

### 3. ÖN DİZAYNDA AĞIRLIK HESABI

Her türlü geminin dizaynında gemiyi oluşturan ağırlıkların ön dizayn aşamasında doğru olarak hesaplanması geminin tekno-ekonomik performans kriterlerinin belirlenmesinde son derece önemlidir .

Herhangi bir deniz aracı aşağıdaki eşitliği sağlamak zorundadır .

$$\Delta = \sum W_i$$

Burada  $\Delta$  geminin deplasman kuvveti ve  $\sum W_i$  gemideki ağırlıkların toplamıdır .

Bir ticari gemi için toplam ağırlık dağılımı şöyle olacaktır .

$$\Delta = W_{LS} + DWT$$

Burada  $W_{LS}$  geminin light ship ağırlığı , DWT ise deadweight tonajı olup geminin yük taşıma kapasitesini gösterir . Geminin light ship ağırlığı aşağıdaki gibi gruplanabilir .

$$W_{LS} = W_s + W_m + W_o$$

Burada  $W_s$  tekne ağırlığı ,  $W_m$  makine ağırlığı ve  $W_o$  donanım ağırlığını göstermektedir . Gemide normal olarak taşınan yakıt ve su ağırlıkları deadweight tonaja dahil olacaktır . Savaş gemilerinde ağırlık dağılımı

$$\Delta = W_{LS} + W_p$$

şeklinde olacaktır . Burada  $W_{LS}$  yukarıdaki gibi geminin light ship ağırlığını gösterir .  $W_p$  ise payload tonajı olup gemideki tüm silah ve sensör sistemlerini kapsar .

#### 3.1 Çelik tekne ağırlığı

Tekne ağırlığını oluşturan başlıca elemanlar ; omurga kaplama levhaları , boyuna ve enine postalar , derin postalar , kemere ve stifnerler , braketler , çift dip , perdeler , ambar ağızları , makine temelleri ve üst binalarıdır .

Bir geminin çelik tekne ağırlığını belirlemek için en sağlıklı yöntem inşada kullanılan tüm malzemelerin ağırlıklarını ölçerek toplam ağırlıklarının bulunmasıdır . Ancak bu yöntem inşaa işleminin sona ermesi ile bir sonuç verebilir ve daha inşaanın başlamış olduğu ön dizayn aşamasında kullanılmaz . Ön dizayn aşamasında kullanabilecek iki yöntem vardır . Bunlardan birincisinde yeni gemiye olabildiğince benzer ve ağırlık özellikleri bilenen bir gemi bulunur ve değişik benzerlik yasaları ile eski geminin özelliklerinden yararlanarak yeni geminin ağırlık grupları belirlenir . Bu yöntemi uygulayabilmek için gemiler tip boyut ve form olarak birbirlerine oldukça yakın olmalıdır aksi durumda çok yanıltıcı sonuçlar elde edilecektir . İkinci yöntem ise daha önce inşa edilmiş gemilere ait ağırlık özelliklerinin gemi boyutlarının fonksiyonu olarak ampirik formüllerle ifade edilmesidir . Birinci yöntemdeki benzerlik oranları iki ayrı şekilde oluşturulabilir .

#### **Kübik sayı (LBD) benzerliği :**

Bu yaklaşımda tekne ağırlığının kübik sayı (LBD) ile orantılı olduğu kabul edilir .

$$W_s = c_N LBD$$

Burada  $c_N$  kübik sayı katsayısı olup birim hacminin ağırlığını gösterir . Böylece çelik tekne ağırlığı bilinen benzer gemiden hareket edilerek yeni geminin çelik tekne ağırlığı aşağıdaki formülle bulunabilir .

$$W_s = c_N LBD = W_{s0} \frac{LBD}{(LBD)_0}$$

#### **Kuadratik sayı benzerliği :**

Bu yaklaşımda çelik tekne ağırlığının aşağıdaki şekilde kabul edilebileceği kabul edilmektedir .

$$W_s = c_Q L(B + D)$$

Burada  $c_Q$  kuadratik katsayıdır . Bu durumda çelik tekne ağırlığı bilinen gemiden hareket edilerek yeni geminin çelik tekne ağırlığı aşağıdaki şekilde bulunabilir .

$$W_s = c_Q L (B + D) = W_{s0} \frac{L (B + D)}{[L (B + D)]_0}$$

Benford (1967) kübik sayı benzerliği esasına göre aşağıdaki bağıntıyı önerir .

$$W_s = c_N \left( \frac{L B D}{10000} \right)^{0.9} \times c_1 \times c_2 \times c_3$$

Burada ;

$$c_1 = 0.675 + C_B / 2$$

$$c_2 = 1 + 0.36 (L_s / L) \quad L_s : \text{üst yapı boyu}$$

$$c_3 = 0.006 (L/D - 8.3)^{1.8} + 0.939$$

$$c_N = 340$$

Yukarıdaki bağıntıda L , B, D , L<sub>s</sub> feet cinsinden alınacaktır .

Watson – Gilfillan (1976) kuadratik benzerlikten hareketle gemi çelik ağırlığı için aşağıdaki genel formülü önerirler .

$$W_s = K \cdot E^{1.36}$$

Burada E parametresi şöyle hesaplanır .

$$E = L(B + T) + 0.85 L (D - T) + 0.85 \sum l_1 h_1 + 0.75 \sum l_2 h_2$$

Burada l<sub>1</sub> ve h<sub>1</sub> bordadan bordaya uzanan üst yapıların boy ve yüksekliği , l<sub>2</sub> ve h<sub>2</sub> ise güverte evlerinin boy ve yüksekliğidir . K katsayısı değişik gemi tipleri için aşağıdaki şekilde önerilir .

Gemi Tipi	K	E
Tanker	0.029 – 0.035	1500 - 40000
Kimyasal Tanker	0.036 – 0.037	1900 – 2500
Dökme Yük	0.029 – 0.032	3000 - 15000
Konteyner	0.033 – 0.040	6000 - 13000
Yük Gemisi	0.029 – 0.037	2000 - 7000
Koster	0.027 – 0.032	1000 - 2000
Romorkör	0.044	350 - 450
Balıkçı	0.041 – 0.042	250 - 1300
Ferry	0.024 – 0.037	2000 - 5000
Yolcu Gemisi	0.037 – 0.038	5000 - 15000

Kafalı (1988) çelik tekne için aşağıdaki bağıntıyı önerir

$$W_s = C_s N \left[ 1 + \frac{2}{3}(C_B - 0.70) \right] \left[ 1 + 0.4 \frac{l_1}{L} + 0.25 \frac{l_2}{L} \right]$$

$C_s$  katsayısı aşağıdaki şekilde verilir :

$$C_s = [0.210 - 0.026 \log_{10} N] \cdot \left[ 1 + 0.025 \left( \frac{L}{D} - 12 \right) \right]$$

Burada

$L$  : Gemi boyu [m.] ,  $B$  : Gemi genişliği [m.] ,  $D$  : Gemi derinliği [m.]

$C_B$  : Blok katsayısı ,  $N$  :  $L B D \text{ m}^3$

$l_1$  : Ana güverte üzerindeki üst binaların etkin boyu .

$l_2$  : İkinci güverte üzerindeki üst binaların etkin boyu .

Çelik tekne ağırlığını hesaplamak için önerilen diğer bir yaklaşım da Klas kuruluşları tarafından belirlenen minumum orta kesit mukavemet modüllerinden hareket etmektir . Bu tip bir bağıntı büyük tankerler için Johnson-Hagen-Overbo (1967) tarafından önerilmiştir .

$$W_s = 4.04 c Z^{0.65} L \left( 1.108 - 0.016 \frac{L}{B} \right) \frac{22.8}{35.8 - \frac{L}{D}} \frac{35.9}{14 + \frac{L}{D}} \left( 1.120 - 0.0163 \frac{L}{D} \right)$$

Burada  $c = 1 + 0.73 \sqrt{L}$  olup Norveç Loydu (DNV) tarafından büyük tankerlerde istenen minumum orta kesit mukavemet modülü aşağıdaki şekildedir .

$$Z = 2.1 F L^2 B (C_B + 0.7) / 10^6$$

Buradaki F değeri aşağıdaki tablodan interpolasyonla bulunacaktır .

L [m.]	F	L [m.]	F	L [m.]	F
90	4.12	170	4.93	250	5.52
100	4.24	180	5.02	260	5.57
110	4.36	190	5.10	270	5.61
120	4.48	200	5.18	280	5.64
130	4.57	210	5.26	290	5.66
140	4.67	220	5.33	300	5.68
150	4.76	230	5.40	310	5.69
160	4.84	240	5.47	> 320	5.70

Geminin çelik tekne ağırlığını bulabilmek için önerilen bazı diğer bağıntılar aşağıda verilmiştir .

### **Yük gemisi :**

$$\text{Kafalı} : W_s = \frac{\Delta^{\text{Log}7.3}}{1.615} \quad \text{DWT} < 30000$$

$$\text{Hadler} : W_s = L^{1.16} B^{0.7} D^{0.5}$$

$$\text{Wehkamp / Kerlen} : W_s = 0.0832 \cdot X \cdot e^{-5.73 \cdot X \cdot 10^{-7}}$$

$$\text{Burada } X = \frac{L_{BP}^2 B}{12} \cdot C_B^{1/3}$$

$$\text{Carryette} : W_s = C_B^{2/3} \frac{L B}{6} D^{0.72} \left[ 0.002 \left( \frac{L}{D} \right)^2 + 1 \right]$$

### **Tanker :**

$$\text{Kafalı} : W_s = \frac{\Delta^{\text{Log}10.6}}{7.231} \quad \text{DWT} < 30000$$

$$\text{Det Norske Veritas} : W_s = \Delta \left[ \alpha_L + \alpha_T \left( 1.009 - 0.004 \frac{L}{B} \right) \cdot 0.06 \left( 28.7 - \frac{L}{D} \right) \right]$$

Burada ;

$$\alpha_L = \frac{\left( 0.054 + 0.004 \frac{L}{B} \right) 0.97}{0.189 \left( 100 \frac{L}{D} \right)^{0.78}}$$

$$\alpha_T = 0.029 + 0.00235 \frac{\Delta}{100000}$$

Yukarıdaki bağıntı  $L/D = 10 - 14$  ,  $L/B = 5 - 7$  ,  $L=150 - 480$  m. arasında geçerlidir.

$$\text{Sato} : W_s = 10^{-5} \left[ \frac{C_B}{0.8} \right]^{1/3} \left[ 5.11 \frac{L^{3.3} B}{D} + 2.56 L^2 (B + D)^2 \right]$$

Yukarıdaki bağıntı 150000 – 300000 ton arasındaki süper tankerler için geçerlidir .

### **Konteyner :**

$$\text{Chapman : } W_s = 0.07 L_{BP}^{1.759} B^{0.712} D^{0.374}$$

$$\text{Miller : } W_s = 340 \left( \frac{LBD}{100000} \right)^{0.9} \left( 0.675 + \frac{C_B}{2} \right) \left[ 0.00585 \left( \frac{L}{D} - 8.3 \right)^{1.8} + 0.939 \right]$$

### **Dökme Yük :**

$$\text{Murray : } W_s = 0.0266 L_{BP}^{1.65} \left( B + D + \frac{T}{2} \right) (0.5 C_B + 0.4) / 0.8$$

Burada L feet cinsinden alınacaktır .

Kupras :

$$W_s = 3.28 c Z^{0.69} L \left( 1.104 - 0.016 \frac{L}{B} \right) \left( 0.53 + 0.04 \frac{L}{D} \right) \left( 1.98 - 0.04 \frac{L}{D} \right) \left( 1.146 - \frac{L}{D} \right)$$

Burada Z minumum orta kesit modülü olup aşağıdaki şekilde verilmektedir .

$$Z = 2.1 F L^2 B (C_B + 0.7) / 10^6$$

$L < 240$  m. için

$$F = 3.0408175 + 0.014826515 L - 0.0000173469 L^2$$

$240 \leq L \leq 300$  için

$$F = 1.32 + 0.0298333 L - 0.00005 L^2$$

$L > 300$  m. için

$F = 5.77$  alınacaktır .

$c = 1.0 + 0.73 / \sqrt{L}$  olarak verilmiştir .

### 3.2 Ana Makine Ağırlığı

Bu gruba makine dairesi içinde yer alan ana ve yardımcı makineler ile bunlara ait donanım girmektedir . Bu donanım içinde en önemlileri ; yakıt ve yağlama sistemi ve pompaları , hava şişe ve kompresörleri , jeneratör ile pervane şaft sistemidir .

Deniz araçlarında kullanılan ana makine tipleri şunlardır .

1. Doğrudan bağlantılı yavaş devirli dizeller
2. Redüksiyonlu orta devirli dizeller
3. Redüksiyonlu buhar türbinleri
4. Dizel-elektrik motoru
5. Gaz türbini
6. Nükleer güç

Değişik gemi tiplerine ait güç taşıma kapasitesi bağıntıları aşağıda verilmiştir .

Yük gemileri ve kosterler	0.4 - 0.6 kW / t
Hızlı yük gemileri	0.7 - 1.1 kW / t
Hızlı konteyner gemileri	0.7 - 2.0 kW / t
Süper Tankerler	0.08 - 0.09 kW / t
Romorkörler	4.0 – 5. 0 kW / t

Dizel makine ağırlığı için devir sayısına ve güce bağlı olarak aşağıdaki ampirik formüller önerilmiştir .

$$W_m = 9.38 \left[ \frac{\text{BHP}}{\text{RPM}} \right]^{0.84} \quad \text{Watson ve Gilfillan}$$

$$W_m = 8.8 P_B^{0.3} \quad \text{Watson ve Gilfillan}$$

$$W_m = \frac{\text{BHP}}{18} + 300 \quad \text{Barras}$$

$$W_m = \frac{P_B}{13.5} + 300 \quad \text{Barras}$$

$$W_m = \frac{5.2 \text{ BHP}}{N} \quad N [ \text{dev / dak} ] \quad \text{Kafalı}$$



$$W_m = P_B (895 - 0.0025 P_B) / 10^4$$

Kupras

Burada BHP beygir gücü ve  $P_B$  KW cinsinden makine gücüdür .

Yardımcı makinelerin ağırlığı için aşağıdaki bağıntılar önerilir .

$$W_{YM} = 0.56 (BHP)^{0.70}$$

Yük ve dökme yük

$$W_{YM} = 0.59 (BHP)^{0.70}$$

Tanker

$$W_{YM} = 0.65 (BHP)^{0.70}$$

Yolcu ve ferry

Pervane ile ana makine arasındaki şaftın çapı aşağıda verilen bağıntıyla bulunabilir .

$$d = 11.5 \left( \frac{P_D}{n} \right)^{1/3}$$

Burada  $d$ [cm.] şaft çapı ,  $P_D$ [kW] makine gücüne  $n$  [dev / dak ] devir sayısıdır . Buna göre şaftın birim boy ağırlığı , kullanılan çeliğin gerilme mukavemetinin  $700 \text{ N/mm}^2$  olduğu kabulü ile aşağıdaki denkleme eşit olacaktır .

$$W_s [t/m] = 0.081 \left( \frac{P_D}{n} \right)^{2/3}$$

Normal bronz pervanelerin ağırlığını bulabilmek için aşağıdaki formül kullanılabilir .

$$W_p = K D^3$$

Burada  $D$ [m.] pervane çapı olup  $K$  katsayısı Schneekluth (1987) tarafından sabit hatveli pervaneler için aşağıdaki şekilde verilmiştir .

$$K = 0.18 \frac{A_E}{A_o} - \frac{Z-2}{100}$$

Burada  $Z$  kanat sayısıdır .

Hatvesi kontrollü pervanelerde ticari gemilerde  $K = 0.12 - 0.14$  ve askeri gemilerde  $K = 0.21 - 0.25$  değerleri önerilmektedir .

### 3.3 Donanım ağırlığı

Bu gruba giren temel ağırlık grupları ; ambar kapakları , vinçler , demirleme donanımı , kuzine donanımı , ısıtma-soğutma ve havalandırma donanımı , boru ve elektrik sistemleri , yangın söndürme donanımı , her türlü mefruşat ve can kurtarma flika ve sistemleridir . Ön dizayn aşamasında donanımın ağırlığını hesaplamak için aşağıdaki yaklaşık formüller önerilmektedir .

$$W_o = 0.18 N^{0.8}$$

Kafalı

$$W_o = (4.7 - 0.0034 L) \frac{LB}{100}$$

Benford

$$W_o = k L^{1.3} B^{0.8} D^{0.3}$$

Katsoulis

$$k = 0.045$$

Dökme yük gemileri ve Tankerler

$$k = 0.065$$

Kuru yük gemileri

$$W_o = 0.45 L B$$

Watson - Gilfillan

$$W_o = 277 + 0.115 L B$$

Kupras ( Dökme yük)

$$W_o = 0.15 (0.00986 LB)^{1.60}$$

Mandel

Schneekluth (1987) her türlü yük gemisi için şu genel formu önerir .

$$W_o = K L B$$

Burada K katsayısı yük gemileri için 0.40-0.45 t/m<sup>3</sup> , konteyner gemileri için 0.34 – 0.38 t/m<sup>3</sup> , 140 metreye kadar olan ve vinç donanımı bulunmayan dökme yük gemileri için 0.22-0.25 t/m<sup>3</sup> , boyu 250 metre civarında olan ve vinç donanımı bulunmayan dökme yük gemileri için 0.17 – 0.18 t/m<sup>3</sup> , 150 m. civarındaki tankerler için 0.28 t/m<sup>3</sup> ve 300 metreden uzun tankerler için 0.17 t/m<sup>3</sup> alınacaktır .

Yolcu gemilerinde donanım ağırlığı Schneekluth tarafından önerilen şu formülle hesaplanabilir .

$$W_o = K \sum \nabla$$

Burada  $\sum \nabla$  geminin kapalı hacmi olup K katsayısı 0.036 – 0.039 t/m<sup>3</sup> arasında alınacaktır . Feriler için K katsayısı 0.04 – 0.05 t/m<sup>3</sup> arasında alınacaktır .

Dondurulmuş yiyecek maddesi taşıyan gemilerde özel soğutma gerekleri nedeniyle donanım ağırlığı artacaktır . Carryette ön dizayn aşamasında kullanılmak üzere şu formülü önerir .

$$W_o = 550 \left( \frac{L}{100} \right)^2 + 163 \left( \frac{\nabla}{1000} \right)^{2/3}$$

Burada  $\nabla$  geminin yalıtılmış ambar hacmidir .

### **3.4 Yakıt Ağırlığı**

$$W_F = \frac{1.016 R P_s F_R}{1000 V}$$

Burada

$$F_R = \frac{0.2265 P_s}{P_s - 855}$$

R : Geminin mil olarak seyir çapı

P<sub>s</sub> : Şaft beygir gücüdür

## Örnek :

Aşağıda boyutları verilen kuru yük gemisinin çelik tekne ve donanım ağırlıklarını bulunuz .

Kaimeler arası boy  $L_{BP} = 60 \text{ m.}$

Kalıp genişliği  $B = 10 \text{ m.}$

Kalıp derinliği  $D = 5 \text{ m.}$

Draft  $d = 3.8 \text{ m.}$

Blok katsayısı  $C_B = 0.7$

Deplasman  $\Delta = 1600 \text{ ton}$

Ana güverte üzerindeki binaların etkin boyu  $l_1 = 6 \text{ m.}$

İkinci güverte üzerindeki üst binaların boyu  $l_2 = 3 \text{ m.}$

### Yaklaşık olarak çelik tekne ağırlığının bulunması

Kafalı :

$$W_s = \frac{\Delta^{\text{Log}7.3}}{1.615} = \frac{(1600)^{\text{Log}7.3}}{1.615} = 361.4 \text{ ton}$$

Kafalı :

$$W_s = C_s N \left[ 1 + \frac{2}{3}(C_B - 0.70) \right] \left[ 1 + 0.4 \frac{l_1}{L} + 0.25 \frac{l_2}{L} \right]$$

$$N = L B D = 60 * 10 * 5 = 3000 \text{ m}^3$$

$$C_s = [0.210 - 0.026 \text{Log}_{10} N] \cdot \left[ 1 + 0.025 \left( \frac{L}{D} - 12 \right) \right] = 0.1196$$

$$W_s = 0.1196 * 3000 * (1 + 0) * (1 + 0.4 * (6/60) + 0.25 * (3/60)) = 377.6 \text{ ton}$$

Carryette :

$$W_s = C_B^{2/3} \frac{L B}{6} D^{0.72} \left[ 0.002 \left( \frac{L}{D} \right)^2 + 1 \right] = 0.7^{2/3} \frac{60 \times 10}{6} 5^{0.72} \left[ 0.002 \left( \frac{60}{5} \right)^2 + 1 \right]$$
$$= 323.5 \text{ ton}$$

**Donanım ağırlığının bulunması :**

Kafalı :

$$W_o = 0.18 N^{0.8} = 0.18 3000^{0.8} = 108.9 \text{ ton}$$

Benford :

$$W_o = (4.7 - 0.0034 L) \frac{L B}{100} = (4.7 - 0.0034 * 60) \frac{60 * 10}{100} = 27 \text{ ton}$$

Watson – Gilfillan :

$$W_o = 0.45 L B = 0.45 * 60 * 10 = 270 \text{ ton}$$

Katsoulis :

$$W_o = 0.065 * 60^{1.3} * 10^{0.8} * 5^{0.3} = 136.2 \text{ ton}$$