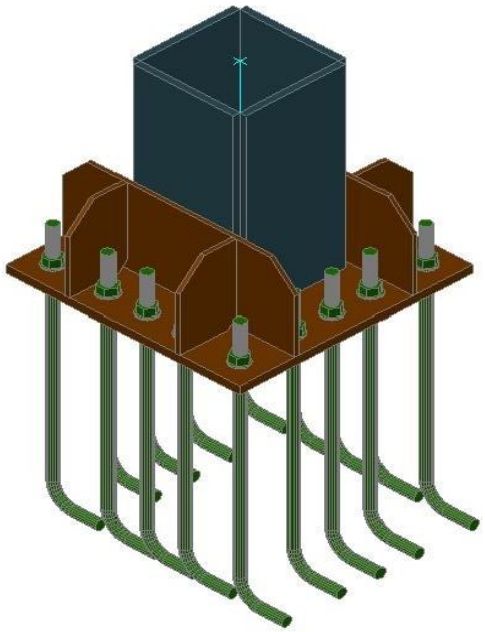
فصل چهارم : طراحی کف ستون

٤- ١- 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 اسن 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.

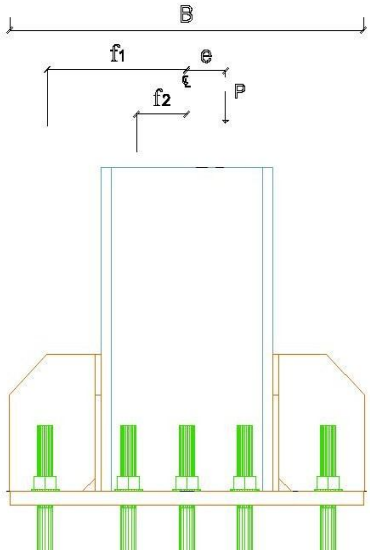
١. برون محوری صفر $e = \frac{M}{P}$
٢. برون محوری کم $e = \frac{M}{P} \leq {B}/{6}$
٣. برون محوری بزرگ $e = \frac{M}{P} \leq {B}/{6}$



٤- ٢- نمونه محاسبات کف ستون

در این ساختمان کف ستون ها در ۴ تیپ طراحی شده است. که بعنوان نمونه نحوه محاسبات تیپ BP_1 در ادامه گزارش آمده است. اتصال ستون Box 30X2

باز نشر با ذکر منبع مجاز می باشد. Strain.blog.ir



٤- ۲- ۱ - مشخصات اولیه مواد

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

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

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

٤- ۲- ۲- نیرو های طراحی کف ستون

کلیه کف ستون ها ی 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 لنگرهای 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 پلاستیک ستون در دو سمت وصله در امتداد مورد نظر و H_s ارتفاع طبقه می باشد. در محاسبه و طراحی کف ستون این نیرو ی برشی باید بدون حضور نیرو های محوری و لنگر های خمشی در نظر گرفته شود[۲].

[۱] بند ۱۰- ۳- ۵- ۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان
[۲] بند ۱۰- ۳- ۵- ۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

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

i. برای مهاربندی های امتداد مورد نظر مقاومت خمشی مورد نیاز اتصال مهاربند.

ii. برای ستون ها کمترین دو مقدار $1.1R_yF_yZ_c$ و بیشترین لنگر خمشی (بدون حضور نیرو های 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

$$P_u = 200\ T, \quad V_u = 0\ T, \quad M_u = 37\ T.M \quad e = \frac{M}{P} = 18.5\ cm$$

٤- ٢- ٣- تعیین ابعاد کف ستون

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

1.41Deas + Li

$$P_u = 224\ T$$

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

$$A_1 = 1621\ cm^2 \Rightarrow use\ B = D = 70\ cm\ A_1 = 8100\ \ cm^2$$

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

$$V_u = \frac{\sum M_{pc}}{H_s} = \frac{2400 \times 2820}{300} = 22.5\ T$$

٤- ٢- ٣- تعین سطح مقطع میل مهار کف ستون

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

$$Min\left(1.1R_yF_yZ_c, \text{لنگر خمشی تحت اثر ترکیبات بار زلزله تشدید یافته}\right) = Min(85.6,122) = 85.6\ T.M$$

$$M_u = T_1\left(f_1 + \frac{B}{2} - \frac{x}{3}\right) + T_2\left(f_2 + \frac{B}{2} - \frac{x}{3}\right), f_1 = 29\ cm\ , f_2 = 15\ cm$$

رابطه فوق دارای ۳ مجهول است که باید با سعی و خطا بدست آید. در واقع این رابطه جواب های متعددی دارد که باید بهترین را انتخاب کرد. با توجه به مسائل اجرایی بهترین روش برای حل معادله فوق این است که با فرض تعداد و قطر میل مهار، x (طولی از بس پلیت که تحت فشار است) را بدست آورد. و با توجه به آن تنش زیر بیس پلیت را بدست آورد و با مقدار مجاز مقایسه کرد.

اگر از ۵ میل مهار با قطر سه سانتی متر در ردیف ۱ و دو میلگرد در ردیف ۲ (در واقع ۵ میلگرد در هر طرف بیس پلیت) استفاده شود داریم:

$$M_u = \emptyset^2 A_{nb} F_{nt}\left(f_1 + \frac{B}{2} - \frac{x}{3}\right) + \emptyset^2 A_{nb} F_{nt}\left(f_2 + \frac{B}{2} - \frac{x}{3}\right)$$

$$85.6 \times 10^5 = 0.75^2 \times 35.34 \times 6000\left(29 + 35 - \frac{x}{3}\right) + 0.75^2 \times 14.34 \times 6000(15 + 35 - \frac{x}{3})$$

$$(T_1 + T_2) = 166\ T$$

$$\text{با } x = 27\ cm \rightarrow (T_1 + T_2) = \frac{x}{3} B f_p \rightarrow f_p = 263\ \frac{kg}{cm^2} \rightarrow P_p = 0.65 \times 0.85 \times f_c' \times A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} < 1.7 f_c' \times A_1$$

$$\text{عمق پی} = 80\ cm \ldots\ \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{(70 + 2 \times 160)^2}{70^2}} = 5.57$$

در نتیجه برای P_p داریم :

$$P_p = \min(\ 0.65 \times 0.85 \times f_c' \times A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}, 1.7 f_c' \times A_1) = 425\ \frac{kg}{cm^2}\ , \qquad f_p < 425\ o.k$$

۵ مهار با قطر ۳ سانتی متر در هر طرف بیس پلیت با ابعاد ۷۰ در ۷۰ جواب گوی لنگر بند ۴خواهد بود.

کنترل بند ۱)

$$x^3 + a_1 x^2 + a_2$$

$$a_1 = 3\left(\mathrm{e} - \frac{\mathrm{B}}{2}\right) = -49.5\ , a_2 = \frac{6 n A_s}{D}(f + e) = 1438\ , \qquad a_3 = -a_2\left(\frac{\mathrm{B}}{2} + f\right) = -92089.6$$

$$x = \begin{cases} 54 \\ -2.38 \\ -2.38 \end{cases} \quad x = 54 \Rightarrow f_p = \frac{2P(e+f)}{xD\left(\frac{B}{2} + f - \frac{x}{3}\right)} = 109\ \frac{kg}{cm^2} < 425 \frac{kg}{cm^2}\ \text{مناسب}, T = P\frac{e + \frac{x}{3} - \frac{B}{2}}{\frac{B}{2} + f - \frac{x}{3}} = 6.5\ T < 166\ T\ \text{مناسب}$$

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[۳].

[۳] بند ۹- ۲۱- ۲- ۴- ۱ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان.

$$l_{\mathrm{d}} = \left[\frac{0.86 f_{yd}}{\sqrt{f_{cd}}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{(\frac{c + k_{tr}}{d_b})}\right] d_b = \left[\frac{0.86 \times 0.85 \times 400}{\sqrt{0.65 \times 25}} \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{1.5}\right] 30 = 1450\ mm$$

با توجه به طول ۱/۴۵ متری مورد نیاز برای مهار میل مهار نیاز به قلاب می باشد.

طول گیرایی یک میلگرد قلابدار 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[۴].

$$l_{dh} = \left[0.24 k_1 k_2 \beta\lambda \frac{0.85 f_y}{\sqrt{0.65 f_c}}\right] d_b = \left[0.24 \times 0.7 \times 1 \times 1 \times \frac{0.85 \times 400}{\sqrt{0.65 \times 25}}\right] \times 30 = 425\ mm$$

طول مستقیم مهار میلگر ۳۰ برابر با ۴۲۵ میلیمتر بدست آمده است. حداقل قطر خم بر اساس جدول ۹- ۲۱- ۱ بند ۹- ۲۱- ۲- ۳- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برابر با $8d_b$، ۲۴۰ میلیمتر می باشد. هم چنین طول مستقیم میلگرد بعد از خم برابر $12d_b$، ۳۶۰ میلیمتر می باشد.

٤- ۲- ٤- 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.

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

$$A_{nb} = \frac{V_u}{\phi F_{nv}} = \frac{22.5 \times 10^3}{0.75 \times 4500} = 6.6\ cm^2 < 18\phi 30$$ مناسب است

٤- 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 مثلثی 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.

[۴] بند ۹- ۲۱- ۲- ۷- ۱ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

$$f_{p,max} = 225\ {}^{kg}/_{cm^2}\ ,x = 32\ cm\ , M_u = \frac{1}{2} \times 225 \times 70 \times 30 \times \left(20 - \frac{32}{3}\right) = 27\ T.M$$

ضخامت سخت کننده ها را برابر ۱۵ میلیمتر و ارتفاع آنها را برابر ۳۰۰ 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.

تار خنثی پلاستیک $70 \times x_p = 70 \times (2 - x_p) + 30 \times 1.5 \times 2 \ \Rightarrow x_p = 1.64\ \ cm$,

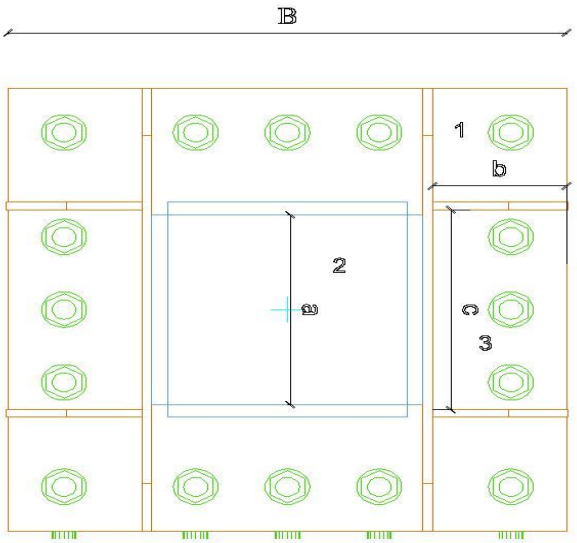
مدول مقطع پلاستیک $Z = 30 \times 1.5 \times 15.36 \times 2 + 70 \times 0.82 \times \frac{0.82}{2} + 70 \times 1.64 \times \frac{1.64}{2} = 1500\ cm^3$

مقاومت خمشی طراحی $\phi_b M_n = \phi_b Z f_y = 0.9 \times 1500 \times 2400 = 32.4\ \ T.M > M_u\ o.k$

مناسب است.

٤- ٢- ٥- ١- 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:

$$a = 30\ cm\ \Rightarrow \frac{a}{b} = 1\ \Rightarrow \alpha_2 = 0.048\ \longrightarrow\ M_u = \alpha_2 f_p b^2 = 0.1\ T.M < \phi_b M_n$$

توزیع تنش زیر کف ستون یکنواخت نیست ولی در رابطه فوق مقدار حداکثر f_p که ۲۶۳ 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.

کنترل ضخامت ورق در چشمه ۳ :

$$c = 30\ cm\ , b = 20\ cm\ \Rightarrow \frac{c}{b} = 1.5\ \Rightarrow \alpha_1 = 0.127\ \longrightarrow\ M_u = \alpha_1 f_p c^2 = 0.3\ T.M < \phi_b M_n$$

در چشمه ۴ نیز توزیع تنش مثلثی است. در رابطه بالا مقدار حداکثر f_p که ۲۶۳ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشد استفاده شده است. ضخامت ورق کف ستون در چشمه ۴ مناسب است.

٤- ٢- ٦- 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 شر کت 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 طرف ورق تقویتی این امکان را فراهم می کند[۵].

$$x_c = \frac{30 \times 1.5 \times 2 \times 17 + 70 \times 2 \times 1}{30 \times 1 \times 2 + 70 \times 2} = 8.35\ cm$$

$$I = 2 \times \left[\frac{30^3 \times 1.5}{12} + 30 \times 1.5(8.6^2)\right] + \frac{70 \times 2^3}{12} + 70 \times 2 \times 7.3^2 = 20913\ cm^4$$

$$V = f_p B \frac{x}{2} = 263 \times 70 \times \frac{27}{2} = 165\ T$$

$$q_a = \frac{VQ}{I} = \frac{165 \times 10^3}{1 \times 20913} = 7.8\ {}^{kg}/_{cm}\ \Rightarrow \frac{\phi R_n}{l} = \beta F_{nv} \frac{\sqrt{2}}{2}\ a_w, \beta = 0.75, F_{nv} = 0.6 F_{ue} = 2520\ {}^{kg}/_{cm^2}$$

$$15 = 0.75 \times 2520 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times\ a_w \Rightarrow a_w = 0.05\ cm\ or\ 1.1\ mm$$

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.

[۵] جلد ششم طراحی سازه های فولادی، دکتر مجتبی ازهری