till half full by water of density 1015 Kg per Cu.m ?

$Dispt = 7000\text{ t}$

$KM = 6.4\text{m}$

$KG = 5\text{m}$

$L_{TK} = 20\text{m}$

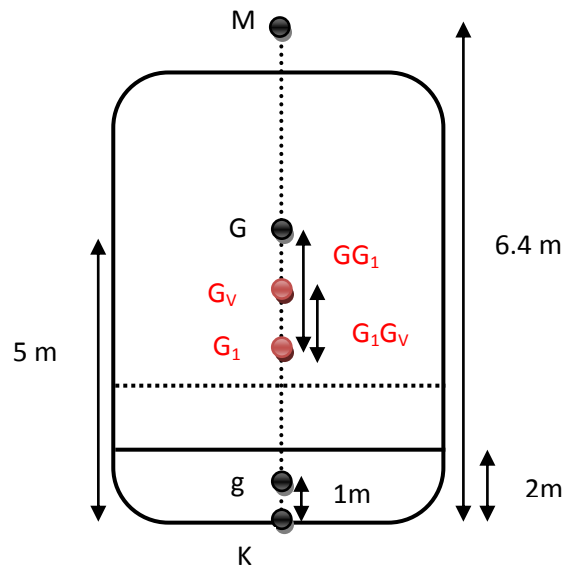
$B_{TK} = 12\text{m}$

$H_{TK} = 4\text{m}$

$\rho_1 = \rho_2 = 1.015 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$

$n = 1$

$GM_{\text{new}} = ?$



$$GM_{\text{new}} = GM + GG_1 - G_1G_v$$

$$GM = KM - KG = 6.4 - 5 = 1.4\text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt + w} : \text{به جهت پر شدن نصف تانک}$$

$w =$ وزن آب پر شده

$d =$ فاصله مرکز حجم آب پر شده تا G

$$Dispt_{\text{حجم آب تخلیه شده}} = V = L \times B \times H_{\text{نصف تانک}} = 20 \times 12 \times 2 = 480\text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1.015 = \frac{m}{480}$$

$$m = w = 1.015 \times 480 = 487.2 \text{ tons}$$

$$d = KG - Kg = 5 - 1 = 4 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{487.2 \times 4}{7000 + 487.2} = \frac{1948.8}{7487.2} = 0.260 \text{ m}$$

$$G_1G_v = \text{Virtual Loss of GM} = \frac{L \times B^3 \times \rho_1}{12 \times V \times \rho_2 \times n^2}$$

$$V_{\text{زیر آبی}} = \frac{m}{\rho} = \frac{7000}{1.015} = 6896.55 \text{ m}^3$$

$$G_1G_v = \text{Virtual Loss of GM} = \frac{20 \times 12^3 \times 1.015}{12 \times 6896.55 \times 1.015 \times 1^2} = \frac{35078.4}{83999.979}$$

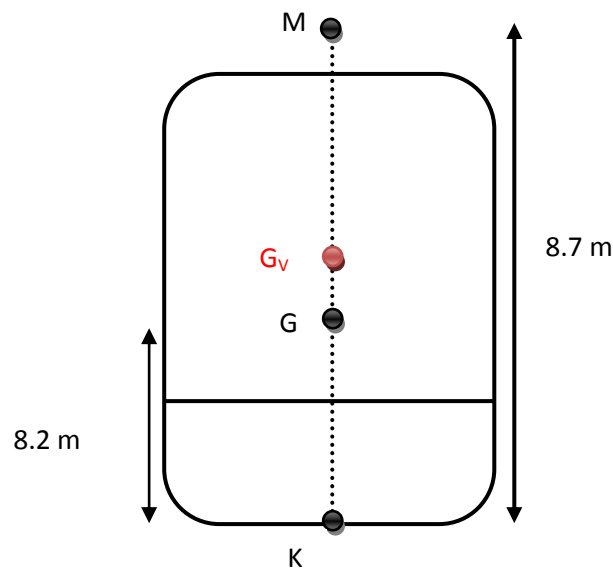
$$G_1G_v = \text{Virtual Loss of GM} = 0.417 \text{ m}$$

$$GM_{\text{new}} = 1.4 + 0.260 - 0.417 = 1.243 \text{ m}$$

Example: A Vessel of 20000 tons displacement $KG = 8.20\text{m}$
 $KM = 8.7\text{m}$ floats in salt water, there is slack water in a
ballast tank measuring 30m long and 10m wide, calculate
GM allowing for FSE.

$$\text{Dispt} = 20000 \text{ t} \quad KG = 8.2\text{m} \quad KM = 8.7\text{m} \quad \rho_1 = \rho_2 = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$L_{TK} = 30\text{m} \quad B_{TK} = 10\text{m} \quad GM_{\text{new}} = ? \quad n = 1$$



$$GM_{\text{new}} = GM - GG_v$$

$$GM = KM - KG = 8.7 - 8.2 = 0.5 \text{ m}$$

$$GG_v = \text{Virtual Loss of GM} = \frac{L \times B^3 \times \rho_1}{12 \times V \times \rho_2 \times n^2}$$

$$V_{\text{زیر آبی}} = \frac{m}{\rho} = \frac{20000}{1.025} = 19512.19 \text{ m}^3$$

$$GG_v = \text{Virtual Loss of GM} = \frac{30 \times 10^3 \times 1.025}{12 \times 19512.19 \times 1.025 \times 1^2} = \frac{30750}{239999.937}$$

$$GG_v = 0.128 \text{ m}$$

$$GM_{\text{new}} = 0.5 - 0.128 = 0.372 \text{ m}$$

Example: A Ship of 6000 tons displacement has $KG = 4\text{m}$ and $KM = 4.5\text{m}$, a double bottom tank in the ship 20m long, 10m

wide is partially fill of salt water ballast, find the moment of statical stability when the ship is heeled 5 degrees?

(Answer= 112.580 t.m)

Dispt= 6000 t KG= 4m KM= 4.5 m L_{TK}= 20m

B_{TK}= 10m $\rho_1 = \rho_2 = 1.025 \frac{t}{m^3}$ moment of St. St. =?

$\theta = 5^\circ$ n= 1

Moment of St. St. = Dispt x GM_{new} x Sin θ

GM_{new}= GM - GG_V

GM= KM – KG= 4.5 – 4= 0.5 m

GG_V = Virtual Loss of GM= $\frac{L \times B^3 \times \rho_1}{12 \times V \times \rho_2 \times n^2}$

$V_{\text{زیر آبی}} = \frac{m}{\rho} = \frac{6000}{1.025} = 5853.66 \text{ m}^3$

GG_V = Virtual Loss of GM= $\frac{20 \times 10^3 \times 1.025}{12 \times 5853.66 \times 1.025 \times 1^2} = \frac{20500}{72000.018}$

GG_V = 0.28 m

GM_{new}= 0.5 – 0.28= 0.22 m

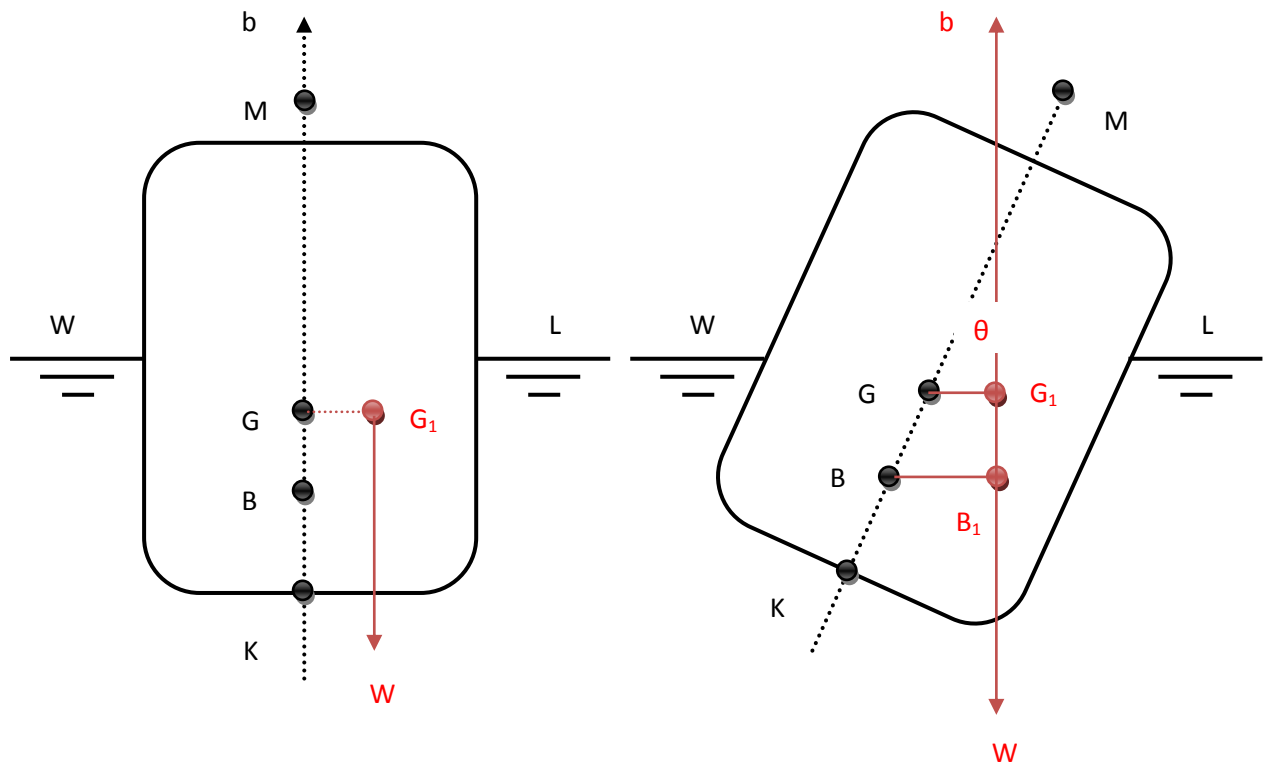
Moment of St. St. = 6000 x 0.22 x Sin 5° = 1320 x 0.087

Moment of St. St. = 114.84 t.m

A schematic diagram of a quantum system. A large rounded rectangle represents the system boundary. A vertical dashed line passes through the center. At the top, a black dot is labeled M . Below it, a black dot is labeled G . At the bottom, a black dot is labeled K . A vertical solid line passes through G and K , with a downward arrow at the bottom labeled W . A solid line segment connects M to G , labeled θ . A red dot is labeled G_1 . A horizontal dashed line passes through G and G_1 . A dashed rectangle on the left is labeled g . A solid rectangle on the right is labeled g_1 in red.

$\tan \theta = \frac{GG1}{GM}$: هنگامیکه زاویه θ را داشته باشیم

هنگامیکه زاویه θ را از ما بخواهند: $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{GG1}{GM}\right)$



Example: A Ship of 6000 tons displacement has $KM = 7.3\text{m}$ and $KG = 6.7\text{m}$ and is floating upright. A weight of 60 tons already on board is shifted 12m transversely. Find the resultant list?

Dispt= 6000 t $KM = 7.3\text{m}$ $KG = 6.7\text{m}$ $w = 60\text{t}$

$d = 12\text{m}$ $\theta = ?$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{GG_1}{GM}\right)$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\text{Dispt}} = \frac{60 \times 12}{6000} = 0.12 \text{ m}$$

$$GM = KM - KG = 7.3 - 6.7 = 0.6 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{0.12}{0.6}\right) = \tan^{-1}(0.2)$$

$$\theta = 11.3^\circ$$

Example: A Ship of 2800 tons displacement has KM= 7m and KG= 5.9m and is floating upright. A weight of 50 tons already on board is shifted 8m transversely. Find the resultant list?

$$\text{Dispt} = 2800 \text{ t} \quad \text{KM} = 7\text{m} \quad \text{KG} = 5.9\text{m} \quad w = 50\text{t}$$

$$d = 8\text{m} \quad \theta = ?$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{GG_1}{GM}\right)$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\text{Dispt}} = \frac{50 \times 8}{2800} = 0.14 \text{ m}$$

$$GM = KM - KG = 7 - 5.9 = 1.1 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{0.14}{1.1}\right) = \tan^{-1}(0.127)$$

$$\theta = 07.2^\circ$$

Example: A Ship of 1500 tons displacement has KB= 2.1m KG= 2.7m and KM= 3.1m and is floating upright in salt water.

Find the list if a weight of 10 tons is shifted transversely across the deck through a distance of 10 meters?

$$\text{Dispt} = 1500 \text{ t} \quad \text{KB} = 2.1\text{m} \quad \text{KG} = 2.7\text{m} \quad \text{KM} = 3.1\text{m}$$

$$\rho = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad \theta = ? \quad w = 10 \text{ t} \quad d = 10\text{m}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{GG_1}{GM} \right)$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\text{Dispt}} = \frac{10 \times 10}{1500} = 0.066 \text{ m}$$

$$GM = KM - KG = 3.1 - 2.7 = 0.4 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0.066}{0.4} \right) = \tan^{-1} (0.165)$$

$$\theta = 9.3^\circ$$

Example: A Ship of 4515 tons displacement is upright and has KG= 5.4m and KM= 5.8m, it is required to list the ship 2 degrees to starboard and a weight of 15 tons is to be shifted transversely for this purpose. Find the distance through which it must be shifted?

$$\text{Dispt} = 4515 \text{ t} \quad \text{KG} = 5.4\text{m} \quad \text{KM} = 5.8\text{m} \quad \theta = 2^\circ$$

$$w = 15 \text{ t} \quad d = ?$$

$$\tan \theta = \frac{GG_1}{GM}$$

$$GM = KM - KG = 5.8 - 5.4 = 0.4 \text{ m}$$

$$\tan 2^\circ = \frac{GG_1}{0.4}$$

$$GG_1 = 0.4 \times \tan 2^\circ = 0.4 \times 0.034 = 0.0136 \text{ m}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{\text{Dispt}}$$

$$0.0136 = \frac{15 \times d}{4515}$$

$$15 \times d = 4515 \times 0.0136$$

$$15 \times d = 61.404$$

$$d = \frac{61.404}{15} = 4.09 \text{ m}$$

Example: A weight of 12 tons when moved transversely across the deck through a distance of 12m, causes a ship of 4000 tons displacement to list 3.8 degrees to starboard if KM= 6m, find the KG?

$$w = 12 \text{ t} \quad d = 12 \text{ m} \quad \text{Dispt} = 4000 \text{ t} \quad \theta = 3.8^\circ$$

$$KM = 6 \text{ m} \quad KG = ?$$

$$KG = KM - GM$$

$$\tan \theta = \frac{GG_1}{GM}$$

$$GG_1 = \frac{w \times d}{Dispt} = \frac{12 \times 12}{4000} = \frac{144}{4000} = 0.036 \text{ m}$$

$$\tan (3.8^\circ) = \frac{0.036}{GM}$$

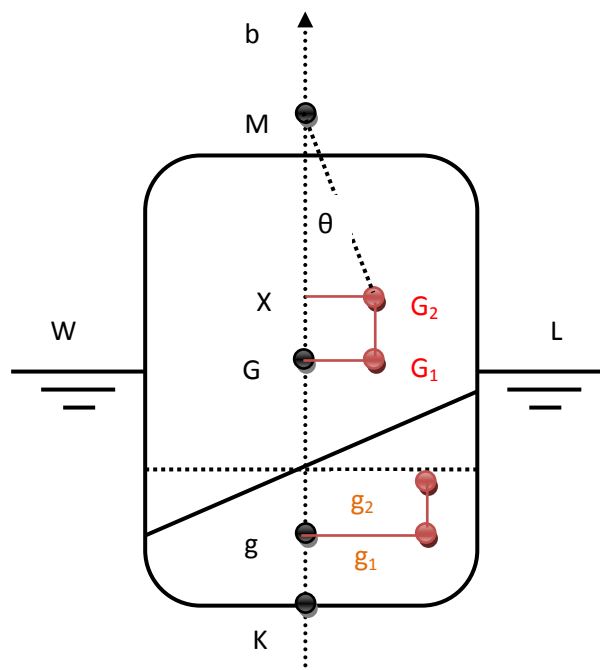
$$GM = 0.036 \times \tan (3.8^\circ) = 0.036 \times 0.066 = 0.545 \text{ m}$$

$$KG = 6 - 0.545 = 5.455 \text{ m}$$

Example: A Ship of 8000 tons displacement has $GM = 0.5\text{m}$, a quantity of grains in the hold estimated at 80 tons shifts and as a result, the center of gravity of this grains move 6.1m horizontally and 1.5m vertically. Find the resultant list?

Dispt= 8000 t $GM = 0.5\text{m}$ $w = 80 \text{ t}$ $d_H = 6.1 \text{ m}$

$d_V = 1.5 \text{ m}$ $\theta = ?$



$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{XG_2}{XM}\right)$$

$$XG_2 = GG_1 \quad \& \quad XG = G_1G_2$$

$$XM = GM - GX = GM - G_1G_2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{GG_1}{XM}\right)$$

$$GG_1 = \frac{w \times dH}{Dispt} = \frac{80 \times 6.1}{8000} = \frac{488}{8000} = 0.061 \text{ m}$$

$$G_1G_2 = \frac{w \times dV}{Dispt} = \frac{80 \times 1.5}{8000} = \frac{180}{8000} = 0.015 \text{ m}$$

$$XM = 0.5 - 0.015 = 0.485 \text{ m}$$

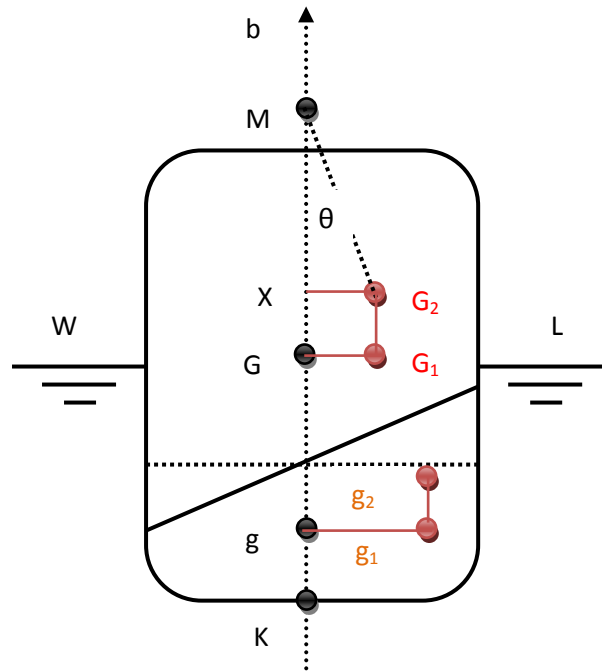
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{GG_1}{XM}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.061}{0.485}\right) = \tan^{-1}(0.125)$$

$$\theta = 7.12^\circ$$

Example: A quantity of grain estimated at 100 tons shifts 10m horizontally and 1.5m vertically in a ship of 9000 tons displacement, if the ship's original GM was 0.5m, find the resulting list?

$$w = 100 \text{ t} \quad d_H = 10\text{m} \quad d_V = 1.5\text{m} \quad Dispt = 9000 \text{ t}$$

$$GM = 0.5\text{m} \quad \theta = ?$$



$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{XG_2}{XM} \right)$$

$$XM = GM - GX = GM - G_1G_2$$

$$G_1G_2 = \frac{w \times dV}{Dispt} = \frac{1000 \times 1.5}{9000} = \frac{1500}{9000} = 0.016 \text{ m}$$

$$XM = 0.5 - 0.016 = 0.484 \text{ m}$$

$$XG_2 = GG_1$$

$$GG_1 = \frac{w \times dH}{Dispt} = \frac{100 \times 10}{9000} = \frac{1000}{9000} = 0.111 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{GG_1}{XM} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.111}{0.484} \right) = \tan^{-1}(0.229)$$

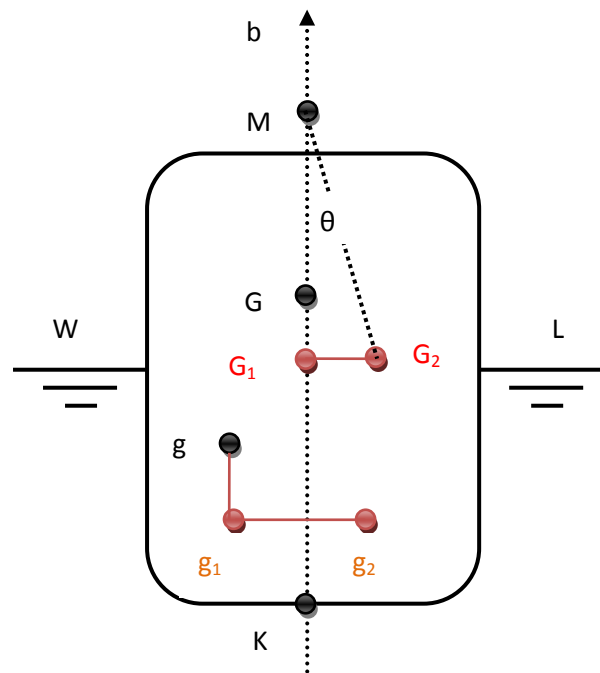
$$\theta = 12.89^\circ$$

Example: A Ship of 6500 tons displacement is floating upright and has GM= 0.15m, a weight of 50 tons already

onboard is moved 1.5 vertically downwards and 5m transversely to starboard. Find the list?

Dispt= 6500 t GM= 0.15m w= 50 t $d_v = 1.5\text{m}$

$d_H = 5\text{m (STBD)}$ $\theta = ?$



$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{G_1 G_2}{G_1 M} \right)$$

$$G_1 G_2 = \frac{w \times d_H}{Dispt} = \frac{50 \times 5}{6500} = \frac{250}{6500} = 0.038 \text{ m}$$

$$G_1 M = GM + GG_1$$

$$GG_1 = \frac{w \times d_v}{Dispt} = \frac{50 \times 1.5}{6500} = \frac{75}{6500} = 0.011 \text{ m}$$

$$G_1 M = 0.15 + 0.011 = 0.161 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0.038}{0.161} \right) = \tan^{-1} (0.236)$$

$$\theta = 13.27^\circ \text{ To STBD}$$

ب (بدست آوردن زاویه List برای بار یا بارهای مختلف بعد از تخلیه، بارگیری و یا

جابجایی :

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{GG_1}{G_1M} \right)$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

$$KG_1 = \frac{\text{Final moment about keel}}{\text{final dispt}}$$

$$GG_1 = \frac{\text{Final moment about center line}}{\text{final dispt}}$$

Example: A Ship of 8000 tons displacement has $KM = 8.7\text{m}$ and $KG = 7.6\text{m}$, the following weight are then loaded and discharged:

Load:

250 tons cargo $Kg = 6.1\text{m}$ and center of gravity 7.6m to starboard of the center line.

300 tons fuel oil $Kg = 0.6\text{m}$ and center of gravity 6.1m to port of the center line.

Discharge:

50 tons of ballast $Kg = 1.2\text{m}$ and center of gravity 4.6m to port of the center line.

Find the final list?

Dispt= 8000 t KM= 8.7m KG= 7.6m

Load:

$w_1 = 250 \text{ t}$ / $Kg = 6.1\text{m}$ / 7.6m STBD of C

$w_2 = 300 \text{ t}$ / $Kg = 0.6\text{m}$ / 6.1m port of C

Discharge:

$w_3 = 50 \text{ t}$ / $Kg = 1.2\text{m}$ / 4.6m port of C

$\theta = ?$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{GG_1}{G_1M} \right)$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

$$KG_1 = \frac{\text{Final moment about keel}}{\text{final dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+8000	7.6	+60800
	+250	6.1	+1525
	+300	0.6	+180
	-50	1.2	-60
Total	+8500		+62445

$$KG_1 = \frac{62445}{8500} = 7.34 \text{ m}$$

$$G_1M = 8.7 - 7.34 = 1.36 \text{ m}$$

	w	g CL	Moment about CL	
			To port	To STBD
	250	7.6	--	1900
	300	0.6	1830	--
	50	4.6	--	230
Total			1830	2130

$$GG_1 = \frac{\text{Final moment about center line}}{\text{final dispt}} = \frac{2130 - 1830}{8500} = \frac{300}{8500}$$

$$GG_1 = 0.035 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0.035}{1.36} \right) = \tan^{-1} (0.025)$$

$$\theta = 1.43^\circ \text{ to STBD}$$

Example: A Ship of 5600 tons displacement has KG= 4.5m, KM= 6.8m, find the final list if the following cargos load, discharge and shift:

Load:

A cargo of 280 tons Kg= 3m and 3.5m starboard of 

Discharge:

A cargo of 400 tons Kg= 5m and 6m starboard of ☒

A cargo of 150 tons Kg= 1.5m and 5m port of ☒

Shift:

A cargo of 200 tons with Kg= 1.8m to Kg= 4m during a distance of 5m to port side.

Dispt= 5600 t KG= 4.5m KM= 6.8m $\theta = ?$

Load:

$w_1 = 280 \text{ t}$ / Kg= 3m / 3.5m STBD of ☒

Discharge:

$w_2 = 400 \text{ t}$ / Kg= 5m / 6m STBD of ☒

$w_3 = 150 \text{ t}$ / Kg= 1.5m / 5m port of ☒

Shift:

$w_4 = 200 \text{ t}$ / Kg= 1.8m to Kg= 4m / 5m port of ☒

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{GG_1}{G_1M} \right)$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

$$KG_1 = \frac{\text{Final moment about keel}}{\text{final dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+5600	4.5	+25200
	+280	3	+8400
	-400	5	-2000
	-150	1.5	-225
	-200	1.8	-360
	+200	4	+800
Total	+5330		+24255

$$KG_1 = \frac{24255}{5330} = 4.55 \text{ m}$$

$$G_1M = 6.8 - 4.55 = 2.25 \text{ m}$$

	w	g CL	Moment about CL	
			To port	To STBD
	280	3.5	--	980
	400	6	2400	--
	150	5	--	750
	200	5	1000	--
Total			3400	1730

$$GG_1 = \frac{\text{Final moment about center line}}{\text{final dispt}} = \frac{3400 - 1730}{5330} = \frac{1670}{5330}$$

$$GG_1 = 0.313 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{0.313}{2.25}\right) = \tan^{-1}(0.139)$$

$\theta = 7.91^\circ$ to port side.

Example: A Ship of 6000 tons displacement has $KG = 4.5\text{m}$, $KM = 5.8\text{m}$ and listed 6 degrees to STBD, find final list if the following cargos load, discharge & shift:

Load:

A cargo of 200 tons $Kg = 2\text{m}$ and 3m starboard of C

Discharge:

A cargo of 250 tons $Kg = 2.5\text{m}$ and 6.5m starboard of C

Shift:

A cargo of 150 tons $Kg = 3\text{m}$ to $Kg = 4\text{m}$ during a distance of 8m to port side.

Find the final list?

Dispt= 6000 t $KG = 4.5\text{m}$ $KM = 5.8\text{m}$ $\theta_1 = 6^\circ$ to STBD

Load:

$w_1 = 200\text{ t}$ / $Kg = 2\text{m}$ / 3m STBD of C

Discharge:

$w_2 = 250\text{ t}$ / $Kg = 2.5\text{m}$ / 6.5m STBD of C

Shift:

$w_3 = 150 \text{ t}$ / $Kg = 3\text{m to } Kg = 4\text{m}$ / 8m port of 

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{GG_1}{G_1M} \right)$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

$$KG_1 = \frac{\text{Final moment about keel}}{\text{final dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+6000	4.5	+27000
	+200	2	+400
	-250	2.5	-625
	-150	3	-450
	+150	4	+600
Total	+5950		+26925

$$KG_1 = \frac{26925}{5950} = 4.25 \text{ m}$$

$$G_1M = 5.8 - 4.25 = 1.28 \text{ m}$$

چون خود کشتی در ابتدا دارای List می باشد، باید وزن اولیه کشتی را نیز در جدول گشتاور حول Center Line وارد نماییم. برای این منظور بایستی فاصله مرکز ثقل کشتی تا Center Line را محاسبه کنیم به شرح ذیل:

$$\tan \theta_1 = \frac{GG_1}{GM}$$

$$GM = KM - KG = 5.8 - 4.5 = 1.3 \text{ m}$$

$$\tan 6^\circ = \frac{GG_1}{1.3}$$

$$GG_1 = 1.3 \times \tan 6^\circ = 1.3 \times 0.105 = 0.136^* \text{ m}$$

	w	g CL	Moment about CL	
			To port	To STBD
	6000	0.136*	--	816
	200	3	--	600
	250	6.5	1625	--
	150	8	1200	--
Total			2825	1416

$$GG_1 = \frac{\text{Final moment about center line}}{\text{final dispt}} = \frac{2825 - 1416}{5950} = \frac{1409}{5950}$$

$$GG_1 = 0.236 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0.236}{1.28} \right) = \tan^{-1} (0.189)$$

$$\theta = 10.42^\circ \text{ to port side.}$$

Example: A Ship of 5000 tons displacement has KG= 4.2m, KM= 4.5m and is listed 5 degrees to port, assuming that the KM remains constant, find the final list if 80 tons of bunkers are loaded in No.2 starboard tank whose center of gravity is

1 meter above the keel and 4 meters out from the center line.

Dispt= 5000 t KG= 4.2m KM= 4.5m $\theta_1 = 5^\circ$ to port

Load:

$w_1 = 80$ t / Kg= 1m / 4m STBD of 

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{GG_1}{G_1M} \right)$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

$$KG_1 = \frac{\text{Final moment about keel}}{\text{final dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+5000	4.2	+21000
	+80	1	+80
Total	+5080		+21080

$$KG_1 = \frac{21080}{5080} = 4.14 \text{ m}$$

$$G_1M = 4.5 - 4.14 = 0.36 \text{ m}$$

$$\tan \theta_1 = \frac{GG_1}{GM}$$

$$GM = KM - KG = 4.5 - 4.2 = 0.3 \text{ m}$$

$$\tan 5^\circ = \frac{GG_1}{0.3}$$

$$GG_1 = 0.3 \times \tan 5^\circ = 1.3 \times 0.087 = 0.026^* \text{ m}$$

	w	g CL	Moment about CL	
			To port	To STBD
	5000	0.026*	130	--
	80	4	--	320
Total			130	320

$$GG_1 = \frac{\text{Final moment about center line}}{\text{final dispt}} = \frac{320 - 130}{5080} = \frac{190}{5080}$$

$$GG_1 = 0.037 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{0.037}{0.36}\right) = \tan^{-1}(0.102)$$

$$\theta = 05.8^\circ \text{ to STBD}$$

Example: A Ship of 9500 tons displacement is listed $3\frac{1}{2}$ degrees to STBD and has KM= 9.5m and KG= 9.3m, She loads 300 tons of bunkers in No.3 double bottom tank port side (Kg= 0.6m and center of gravity 6m from the center line) and discharges two parcels of cargo each of 50 tons from port side of No.2 shelter deck (Kg= 11m and the center of gravity 5m from the center line). Find the final list.

Dispt= 9500 t $\theta_1 = 3.5^\circ$ to STBD KM= 9.5m

KG= 9.3m

Load:

$w_1 = 300$ t / Kg= 0.6m / 6m port of C

Discharge:

$w_2 = 50+50 = 100$ t / Kg= 11m / 5m port of C

$\theta = ?$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{GG_1}{G_1M} \right)$$

$$G_1M = KM - KG_1$$

$$KG_1 = \frac{\text{Final moment about keel}}{\text{final dispt}}$$

	w	Kg	Moment about Keel
	+9500	9.3	+88350
	+300	0.6	+180
	-100	11	-1100
Total	+9700		+87403

$$KG_1 = \frac{87403}{9700} = 9.01 \text{ m}$$

$$G_1M = 9.5 - 9.01 = 0.49 \text{ m}$$

$$\tan \theta = \frac{GG_1}{GM}$$

$$GM = KM - KG = 9.5 - 9.3 = 0.2 \text{ m}$$

$$\tan 3.5^\circ = \frac{GG_1}{0.2}$$

$$GG_1 = 0.2 \times \tan 3.5^\circ = 0.2 \times 0.061 = 0.012^* \text{ m}$$

	w	g CL	Moment about CL	
			To port	To STBD
	9500	0.012 [*]	--	114
	300	6	1800	--
	100	5	--	500
Total			1800	614

$$GG_1 = \frac{\text{Final moment about center line}}{\text{final dispt}} = \frac{1800 - 614}{9700} = \frac{1186}{9700}$$

$$GG_1 = 0.122 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0.122}{0.49} \right) = \tan^{-1} (0.248)$$

$$\theta = 13.9^\circ \text{ to port side}$$

تصحیح زاویه List بوسیله چندین بار یا تخلیه و یا جابجایی :

در هنگامیکه کشتی دچار List شده است مجموع گشتاورهای حول Center Line کشتی در یک سمت بیشتر از سمت دیگر می باشد، بنابراین برای تصحیح زاویه List باید کشتی در نهایت بصورت قائم (Upright) بر روی سطح آب قرار گیرد. شرط اینکه کشتی بصورت قائم قرار گیرد این است که مجموع گشتاورهای حول Center Line در طرفین کشتی (چپ و راست) با هم برابر باشند :

Moment about Center Line to port = Moment about Center Line to STBD

Example: A Ship of 13750 tons displacement $GM = 0.75m$ is listed $2\frac{1}{2}$ degrees to STBD and yet to load 250 tons of cargo. There is space available in each side No.3 tween deck (center of gravity 6.1m out from center line). Find how much cargo to load on each side if the ship is to be upright on completion of loading?

Dispt= 13750 t $GM = 0.75m$ $\theta_1 = 2.5^\circ$ to STBD

Cargo= 250 t

$w_{port} = w$ t 6.1m port of 

$w_{STBD} = 250 - w$ t 6.1m STBD of 

Moment about Center Line to port = Moment about Center Line to STBD

$$\tan \theta = \frac{GG_1}{GM}$$

$$\tan 2.5^\circ = \frac{GG_1}{0.75}$$

$$GG_1 = 0.75 \times \tan 2.5^\circ = 0.75 \times 0.043 = 0.032^* \text{ m}$$

	w	g CL	Moment about CL	
			To port	To STBD
	13750	0.032 [*]	--	440
	W	6.1	6.1w	--
	250-w	6.1	--	6.1x(250-w)
Total			6.1w	440+6.1x(250-w)

$$6.1w = 6.1 \times (250 - w) + 440$$

$$6.1w + 6.1w = 440 + 1525$$

$$12.2w = 1965$$

$$w = \frac{1965}{12.2} = 161.06 \text{ t}$$

$$w_{\text{port}} = 161.06 \text{ t}$$

$$w_{\text{STBD}} = 250 - 161.06 = 88.94 \text{ t}$$

Example: A Ship of 7800 tons displacement has a mean draft of 6.8m and is to be loaded to mean draft of 7 meters, GM= 0.7m and TPC= 20 tons. The ship is at present list 4 degrees to starboard, how much more cargo can be shipped in the port and starboard tween deck, center of gravity 6m and 5m respectively, from the center line, for the ship to complete loading and finish upright.

$$\text{Dispt} = 7800 \text{ t} \quad D_1 = 6.8\text{m} \quad D_2 = 7\text{m} \quad \text{GM} = 0.7\text{m}$$

$$\text{TPC} = 20\text{t} \quad \theta_1 = 4^\circ \text{ to STBD} \quad \text{port: 6m from } \text{CL}$$

$$\text{STBD: 5m from } \text{CL} \quad w = ?$$

$$\Delta D = 7 - 6.8 = 0.2\text{m} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{TPC} = \frac{w(t)}{\Delta D(\text{cm})}$$

$$20 = \frac{w}{20}$$

$$w = 400 \text{ t}$$

$$w_{\text{STBD}} = w \text{ t} \quad ; \quad w_{\text{port}} = 400 - w \text{ t}$$

شرط لازم برای Upright بودن :

Moment about Center Line to port = Moment about Center Line to STBD

$$\tan \theta_1 = \frac{GG_1}{GM}$$

$$\tan 4^\circ = \frac{GG_1}{0.7}$$

$$GG_1 = 0.7 \times \tan 4^\circ = 0.7 \times 0.069 = 0.048^* \text{ m}$$

	w	g CL	Moment about CL	
			To port	To STBD
	7800	0.048*	--	374
	w	5	--	5w
	400-w	6	6x(400-w)	--
Total				374.4+5w

$$6 \times (400 - w) = 374.4 + 5w$$

$$2400 - 6w = 374.4 + 5w$$

$$2400 - 374.4 = 5w + 6w$$

$$2025.6 = 11w$$

$$w = \frac{2025.6}{11}$$

$$w = 184.14 \text{ t}$$

$$w_{\text{STBD}} = 184.14 \text{ t}$$

$$w_{\text{port}} = 400 - 184.14 = 215.86 \text{ t}$$

Example: A Ship of 12500 tons displacement $KM = 7\text{m}$ & $KG = 6.4\text{m}$ has a 3 degrees list to starboard and has yet to load 500 tons of cargo. There is space available in the tween deck center of gravity 6m each side of the center line. Find how much cargo to load on each side if the ship is to complete loading upright.

Dispt= 12500 t $KM = 7\text{m}$ $KG = 6.4\text{m}$ $\theta_1 = 3^\circ$ to STBD

Cargo= 500 t

$w_{\text{port}} = w \text{ t}$ 6m port of 

$w_{\text{STBD}} = 500 - w \text{ t}$ 6m STBD of 

Moment about Center Line to port = Moment about Center Line to STBD

$$\tan \theta_1 = \frac{GG_1}{GM}$$

$$GM = KM - KG = 7 - 6.4 = 0.6 \text{ m}$$

$$\tan 3^\circ = \frac{GG_1}{0.6}$$

$$GG_1 = 0.6 \times \tan 3^\circ = 0.6 \times 0.052 = 0.031^* \text{ m}$$

	w	g CL	Moment about CL	
			To port	To STBD
	12500	0.031*	--	387.5
	w	6	6w	--
	500-w	6	--	6x(500-w)
Total			6w	387.5+6x(500-w)

$$6w = 387.5 + 6 \times (500 - w)$$

$$6w = 387.5 + 3000 - 6w$$

$$6w + 6w = 3387.5$$

$$12w = 3387.5$$

$$w = \frac{3387.5}{12}$$

$$w = 282.29 \text{ t}$$

$$w_{\text{port}} = 282.29 \text{ t}$$

$$w_{\text{STBD}} = 500 - 282.29 = 217.71 \text{ t}$$

نکته: بعلت اینکه فاصله Meta Center تا مرکز ثقل طولی شناور زیاد می باشد، بنابراین فاصله Meta Center تا مرکز شناوری نیز زیاد بوده و مساوی با آن فرض می گردد، لذا می توان گفت :

$$GM_L \approx BM_L$$

نکته: برای محاسبه BM_L برای شناورهای زیر باید از فرمول مذکور استفاده شود :

الف (شناورهای جعبه ایی شکل (Box Shaped) :

$$BM_L = \frac{L^2}{12 \times D}$$

L = طول کشتی

D = Draft

ب (شناورهای مثلثی شکل (Triangular Shaped) :

$$BM_L = \frac{L^2}{6 \times D}$$

L = طول کشتی

D = Draft

Example: A Vessel of 2500 tons displacement has 120m long and longitudinal Meta centric height 140m, find MCTC?

Dispt= 2500 t L = 120m GM_L = 140m MCTC = ?

$$MCTC = \frac{Dispt \times GML}{100 \times L} = \frac{2500 \times 140}{100 \times 120} = \frac{350000}{12000} = 29.16 \text{ t.m}$$

Example: A Box shaped vessel of 48x10x4 m has draft= 2.5m floating in fresh water, find MCT 1cm?

$$L = 48\text{m} \quad B = 10\text{m} \quad H = 4\text{m} \quad D = 2.5\text{m}$$

$$\rho = 1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad MCT \text{ 1cm} = ?$$

$$Dispt = L \times B \times D \times \rho = 48 \times 10 \times 2.5 \times 1 = 1200 \text{ t}$$

$$GM_L = BM_L = \frac{L^2}{12 \times D} = \frac{48^2}{12 \times 2.5} = \frac{2304}{30} = 76.8 \text{ m}$$

$$MCTC = \frac{Dispt \times GML}{100 \times L} = \frac{1200 \times 76.8}{100 \times 48} = \frac{92160}{4800} = 19.2 \text{ t.m}$$

تأثیرات جابجایی بار در راستای طولی بر روی آب‌خور شناور:

$$\text{Change of Trim} = \frac{w(t) \times d(m)}{MCTC} \text{ (cm)}$$

w = وزن بار جابجا شده

d = میزان جابجایی طولی بار

Change of draft in aft due to change of Trim = $\frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$

Change of draft in FWD due to change of Trim = Change of Trim – Change of aft draft

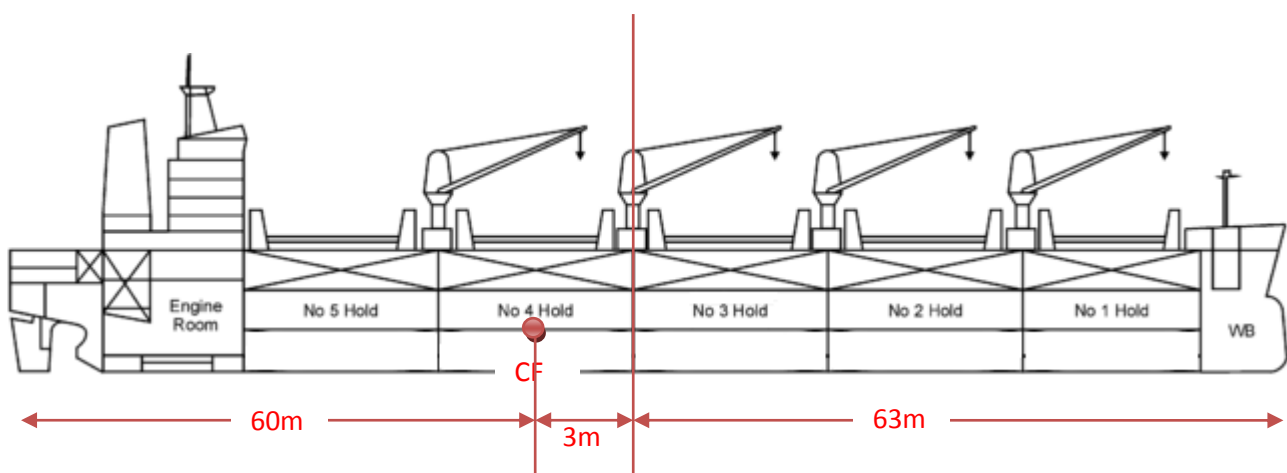
$l = CF$ فاصله پاشنه تا

Example: A Ship 126m long is floating at draft of 5.5m F & 6.5m A. The center of floatation is 3m aft of amidships, MCT 1cm= 240 t.m, displacement= 600 tons. Find the new draft if a weight of 120 tons already on board is shifted forward a distance of 45 meters.

$L = 126m$ $D_F = 5.5m$ $D_A = 6.5m$ $l = 60m$

$MCTC = 240 \text{ t.m}$ $Dispt = 6000 \text{ t}$ new draft = ? $w = 120 \text{ t}$

$d = 45m$ tw FWD



$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC} = \frac{120 \times 45}{240} = \frac{5400}{240} = 22.5 \text{ cm}$$

Change of draft in aft due to change of Trim = $\frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$

Change of draft in aft due to change of Trim = $\frac{60}{126} \times 22.5 = 10.714 \text{ cm}$

Change of FWD draft = Change of Trim – Change of aft draft

Change of FWD draft = $22.5 - 10.714 = 11.786 \text{ cm}$

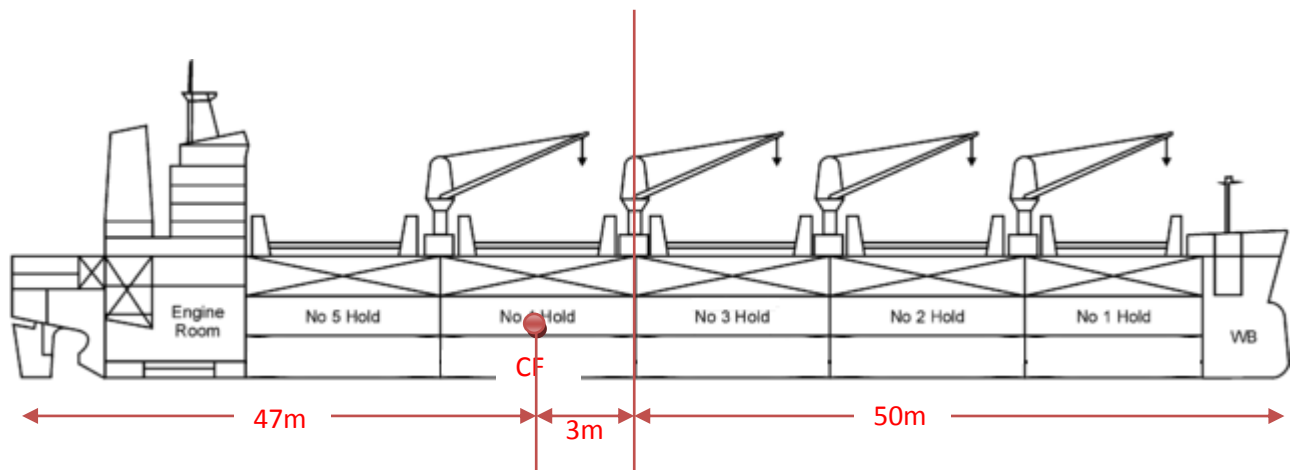
	FWD	AFT
Old Draft	5.500 m	6.500 m
Change of Trim	+ 0.117 m	- 0.107 m
New Draft	5.617 m	6.393 m

Example: A Ship 100m long and with a Dispt of 2200 tons has longitudinal Meta centric height 150m, the present drafts are 5.2m F & 5.3m A. center of floatation is 3m aft of amidships. Find the new drafts if a weight of 5 tons already on board is shifted aft through a distance of 60 meters.

$L = 100\text{m}$ $\text{Dispt} = 2200 \text{ t}$ $GM_L = 150\text{m}$ $D_F = 5.2\text{m}$

$D_A = 5.3\text{m}$ $\text{COF} = 3\text{m aft of amidships}$ new drafts = ?

$w = 5 \text{ t}$ $d = 60\text{m tw aft}$



$$MCTC = \frac{Dispt \times GML}{100 \times L} = \frac{2200 \times 150}{100 \times 100} = \frac{330000}{10000} = 33 \text{ t.m}$$

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC} = \frac{5 \times 60}{33} = \frac{300}{33} = 9.090 \text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{47}{100} \times 9.090 = 4.272 \text{ cm}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

$$\text{Change of FWD draft} = 9.090 - 4.272 = 4.818 \text{ cm}$$

	FWD	AFT
Old Draft	5.200 m	5.300 m
Change of Trim	- 0.048 m	+ 0.042 m
New Draft	5.152 m	5.342 m

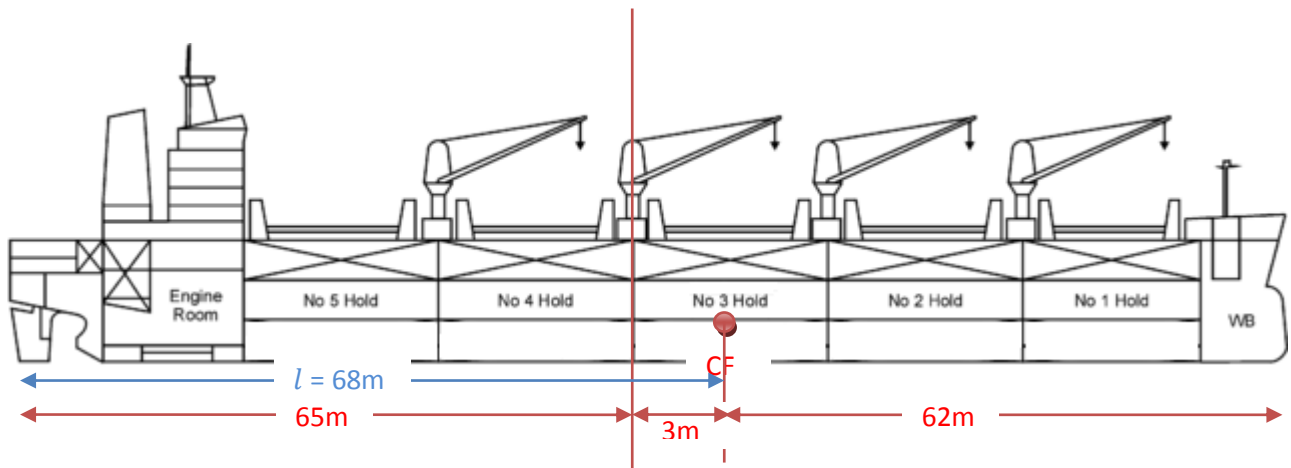
Example: A Ship 130m long is floating at the draft of 5.3m forward and 6.3m aft, the center of floating is 3m FWD of amidships. MCTC= 230 t.m displacement= 6500 t, find the

new draft if a weight of 130 tons already on board is shifted aft a distance of 55 meters?

$L = 130\text{m}$ $D_F = 5.3\text{m}$ $D_A = 6.3\text{m}$

$\text{COF} = 3\text{m fwd amidships}$ $\text{MCTC} = 230 \text{ t.m}$ $\text{Dispt} = 6500 \text{ t}$

new drafts=? $w = 130 \text{ t}$ $d = 55\text{m tw aft}$



$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{\text{MCTC}} = \frac{130 \times 55}{230} = \frac{7150}{230} = 31.08 \text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{68}{130} \times 31.08 = 16.25 \text{ cm}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

$$\text{Change of FWD draft} = 31.08 - 16.25 = 14.83 \text{ cm}$$

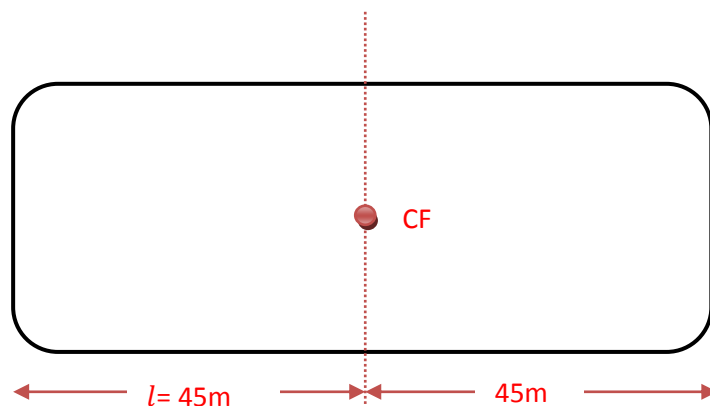
Ship Stability

	FWD	AFT
Old Draft	5.300 m	6.300 m
Change of Trim	- 0.148 m	+ 0.162 m
New Draft	5.152 m	6.462 m

Example: A Box shaped vessel 90mx 10mx6m is floating in salt water on an even keel at 3m draft fwd and aft. Find new draft if a weight of 64 tons already on board shifted a distance of 40m aft?

$$L = 90\text{m} \quad B = 10\text{m} \quad H = 6\text{m} \quad \rho = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$D_F = D_A = 3\text{m} \quad \text{new draft} = ? \quad w = 64 \text{ t} \quad d = 40\text{m tw aft}$$



$$\text{Dispt} = L \times B \times D \times \rho = 90 \times 10 \times 3 \times 1.025 = 2767.5 \text{ t}$$

$$GM_L \approx BM_L$$

$$BM_L = \frac{L^2}{12 \times D} = \frac{90^2}{12 \times 3} = \frac{8100}{36} = 225 \text{ m}$$

$$\text{MCTC} = \frac{\text{Dispt} \times GML}{100 \times L} = \frac{2767.5 \times 225}{100 \times 90} = \frac{622687.5}{9000} = 69.18 \text{ t.m}$$

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC} = \frac{64 \times 40}{69.18} = \frac{2560}{69.18} = 37 \text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{45}{90} \times 37 = 18.5 \text{ cm}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

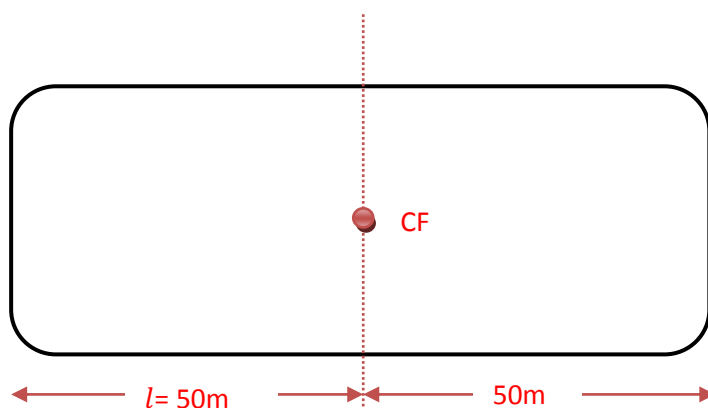
$$\text{Change of FWD draft} = 37 - 18.5 = 18.5 \text{ cm}$$

	FWD	AFT
Old Draft	3.000 m	3.000 m
Change of Trim	- 0.185 m	+ 0.185 m
New Draft	2.815 m	3.185 m

Example: A Box shaped vessel 100mx 15mx8m is floating in salt water on an even keel at 3.5m draft fwd and aft. Find new draft if a weight of 80 tons already on board shifted a distance of 38m forward?

$$L = 100\text{m} \quad B = 15\text{m} \quad H = 8\text{m} \quad \rho = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$D_F = D_A = 3.5\text{m} \quad \text{new draft}=? \quad w = 80 \text{ t} \quad d = 38\text{m tw fwd}$$



$$\text{Dispt} = L \times B \times D \times \rho = 100 \times 15 \times 3.5 \times 1.025 = 5381.25 \text{ t}$$

$$GM_L \approx BM_L$$

$$BM_L = \frac{L^2}{12 \times D} = \frac{100^2}{12 \times 3.5} = \frac{10000}{42} = 238.09 \text{ m}$$

$$MCTC = \frac{\text{Dispt} \times GML}{100 \times L} = \frac{5381.25 \times 238.09}{100 \times 100} = \frac{1281221.81}{10000} = 128.122 \text{ t.m}$$

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC} = \frac{80 \times 38}{128.122} = \frac{3040}{128.122} = 23.727 \text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

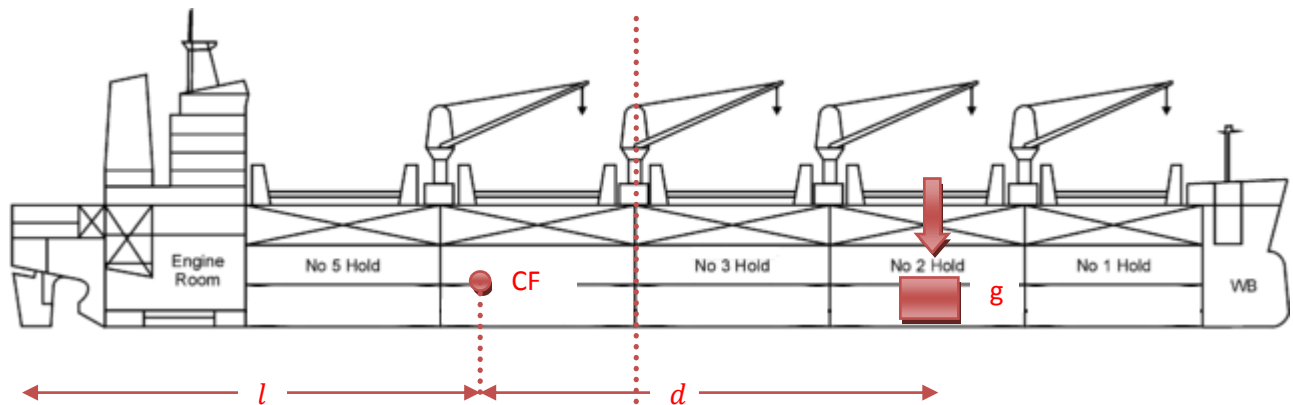
$$\text{Change of aft draft} = \frac{50}{100} \times 23.727 = 11.863 \text{ cm}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

$$\text{Change of FWD draft} = 23.727 - 11.863 = 11.863 \text{ cm}$$

	FWD	AFT
Old Draft	3.500 m	3.500 m
Change of Trim	- 0.118 m	+ 0.118 m
New Draft	3.382 m	3.618 m

تأثيرات بارگیری بر روی نقطه ایی خارج از مرکز غوطه وری بر روی آبخور شناور :



$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC}$$

w = وزن بار

d = فاصله مرکز ثقل بار تا CF

l = فاصله پاشنه تا CF

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

$$\text{Bodily Sinkage} = \frac{w}{TPC}$$

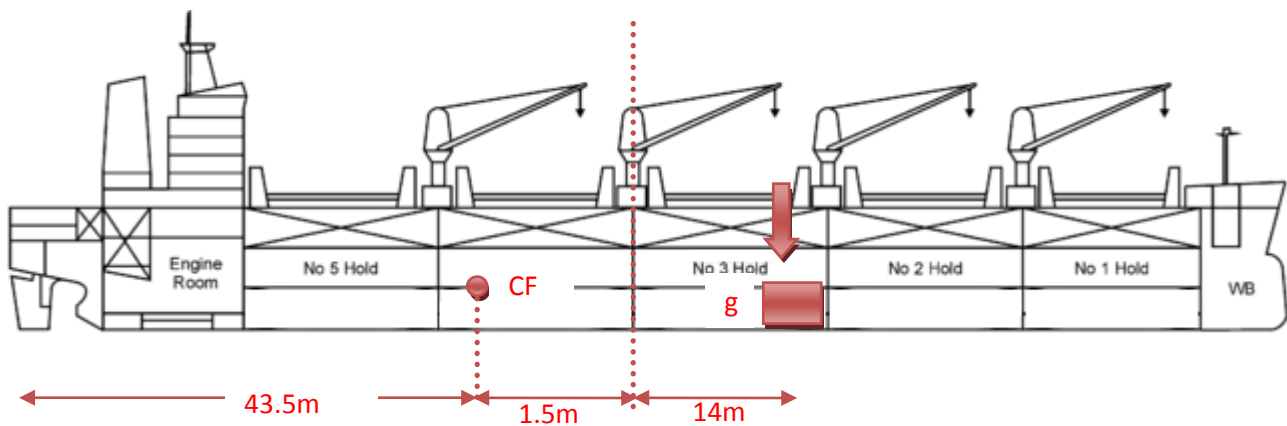
	FWD	AFT
Old Draft	m	m
Change of Trim	$\pm m$	$\mp m$
Bodily Sinkage	+ m	+ m
New Draft		

Example: A Ship 90m long is floating at draft 4.5m fwd and 5m aft. The center of floatation is 1.5m aft of amidships, TPC= 12 tons, MCTC 120 tons meter. Find the new draft if a total weight of 450 tons is loaded in a position 14 meters forward of amidships.

$L = 90\text{m}$ $D_F = 4.5\text{m}$ $D_A = 5\text{m}$ $CF = 1.5\text{m aft amidships}$

$MCTC = 120 \text{ t.m}$ new draft = ? $TPC = 12 \text{ t}$

$w = 450 \text{ t}$ in 14m fwd amidships



$$d = 1.5 + 14 = 15.5 \text{ m}$$

$$l = 43.5 \text{ m}$$

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC} = \frac{450 \times 15.5}{120} = \frac{6975}{120} = 58.125 \text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{43.5}{90} \times 58.125 = 28.07 \text{ cm}$$

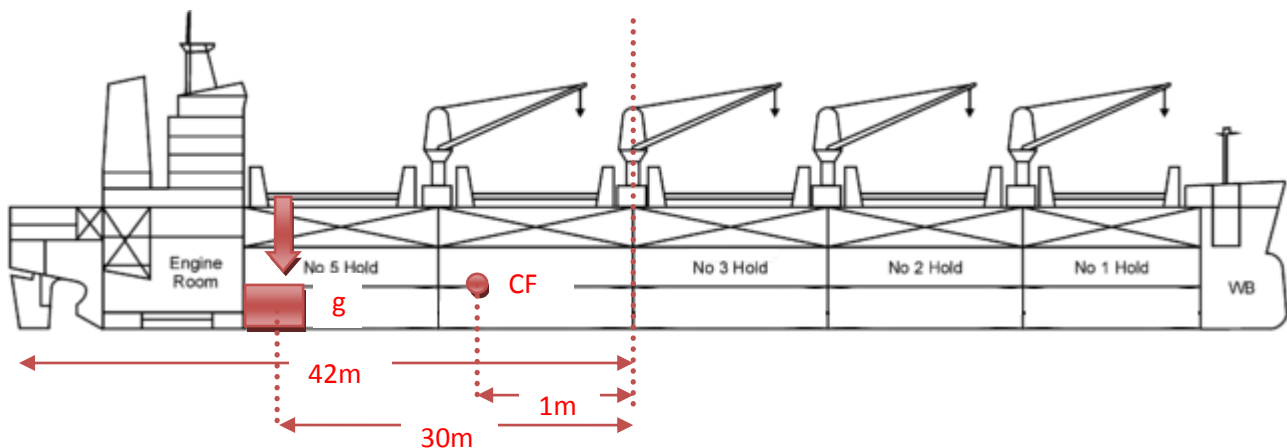
$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

Change of FWD draft = $58.125 - 28.07 = 30.055$ cm

$$\text{Bodily Sinkage} = \frac{w}{TPC} = \frac{450}{12} = 37.5 \text{ cm}$$

	FWD	AFT
Old Draft	4.500 m	5.000 m
Change of Trim	+0.300 m	-0.280 m
Bodily Sinkage	+0.375 m	+0.375 m
New Draft	5.175 m	5.095 m

Example: A Ship 84m long is floating on an even keel at a draft of 5.5 meters. 45 tons of cargo is then loaded in a position 30m aft of amidships; the center of floatation is 1m aft amidships. TPC 15 tons, MCT 1cm 200 t.m, find the final drafts?



$$d = 30 - 1 = 29 \text{ m}$$

$$l = 42 - 1 = 41 \text{ m}$$

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC} = \frac{45 \times 29}{200} = \frac{1305}{200} = 6.525 \text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{41}{84} \times 6.525 = 3.184 \text{ cm}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

$$\text{Change of FWD draft} = 6.525 - 3.184 = 3.341 \text{ cm}$$

$$\text{Bodily Sinkage} = \frac{w}{TPC} = \frac{45}{15} = 3 \text{ cm}$$

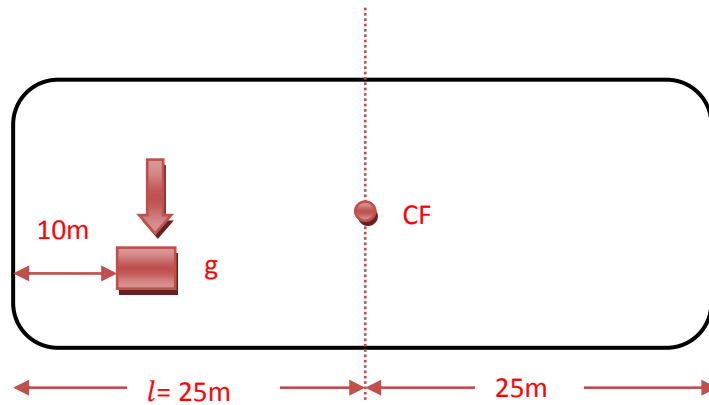
	FWD	AFT
Old Draft	5.500 m	5.000 m
Change of Trim	-0.033 m	+0.031 m
Bodily Sinkage	+0.030 m	+0.030 m
New Draft	5.497 m	5.561 m

Example: A Box shaped V/L 50x8x4m is floating in salt water on an even keel at 2.5m draft F&A. Find new draft if a weight of 50 tons is loaded in position of 10m forward of astern?

$$L = 50\text{m} \quad B = 8\text{m} \quad H = 4\text{m} \quad \rho = 1.025 \frac{t}{m^3}$$

$$D_F = D_A = 2.5\text{m} \quad \text{new drafts} = ?$$

$$w = 50\text{t in } 10\text{m fwd of astern}$$



$$d = 25 - 10 = 15 \text{ m}$$

$$l = 25 \text{ m}$$

$$\text{Dispt} = L \times B \times D \times \rho = 50 \times 8 \times 2.5 \times 1.025 = 1025 \text{ t}$$

$$GM_L \approx BM_L = \frac{L^2}{12 \times D} = \frac{50^2}{12 \times 2.5} = \frac{2500}{30} = 83.33 \text{ m}$$

$$MCTC = \frac{\text{Dispt} \times GML}{100 \times L} = \frac{1025 \times 83.33}{100 \times 50} = \frac{85413.25}{5000} = 17.08 \text{ t.m}$$

$$WPA = L \times B \times C_w = 50 \times 8 \times 1 = 400$$

$$TPC = \frac{WPA \times \rho}{100} = \frac{400 \times 1.025}{100} = \frac{410}{100} = 4.1 \text{ t}$$

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC} = \frac{50 \times 15}{17.08} = \frac{750}{17.08} = 43.91 \text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{25}{50} \times 43.91 = 21.955 \text{ cm}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

$$\text{Change of FWD draft} = 43.91 - 21.955 = 21.955 \text{ cm}$$

$$\text{Bodily Sinkage} = \frac{w}{TPC} = \frac{50}{4.1} = 12.19 \text{ cm}$$

	FWD	AFT
Old Draft	2.500 m	2.500 m
Change of Trim	-0.219 m	+0.219 m
Bodily Sinkage	+0.121 m	+0.121 m
New Draft	2.402 m	2.840 m

تأثیرات تخلیه بر روی آب‌خور شناور در نقطه ایی خارج از مرکز غوطه وری (CF) :

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC}$$

w = وزن بار تخلیه شده

d = فاصله مرکز ثقل بار تخلیه شده تا CF

l = فاصله پاشنه تا CF

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

$$\text{Bodily Sinkage} = \frac{w}{TPC}$$

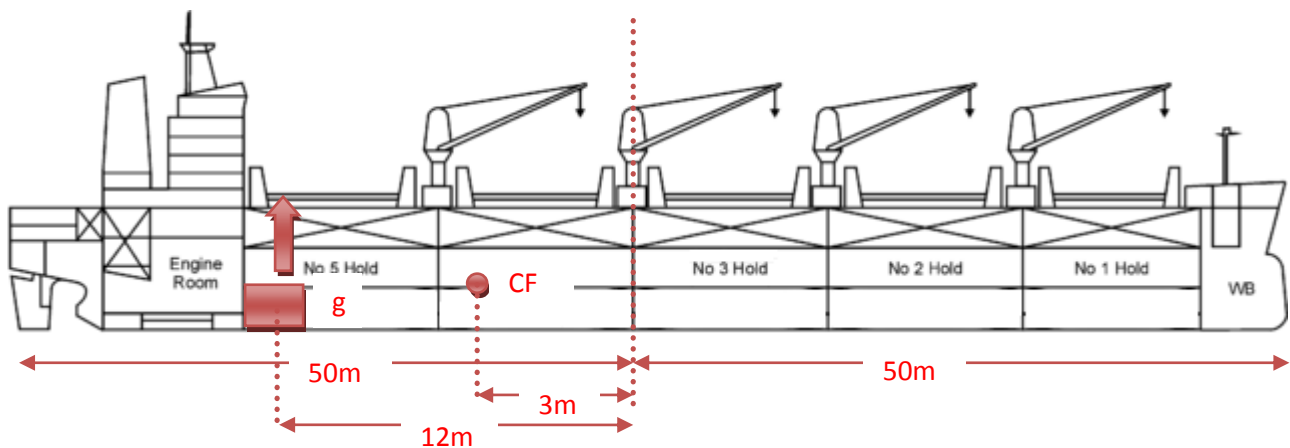
	FWD	AFT
Old Draft	m	m
Change of Trim	$\pm$ m	$\mp$ m
Bodily Sinkage	- m	- m
New Draft		

Example: A Ship 100m long arrives in a port with draft 3m F and 4.3m A. TPC= 10 tons, MCT 1cm 120 tons meter, the center of floatation is 3m aft of amidships. If 40 tons of cargo is discharged from 120m aft of amidships, what are the new drafts?

$L = 100\text{m}$ $D_F = 3\text{m}$ $D_A = 4.3\text{m}$ $TPC = 10\text{ t}$

$MCTC = 120\text{ t.m}$ $CF: 3\text{m aft of amidships}$

$w = 40\text{ t}$ from 120m aft of amidships new drafts=?



$$d = 12 - 3 = 9\text{ m}$$

$$l = 50 - 3 = 47\text{ m}$$

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC} = \frac{40 \times 9}{120} = \frac{360}{120} = 3\text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{47}{100} \times 3 = 1.41\text{ cm}$$

Change of FWD draft = Change of Trim – Change of aft draft

Change of FWD draft = 3 – 1.41 = 1.59 cm

Bodily Sinkage = $\frac{w}{TPC} = \frac{40}{10} = 4 \text{ cm}$

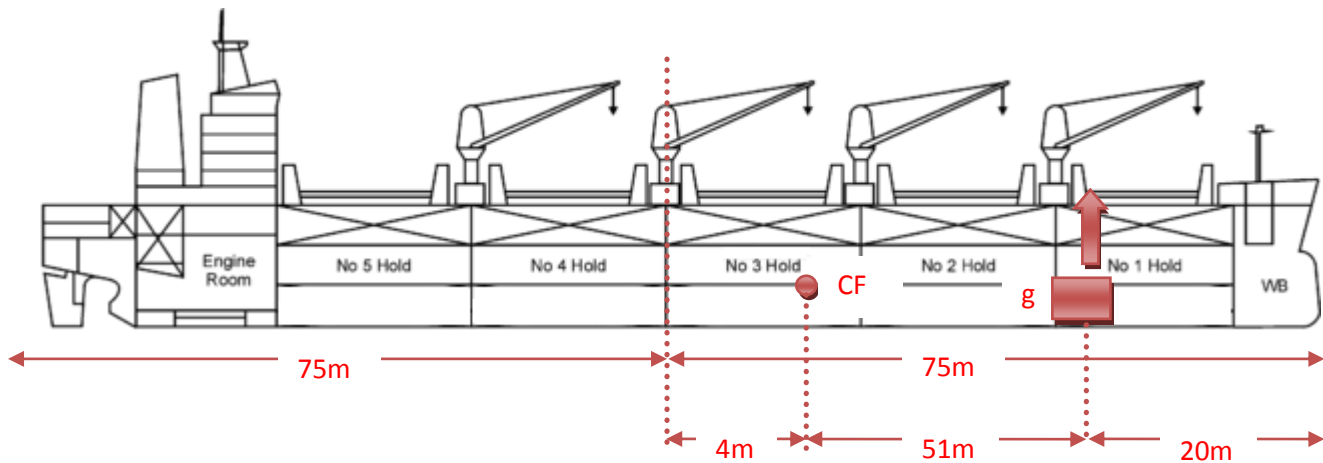
	FWD	AFT
Old Draft	3.000 m	4.300 m
Change of Trim	+ 0.015m	-0.014 m
Bodily Sinkage	-0.040 m	-0.040 m
New Draft	2.975 m	4.246 m

Example: A Ship 150m long has draft F&A respectively 4.5m and 5m, with center of floatation 4m forward of amidships, TPC= 20 t, MCTC= 100 t. Find new drafts if a weight of 200 tons discharged 20m from ahead?

$L = 150\text{m}$ $D_F = 4.5\text{m}$ $D_A = 5\text{m}$ $TPC = 20\text{t}$

$MCTC = 100\text{t}$ new draft=? $w = 200\text{t}$ from 20m ahead

Ship Stability



$$d = 75 - 20 - 4 = 51 \text{ m}$$

$$l = 75 + 4 = 79 \text{ m}$$

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{MCTC} = \frac{200 \times 51}{100} = \frac{10200}{120} = 102 \text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{79}{150} \times 102 = 53.04 \text{ cm}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

$$\text{Change of FWD draft} = 102 - 53.04 = 48.96 \text{ cm}$$

$$\text{Bodily Sinkage} = \frac{w}{TPC} = \frac{200}{20} = 10 \text{ cm}$$

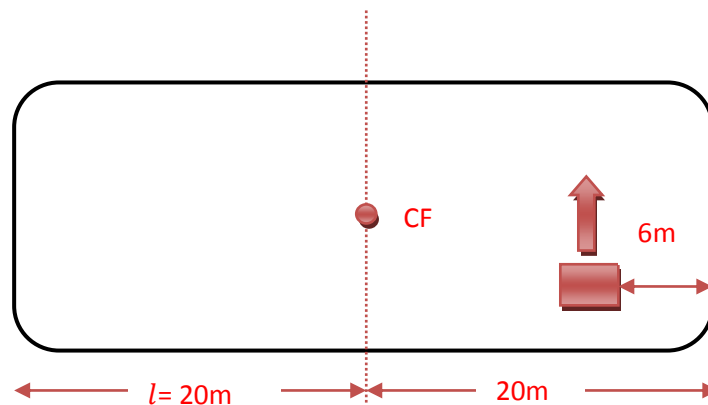
	FWD	AFT
Old Draft	4.500 m	5.000 m
Change of Trim	-0.489 m	+ 0.530 m
Bodily Sinkage	-0.010 m	-0.010 m
New Draft	4.001 m	5.520 m

Example: A Box shaped vessel 40x6x3 m is floating in salt water on an even keel at 2m draft F&A. Find the new draft if a weight of 35 tons is discharged from a position 6m from forward (MCTC= 8.4 t.m)

$$L = 40\text{m} \quad B = 6\text{m} \quad H = 3\text{m} \quad \rho = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$D_F = D_A = 2\text{m} \quad \text{new draft} = ? \quad w = 35\text{t from 6m forward}$$

$$\text{MCTC} = 8.4 \text{ t.m}$$



$$d = 20 - 6 = 14 \text{ m}$$

$$l = 20 \text{ m}$$

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{\text{MCTC}} = \frac{35 \times 14}{8.4} = \frac{490}{8.4} = 58.33 \text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{20}{40} \times 58.33 = 29.165 \text{ cm}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

$$\text{Change of FWD draft} = 58.33 - 29.165 = 29.165 \text{ cm}$$

$$\text{TPC} = \frac{L \times B \times C_w \times \rho}{100} = \frac{40 \times 6 \times 1 \times 1.025}{100} = \frac{246}{100} = 2.46 \text{ t}$$

$$\text{Bodily Sinkage} = \frac{w}{TPC} = \frac{35}{2.46} = 14.227 \text{ cm}$$

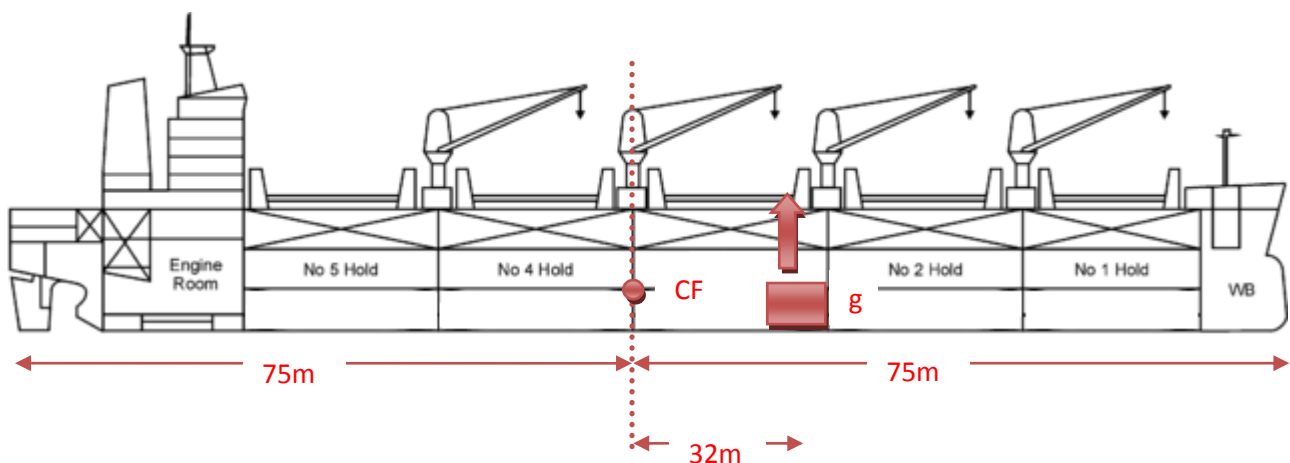
	FWD	AFT
Old Draft	2.000 m	2.000 m
Change of Trim	-0.291 m	+ 0.291 m
Bodily Sinkage	-0.142 m	-0.142 m
New Draft	1.567 m	2.149 m

Example: A Ship 150mx20m floats on an even keel at 10m draft and has a block coefficient of fineness 0.8 and LGM of 200 meters. If 250 tons of cargo is discharged from a position 32m from the center of flotation, find the resulting change of trim and new draft. (TPC= 10 tons)

$$L = 150\text{m} \quad B = 20\text{m} \quad D_F = D_A = 10\text{m} \quad C_b = 0.8$$

$$GM_L = 200\text{t} \quad w = 250\text{t from 32 fwd COF} \quad TPC = 10\text{t}$$

$$\rho = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \quad \text{COF: at amidships}$$



$$d = 32 \text{ m}$$

$$l = 75 \text{ m}$$

$$\text{Dispt} = L \times B \times D \times \rho \times C_b = 150 \times 20 \times 10 \times 1.025 \times 0.8 = 24600 \text{ t}$$

$$\text{MCTC} = \frac{\text{Dispt} \times GML}{100 \times L} = \frac{24600 \times 200}{100 \times 150} = \frac{4920000}{15000} = 328 \text{ t.m}$$

$$\text{Change of Trim} = \frac{w \times d}{\text{MCTC}} = \frac{250 \times 32}{328} = \frac{8000}{328} = 24.39 \text{ cm}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{l}{L} \times \text{Change of Trim}$$

$$\text{Change of aft draft} = \frac{75}{150} \times 24.39 = 12.195 \text{ cm}$$

$$\text{Change of FWD draft} = \text{Change of Trim} - \text{Change of aft draft}$$

$$\text{Change of FWD draft} = 24.39 - 12.195 = 12.195 \text{ cm}$$

$$\text{Bodily Sinkage} = \frac{w}{TPC} = \frac{250}{10} = 25 \text{ cm}$$

	FWD	AFT
Old Draft	10.000 m	10.000 m
Change of Trim	-0.121 m	- 0.121 m
Bodily Sinkage	-0.250 m	-0.250 m
New Draft	9.629 m	9.871 m

منحنی های مربوط به TPC و Dispt (TPC & Displacement Curve):

الف (منحنی مربوط به TPC و Draft :

همانطور که گفته شد TPC عبارتست از مقدار باری که باید بارگیری یا تخلیه گردد تا آبخور کشتی 1cm تغییر نماید. هنگامیکه یک شناور در آب باشد، فرمول TPC مربوط به این شناور عبارتست از:

$$TPC = \frac{A \times C_w \times RD}{100}$$

که در آن RD همان چگالی نسبی آبی است که شناور بر روی آن قرار گرفته و A نیز مساحت سطح مقطع آب یا همان صفحه آبی می باشد که در راستای خط آب دریا در یک آبخور خاص قرار گرفته و واحد آن m^2 می باشد و در آن C_w ضریب سطح مقطع آب می باشد.

مساحت صفحه آب همتراز با خط آب دریا در کشتی های جعبه ای (Box Shaped V/L) برای کلیه آبخورهای مختلف کشتی (در صورتیکه Trim یکسان باشد) برابر است و در نتیجه با توجه به فرمول بالا TPC نیز در کلیه آبخورها در شناورهای جعبه ای شکل با هم برابر می باشند اما در شناورهای غیر جعبه ای بعلا اینکه مساحت صفحه آب در آبخورهای گوناگون (WPA یا A) با هم متفاوت می باشد، بنابراین TPC نیز در آبخورهای گوناگون، متفاوت بوده و در نتیجه بوسیله یک منحنی ما می توانیم TPC را در آبخورهای متعدد و متفاوت بدست آوریم.

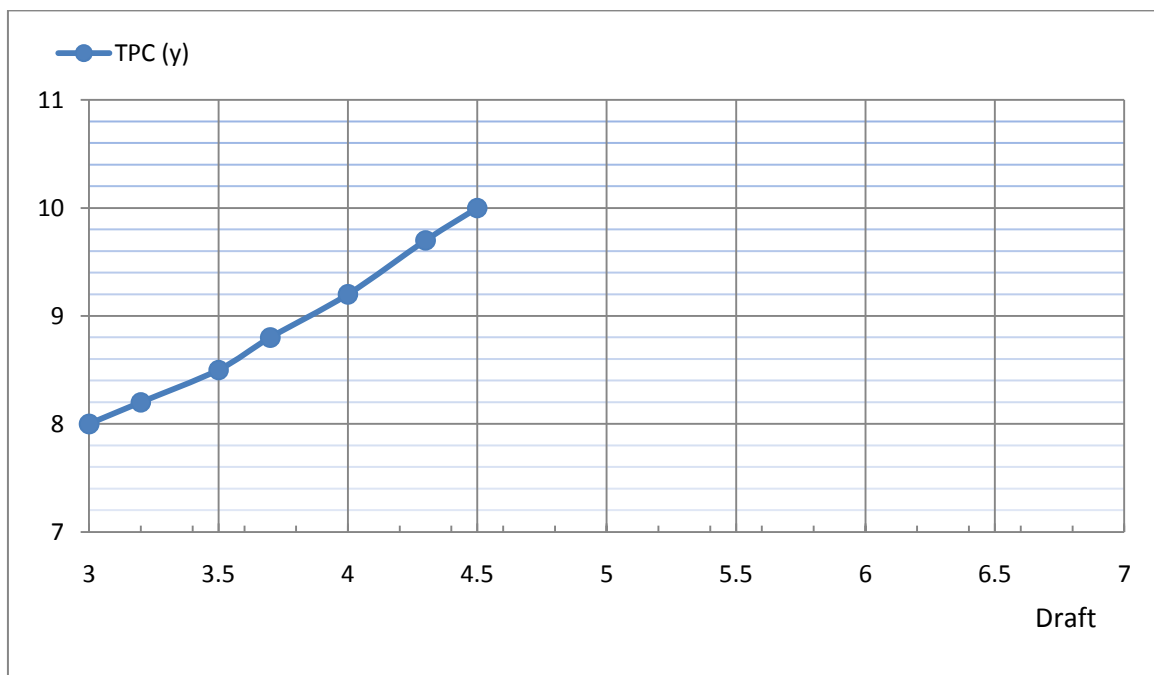
Example:

a) Construct a graph from the following information:

Mean draft (m)	3	3.5	4	4.5
TPC (tons)	8	8.5	9.2	10

b) From this graph find the TPCs at drafts 3.2m, 3.7m and 4.3m

c) If the ship is floating at the mean draft of 4m and then loads 50 tons of cargo, 10 tons of fresh water and 25 tons of bunkers, whilst 45 tons of ballast is discharged, find the final mean draft.



b)

Draft (m)	3.2	3.7	4.3
TPC (m)	8.2	8.8	9.7

c)

$$\text{Loaded} = 50 + 10 + 25 = 85\text{t}$$

$$\text{Discharged} = 45\text{t}$$

$$w_{\text{present}} = 85 - 45 = 40\text{t}$$

Ref to upper curve if $D_1 = 4\text{m}$ then $\text{TPC} = 9.2\text{ t}$

$$\Delta D = \frac{w}{\text{TPC}} = \frac{40}{9.2} = 4.34\text{ cm} = 0.043\text{ m}$$

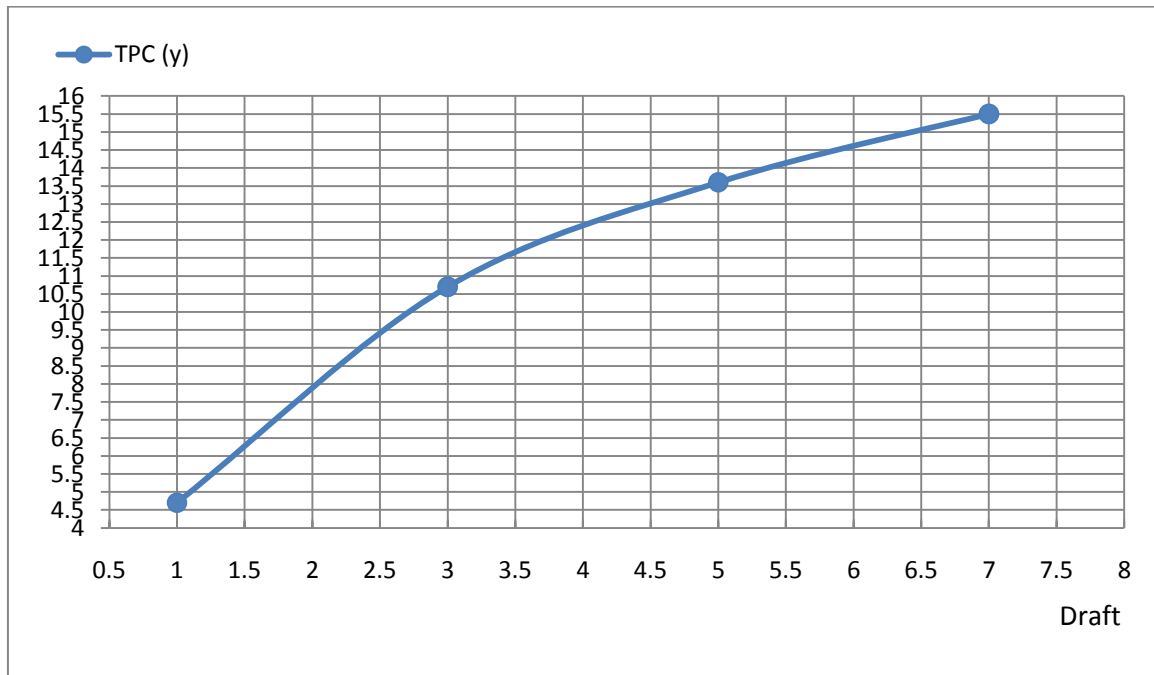
Because Loading > Discharging: $D_2 = D_1 + \Delta D$

$$D_2 = 4 + 0.043 = 4.043\text{ m}$$

Example: From the following information construct a TPC curve:

Mean draft (m)	1	3	5	7
TPC (tons)	4.7	10.7	13.6	15.5

Then find the new mean draft if 42 tons of cargo is discharged whilst the ship is floating at 4.5m mean draft.



Mean draft 4.5m then TPC ≈ 12.7 t

Discharged= 42 t

$$\Delta D = \frac{w}{TPC} = \frac{42}{12.7} = 3.30 \text{ cm} = 0.033 \text{ m}$$

Because of Discharging: $D_2 = D_1 - \Delta D$

$$D_2 = 4.5 - 0.033 = 4.467 \text{ m}$$

ب (منحنی مربوط به TPC و displacement (Displacement Curve) :

یک نمودار Dispt متشکل از وزن کشتی یا Displacement کشتی در آب‌خوره‌های مختلف می باشد. قبلاً نیز عنوان گردید که با افزایش آب‌خور، Dispt کشتی نیز افزایش می یابد، بنابراین برای رسم این منحنی، آب‌خوره‌های متفاوت کشتی را در راستای عرض نمودار (محور x ها) و Displacement مربوطه را در راستای طول نمودار (محور y ها) قرار می

دهیم.

Example:

a) Construct a displacement curve from the following data:

Draft (m)	3	3.5	4	4.5	5	5.5
Dispt (tons)	2700	3260	3800	4450	5180	6060

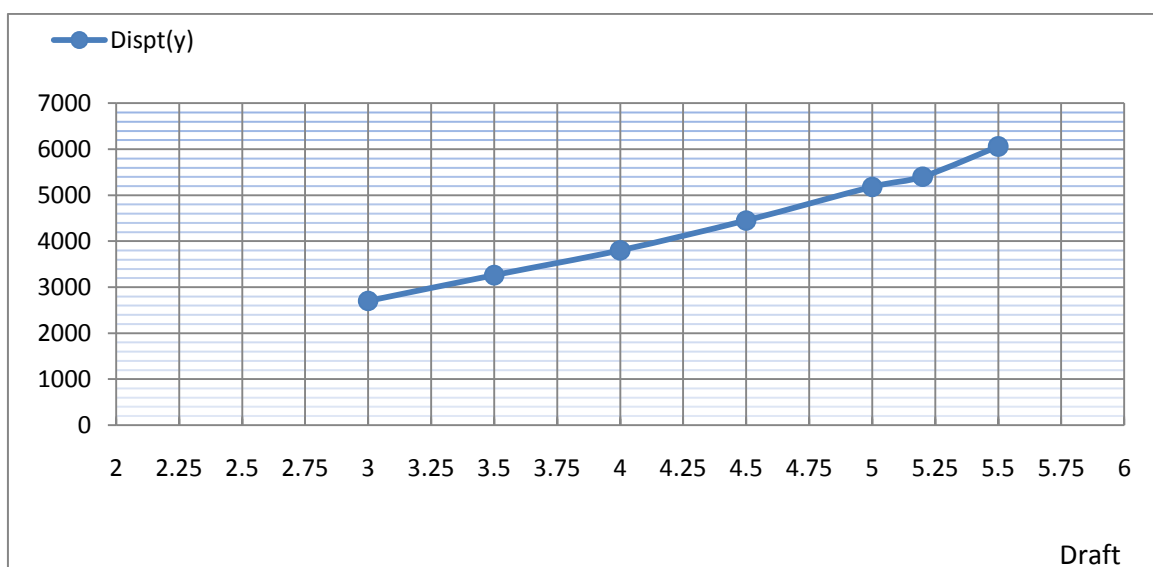
b) If this ship's light draft is 3m and the load draft is 5.5m find the dead weight.

c) Find the ship's draft when there are 500 tons of bunkers and 50 tons of fresh water and stores on board.

d) When at 5.13m mean draft the ship discharges 2100 tons of cargo and loads 250 tons of bunkers, find the new mean draft.

e) Find the approximate TPC at 4.4m mean draft.

f) If the ship is floating at a mean draft of 5.2m and the load mean draft is 5.5m, find how much more cargo may be loaded?



$$\text{Draft}_2 = 4.5\text{m} \quad === > \quad \text{Dispt}_2 = 4450 \text{ t}$$

$$\text{TPC} = \frac{w}{\Delta D(\text{cm})} = \frac{4450 - 4200}{(4.5 - 4.3) \times 100} = \frac{250}{20} = 12.5 \text{ t}$$

f)

$$\text{If Draft}_1 = 5.2\text{m} \quad === > \quad \text{Dispt}_1 = 5400 \text{ t}$$

$$\text{Dispt}_{\text{Load}} = 6060 \text{ t}$$

$$w = \text{Dispt}_{\text{Load}} - \text{Dispt}_1 = 6060 - 5400 = 660 \text{ t}$$

Example:

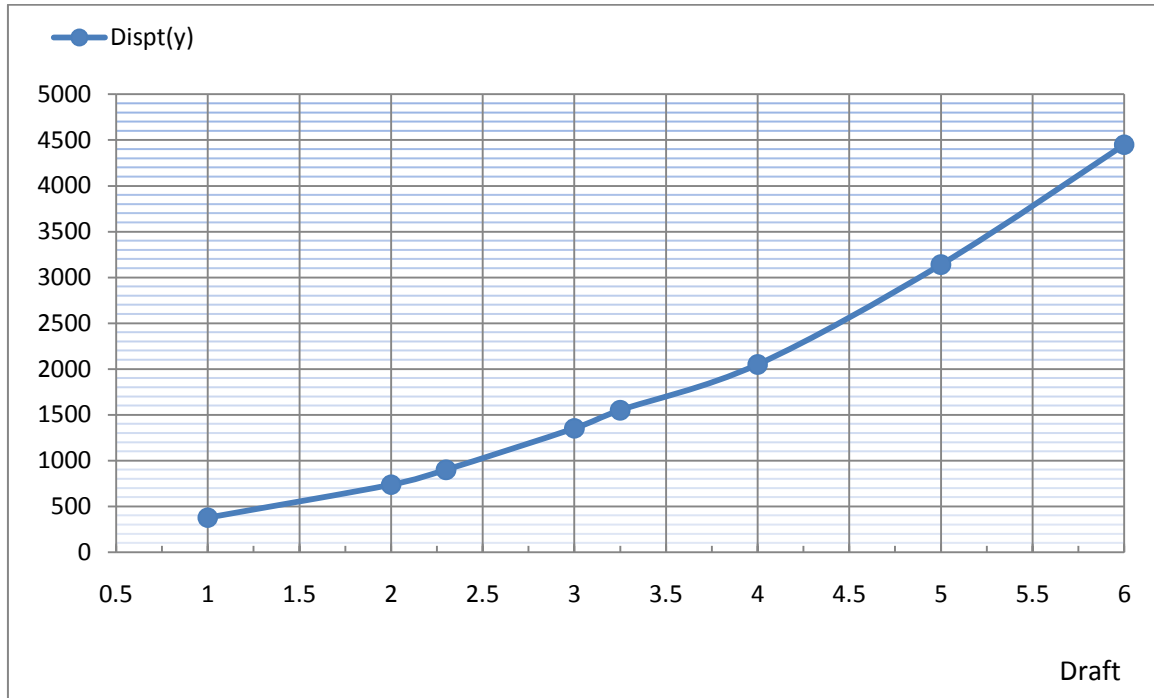
a) From the following information construct a displacement curve:

Draft (m)	1	2	3	4	5	6
Dispt (tons)	376	736	1352	2050	3140	4450

b) From this curve, find the displacement at a draft of 2.3m

c) If this ship floats at 2.3m mean draft and then loads 850 tons of cargo and discharges 200 tons of cargo, find the new mean draft.

d) Find the approximate TPC at 2.5m mean draft.



b)

$D = 2.3\text{m} \quad \implies \quad \text{Dispt} = 900 \text{ tons}$

c)

If $D_1 = 2.3\text{m}$ ($\text{Dispt}_1 = 900 \text{ t}$)

Loaded: 850 t & Discharged: 200 t

$\implies \quad w = 850 - 200 = 650 \text{ t}$ بارگیری شده است

$\text{Dispt}_2 = \text{Dispt}_1 + w = 900 + 650 = 1550 \text{ t}$

حال از روی نمودار Draft معادل $Dispt_2 = 1550 \text{ t}$ را استخراج می کنیم، که مساوی 3.25m می باشد.

d)

TPC=? If Draft= 2.5m

If Draft₁= 2.4m === > Dispt₁= 1000 t

If Draft₂= 2.6m === > Dispt₂= 1150 t

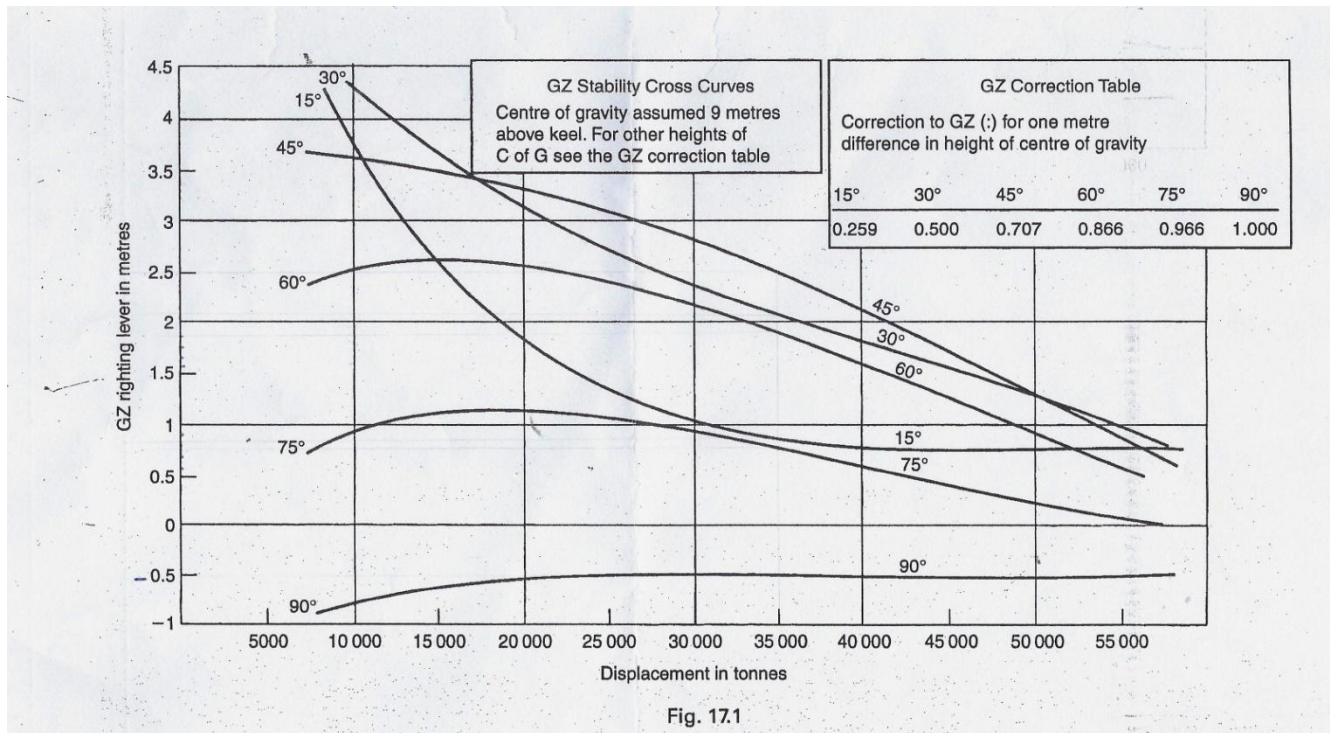
$$TPC = \frac{w}{\Delta D(cm)} = \frac{1150 - 1000}{(2.6 - 2.4) \times 100} = \frac{150}{20} = 7.5 \text{ t}$$

منحنی اهرم بازگردانده (GZ Cross Curve) (GZ):

در این منحنی ما می توانیم با استفاده از وزن کشتی، GZ کشتی را برای هر KG خاص بدست آوریم و در نهایت با استفاده از GZ می توان مقدار گشتاور لازم برای اینکه کشتی بحالت اولیه برگردد (Moment of Statical Stability) را بدست آوریم.

Example: Using the stability cross curve for MV. Tanker, find the GZs at 15 degrees intervals between 0 degrees and 90 degrees heel when the displacement is 35000 tons and KG= 9 meters.

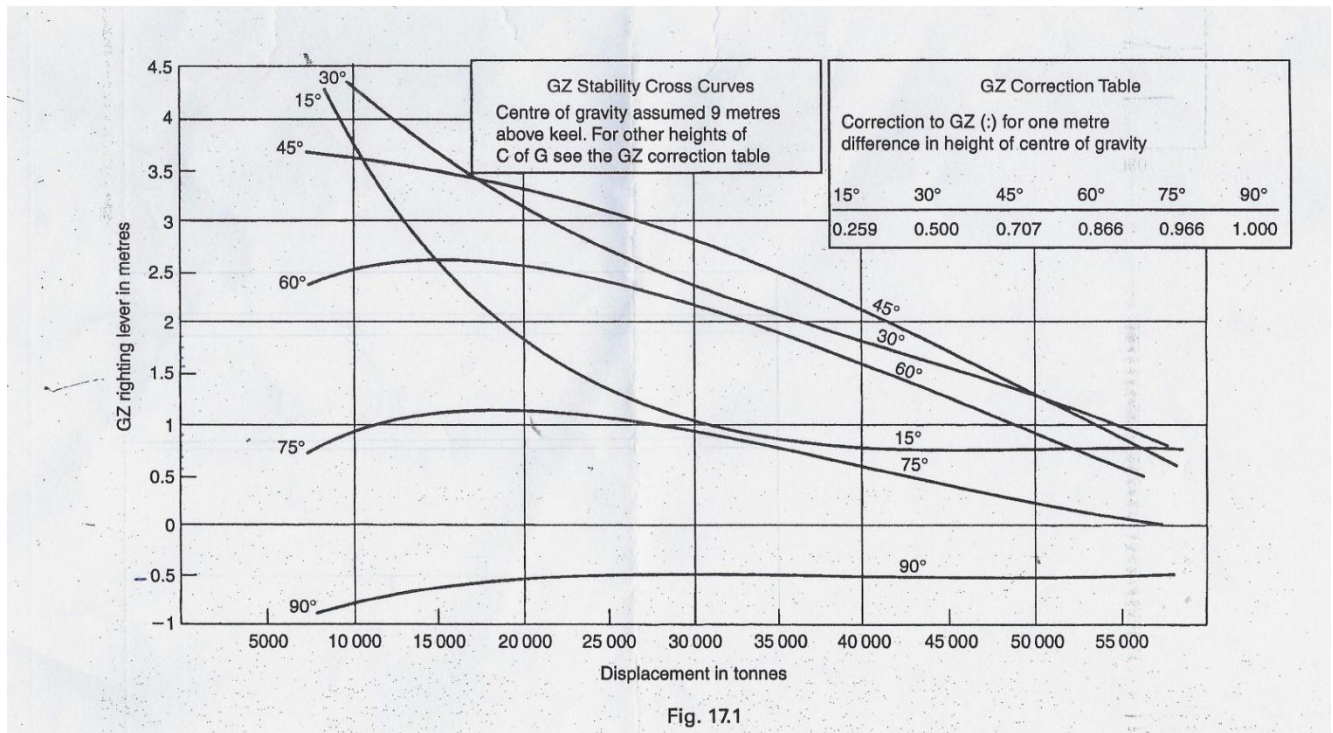
Angel Of Heel	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
GZ (m)	0	0.85	2.1	2.5	1.9	0.75	-0.5



نکته: برای بدست آوردن GZ با استفاده از منحنی فوق برای KG هایی غیر از KG فرض شده در نمودار GZ باید یک Correction یا ضربی به GZ قبلی اضافه گردد. که این ضریب یا Correction مقدار آن برابر با $GG_1 \times \sin \theta$ می باشد. که در آن GG_1 تفاوت فاصله مرکز ثقل کشتی تا Keel کشتی (KG_1) برای منحنی مربوطه و فاصله مرکز ثقل کشتی تا Keel کشتی (KG) برای حالت مفروض موجود در منحنی GZ می باشد و همچنین θ زاویه heel است.

Example: Using the stability cross curve for MV. Tanker, find the GZs at 15 degrees interval between 0 degrees and 90 degrees when the displacement is 35000 tons and the KG is 8.5 meters.

Ship Stability



$$GG_1 = KG - KG_1 = 9 - 8.5 = 0.5 \text{ m}$$

Angle of heel	Tabulated GZ (KG 9m)	Correction ($GG_1 \times \sin \theta$)	Correction GZ (KG 8.5m)
0°	0	$0.5 \times 0 = 0$	$0 + 0 = 0$
15°	0.85	$0.5 \times 0.259 = 0.129$	$0.85 + 0.129 = 0.979$
30°	2.1	$0.5 \times 0.500 = 0.250$	$2.1 + 0.250 = 2.350$
45°	2.5	$0.5 \times 0.707 = 0.353$	$2.5 + 0.353 = 2.853$
60°	1.9	$0.5 \times 0.866 = 0.433$	$1.9 + 0.433 = 2.333$
75°	0.75	$0.5 \times 0.966 = 0.483$	$0.75 + 0.483 = 1.233$
90°	-0.5	$0.5 \times 1 = 0.5$	$-0.5 + 0.5 = 0$