



طراحی کف ستون ها

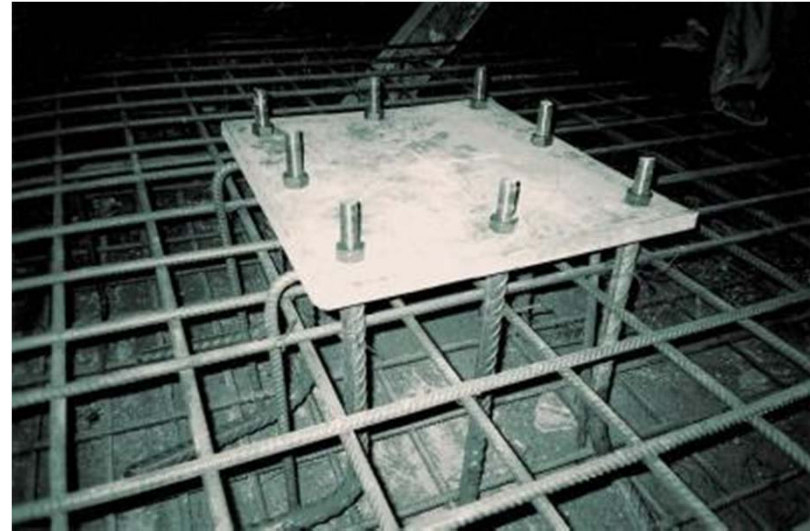
دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان

مدرس: حسین پروینی ثانی

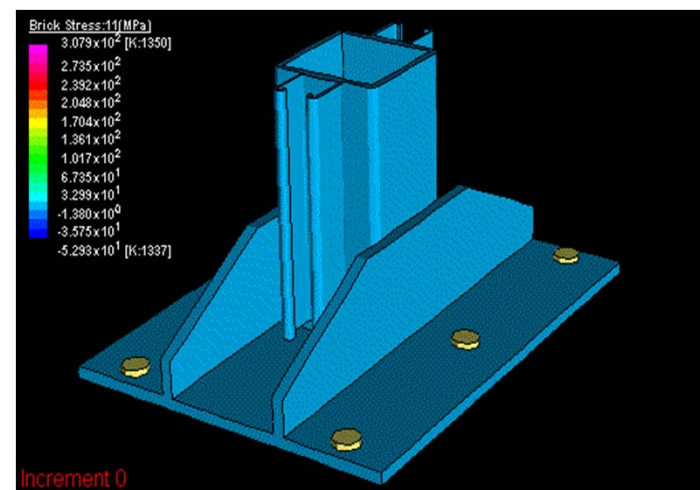
(hosseinp@aut.ac.ir)



نمونه ای از جزئیات ورق پای ستون



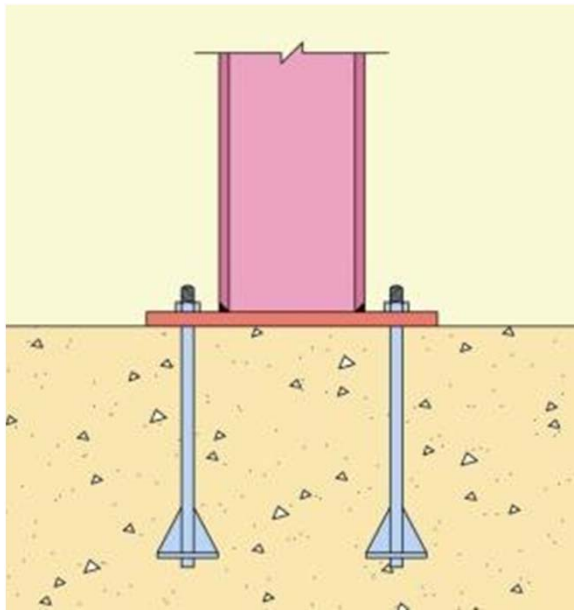
نمونه ای از جزئیات ورق پای ستون



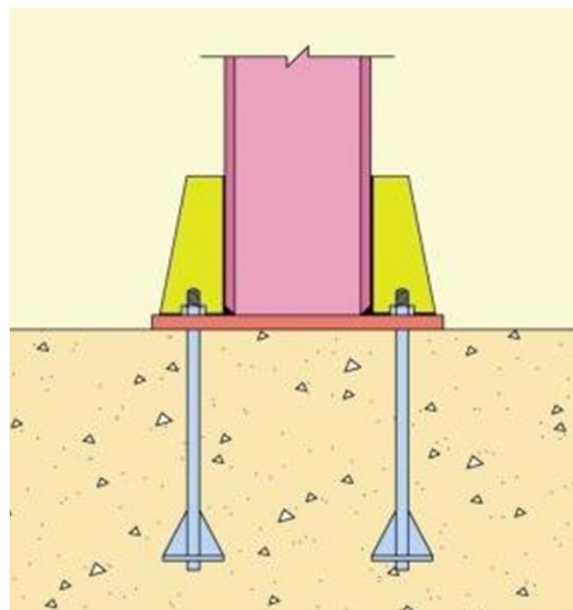
نمونه ای از جزئیات ورق پای ستون گیردار



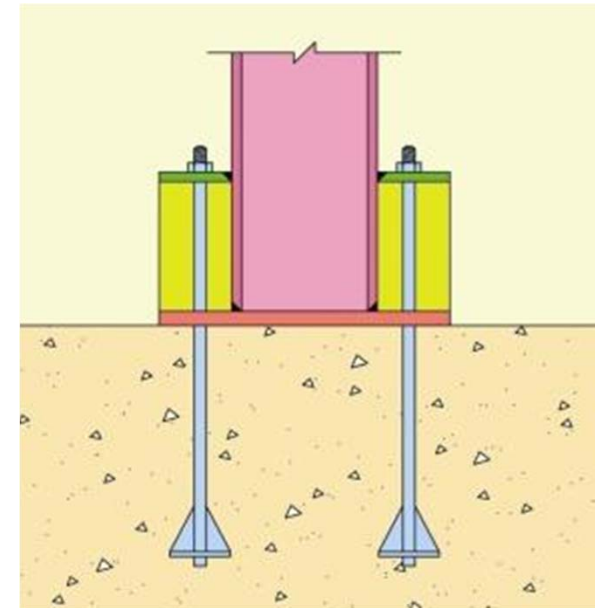
جزئیات عمومی صفحات پای ستون



کف ستونهای تقویت نشده

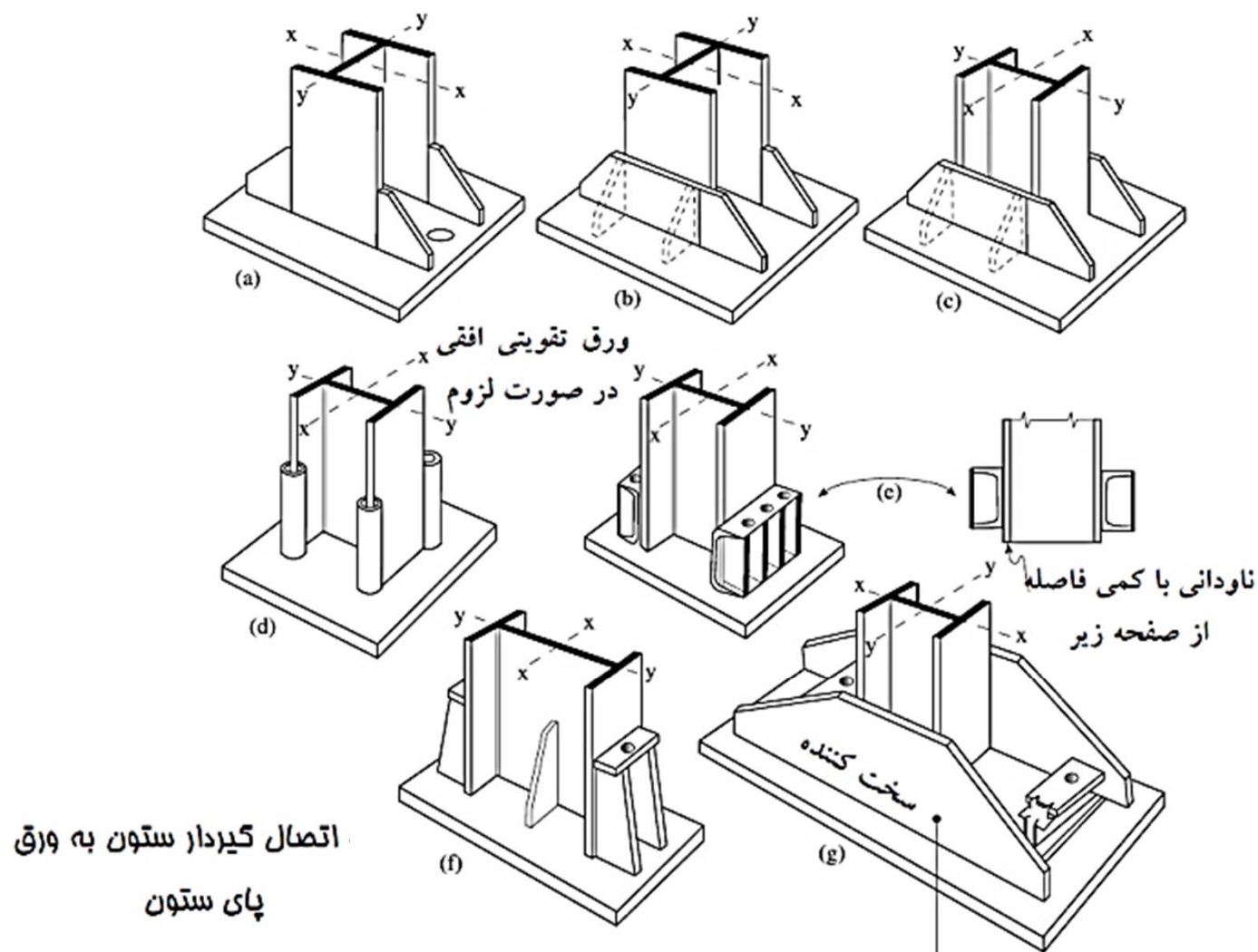


کف ستونهای تقویت شده با
سخت کننده های قائم



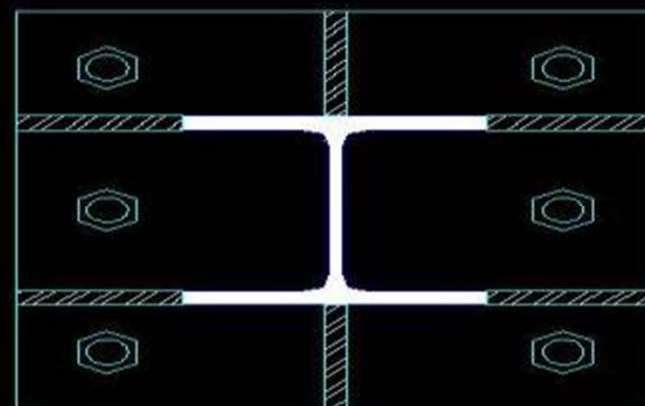
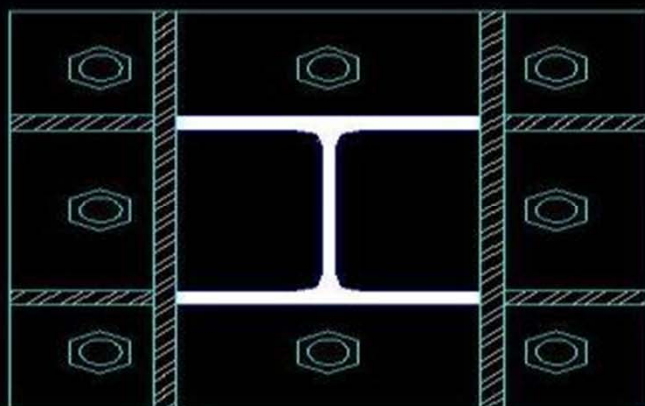
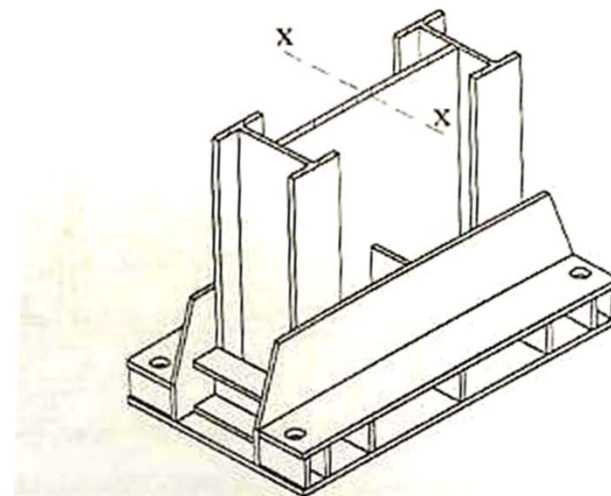
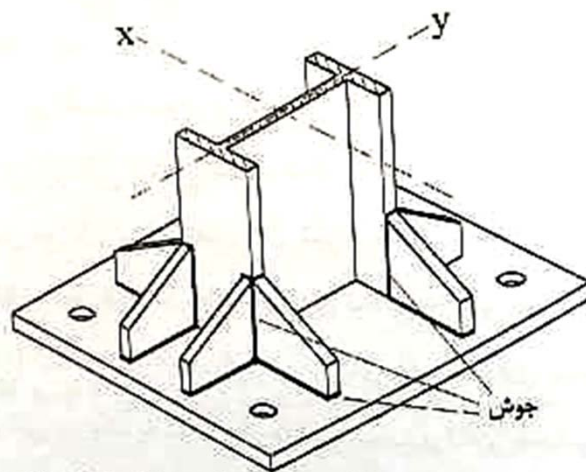
کف ستونهای تقویت شده با
سخت کننده های قائم و
بکارگیری ورق فوقانی

نمونه ای از جزئیات ورق پای ستون گیردار

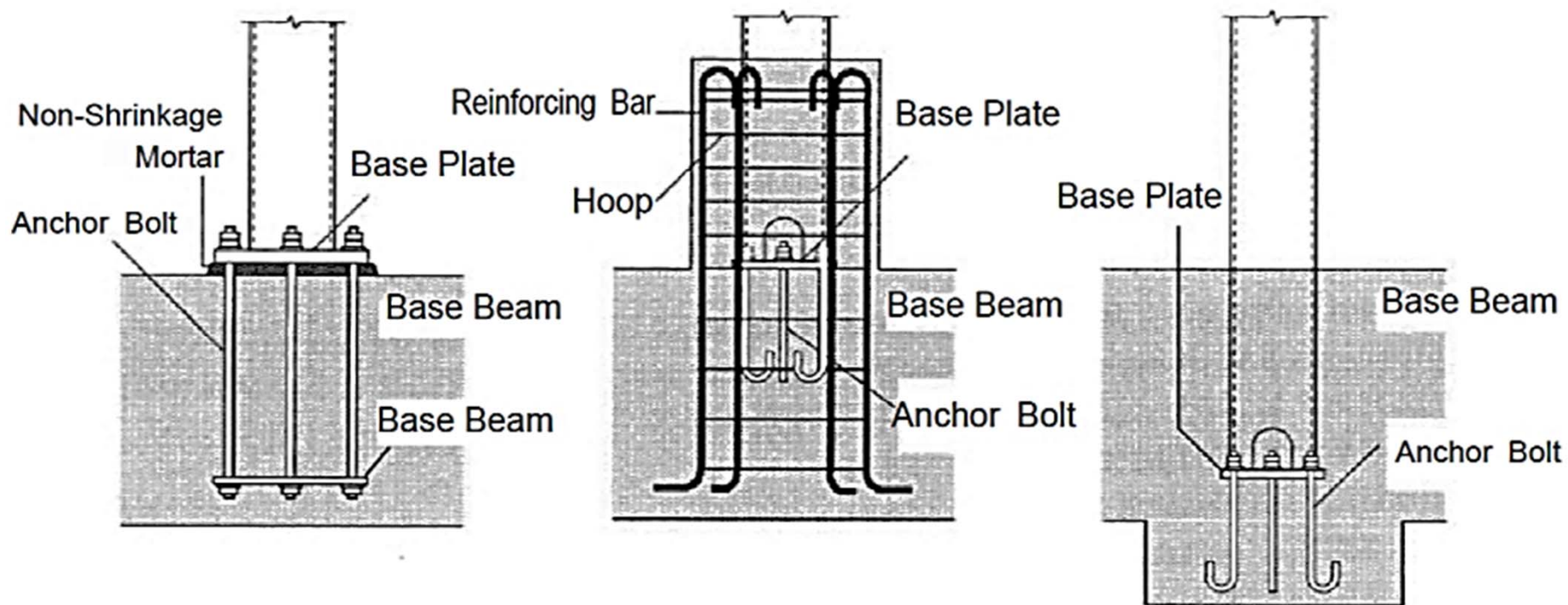


نمونه هایی از اتصال ستون به ورق پای ستون

طراحی کف ستون با استفاده از سخت کننده



جزئیات پای ستون گیردار معمول در ژاپن



a) Base Plate Connection

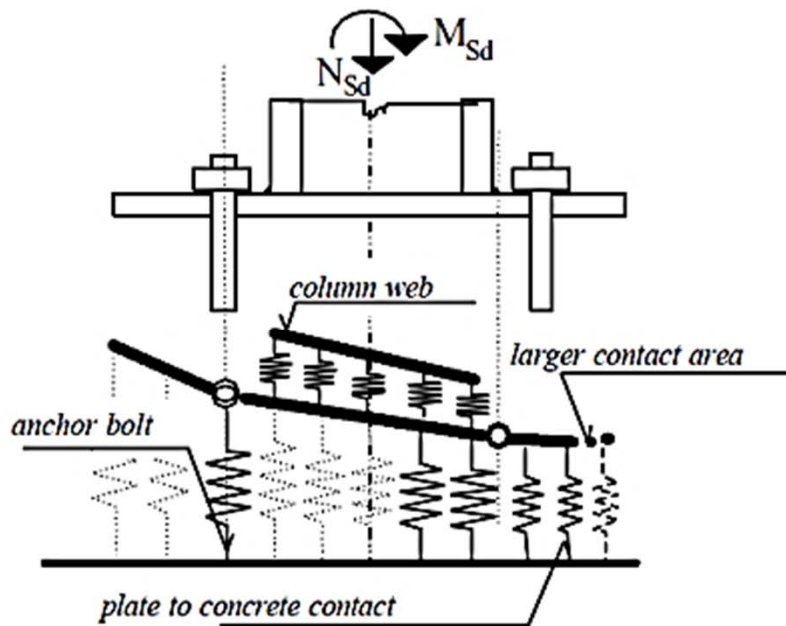
b) Encased Base Plate Connection

c) Embedded Column Connection

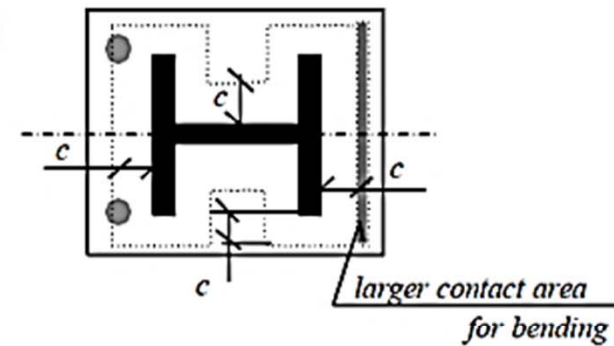
نمونه ای از جزئیات ورق پای ستون مفصلی



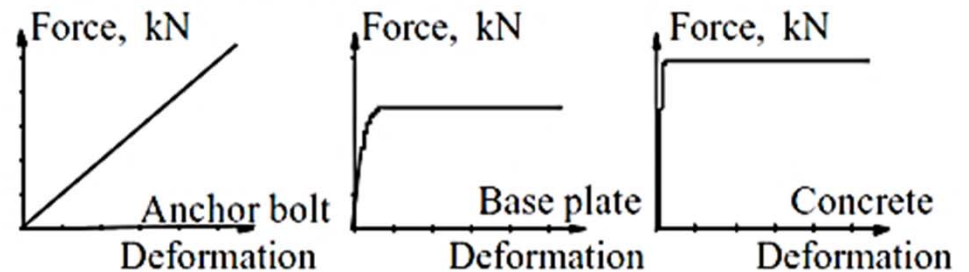
مدل مکانیکی ورق پای ستون



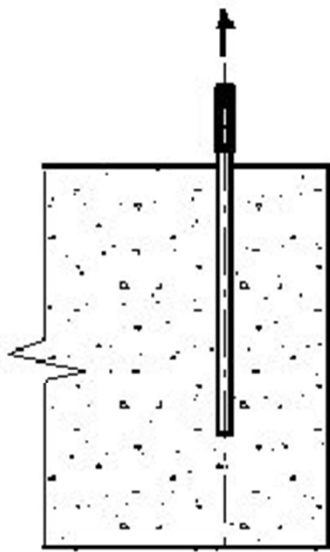
effective area



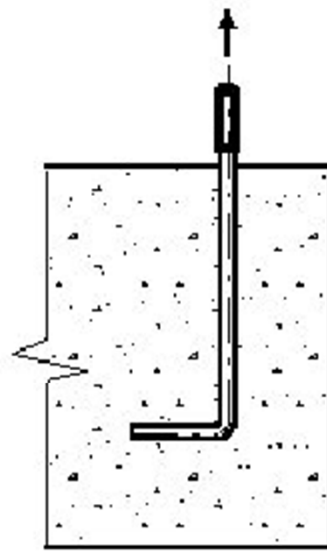
non-linear component behaviour



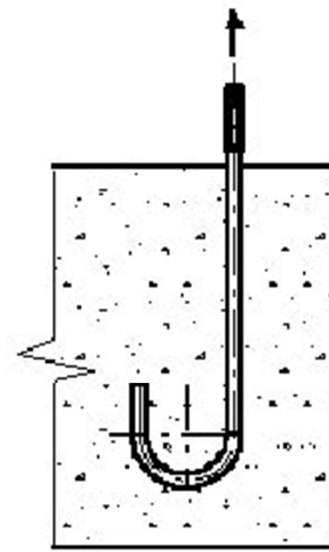
میل مهار (انکر بولت) صفحه ستون



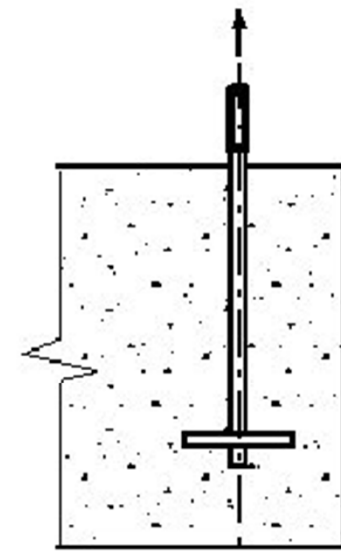
(a)



(b)

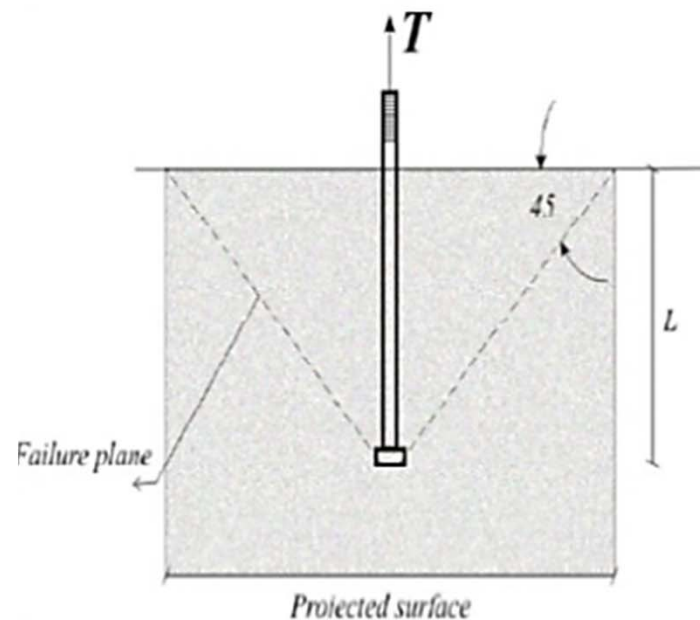


(c)



(d)

مخروط گسیختگی و حداقل مشخصات هندسی انکر بولت ها



مصالح بولت	حداقل طول مدفون شدگی	فاصله از لبه پی
A307, A36	$12 d$	$5 d > 4 \text{ in.}$
A325, A449	$17 d$	$7 d > 4 \text{ in.}$

کلید برشی

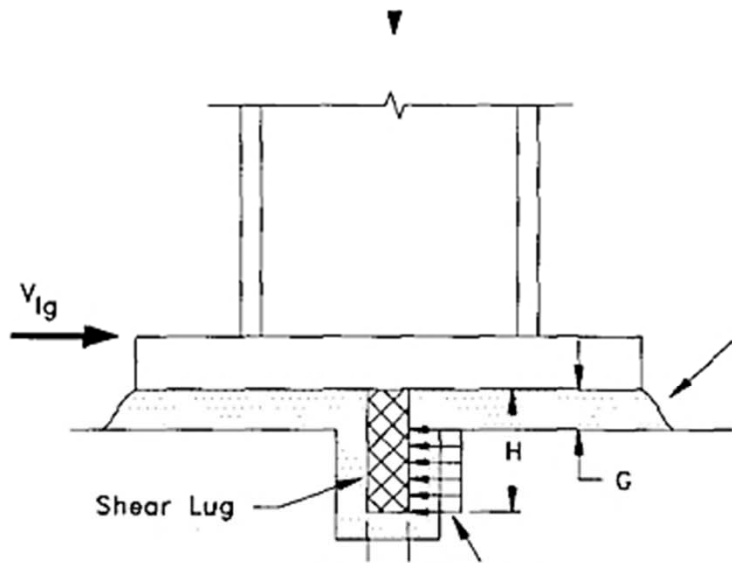


Fig. 20. Shear Lug

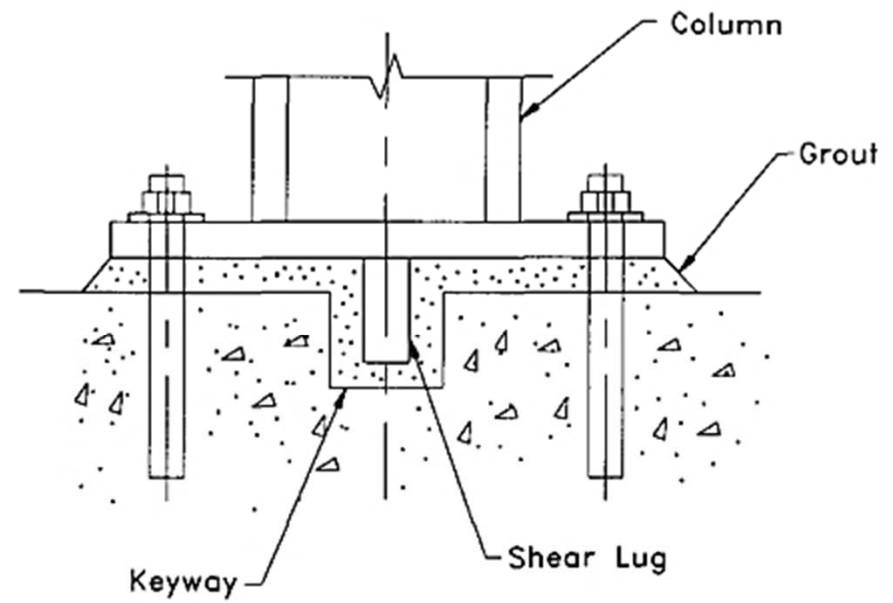
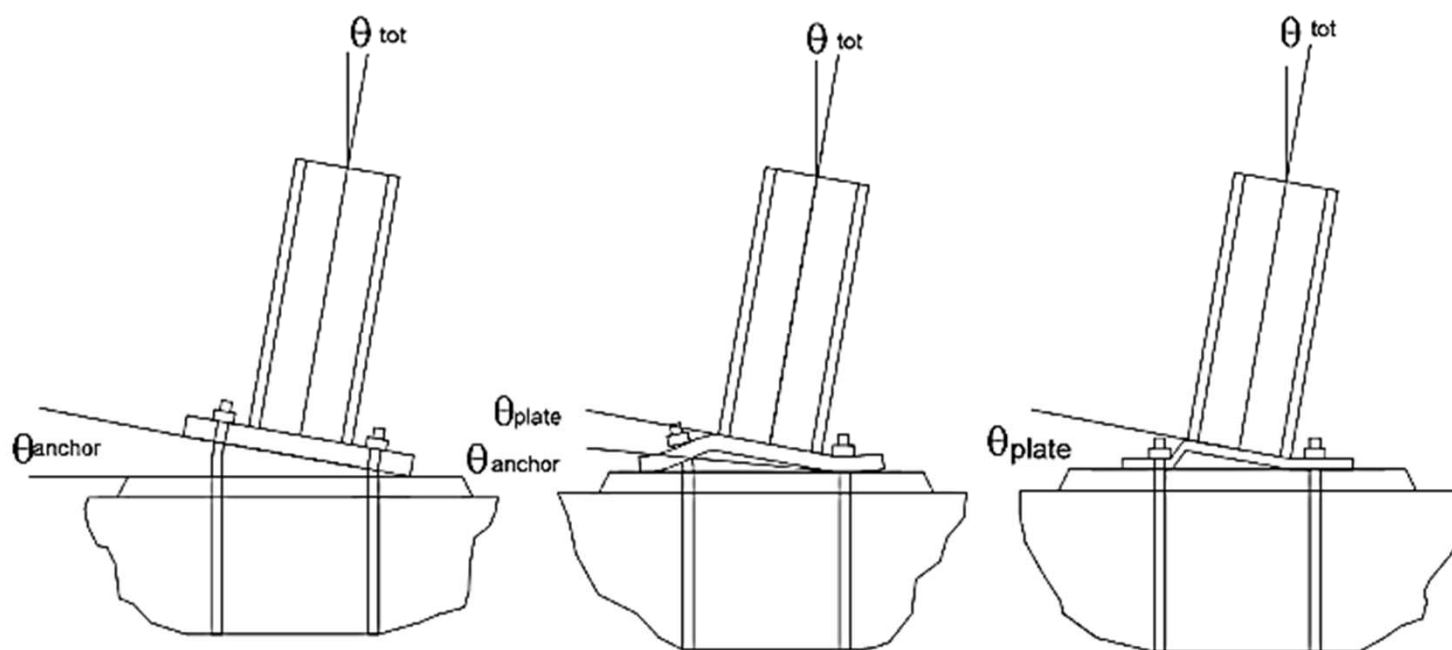


Figure 9

طبقه بندی اتصالات کف ستون آستانه اصل



الزامات طراحی لرزه ای کف ستون ها

کف ستون کلیه ستون های باربر و غیر باربر جانبی و اتصالات آنها به ستون و شالوده علاوه بر تأمین ضوابط فصل ۱۰-۲ این مبحث باید به طور مجزا قادر به تحمل نیروهای زیر باشند.

(۱) بیشترین نیروهای داخلی (شامل نیروی محوری، نیروهای برشی و لنگرهای خمشی به طور همزمان) تحت اثر ترکیبات بار متعارف.

(۲) بیشترین نیروی محوری (بدون حضور نیروهای برشی و لنگرهای خمشی) تحت اثر ترکیبات بار زلزله تشدید یافته و با در نظر گرفتن مفاد تبصره های ۱ و ۲ از بند ۱۰-۳-۵-۱-۱.

(۳) در هر دو امتداد محورهای اصلی ستون و به طور مجزا نیروی برشی برابر مجموع مولفه های

افقی مقاومت های مورد نیاز اتصال مهاربندی و برش ظرفیتی ستون برابر $\frac{\Sigma M_{pc}}{H_s}$ که در آن ΣM_{pc}

مجموع لنگرهای خمشی پلاستیک ستون در دو سمت وصله در امتداد مورد نظر و H_s ارتفاع

طبقه است. در محاسبه و طراحی کف ستون این نیروی برشی باید بدون حضور نیروهای

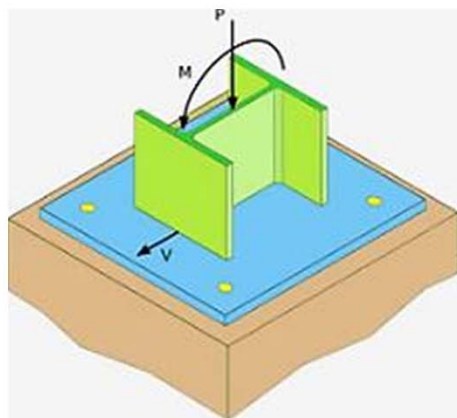
محوری و لنگرهای خمشی در نظر گرفته شود.

نیروهای وارد بر صفحات پای ستون

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

(الف) برای مهاربندی‌های امتداد مورد نظر مقاومت خمشی مورد نیاز اتصال مهاربند.

(ب) برای ستون‌ها کمترین دو مقدار $1/1 R_y F_y Z_c$ و بیشترین لنگر خمشی (بدون حضور نیروهای محوری و برشی) تحت اثر ترکیبات بار زلزله تشدید یافته و با در نظر گرفتن مفاد تبصره ۲ از بند ۱۰-۳-۵-۱-۱؛ که در آن R_y نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح ستون، F_y تنش تسلیم مصالح ستون و Z_c مدول پلاستیک مقطع ستون است.



مقاومت اتکایی (Bearing Strength)

مقاومت اتکایی طراحی بر روی بتن فونداسیون برابر است با:

$$P_u = \phi P_P$$

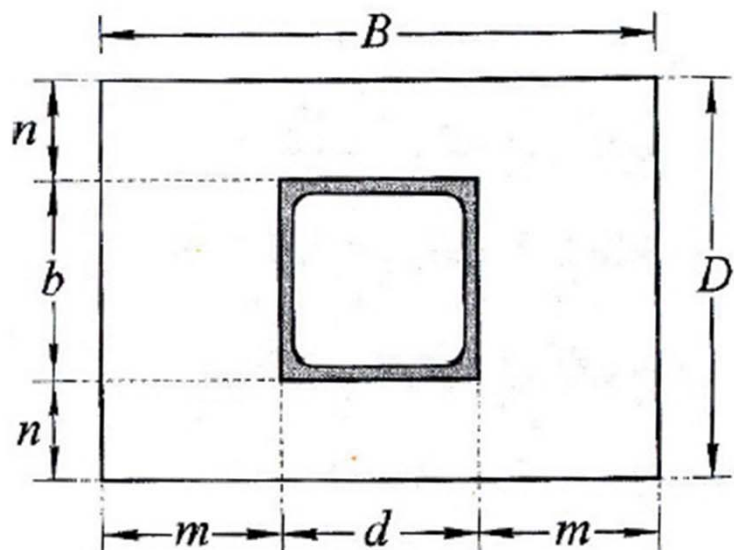
$$\phi = 0.65$$

$$P_P = 0.85 f'_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7 f'_c A_1$$

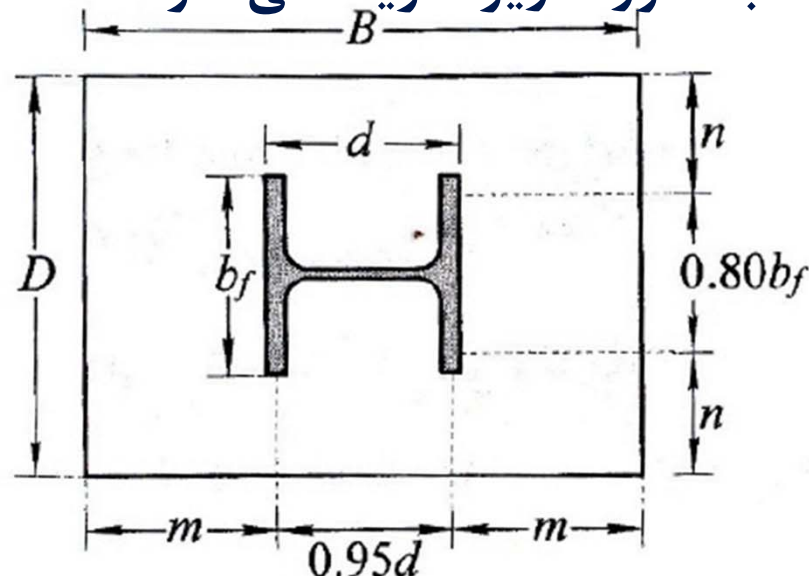
f'_c : مقاومت مشخصه فشاری بتن (نمونه استوانه ای)

طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت (لنگر خمشی برابر با صفر) و بدون سخت کننده

m و n به صورت زیر تعریف می شود:



ب) ستون قوطی شکل



الف) ستون I شکل

$$m = \frac{B - 0.95d}{2} \text{ و } n = \frac{D - 0.8b_f}{2}$$

برای ستون با مقطع H شکل

$$m = \frac{B - d}{2} \text{ و } n = \frac{D - b}{2}$$

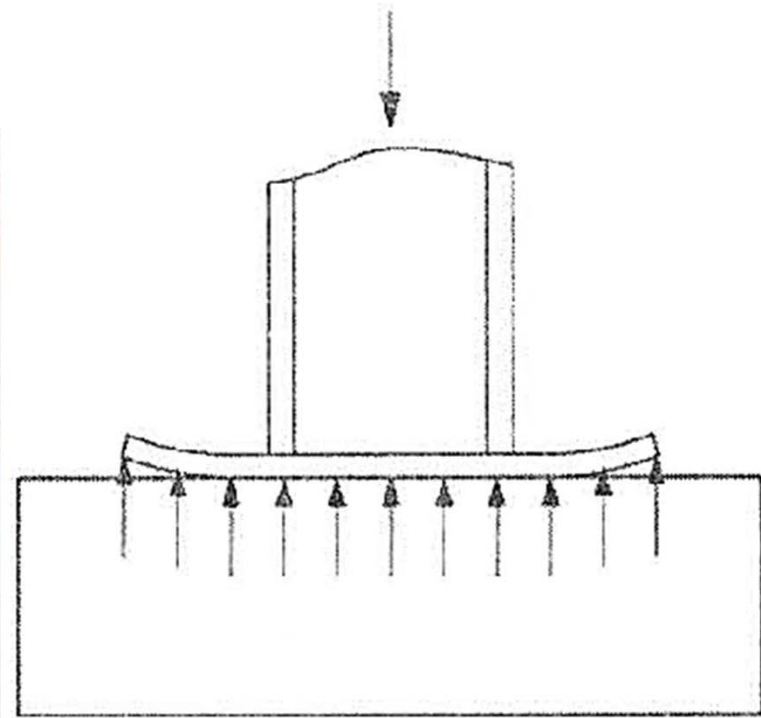
برای ستون با مقطع قوطی

طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت و بدون سخت کننده ورق تحت بار فشاری و برشی

$$A_p = \frac{P_u}{\phi_c (0.85 f'_c)}$$

$$\phi_c = 0.65$$

محاسبه مساحت ورق:



طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت و بدون سخت کننده

ضخامت نهایی ورق بر اساس خمش طره ای:

$$m' = \max(m, n)$$

$$t_p = m' \sqrt{\frac{2P_u}{\phi_m A_p F_y}}$$

✓ بهتر است $m=n$ برقرار شود.

$$\phi_m = 0.9$$

ضخامت ورق بر اساس نیروی برشی:

$$m' = \max(m, n)$$

$$t_p = \frac{P_u m'}{\phi_v A_p (0.6 F_y)}$$

$$\phi_v = 0.9$$

طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت و با سخت کننده

ضخامت ورق بر اساس خمش طره ای:

$$m' = \max(m, n)$$

$$t_p = m' \sqrt{\frac{2P_u}{\phi_m A_p F_y} \left[1 - 0.5 \left(\frac{n}{m} \right)^2 \right]}$$

$$\phi_m = 0.9$$

ضخامت ورق بر اساس نیروی برشی:

$$m' = \max(m, n)$$

$$t_p = \frac{P_u m'}{\phi_v A_p (0.6 F_y)} - \frac{A_{st}}{B}$$

$$\phi_v = 0.9$$

A_{st} : مساحت سخت کننده

مثال: طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت

ستون IPBL140 تحت اثر بارهای محوری مرده ۱۰ تن و زنده ۱۵ تن و نیروهای برشی مرده ۲ تن و زنده ۳ تن قرار دارد. اگر فولاد مصرفی St-37 و الکتروود E60 و رده بتن C20 باشد، ورق کف ستون را با و بدون سخت کننده طراحی نمائید.

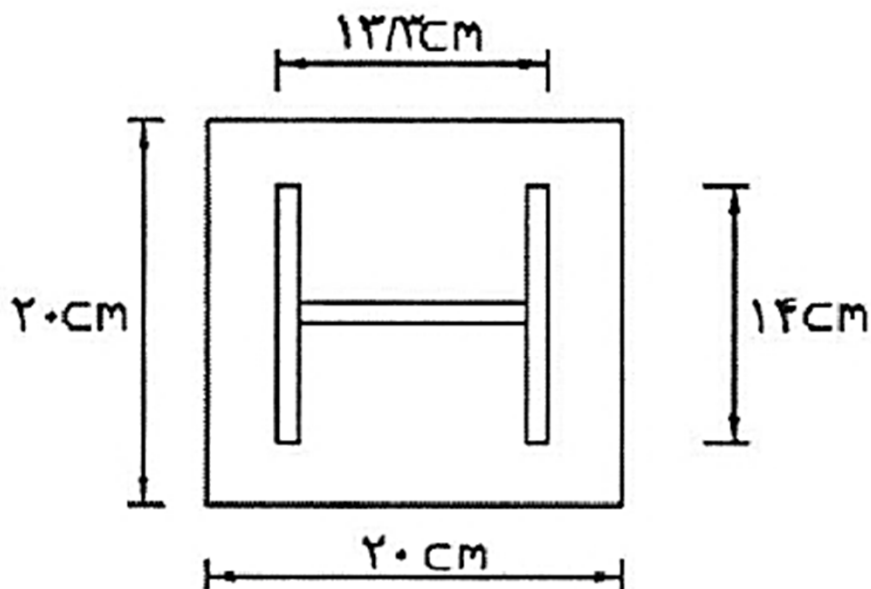
$$P_u = 1.2(10) + 1.6(15) = 36 \text{ ton}$$

$$A_p = \frac{36}{0.65 \times 0.85 \times 0.21} = 310 \text{ cm}^2$$

در مقاطع بال پهن و قوطی ها که ابعاد بال و جان برابر هستند بهتر است ورق بصورت مربع انتخاب شود. ضمناً وقتی که $m=n$ باشد بهترین نتیجه از نظر ابعاد و ضخامت ورق بدست می آید.

ورق 20cmX20cm انتخاب می شود.

مثال: طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت



$$m = \frac{20 - 0.95(13.8/2)}{2} = 3.7 \text{ cm}$$

$$n = \frac{20 - 0.8(14)}{2} = 4.4 \text{ cm}$$

$$t_p = (4/4) \sqrt{\frac{2(36)}{(0.9)(400)(2/4)}} = 1.27 \text{ cm}$$

مثال: طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت

ضخامت مورد نیاز برش به دست می آید.

$$t_p = \frac{(36)(4/4)}{(0/9)(400)(0/6)(2/4)} = 0/31 \text{ cm}$$

ورق $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 1/5 \text{ cm}$ انتخاب می شود.

طراحی میله مهارها،

$$V_u = 1/2(2) + 1/6(3) = 7/2 t$$

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad \phi_v = 0/9$$

سطح مقطع مورد نیاز میله مهارها با فرض قرار گرفتن رزوه بولت در صفحه برش به دست می آید.

$$A_b = \frac{7/2}{(0/9)(0/4)(3/7)} = 5/4 \text{ cm}^2 \quad 2\Phi 20$$

جوش ورق به ستون باید قادر به انتقال نیروی برشی باشد.

$$t_w = 5/5 \text{ mm}$$

مثال: طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت

جوش 5 mm استفاده می‌شود.

ضخامت موثر گلولی جوش به دست می‌آید.

$$t_e = 0.707(5) = 3.535\text{ mm}$$

$$A_w = 0.3535 l_w$$

$$F_w = 0.6(4200) = 2520\text{ kg/cm}^2$$

$$R_n = (2/52)(0.3535 l_w) = 0.891 l_w$$

$$\phi R_n = (0.75)(0.891 l_w) = 0.668 l_w$$

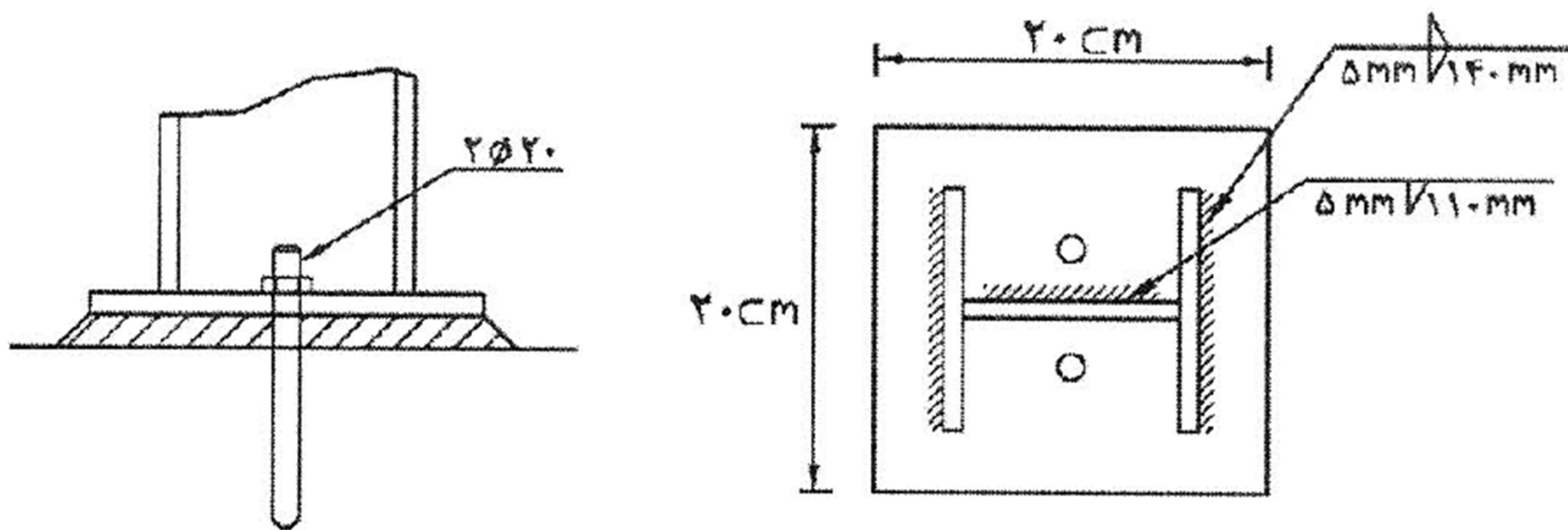
طول مورد نیاز جوش با مساوی قرار دادن مقاومت‌های لازم و موجود به دست می‌آید.

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$7/2 = 0.668 l_w \quad l_w = 10.8\text{ cm}$$

مثال: طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت

بنابراین حداقل طول جوش $l_w = 11\text{ cm}$ برای انتقال برش کفایت می‌کند. بخش عمده بار محوری فشاری نیز توسط اتکای ستون به ورق کف ستون حمل می‌گردد. معمولاً برای عملکرد یکپارچه ستون و ورق کف ستون، بال‌های ستون نیز جوش می‌شوند. اتصال طراحی شده در شکل نشان داده شده است.



مثال: طراحی کف ستون با سخت کننده

ورق $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ انتخاب می شود.

با فرض ورق 8 mm برای سخت کننده،

$$m = \frac{25 - 13/3}{2} = 5/85\text{ cm}$$

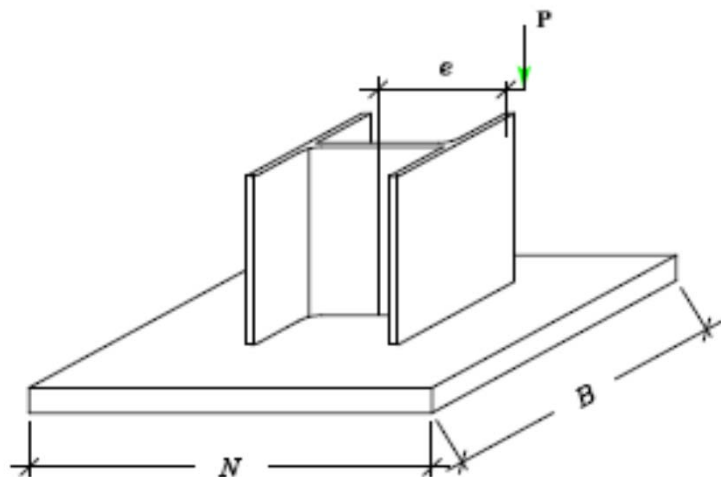
$$n = \frac{25 - 14 - 2(0/8)}{2} = 4/7\text{ cm}$$

$$t_p = (5/85) \sqrt{\frac{2(36)}{(0/9)(625)(2/4)} \left[1 - 0/5 \left(\frac{4/7}{5/85} \right)^2 \right]} = 1/11\text{ cm}$$

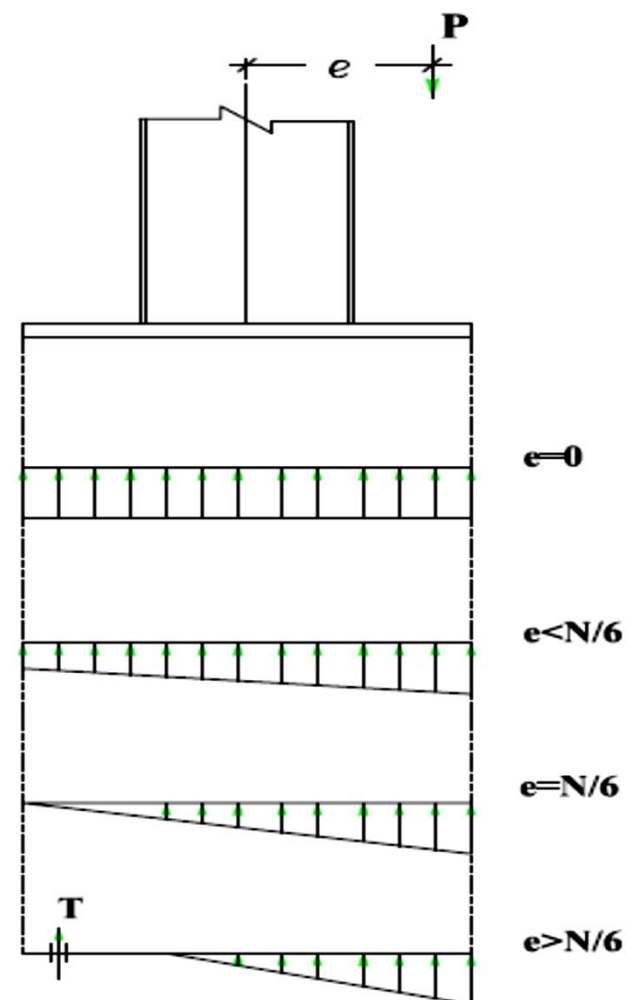
ورق $25\text{ cm} \times 25\text{ cm} \times 1/2\text{ cm}$ انتخاب می شود.

ملاحظه می شود که در مورد این مثال، ضخامت ورق بدون سخت کننده ها نیز جوابگوی برش است. بنابراین در این حالت، حداقل ابعاد سخت کننده جوابگو می باشد.

طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت



$$f_P = \frac{P}{A_p} \pm \frac{P.e}{\frac{B.N^2}{6}} = \frac{P}{A_p} \pm \frac{P.e}{\frac{A.N}{6}} = \frac{P}{A_p} \left(1 \pm \frac{e}{\frac{N}{6}} \right)$$



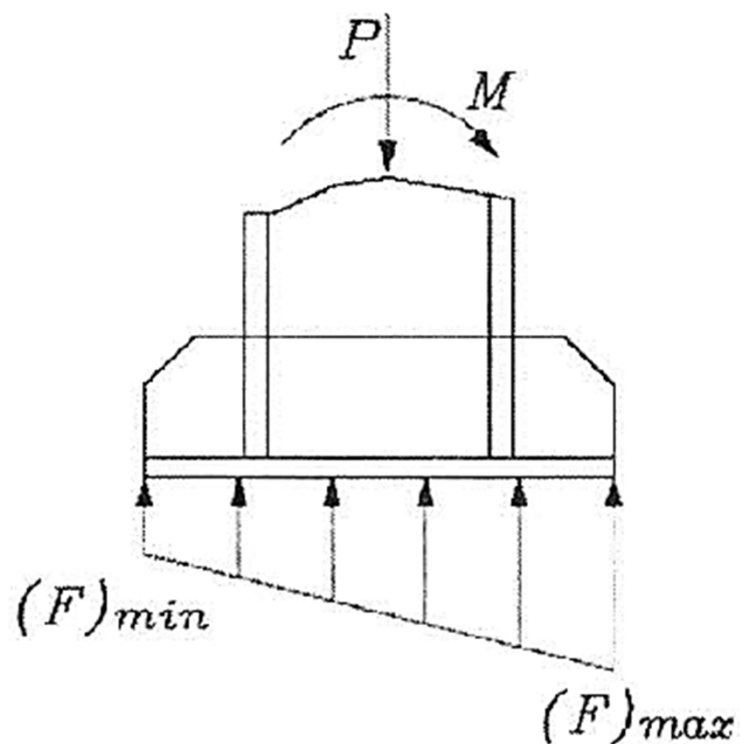
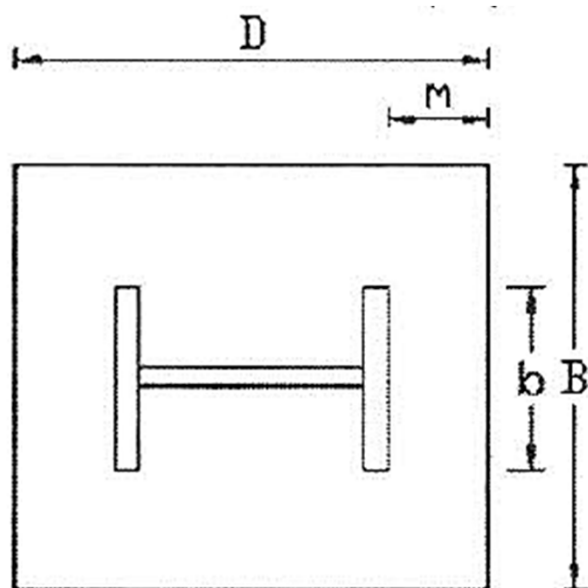
طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت ($e < \frac{D}{6}$)

تعیین ابعاد اولیه با سعی و خطا :

$$(\phi_c = 0.65)$$

$$\frac{P_u}{\phi_c B D} \left(1 + \frac{6e_u}{D} \right) \leq 0.85 \bar{f}_c$$

$$e_u = \frac{M_u}{P_u}$$



طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت ($e < \frac{D}{6}$)

توزیع تنش در زیر ورق بر اساس ابعاد واقعی:

$$(F)_{max,min} = \frac{P_u}{BD} \left(1 \pm \frac{6e_u}{D} \right)$$

تنش در محل بحرانی لنگر:

$$(F)_M = (F)_{max} - \frac{m}{D} [(F)_{max} - (F)_{min}]$$

حداکثر لنگر برای دو بخش با لنگر یکنواخت و متغیر:

$$M = \frac{(F)_M B m^2}{2} + \frac{1}{2} [(F)_{max} - (F)_M] B m \left(\frac{2}{3} m \right)$$

$$M = \frac{2(F)_{max} + (F)_M}{6} B m^2 \quad (10-7)$$

حداکثر نیروی برشی وارده از رابطه زیر تعیین می گردد.

$$V = \frac{(F)_{max} + (F)_M}{2} B m \quad (10-8)$$

طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت ($e < \frac{D}{6}$)

ضخامت مورد نیاز بر اساس خمش (بدون سخت کننده):

$$t_p = m \sqrt{\frac{2[2(F)_{max} + (F)_M]}{3\phi_m F_y}} \quad (\phi_m = 0.9)$$

ضخامت مورد نیاز بر اساس برش (بدون سخت کننده):

$$t_p = m \times \frac{(F)_{max} + (F)_M}{2\phi_v (0.6F_y)} \quad (\phi_v = 0.9)$$

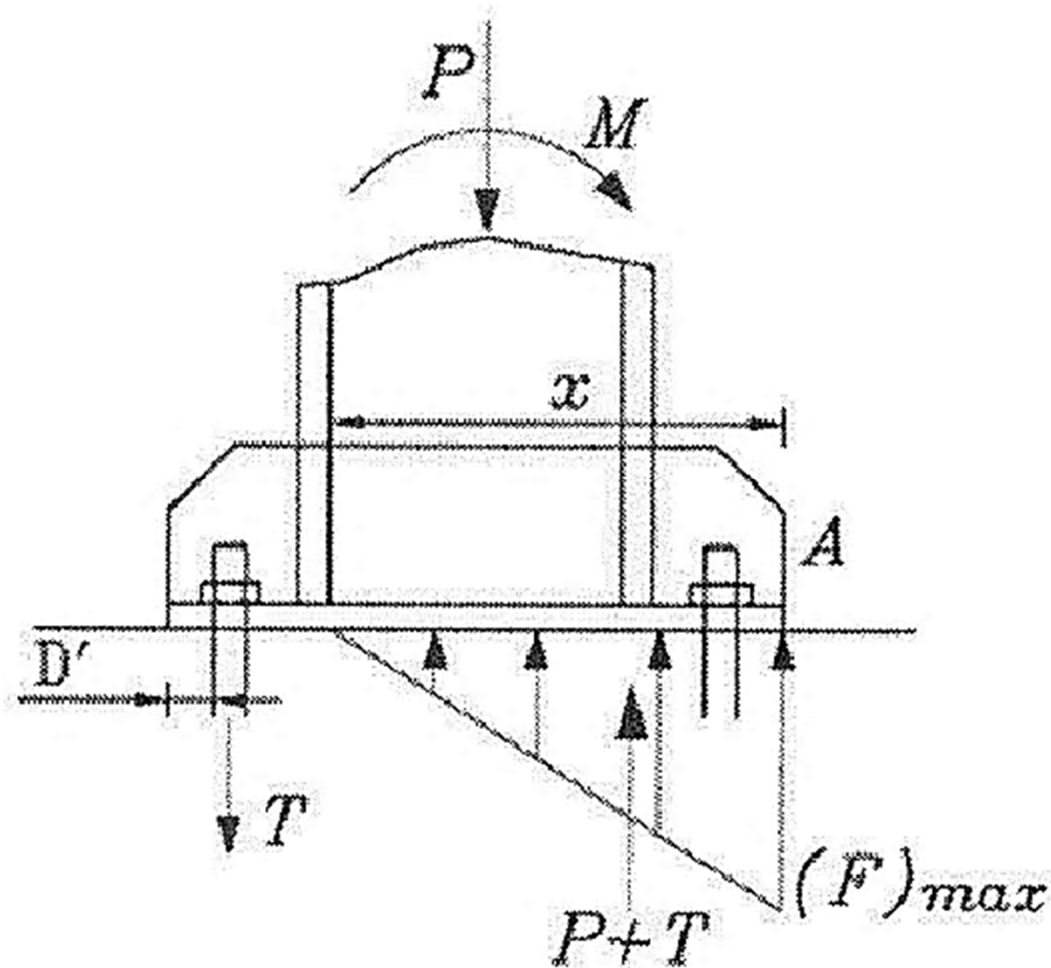
طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت ($e < \frac{D}{6}$)

در صورت استفاده از سخت کننده، ضخامت برابر است با:

$$t_p = m \sqrt{\frac{2[2(F)_{max} + (F)_M]}{3\phi_m F_y} \left[1 - 0.5\left(\frac{n}{m}\right)^2\right]}$$

$$t_p = \left(m \times \frac{(F)_{max} + (F)_M}{2\phi_v(0.6F_y)}\right) - \frac{A_{st}}{B}$$

طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت ($e > \frac{D}{6}$)



طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت ($e > \frac{D}{6}$)

تعیین ابعاد ورق:

$$(\phi_c = 0.65)$$

تعیین طول گسترش (X) از حل معادله زیر:

$$x^2 - 3(D - \dot{D})x + \frac{3P_u(2e_u + D - 2\dot{D})}{\phi_c B(0.85\dot{f}_c)} \longrightarrow X \checkmark$$

$$T_u = \frac{\phi_c B x (0.85\dot{f}_c)}{2} - P_u$$

تعیین نیروی کششی در میل مهار:

$$\text{If } x > m \longrightarrow (F)_M = (F)_{max} \left(1 - \frac{m}{x}\right)$$

طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت ($e > \frac{D}{6}$)

$$(F)_{max} = \frac{2(P_u + T_u)}{Bx}$$

ضخامت مورد نیاز بر اساس خمش (بدون سخت کننده):

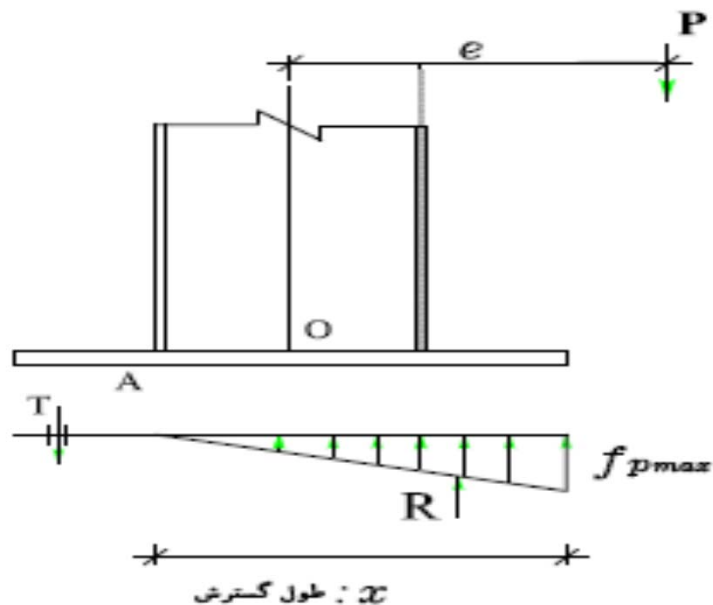
$$t_p = m \sqrt{\frac{2[2(F)_{max} + (F)_M]}{3\phi_m F_y}}$$

در صورت استفاده از سخت کننده (بدون سخت کننده):

$$t_p = m \sqrt{\frac{2[2(F)_{max} + (F)_M]}{3\phi_m F_y} \left[1 - 0.5\left(\frac{n}{m}\right)^2\right]}$$

جدول برای تعیین تقریبی طول گسترش تنش (X)

$\frac{e}{N}$	۰.۰۸	۰.۳	۰.۵۲	۰.۶	۰.۶۱۵	۰.۶۴	۰.۷۵	۰.۸۷	۱
$\frac{x}{N}$	۱	۱	۰.۴۸	۰.۴	۰.۳۹	۰.۳۷	۰.۳۵	۰.۳۴	۰.۳۳۳



$$\sum M_e = 0 \rightarrow T = \dots$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R = T + P$$

طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت ($e > \frac{D}{6}$)

If $x \leq m \rightarrow M_u = (P_u + T_u) \left(m - \frac{x}{3} \right)$

ضخامت مورد نیاز بر اساس خمشی (بدون سخت کننده):

$$t_p = \sqrt[3]{\frac{(P_u + T_u) \left(m - \frac{x}{3} \right)}{\phi_m B F_y}}$$

ضخامت مورد نیاز بر اساس برش (بدون سخت کننده):

$$V_u = P_u + T_u$$

$$t_p = \frac{P_u + T_u}{\phi_v (0.6 F_y) B}$$

طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت ($e > \frac{D}{6}$)

محاسبه ضخامت ورق در صورت استفاده از سخت کننده:

$$t_p = 2 \sqrt{\frac{(P_u + T_u)(m - \frac{x}{3})}{B \phi_m F_y} [1 - 0.5(\frac{n}{m})^2]} \quad (\phi_m = 0.9)$$

$$t_p = \frac{P_u + T_u}{\phi_v (0.6 F_y) B} - \frac{A_{st}}{B} \quad (\phi_v = 0.9)$$

طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت ($e > \frac{D}{6}$)

ابعاد سخت کننده بر اساس طول جوش تعیین می شود:

$$l_w = \frac{T_u}{\phi F_w t_e}$$

طراحی میل مهارها نیز برای ترکیب نیروی برشی و کششی انجام می شود.

مثال

ستون **IPBL400** تحت اثر بارهای محوری مرده ۱۲ تن و زنده ۱۸ تن و نیروهای برشی مرده ۲ تن و زنده ۳ تن و لنگر خمشی مرده ۶ تن-متر و زنده ۹ تن-متر قرار دارد. اگر فولاد مصرفی **St-37** و الکتروود **E60** و رده بتن **C20** باشد، ورق کف ستون را طراحی نمائید.

$$P_u = 1.2(12) + 1.6(18) = 43.2 \text{ ton}$$

$$M_u = 1.2(6) + 1.6(9) = 21.6 \text{ ton.m}$$

$$e_u = \frac{21.6}{43.2} = 0.5m \quad D \geq 6 \times 0.5 = 3m$$

ملاحظه می شود که برای قرار گرفتن کل سطح زیر ورق کف ستون در فشار طول ورق ستون باید ۳ متر باشد که عملاً امکانپذیر نمی باشد. بنابراین میل مهارها به کشش می افتند

مثال

ابعاد و ضخامت پس از چند بار سعی و خطا انتخاب می شود.

ورق $80\text{cm} \times 60\text{cm}$ انتخاب می شود.

با فرض میل مهار ۱۶ میلی متر، فاصله میل مهار از لبه مطابق با حداقل فاصله مبحث دهم برابر با ۳ سانتی متر می باشد، بنابراین:

$$x^2 - 3(80 - 3)x + \frac{3(43/2)[2(50) + 80 - 2(3)]}{(0/6)(60)(0/85)(0/21)} = 0$$

$$x^2 - 231x + 350.9/2 = 0$$

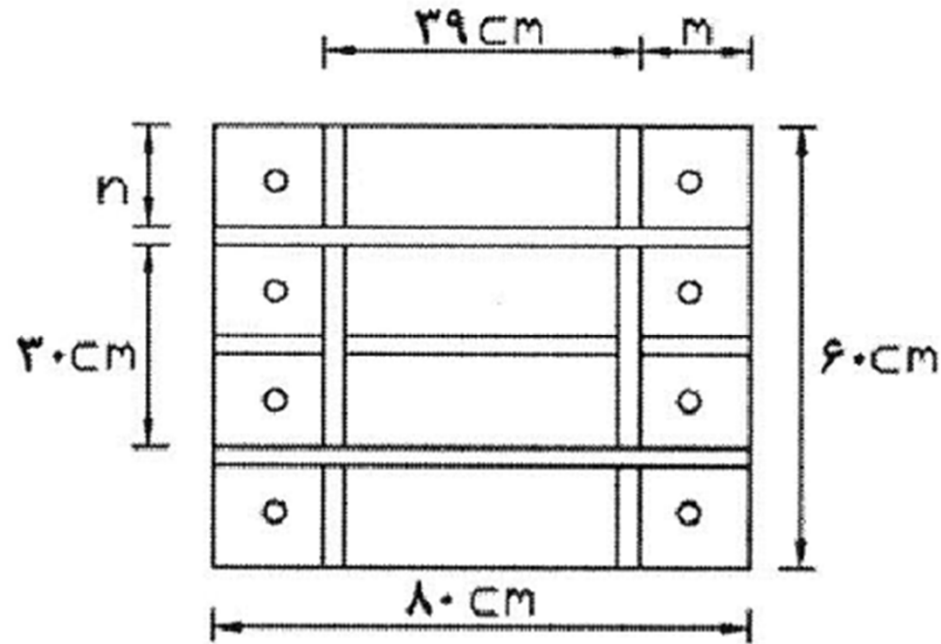
$$x = \frac{231 \pm \sqrt{(231)^2 - 4(350.9/2)}}{2}$$

$$x = 16/4 \text{ cm}$$

$$T = \frac{(0/6)(60)(16/4)(0/85)(0/21)}{2} - 43/2 = 9/5 t$$

ضخامت ورق کف ستون با استفاده از سخت کننده به دست می آید. ضخامت سخت کننده ها 15 mm فرض می شود.

مثال



$$m = \frac{80 - 39}{2} = 20.5 \text{ cm}$$

$$n = \frac{60 - 30 - 2(1/5)}{2} = 13.5 \text{ cm}$$

$$x < m \checkmark$$

مثال

$$t_p = 2 \sqrt{\frac{(43/2 + 9/5) \left(20/5 - \frac{16/4}{3} \right)}{(0/9)(60)(2/4)} \left[1 - 0/5 \left(\frac{13/5}{20/5} \right)^2 \right]} = 4/4 \text{ cm}$$

ورق $80 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ انتخاب می شود.

مثال

سطح مقطع سخت کننده:

$$\delta = \frac{43/2 + 9/5}{(0/9)(0/6)(2/4)(60)} - \frac{A_{st}}{60} \quad A_{st} = 0$$

بنابراین در این حالت نیز ورق به تنهایی جوابگوی برش می باشد.
حداقل طول مورد نیاز سخت کننده ها بر اساس طول جوش مورد نیاز به دست می آید.
با انتخاب جوش ۸ mm،

$$l_w = \frac{9/5}{(0/75)(0/6)(4/2)(0/707)(0/8)} = 9/0 \text{ cm}$$

ملاحظه می شود که طول کمی برای جوش به دست آمده است و حداقل ابعاد سخت کننده جوابگو می باشد.

مثال

طراحی میله‌مهارها،

با قرار دادن $8\Phi 16$ مطابق شکل که چهار عدد در کشش قرار می‌گیرند، تنش ترکیبی بررسی می‌شود.

$$V_u = 1/2(2) + 1/6(3) = 7/2 t$$

$$f_v = \frac{7/2}{8(2/0.1)} = 0.45 \text{ t/cm}^2$$

$$f_t = \frac{9/5}{4(2/0.1)} = 1.18 \text{ t/cm}^2$$

مثال

$$F_{nt} = 0.75(3/7) = 2/78 \text{ t/cm}^2$$

$$F_{nv} = 0.4(3/7) = 1/48 \text{ t/cm}^2$$

$$F_{nt}' = 1/3(2/78) - \frac{2/78}{(0.75)(1/48)}(0.45) = 2/49 \text{ t/cm}^2 < 2/78 \text{ t/cm}^2$$

$$f_t \leq \phi F_{nt}'$$

$$f_v \leq \phi F_{nv}$$

$$1/18 \text{ t/cm}^2 < (0.75)(2/49) = 1/87 \text{ t/cm}^2$$

$$0.45 \text{ t/cm}^2 < (0.75)(1/48) = 1/11 \text{ t/cm}^2$$

میل مهارها جوابگو می باشند.