

# Structural Steel Design-2

Prof. Mohammad Al-Samara

## LECTURE # 8

### تصميم العناصر المعرضة للضغط والانعطاف

#### Beam-Column Design

#### مقدمة:

قلما توجد في الحياة العملية العناصر المعرضة للضغط البسيط أو الانعطاف بشكل منفصل، حيث يترافق الضغط مع العزم نتيجة إما لامركزية الوصلات التي تؤدي إلى نقل الأحمال بشكل غير مركزي أو نتيجة العزوم المنتقلة عبر العقد الصلبة أو المنتقلة نتيجة استمرار العناصر.

يجب تحقيق مقاومة العنصر المضغوط والمعرض إلى عزم في نقاط العزم الأعظمي حيث تُسقف طاقة تحمل العنصر إما بوصوله إلى مرحلة السيالان أو بحدوث تحنيب موضعي، أو بحدوث تحنيب كلي أو بحدوث تحنيب فتل جانبي. لذلك حدد الكود BS EN 1993-1-1: 2005 مجموعة الشروط (علاقات الترابط) الواجب تحقيقها

### تحقيق مقاومة المقطع العرضي Resistance of cross-sections

قدم الكود العلاقة المحافظة (8-1) لتحقيق المقاطع من الأصناف 1 و 2 و 3 التي تعتمد جمعاً خطياً لأثار القوة المحورية المطبقة  $N_{Ed}$  والعزمين المطبقين  $M_{z,Ed}$  و  $M_{y,Ed}$  حول المحورين  $z$  و  $y$  على الترتيب عند المقطع الحرج

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1.0 \quad (8-1)$$

حيث تمثل  $N_{Rd}$  و  $M_{y,Rd}$  و  $M_{z,Rd}$  المقاومة التصميمية للقوة المحورية وللعزم حول المحورين  $z$  و  $y$  على الترتيب آخذين بالحسبان تصنيف المقطع وأي تخفيض قد ينتج عن تأثير القص على مقاومة العزم

3

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

كما قدم الكود العلاقة (8-2) لتصميم المقاطع من الصنف 1 و 2 التي تعطي حلولاً أكثر اقتصادية

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (8-2)$$

حيث  $M_{N,Rd}$  مقاومة العزم التصميمية مع الأخذ بالحسبان التخفيض الناتج عن القوة المحورية  $N_{Ed}$

1) عندما يكون المقطع من النوع I و H ومتناظر حول محورين ويخضع للانعطاف حول المحور  $y$  لا حاجة لتخفيض مقاومة العزم التصميمية إذا تحقق كل من الشرطين الآتيين:

$$N_{Ed} \leq 0.25N_{pl,Rd} \quad (8-3)$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0.5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (8-4)$$

وبشكل مشابه لا حاجة لتخفيض مقاومة العزم التصميمية عندما يكون الانعطاف حول المحور  $z$  إذا تحقق الشرط التالي:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (8-5)$$

4

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

(2) تُحسب مقاومة العزم التصميمية للمقاطع I و H المدرفلة أو الملحومة ذات الأجنحة المتساوية باستخدام العلاقات الآتية:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n)/(1 - 0.5a) \leq M_{pl,y,Rd} \quad (8-6)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \quad \text{for } n \leq a \quad (8-7)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \quad \text{for } n > a \quad (8-8)$$

حيث:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

$$a = (A - 2bt_f) / A \leq 0.5$$

5

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

(3) تُحسب مقاومة العزم التصميمية للمقاطع المستطيلة المفرغة ذات السماكة الثابتة وللمقاطع الصندوقية الملحومة ذات السماكة الواحدة للجناحين وكذلك بسماكة واحدة للجسدين باستخدام العلاقات الآتية:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n)/(1 - 0.5a_w) \leq M_{pl,y,Rd} \quad (8-9)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n)/(1 - 0.5a_f) \leq M_{pl,z,Rd} \quad (8-10)$$

حيث:

$a_w = (A - 2bt) / A \leq 0.5$	للمقاطع المستطيلة المفرغة
$a_w = (A - 2bt_f) / A \leq 0.5$	للمقاطع الصندوقية الملحومة
$a_f = (A - 2bt) / A \leq 0.5$	للمقاطع المستطيلة المفرغة
$a_f = (A - 2bt_w) / A \leq 0.5$	للمقاطع الصندوقية الملحومة

6

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

4) عندما يتعرض المقطع إلى عزم حول المحورين مع أو بدون قوة محورية يجب أن يحقق علاقة الترابط (8-11) التي تعطي نتائج أفضل من العلاقة (8-1)

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1.0 \quad (8-11)$$

حيث:  $\alpha$  و  $\beta$  ثابتان يُحددان من الجدول (8-1) الآتي:

الجدول (8-1): قيم $\alpha$ و $\beta$		
نوع المقطع	$\beta$	$\alpha$
المقطع H و I	$5n \geq 1$	2
مفرغ دائري	2	2
مفرغ مستطيل	$\frac{1.66}{1 - 1.13n^2} \leq 6$	$\frac{1.66}{1 - 1.13n^2} \leq 6$

7

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

من أجل المقاطع ذات التصنيف 3 يُكتفى بتطبيق العلاقة (8-1) مع استخدام الخصائص المرنة للمقطع أما المقاطع من الصنف 4 فلا بد من استخدام الخصائص المرنة للمقطع الفعال مع الأخذ بالحسبان اللامركزية الناتجة بين مركزي ثقل المقطع الأصلي والمقطع الفعال فتصبح العلاقة (8-1) كالآتي:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff}f_y/\gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{W_{eff,y,min}f_y/\gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{W_{eff,z,min}f_y/\gamma_{M0}} \leq 1.0 \quad (8-12)$$

$$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed}e_{Ny} \quad \Delta M_{z,Ed} = N_{Ed}e_{Nz} \quad (8-13a,b)$$

حيث:

$A_{eff}$  المساحة الفعالة للمقطع العرضي  
 $W_{eff,min}$  معامل المقطع المرن للمقطع الفعال المقابل لليف الذي يحصل عنده إجهادات الانعطاف الأعظمية

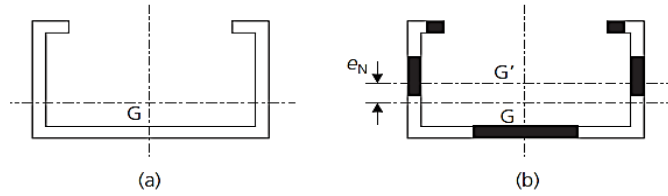
8

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

$\Delta M_{y,Ed}$  و  $\Delta M_{z,Ed}$  هو العزم الناتج عن انزياح مركز ثقل المقطع الفعّال عن مركز ثقل المقطع الأصلي باتجاه المحور  $z$  و  $y$  بلا مركزية قدرها  $e_{Ny}$  و  $e_{Nz}$  على الترتيب وذلك عندما يكون المقطع العرضي خاضعاً لضغط فقط

Shift in neutral axis from (a) gross to (b) effective cross-section



9

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

### تحقيق التحنيد الكلي وحنيد الفتل الجانبي

لتجنب حدوث تحنيد كلي و/ أو تحنيد فتل جانبي للعنصر يجب أن تحقق العزوم والقوى المحورية المطبقة علاقتي الترابط الآتيتين:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}} + K_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + K_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1.0 \quad (8-14)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}} + K_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + K_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1.0 \quad (8-15)$$

حيث:

$N_{Ed}$  القوة المحورية المطبقة و  $M_{y,Ed}$  و  $M_{z,Ed}$  العزومين الأعظمين المطبقين حول المحورين  $y$  و  $z$  على الترتيب على العنصر المدروس  
 $\chi_y$  و  $\chi_z$  معاملي تخفيض التحنيد الكلي حول المحورين  $y$  و  $z$  على الترتيب  
 $\chi_{LT}$  معامل تخفيض الفتل الجانبي

10

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

المقاومة التصميمية للقوة المحورية وللعزم حول المحورين  $y$  و  $z$  على الترتيب أخذين بالحسبان تصنيف المقطع وتحدد وفق الجدول (8-2) الآتي:

الجدول (8-2) : $N_{Rk} = f_y A_i$ , $M_{y,Rk} = f_y W_{i,y}$ , $\Delta M_{i,Ed}$				
Class	1	2	3	4
$A_i$	A	A	A	$A_{eff}$
$W_y$	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
$W_z$	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$N_{Ed} e_{Ny}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$N_{Ed} e_{Nz}$

11

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

لحسابهما في الملحقين A و B من الكود 2005: 1-1-1993 EN. ويمكن تحديد قيم عظمى (محافظة) لهذه المعاملات من الجدول (8-3) كما يمكن حساب قيم أدق لها بالاستعانة بالجدول (8-4) والأشكال (8-2,3,...,8)

الجدول (8-3): قيم عظمى (محافظة) لـ $K_{yy}$ و $K_{yz}$ و $K_{zy}$ و $K_{zz}$		
معامل الترابط	Class 1 and 2	Class 3
$K_{yy}$	$1.8C_{my}$	$1.6C_{my}$
$K_{yz}$	$0.6K_{zz}$	$K_{zz}$
$K_{zy}$	1.0	1.0
$K_{zz}$	$2.4C_{mz}$	$1.6C_{mz}$

يتم تحديد  $C_{mz}$  و  $C_{my}$  باستخدام الجدول (8-5)

12

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

الجدول (8-4): معاملات الترابط Interaction factors					
معاملات الترابط Interaction Factors	المعيار Criteria	المقطع Section	صنف المقطع		المعامل C Factor
			Class 1 and 2 cross- sections	Class 3 cross- sections	
$K_{yy}$	–	الكل	الشكل (8-2)	الشكل (8-3)	$C_{my}$
$K_{yz}$	–	الكل	$0.6K_{zz}$	$K_{zz}$	–
$K_{zz}$	غير عرضة لتشوّهات الفتل	المقاطع RHS	الشكل (8-7)	الشكل (8-8)	$C_{mz}$
	عرضة لتشوّهات الفتل	المقاطع I	الشكل (8-6)	الشكل (8-8)	$C_{mz}$
$K_{zy}$	غير عرضة لتشوّهات الفتل	الكل	$0.6K_{yy}$	$0.8K_{yy}$	–
	عرضة لتشوّهات الفتل	المقاطع I	الشكل (8-4)	الشكل (8-5)	$C_{mLT}$

13

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

عموماً، عندما يكون المقطع من الصنف 1 و 2 يمكن استخدام احدي العلاقتين (8-17)  
 $C_{mLT} = 1.0$  لحساب  $k_{zy}$  بدلاً من الشكل (8-4) الذي يخص الحالة

$$k_{zy} = 1 - \frac{0.1\bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0.25} \times \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \geq 1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \times \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \quad (8-16)$$

$$\text{For } \bar{\lambda}_z < 0.4: k_{zy} = 0.6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0.1\bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0.25} \times \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \quad (8-17)$$

وعندما يكون المقطع من الصنف 3 و 4 يمكن استخدام العلاقة (8-18) لحساب  $k_{zy}$   
 بدلاً من الشكل (8-5) الذي يخص الحالة  $C_{mLT} = 1.0$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0.05\bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0.25} \times \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \geq 1 - \frac{0.05}{C_{mLT} - 0.25} \times \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \quad (8-18)$$

14

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

الجدول (8-5): معاملات العزم المنتظم المكافئ  $C_m$  Equivalent uniform moment factors  $C_m$

Moment diagram	range		$C_{my}$ and $C_{mz}$ and $C_{mLT}$		
			uniform loading	concentrated load	
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$		
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$	
	$\alpha_h = M_h/M_s$	$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	
		$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 - 0,10\alpha_h(1+2\psi)$	

For members with sway buckling mode the equivalent uniform moment factor should be taken  $C_{my} = 0,9$  or  $C_{Mz} = 0,9$  respectively.

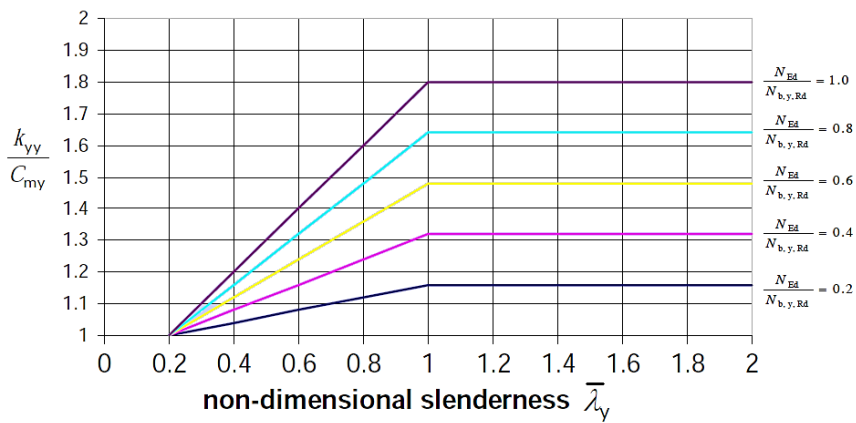
$C_{my}$ ,  $C_{mz}$  and  $C_{mLT}$  should be obtained according to the bending moment diagram between the relevant braced points as follows:

moment factor	bending axis	points braced in direction
$C_{my}$	y-y	z-z
$C_{mz}$	z-z	y-y
$C_{mLT}$	y-y	y-y

15

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021



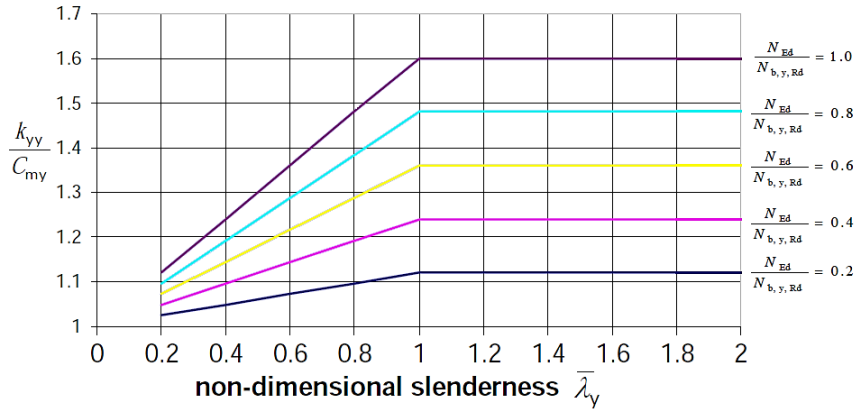
الشكل (8-2):  $K_{yy}$  للمقاطع من الصنف 1&2

16

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021



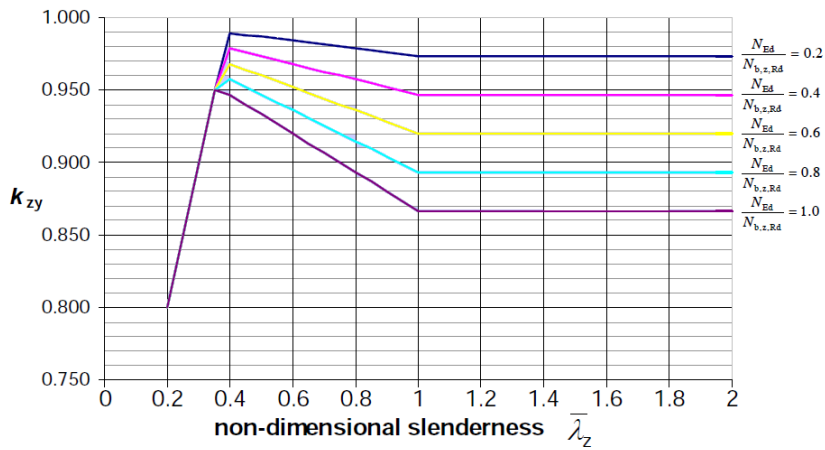


الشكل (8-3):  $K_{yy}$  للمقاطع من الصنف 3

17

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

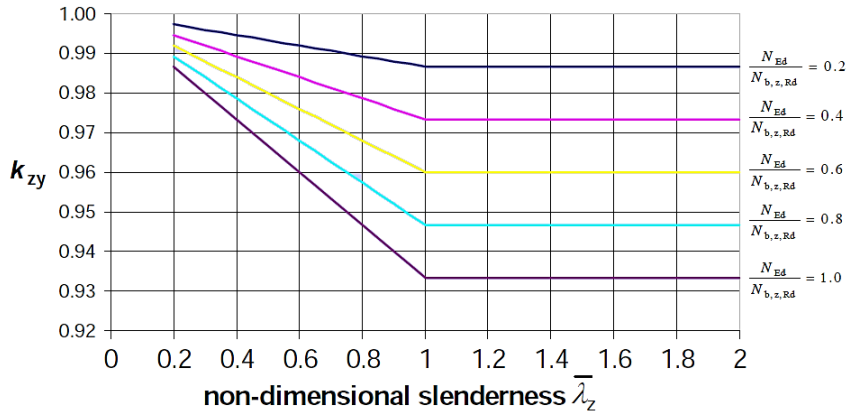


الشكل (8-4):  $K_{zy}$  للمقاطع I من الصنف 1&2 من أجل  $C_{mLT} = 1.0$

18

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

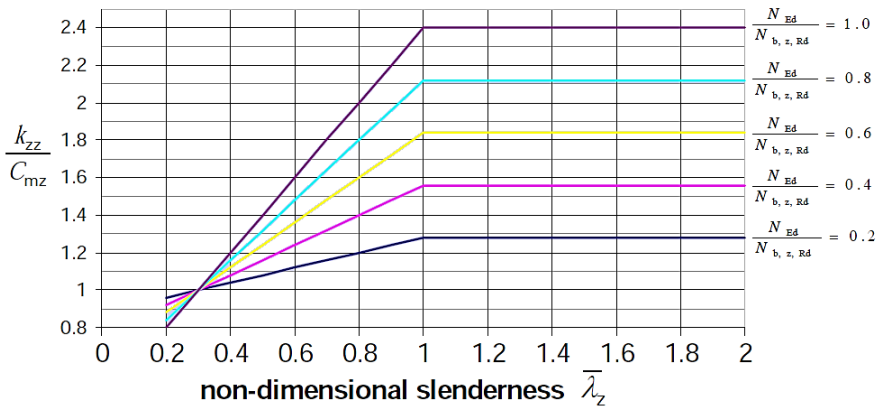


الشكل (8-5):  $k_{zy}$  للمقاطع I من الصنف 3 من أجل  $C_{mLT} = 1.0$

19

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

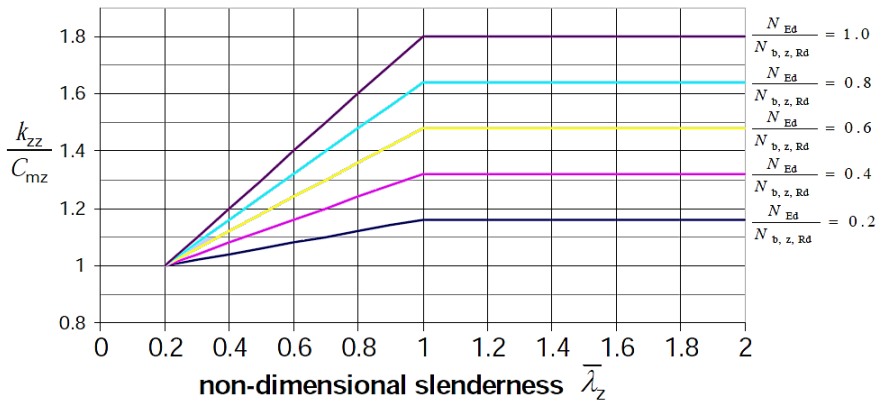


الشكل (8-6):  $k_{zz}$  للمقاطع I من الصنف 1 & 2

20

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

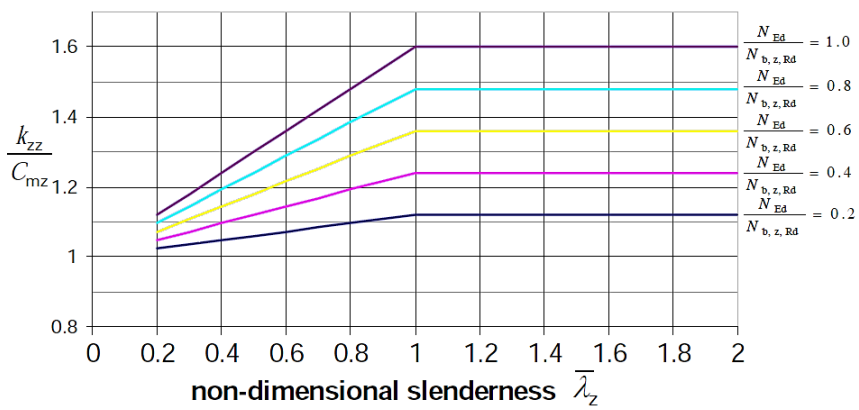


الشكل (8-7):  $K_{zz}$  للمقاطع RHS من الصنف 1&2

21

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021



الشكل (8-8):  $K_{zz}$  للمقاطع I و RHS من الصنف 3

22

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

## أعمدة المنشآت البسيطة Column of simple construction

المنشآت البسيطة هي المنشآت ذات الإطارات المستطيلة متعددة الطوابق والمزودة بشبكات تربيط تمنعها من الانزياح الجانبي مع وصلات بسيطة بين الجوائز والأعمدة تسمح بنقل كمية محدودة من العزوم إلى الأعمدة، فتصمم الجوائز والأعمدة لمقاومة الأحمال الشاقولية فقط.

سمح الملحق البريطاني للكود بتبسيط إجراءات تصميم أعمدة الإطارات البسيطة بحيث تُستبدل المتراجحتان (8-14,15) بالعلاقة (8-19) إذا تحققت الشروط الآتية:

- المقاطع المستخدمة في الأعمدة مدرجلة I و H و RHS من الأصناف 1 و 2 و 3
- تغير عزم الانعطاف على طول العמוד خطأً حول المحورين y و z
- العמוד مقيداً جانبياً في الاتجاهين y و z عند مستوي الطوابق وغير مقيد بينهما

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + 1.5 \frac{M_{z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1.0 \quad (8-19)$$

حيث:

$$N_{b,z,Rd} = \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1} \quad (8-20)$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1} \quad (8-21)$$

$$M_{c,z,Rd} = M_{z,Rk} / \gamma_{M1} \quad (8-22)$$

تُحدد  $N_{Rk}$  و  $M_{y,Rk}$  و  $M_{z,Rk}$  كما في الجدول (8-2)

**العناصر الخاضعة لانعطاف مركب** Members with biaxial Moments  
تصمم العناصر الخاضعة لانعطاف مركب وبدون وجود قوة ضغط محورية لتحقق الفقرات السابقة مع تعويض القوة  $N_{Ed}$  بالصفر في كل العلاقات.

مثال: (8-2)

يبين الشكل أدناه الأحمال التي يتعرض لها عادة عمود يسند جانزاً شبكياً في مبنى صناعي. صمم العمود من فولاذ ماركتته S275 علماً أن الحمولات المطبقة هي كما يلي:

الأحمال الميتة:

رد الفعل الميت للجائز الشبكي  $W_{d1} = 50 \text{ kN}$

الوزن الذاتي للجائز الرافعة  $W_{d2} = 20 \text{ kN}$

الوزن الذاتي للعمود  $W_{d3} = 10 \text{ kN}$

الوزن الذاتي لتغطية الجدار  $W_{d4} = 16 \text{ kN}$

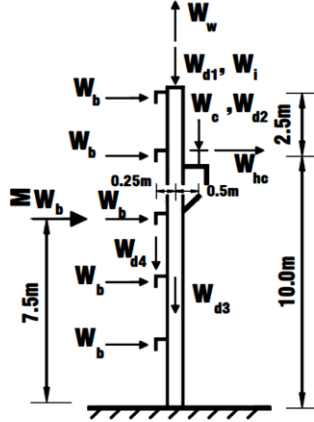
مجموع الأحمال الميتة  $\Sigma W_d = 96 \text{ kN}$

الأحمال الحية الناتجة عن الثلج:

رد الفعل الحي للجائز الشبكي  $W_i = 78 \text{ kN}$

أحمال الرياح:

رد فعل الجائز الشبكي (شد)  $W_w = -90 \text{ kN}$



25

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

رد فعل سكة الجدار  $W_b = 11 \text{ kN}$

حاصلة رد فعل سكة الجدران  $\Sigma W_b = 55 \text{ kN}$

أحمال الرافعة: شاملة الفعل الديناميكي

حمل الرافعة الشاقولي  $W_c = 220 \text{ kN}$

حمل فرملة الرافعة (أفقي)  $W_{ch} = 6 \text{ kN}$

لا بد من تحقيق العمود على مجموعة من حالات التحميل الآتية:

26

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

العزم $M_{y,Ed}$ (kN.m)	القوة الناظمية (kN) $N_{Ed}$	حالة التحميل
$1.35 \times (W_{d2} \times 0.5 - W_{d4} \times 0.25)$ = 8.1	$1.35 \Sigma W_d + 1.5W_i$ = 246.6	1
$1.0 \times (W_{d2} \times 0.5 - W_{d4} \times 0.25)$ $+ 1.5 \times 7.5 \times \Sigma W_b = 624.75$	$1 \times \Sigma W_d + 1.5W_w$ = -39	2
$1.35 (W_{d2} \times 0.5 - W_{d4} \times 0.25)$ $+ 1.5 W_c \times 0.5 + 1.5 \times 0.7 W_{ch} \times 10$ = 236.1	$1.35 \Sigma W_d + 1.5W_c$ = 459.6	3
$1.35 (W_{d2} \times 0.5 - W_{d4} \times 0.25)$ $+ 1.5 \times 0.7 W_c \times 0.5$ $+ 1.5 \times 0.7 W_{ch} \times 10 = 186.6$	$1.35 \Sigma W_d + 1.5W_i$ $+ 1.5 \times 0.7 W_c = 477.6$	4

27

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

$1.35 (W_{d2} \times 0.5 - W_{d4} \times 0.25)$ $+ 1.5 W_c \times 0.5$ $+ 1.5 \times 0.7 W_{ch} \times 10 = 236.1$	$1.35 \Sigma W_d + 1.5W_c$ $+ 1.5 \times 0.7 W_i = 541.5$	5
$1.35 (W_{d2} \times 0.5 - W_{d4} \times 0.25)$ $+ 1.5 \times 0.7 \times 7.5 \times \Sigma W_b = 441.2$	$1.35 \Sigma W_d + 1.5W_i$ $+ 1.5 \times 0.7 W_w = 152.1$	6
$1.35 (W_{d2} \times 0.5 - W_{d4} \times 0.25)$ $+ 1.5 \times 7.5 \times \Sigma W_b = 626.8$	$1.35 \Sigma W_d + 1.5W_w$ $+ 1.5 \times 0.7 W_i = 76.5$	7
$1.35 (W_{d2} \times 0.5 - W_{d4} \times 0.25)$ $+ 1.5 W_c \times 0.5 + 1.5 \times 0.7 W_{ch} \times 10$ $+ 1.5 \times 0.7 \times 7.5 \times \Sigma W_b = 669.2$	$1.35 \Sigma W_d + 1.5W_c$ $+ 1.5 \times 0.7 W_w = 365.1$	8

28

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

$1.35(W_{d2} \times 0.5 - W_{d4} \times 0.25)$ $+1.5 \times 0.7 \times (W_c \times 0.5 + W_{ch} \times 10)$ $+1.5 \times 0.7 \times 7.5 \Sigma W_b = 619.7$	$1.35 \Sigma W_d + 1.5W_i$ $+1.5 \times 0.7W_c$ $+1.5 \times 0.7W_w = 383.1$	9
$1.35(W_{d2} \times 0.5 - W_{d4} \times 0.25)$ $+1.5 \times (W_c \times 0.5 + W_{ch} \times 10)$ $+1.5 \times 0.7 \times 7.5 \times \Sigma W_b = 696.2$	$1.35 \Sigma W_d + 1.5W_c$ $+1.5 \times 0.7W_i$ $+1.5 \times 0.7W_w = 447$	10

\* لنجرب مقطع العمود 356x368x177UC إذا الخواص التالية:

$$b = 372.6 \text{ mm} , t_f = 23.8 \text{ mm} , h = 368.2 \text{ mm} , d = 290.2 \text{ mm} ,$$

$$t_w = 14.4 \text{ mm} , i_y = 15.9 \text{ cm} , i_z = 9.54 \text{ cm} , A = 226 \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,z} = 1670 \text{ cm}^3 , W_{pl,y} = 3460 \text{ cm}^3 , r = 15.2 \text{ mm}$$

$$c_f / t_f = 6.98 , c_w / t_w = 20.2 , U = 0.844 , X = 15.0$$

- بما أن سماكة الجناح  $t_f > 16 \text{ mm}$  و  $40 > t_f$  وأن ماركة الفولاذ المستخدم S275 فإن

$$\varepsilon = (235 / f_y)^{1/2} = 0.94 \text{ و } f_y = 265 \text{ N/mm}^2$$

29

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

- تصنيف المقطع:

الجناح من الصنف 1 لأن:

$$c_f / t_f = 6.98 < 9\varepsilon = 8.46 \text{ (القيمة الحدية للصنف 1)}$$

لتصنيف الجسد لابد من تحديد نسبة عرض منطقة الضغط إلى ارتفاع الجسد المقابلة

لحالة التحميل (8) والتي يمكن حسابها باستخدام العلاقة (2-6)

$$\alpha = \frac{1}{c_w} \left[ \frac{h}{2} + \frac{1}{2} \frac{N_{Ed}}{t_w f_y} - (t_f + r) \right] \leq 1.0$$

$$\alpha = \frac{1}{290.2} \left( \frac{368.2}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{541500}{14.4 \times 265} - (23.8 + 15.2) \right) = 0.75$$

من الجدول (2-5) يتضح أن القيمة الحدية للصنف 1 تحسب كالآتي:

$$\alpha > 0.5 \Rightarrow \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \times 0.94}{13 \times 0.75 - 1} = 31.68 > \frac{c_w}{t_w} = 20.2$$

إذاً الجسد من الصنف 1 وبناءً عليه كامل المقطع من الصنف 1

30

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

- تُحدد مقاومة المقطع على الضغط كما يلي:

$$N_{c,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} = 22600 \times 265 \times 10^{-3} / 1.0 = 5989 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 5989 \text{ kN} > N_{Ed} = 541.5 \text{ kN} \text{ ok (حالة التحميل الأسوأ 8)}$$

- تُحدد مقاومة المقطع للانحناء كما يلي:

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3460 \times 10^3 \times 265}{1.0} \times 10^{-6}$$

$$= 916.9 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 916.9 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 696.2 \text{ kNm}$$

حالة التحميل الأسوأ على الانحناء

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1670 \times 10^3 \times 265}{1.0} \times 10^{-6}$$

$$= 442.5 \text{ kNm}$$

31

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

لتحقيق مقاومة العمود موضعياً في أسفله (نقطة العزم الأعظمي) نحقق علاقة

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1.0 \text{ الترابط الآتية:}$$

$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}$	العزم (kN.m) $M_{y,Ed}$	القوة الناعمية (kN) $N_{Ed}$	حالة التحميل
0.05	8.1	246.6	1
0.67	624.75	-39	2
0.33	236.1	459.6	3
0.28	186.6	477.6	4
0.35	236.1	541.5	5
0.50	441.2	152.1	6
0.69	626.8	76.5	7
0.79	669.2	365.1	8
0.74	619.1	383.1	9
0.83	696.2	447	10

إذاً علاقة الترابط محققة في كل حالات التحميل ومقاومة العمود محققة موضعياً

32

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021



- تُحدد مقاومة المقطع للقص كما يلي:  
تُحدد قوة القص العظمى المطبقة في أسفل العمود من إحدى حالتَي التحميل (2) و (7) كما يلي:

$$V_{z,Ed} = 1.5 \times \Sigma W_b = 82.5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} A_{vz} &= A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \geq \eta h_w t_w \\ &= 22600 - 2 \times 372.6 \times 23.8 + (14.4 + 2 \times 15.2) \times 23.8 \\ &= 5930.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\eta = 1.0$$

$$h_w = h - 2t_f = 368.2 - 2 \times 23.8 = 320.6 \text{ mm}$$

$$\eta h_w t_w = 1.0 \times 320.6 \times 14.4 = 4616.6 \text{ mm}^2 < 5930.5 \text{ mm}^2 \text{ ok}$$

$$\begin{aligned} V_{pl,z,Rd} &= A_{vz} \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = 5930.5 \times \frac{265 / \sqrt{3}}{1.0} \times 10^{-3} = 907.3 \text{ kN} \\ &> V_{z,Ed} = 82.5 \text{ kN} \text{ ok} \end{aligned}$$

33

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

لا تأثير للقص على مقاومة العزم التصميمية حول المحور y لأن:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{82.5}{907.3} = 0.09 < 0.5$$

لا يحدث تحنيب قص لأن:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{320.6}{14.4} = 22 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{0.94}{1.0} = 67.8 \text{ ok}$$

34

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

لا تُخفّض مقاومة العزم التصميمي حول المحور y إذا تحققت كلا العلاقتين (8-3,4)  
 $N_{Ed,max} = 541.5kN < 0.25N_{pl,Rd} = 0.25 \times 5989 = 1497 kN$

$$N_{Ed,max} = 541.5kN < \frac{0.5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{0.5 \times 320.6 \times 14.4 \times 265}{1.0} \times 10^{-3} = 611.7 kN$$

إذاً كلا الشرطين محقق

وكذلك لا تُخفّض مقاومة العزم التصميمي حول المحور z إذا تحققت العلاقة (8-5)

$$N_{Ed,max} = 541.5kN < \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{320.6 \times 14.4 \times 265}{1.0} \times 10^{-3} = 1223.4 kN$$

إذاً الشرط محقق

35

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

\* تحقيق التحنيب الكلي:

- بناءً على شروط تقييد العمود عند القاعدة وعند السقف وبالعودة إلى الشكل (4-7) يُحدد الطول الفعال حول كل من المحورين الرئيسيين للمقطع وبالتالي نسبة نحافته كالآتي:

$$L_{cr,y} = 1.5L = 1.5 \times 12.5 = 18.75 m$$

$$L_{cr,z} = 0.85L_1 = 0.85 \times 10 = 8.5 m$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 1875 / 15.9 = 118$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 850 / 9.54 = 89$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{E / f_y} = \pi \sqrt{210000 / 265} = 88.4$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{118}{88.4} = 1.33, \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{89}{88.4} = 1.0$$

36

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

$$\phi_z = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

من أجل المقاطع H المدرفلة حيث S275  $h/b \leq 2$ ,  $t_f \leq 100\text{mm}$  and عند دراسة التحنيب حول المحور z استخدام المنحني 'c'  $\Rightarrow \alpha = 0.49$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.49(1.0 - 0.2) + 1.0^2] = 1.2$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1.2 + \sqrt{1.2^2 - 1.0^2}} = 0.537$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.537 \times 22600 \times 265 \times 10^{-3}}{1.0} = 3216 \text{ kN}$$

$$N_{b,z,Rd} = 3216 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 541.5 \text{ kN} \quad \text{ok}$$

37

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

$$\phi_y = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

من أجل المقاطع H المدرفلة حيث S275  $h/b \leq 2$ ,  $t_f \leq 100\text{mm}$  and عند دراسة التحنيب حول المحور y استخدام المنحني 'b'  $\Rightarrow \alpha = 0.34$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.34(1.33 - 0.2) + 1.33^2] = 1.58$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1.58 + \sqrt{1.58^2 - 1.33^2}} = 0.411$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.411 \times 22600 \times 265 \times 10^{-3}}{1.0} = 2461 \text{ kN}$$

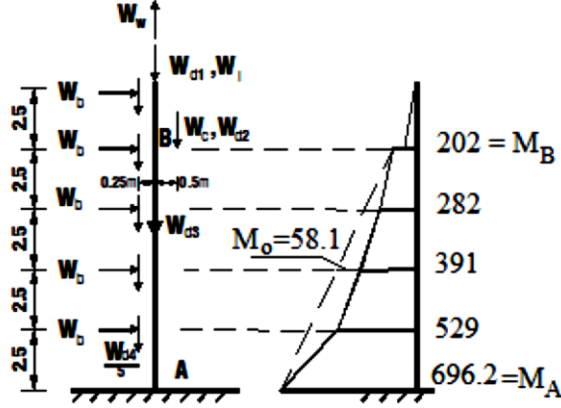
$$N_{b,y,Rd} = 2461 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 541.5 \text{ kN} \quad \text{ok}$$

38

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

- وسنحقق جزء العمود AB الواقع بين أساسه والجائز الحامل للرافعة على تحنيب الفتل الجانبي وذلك على حالة تراكب الأحمال (10) كونها الأكثر حرجاً



39

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

- يعتمد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي دائماً على نسبة النحافة حول المحور الضعيف، وباعتبار أن الجناح المضغوط مقيد جانبياً في موقعه عند طرفي الجزء المدروس (AB) وأن كلا الجناحين عند (B) غير ممنوعين تماماً من الدوران فإن الطول الفعال لهذا الجزء يحدد كما يلي:

$$L_{cr,z} = 0.85L_1 = 0.85 \times 10 = 8.5 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 850 / 9.54 = 89 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{89}{88.4} = 1.0$$

- نسبة النحافة المكافئة

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{1}{\sqrt{C_1}} UVD \bar{\lambda}_z \sqrt{\beta_w}$$

$\beta_w = 1$  المقطع من الصنف الأول

$D=1.0$  الأحمال لا تساعد في عدم الاستقرار

$U=0.844$  من جداول المقاطع

40

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

يخضع الجزء المدروس (AB) لعزمين حول المحور القوي والنسبة بينهما

$$\psi = \frac{202}{696.2} = 0.29$$

باستخدام العلاقة (5-17) معتبرين تغير العزم بين طرفي الجزء المدروس خطياً تقريباً  
نجد:

$$C_1 = 1.88 - 1.4\psi + 0.52\psi^2 \leq 2.7$$

$$C_1 = 1.88 - 1.4 \times 0.29 + 0.52 \times 0.29^2 = 1.52$$

$$V = \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \frac{1}{20} \left(\frac{\lambda_z}{X}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \frac{1}{20} \left(\frac{89}{15}\right)^2}} = 0.77$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{1}{\sqrt{1.52}} \times 0.844 \times 0.77 \times 1.0 \times 1.0 \times \sqrt{1.0} = 0.53$$

- العزم المقاوم للتحنيب

$$M_{by,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{y,pl} f_y}{\gamma_{M1}}$$

41

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0 \text{ and } \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2}$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\beta = 0.75 \quad \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4 \text{ rolled section}$$

من أجل المقاطع H المدرفلة حيث  $h/b \leq 2$  يجب استخدام المنحني 'b' عند  
دراسة تحنيب الفتل الجانبي

$$\text{curve 'b'} \Rightarrow \alpha_{LT} = 0.34$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.34(0.53 - 0.4) + 0.75 \times 0.53^2] = 0.627$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0.627 + \sqrt{0.627^2 - 0.75 \times 0.53^2}} = 0.948$$

42

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{C_1}} = \frac{1}{\sqrt{1.52}} = 0.81$$

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c)[1 - 2.0(\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2] \leq 1.0$$

$$f = 1 - 0.5(1 - 0.81)[1 - 2.0(0.53 - 0.8)^2] = 0.90$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0.948}{0.90} = 1.05 > 1.0 \Rightarrow \chi_{LT,mod} = 1.0$$

$$M_{by,Rd} = \chi_{LT,mod} \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$= 1.0 \times \frac{3460 \times 10^3 \times 265}{1.0} \times 10^{-6} = 916.9 \text{ kNm}$$

$$> M_{y,Ed,max} = 696.2 \text{ kNm} \quad \text{ok}$$

43

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

كما يجب أن يحقق الجائز علاقتي الترابط (8-14,15) الخاصتين بمقاومة التحنيب تحت تأثير القوة المحورية والانعطاف حول المحور y الآتيتين:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + K_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{by,Rd}} \leq 1.0 \quad (1)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + K_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{by,Rd}} \leq 1.0 \quad (2)$$

بما أن الجزء المدروس من العمود يمكن أن يخضع لتحنيب مع انزياح جانبي وبالعودة للجدول (8-5) ينتج:

$$C_{my} = C_{mLT} = 0.9$$

44

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

$$\bar{\lambda}_y = 1.33 \frac{NEd}{N_{b,y,Rd}} = \frac{447}{2461} = 0.18, \text{ بالعودة للشكل (8-1) وباستخدام}$$

ينتج:

$$\frac{k_{yy}}{C_{my}} = 1.17 \Rightarrow k_{yy} = 1.05$$

$$\bar{\lambda}_z = 1.0 \frac{NEd}{N_{b,z,Rd}} = \frac{447}{3216} = 0.14, \text{ بالعودة للشكلين (8-3) وباستخدام}$$

ينتج:

$$k_{zy} = 0.98$$

بالتعويض في العلاقتين (1,2) أعلاه ينتج:

$$(1) \Rightarrow \frac{447}{2461} + 1.05 \times \frac{696.2}{916.9} = 0.18 + 0.8 = 0.98 < 1.0 \quad ok$$

$$(2) \Rightarrow \frac{447}{3216} + 0.98 \times \frac{696.2}{916.9} = 0.14 + 0.74 = 0.88 < 1.0 \quad ok$$

45

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021

Thank you!

46

SSD2: Prof. Mohammad Al-Samara

June 6, 2021