



I KESİTLİ KİRİŞLERDE KAYMA GERİLMELERİ

Ümit Uzman

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

ABSTRACT

The components of the shearing stresses along the thickness direction in the flange of an I beam are obtained by using one of the equations of equilibrium of elasticity theory. It is determined that this component varies parabolically along the thickness direction, and to be small enough to be neglected.

The intersection area of the wall and the flange in the cross section of I beam is a transition zone for shear flow. For calculating of shear flow in this area a simple calculation is proposed by using shear flow of open thin walled beams. The distribution of shear stresses in this area is described by giving an example.

ÖZET

I kesitli kirişin başlıklarında kayma gerilmesinin kalınlık doğrultusundaki bileşeni, elastisite teorisinin denge denklemlerinden biri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu gerilmenin kalınlık doğrultusunda parabol şeklinde değiştiği ve ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu belirlenmiştir.

I kesitli kirişte gövde ve başlığın ortak bölgesi, kayma akımı için bir geçiş bölgesidir. İnce cidarlı açık tüp kesitteki kayma akımından faydalanarak bu bölge için basit bir hesaplama önerilmiştir. Buna bir örnek verilerek kayma gerilmesinin bu bölgedeki dağılışı açıklanmıştır.

GİRİŞ

Kesmeli eğilme etkisinde olan doğru eksenli I kesitli bir kirişte kayma gerilmelerinin gövde doğrultusundaki ve başlık doğrultusundaki bileşenleri mühendislik eğitiminde mukavemet derslerinde kayma akımı yardımıyla hesaplanarak anlatılmaktadır[1-3].

Kayma gerilmelerinin kalınlık doğrultusundaki bileşenleri mühendislikte önem taşımazlar. Bu yüzden kayma gerilmesinin kalınlık doğrultusundaki bileşeninin hesabına mukavemet kitaplarında pek rastlanmamaktadır. Rastlandığı zaman da ortalama bir değer verilmekte olup dağılışı belirtilmemektedir.

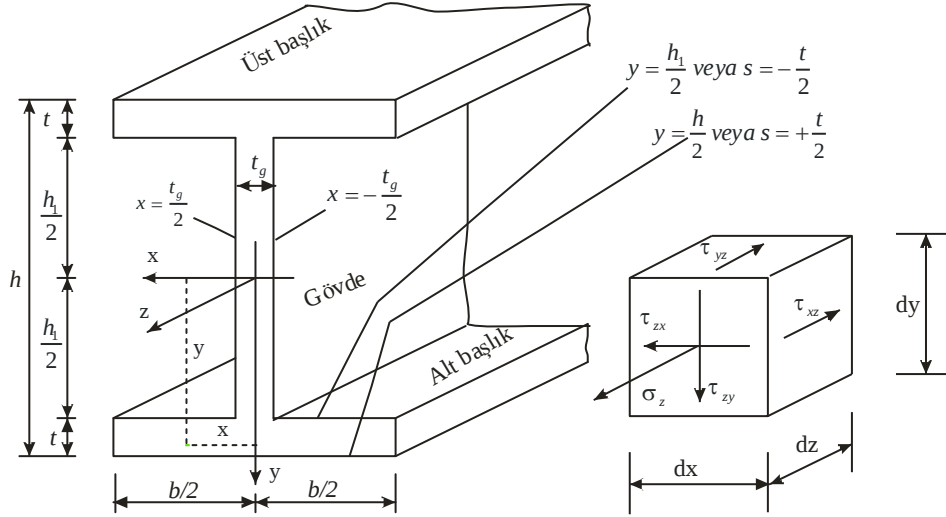
Bu çalışmada

- *Kalınlık doğrultusundaki kayma gerilmesi bileşeninin elastisite teorisinin denge denklemlerinden biri kullanılarak nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir. Mukavemet kitaplarında verilen ortalama değerden pek çok daha küçük olduğu görülmüştür.*
- *Gövde ile başlığın ortak kısmı olan küçük bölge; kayma gerilmeleri için bir geçiş bölgesi özelliğine sahiptir. Bu bölgede kayma akımı için basitleştirici bir yaklaşım önerilmiştir.*

ALAN DENKLEMLERİ VE FORMÜLASYON

Kesmeli eğilme etkisinde olan I kesitli bir kirişte seçilen eksen takımı ve kiriş kesitinin bir (x,y) koordinatlı noktası civarından çıkarılan sonsuz küçük bir prizma elemana etki eden gerilmeler Şekil 1 de gösterilmiştir.

Mukavemet kitaplarında gövdede gövde doğrultusundaki ve başlıkta başlık doğrultusundaki kayma gerilmesi bileşenleri anlatılmaktadır. Bu çalışmada onlara dik doğrultudaki yani kalınlık doğrultusundaki bileşenler hesaplanmıştır.



Şekil 1. I kesitli kirişte seçilen eksen takımı ve etki eden gerilmeler

Elastisite teorisindeki denge denklemlerinden üçüncüsünden faydalanılmıştır:

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Burada geçen ve Şekil 1 deki sonsuz küçük elemanda gösterilen $\tau_{xz} = \tau_{zx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ kayma gerilmeleri ve σ_z normal gerilmesinin herhangi bir mukavemet kitabında verilen ifadeleri ve yukarıdaki denklemde geçen türevleri şu şekildedir:

Normal Gerilme

$$\sigma_z = \frac{M_x}{I_x} y, \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \frac{T_x}{I_x} y \quad (2)$$

Gövdede τ_{yz} Kayma Gerilmesi

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \frac{T_y}{2I_x} \left\{ \frac{bt(h-t)}{t_g} + \left[\left(\frac{h_1}{2} \right)^2 - y^2 \right] \right\}, \quad \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} = -\frac{T_y}{I_x} y \quad (3)$$

Başlıkta τ_{zx} Kayma Gerilmesi

$$\tau_{zx} = \tau_{xz} = \frac{T_y}{2I_x} (h-t) \left(\frac{b}{2} - x \right), \quad \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} = \tau_{zx} = -\frac{T_y}{2I_x} (h-t) \quad (4)$$

Bu ifadelerde I_x , kesitin x eksenine göre atalet momentini göstermektedir. Kesite etki eden eğilme momenti M_x ile, kesme kuvveti T_y ile gösterilmiştir. Eğilme momenti ve kesme kuvveti arasında $\partial M_x / \partial z = T_y$ bağıntısı vardır.

$y=0$ ve $y=h_1/2$ deki değerleri (3) kayma gerilmesinin en büyük ve en küçük değerleri olup Şekil 2 de de gösterilmiştir:

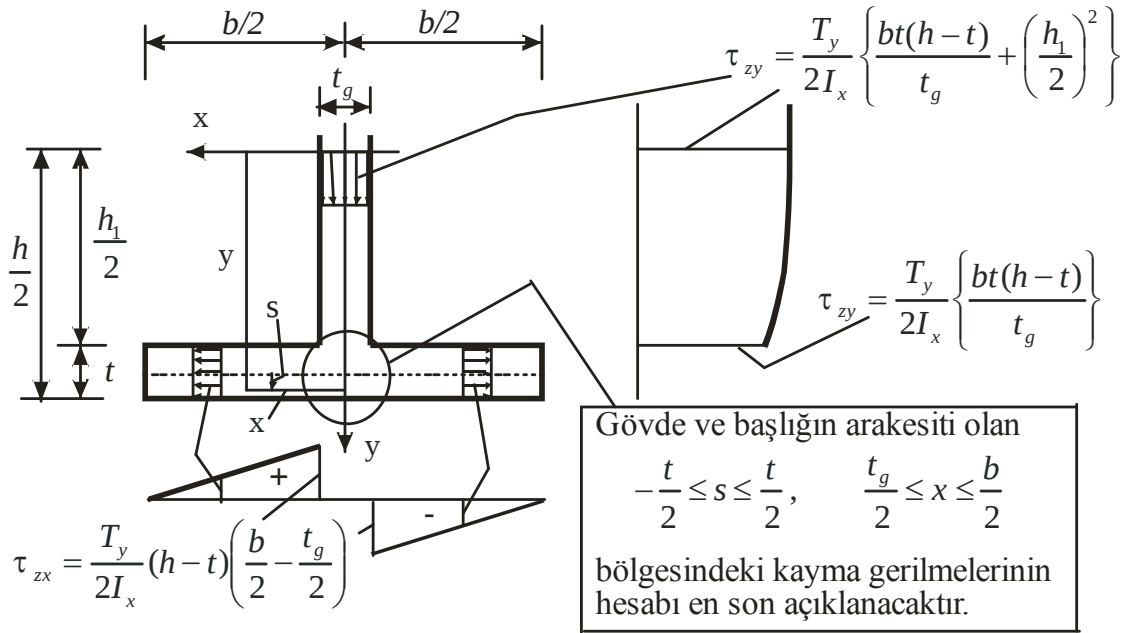
$$\tau_{yz}(x,0) = \tau_{zy}(x,0) = \frac{T_y}{2I_x} \left\{ \frac{bt(h-t)}{t_g} + \left(\frac{h_1}{2} \right)^2 \right\} \quad (5)$$

$$\tau_{yz}\left(x, \frac{h_1}{2}\right) = \tau_{zy}\left(x, \frac{h_1}{2}\right) = \frac{T_y}{2I_x} \left\{ \frac{bt(h-t)}{t_g} \right\} \quad (6)$$

$x = t_g/2$ ve $x = b/2$ deki değerleri (4) kayma gerilmesinin en büyük ve en küçük değerleri olup Şekil 2 de de gösterilmiştir:

$$\tau_{xz}(t_g/2, y) = \tau_{zx}(t_g/2, y) = \frac{T_y}{2I_x} (h-t) \left(\frac{b}{2} - \frac{t_g}{2} \right) \quad (7)$$

$$\tau_{xz}(b/2, y) = \tau_{zx}(b/2, y) = 0 \quad (8)$$



Şekil 2. Gövdede τ_{zy} ve başlıkta τ_{zx} kayma gerilmesi dağılışı ve s koordinatı

BAŞLIKTA τ_{zy} KAYMA GERİLMESİ

(2) ve (4) ifadeleri (1) denkleminde yerine konulursa

$$\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} = \frac{T_y}{2I_x} (h-t-2y) \quad (9)$$

elde edilir. Değişken dönüşümü yapılarak Şekil 2 deki s koordinatı

$$y = \frac{h}{2} - \frac{t}{2} + s, \quad dy = ds \quad (10)$$

olarak tanımlanırsa bu ifade çok basitleşir:

$$\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial s} = -\frac{T_y}{I_x} s \quad (11)$$

Bu ifade y koordinatını dönüştürerek elde edilen s ye göre integre edileceği için integral alındığında konulacak integral sabiti x ve z ye bağlı $f(x, z)$ şeklinde bir fonksiyondur:

$$\tau_{yz} = -\frac{T_y}{I_x} \left[\frac{s^2}{2} + f(x, z) \right] \quad (12)$$

Başlıkların alt ve üst yüzeylerinde çubuk eksenini boyunca kayma gerilmesi yoktur (Şekil 1). Bu kenarlara dik kayma gerilmeleri sıfır olmalıdır. Başlıklarda sağlanması gereken sınır koşulları:

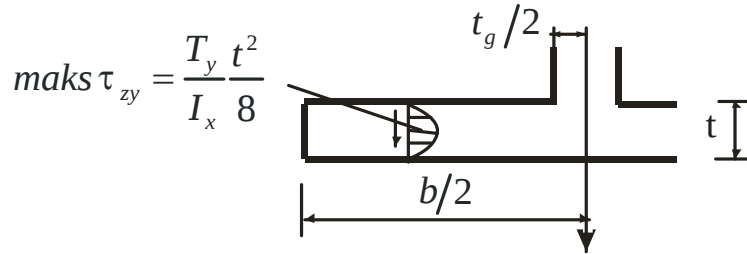
$$y = h_1/2 \text{ ve } y = h/2 \text{ de } \tau_{zy} = 0, \text{ veya } s = \pm t/2 \text{ de } \tau_{zy} = 0 \quad (13)$$

şeklindedir. İntegral sabitinin bunları sağlayan değeri $f(x, z) = -t^2/8$ olarak hesaplanıp yerine konularak başlıkta kalınlık doğrultusundaki kayma gerilmesi

$$\tau_{zy} = \tau_{yz} = \frac{T_y}{2I_x} \left[\left(\frac{t}{2} \right)^2 - s^2 \right] \quad (14)$$

şeklinde elde edilir. Bu ifade x koordinatından bağımsız bir parabol eğrisidir (Şekil 3). Tanım bölgesi kesit alanının aşağıdaki eşitsizliklerle belirtilen kısmıdır:

$$-\frac{t}{2} \leq s \leq \frac{t}{2}, \quad \frac{t_g}{2} \leq x \leq \frac{b}{2} \quad (15)$$



Şekil 3. Başlıkta kalınlık doğrultusunda τ_{zy} kayma gerilmesi dağılışı

$s=0$ konularak elde edilen en büyük değeri Şekil 3 de de gösterilen şu değerdir:

$$\text{maks } \tau_{yz} = \frac{T_y}{I_x} \frac{t^2}{8} \quad (16)$$

Başlıklardaki $\tau_{zy} = \tau_{yz}$ ve $\tau_{zx} = \tau_{xz}$ Kayma Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Şekil 2 de de gösterilen $\tau_{zx} = \tau_{xz}$ gerilmesinin en büyük değeri olan (7) ifadesi ile (16) da elde edilen kalınlık doğrultusundaki $\text{maks } \tau_{zy} = t^2 T_y / 8I_x$ değeri karşılaştırılacaktır. Bu değerler oranlandığında, I kesitli kirişin kesit ölçülerine bağlı olarak bu oranın:

$$t_g = t, \quad h = 5t, \quad b = 5t_g \text{ olması halinde} \quad 64 \text{ kat,}$$

$$t_g = t, \quad h = 10t, \quad b = 10t_g \text{ olması halinde} \quad 324 \text{ kat}$$

olduğu görülmektedir. *Sonuç olarak başlıklardaki kalınlık doğrultusundaki τ_{zy} kayma gerilmelerinin ihmal edilebileceği anlaşılmaktadır.*

Mukavemet kitaplarında başlıkta kayma gerilmesinin kalınlık doğrultusunda bileşeni için verilen en büyük ortalama değer; (6) ifadesinin t_g / b katıdır. Bunun (16) ile oranı ise

$$t_g = t, \quad h = 5t, \quad b = 5t_g \text{ olması halinde} \quad 16 \text{ kat,}$$

$$t_g = t, \quad h = 10t, \quad b = 10t_g \text{ olması halinde} \quad 36 \text{ kat}$$

olup bu çalışmada hesaplanan (16) değerinin, mukavemet kitaplarında verilene göre bile ne kadar daha küçük olduğunu göstermektedir.

KAYMA AKIMI İLE AYNI SONUCUN ELDE EDİLMESİ

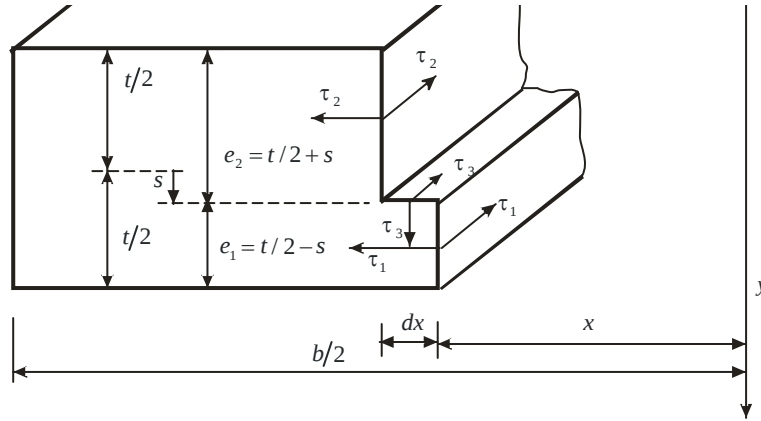
Şekil 4 deki elemanda yan yüzeylerdeki kayma akımı, etki eden kayma gerilmeleri ile etkidikleri uzunlukların çarpımlarının toplamıdır:

$$q = (dx)\tau_3 + e_1 \tau_1 + e_2 \tau_2 \quad (17)$$

şeklinde hesaplanır. Aynı kayma akımı mukavemetinde öğretildiği şekilde

$$q = \frac{T_y}{I_x} S_x = \frac{T_y}{I_x} \left[\left(\frac{b}{2} - x \right) t \frac{h-t}{2} - e_2 (dx) \left(\frac{h}{2} - t + \frac{e_2}{2} \right) \right] \quad (18)$$

olarak da hesaplanır. Bunlar eşitlendikten sonra sadeleştirmeler yapılarak τ_{zy} değeri elde edilir. Elde edilen değer (14) deki ile aynıdır. *Sonuç olarak kayma akımı yardımıyla da (14) ifadesi elde edilebilmektedir.*



Şekil 4. $\tau_{yz} = \tau_{zy} = \tau_3$ kayma gerilmesi

GÖVDEDE τ_{zx} KAYMA GERİLMESİ

Yukarıdakilere benzer şekilde yapılan hesaplar sonunda gövdede kayma gerilmesinin kalınlık doğrultusunda bileşeni olmadığı hesaplanmaktadır:

$$\tau_{zx} = 0 \quad (19)$$

GÖVDE İLE BAŞLIĞIN ORTAK BÖLGESİ

Bu bölgede kayma akımı, gövdeden başlığa geçiş bölgesi özelliği göstermektedir. Bu özellik, açık bir tüp kesitteki kayma akımından faydalanarak açıklanacaktır.

KÖŞELİ AÇIK TÜP KESİTTE KAYMA GERİLMELERİ

Kayma Akımı

Şekil 5.a da böyle bir kesit görülmektedir. Kesit alanının G merkezine x, y eksen takımı yerleştirilmiştir. Kesitte çubuk eksenini etrafında dönme meydana gelmemesi için kesme kuvveti S kayma merkezine etki etmektedir. Cidarın kalınlık doğrultusunda ölçülen u koordinatı ve cidar orta çizgisi boyunca ölçülen v koordinatı Şekil 5.a daki gibidir. Cidara v koordinatı yönünde çizilen teğetin x eksenini yönünden itibaren matematik artı yönde yaptığı açı α dır.

Elastisite teorisindeki (1) denklemi, bu koordinatlar kullanıldığında

$$\frac{\partial \tau_{uz}}{\partial u} + \frac{\partial \tau_{vz}}{\partial v} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0 \quad (20)$$

şeklini alır. (2) normal gerilme ifadesi, böyle genel bir eğik eğilme probleminde

$$\sigma_z = \frac{1}{I_x I_y - I_{xy}^2} [M_x (I_y y - I_{xy} x) + M_y (I_{xy} y - I_x x)] \quad (21)$$

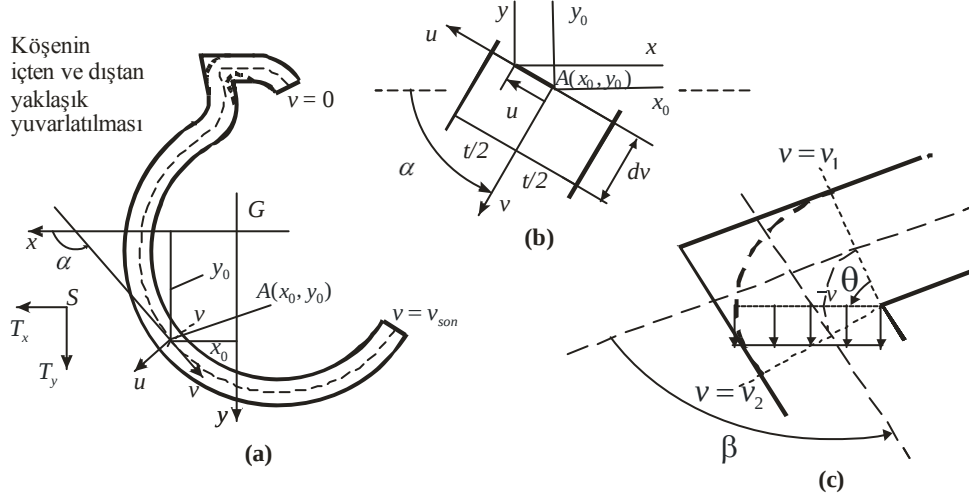
şeklindedir. Aşağıdaki bağıntıları da dikkate alarak

$$\frac{\partial M_x}{\partial z} = +T_y, \quad \frac{\partial M_y}{\partial z} = -T_x, \quad S_x = \int_{v=0}^v y \, dA, \quad S_y = \int_{v=0}^v x \, dA \quad (22)$$

açık tüp kesitte v yönündeki kayma akımı; [2] de aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$q = (-) \frac{1}{I_x I_y - I_{xy}^2} [T_y (I_y S_x - I_{xy} S_y) - T_x (I_{xy} S_x - I_x S_y)] \quad (23)$$

Kayma akımını v yönünde elde edebilmek için (23) ifadesinde ilk parantez içinde eksi işareti kullanılmıştır. (22) statik momentlerinde integraller; $v = 0$ ile $v = v$ aralığı yerine $v = v$ ile $v = v_{son}$ aralığında hesaplanırsa "+" işareti kullanılacaktır.



Şekil 5. (a) Açık tüp kesit, (b) Statik moment artımı hesabı için $t dv$ elemanı, (c) Yuvarlatılmış köşede θ açısında hesaplanacak kayma gerilmeleri

Kalınlık Doğrultusunda Kayma Gerilmesi

(23) ifadesinin t kalınlığına bölümü $\tau_{vz} = \tau_{zv}$ kayma gerilmesidir. (20) ifadesinde bu gerilmenin v koordinatına göre türevi gelmektedir:

$$\frac{\partial \tau_{vz}}{\partial v} = (-) \frac{1}{t (I_x I_y - I_{xy}^2)} \left[T_y \left(I_y \frac{dS_x}{dv} - I_{xy} \frac{dS_y}{dv} \right) - T_x \left(I_{xy} \frac{dS_x}{dv} - I_x \frac{dS_y}{dv} \right) \right] \quad (24)$$

Şekil 5.b deki gibi v koordinatına verilecek dv artımından dolayı statik moment artımları ve (24) de geçen türevleri hesaplanırsa,

$$dS_x = (tdv)y_0, \quad dS_y = (tdv)x_0, \quad \frac{dS_x}{dv} = ty_0, \quad \frac{dS_y}{dv} = tx_0 \quad (25)$$

olarak elde edilir. Burada x_0 ve y_0 , cidar orta çizgisinin v deki koordinatlarıdır (Şekil 5.b). Yine (22) ifadeleri dikkate alınarak (20) ifadesinde geçen (21) normal gerilmesinin z koordinatına göre türevi,

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \frac{1}{I_x I_y - I_{xy}^2} [T_y (I_y y - I_{xy} x) - T_x (I_{xy} y - I_x x)] \quad (26)$$

olarak hesaplanır. (24), (25) ve (26) ifadeleri (20) de yerine konulacak olursa

$$\frac{\partial \tau_{uz}}{\partial u} = \frac{1}{I_x I_y - I_{xy}^2} \{ T_y [I_y (y - y_0) - I_{xy} (x - x_0)] - T_x [I_{xy} (y - y_0) - I_x (x - x_0)] \}$$

ifadesi elde edilir. Şekil 5.b incelenirse $(y - y_0) = -u \cos(\alpha)$ ve $(x - x_0) = +u \sin(\alpha)$ olduğu görülür. Bunlar yerine konulur, integre edilir ve τ_{uz} kayma gerilmesinin sınır koşullarının

$$u = \pm t/2 \quad \text{de} \quad \tau_{uz} = \tau_{zu} = 0 \quad (27)$$

şeklinde kullanılmasıyla kalınlık doğrultusunda kayma gerilmesi elde edilir:

$$\tau_{zu} = \tau_{uz} = \left[\left(\frac{t}{2} \right)^2 - u^2 \right] \left\{ \frac{\left\{ T_y \left[-I_y \cos(\alpha) - I_{xy} \sin(\alpha) \right] - T_x \left[-I_{xy} \cos(\alpha) - I_x \sin(\alpha) \right] \right\}}{2(I_x I_y - I_{xy}^2)} \right\} \quad (28)$$

Kalınlık doğrultusundaki kayma gerilmeleri yine parabol şeklindedir ve ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

Açık tüp kesitte köşe olması hali

Şekil 5.c deki köşe açısı, yani kollar arasındaki açı β olsun. Bu bölgede kayma akımının hesabı, köşeleri yuvarlatılmış köşesiz diğer bir açık tüp kesite dönüştürülerek yapılır. $\tau_{vz} = \tau_{zv}$ kayma gerilmesi (23) ifadesinin t kalınlığına bölümüdür. Cidarın t kalınlığı; kişiden kişiye yapılabilecek farklı yuvarlatmalar sırasında çok değişiklik göstermez. Bu yüzden sonuçlar az etkilenir. Kayma gerilmeleri köşeden önce $\tau_{vz} = \tau_0$, köşeden sonra $\tau_{vz} = \tau_1$ olsun. Köşede herhangi bir θ açısı ile belirtilen v koordinatında kayma gerilmesi θ/β oranı ile orantı kurularak yaklaşık olarak belirlenebilir;

$$\tau = \tau_0 + \frac{(\tau_1 - \tau_0)}{\beta} \theta. \quad (29)$$

Yön olarak v yönünde olan bu kayma gerilmesinin x ve y yönlerindeki bileşenleri kullanılır:

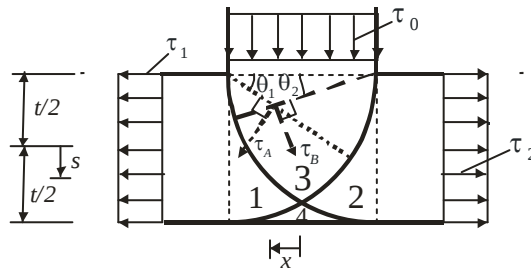
$$\begin{aligned} \tau_{zx} &= \tau \cos(\alpha) \\ \tau_{zy} &= \tau \sin(\alpha) \end{aligned} \quad (30)$$

Kalınlık doğrultusundaki kayma gerilmeleri ihmal edilmiş olup dikkate alınmamıştır.

[Not: Daha iyi bir yaklaşım; q ve t kalınlığını (29) benzeri ifadelerle bulduktan sonra $\tau = q/t$ oranını kullanmaktır. Bu da yine yaklaşık hesaptır. Bu çalışmada (29) ifadesi kullanılmıştır].

I KESİTLİ KİRİŞLERDE GÖVDE İLE BAŞLIĞIN ORTAK BÖLGESİ

Gövdedeki kayma akımı gövdeye dik olan başlıkta iki kısma bölünmektedir (Şekil 6.). Dallanmadan önce kayma gerilmesi $\tau_{zy} = \tau_0$ olsun. Buradan itibaren ölçülen dallanma açısı her iki kolda da $\beta = 90^\circ$ dir. Başlığın kollarında statik momentler S_1 ve S_2 , kayma gerilmeleri $\tau_{zx} = \tau_1$ ve $\tau_{zx} = -\tau_2$ olsun.



Şekil 6. Gövde ve başlık geçişi: İki kola dallanırken iki ayrı yuvarlatma ve dört ayrı bölge. Buna göre bölgenin herhangi bir $(x; s)$ noktasında kayma gerilmesi hesabı; “ $(t_g/2; -t/2)$ ” ve “ $(t_g/2; t/2)$ ” iç köşe noktalarının merkez kabul edilmesi halinde şöyle yapılır:

- Kayma gerilmesi hesaplanacak olan $(x; s)$ noktasına merkezlerden çizilen doğruların θ_1 ve θ_2 açıları belirlenir:

$$\theta_1 = \text{Arc tan} \frac{t/2 + s}{t_g/2 - x} \quad \theta_2 = \text{Arc tan} \frac{t/2 + s}{t_g/2 + x}$$

- Başlığın kollarının statik momentleri ile orantılı olarak τ_0 kayma gerilmesi bölüştürülür:

$$\tau_{01} = \frac{S_1}{S_1 + S_2} \tau_0, \quad \tau_{02} = \frac{S_2}{S_1 + S_2} \tau_0$$

- $(x; s)$ noktasında iki ayrı kayma gerilmesi (34) orantısıyla aşağıdaki gibi bulunur.

$$\tau_A = \tau_{01} + \frac{(\tau_1 - \tau_{01})}{90} \theta_1 \quad \tau_B = \tau_{02} + \frac{(\tau_2 - \tau_{02})}{\beta} \theta_2$$

- Şekil 6 daki bölgelerden birinci bölgede sadece τ_A gerilmesi, ikinci bölgede sadece τ_B gerilmesi üçüncü ortak bölgede her ikisi birlikte vardır, dördüncü bölgede ise her ikisi de yoktur. $(x; s)$ noktasındaki kayma gerilmesi bunların bileşkesidir. Dört farklı bölgede τ_{zx} ve τ_{zy} bileşenleri sıra ile aşağıdaki gibi toplanarak hesaplanır:

$$\begin{pmatrix} \tau_{zx} = \tau_A \sin(\theta_1) \\ \tau_{zy} = \tau_A \cos(\theta_1) \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \tau_{zx} = -\tau_B \sin(\theta_2) \\ \tau_{zy} = +\tau_B \cos(\theta_2) \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \tau_{zx} = \tau_A \sin(\theta_1) - \tau_B \sin(\theta_2) \\ \tau_{zy} = \tau_A \cos(\theta_1) + \tau_B \cos(\theta_2) \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \tau_{zx} = 0 \\ \tau_{zy} = 0 \end{pmatrix} \quad (31)$$

Bir Örnek

$t_g = t = 2\text{cm}$, $S_1 = S_2$, $\tau_0 = 25\text{MPa}$, $\tau_1 = \tau_2 = 10\text{MPa}$ hali için kayma gerilmesi bileşenleri $-t/2 < x < t/2$ ve $-t_g/2 < s < t_g/2$ aralığındaki ortak bölgede hesaplanarak Çizelge 1 de verilmiştir. Şekil 6 daki 1, 2, 3, 4 bölgelerinden birinden diğerine geçişte çizelgedeki değerler süreksizlik göstermektedir. Bu olumuz yan, sonuçlar bölümünde değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Sol çizelgede τ_{zy} , sağ çizelgede τ_{zx} kayma gerilmeleri (birimler: MPa dır).

x											s	x										
1	0,8	0,6	0,4	0,2	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1		1	0,8	0,6	0,4	0,2	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	-1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-10
0	21	23	24	24	24	24	24	23	21	0	-1	10	7	3,9	2,1	1	0	-1	-2,1	-3,9	-7	-10
0	17	20	22	22	23	22	22	20	17	0	-1	10	7,7	5,4	3,3	1,6	0	-1,6	-3,3	-5,4	-7,7	-10
0	15	18	20	20	21	20	20	18	15	0	-0	10	7	5,5	3,6	1,8	0	-1,8	-3,6	-5,5	-7	-10
0	14	16	18	18	19	18	18	16	14	0	-0	10	6,2	5	3,4	1,7	0	-1,7	-3,4	-5	-6,2	-10
0	2,2	15	16	17	17	17	16	15	2,2	0	0	10	-11	4,3	3	1,6	0	-1,6	-3	-4,3	-11	-10
0	1,9	3,6	14	15	15	15	14	3,6	1,9	0	0,2	10	11	11	2,6	1,4	0	-1,4	-2,6	-11	-11	-10
0	1,6	3,2	13	13	14	13	13	3,2	1,6	0	0,4	10	11	11	2,2	1,2	0	-1,2	-2,2	-11	-11	-10
0	1,4	2,8	4,1	12	12	12	4,1	2,8	1,4	0	0,6	10	11	11	11	10	0	-10	-11	-11	-11	-10
0	1,3	2,5	3,6	4,7	0	4,7	3,6	2,5	1,3	0	0,8	10	11	11	11	11	0	-10	-11	11	-11	-10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-10

SONUÇLAR

- Kalınlık doğrultusundaki kayma gerilmelerinin dağılışı parabol şeklinde hesaplanmış olup uçlarda sıfır, ortada en büyük değerine sahiptir. Ortadaki en büyük değer bile çok küçük olduğunu gösteren bir karşılaştırma verilmiştir. İhmal edilirler.
- Kalınlık doğrultusundaki kayma gerilmesi, ince cidarlı genel bir açık tüp kesitte de parabol olarak hesaplanmıştır. Açık tüp kesitin orta çizgisinin köşe yapması hali için basitleştirici bir çözüm önerilmiştir. Bu sonuçlar üçüncü şıkta kullanılmıştır.
- I kesitli kirişlerde başlık ve gövdenin ortak bölgesinde (dallanma kısmında) kayma akımı ve kayma gerilmeleri için basitleştirici bir kabul önerilmiştir. Ancak Çizelge 1 de verilen değerler, Şekil 6 daki 1, 2, 3, 4 bölgeleri arasındaki geçiş değerlerinde süreksizlik gösterir ki bu da bu çalışmada önerilen yöntemin geçiş bölgeleri için doğru olmadığını söyler.
- Bununla birlikte açık tüp kesitlerde eğrilik olan kısımlarda kayma gerilmelerinin, kalınlığa göre düzgün yayılı olmayabileceğini ve dış kenarda sıfır olması halinde bu çalışmada önerilen yöntemde dört bölge arasındaki geçişlerde süreklilik sağlanacağını da akla getirir.

KAYNAKLAR

- [1] F.P. Beer, E.R. Johnston, *Mechanics of Materials*, McGraw-Hill, 1985.
- [2] M.H. Omurtag, *Mukavemet Cilt-II-*, Birsen, 2005.
- [3] M. Bakioğlu, *Cisimlerin Mukavemeti Cilt 2*, Beta, 2009.