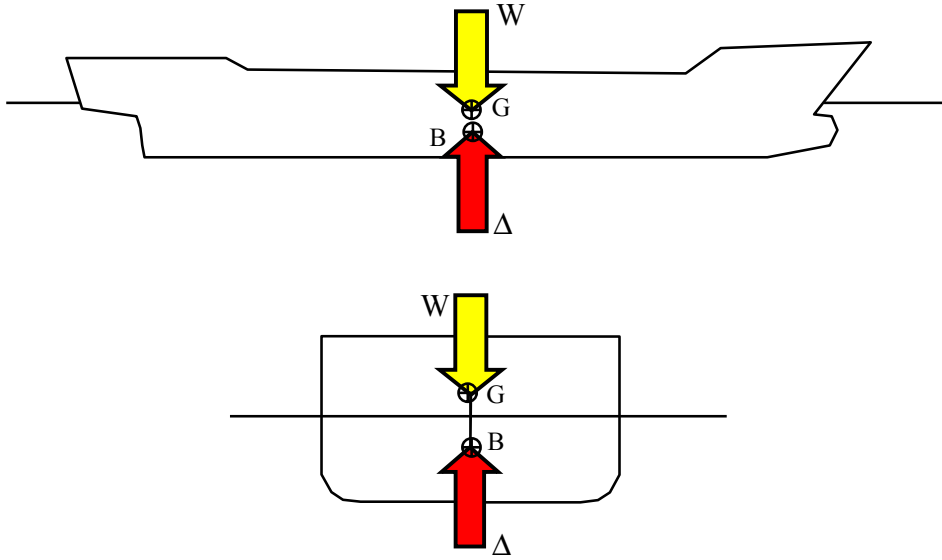


BÖLÜM 5. YÜZEN CİSİMLERİN DENGESİ VE BAŞLANGIÇ STABİLİTESİ

5.1 GEMİYE ETKİYEN STATİK KUVVETLER

Bir deniz aracının dizaynında en temel gereklerden biri o deniz aracının görevi gereği taşıması gereken yük veya yolcu ile tamamen yüklenmiş iken istenen su hattında yüzebilmesini sağlayacak sephiyenin mevcut olmasıdır. Bunun kadar önemli ikinci bir zorunluluk deniz aracının değişik yükleme durumlarında dik durabilmesini sağlayacak başlangıç stabilitesinin bulunmasıdır.

Sakin su yüzeyi üzerinde hareketsiz duran bir deniz aracına etkiyen iki temel kuvvet yukarıdan aşağı yönlenmiş ağırlık kuvveti (W) ile aşağıdan yukarı yönlenmiş sephiye, deplasman (Δ) kuvvetleridir. Geminin istenen su hattında dengede olabilmesi için bu su hattındaki sephiye kuvveti ile toplam ağırlık birbirine eşit ve zıt yönlü olmalıdır. Bir gemiye etkiyen sephiye ve ağırlık kuvvetleri Şekil 5.1 'de şematik olarak görülmektedir.



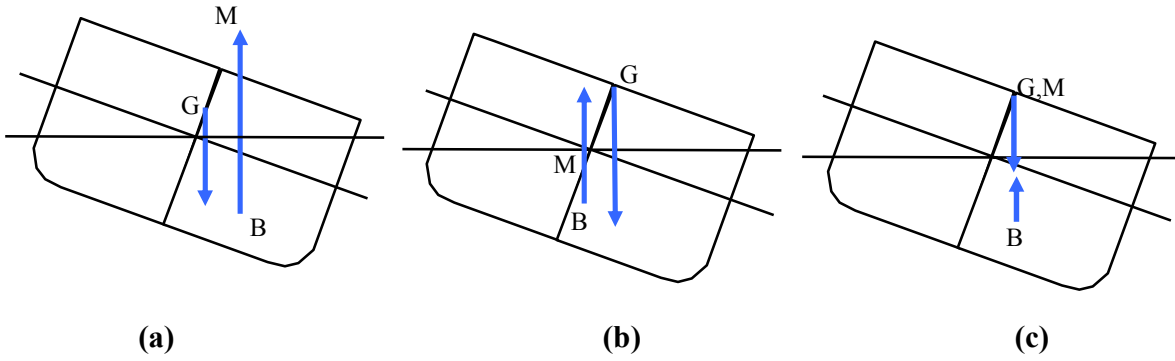
Şekil 5.1. Deplasman tipi bir tekneye etkiyen kuvvetler

Denge koşulu sephiye ve ağırlık merkezlerinin aynı düşey doğru üzerinde olmasını zorunlu kılar. Böylece gemi ağırlık ve sephiye merkezleri aynı düşey doğrultuda olacak şekilde uygun meyil ve trim açılarında yüzecektir. Bu iki merkezin yatay ve boyuna konumları değiştirilerek istenen meyil ve trim açıları elde edilebilecektir.

Genelde bir geminin toplam ağırlığını kesin olarak bilmek genel olarak çok zordur. İnşa sırasında gemiye konan tüm ağırlık grupları liste halinde toplanmakla birlikte pek çok kalem malzeme için kesin ağırlık belirlemek zordur (Örneğin kablolar, boya, mefruşat, kaynak dikişleri gibi). Ağırlık merkezinin düşey ve boyuna konumu ağırlık gruplarının istenen merkezlere göre statik momenti alınarak bulunabilir. İnşa ve denize indirme sonrası yapılan bir meyil deneyi ile ağırlık ve ağırlık merkezinin konumu net olarak belirlenir. Gemilerde genellikle ağırlık merkezinin enine konumu merkez simetri hattı üzerinde bulunur.

5.2 GEMİNİN STATİK BAŞLANGIÇ STABİLİTESİ

Geminin herhangi bir dış kuvvet etkisi altında (örneğin yük yükleme veya boşaltma, su alma, rüzgar, dalga gibi) ağırlık merkezinin konumunun değişmesi durumunda ağırlık ve sephiye merkezleri arasındaki uzaklıktan dolayı bir moment oluşacaktır. Bu momentin etkisiyle sephiye merkezi ağırlık merkezinin yeni konumu ile aynı düşey doğruya gelecek şekilde gemi meyil veya trim yapacaktır. Oluşan moment gemiyi orijinal durumuna geri getirmeye çalışıyorsa Ağırlık ve Deplasman kuvvetleri arasında pozitif GZ moment kolu oluşacaktır. Bu durumu Şekil 5.2.a.'da görülmektedir. Eğer oluşan moment gemiyi yatırmaya çalışıyorsa negatif bir GZ vardır ve Şekil 5.2.b.'de görülen bu durumda oluşan moment gemiyi devirmeye çalışacaktır. Eğer GZ moment kolu 0 ise yani ağırlık ve deplasman kuvvetleri aynı düşey doğru üzerinden etkiyorsa gemi bu meyil açısında dengede kalacaktır. Farksız denge olarak adlandırılan bu durum Şekil 5.2.c.'de görülmektedir.



Şekil 5.2. Deplasman tipi bir tekneye etkiyen kuvvetler

Bu durumda bir deniz aracının dengeli olarak yüzebilmesi için aşağıdaki iki koşulun sağlanması gerektiği ortaya çıkmaktadır:

1. Yüzme koşulu gereği cismin ağırlığı taşıdığı suyun ağırlığına eşit olacaktır yani, $\Delta=W$
2. Pozitif bir doğrultucu moment kolu (GZ) bulunacaktır, yani $GZ \geq 0$, veya $GM \geq 0$.

Bir geminin herhangi bir etken nedeni ile sancak veya iskele yönünde meyil yaptığını düşünelim. Gemi meyil yaptıkça su altı formu ve buna bağlı olarak ta su altı hacim merkezinin konumu değişecek ve geminin toplam ağırlığı ve ağırlık merkezinin konumu sabit kabul edildiğinden ağırlık ve sephiye kuvvetleri arasında bir kuvvet çifti yani moment oluşacaktır. Sephiye merkezinden su hattına çizilen dikin orta simetri eksenini kestiği nokta metasantr noktası olarak adlandırılır ve M harfi ile gösterilir. Metasantr noktası (M) ağırlık merkezinin (G) üstünde ise pozitif bir doğrultucu moment oluşacaktır. Aksi durumda negatif bir devirme momenti oluşacaktır. Metasantr ile ağırlık merkezinin çakışması halinde farksız denge durumu ortaya çıkacaktır. Bu durumda gemiyi doğrultmaya veya devirmeye çalışan moment

$$M_d = \Delta GZ = \Delta GM \sin \phi$$

olacaktır. Burada ϕ meyil açısını göstermektedir. Meyil açısının küçük değerleri için ($3-5^0$) açının tanjantı veya kendisi de kullanılabilir. Bu ifade ancak yaklaşık 10 dereceye kadar olan küçük meyil açıları için geçerli olup daha büyük açılarda güvertenin suya girmesi veya omurganın sudan çıkması nedeniyle M noktasının konumu değişeceği için daha detaylı hesaplar yapmak gerekecektir.

Başlangıç durumunda ve küçük meyil açılarında metasantr yüksekliği sephiye merkezi ve ağırlık merkezinin omurgadan yüksekliği ve metasantr yüksekliği cinsinden aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$GM = KB + BM - KG \geq 0$$

Buradaki KB ve BM değerleri hidrostatik hesaplardan kolayca belirlenebilir. Böylece ağırlık merkezinin omurgadan yüksekliğinin bilinmesi halinde gemide başlangıç stabilitesinin bulunup bulunmadığı ve pozitif stabilite bulunması durumunda bunun aşırı olup olmadığı belirlenebilir.

Yukarıdaki ifade başlangıç stabilitesinin nasıl iyileştirilebileceği konusunda ipuçları vermektedir. Burada hatırlanması gereken bir nokta aşırı yüksek GM değerlerinin her zaman istenmeyeceği ve bazı sakıncaları olabileceğidir. Ağırlık merkezinin omurgadan yüksekliği (KG) başlangıç stabilitesini negatif etkilemektedir. Yani KG'nin düşürülmesi başlangıç stabilitesini iyileştirecektir. Bu amaçla aşağıdakilerden biri uygulanabilir:

- Gemideki bazı ağırlık grupları daha aşağı konumlara indirilebilir
- Geminin ağırlık merkezinden daha aşağı bir konuma ek ağırlık alınabilir (örneğin balast suyu)
- Gemi ağırlık merkezinden daha yukarıda bulunan bazı ağırlık grupları azaltılabilir (Örneğin üst yapıda çelik yerine GRP veya alüminyum gibi hafif malzeme kullanma)
- Gemi içindeki serbest yüzey miktarı azaltılabilir.

Başlangıç stabilitesini olumlu etkileyen KB ve BM değerleri ise tekne geometrisine bağlı olarak iyileştirilebilir. Su hattı katsayısının arttırılması ile elde edilecek V kesitli formlar, düşük prizmatik katsayısı ve voltalı su üstü formu KB'yi yukarı çekecek ve başlangıç stabilitesini iyileştirecektir. Metasantr yarıçapı $BM = \frac{I}{\nabla}$ şeklinde bulunabilir. Burada I su hattı enine atalet momenti olup k_1LB^3 şeklinde ifade edilebilir. Teknenin su altı hacmi de k_2LBT şeklinde ifade edilebileceğinden metasantr yarıçapının genişliğin karesi ile değiştiği ortaya çıkar. Bu durumda başlangıç stabilitesi üzerinde en büyük etkisi olan tekne form parametresinin olarak gemi genişliği olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.3 MEYİL DENEYİ VE SABİT STABİLİTE HESAPLARI

Bitmiş bir geminin ağırlık merkezinin gerçek konumu ve dolayısıyla metasantr yüksekliği (GM) meyil deneyiyle bulunur.

Meyil tecrübesinde kalibre edilmiş ağırlıkların yerleri değiştirilerek bilinen bir meyil yaratılır. Bu momente karşı geminin yaptığı meyil bir sarkaçla ölçülür. Sarkaçla yapılan ölçümde (bk. Şekil 5.3) sarkaç boyu ve sapma miktarı bilindiğinden, θ meyil açısı olmak üzere

$\tan \theta = \text{Sapma miktarı} / \text{sarkaç boyu}$ olarak bulunur .

Meyil momenti $= W \cdot d$ olduğundan ve bu meyil momenti

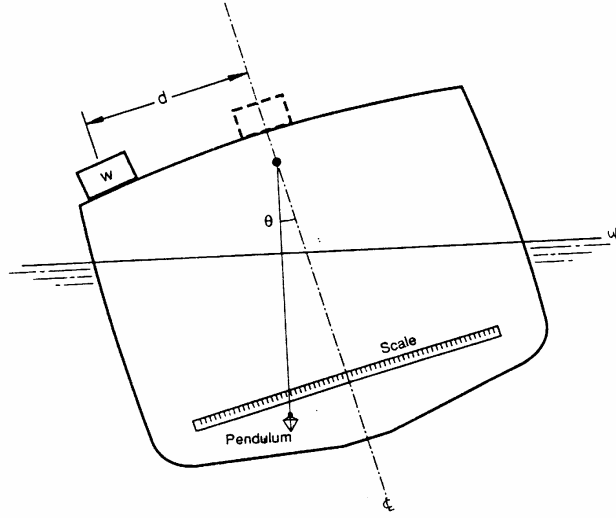
Doğrultma momenti = $\Delta \cdot GZ = \Delta \cdot GM \cdot \sin \theta$ ile karşılanacağından

$W \cdot d = \Delta \cdot GM \cdot \sin \theta$ olur.

Küçük açılar için $\sin \theta \cong \tan \theta \cong \theta$ olduğundan

$$GM = \frac{W \cdot d}{\Delta \cdot \tan \theta}$$

ilişkisinden hesaplanır.



Şekil 5.3 Meyil Deneyi

Meyil deneylerinde ağırlık ilk hareket ettirildiğinde gemi boy eksenini etrafında yalpa (=roll) hareketi yapar ve bu hareket zaman içinde sönümlenerek sabit meyil açısı haline gelir. Yalpa hareketinin doğal periyodunun ölçülmesi de meyil deneyinin bir parçasıdır. Bir geminin doğal yalpa periyodu

$$T \cong \frac{1.108 K}{\sqrt{GM}}$$

ifadesiyle verilir. Burada T yalpa periyodunu ve K geminin jirasyon yarıçapıdır. Gemilerin jirasyon yarıçapı gemi genişliğinin bir yüzdesi cinsinden

$$K = kB$$

olarak ifade edilir ve genelde k katsayısı 0.35 – 0.45 aralığında değer alır. Ortalama değerler kullanıldığında

$$T \cong \frac{0.42 B}{\sqrt{GM}}$$

iyi bir yaklaşık değer verir.

5.4 YARALANMA VE BÖLMELEME

Gemilerin çatışma, karaya oturma, patlama, yanlış yükleme dolayısıyla dış kabuğunun bütünlüğünün bozulması deniz suyunun istek dışında tekne içine girmesi “yaralanma (=flooding)” olarak tanımlanır. Yaralanma sonucunda gemiye giren su hem geminin ağırlığını artırarak fribordunun azalmasına sebep olur ve hem de geminin stabilitesinin yok olması sonucu devrilmesine neden olabilir.

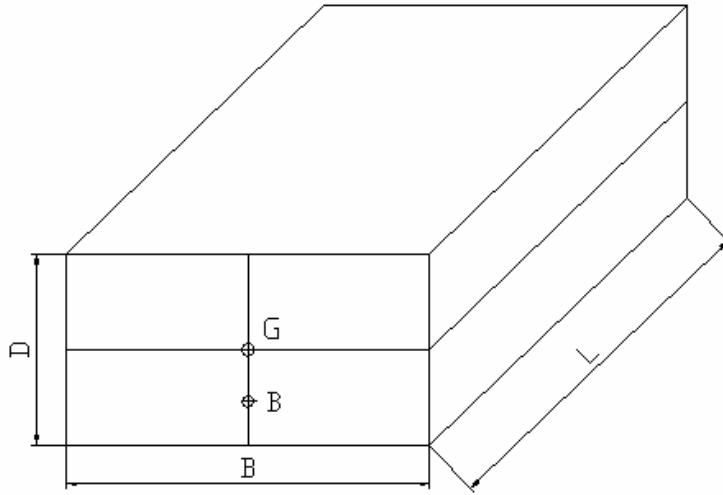
Dolayısıyla geminin bütünlüğünün korunması ve bu bütünlüğünün bozulması sonucunda ortaya çıkacak kötü etkilerin sınırlandırılması için kurallar konulmuş ve geminin sugeçmez bölmelere sahip olması zorunlu hale getirilmiştir. Gemiye bölmelemek için kullanılan su geçmezlik (=water tightness) özelliği istenen bu yapılara su geçmez perdeler denir.

ÖRNEKLER

Örnek 5.1:

Dikdörtgen kesitli homojen bir kütük ρ_1 yoğunluğunda bir malzemeden yapılmış olup boyu L , genişliği B ve derinliği D 'dir. Bu kütüğün yoğunluğu ρ_0 olan bir sıvıda dengeli olarak yüzebilmesi için

- B/D ile ρ_1 / ρ_0 arasında nasıl bir bağıntı olmalıdır.
- $B/D = 1$ ise ρ_1 / ρ_0 oranı ne olmalıdır
- $\rho_1 / \rho_0 = 0.5$ ise B/D oranı ne olmalıdır



Çözüm :

- Yüzme koşulu gereği $\Delta = W$ olmalıdır. Buradan $LBT \rho_0 = LBD \rho_1$ yazılabilir.

$$\frac{T}{D} = \frac{\rho_1}{\rho_0} \quad (1)$$

Denge koşulu gereği $GM > 0$ olmalıdır . Buradan

$$GM = KB + BM - KG > 0$$

$$KB = \frac{T}{2} \quad KG = \frac{D}{2} \quad BM = \frac{I}{V} = \frac{\frac{LB^3}{12}}{LBT} = \frac{B^2}{12T}$$

$$GM = \frac{T}{2} + \frac{B^2}{12T} - \frac{D}{2} > 0 \quad \Rightarrow \quad GM = \frac{6T^2 + B^2 - 6DT}{12T} > 0$$

T sıfır olamayacağından

$$6T^2 + B^2 - 6DT > 0 \quad \text{şartı sağlanmalıdır .}$$

(1) ifadesinin yerine konulmasıyla aşağıdaki ifade elde edilir .

$$6D^2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^2 + B^2 - 6D^2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right) > 0$$

Her iki tarafı D^2 ile bölersek

$$\frac{B^2}{D^2} > 6 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right) - 6 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{B}{D} > \sqrt{6 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right) \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_0} \right)}$$

$$\text{b) } B/D=1 \quad \Rightarrow \quad 1 > 6 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right) \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_0} \right)$$

$\rho_1 / \rho_0 = t$ diyelim . Bu durumda $A = 6t^2 - 6t + 1 > 0$ denklemi elde edilir . Bu denklemin kökleri

$$t_1 = 0.21 \quad t_2 = 0.79$$

$\frac{T}{D} \leq 1$ olması gerektiğinden $\frac{\rho_1}{\rho_0} = t \leq 1$ olmalıdır . Bu durumda denge koşulu aşağıdaki aralıklarda sağlanabilir :

$$0 < \frac{\rho_1}{\rho_0} < 0.21 \quad \text{ve} \quad 0.79 < \frac{\rho_1}{\rho_0} < 1$$

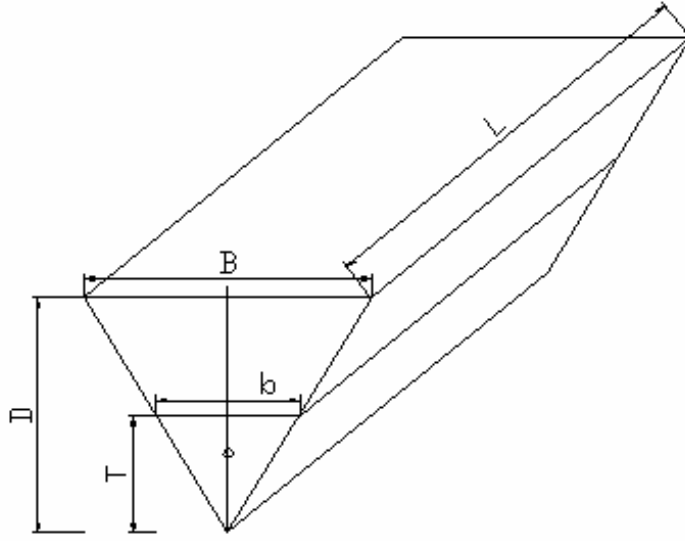
$$\text{c) } \rho_1 / \rho_0 = 0.5 \text{ ise}$$

$$\frac{B}{D} > \sqrt{6 \left(\frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{1}{2} \right)} \quad \Rightarrow \quad \frac{B}{D} > \sqrt{\frac{3}{2}}$$

Örnek 5.2 :

İkizkenar üçgen kesitli homojen bir kütük ρ_1 yoğunluğunda bir malzemeden yapılmış olup boyu L , genişliği B ve derinliği D 'dir . Bu kütüğün yoğunluğu ρ_0 olan bir sıvıda dengeli olarak yüzebilmesi için

- a) B/D ile ρ_1 / ρ_0 arasında nasıl bir bağıntı olmalıdır .
- b) $B/D = 2$ ise ρ_1 / ρ_0 oranı nedir



Çözüm :

a) Yüzme koşulu gereği $\Delta = W$ olmalıdır . Buradan

$$\frac{1}{2} L b T \rho_0 = \frac{1}{2} L B D \rho_1 \Rightarrow b T \rho_0 = B D \rho_1$$

$$\frac{b}{T} = \frac{B}{D} \Rightarrow b = \frac{B T}{D}$$

b değerinin yukarıdaki ifadede yerine konması ile

$$\frac{B T}{D} T \rho_0 = B D \rho_1$$

$$\frac{T^2}{D^2} = \frac{\rho_1}{\rho_0} \Rightarrow \frac{T}{D} = \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_0}} \quad (1)$$

Denge koşulu gereği $GM > 0$ olmalıdır . Buradan

$$KB = \frac{2T}{3} \quad KG = \frac{2D}{3} \quad BM = \frac{I}{V} = \frac{\frac{Lb^3}{12}}{\frac{1}{2}LbT} = \frac{b^2}{6T} = \frac{B^2T^2}{6D^2} = \frac{TB^2}{6D^2}$$

$$GM = \frac{2T}{3} + \frac{TB^2}{6D^2} - \frac{2D}{3} > 0 \Rightarrow \frac{TB^2}{6D^2} > \frac{2}{3}(D-T) \Rightarrow \frac{B^2}{D^2} > 4\left(\frac{D}{T} - 1\right)$$

(1) ifadesi yerine konursa

$$\frac{D}{T} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}} \Rightarrow \frac{B}{D} > 2\sqrt{\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}} - 1}$$

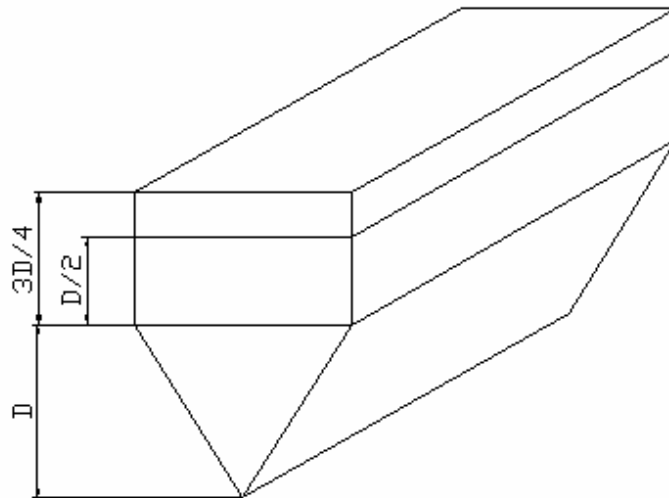
b) $B/D=2$ ise

$$2 > 2\sqrt{\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}} - 1} \Rightarrow 2 > \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}} \Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_0} > 0.25$$

$T < D$ olması gerektiğinden $\rho_1 < \rho_0$ olmalıdır ve buradan $0.25 < \frac{\rho_1}{\rho_0} < 1$ koşulu elde edilir .

Örnek 5.3

Boy L , genişliği B , derinliği D olan ρ_1 yoğunluğunda bir malzemeden yapılmış ikizkenar üçgen kesitli homojen bir kütük üzerine aynı boy ve genişlikte ve $3D/4$ derinlikte $\rho_1/2$ yoğunlukta malzemeden yapılmış dikdörtgen kesitli bir kütük eklenmektedir . Sistemin yoğunluğu ρ_0 olan bir sıvı içinde $3D/2$ su çekimi ile yüzebilmesi için gerekli B/D ve ρ_1/ρ_0 oranları nedir ?



a) Yüzme koşulu gereği $\Delta = W$ olmalıdır . Buradan

$$\Delta = \frac{1}{2} LBD\rho_0 + \frac{1}{2} LBD\rho_0 = LBD\rho_0$$

$$W = \frac{1}{2} LBD\rho_1 + \frac{3}{4} LBD\frac{\rho_1}{2} = \frac{7}{8} LBD\rho_1$$

$$LBD\rho_0 = \frac{7}{8} LBD\rho_1 \Rightarrow \frac{\rho_0}{\rho_1} = \frac{7}{8}$$

Denge koşulu gereği $GM > 0$ olmalıdır . Buradan

$$KB = \frac{\nabla_1 KB_1 + \nabla_2 KB_2}{\nabla_1 + \nabla_2} = \frac{\frac{1}{2} LBD \times \frac{2}{3} D + \frac{1}{2} LBD \times \left(D + \frac{D}{4} \right)}{LBD} = \frac{23}{24} D$$

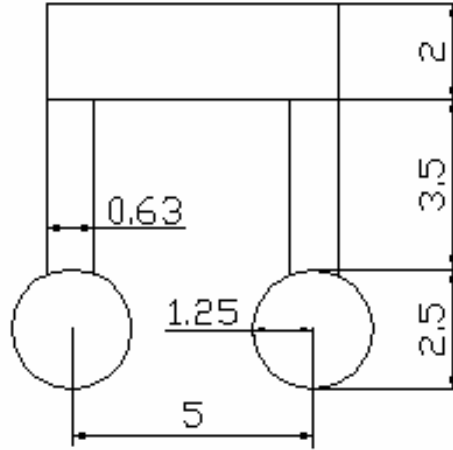
$$KG = \frac{W_1 KG_1 + W_2 KG_2}{W_1 + W_2} = \frac{\frac{1}{2} LBD\rho_1 \times \frac{2}{3} D + \frac{3}{8} LBD\rho_1 \times \left(D + \frac{\frac{3D}{4}}{2} \right)}{\frac{1}{2} LBD\rho_1 + \frac{3}{8} LBD\rho_1} = \frac{163}{168} D$$

$$BM = \frac{I}{\nabla} = \frac{\frac{LB^3}{12}}{LBD} = \frac{B^2}{12D}$$

$$GM = KB + BM - KG = \frac{23}{24} D + \frac{B^2}{12D} - \frac{163}{168} D > 0 \Rightarrow \frac{B^2}{12D^2} > \frac{1}{84} \Rightarrow \frac{B}{D} > \sqrt{\frac{1}{7}}$$

Örnek 5.4 :

25 m. boyundaki SWATH tipi bir teknenin deplasmanı 300 tondur . Teknenin en kesiti aşağıdaki şekilde olup ağırlık merkezinin omurgadan yüksekliği $KG = 1.85$ metre ve deniz suyu yoğunluğu 1.025 t/m^3 olarak verilmektedir . Bu teknenin dengeli olarak yüzebileceğini gösterin



Öncelikle teknenin yüzdüğü su hattını belirleyelim .

$$(\pi r^2 + h \times 0.63) \times 2 \times L \times \rho = 300 \Rightarrow h = 1.5 \text{ m.}$$

$$T = 2 \times r + h = 2.5 + 1.5 = 4.0 \text{ m.}$$

Denge koşulu gereği $GM > 0$ olmalıdır . Buna göre

$$KB = \frac{\nabla_1 KB_1 + \nabla_2 KB_2}{\nabla_1 + \nabla_2} = \frac{2 \times L \times (\pi \times 1.25^2 \times 1.25 + 1.5 \times 0.63 \times (2.5 + 1.5/2))}{2 \times L \times (\pi \times 1.25^2 + 1.5 \times 0.63)} = 1.573$$

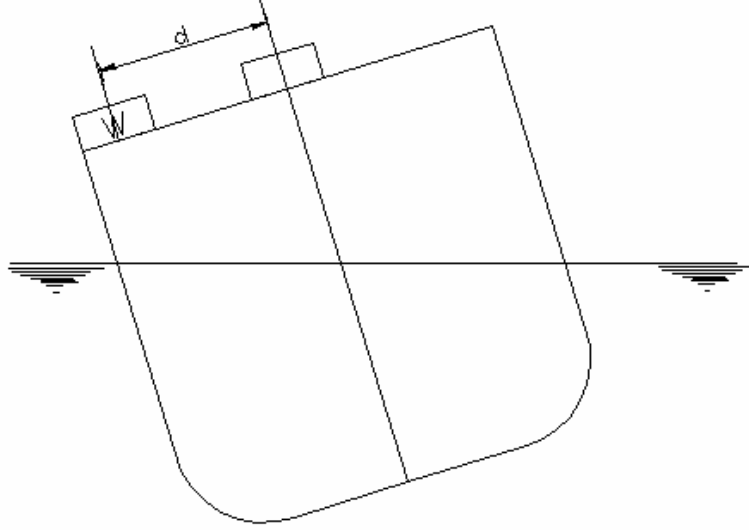
$$BM = \frac{I}{\nabla} = \frac{\left[\frac{25 \times 0.63^3}{12} + 25 \times 0.63 \times 2.5^2 \right] \times 2}{300/1.025} = 0.676 \text{ m.}$$

$$GM = KB + BM - KG = 1.573 + 0.676 - 1.85 = 0.4 \text{ m.}$$

$GM > 0$ olduğundan tekne dengeli olarak yüzebilir .

Örnek 5.5 :

Deplasmanı 5000 ton ve kalıp genişliği 14m. olan bir kimyasal tankerin ağırlık merkezinin konumunu belirlemek amacıyla meyil deneyi yapılmıştır . Deney sırasında 5m. uzunluğunda bir sarkaç ve 6 ton ağırlığında bir çelik blok kullanılmıştır . Blok bulunduğu konumdan 6m. iskele yönünde hareket ettirilince sarkaç 60 mm. sapmıştır . Bu durumda geminin metasantr yüksekliğini ve doğal yalpa periyodunu bulunuz .



$$\tan \theta = \text{Sapma miktarı} / \text{sarkaç boyu} = 0.06 / 5 = 0.012$$

Geminin metasantr yüksekliği ;

$$GM = \frac{W \cdot d}{\Delta \cdot \tan \theta} = \frac{6 \times 6}{5000 \times 0.012} = 0.6 \text{ m.}$$

Doğal yalpa periyodu ;

$$T \cong \frac{0.42 B}{\sqrt{GM}} = \frac{0.42 \times 14}{\sqrt{0.6}} = 7.59 \text{ olarak bulunur .}$$