

Molet ve

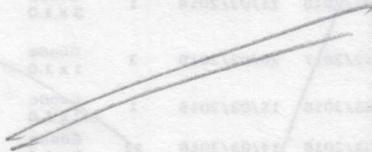
Molet Saplamaları

MUKAVEMET Hesabı

(inceleme)

- VII -

[Handwritten Signature]



Tersine şubuk yeterince kısa ise, uç hafifse yer değiştirdiğinde şubuk dikey konuma geri dönecektir, L_{kr} uzunluğun bu iki hal arasındaki geçişi belirler.

$L \gg L_{kr}$ ise, şubuk eğri kalır.

$L < L_{kr}$ ise, küçük bir yer değiştirilmeden sonra dikey konuma geri döner.

Şekil 30, küçük bir yer değiştirilme verilmiş şubuğu göstermektedir.

Eğilmiş şubuk üzerinde $Q(\xi, \eta)$ ve $P(x, y)$ noktalarını ve bu noktalar arasındaki ΔX mesafesini düşünelim. ΔX uzunluğunun ağırlığı $w \cdot \Delta X$ dir. Q noktasındaki $w \cdot \Delta X$ elemanının

$P(x, y)$ noktasına göre momenti.

$$w \cdot \Delta X [y(\xi) - y(x)] = M_x$$

dir. (Stabilite problemlerinde diferansiyel denklemler ile çözüm arandığında, sistemin deforme olmuş durumu pozisyonuna alınarak her hangi bir noktadaki moment ifadesi yazılır)

Bu momenti $0, X$ aralığında entegre edersek şubuğun P noktasının yukarısındaki ağırlığından P etrafındaki momentini elde ederiz.

Handwritten scribbles and signatures at the bottom right of the page.

Elastisite teorisiinden bu moment

$EI y''(x)$ 'e esittir. P nin yukarisindaki kubuk kisminin derpede olduunu kabul edilerek

$$EI y''(x) = \int_0^x \omega [y(\xi) - y(x)] d\xi$$

denklemini yazilir. Bu denklemin x 'e gore turetilmesi ile

$$EI y'''(x) = \omega [y(x) - y(x)] - \int_0^x \omega y'(x) d\xi$$

$$EI y'''(x) = -\omega x y'(x)$$

elde edilir. Bu denklem

$$y'''(x) + \frac{\omega}{EI} x y'(x) = 0$$

sekinde yazilabilir. $u = y'$ olsun u 'u u ile

$$u'' + \frac{\omega}{EI} x \cdot u = 0$$

diferansiyel denklemini (Bessel) elde edilir.

Bu denklemini

$$x^2 u'' + \frac{\omega}{EI} x^3 u = 0$$

yazalim ve asagidaki esitlik ile mukayese edelim

$$x^2 y'' + A x y' + (B + C x^q) y = 0 \quad (\text{Esitlik 69})$$

$$\left. \begin{aligned} A &= 0 \\ B &= 0 \\ C &= \frac{\omega}{EI} \\ q &= 3 \end{aligned} \right\} \text{Eide edilir.}$$

Esitlik 70 den faydalanarak,

$$A = 1 - 2\alpha \rightarrow 0 = 1 - 2\alpha \rightarrow \alpha = \frac{1}{2}$$

$$q = 2\beta \rightarrow 3 = 2\beta \rightarrow \beta = \frac{3}{2}$$

$$C = \beta^2 k^2 \rightarrow \frac{\omega}{EI} = \frac{9}{4} \cdot k^2 \rightarrow k = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\omega}{EI}}$$

$$B = \alpha^2 - \beta^2 p^2 \rightarrow 0 = \frac{1}{4} - \frac{9}{4} p^2 \rightarrow p = \frac{1}{3}$$

bulunur. Esitlik 71 'e göre

$$u(x) = y'(x) = x^{-1/3} \left[C_1 j_{1/3} \left(\frac{2}{3} \sqrt{\frac{\omega}{EI}} x^{3/2} \right) + C_2 j_{-1/3} \left(\frac{2}{3} \sqrt{\frac{\omega}{EI}} x^{3/2} \right) \right]$$

olar.

Kisa bilgiler [L15] :

Gamma fonksiyonu ;

$x > 0$ için,

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad (73)$$

şeklinde tanımlanan fonksiyona Gamma fonksiyonu denir.

53/2

$$\Gamma(1) = \int_0^{\infty} e^{-t} \cdot t^{1-1} dt = \int_0^{\infty} e^{-t} dt$$

$$\Gamma(1) = \lim_{b \rightarrow \infty} \left[-e^{-t} \right]_0^b = -e^{-\infty} - (-e^0) = 1$$

$$\Gamma(1) = 1$$

ayrıca,

$$\Gamma(x+1) = x \Gamma(x)$$

$$\Gamma(2) = 1 \cdot \Gamma(1) = 1!$$

$$\Gamma(3) = 2 \cdot \Gamma(2) = 2!$$

$$\Gamma(4) = 3 \Gamma(3) = 3!$$

ve genel olarak $n \geq 0$ tam sayısı için

$$\Gamma(n+1) = n!$$

dir. özel bir değer olarak

$$\Gamma(1/2) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{(1/2)-1} dt = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{-1/2} dt$$

$t = u^2$ dönüşümü ile

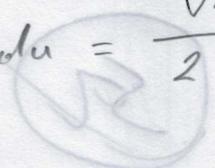
$$dt = 2u du$$

$$\Gamma(1/2) = 2 \int_0^{\infty} e^{-u^2} \frac{1}{u} \cdot 2u du$$

$$\Gamma(1/2) = 2 \int_0^{\infty} e^{-u^2} du = \sqrt{\pi}$$

dir. Fünkü,

$$\int_0^{\infty} e^{-u^2} du = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$



çerçevesi ise bilinmektedir, ancak hesabı çok kolay yapılamaz.

125.

• Birinci tip Bessel fonksiyonları;

$p > 0$ olmak üzere, p . mertebeden Bessel fonksiyonu, Gamma fonksiyonu yardımıyla,

$$j_p(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(p+m+1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m+p} \quad (74)$$

$p > 0$ bir tam sayı değilse,

$$j_{-p}(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(-p+m+1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m-p} \quad (75)$$

Eğer p bir tam sayı değilse, $x > 0$ için

$$y(x) = C_1 j_p(x) + C_2 j_{-p}(x) \quad (76)$$

genel çözüm bulunur.

Eğer $p = n$ negatif olmayan bir tam sayı

ise, bu takdirde eşitlik 74, tam sayı, merte-

besinden birinci tip Bessel fonksiyonları

için

$$j_n(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! (m+n)!} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m+n} \quad (77)$$

sonucuna verir. Böylece,

$$j_0(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m \cdot x^{2m}}{(m!)^2 \cdot 2^{2m}}$$

$$j_0(x) = 1 - \frac{x^2}{2^2} + \frac{x^4}{2^2 \cdot 4^2} - \frac{x^6}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2} + \dots \quad (78)$$

$$j_1(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m \cdot x^{2m+1}}{m! \cdot (m+1)! \cdot 2^{2m+1}}$$

$$j_1(x) = \frac{x}{2} - \frac{1}{2!} \left(\frac{x}{2}\right)^3 + \frac{1}{2! \cdot 3!} \left(\frac{x}{2}\right)^5 - \dots \quad (79)$$

elde edilebilir.

Problemimize geri dönelim.

$$u(x) = y'(x) = x^{1/2} \left[C_1 j_{1/3} \left(\frac{2}{3} \sqrt{\frac{\omega}{EI}} x^{3/2} \right) + C_2 j_{-1/3} \left(\frac{2}{3} \sqrt{\frac{\omega}{EI}} x^{3/2} \right) \right]$$

denklemini bulmuştuk (Sayfa: 123)

$$\gamma = \sqrt{\frac{\omega}{EI}}$$

dönüşümü ile,

$$u(x) = y'(x) = x^{1/2} \left[C_1 j_{1/3} \left(\frac{2}{3} \gamma x^{3/2} \right) + C_2 j_{-1/3} \left(\frac{2}{3} \gamma x^{3/2} \right) \right]$$

yazılabilir.

$$j_p(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(p+m+1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m+p} \quad (\text{Eşitlik 74})$$

$$p = \frac{1}{3}, \quad x \rightarrow \frac{2}{3} \gamma x^{3/2} \quad \text{ifin,}$$

$$j_{1/3} \left(\frac{2}{3} \gamma x^{3/2} \right) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma\left(\frac{1}{3} + m + 1\right)} \left(\frac{\frac{2}{3} \gamma x^{3/2}}{2} \right)^{2m + \frac{1}{3}}$$

Seriyi α eelim,

$m = 0$ için

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(\frac{1}{3} + m + 1)} \left(\frac{\frac{2}{3} \delta x}{2} \right)^{3/2 \cdot 2m + \frac{1}{3}} \quad \text{ifadesi.}$$

$$= \frac{1}{1 \cdot \Gamma(\frac{1}{3} + 1)} \left(\frac{\frac{2}{3} \delta x}{2} \right)^{3/2 \cdot 1 + \frac{1}{3}}$$

$$= \frac{1 \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^{1/3} \cdot \delta^{1/3} \cdot x^{1/2}}{\Gamma(\frac{4}{3})}$$

$$= \frac{\delta^{1/3} \cdot x^{1/2}}{3^{1/3} \cdot \Gamma(\frac{4}{3})}$$

$p = -\frac{1}{3}$, $x \rightarrow \frac{2}{3} \delta x^{\frac{3}{2}}$ için $m = 0$ için

$$\sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(-p + m + 1)} \left(\frac{x}{2} \right)^{2m - p} \quad \text{ifadesi, } \{5\}$$

$$= \frac{1}{1 \cdot \Gamma(-\frac{1}{3} + 1)} \left(\frac{\frac{2}{3} \delta x^{3/2}}{2} \right)^{-1/3}$$

$$= \frac{\delta^{-1/3} \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^{-1/3} \cdot x^{-1/2}}{\Gamma(\frac{2}{3})}$$

$$= \frac{3^{1/3} \cdot x^{-1/2}}{\delta^{1/3} \cdot \Gamma(\frac{2}{3})}$$

m = 1 i sin ;

$$\frac{(-1)^m}{m! \Gamma(\frac{1}{3} + m + 1)} \left(\frac{\frac{2}{3} \delta x^{3/2}}{2} \right)^{2m + \frac{1}{3}} \text{ i fadesi,}$$

$$= \frac{-1}{1 \cdot \Gamma(\frac{1}{3} + 1 + 1)} \left(\frac{1}{3} \delta \cdot x^{3/2} \right)^{2 \cdot 1 + \frac{1}{3}}$$

$$= - \frac{1}{\Gamma(\frac{7}{3})} \frac{\delta^{\frac{7}{3}} \cdot x^{\frac{7}{2}}}{3^{7/3}}$$

$$\frac{(-1)^m}{m! \Gamma(-\frac{1}{3} + m + 1)} \left(\frac{\frac{2}{3} \delta x^{3/2}}{2} \right)^{2m - \frac{1}{3}} \text{ i fadesi,}$$

$$= \frac{-1}{1 \cdot \Gamma(-\frac{1}{3} + 1 + 1)} \left(\frac{1}{3} \delta \cdot x^{3/2} \right)^{2 - \frac{1}{3}}$$

$$= - \frac{1}{\Gamma(\frac{5}{3})} \frac{\delta^{\frac{5}{3}} \cdot x^{5/2}}{3^{5/3}}$$

Yazıla bilin

$$\int_{1/3}^{\frac{2}{3}} \left(\frac{2}{3} \delta x^{3/2} \right) = \frac{\delta^{1/3} \cdot x^{1/2}}{3^{1/3} \cdot \Gamma(\frac{4}{3})} - \frac{\delta^{\frac{7}{3}} \cdot x^{\frac{7}{2}}}{3^{7/3} \cdot \Gamma(\frac{7}{3})} + \dots$$

$$\int_{-1/3}^{\frac{3}{2}} \left(\frac{2}{3} \delta x^{\frac{3}{2}} \right) = \frac{\delta^{1/3} \cdot x^{-1/2}}{3^{1/3} \cdot \Gamma(\frac{2}{3})} - \frac{\delta^{5/3} \cdot x^{5/2}}{3^{5/3} \cdot \Gamma(\frac{5}{3})} + \dots$$

2002

Seriye iki adım ilerletmek bize fi - 129-

kir verebilir.

$$u(x) = y'(x) = x^{1/2} \left[C_1 \left(\frac{2}{3} x^{3/2} \right) + C_2 \left(\frac{2}{3} x^{3/2} \right) \right]$$

$$u(x) = y'(x) = \frac{C_1 x^{1/3} \cdot x}{3^{1/3} \cdot \Gamma\left(\frac{4}{3}\right)} - \frac{C_1 x^{7/3} \cdot x^4}{3^{7/3} \cdot \Gamma\left(\frac{7}{3}\right)} + \dots + \frac{C_2 \cdot 3^{1/3} \cdot 1}{x^{1/3} \cdot \Gamma\left(\frac{2}{3}\right)} - \frac{C_2 x^{5/3} \cdot x^3}{3^{5/3} \cdot \Gamma\left(\frac{5}{3}\right)} + \dots$$

sinir şartlarını kullanalım.

Çubuğun ucunda eğilme momenti bulunmadığı için

den $y''(x) = y''(0) = 0$ dir.

$$y''(x) = y''(0) = \frac{C_1 \cdot x^{1/3}}{3^{1/3} \cdot \Gamma\left(\frac{4}{3}\right)} \cdot (1 - 0 - \dots - 0)$$

$$+ \frac{C_2 \cdot 3^{1/3}}{x^{1/3} \cdot \Gamma\left(\frac{2}{3}\right)} \cdot (0 - 0 - \dots - 0)$$

$y''(x) = y''(0) = 0$ olabilmesi için

$$\frac{C_1 \cdot x^{1/3}}{3^{1/3} \cdot \Gamma\left(\frac{4}{3}\right)} = 0$$

olmalıdır. Bu ise ancak

$$C_1 = 0$$

ile mümkündür.

Denklemin yeni şekli

$$u(x) = y'(x) = C_2 x^{1/2} \int_{-1/3}^{1/3} \left(\frac{2}{3} x^{3/2} \right)$$

olur.

Çubuğun alt ucu düzey olarak sabit
(enmiş (ankastre) olduğundan,

$$y'(x) = y'(L) = 0 \text{ dir. Bu şart}$$

$$C_2 L^{1/2} \int_{-1/3}^{1/3} \left(\frac{2}{3} x^{3/2} \right) = 0$$

verir. Boş olmayan bir çözüm için $C_2 \neq 0$
almalıyız. L kr. uzunluğun

$$\int_{-1/3}^{1/3} \left(\frac{2}{3} \sqrt{\frac{\omega}{EI}} L^{3/2} \right) = 0$$

olacak şekilde L 'nin en küçük pozitif
uzunluğudur.

Şekil 31 de $\int_{-1/3}^{1/3} (x)$ 'in grafiği görülmek-

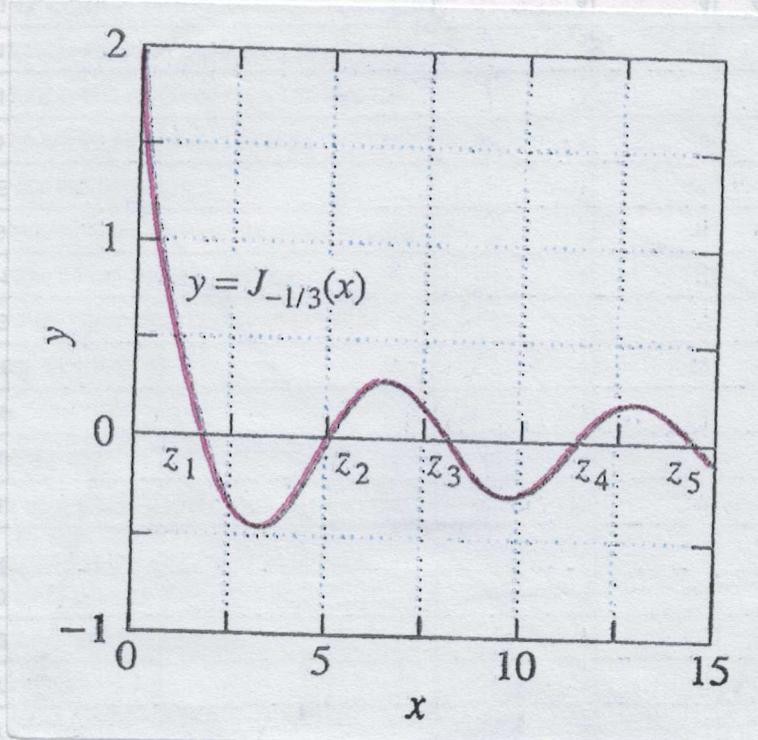
tedir. Buna göre $\int_{-1/3}^{1/3} (z) = 0$ denkleminin

en küçük pozitif z kökünün (z_1) 2 den

biraz daha küçük olduğunu $(1,86635)$ görülmü-

(Bu değer bilgisayar programlarından da

hesaplanabilir.)



Şekil 31. $J_{-1/3}(x)$ 'in grafiği [L 15].

Su hacede,

$$\frac{2}{3} \sqrt{\frac{\omega}{EI}} L_{kr}^{3/2} = 1,86635$$

$$L_{kr} = \left[1,86635 \cdot \frac{3}{2} \left(\frac{EI}{\omega} \right)^{1/2} \right]^{2/3}$$

$$\parallel L_{kr} \approx 1,9863 \left(\frac{E \cdot I}{\omega} \right)^{1/3}$$

olarak bulunur.

Not. Aşağıdaki eşitlikleri vermiştik.

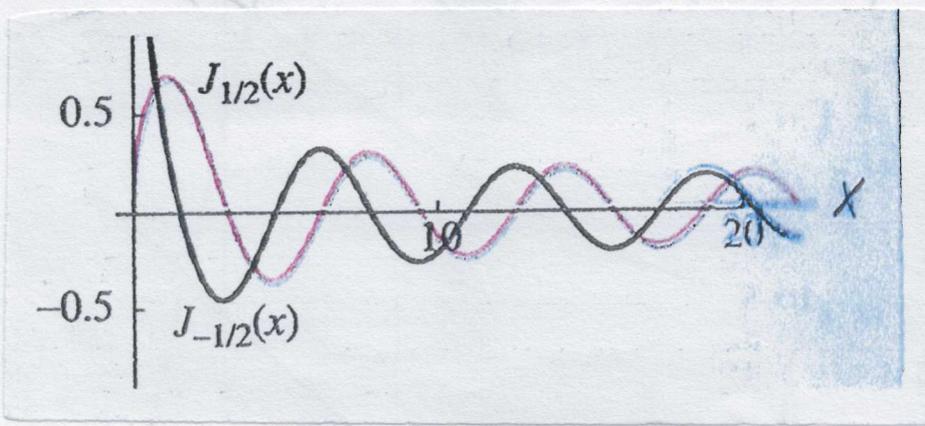
$$\left. \begin{aligned} j_{1/2}(x) &= \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \sin x \\ j_{-1/2}(x) &= \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \cos x \end{aligned} \right\} \text{(Eşitlik 72)}$$

Ayrıca ,

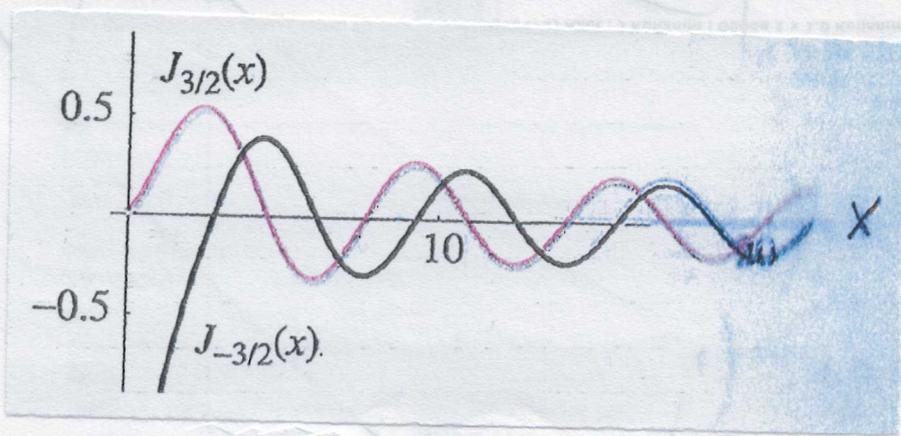
$$\left. \begin{aligned} j_{3/2}(x) &= \sqrt{\frac{2}{\pi x^3}} (\sin x - x \cos x) \\ j_{-3/2}(x) &= -\sqrt{\frac{2}{\pi x^3}} (\cos x + x \sin x) \end{aligned} \right\} \quad (80)$$

esitliklerini ve $j_{1/2}(x)$, $j_{-1/2}(x)$, $j_{3/2}(x)$, $j_{-3/2}(x)$

grafiklerini de faydallılığı düşünmesiyle vereelim.



Şekil 32 - $j_{1/2}(x)$ ve $j_{-1/2}(x)$ grafikleri [L15].



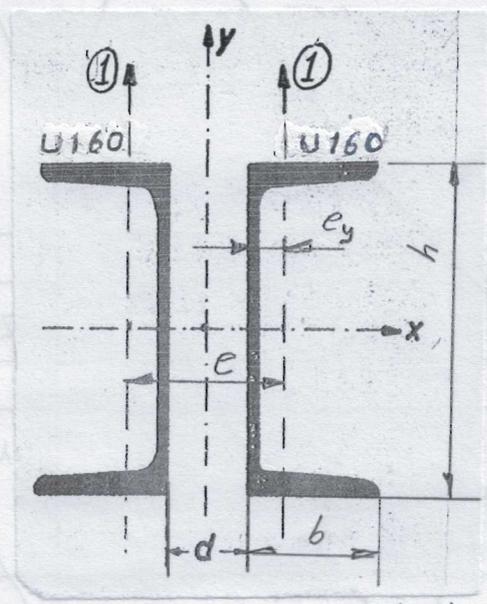
Şekil 33 - $j_{3/2}(x)$ ve $j_{-3/2}(x)$ grafikleri

[L15]

58

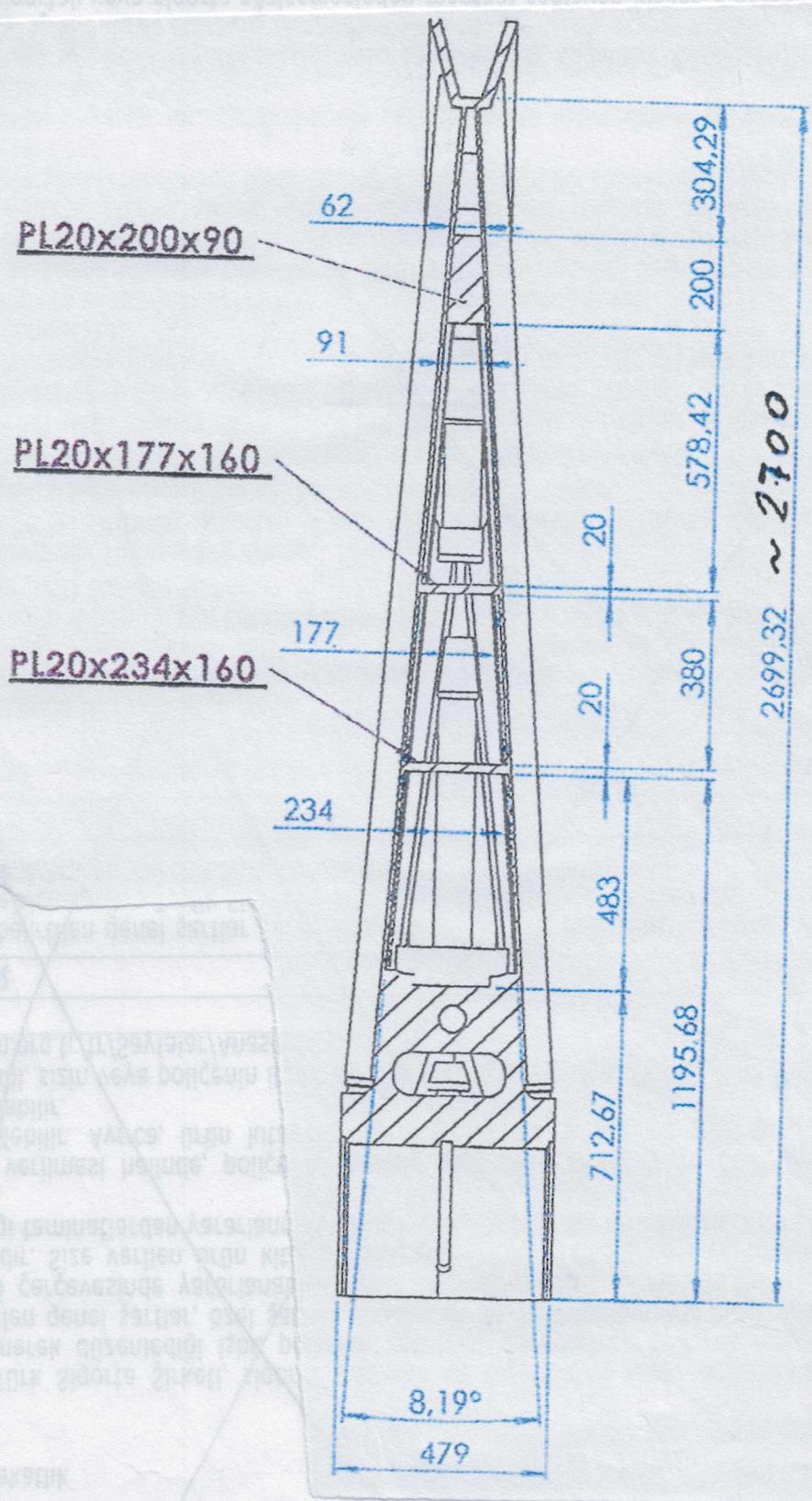
Burkulma ile ilgili bu bilgilerden sonra (Sayfa : 53... 132) artık, kullanacağımız molet (Şekil 7, 14 ve 15) kollarının burkulmaya göre kontrolünü yapabiliriz.

Şekil 15 ten büyütülerek alınan molet C-C kesitini (Şekil 35) ve bu şeklin hesaplarımızda bize gerekli olan boyutlardaki basit halini Şekil 36 ile ele alalım. Önce, kol profili olarak sırt - sırtta kullandığımız U 160 (Şekil 34) profilinin karakteristik değerlerini Tablo 1 yardımıyla vereyim.

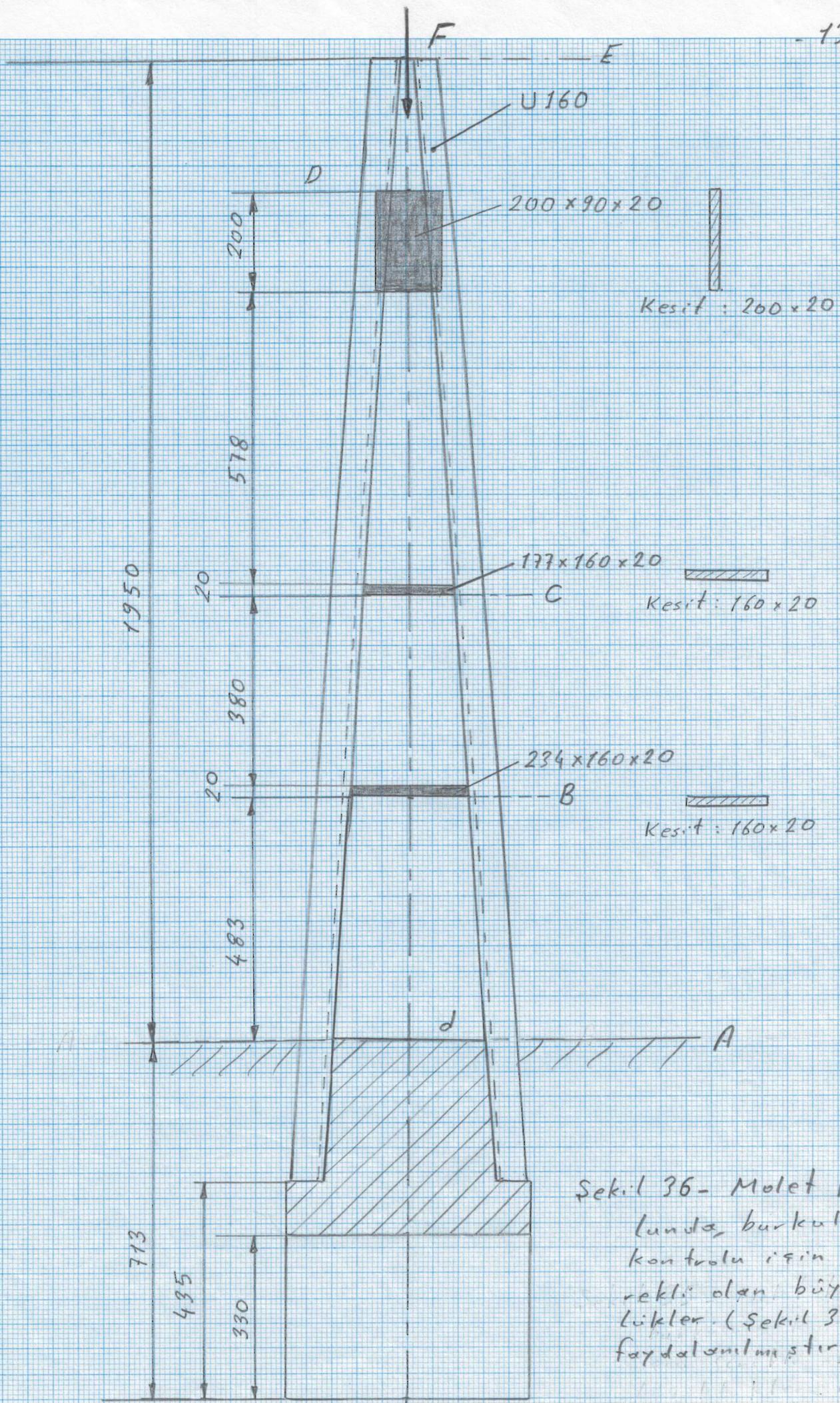


Şekil 34- Molet kol profili U-160] [

- U 160 profili :
- $h = 160 \text{ mm}$
 - $b = 65 \text{ "}$
 - $A_1 = 24 \text{ cm}^2$



Sekil 35- Kolla molette C-C kesiti
 (Sekil 15 ten büyütülmüş k
 alınmıştır. [L 11].



Şekil 36- Molet kontrolunda, burkulma kontrolu için gerekli olan büyüklükler. (Şekil 34 ten faydalanılmıştır)

$$I_x = 925 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 116 \text{ cm}^3$$

$$i_x = 6,21 \text{ cm}$$

$$I_y = 85,3 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 18,3 \text{ cm}^3$$

$$i_y = 1,89 \text{ cm}$$

$$e_y = 1,84 \text{ cm}$$

d mesafeleri : (Şekil 36, 35) :

A kesiti	:	d = 307 mm
B kesiti	:	d = 234 "
CB kesiti	:	d = 177 "
D kesiti	:	d = 162 "
E kesiti	:	d = 30 "

(Bu değerler yaklaşık olup, daha hassasları alınabilir)

Şimdi, molet koluna etkileyen F kuvvetini bulalım. Bunun için, moletin iki kolu arasındaki halat zorlanmasından dolayı oluşan bileşke kuvveti hesaplamamız gerekir. Hesaplayalım (Şekil 7, 15) :

• Bitişik (komşu) iki kol arasındaki açı

$$\alpha = \frac{360^\circ}{Z} \quad (81)$$

Z - Kol sayısı (Z = 16)

$$\alpha = \frac{360^\circ}{16}$$

$$\parallel \alpha = 22,5^\circ$$

- iki kol arasında, α açısına karşılık gelen yay uzunluğu,

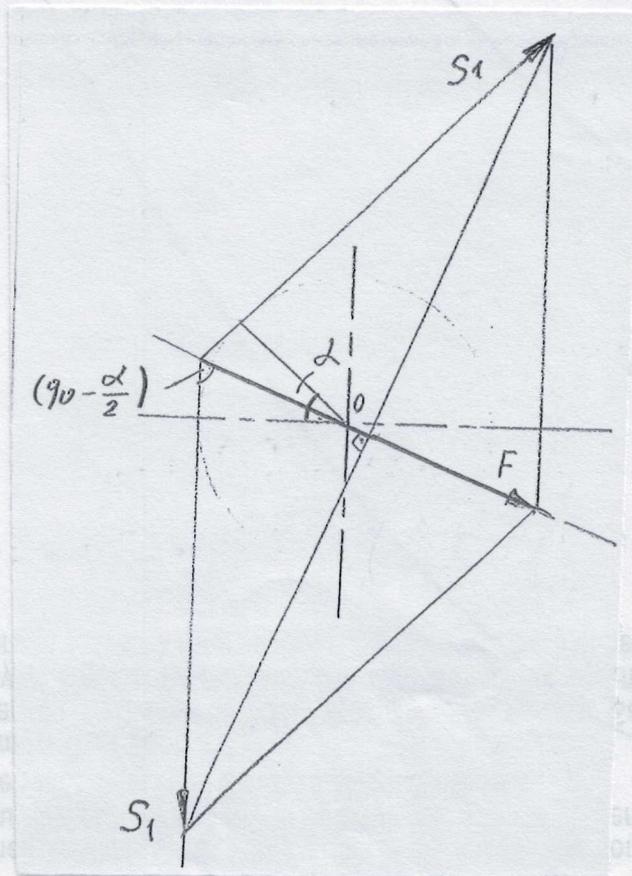
$$B = r \cdot D \cdot \frac{\alpha}{360} \quad (82)$$

D- Molet çapı ($D = 5500 \text{ mm}$)

$$B = r \cdot 550 \cdot \frac{22,5}{360}$$

$$\parallel B \approx 108 \text{ cm}$$

- iki kol arasındaki bileşke kuvvet, (Şekil 37)



Şekil 37- Bileşke kuvvet, F

- Max. statik halat zorlanmasında,

- 138-

$$\frac{F}{2} = S_1 \cos\left(90 - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot f_2 \quad (83)$$

F - Bileşke kuvvet

S_1 - Max. statik halat zorlanması (Max. statik halat çekme kuvveti)

$$S_1 = 228 \text{ kN} \quad [L7, \text{ sayfa: } 106]$$

f_2 - Darbe faktörü ($f_2 = 1,1$)

$$F = 2 \cdot 228 \cos\left(90 - \frac{22,5}{2}\right) \cdot 1,1$$

$$\parallel F = \underline{97,86 \text{ kN}}$$

- Halat kopma yükünde,

S_B küçük toplam teorik halat kopma

kuvveti

$$S_B = 1791 \text{ kN} \quad [L7, \text{ sayfa: } 91, 106]$$

$$F_B = 2 \cdot S_B \cos\left(90 - \frac{\alpha}{2}\right) \quad (84)$$

$$F_B = 2 \cdot 1791 \cdot \cos\left(90 - \frac{22,5}{2}\right)$$

$$\parallel F_B = \underline{698,8 \text{ kN}}$$

bulunur.

Kol profillerinin tespiti için ya -

pişan kabüllere uygun olarak (Sayfa: 32, 33)

- iki kol arasındaki F bileşke kuvve-
tinin yalnız bir kol taraftan tu-
rduğuş (Şekil 36),
- Kol, A kesitinde ankastre, uşta
serbest ealişitışi (Şekil 36)

kabülleri ile probleme devam edelim
ve

Bileşik kesitli kolonumuzda (çerçeve
bişimli) U 160 profillerini birleştiren

- 200. 90. 20
- 177. 160. 20
- 234. 160. 20

kesitli bağ elementlerinin (Şekil 36), burkulma
esnasında yapacakları şekil değiştirmeleeri
göz ardı edelim ve hesaba katmayalım yani
problemimizi basitleştirelim (Şekil 38).

Not. Örnek 8 de (Sayfa: 75)

- Kesme kuvvetinin etkisi hesaba dahil
edilmiştir;

$$F_{max} = 42319 \text{ kp f} \quad (\text{Sayfa: 78})$$

- Kesme kuvvetinin etkisi hesaba dahil
edilmemiştir;

$$F_{max} = \frac{F_{kr}}{n} = \frac{\lambda^2 E I_y}{n \cdot L_{kr}^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{\lambda^2 E I_y}{L_{kr}^2} \left(\frac{5,2^2}{24 E I_1} \right)} \right] \quad -140-$$

(Eşitlik 58)

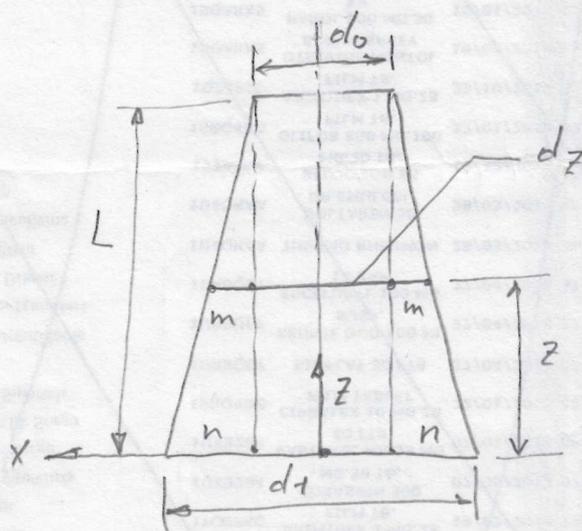
$$F_{max} = \frac{\lambda^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 3820}{2,5 \cdot 800^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{\lambda^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 3820}{800^2} \left(\frac{50^2}{24 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 148} \right)} \right]$$

$$\| F_{max} = 47573 \text{ kgf}$$

Mukayeseyi yapınız.

Probleme devam edelim.

Keyfi bir z kesitinde (Şekil 38) eylemsizlik momentini.



$$d_2 = d_0 + 2m$$

$$d_1 = d_0 + 2n$$

$$2m = d_2 - d_0$$

$$2n = d_1 - d_0$$

$$\frac{m}{n} = \frac{d_2 - d_0}{d_1 - d_0}$$

$$\frac{L - z}{L} = \frac{m}{n} \rightarrow \frac{L - z}{L} = \frac{d_2 - d_0}{d_1 - d_0}$$

$$d_2 - d_0 = (d_1 - d_0) \left(\frac{L - z}{L} \right) = (d_1 - d_0) \left(1 - \frac{z}{L} \right)$$

$$d_2 = d_0 + d_1 - d_0 - (d_1 - d_0) \frac{z}{L}$$

$$\| d_2 = d_1 + \frac{(d_0 - d_1)}{L} \cdot z \quad \text{cm}$$