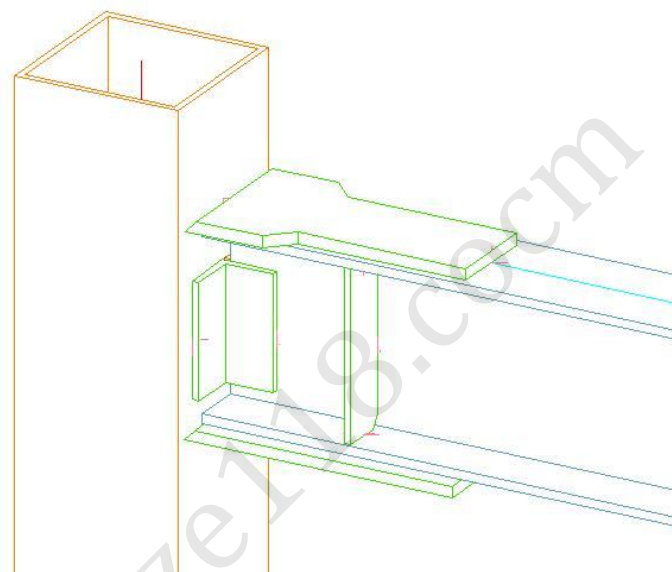


فصل پنجم: اتصال گیردار به ستون

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^۱.



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 :

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

مشخصات تیر :

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

^۱ بند ۱۰-۳-۱۳-۵- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان



مشخصات فولاد و التروود مصرفی :

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

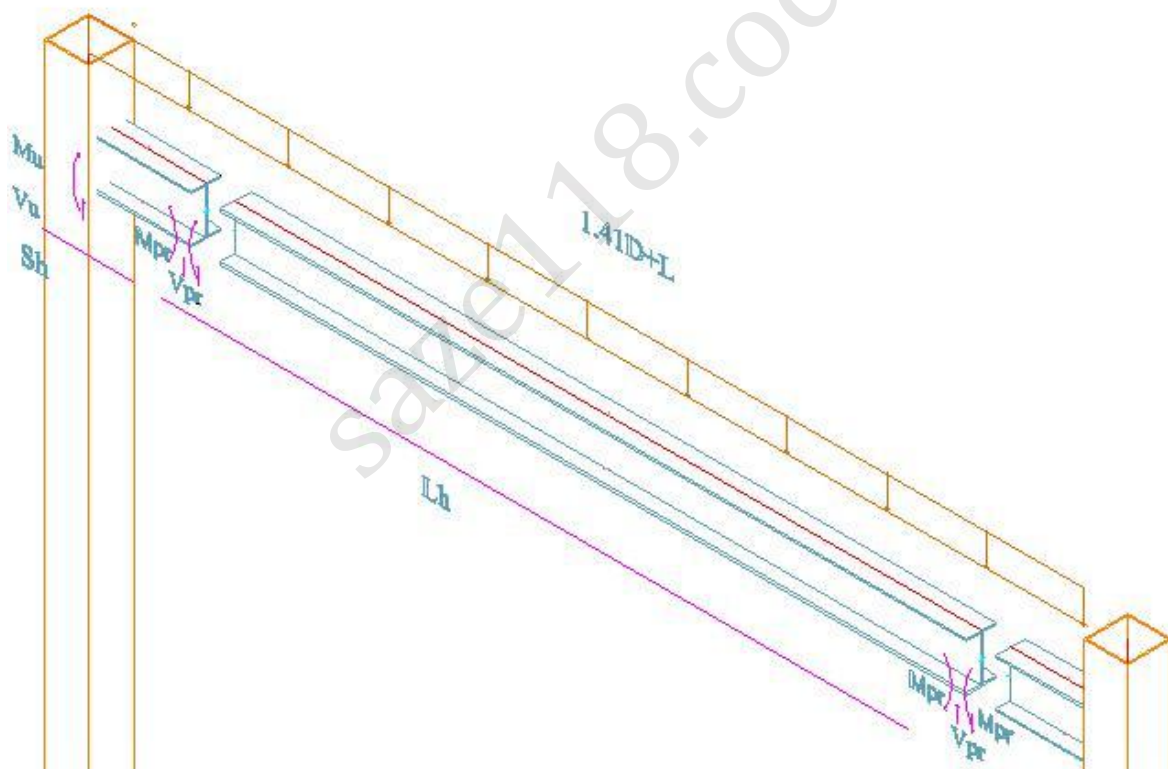
۵-۲-۲- نیرو های طراحی اتصال خمشی تیر به ستون

مقاومت خمشی مورد نیاز M_{U1} و مقاومت برشی مورد نیاز V_{U1} اتصال باید در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بار های ثقلی ضریب‌داری که با نیروی زلزله ترکیب می شوند و اثرات لرزه ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr} = C_{pr} R_y M_p$ در محل های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین 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 ۱۰-۳-۲-۸ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان



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

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

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

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

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 $2/5$ متر برابر 975 kg/m و با توجه به بار زنده 200 kg/m^2 که با فرض عرض سطح بارگیر $2/5$ 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 $1.4D + L + E$ که بیشترین مقدار را حاصل می دهد استفاده شده است. از تعادل استاتیکی نیرو های روی تیر می توان M_u و V_u را بدست آورد.

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

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

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

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.

$$C = T = \frac{M_u}{d_b} = \frac{51 \times 10^5}{303} = 168 \text{ T}$$

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 $\frac{KL}{r}$ ورق ها کمتر از ۲۵ است. لذا مقاومت فشاری اسمی برابر است با :

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

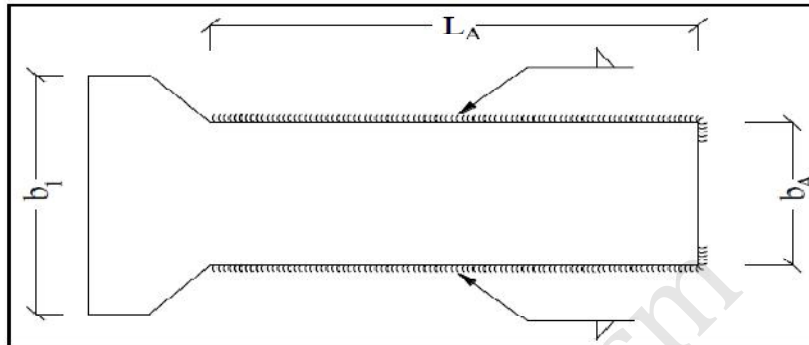
$$b_1 = 30 \text{ cm}, b_A = 18 \text{ cm}, \rightarrow A_g = b_1 t_T \Rightarrow t_T = \frac{70}{30} = 2.33 \text{ cm use } t_T = 2.5 \text{ cm}$$



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

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

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

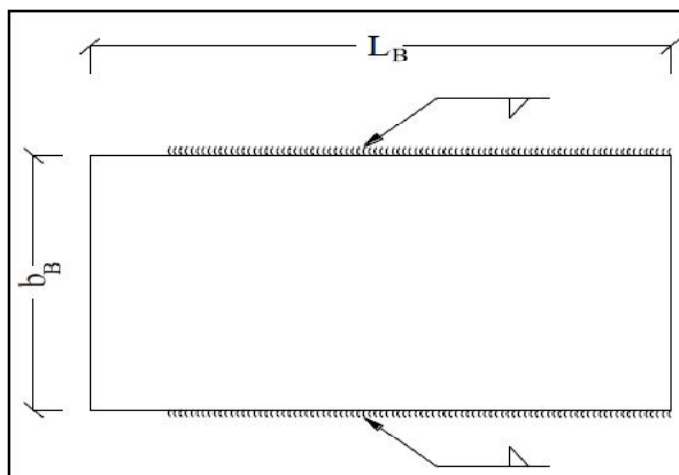


$$b_B = 30 \text{ cm} \rightarrow A_g = b_B t_B \Rightarrow t_B = \frac{73}{30} = 2.43 \text{ cm use } t_B = 2.5 \text{ cm}$$

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

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

بعنوان ورق زیر سری use Plate 300X500X25

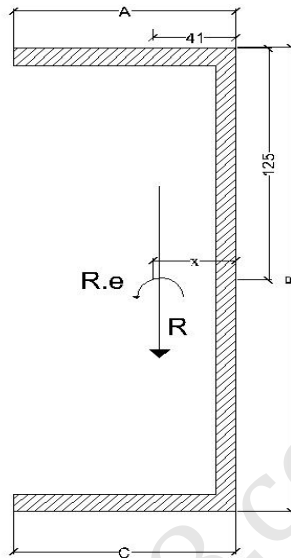


طول ورق بالاسری مجموعاً برابر ۵۷/۵ خواهد شد. که از فرض اولیه برای محل مفصل پلاستیک کمی کمتر است.

۵-۲-۴ - طراحی ورق نبشی جان

$$V_u \leq \phi V_n \rightarrow \phi V_n = 0.6 \times 2400 A_w = 0.6 \times 2400 \times l \times t \rightarrow l = 25 \text{ cm} \downarrow$$

$$\hookrightarrow t \geq \frac{V_u}{\phi \times 0.6 \times 2400 \times 25}, \phi = 0.9, t \geq 0.74 \text{ use } L 100 \times 100 \times 10$$



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.

$$C = A = 15 \text{ cm}, B = 25 \text{ cm}$$

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

$$V_u = R, T = R.e \rightarrow e = 10 - x_c = 5.9 \text{ cm} \Rightarrow R = 24 T, T = 1.41 T.M$$

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

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

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

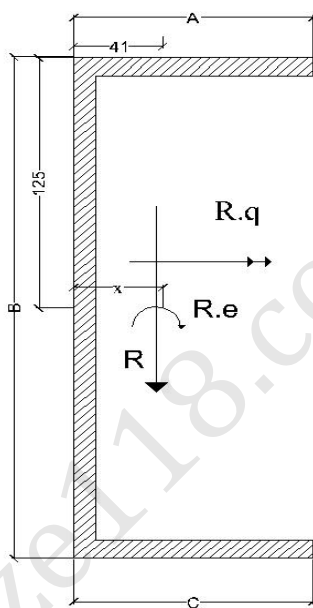


$$f_{Tx} = \frac{T_y}{J} = \frac{1.41 \times 10^5 \times 12.5}{1329 + 6409} = 222 \text{ kg/cm}$$

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

$$f_v = \varphi \beta F_{nw} \frac{\sqrt{2}}{2} a_w \rightarrow a_w = \frac{f_v}{\varphi \beta F_{nw} \frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{558}{0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707} = 0.5 \text{ cm } a_w = 6 \text{ mm}$$

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.



$$C = A = 15 \text{ cm}, B = 25 \text{ cm}$$

$$x_c = \frac{15 \times 7.5 \times 2}{15 + 15 + 25} = 4.1 \text{ cm}$$

$$R = V_w, \text{ پیچش } T = R.e, \text{ لنگر } M = R.q, \rightarrow e = 10 - x_c = 5.9 \text{ cm}, q = 10 - x_c = 5.9 \text{ cm}$$

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

$$I_x = 6409 \text{ cm}^4, I_y = 1329 \text{ cm}^4$$

$$f_{vy} = 434 \text{ kg/cm}, f_{Ty} = 74 \text{ kg/cm}, f_{Tx} = \frac{T_y}{J} = \frac{1.41 \times 10^5 \times 12.5}{1329 + 6409} = 222 \text{ kg/cm}$$

$$f_v = 558 \text{ kg/cm}$$



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

$$F = \sqrt{f_m^2 + f_v^2} = \sqrt{275^2 + 558^2} = 622 \text{ kg/cm}$$

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

با توجه به جدول ۱۰-۲-۹-۲-۲ 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)

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

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.

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

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

۵-۲-۶- کنترل لهیدگی جان تیر در مقابل نیروی متمرکز فشاری^۲ (عکس العمل تکیه گاهی)

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

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

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

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

$$T \leq \varphi R_n, \quad \varphi R_n = \varphi 6.25 F_y t_f^2 \Rightarrow \varphi = 0.9, \quad \text{لازم} \quad t_{fc} \geq 0.4 \sqrt{\frac{T}{0.9 F_y}} \rightarrow t_{fc} \geq 3.54 \text{ cm}$$

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

^۱ بند ۱۰-۲-۹-۲-۲ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

^۲ بند ۱۰-۲-۹-۲-۱۰ مبحث دهم مقررات ملی 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

$$C, T \leq \phi R_n = \phi F_y t_{wc} (2.5K + l_b), \quad C, T = 170 T$$

l_b برابر طول اتکابی 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} برابر دو برابر ضخامت جان ستون است. K برابر ضخامت بال ستون می باشد.

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

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

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

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

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

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

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.

$$A_{st} = \frac{T - \phi 6.25 F_y t_f^2}{f_y} = \frac{170 \times 10^3 - 0.9 \times 6.25 \times 2400 \times 2^2}{2400} = 48.3 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = w \cdot t_{st} \rightarrow \text{عرض ستون } w = 30 \text{ cm}, \quad t_{st} = \frac{48}{30} = 1.6 \text{ cm} \rightarrow \text{use } 2.5 \text{ cm}$$

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 شیار 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.



