

STATİK STABİLİTE

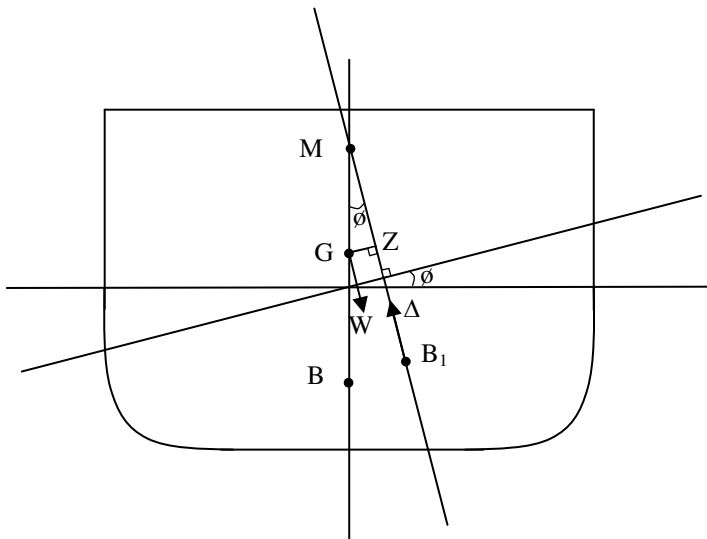
Statik stabilite, geminin iç veya dış etkiler altında paralel batma, meyil veya trim yapabileceği durumlardaki stabilitesidir. Farklı meyil açılarındaki doğrultucu moment kolu değerleri ile ilgilidir.

Dinamik stabilite ise, dalgalar etkisinde olan bir geminin altı serbestlik dereceli olarak üç öteleme (boyuna öteleme, yan öteleme ve dalıp çıkma) ve üç dönme hareketi (yalpa, baş kık vurma ve savrulma) yapabileceği durumlardaki stabilitesidir. Doğrultucu moment kolu eğrisinin altındaki alanla ilgilidir.

$$\text{Dinamik stabilite} = \Delta \int_0^{\phi_1} GZ(\phi).d\phi$$

a) Küçük Açılarda Stabilité

$\phi \leq 10^\circ$ meyil açılarında metasantr noktası (M) orta simetri eksenı civarında olduğu için metasantr yüksekliği GM'in pozitif olması (M noktası G'den yukarıda), doğrultucu moment kolunun (GZ) ve dolayısı ile doğrultucu momentin (M_d) pozitif (gemiyi ilk konumuna doğru döndürecek şekilde) olması anlamına gelir.



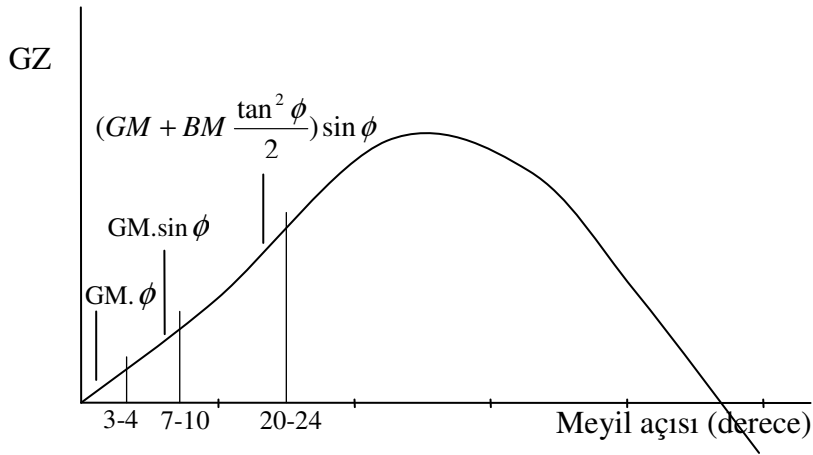
GM>0 Pozitif başlangıç stabilitesi

$M_d = GZ.\Delta$ Doğrultucu moment

$$\text{GZ} = \text{GM} \cdot \phi \quad \phi < 3-4^\circ$$

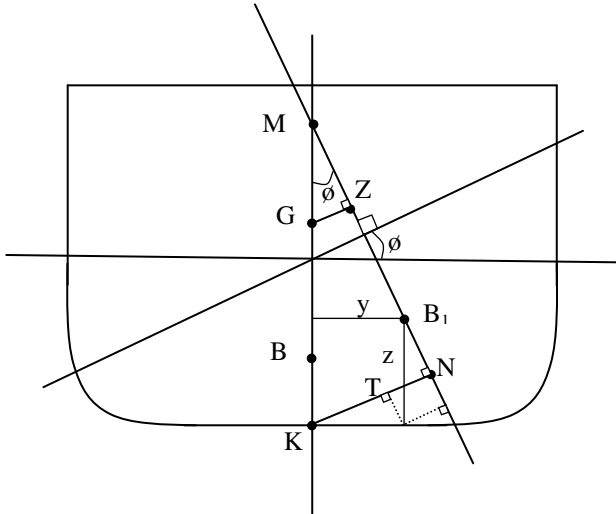
$$\text{GZ} = \text{GM} \cdot \sin \phi \quad 3-4^\circ < \phi < 7-10^\circ$$

Duvar bordalı gemiler için Scribanti formülü: $GZ = (GM + BM \frac{\tan^2 \phi}{2}) \sin \phi \quad 7-10^\circ < \phi < 20-24^\circ$



b) Büyük Açılarda Stabilité

$\phi > 8 - 10^\circ$ meyil açılarında metasantr noktası (M) orta simetri eksenini civarından uzaklaşacağı için metasantr yüksekliği GM anlamını kaybeder. Doğrultucu moment kolunun (GZ) ve dolayısı ile doğrultucu momentin (M_d) hesaplamasında kullanılamaz. Büyük açılarda bunlar geometriden yararlanılarak hesaplanabilir.



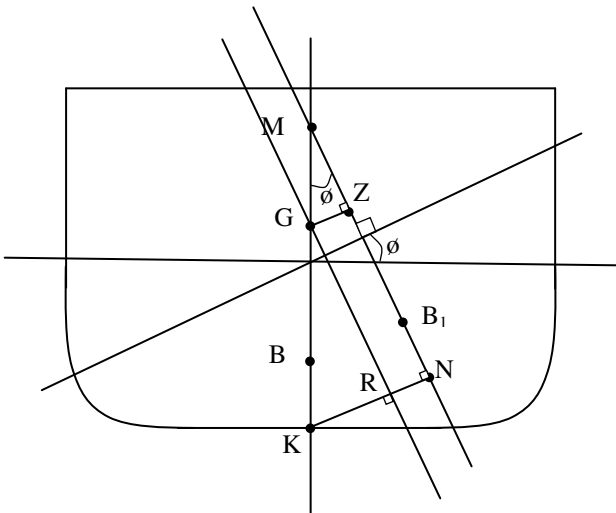
y: Meyilli durumdaki sephiye merkezinin orta simetri ekseninden uzaklığı

z: Meyilli durumdaki sephiye merkezinin dipten uzaklığı

$$KN = KT + TN$$

$$KT = y \cdot \cos \phi \text{ ve } TN = z \cdot \sin \phi$$

$$KN = y \cdot \cos \phi + z \cdot \sin \phi$$



$$GZ = KN - KR$$

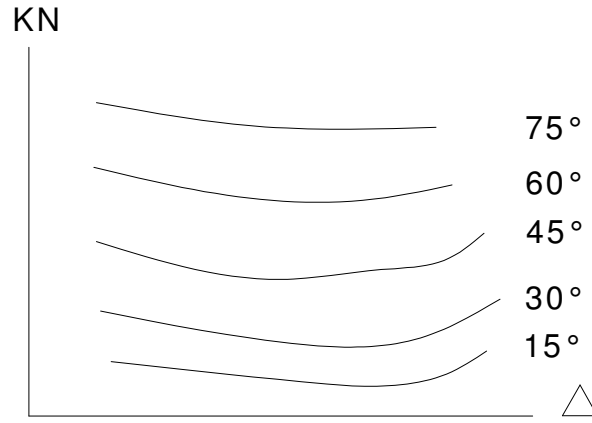
$$KR = KG \cdot \sin \phi$$

$$GZ = KN - KG \cdot \sin \phi$$

Gemi için KN hesabı: Gemi herhangi bir su hattında ve herhangi bir meyil açısı ile yüzer iken çapraz stabilite değeri KN şu şekilde hesaplanabilir: Her postanın yüklü su hattı altında kalan alanları ve alan merkezleri (y_i ve z_i değerleri) bulunur, daha sonra tabana ve orta simetri eksenine göre momentleri alınır ve gemi boyunca entegre edilmek sureti ile hacim momentleri bulunur. Son olarak deplasman hacmine bölünerek hacim merkezinin dibe ve orta simetri eksenine olan uzaklıkları bulunur (y, z). Herhangi bir su hattının ϕ meyil açısı için,

$$y = \frac{\int_0^n A_i \cdot y_i dx}{\int_0^n A_i dx} = \frac{M_{CL}}{\nabla} \quad z = \frac{\int_0^n A_i z_i dx}{\int_0^n A_i dx} = \frac{M_{BL}}{\nabla} \quad n: \text{posta sayısı}$$

Her su hattı ve belirli açılar için y ve z 'ler belirlenip çapraz stabilite değerleri (KN) hesaplanır ve aşağıda gösterildiği şekilde çapraz stabilite eğrisi (KN- Δ) çizilir.

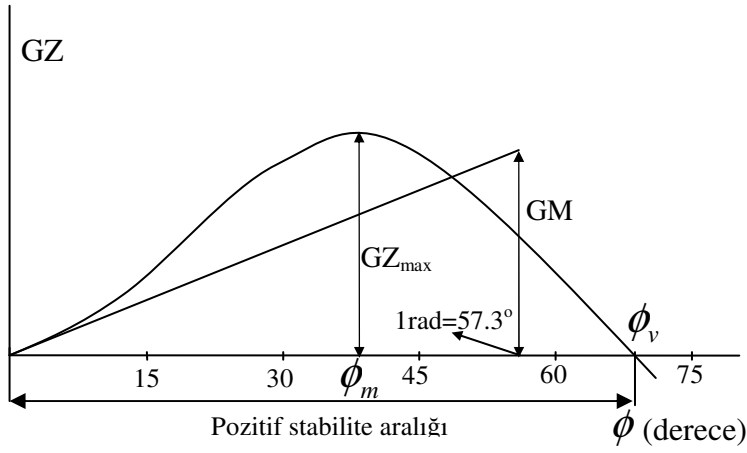


Daha sonra geminin yüklü su hattındaki deplasmanı için statik stabilite eğrisi (GZ- ϕ) çizilir:

Statik Stabilite Eğrisi (GZ- ϕ) (Doğrultucu Moment Kolu Eğrisi)

Küçük açılarda stabilite analizi için başlangıç stabilitesinin (GM) bilinmesi yararlıdır ancak bir deniz aracının kapsamlı bir stabilite analizi için şekilde görülen bir statik stabilite eğrisinin hazırlanması ve incelenmesi zorunludur. Bu tür bir eğri yalnız küçük açılarda değil büyük meyil açılarında da geminin stabilite özellikleri hakkında yararlı bilgiler verecektir.

Yaklaşık 10° ye kadar olan bölgede statik stabilite eğrisi doğrusal karakterdedir. Güvertenin suya girdiği veya omurganın sudan çıktığı açıya kadar duvar borda formülü yaklaşık olarak geçerlidir. Bu bölgede (10° - 20°) statik stabilite eğrisinin eğimi artar. Güvertenin suya girmesi ve omurganın sudan çıkması ile eğim azalmaya başlar ve belli bir noktada doğrultucu moment kolu maksimuma ulaştıktan sonra eğim negatif olur ve GZ değeri azalmaya başlar.



ϕ_v : statik ortamda devrilme açısı

ϕ_m : GZ'in maksimum olduğu açı

Pozitif stabilite aralığı: Doğrultucu moment kolu (GZ)'in pozitif olduğu aralıktır.

Statik stabilite eğrisinin $\phi = 0^\circ$ deki teğetinin eğimi metasentr yüksekliğini (GM) verir:

$$GZ = GM \cdot \phi \quad \phi < 3-4^\circ \quad \text{ise} \quad \frac{dGZ(\phi)}{d\phi} = GM = \frac{GM}{1 \text{ rad}}$$

GM'in çok büyük olması her zaman için iyi değildir geminin konforunu kötüleştirir.

Herhangi bir meyil açısındaki doğrultucu momentin değeri, $M_D = \Delta \cdot GZ$ dir.

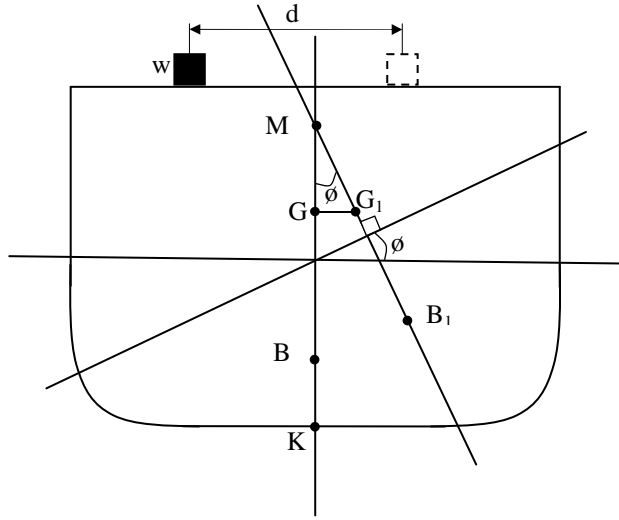
ENİNE AĞIRLIK HAREKETLERİNİN STABİLİTEYE ETKİSİ

1. Gemi İçerisinde Mevcut Ağırlıkların Hareketi:

Bu durumda geminin su çekimi değişmeyeceği için KB ve BM sabit kalır. KG de sadece düşey ağırlık hareketinde değişir.

a) Yatay Yönde Ağırlık Hareketi:

w ağırlığının yatay yönde hareketi ile gemi ϕ açısı kadar meyil yapacaktır. Geminin yapacağı meyil miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır:

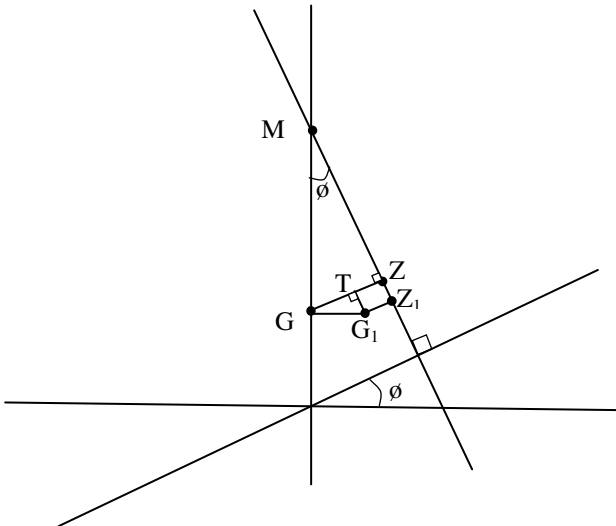


GM değişmez.

$$\tan \phi = \frac{GG_1}{GM} \quad \text{ve} \quad GG_1 = \frac{w.d}{\Delta}$$

$$\tan \phi = \frac{w.d}{GM \cdot \Delta} \quad \text{bulunur.}$$

Yatay yöndeki ağırlık hareketi nedeni ile doğrultucu moment kolu (GZ)'deki azalmanın hesaplanması:



Son durumdaki GZ,

$$G_1Z_1 = GZ - GT$$

$\delta GZ = GT$: GZ deki azalma miktarı,

$$GT = GG_1 \cdot \cos \phi \quad \text{ve} \quad GG_1 = \frac{w.d}{\Delta}$$

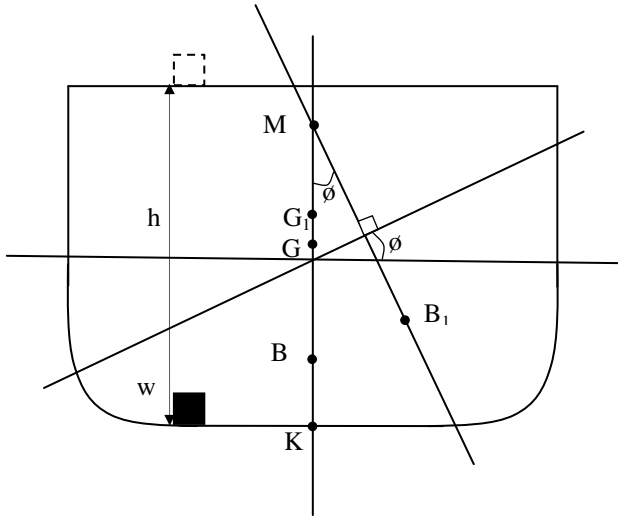
$$GZ_1 = G_1Z_1 = GZ - \frac{w.d}{\Delta} \cdot \cos \phi$$

$$\delta GZ = \frac{w.d}{\Delta} \cdot \cos \phi$$

Not: Yatay ağırlık hareketi ters yönde olsa idi (sancaktan iskeleye), doğrultucu moment kolunda aynı miktarda azalma yerine artmaya neden olurdu.

b) Düşey Yönde Ağırlık Hareketi:

Gemi içerisindeki mevcut bir ağırlığın düşey hareketinde ağırlık merkezinin yeri değişeceği için metasatr yüksekliği GM de değişecektir. GM deki değişim miktarı, ağırlık merkezindeki değişim miktarı ile aynı olacaktır.



Düşey ağırlık hareketi sonrası GM'deki azalma miktarı,

$$\delta GM = GG_1$$

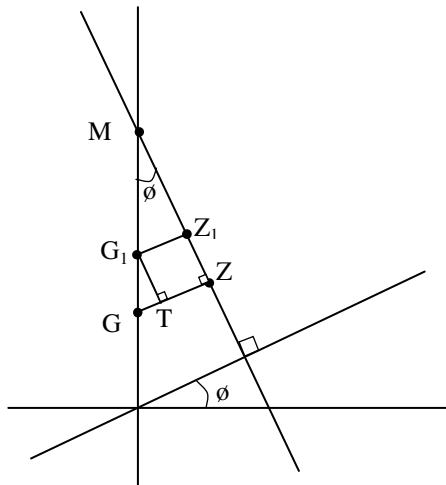
$$\delta GM = \delta KG = GG_1 = \frac{w.h}{\Delta}$$

$$KG_1 = KG + GG_1 = KG + \frac{w.h}{\Delta}$$

Son durumdaki metasantr yüksekliği,

$$G_1M = GM - GG_1$$

$$G_1 M = GM - \frac{w.h}{\Delta}$$



Düşey ağırlık hareketi sonrası GZ'deki azalma miktarı,

$$\delta GZ = GT = GG_1 \cdot \sin \phi \quad \text{ve} \quad GG_1 = \frac{w.h}{\Delta}$$

Son durumdaki GZ,

$$G_1Z_1 = GZ - GT$$

$$GZ_1 = G_1 Z_1 = GZ - \frac{w.h}{\Delta} \cdot \sin \phi$$

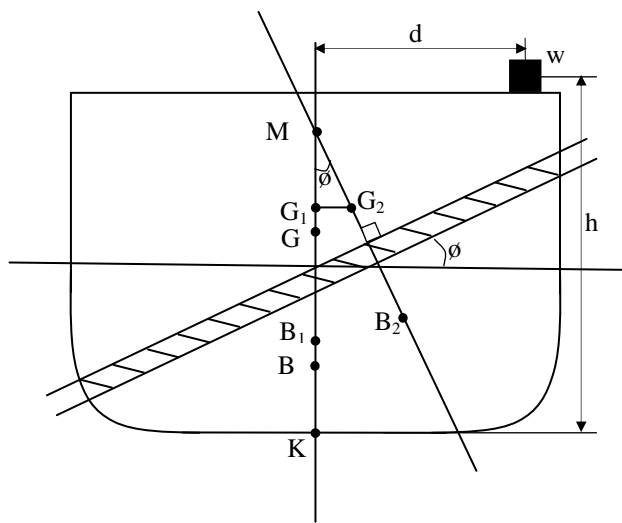
$$\delta GZ = \frac{w.h}{\Delta} . \sin \phi$$

Not: Düşey ağırlık hareketi ters yönde olsa idi (yukarıdan aşağıya), ağırlık merkezi aşağıya doğru hareket edeceği için GM ve GZ (aşağıdan yukarıya hareketle) aynı miktarda artacaklardı.

2. Gemiye Dışarıdan Ağırlık Eklenmesi

Yukarıda gemide mevcut ağırlıkların hareketinde başlangıç stabilitesinin nasıl değişeceği incelenmişti. Bu durumda geminin su çekimi değişmediği için Δ , KB ve BM değerleri sabit kalmaktadır. Ancak gemiye dışarıdan ağırlık eklenmesi veya çıkarılması durumlarında geminin su çekimi ve deplasmanı da değişecek ve dolayısı ile başlangıç stabilitesini etkileyen KB ve BM değerleri sabit kalmayacaktır.

Şekilde gösterildiği gibi gemiye dışarıdan bir ağırlık alınması halinde geminin son durumdaki başlangıç stabilitesi (GM) ve yapacağı meyil açısının bulunması için aşağıdaki hesap sırası takip edilir. Bunun için önce ağırlığın orta simetri eksenine konulduğu kabul edilerek paralel batma miktarı (p), KB₁, BM₁, KG₁ ve GM₁ hesaplanır. İkinci aşamada da ağırlık d kadar hareket ettirilerek (gemide mevcut ağırlığın yatay hareketi, GM₁ sabit) geminin yapacağı meyil açısı bulunur:



1. Paralel batma miktarı (p)

$$p = \frac{w}{T_1} \quad (cm)$$

$$2. \quad KG_1 = \frac{\Delta.KG + w.h}{\Delta + w} \quad \Delta_1 = \Delta + w$$

$$3. \quad KB_1 = \frac{\nabla.KB + (w/\rho).(T + p/2)}{\nabla + w/\rho}$$

$$\nabla_1 = \nabla + w/\rho$$

$$KB_1 = \frac{\Delta.KB + w.(T + p/2)}{\Delta + w}$$

4. Eklene ağırlığın küçük olduğu kabul edilirse yüklü su hattı formu değişmeyecek ve yüklü su hattının atalet momenti (I) sabit kalacaktır.

$$BM_1 = \frac{I}{\nabla_1} \quad I = BM.\nabla \text{ ise } BM_1 = BM \frac{\nabla}{\nabla_1} \text{ dir.}$$

Son durumdaki metasantr yüksekliği: $GM_1 = G_1M = KB_1 + BM_1 - KG_1$

Geminin yapacağı meyil açısı, $\tan \phi = \frac{w.d}{GM_1 \cdot \Delta_1}$ ile bulunacaktır.

Gemiye dışarıdan ağırlık eklenmesi sonucu doğrultucu moment kolu (GZ)'deki azalma miktarının hesaplanması:

$$\delta GZ = GG_1.\sin \phi + G_1G_2.\cos \phi$$

Son durumdaki doğrultucu moment kolu,

$$GZ_1 = GZ - \delta GZ$$

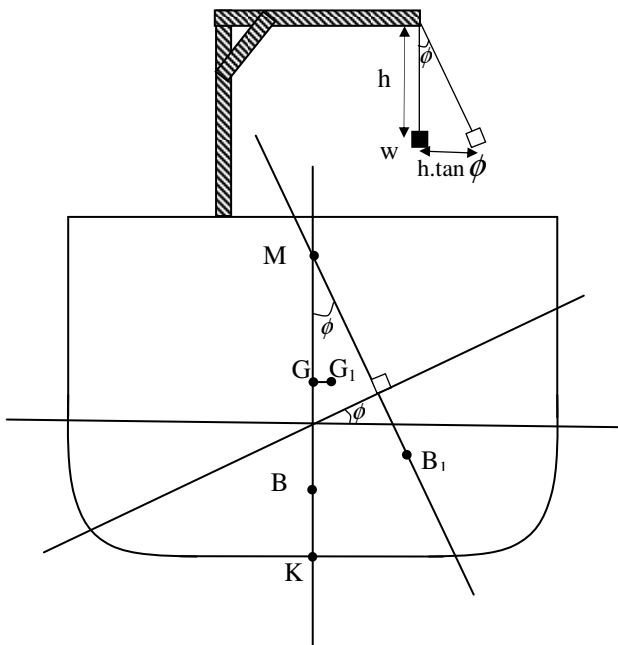
Not: Ağırlığın önce K'ya eklenip daha sonra yukarı ve yana hareket ettirildiği düşünülerek de GZ'deki azalma miktarları ve son durumdaki GZ₁ hesaplanabilir.

Gemiden Dışarıya Ağırlık Çıkarılması:

Bu durumda aynı işlemler w ağırlığının gemiden çıkarılması için gerekli işaret düzenlemeleri kullanılarak yapılır.

3. Asılı Yüklerin Stabiliteye Etkisi

Asılı duran yüklerde , yükün stabiliteye etkisi iki şekilde düşünülür. Birincisi, eğer yük direğe sabit bir şekilde bağlıysa yükün ağırlık merkezi kendi merkezidir. İkincisi, yük serbest olarak hareket edip salınım yapıyorsa yükün ağırlık merkezi asılı bulunduğu nokta kabul edilir.

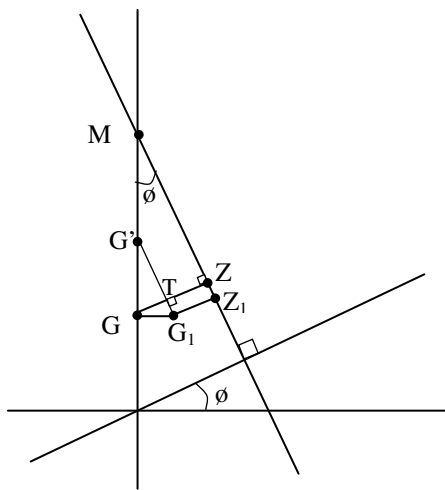


Geminin küçük bir meyil açısında yük serbest olarak hareket edip salınım yapıyorsa:

Asılı yükün yatay hareket miktarı: $h \cdot \tan \phi$

Gemi ağırlık merkezinin yatay hareket miktarı:

$$GG_1 = \frac{w \cdot h \cdot \tan \phi}{\Delta}$$



GZ deki azalma miktarı ve son durumdaki GZ,

$$\delta GZ = GT = GG_1 \cdot \cos \phi$$

$$GZ_1 = G_1Z_1 = GZ - \delta GZ = GZ - GG_1 \cdot \cos \phi$$

$$GZ_1 = GZ - \frac{w \cdot h}{\Delta} \tan \phi \cdot \cos \phi = GZ - \frac{w \cdot h}{\Delta} \sin \phi$$

$$\text{Geometriden, } \tan \phi = \frac{GG_1}{GG'} = \frac{(w \cdot h / \Delta) \cdot \tan \phi}{GG'}$$

$$GG' = \frac{w \cdot h}{\Delta} \text{ dır. } \delta GZ = GT = GG' \cdot \sin \phi$$

GG' , gemi içerisinde mevcut w ağırlığının, h kadar

yukarıya hareket ettirilmesi sonucu gemi ağırlık merkezinde oluşacak değişim miktarına eşittir.

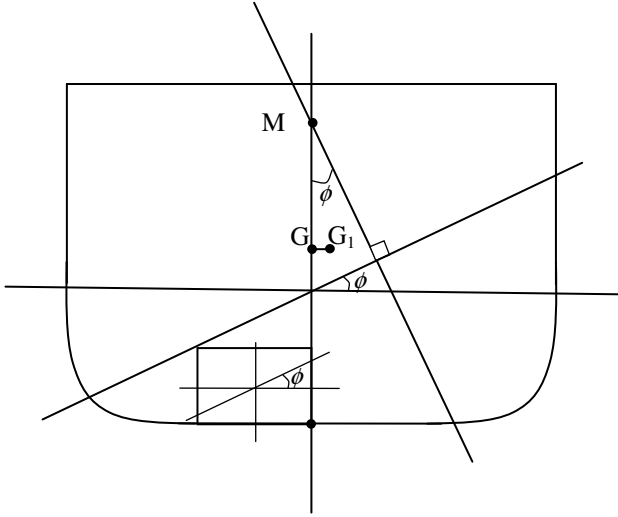
Sonuç: Uzunluğu h olan bir ipte asılı w ağırlığındaki yükün stabiliteye etkisi, gemi içerisinde mevcut bir w ağırlığının h kadar yukarıya doğru hareket ettirilmesi ile aynı olacaktır. GZ'te aynı

miktarda azalmaya neden olacaklardır. w ağırlığının h kadar yukarı hareketi düşünüldüğünde GM de GG' kadar azalacaktır. Son durumdaki GM ,

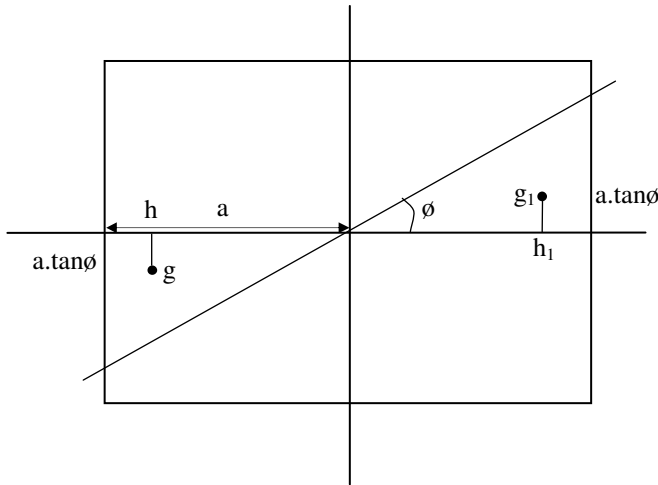
$$GM_1 = G'M = GM - GG' = GM - \frac{w \cdot h}{\Delta} \text{ olur. Bu } GM' \text{ e efektif metasantr yüksekliği denir.}$$

4. Serbest Yüzey Etkisi

Gemide mevcut tamamen dolu veya tamamen boş olan ve akar yük taşıyan su, yakıt, yağlama yağı vs. tankların geminin ağırlık merkezinin konumu üzerine bir etkileri olmayacaktır. Ancak bu tankların yarı dolu olması halinde, geminin herhangi bir dış kuvvet etkisi ile meyil yapması durumunda bu tanklardaki sıvılar da meyil yönüne doğru hareket edecek ve geminin ağırlık merkezinin konumunu değiştirecektir. Bu da geminin doğrultucu moment kolunu azaltacak ve statik stabilitede bir kayıp ortaya çıkacaktır.



Geminin küçük bir ϕ açısı kadar meyil etmesi durumunda tanktaki sıvının bir kısmı yana ve yukarı doğru hareket edecek, geminin ağırlık merkezi de aynı doğrultuda yer değiştirecektir. Ancak buradaki hesaplarda düşey yer değiştirmeler dikkate alınmayacaktır.



$dA = \frac{1}{2} a^2 \tan \phi$ yer değiştiren kısmın alanı

$dV = \frac{1}{2} a^2 \tan \phi dx$ boyu dx olan yer değiştiren kısmın hacmi

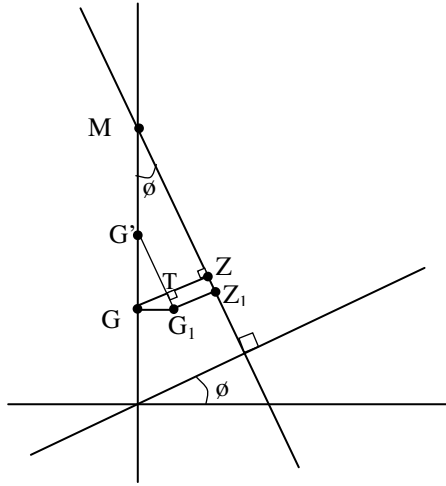
GG_1 : gemi ağırlık merkezinin yatay hareket miktarı

$hh_1 = \frac{4}{3} a$ yer değiştiren kısımların alan merkezleri arasındaki yatay mesafe

Geminin ağırlık merkezindeki yatay yer değiştime miktarı:

$$GG_1 = \frac{\int_0^l hh_1 dV \cdot \rho_{siv}}{\Delta} = \frac{\tan \phi \cdot \rho_{siv} \int_0^l \frac{2}{3} a^3 dx}{\Delta} = \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\Delta} \tan \phi = \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\rho_{su} \cdot \nabla} \tan \phi$$

$i_x = \int_0^l \frac{2}{3} a^3 dx$ tank yüzeyinin tank orta simetri düzlemine göre atalet momentidir.



GZ deki azalma miktarı ve son durumdaki GZ,

$$\delta GZ = GT = GG_1 \cdot \cos \phi$$

$$GZ_1 = G_1Z_1 = GZ - \delta GZ = GZ - GG_1 \cdot \cos \phi$$

$$GZ_1 = GZ - \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\rho_{su} \cdot \nabla} \tan \phi \cdot \cos \phi = GZ - \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\rho_{su} \cdot \nabla} \sin \phi$$

$$\tan \phi = \frac{GG_1}{GG'} = \frac{\frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\rho_{su} \cdot \nabla} \tan \phi}{GG'} \quad GG' = \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\rho_{su} \cdot \nabla} \text{ dır.}$$

$$\delta GZ = GT = GG' \cdot \sin \phi$$

Sonuç: Serbest yüzeyin gemi stabilitesine etkisi, gemi ağırlık merkezinin GG' kadar yukarıya hareket etmesi ile aynı olacaktır. GZ'te aynı miktarda azalmaya neden olacaklardır. Ağırlık merkezi yukarı doğru hareket ederse, GM de GG' kadar azalacaktır. Son durumdaki efektif metasantr yüksekliği GM,

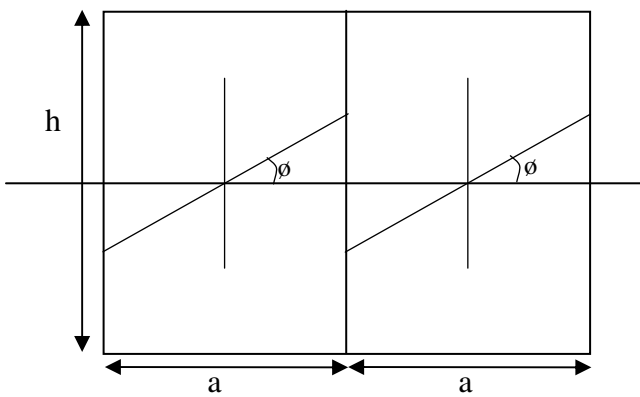
$$GM_1 = G'M = GM - GG' = GM - \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\rho_{su} \cdot \nabla} \text{ olur..}$$

$$GM_1 = GM - FSC$$

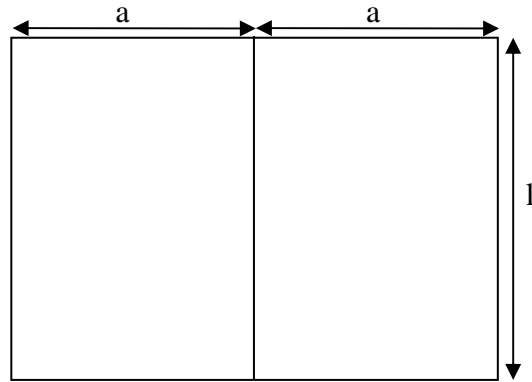
$$FSC = \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\rho_{su} \cdot \nabla} \text{ serbest yüzey düzeltmesi}$$

Tank Perdeli ise,

a) Boyuna perde:



Yandan görünüş



Sıvı seviyesindeki tank yüzeyi

Perdesiz tank yüzeyinin tank orta simetri eksenine göre atalet momenti:

$$i_x = \frac{l \times (2a)^3}{12} = 8 \frac{l \times a^3}{12}$$

Bir boyuna perde ile iki bölmeye ayrılan tankın, her bir bölme yüzeyinin kendi orta simetri eksenine göre atalet momenti:

$$i = \frac{l \times a^3}{12}$$

İki bölmenin toplam serbest yüzey etkisi,

$$FSC = 2 \frac{\rho_{siv} \cdot i}{\Delta} = 2 \frac{\rho_{siv}}{\Delta} \frac{l \times a^3}{12} = \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\Delta \cdot 2^2} \quad i_x: \text{ bölmesiz tank yüzeyinin atalet momenti}$$

Tankta n adet bölme varsa,

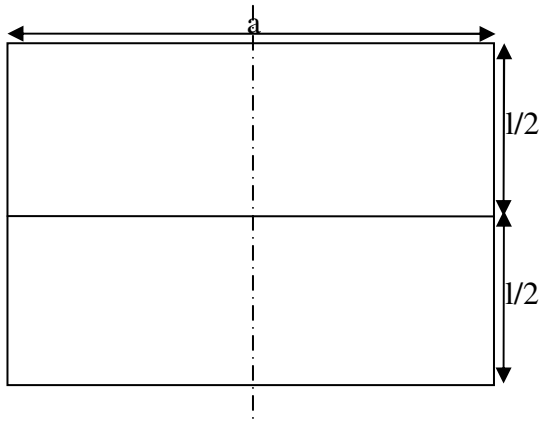
$$FSC = \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\Delta \cdot n^2}$$

Tanklardaki boyuna perdeler, serbest yüzey etkisini bölme sayısının karesi ile orantılı şekilde azaltıcı etki yaparlar.

Geminin farklı yerlerinde birden fazla yarı dolu sıvı tankları var ise, her bir tankın etkisinin hesaplanarak toplanmaları gerekir:

$$GM_1 = GM - \sum \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\Delta \cdot n^2}$$

b) Enine perde:



Bir bölme yüzeyinin atalet momenti,

$$i = \frac{(l/2) \times a^3}{12} = \frac{1}{2} \frac{l \times a^3}{12}$$

İki bölmenin toplam serbest yüzey etkisi,

$$FSC = 2 \frac{\rho_{siv} \cdot i}{\Delta} = \frac{\rho_{siv}}{\Delta} \frac{l \times a^3}{12} = \frac{\rho_{siv} \cdot i_x}{\Delta}$$

i_x : bölmesiz tank yüzeyinin atalet momenti

Sıvı seviyesindeki tank yüzeyi

Tanklardaki enine perdelerin serbest yüzey etkisini azaltıcı herhangi bir faydaları yoktur.