GEMİ ELEMANLARI DERS NOTLARI

1. Hafta

Bir geminin yapısal elemanlarının boyutları klas kuruluşlarının kurallarını uygulayarak veya temel mukavemet ilkeleri yardımıyla belirlenebilir. Genel olarak gemi yapısı levha ve kabuklar ile bunları destekleyen stifnerlerden oluşur. Örneğin çok tipik bir stifner olan güverte kemeresini ele alalım. Alman Loydu (GL) kurallarına göre, bir enine güverte kemeresinin gerekli kesit modülü değeri aşağıdaki formül yardımıyla bulunabilir:

Wd = *m·c·a·p·l2·k* [cm3]

Bu fomülde, “*a*” postalar (güverte kemereleri) arası mesafedir [m]; “*l*” [m] desteklenmeyen açıklıktır (bir başka deyişle kemerelerin uçlarındaki mesnetler arası mesafedir); “*p*” güverteye etki eden düzgün yayılı basınç yüküdür [kN/m2]; “*k*” çelik malzemenin cinsine bağlı (birimsiz) bir sayıdır; “*c*” kemerelerin uçlarındaki mesnet tipine bağlı bir katsayıdır; “*m*” levha paneli kenar oranına (levhanın kenarlarından stifnerler ile sınırlanmış alanı genellikle bir dikdörtgen şeklindedir) bağlı olarak değişen (birimsiz) bir sayıdır. Formülün sadece çelik malzemeyle inşa edilen yapılar için geçerli olduğuna dikkat edilmelidir.

Yukarıda verilen formül dikkatlice incelenirse şu sonuçlar çıkarılabilir:

i) Bu, birim analizinin uygulanamayacağı bir ampirik formüldür. Gerçekten de, parametreler kuralın istenildiği birimlerde uygulandığında [kN·m] boyutunda bir değer elde edilmesi beklenirken, sonucun [cm3] cinsinde olduğu anlaşılmaktadır.

ii) Alman Loydu’nun (GL) sağlanmasını beklediği gerekli kesit modülü değeri (Wd) aşağıdaki dört faktöre bağlıdır:

- *p:* Dış yükler (basınç yükleri veya tekil-konsantre yükler)

- *l:* Desteklenmeyen açıklığın uzunluğu

- *c:* Sınır koşulları (uçlardaki mesnetlerin cinsi)

- *k:* Kullanılan çelik malzemenin cinsi (düşük, normal veya yüksek mukavemetli çelik)

Aslında, formülde açıkça göremediğimiz fakat sonucu etkileyen bir faktör daha vardır: Emniyet katsayısı. Bu formül elde edilirken kullanılmış olan emniyet katsayısı değerini öğrenmek için bir inceleme yapmak gerekir.

Yukarıda bahsedilen güverte kemeresinin en kesit boyutları temel mukavemet ilkeleri yardımıyla da bulunabilir. Genel olarak, bir yapısal elemanda oluşacak olan en büyük gerilmenin, o elemanın üretildiği malzeme için belirlenmiş bir değerden daha düşük olması gerektiği söylenebilir. Örneğin, yapısal elemanın herhangi bir noktasında oluşan en büyük normal gerilme değeri (σmax), yapı malzemesinin emniyetle dayanabileceği bir normal gerilme değerini (σSAFE) aşmamalıdır:

σmax ≤ σSAFE

Veya, yapısal elemanın herhangi bir noktasında oluşan en büyük kayma gerilmesi değeri (τmax), yapı malzemesinin emniyetle dayanabileceği bir kayma gerilmesi değerini (τSAFE) aşmamalıdır:

τmax ≤ τSAFE

Bir kirişin eğilmesinde oluşacak olan en büyük normal gerilme değeri aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

σmax = (Mmax/INA)·ymax

Burada, “Mmax” en büyük eğilme momentidir; “INA” kiriş en kesitinin ağırlık merkezinden (homojen izotrop malzemeler için alan merkezinden) geçen yatay eksene (nötr-tarafsız eksen) göre atalet momentidir (en kesit alanının ikinci momenti) ve “ymax” en kesitin tarafsız eksene en uzak noktasının dikey mesafesidir.

Yukarıdaki formül şöyle de düzenlenebilir:

σmax = (Mmax)/(INA/ymax)

Eğer kesit modülü (SM) aşağıdaki gibi tanımlanacak olursa:

SM = (INA/ymax)

Bu durumda eşitsizliği farklı bir şekilde ifade edebiliriz:

σmax = (Mmax)/(SM) ≤ σSAFE

veya eşitsizliği şu şekilde de gösterebiliriz:

(SM) ≥ (Mmax)/ σSAFE

Örnek olarak, üzerinde düzgün yayılı “q” [N/m] çizgisel yükünü taşıyan, iki ucundan basit mesnetli, “*l*” [m] açıklıklı (mesnetler arası mesafe) bir kirişte meydana gelecek en büyük eğilme momenti kirişin tam ortasında oluşur:

Mmax = q·*l*2/8

Düzgün yayılı “q” [N/m] çizgisel yükünün, aslında (örneğin güvertedeki) düzgün yayılı basınç yükü “*p*” [N/m2] ile kemereler arası mesafenin “*a*” [m] çarpımı olduğu düşünülürse, (yani *q* = *p·a*), kesit modülü (SM) şu şekilde ifade edilebilir:

(SM) ≥ (*p·a·l*2)/(8·σSAFE)

ki bu gösterim ilgili Alman Loydu (GL) kuralına (Wd) daha benzer bir ifadedir.

Örnek Problem 1: Verilen değerler ile bir geminin enine güverte kemeresi için Alman Loydu’na göre gerekli kesit modülünü (Wd) hesaplayınız.

*p* = 25 [kN/m2]; *a* = 750 [mm]; *l* = 2.5 [m]; *c* = 0.75; *k* = 1.0; *m* = 0.95.

Örnek Problem 2: Verilen değerler ve temel mukavemet ilkeleri yardımıyla iki ucundan basit mesnetli bir kirişin sahip olması gereken en az kesit modülünü hesaplayınız. Bulduğunuz sonucu, “Örnek Problem 1” için bulunan sonuçla karşılaştırınız. Eğer sonuçlar farklıysa, bu farkın nedeni konusunda yorum yapınız.

 *p* = 25 [kN/m2]; *a* = 750 [mm]; *l* = 2.5 [m]; σSAFE = 150 [MPa].

2. Hafta

Bir gemi teknesi de bir kiriş olarak (uzunluğu L, en kesit genişliği B, yüksekliği D kadar olan bir “kutu” kiriş) değerlendirilebilir. Gemilerin mukavemet açısından en zorlandıkları anlardan biri de, boyu gemi boyuna eşit veya yakın olan bir dalganın çukuruna veya tepesine rastladığı andır. Gerçekten de bir gemi böyle bir dalganın tepesindeyken güvertesinde çekme doğrultusunda, dibinde basınç doğrultusunda normal gerilmelerin meydana geldiği bir “sarkma” hali oluşur. Eğer gemi böyle bir dalganın çukurundaysa güvertesinde basınç doğrultusunda, dibinde çekme doğrultusunda normal gerilmelerin meydana geldiği bir “çökme” hali oluşur. Tekrar eden bu haller nedeniyle tekne kirişi yorulma etkisine de maruz kalmış olur. Güvertede ve dipte oluşacak olan normal gerilmeler nedeniyle tekne kirişinde hasar oluşabilir, hatta tekne bütünlüğü bozulan geminin kaybı dahi söz konusu olabilir. Klas kuruluşları tekne kirişi orta kesit mukavemet modülü için en az değerler öngörebilirler. Örneğin Alman Loydu, geminin orta kesit modülü değerinin en az aşağıdaki kadar olmasını ister:

Wmin = k·c0·L2·B· (CB+0.7) ·CRS·10-6 [m3]

Geminin gerçek orta kesit modülü de hesaplanabilir ve gerekli en az değer ile (Wmin) karşılaştırılır. Loydun istekleri sağlanamamışsa, kaplama kalınlıkları arttırılır.

Bir geminin orta kesit modülünün gerçek değerini hesaplamak için öncelikle kesit tarafsız (nötr) ekseninin konumunun belirlenmesi gerekir. Kirişlerin eğilmesi probleminde anlatıldığı gibi, yükleme nedeniyle eğilme gerçekleştiğinde ne uzadığı, ne de kısaldığı kabul edilen bir hat vardır. Bu hat boyunca kesite normal gerilme etki etmez, bu hat tarafsız (nötr) eksen olarak anılır. Gemi orta simetri eksenine göre birbirine eş iki kısımdan oluştuğu için tarafsız (nötr) eksenin yatay konumu simetri ekseni üzerinde olmalıdır. Bu durumda tarafsız eksenin düşey konumunu bulmak gerekir. Çünkü kesit modülü (SM) hesabında kullanılacak atalet momenti (INA), tarafsız (nötr) eksene göre olan atalet momentidir. Ayrıca, formüldeki (ymax) da en kesitin tarafsız eksenden en uzakta bulunan noktasının tarafsız eksene olan dikey mesafesidir. Kesit modülü şu şekilde ifade edilir:

SM = INA / ymax

Orta kesit modülün gerçek değerini hesaplamak için hangi yapı elemanlarının bu hesaba katılacağı bilinmelidir. Bir gemiyi ortasından (mastori) kestiğimizi varsaysak, kesmek zorunda kalacağımız tüm boyuna elemanları hesaba katarız. Bu durumda geminin tüm dış kaplaması (güverte, borda ve dip kaplama) bu hesaba katılmalıdır. Günümüzde gemiler çift dipli (gemi boyunca uzanan ikinci bir dip kaplama gibi düşünülebilir) inşa edildiğine göre çift dip kaplaması da hesaba katılmalıdır. Yakın zaman önce belli bir taşıma kapasitesinin (5000 DWT) üzerindeki tankerlerin çift cidarlı (gemi borda kaplamasından belli bir uzaklıkta ikinci bir borda kaplaması gibi düşünülebilir) inşa edilmesi gerektiğinden ve çok maksatlı yük gemilerinin de bu kurala uyacak şekilde inşa edilmelerinden ötürü, var ise bu çift cidarlar ve gemi boyunca devam eden boyuna perdeler de hesaba katılmalıdır. Ayrıca, dipteki merkez ve yan iç omurgalar; güvertedeki boyuna derin tülaniler ve bordadaki boyuna stringerler de hesaba katılır. Eğer var ise, gemi boyunca devam eden ara güverte kaplamaları da hesaba katılırlar. Bununla birlikte, güvertede ambar ağzı açıklığı bulunan gemilerde, bu kısımlar hesaptan çıkarılmalıdır.

Tarafsız eksenin düşey konumunu belirlemek için aşağıdaki yaklaşımı kullanabiliriz:

yNA = ∫ydA / ∫dA ≈ ∑Ai·yi / ∑Ai

Burada, “Ai” her bir elemanın kesit alanıdır, gemi orta kesit modülü hesabında biriminin [m2] cinsinden olması tavsiye edilir; “yi” her bir elemanın kendi ağırlık merkezinin seçilen bir referans hatta olan dikey uzaklığıdır. Referans hattın yerinin seçimi tercihe bağlı olmakla beraber, referans hat olarak kaide (temel) hattının (BL) seçilmesi uygun olur. Çünkü bu durumda hesaba katılan tüm yapı elemanları bu hattın üzerinde kalacağından, tüm statik moment kolu mesafeleri (yi) de pozitif alınacaktır ve işlem hatası yapılması ihtimali azalacaktır.

Kesit modülü hesaplarında yapı elemanlarının boyutları için kullanılacak birim sistemi tercihe bağlıdır. Fakat, gemi orta kesit modülü hesabında (m×m), levhalara bağlı profillerin kesit modülü hesabında ise (cm×cm) kullanılması önerilir. Hesaplamada dikkate alınan elemanlar genellikle dikdörtgen şeklinde olacağından boyutları da genişlik ve yükseklik şeklinde (b×h) verilecektir.

Tarafsız eksenin yeri (seçilen referans hatta olan uzaklığı: yNA) belli olduktan sonra, aşağıda ifade edilen “Paralel Eksenler Teorisi” yardımıyla, kesitin tarafsız eksene göre atalet momenti hesaplanabilir:

INA = ∑Ii + ∑Ai·di2

Burada, “Ii” her bir elemanın kendi ağırlık merkezinden geçen yatay eksene göre atalet momentidir; “di” ise her bir elemanın ağırlık merkezinin tarafsız eksene olan dikey uzaklığıdır (veya paralel öteleme miktarıdır ve şu şekilde bulunabilir:

di = yi - yNA

Örnek Problem 3: Aşağıda ana değerleri verilen tankerin Alman Loydu’na (GL) göre gerekli minimum orta kesit modülünü (Wmin) hesaplayınız.

L =150 [m]; B =22 [m]; D =13 [m]; CB = 0.75; CRS=CRW=1.0; k =1.0;

c0 = {10.75 – [(300-L)/100]1.5}·CRW

Örnek Problem 4: Aynı tankerin gerçek kesit modülünü yaklaşık olarak hesaplayınız. Sadece dip kaplama, borda kaplaması, güverte kaplaması ve kaide hattından 1.5 metre uzaklıktaki çift dip kaplamasını dikkate alınız. Tüm kaplama kalınlıkları 13 mm’dir. Bulduğunuz sonucu bir önceki soruda hesaplanan (Wmin) değeri ile karşılatırınız ve yorumlayınız.

3. Hafta

Levha kalınlığı hesabı için de klas kuruluşlarının kurallarını veya temel mukavemet ilkelerini kullanabiliriz. Örneğin, dip kaplaması kalınlığı için Alman Loydu (GL) aşağıda belirtilen iki değerden büyük olanının dikkate alınmasını ister:

tB1 = 18.3·nf·a·(pB/σpl)1/2 + tK [mm]

tB2 = 1.21·a·(pB·k)1/2 + tK [mm]

Burada, “pB” [kN/m2] cinsinden dip basıncıdır; “a” [m] cinsinden dip postaları arası mesafedir; “tK” ise en küçük değeri 1.5 [mm] olan korozyon ilavesidir. Dikkat edilmesi gereken konu bu formüllerin sadece çelik yapılar için geçerli olduğudur.

Lateral (yüzeye dik doğrultuda) basınç yükü etkisindeki stifnerli bir levhanın kalınlığı temel mukavemet ilkeleri yardımıyla da hesaplanabilir. Levhanın “birim” genişlikteki bir şeridi sanki bir kirişmiş gibi düşünülebilir. Bu “kiriş”in desteklenmeyen açıklığı “*l*” stifnerler arası mesafeye [a] eşit olacaktır. Yalnız bu defa, levhanın stifnerlerle desteklendiği noktalarda “kiriş”in ankastre mesnetli olduğu kabul edilecektir. Yükleme ve geometri simetrik olduğu için levha eğilmesinde oluşacak elastik eğri de bir simetriye sahip olacağından, stifnerlerle birleştiği noktada elastik eğriye çizilen teğet yatayla yaptığı açı sıfır derece olacaktır. Bu da ankastre mesnet için sınır koşulunun sağlanması anlamına gelir. Kiriş gibi düşünülen levha şeridinin en kesiti, genişliği “birim” uzunlukta, yüksekliği ise levhanın kalınlığı “t” kadar olan bir dikdörtgendir. Daha önce kirişler için uygulanan yaklaşım burada da uygulanabilir:

σmax = (Mmax)/(SM) ≤ σSAFE

veya

(SM) ≥ (Mmax)/ σSAFE

Lateral eğilme nedeniyle en büyük moment ankastre uçlarda oluşur:

Mmax = q·*l*2/12 = (p×“birim” genişlik)·a2/12 = p·a2/12

SM = (INA/ymax) = [(genişlik)×(yükseklik)3/12]/ymax = [(birim)·t3/12]/(t/2) = t2/6

SM = t2/6 ≥ (p·a2/12)/σSAFE → t ≥ a·[p/(2·σSAFE)]1/2

Basit eğilmeye göre hesaplanan levha kalınlığının “t”, burkulmaya karşı yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir, çünkü tekne kirişinin eğilmesinde “çökme” halinde güverte kaplama levhası, “sarkma” halinde ise dip kaplama levhası basınç yönünde normal gerilme etkisindedir, ki bu da güverte ve dip levhalarının burkulmasına sebep olabilir.

Levhanın kritik burkulma gerilmesi Euler yaklaşımıyla hesaplanabilir:

σk = K·{π2·E/[12·(1-ν2)]}·(t/a)2

Burada, E elastisite (Young) modülüdür; ν Poisson oranıdır ve K levhanın kenarlarından ne şekilde mesnetlenmiş olduğuna ve yapının inşa tekniğine bağlı olarak değişen boyutsuz bir sayıdır. Gemi inşaatında enine veya boyuna posta sistemi kullanılır. Enine posta sisteminde stifnerler (postalar) geminin eni doğrultusunda (bir bordadan diğerine doğru) yerleştirilir. Boyuna posta sisteminde ise stifnerler (postalar) geminin boyu doğrultusunda yerleştirilir. Boyuna posta sisteminde inşa edilmiş bir yapının burkulmaya karşı daha dayanıklı olduğu söylenebilir. Son olarak, Euler formülünün sadece elastik sahada geçerli olduğunu da hatırlatmak gerekir.

Örnek Problem 5: Dip kaplama kalınlığını (tB2), hem Alman Loydu kurallarına göre, hem de temel mukavemet ilkelerine göre hesaplayınız. Büyük olan değeri dip kaplama kalınlığı olarak alınız ve bu değerin burkulmaya karşı yeterli olup olmadığını kontrol ediniz ve yorumlayınız.

a = 700 [mm]; p = pB = 75 [kN/m2]; k = 1.0; σSAFE = 150 [MPa]; σL-BOTTOM = 150 [MPa]; E = 210 [GPa]; ν = 0.3 ve K ≈ 4.0 (levhanın kenarlarından ankastre mesnetli olduğu ve boyuna posta sistemi ile inşa edildiği kabul ediliyor)