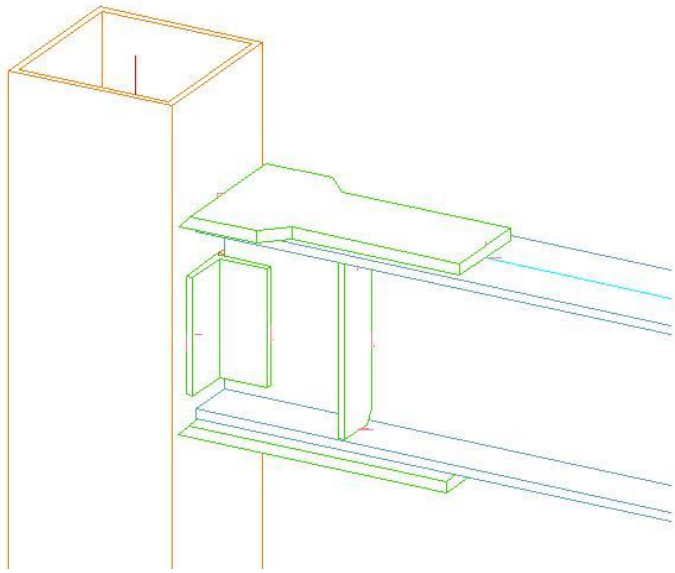
فصل پنجم: اتصال گیردار به ستون

۵- ۱ مقدمه

در اتصالات صلب خمشی لنگر خمشی انتهای تیر به صورت کامل به ستون منتقل می گردد و زاویه چرخش بین تیر و ستون در محل اتصال ثابت باقی می ماند. قاب خمشی در این ساختمان از نوع متوسط است. در نتیجه باید اتصال گیردار ضوابط مربوط به شکل پذیری متوسط را ارضا کند. اتصال گیردار جوشی به کمک ورق های روسری و زیر سری فقط به قاب های خمشی متوسط محدود می شود[1].



۵- ۲- نمونه محاسبات اتصال گیردار جوشی با ورق روسری و زیر سری (WPF)

در این ساختمان اتصال گیردار در --- تیپ طراحی شده است که محاسبات اتصال گیردار تیر PG_300_200_8_15 به ستون Box_30_2 در ادامه گزارش آمده است.

۵-۲-۱- مشخصات اولیه مقاطع

مشخصات ستون :

$$b = 30\ cm\ , h = 30\ cm\ , t_f = 2\ cm\ , t_w = 2\ cm, I = 39760\ cm^4, Z_c = 2820\ cm^3$$

مشخصات تیر :

$$b_f = 20\ cm, t_f = 1.5\ cm\ , h_w = 30\ cm, t_w = 0.8\ cm\ , I = 16695\ , Z_b = 1125\ cm^3$$

[1] بند ۱۰- ۳- ۱۳- ۵- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

باز نشر با ذکر منبع مجاز است. Strain.Blog.ir

مشخصات فولاد و الترود مصرفی :

$f_y = 2400\ {}^{kg}/_{cm^2}$, $f_u = 3700\ {}^{kg}/_{cm^2}$ الکترود $E60$ $F_{ue} = 4200\ {}^{kg}/_{cm^2}$

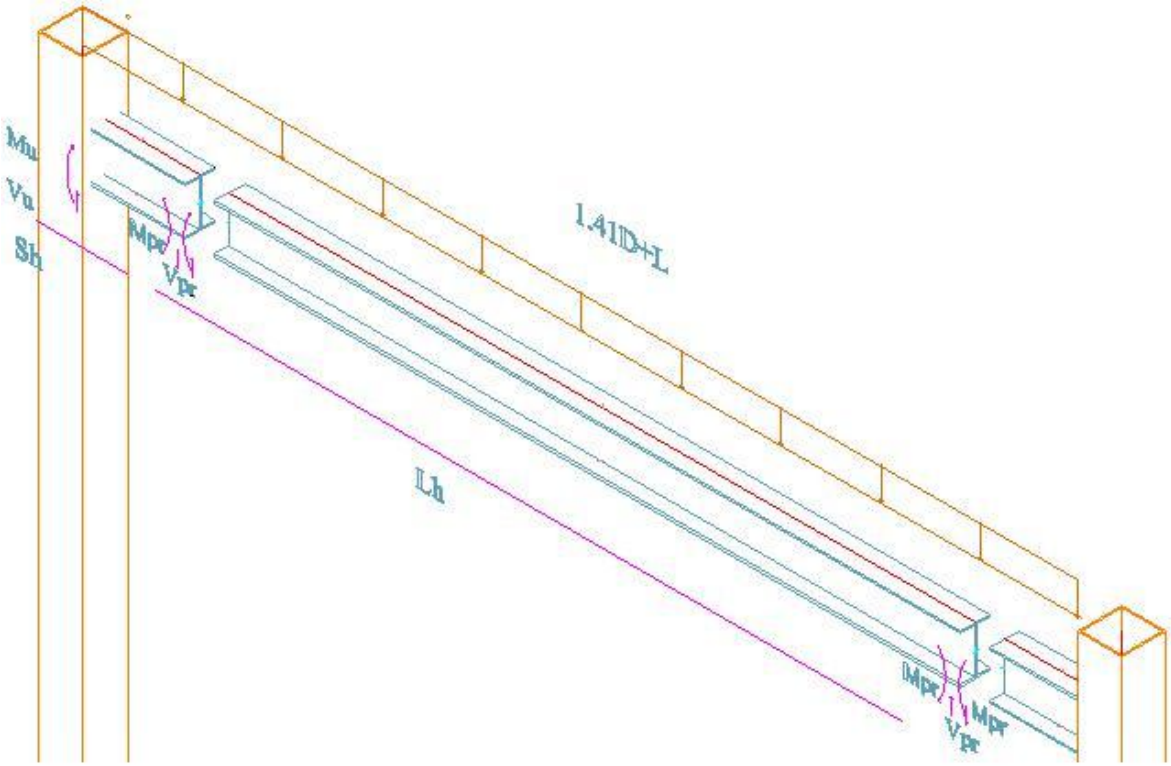
۵- ۲- ۲- نیرو های طراحی اتصال خمشی تیر به ستون

مقاومت خمشی مورد نیاز M_u و مقاومت برشی مورد نیاز V_u اتصال باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بار های ثقلی ضریبداری که با نیروی زلزله ترکیب می شوند و اترات لرزه ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr} = C_{pr}R_yM_p$ در محل های تشکیل مفصل پلاستیک، تعین میشوند.

M_p : لنگر پلاستیک مقطع در محل مفصل پلاستیک.

R_y : مطابق تعریف بند ۱۰-۳- ۲- ۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان.

C_{pr} : ضریبی است که در بر گیرنده آثار عواملی از قبیل سخت شدگی، قید های موضعی، .... است[۱].



[۱] بند ۱۰- ۳- ۸- ۲ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

محل تشکیل مفصل پلاستیک S_h در روی تیر باید در محل انتهای ورق های روسری و زیر سری (هر کدام که بزرگتر است) در نظر گرفته شود.

$$S_h = 600\ mm\ , l = 5000\ mm \Rightarrow\ l_u = l - 2S_h = 4000\ mm$$

$$M_{pr} = C_{pr}R_yM_p \Rightarrow C_{pr} = \frac{f_y + f_u}{2f_y} = 1.27 \longrightarrow C_{pr} = 1.2, R_y = 1.15, M_p = Z_bf_y = 27\ T.M\ \Rightarrow$$

$$M_{pr} = C_{pr}R_yM_p = 1.2 \times 1.15 \times 27 = 37.3\ T.M$$

D و L بترتیب بار مرده و زنده روی تیر هستند که با توجه به بار مرده $390\ {kg}/{m^2}$ که با فرض عرض سطح بارگیر ۲/۵ متر برابر $975\ {kg}/{m}$ و با توجه به بار زنده $200\ {kg}/{m^2}$ که با فرض عرض سطح بارگیر ۲/۵ متر برابر $500\ {kg}/{m}$.

طبق توضیحات مشروح در بالا برای بدست آوردن برش و مقاومت خمشی مورد نیاز باید از ترکیب بار هایی که نیروی زلزله دارند استفاده کرد. از ترکیب بار $1.4\mathrm{D} + \mathrm{L} + \mathrm{E}$ که بیشترین مقدار را حاصل می دهد استفاده شده است. از تعادل استاتیکی نیرو های روی تیر می توان V_u و M_u را بدست آورد.

$$V_{pr} = \frac{(1.41D + L)}{2}l_u + \frac{2M_{pr}}{l_h} = \frac{1.41 \times 975 + 500}{2} \times 3.8 + \frac{2 \times 37.3 \times 10^3}{3.8} = 23\ T$$

$$V_u = V_{pr} + (1.41D + L)S_h = 23000 + (1.41 \times 975 + 500) \times 0.6 = 24\ T$$

$$M_u = \frac{(1.41D + L)S_h^2}{2} + M_{pr} + V_{pr}S_h = \frac{(1.41 \times 975 + 500)0.6^2}{2} + 37.3 \times 10^3 + 23000 \times 0.6 = 51\ T.M$$

۵- ۲- ۳- طراحی ورق روسری و زیرسری

می توان با تبدیل لنگر خمشی مورد نیاز M_u به یک کوپل نیرو (نیروی کششی، فشاری) ورق های روسری و زیر سری را برای نیروی فشاری و کششی طراحی کرد.

$$C = T = \frac{M_u}{d_b} = \frac{51 \times 10^5}{303} = 168\ T$$ نیروی کششی و فشاری

چون اتصال لرزه ای است، هر دو ورق فوقانی و تحتانی را باید برای فشار و کشش هر کدام بحرانی تر است طراحی کرد.
چون $\frac{KL}{\mathrm{r}}$ ورق ها کمتر از ۲۵ است. لذا مقاومت فشاری اسمی برابر است با :

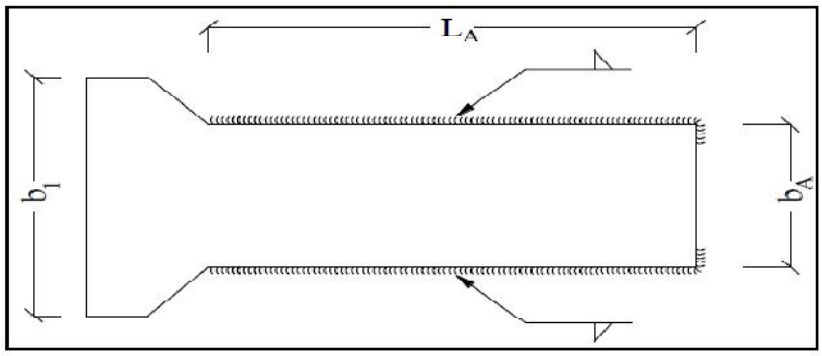
$$P_n = f_yA_g \Rightarrow C \leq \varphi f_yA_g\ \Rightarrow \varphi = 1, A_g \geq \frac{C}{\varphi f_y}, A_g \geq 70\ cm^2$$

$$b_1 = 30\ cm\ , b_A = 18\ cm, \longrightarrow A_g = b_1t_T \Rightarrow\ t_T = \frac{70}{30} = 2.33\ cm\ use\ t_T = 2.5\ cm$$

$$C = \varphi R_n \longrightarrow \varphi = 0.9, R_n = \beta F_{nw} \frac{\sqrt{2}}{2} a_w l_w, a_w = 1.2\ mm \longrightarrow l_w = \frac{C}{\varphi \beta F_{nw} \frac{\sqrt{2}}{2} a_w} \downarrow$$

$$\downarrow\ l_w = \frac{168 \times 10^3}{0.9 \times 0.6 \times 4200 \frac{\sqrt{2}}{2} \times 1.2} = 88\ cm \Rightarrow L_A = \frac{l_w}{2} = 45\ cm$$

طول قسمت اریب ورق بالا سری برابر ۱۰ سانتیمتر و قسمت افقی منتهی به ضلع b_1 برابر ۲/۵ سانتیمتر می باشد.

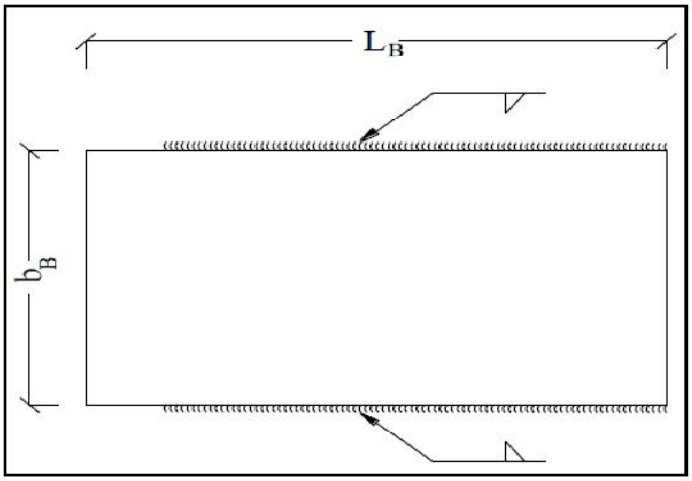


$$b_B = 30\ cm \longrightarrow A_g = b_B t_B \Rightarrow t_B = \frac{73}{30} = 2.43\ cm\ use\ t_B = 2.5\ cm$$

$$T = \varphi R_n \longrightarrow \varphi = 0.9, R_n = \beta F_{nw} \frac{\sqrt{2}}{2} a_w l_w, a_w = 1.2\ mm \longrightarrow l_w = \frac{T}{\varphi \beta F_{nw} \frac{\sqrt{2}}{2} a_w} \downarrow$$

$$\downarrow\ l_w = \frac{168 \times 10^3}{0.9 \times 0.6 \times 4200 \frac{\sqrt{2}}{2} \times 1.2} = 88\ cm \Rightarrow L_B = \frac{l_w}{2} = 45\ cm$$

بعنوان ورق زیر سری use Plate 300X500X25

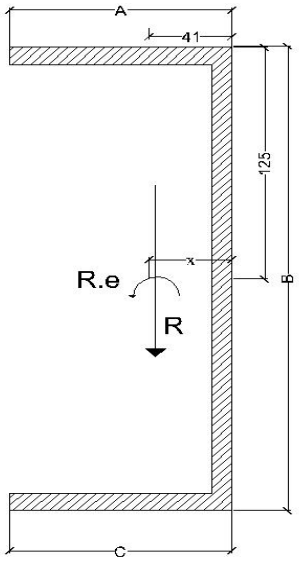


طول ورق بالاسری مجموعا برابر ۵۷/۵ خواهد شد. که از فرض اولیه برای محل مفصل پلاستیک کمی کمتر است.

۵- ۲- ٤ - طراحی ورق نبشی جان

$$V_u \le \varphi V_n \longrightarrow \varphi V_n = 0.6 \times 2400 A_w = 0.6 \times 2400 \times l \times t \longrightarrow l = 25\ cm \downarrow$$

$$\downarrow \quad t \ge \frac{V_u}{\varphi \times 0.6 \times 2400 \times 25}, \varphi = 0.9, t \ge 0.74\ use\ L\ 100x100x10$$



جوش اتصال نبشی به جان تیر برای نیروی برشی R و لنگر پیچشی R.e طراحی می شود. طول نوار جوش در اضلاع نبشی را فرض کرده و سپس بعد نوار را بدست می آوریم.

$$C = A = 15\ cm, B = 25\ cm$$

مرکز هندسی نوار جوش $x_c = \frac{15 \times 7.5 \times 2}{15 + 15 + 25} = 4.1\ cm$

$$V_u = R\ , T = R.e \longrightarrow e = 10 - x_c = 5.9\ cm \Rightarrow R = 24\ T\ , T = 1.41\ T.M$$

$$I_x = 2 \times (15 \times 12.5^2) + \frac{25^3}{12} + 25 \times 4.1^2 = 6409\ cm^4$$

$$I_y = 2 \times \left(\frac{15^3}{12} + 15 \times (7.5 - 4.1)^2\right) + 25 \times 4.1^2 = 1329\ cm^4$$

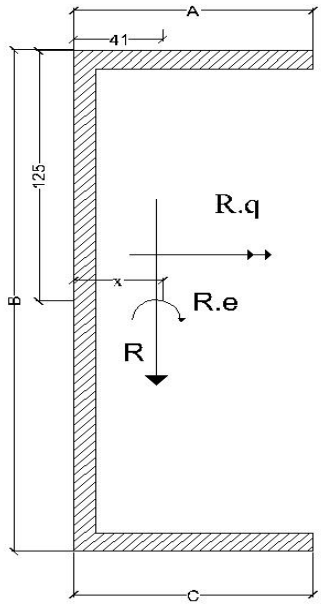
$$f_{vy} = \frac{R}{A + B + C} = \frac{24 \times 10^3}{55} = 434\ {}^{kg}/_{cm}\ , f_{Ty} = \frac{Tx}{J} = \frac{1.41 \times 10^5 \times 4.1}{1329 + 6409} = 74\ {}^{kg}/_{cm}$$

$$f_{Tx} = \frac{Ty}{J} = \frac{1.41\times10^5\times12.5}{1329+6409} = 222\ {}^{kg}/_{cm}$$

برآیند تنهای برشی $f_v = \sqrt{(f_{vy} + f_{Ty})^2 + {f_{Tx}}^2} = \sqrt{(439+74)^2 + 222^2} = 558\ {}^{kg}/_{cm}$

$$f_v = \varphi\beta F_{nw}\frac{\sqrt{2}}{2}a_w \longrightarrow a_w = \frac{f_v}{\varphi\beta F_{nw}\frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{558}{0.75\times0.75\times0.6\times4200\times0.707} = 0.5\ cm\ a_w = 6\ mm$$

با توجه به جدول ۱۰- ۲- ۹- ۲- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان حداقل بعد جوش گوشه با توجه به ضخامت ۸ میلیمتری جان تیر و ۱۰ میلیمتری نبشی اتصال برابر ۵ میلیمتر می باشد.



$C = A = 15\ cm, B = 25\ cm$

مرکز هندسی نوار جوش $x_c = \frac{15\times7.5\times2}{15+15+25} = 4.1\ cm$

$R = V_u$، پیچش $T = R.e,$ لنگر $M = R.q, \longrightarrow e = 10 - x_c = 5.9\ cm\ , q = 10 - x_c = 5.9\ cm$

$R = 24\ T\ \ , T = 1.41\ T.M\ \ , M = 1.41\ T.M$

$I_x = 6409\ cm^4\ ,\qquad I_y = 1329\ cm^4$

$f_{vy} = 434\ {}^{kg}/_{cm}\ ,\qquad f_{Ty} = 74\ {}^{kg}/_{cm}\ ,\qquad f_{Tx} = \frac{Ty}{J} = \frac{1.41\times10^5\times12.5}{1329+6409} = 222\ {}^{kg}/_{cm}$

برآیند تنشها برشی $f_v = 558\ {}^{kg}/_{cm}$

تنش عمودی ناشی از لنگر خمشی $f_m = \frac{M\frac{B}{2}}{I_x} = \frac{1.41 \times 10^5 \times 12.5}{6409} = 275\ {}^{kg}/_{cm}$

برآند نهایی تنشهای برشی و عمودی $F = \sqrt{{f_m}^2 + {f_v}^2} = \sqrt{275^2 + 558^2} = 622\ {}^{kg}/_{cm}$

$$F = \varphi\beta F_{nw}\frac{\sqrt{2}}{2}a_w \longrightarrow a_w = \frac{F}{\varphi\beta F_{nw}\frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{622}{0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707} = 0.6\ cm\ a_w = 6\ mm$$

با توجه به جدول ۱۰- ۲- ۹- ۲- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان حداقل بعد جوش گوشه با توجه به ضخامت ۸ میلیمتری جان تیر و ۱۰ میلیمتری نبشی اتصال برابر ۵ میلیمتر می باشد.

۵- ۲- ۵- کنترل تسلیم موضعی جان تیر در مقابل نیروی متمرکز[۱] (عکس العمل تکیه گاهی)

$$V_u \le \varphi R_n = \varphi F_y t_{wb}(2.5K + l_b),\ V_u = 24\ T$$

l_b برابر طول اتکایی بار متمرکز است. با توجه به اینکه برش از طریق نبشی جان به ستون منتقل می شود طولی از نبشی که در جان تیر جوش می شود بعنوان l_b استفاده می شود. K برابر ضخامت بال تیر می باشد.

$$\varphi R_n = \varphi F_y t_{wb}(2.5K + l_b),\ \ l_b = 15\ cm\ , K = 1.5\ cm\ , t_{wb} = 0.8\ cm\ \downarrow$$

$$\hookrightarrow \varphi R_n = 1 \times 2400 \times 0.8(2.5 \times 1.5 + 15) = 36\ T\ \Rightarrow\ V_u < 36\ T\ o.k$$

۵- ۲- ٦- کنترل لهیدگی جان تیر در مقابل نیروی متمرکز فشاری[۲] (عکس العمل تکیه گاهی)

$$\frac{l_b}{d} = \frac{15}{30} = 0.5 > 0.2 \leftarrow \varphi R_n = \varphi 0.4 {t_{wb}}^2\left[1 + \left(\frac{4l_b}{d} - 0.2\right)^1\left(\frac{t_{wb}}{t_{fb}}\right)^2\right]\sqrt{\frac{EF_y t_{fb}}{t_{wb}}}\ , \varphi = 0.75\downarrow$$

$$\hookrightarrow\ \varphi R_n = 0.75 \times 0.4 \times 0.8^2\left[1 + \left(4\frac{15}{30} - 0.2\right)^1 \times \left(\frac{0.8}{1.5}\right)^2\right] \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6 \times 2400 \times 1.5}{0.8}} = 30\ T\ \downarrow$$

$$\hookrightarrow V_u = 24\ T,\quad V_u < 30\ T\ o.k$$

۵- ۲- ۷- کنترل خمش موضعی بال ستون در مقابل نیروی کششی[۳]

$$T \le \varphi R_n,\qquad \varphi R_n = \varphi 6.25\ F_y {t_f}^2\ \Rightarrow \varphi = 0.9,\qquad \text{لازم } t_{fc} \ge 0.4\sqrt{\frac{T}{0.9F_y}}\ \longrightarrow\ t_{fc} \ge 3.54\ cm$$

بدلیل اینکه ضخامت بال برابر ۲/۵ سانتیمتر است نیاز به سخت کننده داریم.

---

[۱] بند ۱۰- ۲- ۹- ۱۰- ۲ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

[۲] بند ۱۰- ۲- ۹- ۱۰- ۲ مبحث دهم مقررات ملس ساختمان

[۳] بند ۱۰ -۲- ۹- ۱۰- ۱ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

۵- ۲- ۸- کنترل تسلیم موضعی جان ستون در مقابل نیروی متمرکز فشاری و کششی

$$C,T \le \varphi R_n = \varphi F_y t_{wc}(2.5K + l_b)\,,\ \ C,T = 170\ T$$

l_b برابر طول اتکایی بار متمرکز است که برابر عرض ورق روسری یا زیر سری است. t_{wc} برابر با ضخامت جان ستون است که با توجه به اینکه ستون از نوع جعبه ای است t_{wc} بابر دو برابر ضخامت جان ستون است. K برابر ضخامت بال ستون می باشد.

$$\varphi R_n = \varphi F_y t_{wc}(5K + l_b),\ \ l_b = 30\ cm\,, K = 2.5\ cm\,, t_{wb} = 2 \times 2 = 4\ cm\ \downarrow$$

$$\hookrightarrow \varphi R_n = 1 \times 2400 \times 4(5 \times 2.5 + 30) = 408\ T\ \Rightarrow\ C,T < 408\ T\ o.k$$

۵- ۲- ۹- کنترل لهیدگی جان ستون در مقابل نیروی فشاری

$$\frac{l_b}{d} = \frac{30}{30} = 1 > 0.2\ \leftarrow \varphi R_n = \varphi 0.4 {t_{wc}}^2 \left[1 + \left(\frac{4l_b}{d} - 0.2\right)^1 \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_y t_{fc}}{t_{wc}}}\,, \varphi = 0.75\downarrow$$

$$\hookrightarrow\ \varphi R_n = 0.75 \times 0.4 \times 2^2 \left[1 + \left(4\frac{30}{30} - 0.2\right)^1 \times \left(\frac{2}{2}\right)^{1.5}\right] \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6 \times 2400 \times 2}{2}} = 399\ T\ \downarrow$$

$$\hookrightarrow C,T = 24\ T,\quad C,T < 399\ T\ o.k$$

از بند ۵- ۲- ۷ - نتیجه حاصل شد که باید برای جلوگیری از خمش بال ستون در مقابل نیروی کششی سخت کننده (ورق پیوستگی) تعبیه شود.

سطح مقطع مورد نیاز پیوستگی $A_{st} = \dfrac{T - \varphi 6.25\, F_y {t_f}^2}{f_y} = \dfrac{170 \times 10^3 - 0.9 \times 6.25 \times 2400 \times 2^2}{2400} = 48.3\ cm^2$

سطح مقطع مورد نیاز پیوستگی $A_{st} = \mathrm{w.t_{st}} \longrightarrow$ عرض ستون $\mathrm{w} = 30\ cm\,, \mathrm{t_{st}} = \dfrac{48}{30} = 1.6\ cm\ \rightarrow use\ 2.5\ cm$

ضخامت ورق روسری و زیر سری برابر ۲/۵ است. مرسوم است ضخامت ورق پیوستگی از ضخامت ورق روسری کمتر نباشد. همچنین جوش ورق پیوستگی به بال و جان ستون از نوع شیاری با نفوذ کامل خواهد بود. اگر در راستای عمود بال ستون اتصال تیر به ستون خمشی نباشد می توان جوش ورق پیوستگی به بال ستون را از نوع جوش گوشه طراحی کرد. سعی شده است در شکل زیر مکان ورق های پیوستگی در داخل ستون نشان داده شود.