

۱۳-۲ مثال‌هایی از قاب‌های خمشی ویژه

در ادامه این فصل مثال‌هایی از نحوه طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه (SMF) بر اساس الزامات لرزه‌ای مبحث دهم ارائه خواهد شد. در شکل‌های ۲-۴۳ و ۲-۴۴ پلان ساختمان و نمای یکی از قاب‌های ساختمان مورد مطالعه نشان داده شده است. اتصالات گیردار تیر به ستون با علامت مثلث نشان داده شده‌اند، سایر اتصالات مفصلی هستند. بارهای مرده، زنده و برف به شرح زیر می‌باشند:

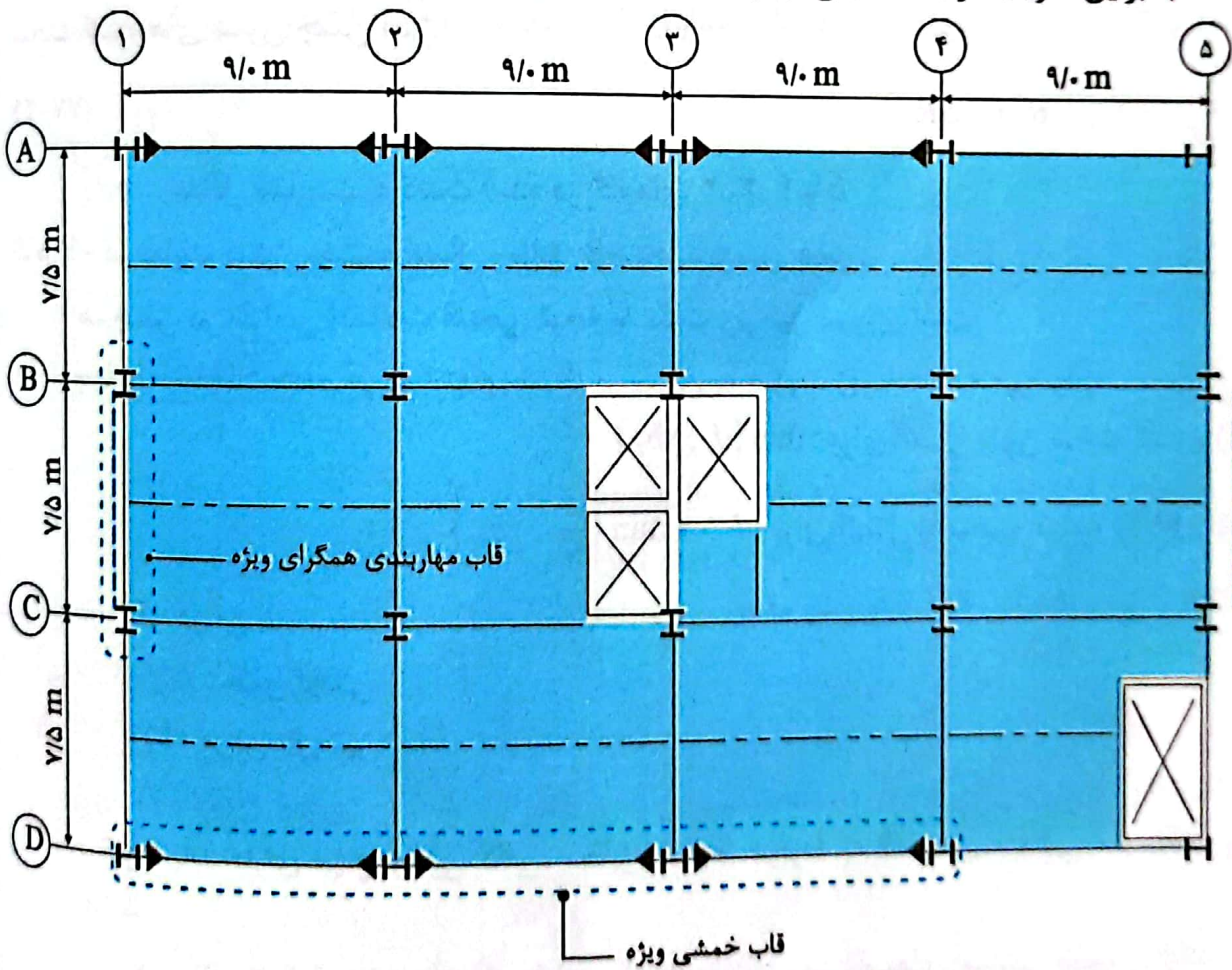
$$D_{floor} = 415 \text{ kg/m}^2, D_{roof} = 330 \text{ kg/m}^2, L_{floor} = 200 \text{ kg/m}^2, Snow = 100 \text{ kg/m}^2$$

بار دیوارهای پیرامونی 260 kg/m بوده و ساختمان در منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد واقع است، سایر پارامترهای لرزه‌ای به صورت زیر می‌باشند:

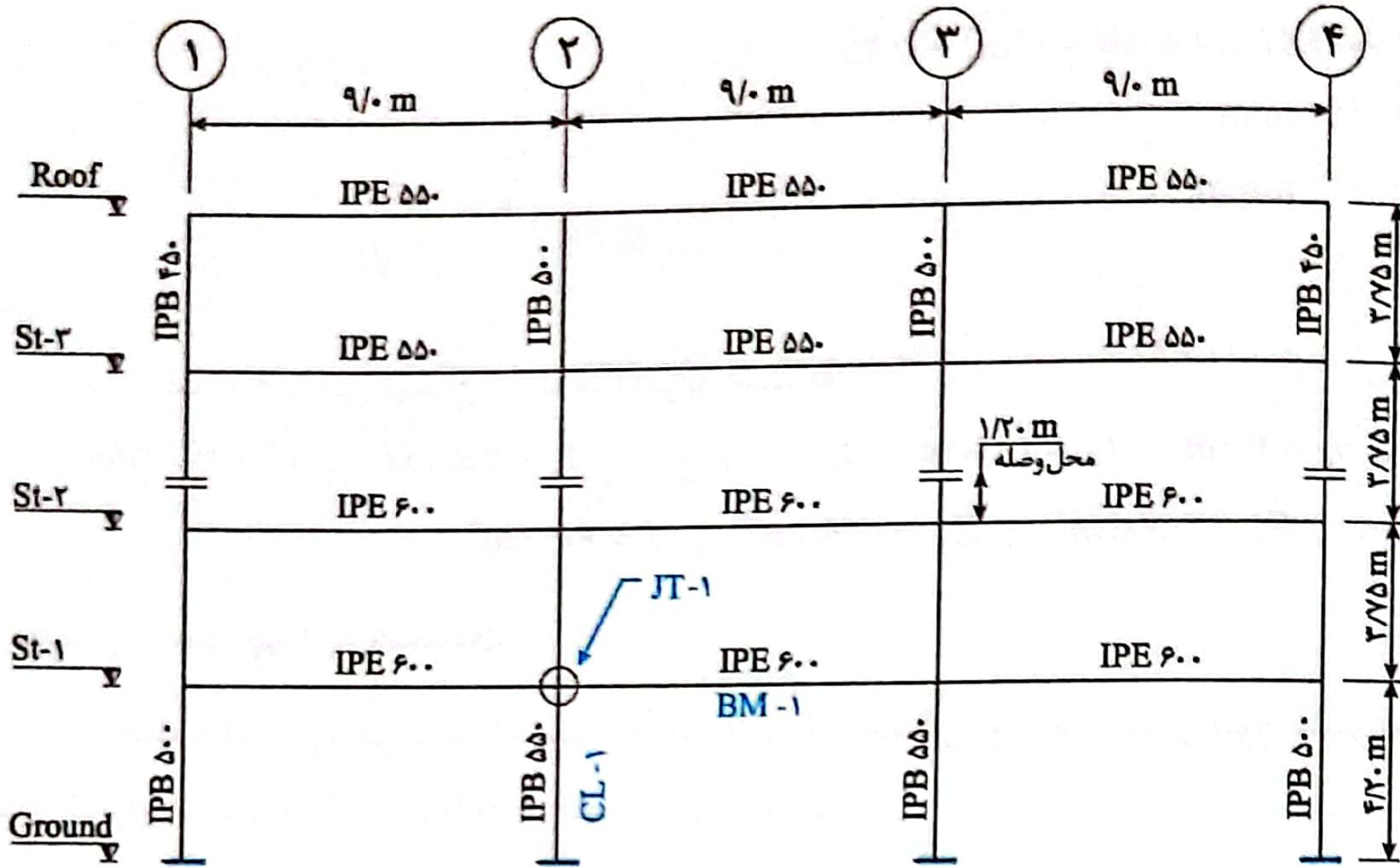
$$R = 7/5, \Omega_s = 3/0, \rho = 1/0, I = 1/0$$

مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۴، چون ساختمان موردنظر:

- در پلان منظم می‌باشد؛
- در هیچ طبقه‌ای نیروی برشی بیش از ۳۵٪ نیروی برش پایه ساختمان ایجاد نمی‌شود؛
- در هر سمت مرکز جرم، دارای ۳ دهانه مقاوم باربر جانبی در امتداد قاب خمشی است. بنابراین ضریب درجه نامعینی برابر $1/0$ منظور می‌گردد.



شکل ۲-۴۳ پلان کف قاب خمشی ویژه



شکل ۲-۴۴ نمایی از قاب خمشی ویژه

① کنترل مقاومت ستون در قاب خمشی ویژه

گام ۱ - مشخصات مقطع: $F_y = 351.5$, $F_u = 457$, IPB 550

$b_f = 300$, $t_f = 29$, $h = 438$, $t_w = 15$, $A_g = 254$, $r_x = 23.2$

$r_y = 7.17$, $S_x = 4970$, $Z_n = 5440$, $J = 679$ (واحد ها: cm است)

گام ۲ - نتایج تحلیلی: $V_u = 14.5$ ton

$P_u = 110$ ton , $P_u = 133.5$ ton (ترکیب بار زلزله کنترل نشده)

$M_{u,top} = 17.25$ t.m , $M_{u,bot} = -41.12$ t.m

گام سوم - کنترل کنش موضعی

برای ستون باید $\lambda_p < \lambda_{hd}$ باشد. (شده لرزه‌ای با شکل پذیری زیاد)

$\lambda_p = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2 \times 29} = 5.17$

$\lambda_p < \lambda_{hd}$ o.k. ✓

$\lambda_{hd} = 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.3 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{351.5}} = 7.33$

$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{438}{15} = 29.2$

$C_a = \frac{P_u}{\phi P_y} = \frac{P_u}{0.9 A_g F_y} = \frac{133500}{0.9 \times 254 \times 351.5} = 0.16 \rightarrow C_a > 0.125$

$\lambda_{hd} = 0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - C_a) \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 52.13 \rightarrow \lambda_w < \lambda_{hd}$ o.k. ✓

گام ۴ - کنترل مقاومت ستونی

$\lambda_x = \frac{K L}{r_x} = \frac{1 \times 420}{23.2} = 18.1$

$\lambda = 58.6 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 115$

$\lambda_y = \frac{K L}{r_y} = \frac{1 \times 420}{7.17} = 58.6$

در کنش فولاد استیک

$$E = \frac{\pi^2 \sigma}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times (2.1) \times 10^6}{58.6^2} = 6036 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = \left(0.658 \sqrt{\frac{F_y}{E}}\right) \cdot F_y = 0.658 \sqrt{\frac{3515}{6036}} \times 3515 = 2757 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_c = \phi P_n = 0.9 \times F_{cr} A_g = 0.9 \times 2757 \times 254 = 630 \text{ ton} > 133.5 \text{ ton o.k.}$$

گام ۵ - کنترل متناوب خمشی ستون

الف) حالت مدی تسلیم: $M_n = P_y Z_x = M_p = 3515 \times 5440 = 191 \text{ ton.m}$

ب) حالت مدی کنترل خمشی جانبی (LTB): $L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 308 \text{ cm}$

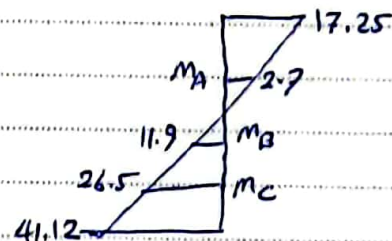
$$L_r = 1.95 \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_C}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_C}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}} = 1100 \text{ cm}$$

$h_o = d - t_f = 52.1 \text{ cm}$, $C = 1$, $r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y h_o}{2 S_x}} = 8.1 \text{ cm}$

$$L_p = 308 < L_b = 420 < L_r = 1100 \rightarrow M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$$

$$C_b = \frac{12.5 \times 41.12}{2.5 \times 41.12 + 3 \times 2.7 + 4 \times 11.9 + 3 \times 26.5} = 2.16$$



$$M_n = 2.16 \left(191 - (191 - 0.7 \times 3515 \times 4970 \times 10^{-5}) \left(\frac{420 - 308}{1100 - 308} \right) \right) = 392 > 191$$

$\rightarrow M_n = 191 \text{ ton.m}$ (حالت تسلیم حکم است)

$$\phi M_n = 0.9 \times 191 = 172 \text{ ton.m} > M_k = 41.12$$

گام ۶ - کنترل اثر اندکشی فشار دهن

$$\frac{P_u}{\phi P_c} = \frac{110}{630} = 0.17 < 0.2$$

$$\frac{P_u}{2 \phi P_c} + \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1 \rightarrow \frac{0.17}{2} + \frac{41.12}{172} + 0 = 0.33 < 1 \text{ o.k.}$$

گام ۷ - کنترل تناسبت برش سرن.

$$h = d - 2k = 43.8, \quad \frac{h}{t_w} = \frac{43.8}{1.5} = 29.2 < 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 54.7$$

مقطع مورد سازه و شرط فوق برقرار است. $\phi = 1, C_v = 1$

$$\phi V_n = \phi 0.6 F_y A_w C_v = 1 \times 0.6 \times 3515 \times 55 \times 1.5 \times 1 = 174^t > V_u = 14.5^t \quad \text{o.k.}$$

⑤ کنترل تناسبت آیر در قاب خمشی ویژه

گام ۱ - سقف مقطع، IPE 600, $F_y = 3515 \frac{kg}{cm^2}, F_u = 4570 \frac{kg}{cm^2}$

$$d = 60, t_f = 1.9, b_f = 22, t_w = 1.2, r_y = 4.66, S_x = 3070, Z_x = 3376$$

$$M_u = -37.67 \text{ t.m}$$

گام ۲ - تحلیل

$$V_u = 15.34 \text{ t.m}$$

گام ۳ - کنترل کنش موم

مقطع تیر باید فشرده نسبی داشته باشد. ($\lambda < \lambda_{hd}$)

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{22}{2 \times 1.9} < \lambda_{hd} = 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 7.33 \quad \text{o.k.}$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{60 - 2(5.7)}{1.2} = 40.5$$

$$C_a = 0 \rightarrow (P_u = 0 \text{ در تیر}) \rightarrow \lambda_{hd} = 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 59.9 \rightarrow \lambda_w < \lambda_{hd} \quad \text{o.k.}$$

گام ۴ - کنترل مقاومت خمشی تیر

چون تیر در سقف مدفون است، کنش بزرگتری از آنجا نمی آید. ($L_b < L_p$)

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 3376 \times 3515 = 119 \text{ ton.m}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 119 = 107 \text{ ton.m} > M_u = 37.67 \quad \text{o.k.}$$

گام ۵ - مقاومت برشی تیر

$$\frac{h}{t_w} = 40.5 < 2.24 \sqrt{\frac{E_k}{F_y}} = 53.9 \rightarrow \phi = 1, C_v = 1$$

$$\phi V_n = \phi \times 0.6 \times f_y \times A_w C_v = 1 \times 0.6 \times 3515 \times 60 \times 1.2 \times 1 = 152 > 15.34 \times 0.4 \times 1$$

۳) طراحی اتصال گیردار جوش تیر به ستون با درن های دیگری و زنجیری

این اتصال در قاب خمشی ویژه مجاز نیست. به همین دلیل با ادا به حل مثال ۱۰ با فرض شکل زیری متوسط ادا به می دهیم.

گام ۱ - کنترل محدودیت های سیستم

۱- قاب خمشی متوسط به استناد از اتصال گیردار با درن دیگری زنجیری مجاز است

۲- عمق مقطع تیر از ۹۰ سانتی متر کمتر است. $d = 60 < 90 \text{ cm}$

۳- حداکثر متال تیر از ۳ مگر است. $b_m = 1.9 < 3 \text{ cm}$

۴- نسبت دهانه گزاف تیر به عمق مقطع گزاف ۵ نیست. $\frac{l_n}{d} = \frac{900-55}{60} = 14 > 5$

۵- تیر باید در جانبی کافی داشته باشد.

۶- عمق مقطع ستون کمتر از ۹۰ سانتی متر است. $d = 55 < 90 \text{ cm}$

گام ۲ - تعیین مقاومتی تیر بر اتصال

با فرض طول درن های اتصال برابر 60 cm $S_n = 60 \text{ cm}$

۱- محاسبه M_{pr} در محل مصلح پیوستگی

$$M_{pr} = C_{pr} \cdot R_y \cdot M_p, \quad M_p = f_y Z$$

$$1.0 < C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} = \frac{3515 + 4570}{2 \times 3515} = 1.15 < 1.2 \rightarrow C_{pr} = 1.15$$

$$R_y = 1.2 \quad \text{طبق جدول ۱۰-۲-۳-۱ برای مقطع نورد شده}$$

$$M_{pr} = 1.15 \times 1.2 \times 3515 \times 3376 = 164 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

۱- محاسبه نیروی برش در محل معین (مثلاً) $(w_D = 1.2 \frac{t}{m}, w_L = 0.9 \frac{t}{m})$

با ضرایب ایمنی: $w_u = 1.2 w_D + w_L = 1.2 (1.2) + (0.9) = 2.34 \text{ ton/m}$

طول مفید: $L_h = L - 2(S_h) - 2\left(\frac{d_c}{2}\right) = 900 - 2(60) - 2\left(\frac{55}{2}\right) = 725 \text{ cm}$

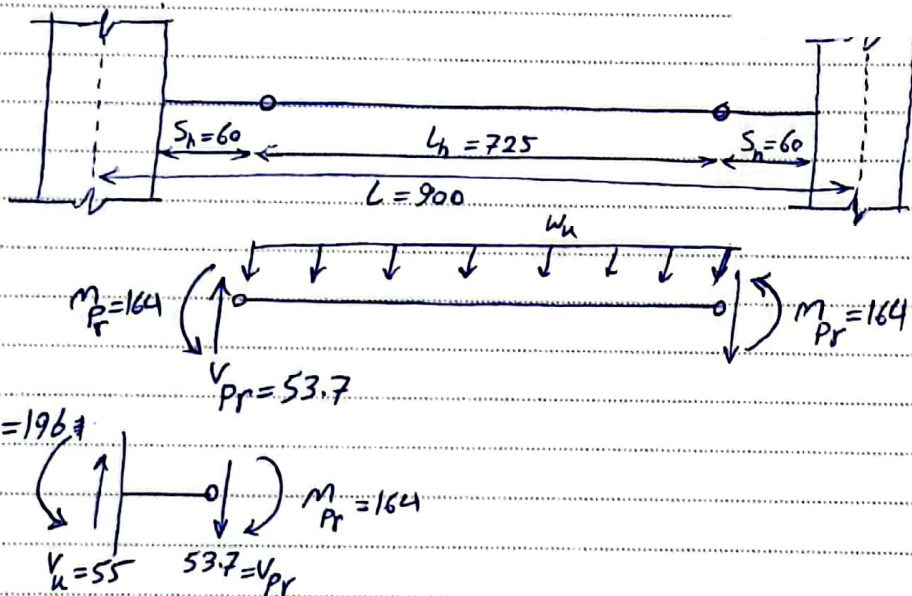
$V_{Pr} = \frac{2M_{Pr}}{L_h} + \frac{w_u L_h}{2} = \frac{2 \times 164}{7.25} + \frac{2.34 \times 7.25}{2} = 53.7 \text{ ton}$

۲- محاسبه ممان گزینش محتمل در برش (M_p)

$M_p = M_{Pr} + V_{Pr} \cdot S_h = 164 + 53.7 (0.6) = 196 \text{ ton}\cdot\text{m}$

۳- محاسبه ضرایب برش در برش (V_u)

$V_u = V_{Pr} + w_u S_h = 53.7 + 2.34 \times 0.6 = 55 \text{ ton}$



گام ۳- طراحی ورق زیرین

۱- تعیین عرض ورق: بر مبنای اینکه فضای جوش خوردگی تحت اتصال به این تیر

ایجاد شود. (معمولاً ۳ تا ۵ سانتی عرض کارزایی تیر)

$b_{pb} = b_f + 5$

$b_{pb} = 22 + 5 = 27 \text{ cm} \rightarrow \text{USE } b_{pb} = 30 \text{ cm}$

۲- تعیین ضخامت ورق زوایری : براساس مقاومت مورد نیاز گسترش ناشی از M_p

$$P_u = \frac{M_p}{d} = \frac{196 \times 10^5}{60} = 327 \text{ ton} \quad \text{زیر گسترش ورق}$$

$$\phi P_n = \phi \times A_g f_y = 0.9 \times A_g \times 3515 \geq 327 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$A_g > 103 \text{ cm}^2 \rightarrow t \geq \frac{103}{b_{pb}} = \frac{103}{30} = 3.4 \text{ cm}$$

۳- تعیین طول ورق زوایری : براساس مقاومت جوش

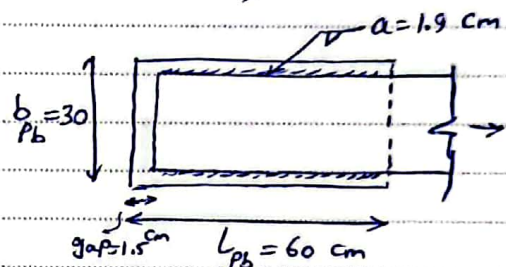
$$\phi R_n = \phi \times 0.75 \times (0.6 F_{uw}) (0.707) a l_w = 0.9 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times 0.707 a l_w$$

$$\phi R_n = 1400 a l_w \quad (F_{uw} = 4900) \text{ E70 با فرض الکتروود}$$

بعد جوش حداکثر برابر ضعیف است با ل تیر است $a = 1.9$

$$P_u < \phi R_n$$

$$327000 \text{ kg} \leq 1400 \times 1.9 l_w$$



$$\rightarrow l_w = 123 \text{ cm} \xrightarrow{\text{با فرض}} \text{USE } l_{pb} = 60 \text{ cm} \rightarrow l_{w \text{ Prov.}} = 117 \text{ cm}$$

USE PL 60 x 30 x 3 cm | P_L ورق زوایری

گام ۴- طراحی ورق زوایری (P_t)

۱- تعیین عرض ورق : براساس جوش خور ورق زوایری روی بال ورق نوبانی تیر

$$b_{pt} = b_f - 4 \text{ cm} = 22 - 4 = 18 \text{ cm} \quad \text{عرض کوچک تر ورق}$$

$$b'_{pt} = \frac{b_{pt}}{\beta} = \frac{18}{0.75} = 24 \text{ cm} \rightarrow \text{USE } 25 \text{ cm} \quad \text{عرض بین تر ورق}$$

۲- تعیین ضخامت ورق

$$P_u = 327 \text{ ton}$$

$$\rightarrow A_g \geq 103 \text{ cm}^2 \rightarrow t \geq \frac{103}{18} = 5.7$$

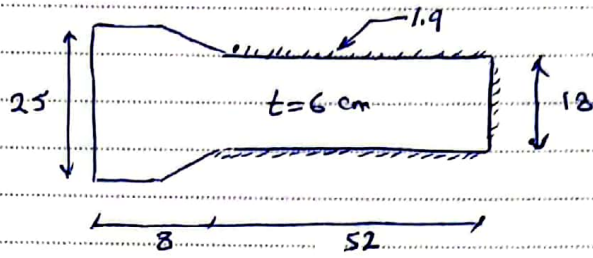
$$\phi P_n = 0.9 A_g f_y = 0.9 \times A_g \times 3515 \geq 327$$

۳- تعیین طول ورق : براساس مقادیر جوش ورق به بال تیر

$$\phi R_n = 1400 \alpha l_w \xrightarrow{\alpha = 1.9 \text{ cm}} 327000 = 1400 \times 1.9 \times l_w \rightarrow l_w = 123 \text{ cm}$$

$$l_w = 25 + 25 + 18 = 122$$

$$l_{pT} = 52 + 8 = 60 \text{ cm}$$



لام ۵- طراحی جوش ورق ها روستری در زیرسری به بال ستون

چون اتصال از جنس جوش معمولی یا شیرازی با نفوذ کامل است ، نیازی به طراحی تکرار نیست

لام ۶- طراحی ورق جانبی (کراش اول)

$$V_u = 55 \text{ ton} \leq \phi V_n = 1 \times 0.6 f_y A_p C_v = 1 \times 0.6 \times 3515 \times A_p \times 1$$

$$A_p \geq 26 \text{ cm}^2$$

طول ورق با توجه به لرونج جان ، $l_p = 50 \text{ cm}$ فرض می شود

$$t_p \cdot l_p \geq 26 \rightarrow t_p \geq \frac{26}{50} = 0.52 \text{ cm} \rightarrow \text{USE } \left\{ \begin{array}{l} l_p = 50 \text{ cm} \\ t_p = 10 \text{ mm} \\ p = 120 \text{ mm} \end{array} \right.$$

طراحی جوش ورق جانبی به بال تیر

$$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d} = \frac{10.5^2}{2 \times 10.5 + 50} = 1.55 \text{ cm}$$

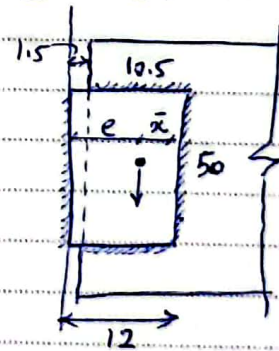
$$e = 12 - \bar{x} = 10.45 \text{ cm}, T = V \cdot e = 574 \text{ ton.cm}$$

$$J = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d} = 24142 \text{ cm}^4$$

$$f_y' = \frac{V}{A} = \frac{55000}{2(10.5) + 50} = 775 \text{ kg/cm}$$

$$f_y'' = \frac{T \cdot x}{J} = \frac{574 \times 10^3 \times (10.5 - 1.55)}{24142} = 213 \text{ kg/cm}$$

$$f_x'' = \frac{T \cdot y}{J} = \frac{574 \times 10^3 \times 50/2}{24142} = 595 \text{ kg/cm}$$



$$f_r = \sqrt{(f_y' + f_y'')^2 + f_x''^2} = \sqrt{(775 + 213)^2 + 595^2} = 1153 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi R_w = 1400 a \rightarrow a = \frac{1153}{1400} = 0.82 \rightarrow \text{USE } a = 1 \text{ cm}$$

③ طراحی جوش ورق به بال ستون

جوش انفال ورق به بال ستون یا جوش تقویدی یا گوشه دو طرفه باشد

$$f_y' = \frac{V}{2L} = \frac{55000}{2 \times 50} = 550 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{بافتن جوش گوشه}$$

$$f_x'' = \frac{MC}{I} = \frac{Ve(\frac{L}{2})}{\frac{2L^3}{12}} = \frac{3 \times 55000 \times 10.45}{50^2}$$

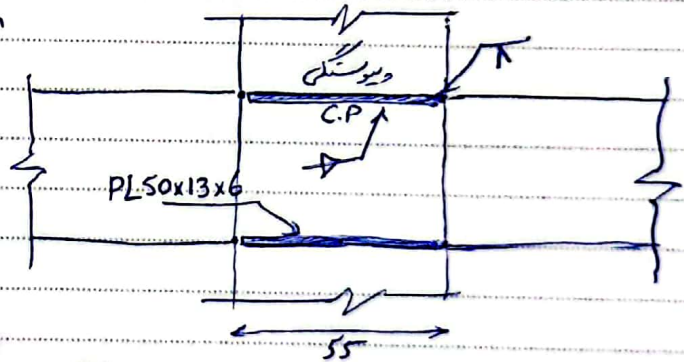
$$f_r = \sqrt{f_y'^2 + f_x''^2} = 882 \geq \phi R_w = 1400 a \rightarrow a = 0.75 \rightarrow \text{USE } a = 1 \text{ cm} \quad \text{نکته}$$

گام ۷ - طراحی ورق ها و پیوستگی

① ورق پیوستگی برای جدگیری از بخش بال ستون، چین خوردگی و اسکریجینگ ستون به کار رود

$$\text{عرض ورق} = \text{عرض ورق} = 6 \text{ cm} \quad \text{دیگری در زیر$$

$$\text{طول ورق پیوستگی} = 55 - 2(2.9) = 49.2 \text{ cm}$$



$$\text{عرض ورق پیوستگی} \geq \frac{b_f}{2} = \frac{22}{2} = 11$$

→ USE $w_{min} = 13 \text{ cm}$

② جوش ورق پیوستگی به بال ستون - جوش تقویدی (طراحی بنداره)

③ جوش ورق پیوستگی به جان ستون - جوش تقویدی یا گوشه دو طرفه بر اساس

مرفق کنس متعلق ورق پیوستگی

گام ۷ - کنترل جبهه اتصال

① برین اتصال برابری است:

$$V_u = \frac{\sum M_p}{d_b - t_p} - V_c = \frac{\sum M_p}{d_b + \frac{(t_{pf} + t_{pb})}{2}} - V_c$$

← الف باقیمانده برین
← الف باقی مانده در صورت برین

$$V_c = \frac{\sum M_p}{(h_b + h_t)/2} = \frac{196 + 196}{2.1 + 1.875} = 99 \text{ ton}$$

$$V_u = \frac{196 \times 2}{[60 + (\frac{6+3}{2})] \times 10^{-2}} - 99 = 60.8 - 99 = 51.0 \text{ ton}$$

② ظرفیت برین جبهه اتصال:

$$P_r = 110 \text{ ton} < 0.75 P_c = 0.75 \times P_y A_g = 670$$

$$\phi R_n = \phi (0.6 F_y) d_c t_w \left(1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_w} \right)$$

$$\phi R_n = 0.9 \times 0.6 \times 3515 \times 5.5 \times 1.5 \left(1 + \frac{3 \times 30 \times 2.9^2}{60 \times 55 \times 1.5} \right) = 180 \text{ ton}$$

$V_u = 51.0 > \phi R_n = 180 \rightarrow$ نیاز ورق مضاعف است

③ اندازه ورق مضاعف جان:

در رابطه‌های t_w و t_p جدول اندازه و براس $V_u = 51.0$ مدار صحت مورد نیاز

معادله اساسی:

$$t_w' \geq \left(R_u - \frac{0.6 F_y (3 b_{cf} t_{cf}^2)}{d_b} \right) \left(\frac{1}{0.6 F_y d_c} \right)$$

$$(t_p + t_w) \geq \frac{51.0 \times 10^3}{0.6 \times 3515} - \frac{0.6 \times 3515 \left(\frac{3 \times 30 \times 2.9^2}{60} \right)}{0.6 \times 3515 \times 55} = 4.17 \text{ cm}$$

$$t_p \geq 4.17 - 1.5 = 2.7 \rightarrow \text{USE } t_p = 30 \text{ mm}$$

کنترل نامیداری برین در جبهه جان

$$t_z \geq \frac{(d_z + w_z)}{90}$$

$$d_z = d_b - 2t_p = 60 - 2(1.9) = 56.2 \rightarrow t_z \geq \frac{56.2 + 49.2}{90} = 1.17 \text{ cm}$$

$$w_z = d_c - 2t_p = 55 - 2(2.9) = 49.2 \quad (t_w = 1.5 > 1.17 \text{ o.k.} \quad t_p = 30 > 1.17 \text{ o.k.})$$