

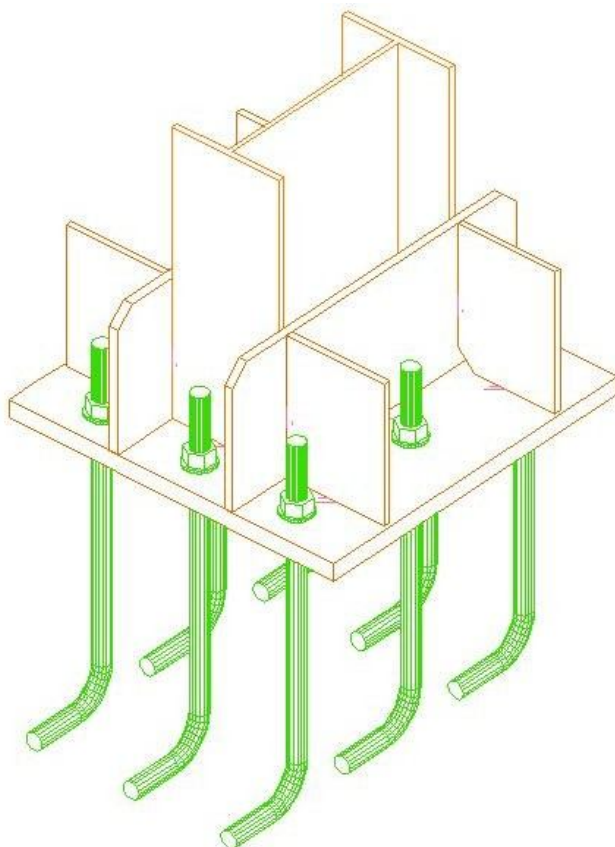
فصل چهارم : طراحی کف ستون

۴-۱- معرفی

یکی از حساس ترین بخش های تشکیل دهنده سازه های فولادی محل اتصال ستون های آن به پی است. چرا که در این نقاط کلیه بار های وارد بر سازه، پس از جمع شدن در کف ها، تیرها و نهایتا ستون ها، از طریق ورق کف ستون به فونداسیون منتقل می شود. برای طراحی کف ستون های این ساختمان از کتاب طراحی سازه های فولادی مجتبی ازهری و سید رسول میر قادری استفاده شده است.

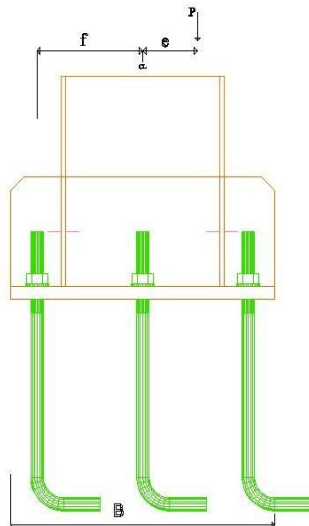
حالات زیر برای انتقال نیرو از ستون به پای کف ستون لحاظ می شود.

۱. برون محوری صفر $e = \frac{M}{p}$
۲. برون محوری کم $e = \frac{M}{p} \leq B/6$
۳. برون محوری بزرگ $e = \frac{M}{p} \leq B/6$



۴-۲- نمونه محاسبات کف ستون

در این ساختمان کف ستون ها در تیپ طراحی شده است. که بعنوان نمونه نحوه محاسبات تیپ ۱ BP_1 در ادامه گزارش آمده است. اتصال ستون Box 40X2.5



۴-۲-۱ - مشخصات اولیه مواد

تنش نهایی فولاد $f_u = 3700 \text{ kg/cm}^2$ تنش تسلیم فولاد $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$

تنش نهایی میل مهار $f_u = 6000 \text{ kg/cm}^2$ تنش تسلیم میل مهار $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$

مقاومت مشخصه بتن $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$

۴-۲-۲- نیرو های طراحی کف ستون

کلیه کف ستون های باربر و غیر بار بر جانبی و اتصالات آنها به ستون و شالوده باید به طور مجزا قادر به تحمل نیرو های زیر باشند^۱.

۱. بیشترین نیرو های داخلی (شامل نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر های خمشی به طور همزمان) تحت اثر ترکیبات بار متعارف.
۲. بیشترین نیروی محوری (بدون حضور نیرو های برشی و لنگر های خمشی) تحت اثر ترکیبات بار زلزله تشدید یافته .
۳. در هر دو امتداد محور های اصلی ستون و به طور مجزا نیروی برشی برابر مجموع مولفه های افقی مقاومت های مورد نیاز اتصال مهاربندی و برش ظرفیتی ستون برابر $\frac{\sum M_{pc}}{H_s}$ که در آن $\sum M_{pc}$ مجموع لنگر های خمشی

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

پلاستیک ستون در دو سمت وصله در امتداد مورد نظر و H_s ارتفاع طبقه می باشد. در محاسبه و طراحی کف ستون این نیروی برشی باید بدون حضور نیروهای محوری و لنگرهای خمشی در نظر گرفته شود.^۱

۴. در هر دو امتداد اصلی ستون و به طور مجزا لنگر خمشی مجموع لنگرهای خمشی زیر و بدون حضور نیروهای برشی و محوری

- i. برای مهاربندی های امتداد مورد نظر مقاومت خمشی مورد نیاز اتصال مهاربند.
- ii. برای ستون ها کمترین دو مقدار $1.1R_y F_y Z_c$ و بیشترین لنگر خمشی (بدون حضور نیروهای محوری و برشی) تحت اثر ترکیبات بار زلزله تشدید یافته . در آن R_y نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم کننده مصالح ستون، F_y تنش تسلیم مصالح ستون و Z_c مدول مقطع پلاستیک ستون می باشد.

(۱) بیشترین نیروی داخلی (محوری - برش - خمش) تحت اثر ترکیبات بار متعارف

$$P_u = 194 T, \quad V_u = 0 T, \quad M_u = 93 T.M \quad e = \frac{M}{P} = 47 cm$$

۴-۲-۳- تعیین ابعاد کف ستون

(۲) بیشترین نیروی محوری حاصل از ترکیبات بار تشدید یافته.

$$1.41Deas + Live + 0.2Snow + \Omega E$$

$$P_u = 763 T$$

$$P_u \leq P_p = 0.65 \times 0.85 \times f'_c \times A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \Rightarrow 763 \times 10^3 = 0.65 \times 0.85 \times 250 \times A_1 \times 1$$

$$A_1 = 5530 cm^2 \Rightarrow use B = D = 90 cm \quad A_1 = 8100 cm^2$$

(۳) برش (بدون اثر لنگر و نیروی محوری) در هر امتداد.

$$V_u = \frac{\sum M_{pc}}{H_s} = \frac{2400 \times 6250}{340} = 44 T$$

۴-۲-۳- تعیین سطح مقطع میل مهار کف ستون

(۴) لنگر خمشی (بدون اثر نیروی محوری و نیروی برشی) مجزا در هر امتداد.

$$Min \left(1.1R_y F_y Z_c, \text{ تشدید یافته} \right) = Min(84,185) = 84 T.M$$

$$M_u = T \left(f + \frac{B}{2} - \frac{x}{3} \right), f = 40 cm$$

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

با سعی خطا می توان مقدار T را بدست آورد و در نتیجه تعیین سطح مقطه میل مهار مورد نیاز .

$$x = 40 \text{ cm}, T = 129 T \Rightarrow T = \phi F_{nt} A_{nb}, F_{nt} = 0.75 \times 6000 \Rightarrow A_{nb} = \frac{129 \times 10^3}{0.75^2 \times 6000} = 3822$$

$$A_{nb} = 5\phi 32$$

$$f_p = \frac{2T}{xB} = 71 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < P_p = 0.65 \times 0.85 \times f'_c = 138 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

با توجه به بند ۲ و ۴ ابعاد کف ستون ۸۰ در ۸۰ بدست آمده است. و ۵ تا میلگرد ۳۲ بعنوان مهار کششی استفاده شده است. حال بند ۱ و ۳ را برای این کف ستون کنترل می کنیم.

(کنترل بند ۱)

$$x^3 + a_1 x^2 + a_2 x + a_3 = 0 \quad f = 40 \text{ cm}, B = D = 90 \text{ cm}, e = 47 \text{ cm}$$

$$a_1 = 3 \left(e - \frac{B}{2} \right) = 6, a_2 = \frac{6nA_s}{D} (f + e) = 2360 \text{ cm}, a_3 = -a_2 \left(\frac{B}{2} + f \right) = -200600$$

$$x = \begin{cases} 43 \\ -24 \\ -24 \end{cases} \Rightarrow f_p = \frac{2P(e+f)}{xD \left(\frac{B}{2} + f - \frac{x}{3} \right)} = 125 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 138 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ مناسب}, T = P \frac{e + \frac{x}{3} - \frac{B}{2}}{\frac{B}{2} + f - \frac{x}{3}} = 61 T < 136 T \text{ مناسب}$$

طول میل مهار در بتن:

طول گیرایی یک میلگرد در کشش، l_d ، باید حداقل برابر با مقدار حاصل از رابطه زیر در نظر گرفته شود، در هر حال نباید کمتر از ۳۰۰ میلیمتر اختیار نشود^۱.

$$l_d = \left[\frac{0.86 f_{yd}}{\sqrt{f_{cd}}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c + k_{tr}}{d_b} \right)} \right] d_b = \left[\frac{0.86 \times 0.85 \times 400}{\sqrt{0.65 \times 25}} \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{1.5} \right] 32 = 1547 \text{ mm}$$

با توجه به طول ۱/۵ متی مورد نیاز برای مهار میل مهار نیاز به قلا می باشد.

طول گیرایی یک میلگرد فلاپدار در کشش l_{dh} باید حداقل برابر مقدار رابطه زیر در نظر گرفته شود. مقدار l_{dh} در هیچ حالت نباید از $8d_b$ و یا ۱۵۰ میلیمتر اختیار گردد^۲.

$$l_{dh} = \left[0.24 k_1 k_2 \beta \lambda \frac{0.85 f_y}{\sqrt{0.65 f_c}} \right] d_b = \left[0.24 \times 0.7 \times 1 \times 1 \times \frac{0.85 \times 400}{0.65 \times 25} \right] \times 32 = 450 \text{ mm}$$

طول مستقیم مهار میلگرد ۳۲ برابر با ۴۵۰ میلیمتر بدست آمده است. حداقل قطر خم بر اساس جدول ۹-۲۱-۱ بند ۹-۲۱-۳-۲ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برابر با $8d_b$ ، ۲۶۰ میلیمتر می باشد. هم چنین طول مستقیم میلگرد بعد از خم برابر $12d_b$ ، ۳۸۰ میلیمتر می باشد.

^۱ بند ۹-۲۱-۲-۴-۱ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان.

^۲ بند ۹-۲۱-۲-۷-۱ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان.

۴-۲-۴- کنترل مقاومت میل مهار برای برش قسمت سوم بند ۱۰-۳-۵-۳

با توجه به استفاده از ۵ میلگرد ۳۲ در هر طرف برای تحمل لنگر و نیروی محوری ستون در مجموع ۱۶ میلگرد ۳۲ در کف ستون استفاده می شود. بنابراین همین تعداد میلگرد باید در برابر برش مقاومت کنند.

$$V_u = \phi F_{nv} A_{nb} \Rightarrow F_{nv} = \phi F_u = 0.75 \times 6000 = 4500 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{nb} = \frac{V_u}{\phi F_{nv}} = \frac{44 \times 10^3}{0.75 \times 4500} = 13.03 \text{ cm}^2 < 16\phi 32 \text{ مناسب است}$$

۴-۲-۵- تعیین ضخامت ورق کف ستون

تعیین ضخامت کف ستون با توجه به تنش زیر آن در تماس با بتن فونداسیون بدست می آید. بیشترین تنش زیر کف ستون مربوط به کنترل قسمت ۱ بند ۱۰-۳-۵-۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان می باشد. توزیع تنش زیر کف ستون مثلی است. تحت اثر این تنش کف ستون مایل به خم شدن حول محور گذرنده از بال و جان ستون مستقر بر کف ستون دارد. بنابراین مقاومت خمشی مورد نیاز با مقاومت طراحی خمشی در این محور مقایسه می شود.

روش های دیگری هم برای تعیین ضخامت ورق کف ستون بر اساس تنش زیر کف ستون موجود است که روش مشروح ساده ترین آن می باشد.

عموما ضخامت کف ستون به تنهایی جواب گو نیست بنابراین از سخت کننده هایی عمود بر کف ستون و متصل به بال و جان ستون جهت بهبود عملکرد خمشی کف ستون تحت اثر فشار زیر کف ستون استفاده می شود.

$$f_{p,max} = 125 \text{ kg/cm}^2, x = 43 \text{ cm}, M_u = \frac{1}{2} \times 125 \times 90 \times 43 \times \left(22.5 - \frac{43}{3}\right) = 19.7 \text{ T.M}$$

ضخامت سخت کننده ها را برابر ۱۰ میلیمتر و ارتفاع آنها را برابر ۲۵۰ میلیمتر در نظر می گیریم. برای سهولت محاسبات ضخامت ۲۰ میلیمتر را برای کف ستون فرض می کنیم و این ضخامت را در محاسبات کنترل می کنیم.

$$90 \times x_p = 90 \times (2 - x_p) + 30 \times 1 \times 2 \Rightarrow x_p = 1.33 \text{ cm}, \text{ تار خنثی پلاستیک}$$

$$Z = 30 \times 1 \times 15.67 \times 2 + 90 \times 0.67 \times \frac{0.67}{2} + 90 \times 1.33 \times \frac{1.33}{2} = 1040 \text{ cm}^3$$

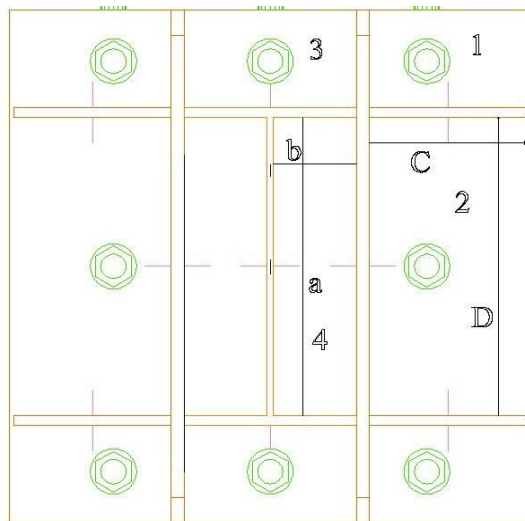
$$\phi_b M_n = \phi_b Z f_y = 0.9 \times 1040 \times 2400 = 22.9 \text{ T.M} > M_u \text{ o.k}$$

مناسب است.

۴-۲-۵-۱- کنترل خمش ورق در چشمه های بین سخت کننده ها

کفایت ضخامت ورق کف ستون باید برای خمش ناشی از تنش زیر کف ستون باید کنترل شود. خمش ایجاد شده در ورق کف ستون بر اساس تئوری ورق ها در چشمه های مختلف ورق کف ستون بدست می آید. با توجه به گیر داری که ورق

سخت کننده در کف ستون ایجاد می کند شرایط متفاوتی برای خمش در ورق ایجاد می شود. که می توان با استفاده از ظرایبی از بار وارده لنگر خمشی داخلی ایجاد شده در ورق را تعیین کرد.



کنترل ضخامت ورق در چشمه ۲:

$$c = 22.5 \text{ cm}, d = 40 \text{ cm} \Rightarrow \frac{c}{d} = 0.56 \Rightarrow \alpha_2 = 0.067 \rightarrow M_u = \alpha_2 f_p c^2 = 0.04 T.M < \phi_b M_n$$

توزیع تنش زیر کف ستون یکنواخت نیست ولی در رابطه فوق مقدار حداکثر f_p که ۱۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشد استفاده شده است. ضخامت ورق کف ستون در چشمه ۲ مناسب است.

چشمه ۱ به دلیل اتکا به دو تکیه گاه (سخت کننده) عملکردی یک طرفه دارد که در بخش قبل عملکرد یک طرفه کنترل شده است. چشمه ۳ دارای ابعادی کوچکتر از چشمه ۲ می باشد.

کنترل ضخامت ورق در چشمه ۴:

$$a = 40 \text{ cm}, b = 40 \text{ cm} \Rightarrow \frac{a}{b} = 1 \Rightarrow \alpha_1 = 0.048 \rightarrow M_u = \alpha_1 f_p b^2 = 0.096 T.M < \phi_b M_n$$

در چشمه ۴ نیز توزیع تنش مثلثی است. در رابطه بالا مقدار حداکثر f_p که ۱۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشد استفاده شده است. ضخامت ورق کف ستون در چشمه ۴ مناسب است.

۴-۲-۶- جوش در اتصال ورق کف ستون

طراحی جوش ها به گونه ای صورت میگیرد که انتقال بار ها را به فونداسیون میسر سازد. محل اتصال ستون به ورق کف ستون که باید بار های محوری فشاری و کششی، همچنین لنگر ها را به صفحه ستون منتقل کند. پس از پخ زدن با جوش شیاری با نفوذ کامل پر می شود. ورق سخت کننده قائم در انتقال بار محوری و لنگر خمشی ستون به کف ستون مشارکت دارند. در نتیجه اتصال این اعضا به ستون نیز با جوش شیاری با نفوذ کامل خواهد بود. اما به منظور شرکت دادن ورق های

سخت کننده در باربری خمشی کف ستون باید اتصال ورق کف ستون با ورق تقویتی بتواند برش ناشی از خمش را تحمل کند. دو خط جوش گوشه در دو ر ف ورق تقویتی این امکان را فراهم می کند^۱.

$$x_c = \frac{30 \times 1 \times 2 \times 17 + 90 \times 2 \times 1}{30 \times 1 \times 2 + 90 \times 2} = 5 \text{ cm}$$

$$I = 2 \times \left[\frac{30^3 \times 1}{12} + 30(12^2) \right] + \frac{90 \times 2^3}{12} + 90 \times 2 \times 4^2 = 16080 \text{ cm}^4$$

$$V = f_p B \frac{x}{2} = 125 \times 90 \times \frac{43}{2} = 241 \text{ T}$$

$$q_a = \frac{VQ}{I} = \frac{241 \times 10^3}{1 \times 16080} = 15 \text{ kg/cm} \Rightarrow \frac{\phi R_n}{l} = \beta F_{nv} \frac{\sqrt{2}}{2} a_w, \beta = 0.75, F_{nv} = 0.6 F_{ue} = 2520 \text{ kg/cm}^2$$

$$15 = 0.75 \times 2520 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times a_w \Rightarrow a_w = 0.11 \text{ cm or } 1.1 \text{ mm}$$

حداقل بعد جوش گوشه بر اساس جدول ۱۰-۲-۹-۲ برابر است با ۵ میلیمتر می باشد. بنابراین از جوش گوشه دو طرفه با بعد $a_w = 5$ استفاده می شود.

^۱ جلد ششم طراحی سازه های فولادی، دکتر مجتبی ازهری