Structural Steel Design-2

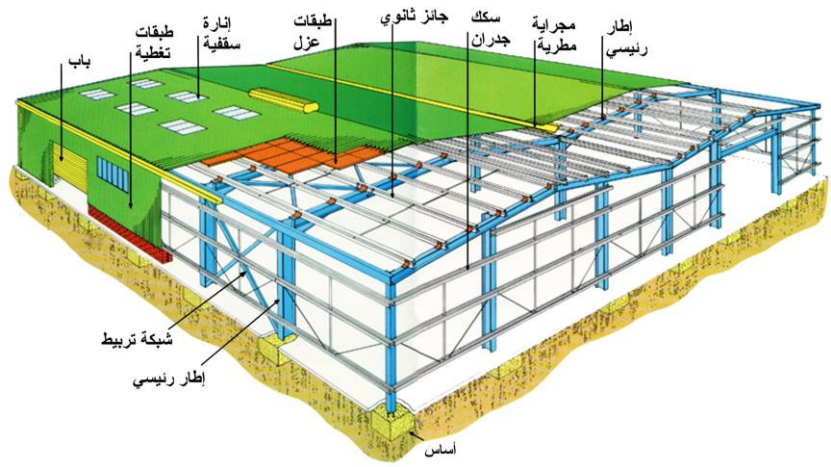
Prof. Mohammad Al-Samara

LECTURE # 13

(Purlins and side rails)

مقدمــة

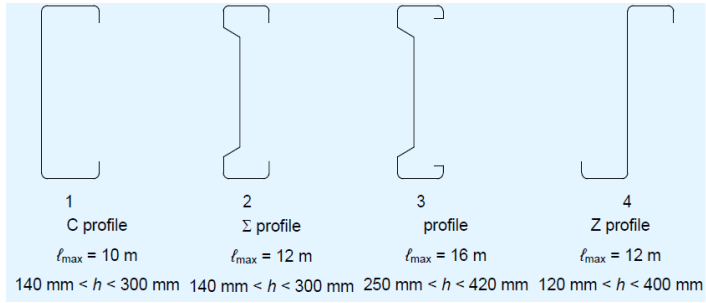
يبين الشكل أدناه مبنى نموذجياً من طابق واحد يتألف من صفائح تغطية وعناصر فولاذية ثانوية كسكك الجدران وجوائز السقف الثانوية ومن إطارات رئيسية.



13 - 1 مقدمــة

تُستعمَل المقاطع المشكّلة على البارد بشكل واسع كجوائز ثانوية أو سكك جدران، ويعتمد تصميم هذه المقاطع على نتائج تجارب تقوم بها الشركات الصانعة، ويبين الشكل أدناه ثلاثة نماذج شائعة الاستعمال من هذه المقاطع، وتقوم هذه الشركات بتقديم نشرات فنية كاملة عن مقاطعها شاملة الأبعاد والخواص الهندسية والأحمال التي يمكن أن تتحملها والمجازات المناسبة لها.

ويمكن أن تُستعمل المقاطع المدرفلة على الحامي بل تُفضَّل أحياناً كبديل عن المقاطع المشكّلة على البارد.

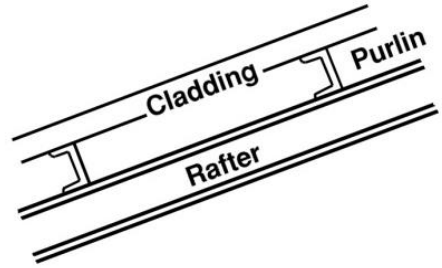


13 -2 متطلبات تصميمية Design requirements

يعتمد تصميم العناصر الخاضعة للإنعطاف على:

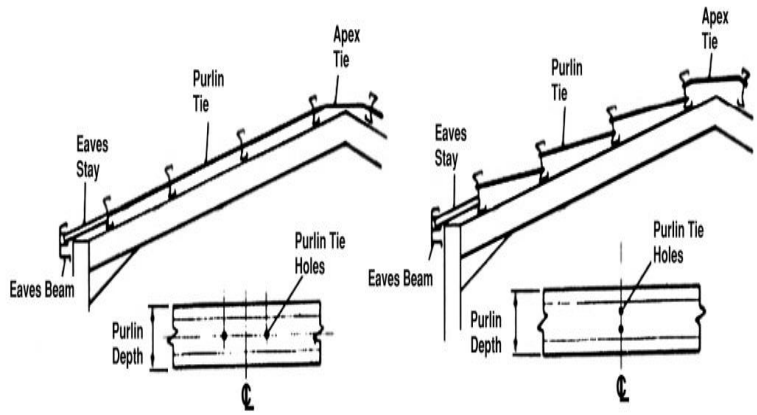
- درجة التقييد الجانبي المفروضة على الجناح المضغوط.
- مقاومة المقطع للفتل.
- درجتي التقييد الجانبي والفتل المفروضتين على العنصر عند مسانده.

يُعتبَر الجناح المضغوط في الجوائز الثانوية وسكك الجدران ممنوعاً من الانتقال الجانبي بسبب اتصال طبقات التغطية بالجناح بشكل مستمر بواسطة عناصر ربط كافية (براغي)، انظر الشكل (1-13)، ويكون ذلك صحيحاً عندما يتحمل الجائز الثانوي وسكك الجدران الأحمال الميتة والحية وضغط الرياح،
أما عندما تؤثر الرياح بضغط سالب (مص) على المنشأ قد ينعكس ذلك فيصبح الجناح غير المقيد بطبقات التغطية مضغوطاً.
وفي كل الأحوال تتمتع الجوائز الثانوية وسكك الجدران بقيود جانبية وقيود فتل عند مساندها.



الشكل (1-13)

يُستعمَل أحياناً قضبان ربط (sag rods) بين الجوائز الثانوية وسكك الجدران وذلك لتخفيض طولها الفعال بحيث يتحول الجائز الثانوي أو سكة الجدار إلى عنصر مستمر، انظر الشكل (2-13). ولكن يجب أخذ ردود أفعال قضبان الربط عند نقاط تثبيتها على جائز ذروة المنشأ وعلى الجائز الذي يصل بين السقف ورؤوس الأعمدة.



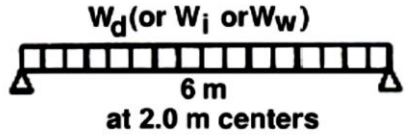
الشكل (2-13) قضبان الربط بين العناصر الثانوية

تتعرض سكك الجدران إلى أحمال شاقولية بسبب أوزان طبقات التغطية وإلى أحمال أفقية بسبب الرياح ولكن بشكل عام لا تُصمَّم سكك الجدران على الأحمال االشاقولية وذلك لأن طبقات التغطية تعمل كجائز عميق تحت تأثير هذه الأحمال.
وبناءً على ذلك تُصمَّم سكك الجدران فقط على الأحمال الأفقية الناتجة عن الرياح.

من المفيد أن تكون الجوائز الثانوية وسكك الجدران مستمرة على أكثر من مجاز وذلك بغية تخفيض قيمة العزم الواجب مقاومته، ونتيجة لذلك يتحسن أداؤها على مقاومة تحنيب الفتل الجانبي وبالتالي يمكن تخفيض مقاس المقاطع العرضية لهذه العناصر.
ويمكن تحقيق الاستمرار إما بتصنيع عناصر طولها يغطي مجازين أو أكثر ولكن متطلبات النقل والتركيب تجعل من الصعب استعمال عناصر بطول أكثر من مجازين (حوالي 12 m).
ويمكن تحقيق الاستمرارية بتنفيذ وصلات لهذه العناصر قادرة على نقل عزم الانعطاف ولكن قد يكون ذلك مكلفاً وغير مبرر اقتصادياً.

مثال (13-1)

صمِّم الجائز الثانوي المبين في الشكل أدناه من فولاذ ماركته S275 علماً أن مجازه 6.0 m واستناده بسيط وزاوية ميل السقف 20° وأن الأحمال المطبّقة على المنشأ هي كما يلي:



الحمل الميت $0.15\,kN/m^2$

الحمل الحي $0.75\,kN/m^2$

حمل الرياح (مص) $-0.40\,kN/m^2$

الحل :

* نختار مقطع مجراية UKPFC 150 × 75 × 18 خواصه كما يلي:

$$h = 150\ mm\ ,\ b = 75\ mm\ ,\ t_w = 5.5\ mm\ ,\ t_f = 10.0\ mm$$
$$c_f/t_f = 5.75\ ,\ c_w/t_w = 19.3\ ,\ A = 22.8\ cm^2\ ,\ d = 106\ mm$$
$$I_y = 861\ cm^4\ ,\ I_z = 131\ cm^4\ ,\ I_T = 6.1\ cm^4\ ,\ I_w = 4670\ cm^6$$
$$r_y = 6.15\ cm\ ,\ r_z = 2.4\ cm,\ r = 12\ mm,\ U = 0.945,\ X = 13.1$$

$$W_{y,el} = 115\ cm^3,\ W_{z,el} = 26.6\ cm^3,$$
$$W_{y,pl} = 132\ cm^3,\ W_{z,pl} = 47.2\ cm^3,$$

* خصائص المقطع

- باعتبار أن سماكة الجناح t_f<16 mm وأن ماركة الفولاذ المستخدم S275 فإن $f_y = 275\ N/mm^2$ و $\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = 0.92$
- المقطع من الصنف الأول لأن

$$c_f/t_f = 5.75 < 9\,\varepsilon, \qquad c_w/t_w = 19.3 < 72\,\varepsilon$$

* الأحمال

- الحمل الميت الكلي:

من طبقات التغطية $2.0 \times 6.0 \times 0.15 = 1.8\ kN$

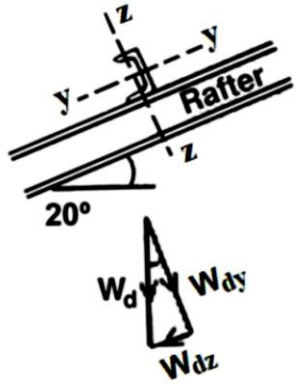
من الوزن الذاتي $6.0 \times 0.18 = 1.08\ kN$

$W_d = 2.88\ kN$

الحي الحي $W_i = 2.0 \cos 20^\circ \times 6.0 \times 0.75 = 8.46\ kN$

- حمل الرياح الكلي $W_w = 2.0 \times 6.0 \times (-0.4) = -4.80\ kN$

- بما أن الحملين الميت والحي شاقوليان وأن محور الجائز الثانوي الرئيسي يميل 20° على الأفق، لابد من تحليل كل من هذين الحملين إلى مركبتين إحداهما (W_{dy}, W_{iy}) موازية للمحور z-z وتنتج عزوماً حول المحور y-y والثانية (W_{dz}, W_{iz}) موازية للمحور y-y وتنتج عزوماً حول المحور z-z



$W_{dy} = 2.88\cos 20^\circ = 2.71\ kN$, $W_{dz} = 2.88\sin 20^\circ = 0.99\ kN$

$W_{iy} = 8.46\cos 20^\circ = 7.95\ kN$, $W_{iz} = 8.46\sin 20^\circ = 2.89\ kN$

أما حمل الرياح فهو موازٍ بالأصل للمحور z-z لأنه عمودي على سطح التغطية

$W_{wy} = -4.80\ kN$

- تراكب الأحمال: سيكون هناك حالتي تحميل حرجتين
  - حالة التحميل الأولى

$W_y = 1.35W_{dy} + 1.5W_{iy} = 1.35 \times 2.71 + 1.5 \times 7.95 = 15.6\ kN$

$W_z = 1.35W_{dz} + 1.5W_{iz} = 1.35 \times 0.99 + 1.5 \times 2.89 = 5.7\ kN$

  - حالة التحميل الثانية

$W_y = 1.0W_{dy} + 1.5W_{wy} = 1.0 \times 2.71 + 1.5 \times (-4.8) = -4.5\ kN$

$W_z = 1.0W_{dz} = 1.0 \times 0.99 = 0.99\ kN$

* تحقيق حالة التحميل الأولى

- عزم الانعطاف حول المحور y-y والقص الأعظميين

$$M_{y,Ed} = 15.6 \times 6.0 / 8 = 11.7 \ \ kNm$$

$$F_{z,Ed} = 15.6 / 2 = 7.8 \ \ kN$$

- عزم الانعطاف حول المحور z-z والقص الأعظميين

$$M_{z,Ed} = 5.7 \times 6.0 / 8 = 4.28 \ \ kNm$$

$$F_{y,Ed} = 5.7 / 2 = 2.85 \, kN$$

- تحقيق القص

$$A_{vz} = A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$$

$$= 2280 - 2 \times 75 \times 10 + (5.5 + 12) \times 10 = 955 \ \ mm^2$$

$$V_{zpl,Rd} = A_{vz} \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = 955 \times \frac{275/\sqrt{3}}{1.0} \times 10^{-3}$$

$$= 151.6 \ kN > F_{z,Ed} = 7.8 \ kN \quad ok$$

$$A_{vy} = A - \sum(h_w t_w) = 2280 - (150 - 2 \times 10) \times 5.5 = 1565 \ \ mm^2$$

$$V_{ypl,Rd} = A_{vy} \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = 1565 \times \frac{275/\sqrt{3}}{1.0} \times 10^{-3}$$

$$= 248.5 \ kN > F_{y,Ed} = 2.85 \ kN \quad ok$$

* تحقيق العزم

- بما أن المقطع من الصنف الأول وأن القص المطبّق أقل من 50% من مقاومة القص فإن مقاومة العزم تحسب كما يلي:

$$M_{cy,Rd} = \frac{W_{y,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{132 \times 10^3 \times 275}{1.0} \times 10^{-6}$$
$$= 36.3\ kNm > M_{y,Ed} = 11.7\ kNm$$

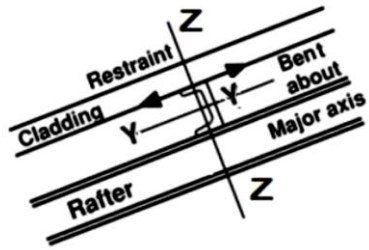
$$M_{cz,Rd} = \frac{W_{z,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{47.2 \times 10^3 \times 275}{1.0} \times 10^{-6}$$
$$= 13.0\ kNm > M_{y,Ed} = 4.8\ kNm$$

كي يكون المقطع محققاً موضعياً يجب أن يحقق علاقة الترابط التالية:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} = \frac{11.7}{36.3} + \frac{4.8}{13.0} = 0.69 < 1 \qquad o.k.$$

- تحقيق تحنيب الفتل

باعتبار أن الجناح المضغوط ممسوك بطبقات التغطية، فلايحصل تحنيب فتل جانبي ناتج عن الانعطاف حول المحور y-y.



* تحقيق حالة التحميل الثانية

- عزمي الانعطاف حول المحورين

$$M_{y,Ed} = -4.5 \text{ x } 6.0 / 8 = -3.38 \; kNm$$

$$M_{z,Ed} = 0.99 \text{ x } 6.0 / 8 = 0.75 \; kNm$$

إن قيمتي $M_{y,Ed}$ و $M_{z,Ed}$ الناتجتين عن هذه الحالة أصغر بكثير من مثيلتيهما في الحالة السابقة لذا لاحاجة لتحقيق الجائز على العزم موضعياً ولكن الإشارة السالبة لـ $M_{y,Ed}$ تدل على أن الجناح العلوي للمجراية سيكون مشدوداً وأن الجناحح السفلي غير المقيد جانبياً سيكون مضغوطاً ولذلك لابد من تحقيق الجائز على تحنيب الفتل الجانبي.

- الطول الفعال ونسبة النحافة حول المحور الضعيف

$$L_{cr} = 1.0 \text{ x } 6.0 = 6.0 \; m$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / r_z = 6.0 \text{ x } 10^3 / 24 = 250 < \lambda_{\max} = 350$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{E / f_y} = \pi \sqrt{210000/275} = 86.7$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{250}{86.7} = 2.9$$

- 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=0.945 من جداول المقاطع

C_1=1.127 الحمل موزع بانتظام

$$V = \frac{1}{\sqrt[4]{1+\frac{1}{20}(\frac{\lambda_z}{X})^2}} = \frac{1}{\sqrt[4]{1+\frac{1}{20}(\frac{250}{13.1})^2}} = 0.48$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{1}{\sqrt{1.127}} \times 0.945 \times 0.48 \times 1.0 \times 2.9 \times \sqrt{1.0}$$
$$= 1.24$$

- العزم المقاوم للتحنيب

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

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

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

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

$\alpha_{LT} = 0.76$ UKPFC section

$$\phi_{LT} = 0.5[1+0.76(1.24-0.4)+0.75\times 1.24^2] = 1.4$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1.4+\sqrt{1.4^2-0.75\times 1.24^2}} = 0.43$$

ψ is the ratio of end moments=0.0 and

$$k_c = \frac{1}{1.33 - 033\psi} = \frac{1}{1.33 - 033 \times 0.0} = 0.75$$

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

$$f = 1 - 0.5(1 - 0.75)[1 - 2.0(1.24 - 0.8)^2] = 0.92$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0.43}{0.92} = 0.467$$

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

$$= 0.467 \times \frac{132 \times 10^3 \times 275}{1.0} \times 10^{-6}$$

$$= 16.95\ kNm > M_{y,Ed} = 3.38\ kNm$$

كما يجب أن يحقق الجائز علاقة الترابط التالية:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{by,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} = \frac{3.38}{16.95} + \frac{0.75}{13.0} = 0.0.26 < 1 \qquad o.k.$$

* تحقيق تحمّل وتحنيب جسد المقطع:

ليس من الضروري عادةً تحقيق جسد مقطع الجائز الثانوي المستخدم في أسقف الأبنية الصناعية على تحمّل وتحنيب الجسد لصغر الأحمال التي يحملها وهذا واضح من مقدار القص عند مسند الجائز (F_x)

* تحقيق السهم:

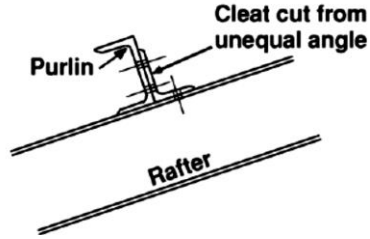
إن السـهم الأعظمـي المسـموح بـه والنـاتج عـن الأحمـال الحيـة غيـر المصعّدة غير محدد في الكود ولكن جرت العادة أن يؤخذ كما يلي:

$$\delta_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{600}{200} = 30\ mm$$

$$\delta_y = \frac{5W_{iy}L^3}{384EI_y} = \frac{5 \times 7.95 \times 6000^3}{384 \times 210 \times 861 \times 10^4}$$

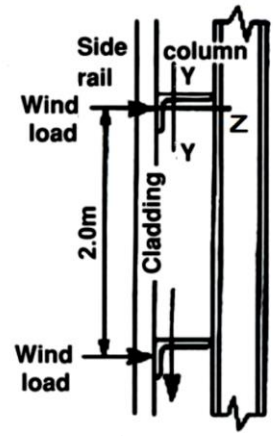
$$= 12.3\ mm < \delta_{lim} = 30\ mm \qquad ok$$

يتم وصل الجائز الثانوي إلى الجائز الحامل له ببراغي عن طريق زاوية سند كما هو مبين في الشكل أدناه وتصميم هذه الوصلة إنشائي نظراً لصغر ردوود أفعال الجائز الثانوي.



مثال: (2-13)

صمِّم سكك الجدران المبينة في الشكل أدناه من فولاذ ماركته S275 علماً أن مجاز السكة 5.0 m والمسافة بين السكك 2.0 m وأن الأحمال المطبّقة على المنشأ هي كما يلي:



الحمل الميت الناتج عن التغطية $0.18\,kN/m^2$

حمل الرياح (ضغط) $0.8\,kN/m^2$

الحل :

* نختار زاوية $125 \times 75 \times 10$ لتعمل كسكة جدار خواصها:

$I_y = 302\ cm^4$, $I_z = 82.1\ cm^2$, $W_{el,y} = 36.5\ cm^3$,

$W_{al.z} = 14.3\ cm^3$, $r_z = 2.07\ cm$

* خصائص المقطع

- باعتبار أن سماكة الجناح $t_f < 16$ mm وأن ماركة الفولاذ المستخدم S275 فإن $f_y = 275\ N/mm^2$ و $\varepsilon = (235 / f_y)^{1/2} = 0.92$
- المقطع ليس نحيفاً لأن

$h/t = 125/10 = 12.5 < 15\varepsilon = 13.8$

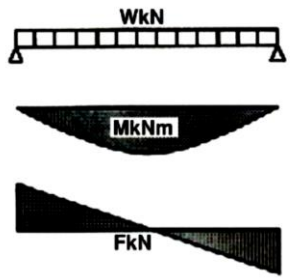
$(b+h)/2t = (75+125)/2\times 10 = 10 < 11.5\ \varepsilon = 10.58$

* الأحمال:

تصمم سكك الجدران عادة على الأحمال الأفقية فقط، وبناءً على ذلك فإن القوى التي يجب التصميم عليها هي قوى الرياح وتحسب كما يلي:

$$W_w = 2.0 \text{ x } 5.0 \text{ x } 0.8 = 8.0 \ kN$$

$$W_y = 1.5\, W_w = 1.5 \text{ x } 8.0 = 12 \ kN$$



- عزم الانعطاف حول المحور y-y

$$M_{y,Ed} = 12 \text{ x } 5.0 / 8 = 7.5 \ kNm$$

- قوة القص باتجاه المحور z-z

$$F_{z,Ed} = 12 / 2 = 6.0 \ kN$$

* تحقيق طاقة تحمّل القص

مساحة القص $A_{vz} = 0.9\, ht = 0.9 \text{ x } 125 \text{ x } 10 = 1125\, mm^2$

$$V_{zpl,Rd} = A_{vz} \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = 1125 \times \frac{275/\sqrt{3}}{1.0} \times 10^{-3}$$
$$= 187 \ kN > F_{z,Ed} = 6.0 \ kN \quad ok$$

* تحدد طاقة تحمّل العزم للمقطع بتطبيق العلاقة التالية لأن مقطع الزاوية ليس نحيفاً

$$M_{cy,Rd} = \frac{W_{y,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{36.5 \times 10^3 \times 275}{1.0} \times 10^{-6}$$
$$= 10.0 \ kNm > M_{y,Ed} = 7.5 \ kNm \quad ok$$

* تصميم سكك الجدران لا يتطلب عادةً تحقيق تحمّل وتحنيب الجسد
* تحقيق السهم: كما في حالة جوائز السقف الثانوية يحدد السهم الأعظمي المسموح به الناجم عن أحمال الاستثمار بـ:

$$\delta_{\lim} = L/200 = 5000/200 = 25\ mm$$

$$\delta_z = \frac{5 W_w L^3}{384 E I_y} = \frac{5 \text{ x } 8 \text{ x } 5000^3}{384 \text{ x } 210 \text{ x } 302 \text{ x } 10^4} = 0.8\ mm < \delta_{\lim} \quad o.k.$$

THANK YOU