

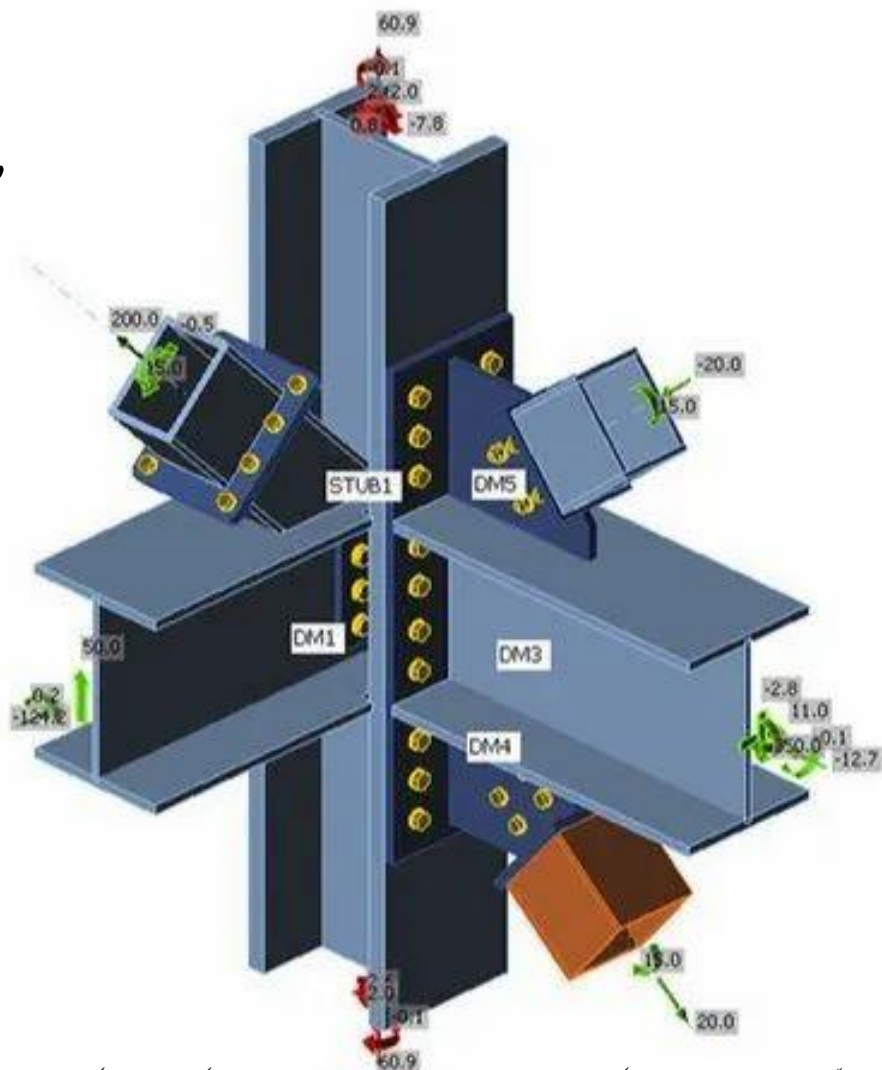
دانشگاه یزد

طراحی سازه های فولادی ۲

مبحث ششم:

طراحی ورق کف ستون

مدرس: دکتر محمد رضا میر جلیلی



توجه: این درسنامه برگرفته از جزوه جناب آقای دکتر رحیمی و کتاب طراحی سازه های فولادی (جلد ششم) دکتر ازهری و دکتر میرقادی می باشد. جهت رعایت حقوق ناشر و مولفان لازم است که دانشجویان محترم این کتاب را تهیه نکنند. در غیر این صورت مجاز به چاپ و انتشار صفحات کتاب نمی باشند.

۱۰-۲-۹-۸ کفستون‌ها و فشار مستقیم بر بتن و مصالح بنایی

مقاومت اتکایی طراحی برای مصالح مختلف تکیه‌گاهی مساوی $\phi_c P_p$ می‌باشد که در آن ϕ_c ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۶۵ و P_p مقاومت اتکایی است که براساس حالت حدی خردشدگی مصالح تکیه‌گاهی به شرح زیر تعیین می‌گردد.

الف) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه مصالح بنایی یا سنگ‌آهکی یا ماسه‌سنگ متراکم و ماسه‌سیمان:

$$P_p = F_p A_p \quad (۲۰-۹-۲-۱۰)$$

که در آن:

A_p = سطح اتکا در تماس با تکیه‌گاه بر حسب میلی‌متر مربع

F_p = تنش اتکایی اسمی و مساوی ۶ مگاپاسکال

ب) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه مصالح بنایی با آجر فشاری و ملات ماسه‌سیمان:

$$P_p = F_p A_p \quad (۲۱-۹-۲-۱۰)$$

که در آن:

A_p = سطح اتکا در تماس با تکیه‌گاه بر حسب میلی‌متر مربع

F_p = تنش اتکایی اسمی و مساوی ۴ مگاپاسکال

پ) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه بتنی:

$$P_p = 0.185 f_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1/7 f_c A_1 \quad (۲۲-۹-۲-۱۰)$$

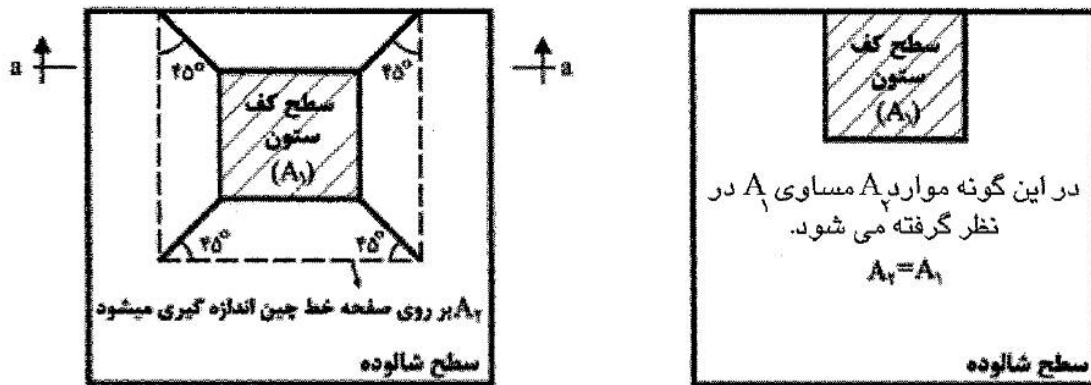
که در آن:

f_c = مقاومت مشخصه فشاری بتن بر روی نمونه استوانه‌ای استاندارد.

A_1 = سطح ورق کفستون در تماس با شالوده

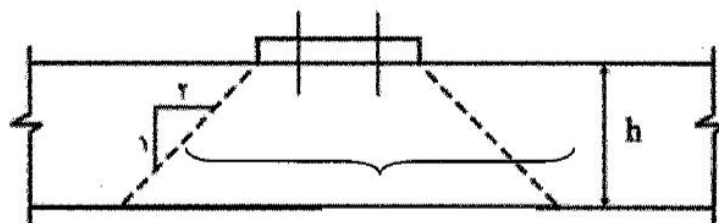
A_2 = حداکثر سطحی از شالوده هم‌مرکز و متشابه با ورق کفستون که در پلان و عمق شالوده

مطابق شکل ۱۰-۹-۲-۱۵ محدود می‌شود.



(ب) کف ستون هایی که لبه های آن از لبه شالوده فاصله دارد.

(الف) کف ستون هایی که حداقل یکی از لبه های آن با لبه شالوده همباد است.



سطح A_2

(پ) مقطع a-a

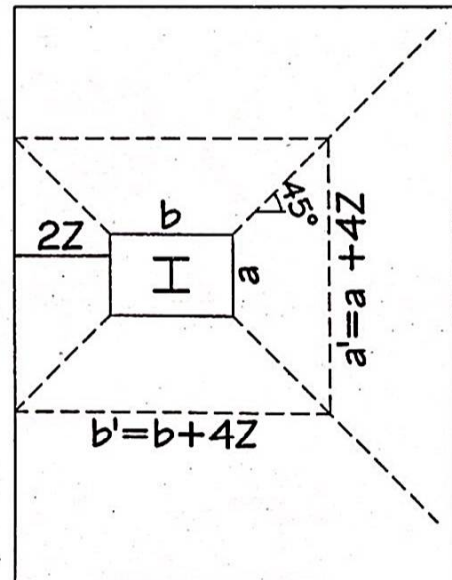
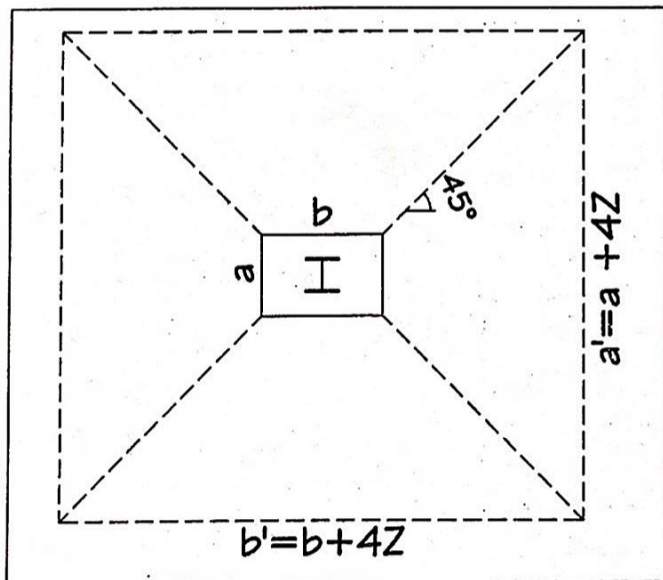
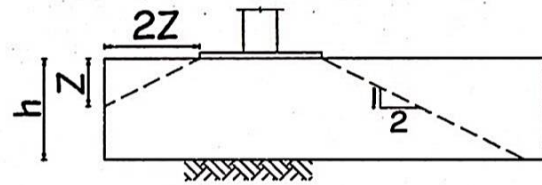
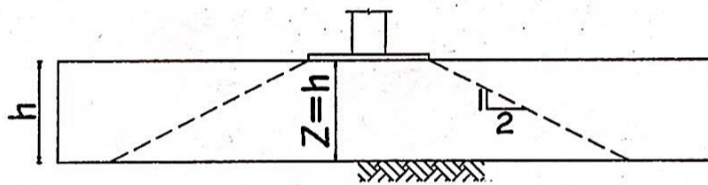
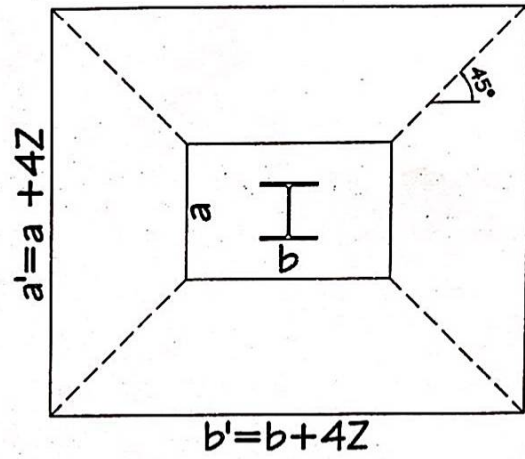
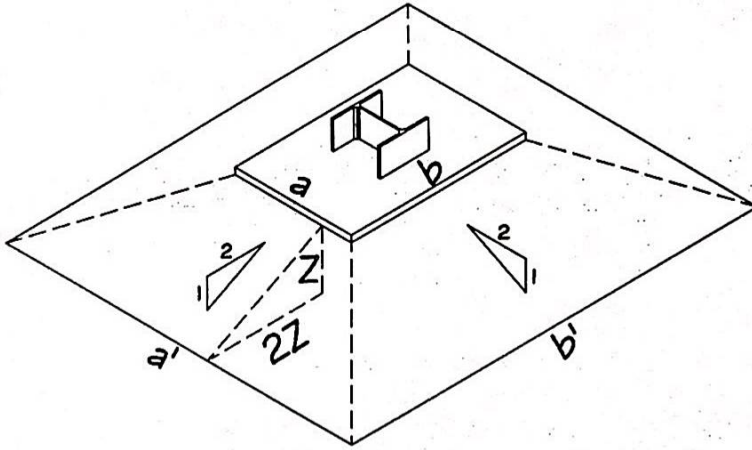
شکل ۱۰-۲-۹-۱۵ سطح اتکا در تماس با شالوده بتنی

۱۰-۲-۹-۹ میل مهارها و اقلام مدفون

الف) میل مهارها

میل مهارها باید طوری طراحی و محاسبه شوند که در تمام ترکیبات بارگذاری وارد بر سازه، از نظر کشش، برش و اثرات توأم آنها، جوابگو باشند. الزامات میل مهارها باید بر طبق ضوابط قطعه های دندانه شده تعیین شود. در مواردی که میل مهارهای کف ستون ها از آرماتورهای آجدار ساخته می شوند، در تعیین مقاومت ها، سطح مقطع اسمی ناحیه رزوه شده (که پس از برداشتن دندانه های برجسته اندازه گیری شده و کوچکتر از قطر اسمی آرماتور می باشد) ملاک محاسبه خواهد بود. در صورتی که از واشرهای مناسب در محل سوراخ، جهت ایجاد تکیه گاه کافی برای مهره استفاده شود، سوراخ های بزرگ شده و سوراخ های لوبیایی برای استفاده در کف ستون مجاز هستند.

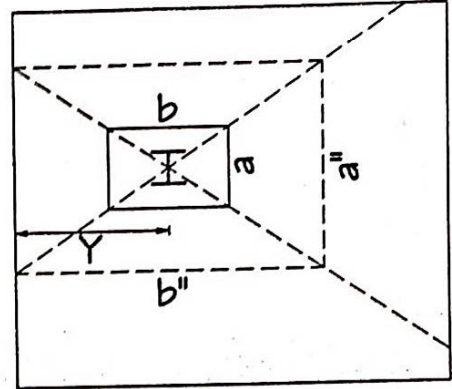
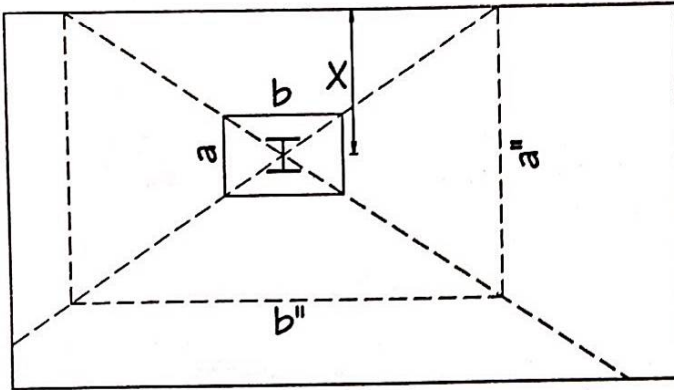
Sec.
 $A_2 = a' \times b'$



$$A_2^{\text{Plan}} = a'' \times b''$$

$$a'' = 2X, \frac{a}{b} = \frac{a''}{b''} \rightarrow b'' = 2X \frac{b}{a}$$

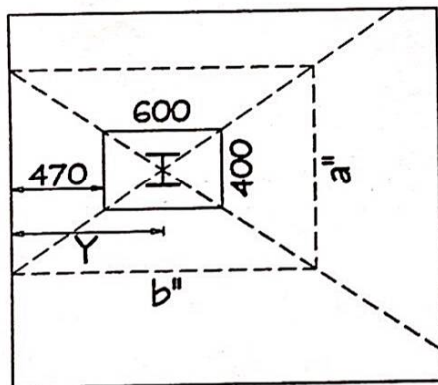
$$b'' = 2Y, \frac{a}{b} = \frac{a''}{b''} \rightarrow a'' = 2Y \frac{a}{b}$$



$$A_1 = a \times b \quad A_2 = \min \{ A_2^{\text{Plan}}, A_2^{\text{Sec.}} \}$$

$$F_p = 0.85 f_c' \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7 f_c'$$

$$f_{p_{\max}} \leq F_p$$

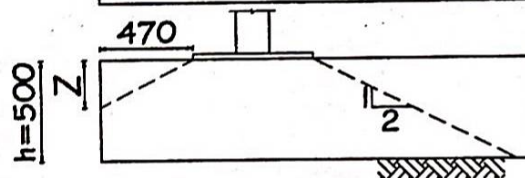
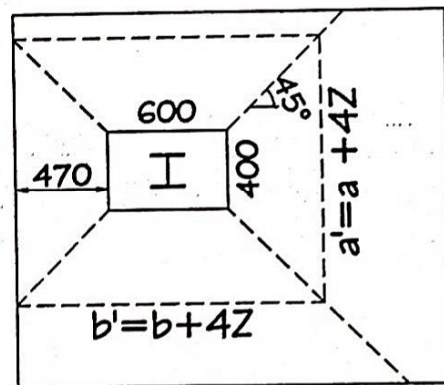


$$y = 470 + \frac{600}{2} = 770 \text{ mm}$$

$$b'' = 2y = 1540 \text{ mm}$$

$$a'' = b'' \times \frac{a}{b} = 1026.7 \text{ mm}$$

$$A_2^{\text{Plan}} = a'' \cdot b'' = 1,581,067 \text{ mm}^2$$



$$2Z = 470 \Rightarrow Z = 235 \text{ mm}$$

$$a' = a + 4Z = 1340 \text{ mm}$$

$$b' = b + 4Z = 1540 \text{ mm}$$

$$A_2^{\text{Sec.}} = a' \cdot b' = 2,063,600 \text{ mm}^2$$

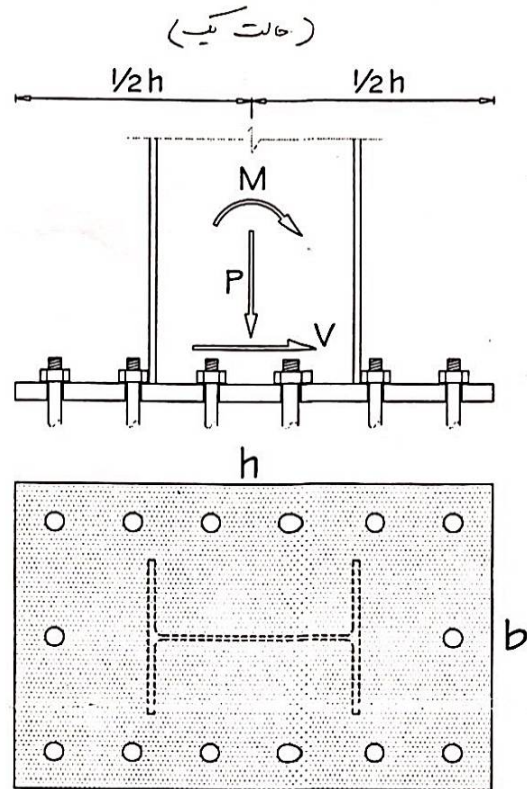
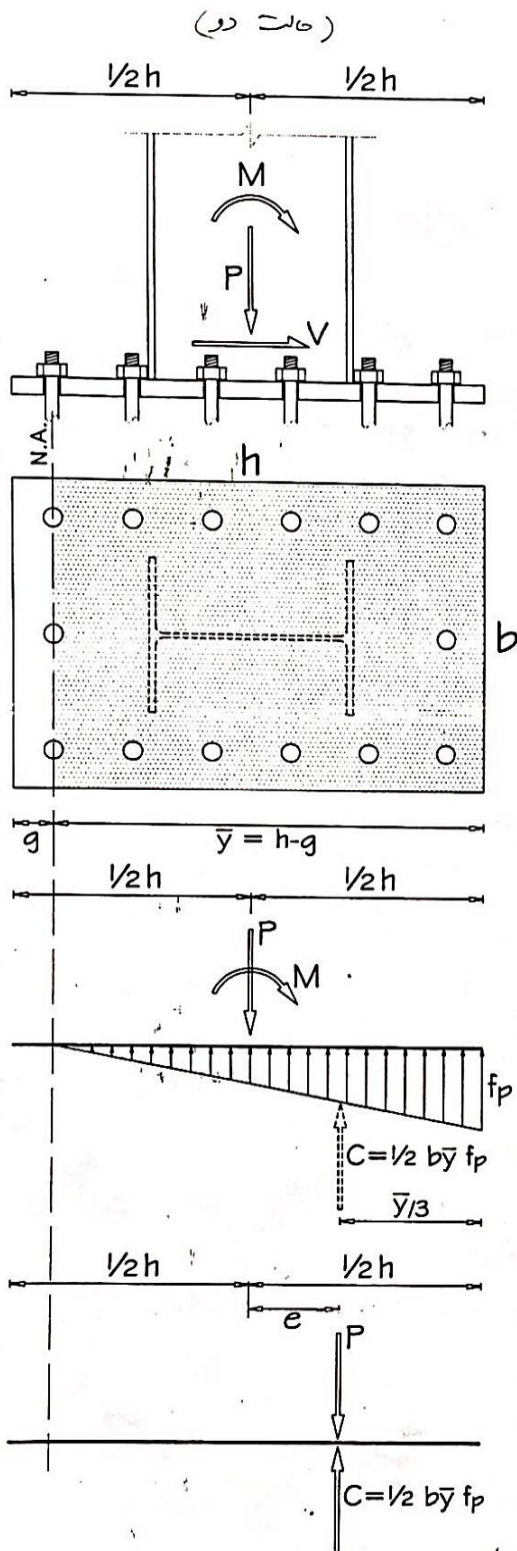
$$A_2 = \min \{ A_2^{\text{Plan}}, A_2^{\text{Sec.}} \} = 1,581,067 \text{ mm}^2 \quad F_p = 0.85 f_c' \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2.18 f_c' \not\leq 1.7 f_c'$$

$$A_1 = ab = 240,000$$

$$\Rightarrow F_p = 1.7 f_c'$$

SL2

صفحات زیر دستون تحت کشش یک صفحه ناپهن



حالت یک (هیچیک از نقاط صفحه از روی فشارده بلنه نی شود.)
($e \leq h/8$)

در این حالت با وضع پوشی از اثر کاهنده سوراخها به تن نوشت:

$$e = \frac{M}{P}, \quad A = b \cdot h$$

$$f_{pmax} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{6e}{h} \right)$$

$$f_{pmin} = \frac{P}{A} \left(1 - \frac{6e}{h} \right) \geq 0$$

حالت دو (بخشهایی از صفحه تا اولین ردیف میل مار از روی فشارده بلنه نی شود)
ولی هیچیک از میل مارها به کشش نی افتد ($e = \frac{h}{8} + \frac{g}{3}$)

با توجه به شکل برای تامین تعادل از سمت نقطه اثر P در C باید استفاده کرد و $C = P$ باشد:

$$e = \frac{h}{2} - \bar{y}/3 = \frac{h}{2} - \frac{1}{3}(h - g) = \frac{h}{6} + \frac{g}{3}$$

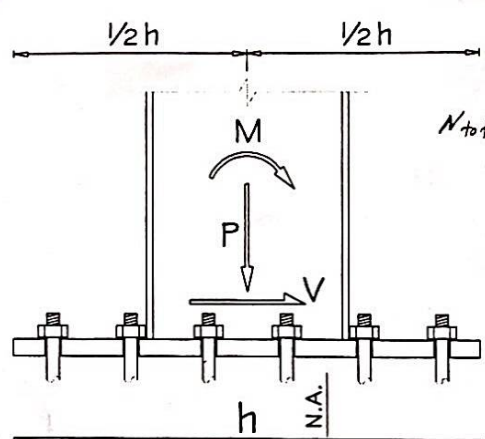
$$P = C = \frac{1}{2} b \bar{y} \cdot f_p = \frac{1}{2} b (h - g) f_p \Rightarrow f_p = \frac{2P}{b(h - g)}$$

حالت یک و نیم (بین حالت یک و دو)

بخشهایی از صفحه (کتر از دو) از روی شلنه مرود و هیچیک از میل مارها به کشش نی افتد، $\frac{h}{6} \leq e \leq \left(\frac{h}{6} + \frac{g}{3} \right)$
ش به حالت دو:

$$\left. \begin{aligned} P = C = \frac{1}{2} b \bar{y} \cdot f_p \\ e = \frac{h}{2} - \bar{y}/3 \Rightarrow \bar{y} = 1.5h - 3e \end{aligned} \right\} \rightarrow f_p = \frac{2P}{b\bar{y}}$$

حالت سوم) تعدادی از میل و مهرها به کشش می افتد $e > (\frac{h}{6} + \frac{g}{3})$



مقرارداد: $N =$ تعداد میل مهارت کشش $N' =$ تعداد میل مهارت فشار
 $N_{total} = N + N' =$ تعداد کل میل مهارت
 $\bar{y}_1 = \sum_{i=1}^N y_i$ و $\bar{y}_1' = \sum_{j=1}^{N'} y_j$ و $\bar{y}_2 = \sum_{i=1}^N y_i^2$ و $\bar{y}_2' = \sum_{j=1}^{N'} y_j^2$

با توجه به دیاگرام کرنش: $\epsilon_i = (\frac{y_i}{\bar{y}} - 1) \epsilon_o$ و $\epsilon_j = (1 - \frac{y_j}{\bar{y}}) \epsilon_o$

مدرک الاستیته بتن E_c و $f_p = E_c \cdot \epsilon_o$

$n = \frac{E_s}{E_c}$ و $E_s =$ مدرک الاستیته فولاد و $f_{ti} = E_s \cdot \epsilon_i = n E_c \cdot \epsilon_i$

$f_{tj} = E_c \cdot \epsilon_j$

با توجه به دیاگرام نیروها و روابط بالا:

$C = \frac{1}{2} b \bar{y} \cdot f_p$

$F_i = A_b \cdot f_{ti} = A_b \cdot n E_c \cdot \epsilon_i = n A_b f_p (\frac{y_i}{\bar{y}} - 1)$

$F_j = A_b \cdot f_{tj} = A_b \cdot E_c \cdot \epsilon_j = A_b \cdot f_p (1 - \frac{y_j}{\bar{y}})$

$\sum F_y = 0 \Rightarrow -P = \sum_{i=1}^N F_i - C + \sum_{j=1}^{N'} F_j \Rightarrow$

$-P = f_p \left\{ A_b \left[\frac{1}{\bar{y}} (n \bar{y}_1 - \bar{y}_1') - (nN - N') \right] - \frac{1}{2} b \bar{y} \right\} \quad (1)$

تعداد گره حول نقطه اثر نیروی C: $\sum M_c = 0 \Rightarrow$

$M - P \left(\frac{h}{2} - \frac{\bar{y}}{3} \right) = \sum_{i=1}^N F_i \left(y_i - \frac{\bar{y}}{3} \right) + \sum_{j=1}^{N'} F_j \left(y_j - \frac{\bar{y}}{3} \right) \Rightarrow$

$M - P \left(\frac{h}{2} - \frac{\bar{y}}{3} \right) = f_p \cdot A_b \left\{ \frac{1}{\bar{y}} (n \bar{y}_2 - \bar{y}_2') - \frac{4}{3} (n \bar{y}_1 - \bar{y}_1') + \frac{\bar{y}}{3} (nN - N') \right\} \quad (2)$

$(2) \div (1) \Rightarrow$

$\left[\frac{b}{6} \right] \bar{y}^3 + \left[-\frac{b}{2} \left(-e + \frac{h}{2} \right) \right] \bar{y}^2 + \left[-(nN - N') \left(-e + \frac{h}{2} \right) + (n \bar{y}_1 - \bar{y}_1') \right] A_b \bar{y} + \left[\left(-e + \frac{h}{2} \right) (n \bar{y}_1 - \bar{y}_1') - (n \bar{y}_2 - \bar{y}_2') \right] A_b = 0 \quad (*)$

حل (*) $\bar{y}$ نسبت می آید (با توجه کنترل شود که در محدوده پیش فرض اولیه قرار دارد)

$\bar{y} = \bar{y} \Rightarrow$

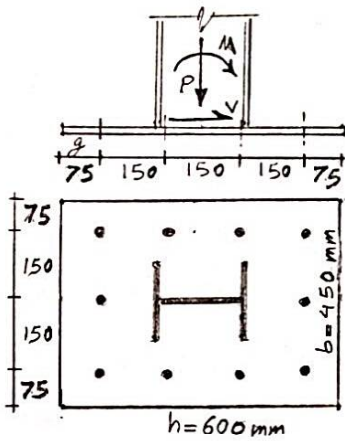
(1) $f_p = \frac{-P}{A_b \left[\frac{1}{\bar{y}} (n \bar{y}_1 - \bar{y}_1') - (nN - N') \right] - \frac{1}{2} b \bar{y}}$

(2) $f_p = \frac{M - P \left(\frac{h}{2} - \frac{\bar{y}}{3} \right)}{A_b \left\{ \frac{1}{\bar{y}} (n \bar{y}_2 - \bar{y}_2') - \frac{4}{3} (n \bar{y}_1 - \bar{y}_1') + \frac{\bar{y}}{3} (nN - N') \right\}}$

$f_{ti} = \left(\frac{y_i}{\bar{y}} - 1 \right) \times n f_p \rightarrow f_{tmax} = \left(\frac{y_{max}}{\bar{y}} - 1 \right) \times n f_p$

$P_{u,max} = f_{tmax} \times A_b$ حداثر نیروی کششی در مقطع

شال 1 صفحه زیر استون زیر را کنترل کنید.



$$P = \begin{cases} D = 350 \text{ kN} \\ L = 200 \text{ m} \\ E = 340 \end{cases} \quad M_u = \begin{cases} D = 40 \text{ kN.m} \\ L = 25 \\ E = -95 \end{cases} \quad V_u = \begin{cases} D = 35 \text{ kN} \\ L = 25 \\ E = -100 \end{cases}$$

- بتن شالوده از رده C25 با $f_c' = 25 \text{ MPa}$ و تنش انکاسی $F_p = 0.85 f_c'$ فرض می‌شود.

- میل‌ها را از فولاد نرمه (S235) با $F_u = 360 \text{ MPa}$ و $F_y = 235 \text{ MPa}$ با قطر $d_b = 25 \text{ mm}$ است و بطور معافه کارانه فرض می‌شود. سطح برش از قسمت دندان شده میگذرد. ($A_b = 491 \text{ mm}^2$)

(I) کنترل برای ترکیب بار $1.2D + 1.6L$

$$P_u = 740 \text{ kN}, M_u = 88 \text{ kN.m}, V_u = 82 \text{ kN}$$

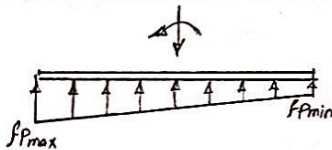
$$e = \frac{M_u}{P_u} = 119 \text{ mm} \quad \left\{ \begin{array}{l} > \frac{h}{6} = 100 \\ < (\frac{h}{6} + \frac{g}{3}) = 125 \end{array} \right. \Rightarrow \text{بعضی از صفحه از رده بتن شالوده بلند نمی‌شود ولی هیچکدام از میل‌ها به کشش نیافتند (حالت یک و نیم)}$$

$$\bar{y} = 1.5h - 3e = 543 \text{ mm} \rightarrow f_p = \frac{2P_u}{b\bar{y}} = \frac{2 \times 740 \times 10^3}{450 \times 543} = 6.06 \text{ MPa} \leq \phi_c F_p = 0.65(0.85 f_c') = 13.81 \text{ MPa}$$

$$\text{کنترل میل‌ها: میل‌ها تحت برش خالص هستند: } V_{u1} = \frac{V_u}{N_{total}} = \frac{82}{10} = 8.2 \text{ kN}$$

جدول صفحه 143 مبحث 10 - مقاطع دندان شده + سطح برش از قسمت دندان شده میگذرد: تنش برشی اسمی انتقالی $f_{nv} = 0.45 F_u = 162 \text{ MPa}$

$$8.2 \text{ kN} = V_{u1} \leq \phi R_{nv} = \phi F_{nv} A_{nb} = 0.75 \times 162 \times 491 = 59.7 \text{ kN} \quad \text{O.K.}$$



$$P_u = 960 \text{ kN}, M_u = -22 \text{ kN.m}, V_u = -33 \text{ kN}$$

(II) کنترل برای ترکیب بار $1.2D + 1.6L + E$

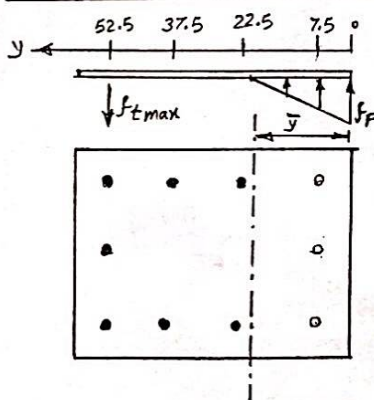
$$e = \frac{M_u}{P_u} = 22.9 \text{ mm} \leq \frac{h}{6} = 100 \Rightarrow \text{صفحه از رده بتن شالوده بلند نمی‌شود (حالت یک)}$$

$$f_{pmin} = \frac{P_u}{A} \left(1 - \frac{6e}{h}\right) = \frac{960,000}{450 \times 600} \left(1 - \frac{6 \times 22.9}{600}\right) = 2.74 \text{ MPa} \geq 0 \quad \text{O.K.}$$

$$f_{pmax} = \frac{P_u}{A} \left(1 + \frac{6e}{h}\right) = 4.37 \text{ MPa} \leq \phi_c F_p = 13.8 \quad \text{O.K.}$$

$$V_{u1} = \frac{V_u}{N_{total}} = \frac{33}{10} = 3.3 \text{ kN} \leq \phi R_{nv} = 59.7 \text{ kN} \quad \text{O.K.}$$

- کنترل میل‌ها: میل‌ها تحت برش خالص هستند.



$$P_u = 280 \text{ kN}, M_u = 168 \text{ kN.m}, V_u = 167 \text{ kN}$$

(III) کنترل برای ترکیب بار $1.2D + 1.6L + E$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = 600 \text{ mm} > (\frac{h}{6} + \frac{g}{3}) = 125 \Rightarrow \text{صفحه از رده بتن شالوده بلند نمی‌شود و تقوای از میل‌ها به کشش یافتند (حالت سوم)}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200,000 \text{ MPa}}{5000 \sqrt{f_c'}} = 8$$

- تعیین موقعیت خط خنثی $\bar{y}$

$$\text{پیش فرض: } \bar{y} \in [7.5, 22.5]$$

$$N = 7, \quad Y_1 = 2 \times (22.5 + 37.5) + 3 \times 52.5 = 277.5 \text{ cm}, \quad Y_2 = 2 \times (22.5^2 + 37.5^2) + 3 \times 52.5^2 = 12093.75 \text{ cm}^2$$

$$N' = 3, \quad Y_1' = 3 \times 7.5 = 22.5 \text{ cm}, \quad Y_2' = 3 \times 7.5^2 = 168.75 \text{ cm}^2$$

$$(nN - N') = 53, \quad (nY_1 - Y_1') = 2197.5 \text{ cm}, \quad (nY_2 - Y_2') = 96581.25 \text{ cm}^2$$

$$(*) \Rightarrow 7.5 \bar{y}^3 + 675 \bar{y}^2 + 18596.6 \bar{y} - 797905.7 = 0$$

$$\Rightarrow \bar{y} = 21.7 \text{ cm} \in [7.5, 22.5] \rightarrow \text{تائید پیش فرض} \rightarrow \text{اطمن}$$

① ② $\rightarrow f_p = 8.95 \text{ MPa} \leq \phi F_p = 13.8 \text{ O.K.}$

کترل میل مهار تحت اثر تمام کشش و برش: $f_{ut} = f_{tmax} = \left(\frac{y_{max}}{y} - 1\right) \times n \times f_p = \left(\frac{52.5}{21.7} - 1\right) \times 8 \times 8.95 = 101.6 \text{ MPa}$ صحت ۱۰

کترل یک پیچ بحرانی تر است $P_{u1max} = f_{tmax} \cdot A_b = 101.6 \times 491 = 49.9 \text{ KN}$ کیشن در برش $V_{u1} = \frac{V_u}{N_{total}} = \frac{167}{10} = 16.7 \text{ KN}$

$\phi R_{nv1} = 59.7 \text{ KN}$ و از $\phi R_{nt1} = 0.75 [0.75 F_u \cdot A_b] = 99.4 \text{ KN}$

کترل ① $\rightarrow \frac{V_{u1}}{\phi R_{nv1}} = \frac{16.7}{59.7} = 0.28 \leq 1.0 \text{ O.K.}$
کترل ② $\rightarrow \frac{P_{u1max}}{\phi R_{nt1}} = \frac{49.9}{99.4} = 0.5 \leq 1.0 \text{ O.K.}$
کترل ③ $\rightarrow \frac{V_{u1}}{\phi R_{nv1}} + \frac{P_{u1max}}{\phi R_{nt1}} = 0.78 \leq 1.3 \text{ O.K.}$ میل در جواب است

- بار ترکیب بار ۱.۴۵ نیز هند خطی است (تشریح)

باتوجه به اینکه بار هم ترکیبات بارگذاری ایجاد صفحه و میل مهارها مناسب است $\leftarrow \text{O.K.}$

شال ۲- در مثال قبل اگر $M_u = 135 \text{ KN.m}$ و $V_u = 167 \text{ KN}$ باشد، صفحه کنترل کنید - (فرض خالص)

صفحه تحت فشار خالص است $\leftarrow$ حالت سوم $\leftarrow$ باتوجه به رابطه ① جدول ۱

$\frac{1}{2} b \bar{y}^2 + A_b (nN - N') \bar{y} - A_b (nY_1 - Y_1') = 0 \quad (**)$

$f_p = \frac{M}{A_b \left\{ \frac{1}{3} \bar{y} (nY_2 - Y_2') - \frac{4}{3} (nY_1 - Y_1') + \frac{\bar{y}}{3} (nN - N') \right\}}$

$f_{tmax} = \left(\frac{y_{max}}{y} - 1\right) n f_p$

و باتوجه به رابطه ② جدول ۱: $\bar{y} \in [7.5, 22.5]$ فرض:

پیش فرض: $\bar{y} \in [7.5, 22.5]$ $\leftarrow$ باتوجه به معادله صفحه قبل و (**): $\bar{y} = 16.87 \text{ cm} \in [7.5, 22.5] \text{ O.K.}$

$f_p = \frac{135 \times 10^6}{1519200} = 8.89 \text{ MPa} \leq \phi F_p = 13.8 \text{ O.K.}$

$f_{ut} = f_{tmax} = 150.2 \text{ MPa}$

کترل میل مهار

$P_{u1max} = f_{tmax} \cdot A_b = 150.2 \times 491 = 73.7 \text{ KN}$ کترل یک پیچ بحرانی تر است $V_{u1} = \frac{V_u}{N_{total}} = \frac{167}{10} = 16.7 \text{ KN}$ تحت اثر همزمان برش و کشش

از جدول ۱: $\phi R_{nv1} = 59.7 \text{ KN}$ ، $\phi R_{nt1} = 99.4 \text{ KN}$

کترل ① $\rightarrow \frac{V_{u1}}{\phi R_{nv1}} = \frac{16.7}{59.7} = 0.28 \leq 1.0 \text{ O.K.}$
کترل ② $\rightarrow \frac{P_{u1max}}{\phi R_{nt1}} = \frac{73.7}{99.4} = 0.74 \leq 1.0 \text{ O.K.}$
کترل ③ $\rightarrow \frac{V_{u1}}{\phi R_{nv1}} + \frac{P_{u1max}}{\phi R_{nt1}} = 0.28 + 0.74 = 1.02 \leq 1.3 \text{ O.K.}$ $\rightarrow \text{O.K.}$

شال ۳. صنفه زیر ستون را برای خُص در مقطع برستون (m-m) کنتر کنیه (MPa) $(F_y = 235)$

$f_p = \frac{P_u}{650 \times 400} = 12.5 \text{ MPa}$ تنش تماسی (آکسای) موجود

کنتر در مقطع m-m $M_u = (f_p \times 400) \times 195/2 \rightarrow M_u = 95.1 \text{ KN.m}$

تعیین خواص مقطع:

$y_c = 251.6 \text{ mm}$, $y_t = 73.4 \text{ mm}$

$I_x = 14454 \text{ E4 mm}^4$, $I_y = 13353 \text{ E4 mm}^4$

$S_{xc} = \frac{I_x}{y_c} = 574.5 \text{ E3 mm}^3$, $S_{xt} = \frac{I_x}{y_t} = 1969.2 \text{ E3 mm}^3$ } $S_{min} = 574.5 \text{ E3 mm}^3$

$J = \frac{1}{3} (400 \times 25^3 + 315.2 \times 2^3) \rightarrow J = 292 \text{ E4 mm}^4$

$A = 16000 \text{ mm}^2$, $400 \times y = \frac{A}{2} \Rightarrow y = 20 \text{ mm}$

$P_u = 3250 \text{ KN}$

$P_{300 \times 180 \times 20}$

$20 = t_w$

400 mm

300

325

25

195 , 260 , 195

$Z_x = (400 \times 20 \times 10) + (400 \times 5 \times 2.5) + (300 \times 20 \times 155)$

$Z_x = 1015 \text{ E3 mm}^3$

ک (۱) تعیین M_n

جان مقطع T شکل تحت تنش ناشی از خُص است:

$$M_n = \min \begin{cases} M_{n1} \text{ (T)} \\ M_{n2} \text{ (LTB)} \\ M_{n4} \text{ (WLB)} \end{cases}$$

$M_p = F_y \cdot Z_x = 238.5 \text{ KN.m}$, $M_p = F_y \cdot S_{min} = 135 \text{ KN.m}$

$M_{n1} = M_p = F_y \cdot Z_x \leq M_y \rightarrow M_{n1} = 238.5 \neq M_y = 135 \Rightarrow M_{n1} = M_y = 135 \text{ KN.m}$

چون صنفه زیر ستون به سئالوده متکی است، از اینرو امکان کنش LTB وجود ندارد و برتران M_{n2} را در نظر نگرفت و به سبب تکرار ۱۰، بعنوان یک مثال آموزشی مقدار آن به سبب می گردد:

$B = -2.3 \left(\frac{d}{t_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}} \quad \frac{L_b = 195 \text{ mm}}{J} \quad B = -25.9$

$M_{n2} = M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{E I_y G J}}{L_b} (B + \sqrt{1 + B^2}) \rightarrow M_{n2} = 789 \text{ KN.m}$

$\lambda_w = \frac{d}{t_w} = \frac{325}{20} = 16.25 \leq \lambda_{pw} = 0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 24.5 \Rightarrow F_{cr} = F_y = 235 \text{ MPa}$

$M_{n4} = F_{cr} \cdot S_{xc} = 235 \times 574.5 \text{ E3} \rightarrow M_{n4} = 135 \text{ KN.m}$

$M_n = \min \{ M_{n1}, M_{n2}, M_{n4} \} \rightarrow M_n = 135 \text{ KN.m}$

ک (۲) کنتر:

$M_u = 95.1 \leq \phi_b \cdot M_n = 121.5 \text{ KN.m} \quad \text{O.K.}$

صفحه زیر ستون تحت تنش دو به دو نابین

$$e_x = \frac{M_y}{P}, \quad e_y = \frac{M_x}{P}$$

$$A = b \cdot h$$

در صورتیکه هیچک از نقاط صفحه از زری شالوده

بلند نشود هر یک برشت :

$$f_p(x,y) = \frac{P}{A} + \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{M_y \cdot x}{I_y}$$

$$I_x = \frac{1}{12} h b^3, \quad I_y = \frac{1}{12} b h^3$$

$$f_{pmax} = \frac{P}{A} + \frac{M_x \cdot b/2}{\frac{1}{12} h b^3} + \frac{M_y \cdot h/2}{\frac{1}{12} b h^3}$$

$$f_{pmax} = \frac{P}{A} + \frac{6 P e_y}{b \cdot h} + \frac{6 P e_x}{h \cdot b}$$

$$f_{pmax} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{6 e_y}{b} + \frac{6 e_x}{h} \right)$$

به همین ترتیب :

$$f_{pmin} = \frac{P}{A} \left(1 - \frac{6 e_y}{b} - \frac{6 e_x}{h} \right)$$

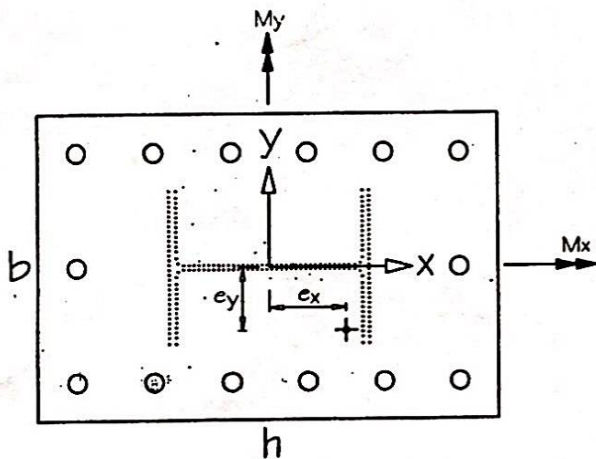
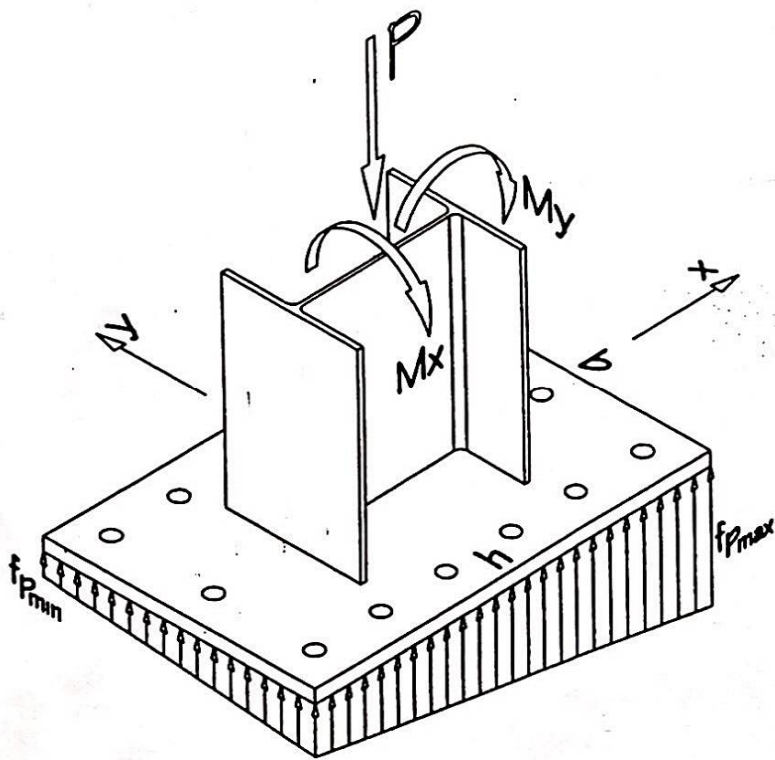
شرط آنکه صفحه از زری شالوده بلند نشود اینست که :

$$f_{pmin} \geq 0 \Rightarrow \left| \frac{6 e_y}{b} + \frac{6 e_x}{h} \right| \leq 1 \quad (*)$$

برای تعیین ابعاد صفحه لازمست :

$$f_{pmax} \leq \bar{F}_p$$

در صورتیکه شرط (*) برقرار نباشد بخشی از صفحه از زری شالوده بلند خواهد شد که باز آمدن آن کلهها منجر به ایجاد کتش در بعضی از میل بارها خواهد گردید.



Base-Plate with Stiffeners

$$t = 1.0 \text{ mm} \quad Z = \frac{1}{4} t^2$$

$$M_U = \text{Max} \{ M_{U_i} \} \text{ (N.mm/mm)}$$

$$t = \sqrt{\frac{4 M_U}{0.9 F_y}}$$

Region ①

$$M_{U1} = \frac{1}{2} f_p \cdot a_1^2$$

Region ②

$$a_2 \leq b_2$$

$$M_{U2} = \frac{1}{2} f_p \cdot a_2^2$$

Region ③

$a_3 = \text{Free Edge}$

$$\left[\begin{array}{l} \frac{b_3}{a_3} < 0.5 \rightarrow M_{U3} = \frac{1}{2} f_p \cdot b_3^2 \\ \frac{b_3}{a_3} \geq 0.5 \rightarrow M_{U3} = \alpha \cdot f_p \cdot a_3^2 \end{array} \right.$$

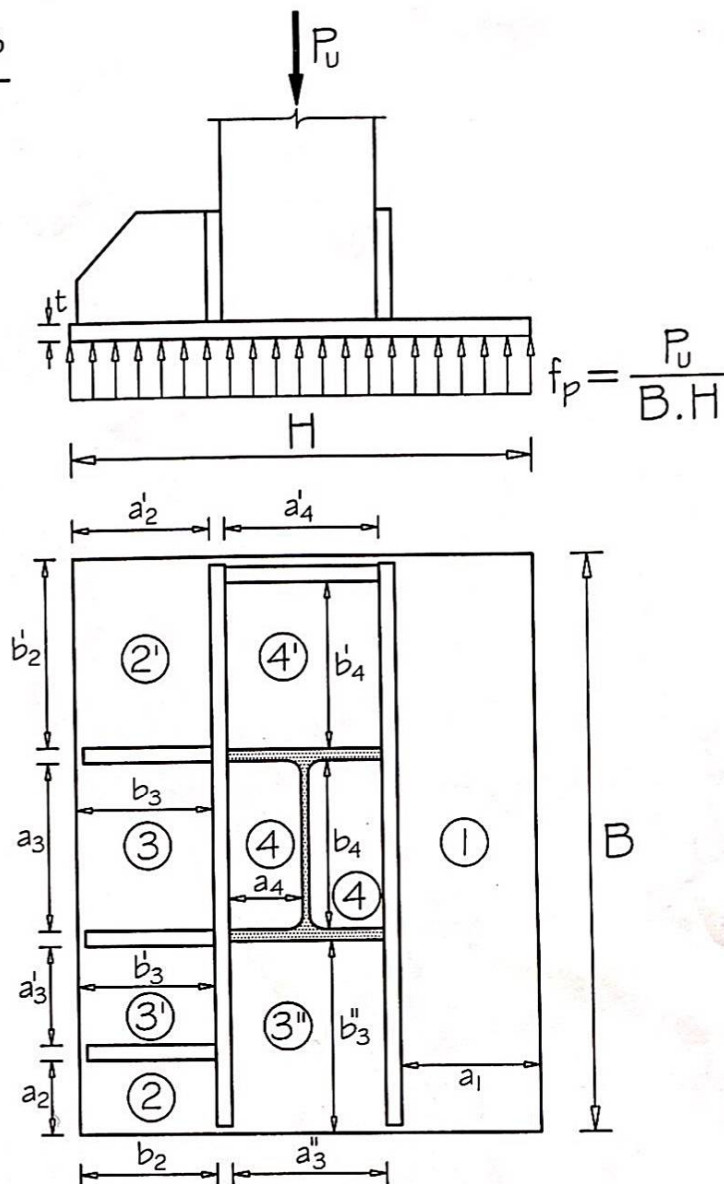
b_3/a_3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	2.0	>2.0
α	0.060	0.074	0.088	0.097	0.107	0.112	0.120	0.126	0.132	0.133

Region ④

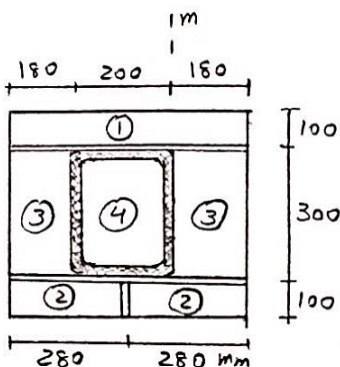
$$a_4 \leq b_4$$

$$M_{U4} = \beta \cdot f_p \cdot a_4^2$$

b_4/a_4	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	>2.0
β	0.048	0.063	0.075	0.081	0.086	0.091	0.094	0.098	0.100	0.125



مثال طرح صفحه زیرستون یا ستون کشیده



$$P \begin{cases} D=1000 \text{ KX} \\ L=300 \\ W=200 \end{cases}$$

صفحه زیرستون نشان داده شده است اثر بار محوری خالص

قرار دارد. با فرض $f_c = 20 \text{ MPa}$ و $f_p = 0.85 f_c$ و فولاد صغری با $F_y = 235 \text{ MPa}$

الف) ابعاد (طول و عرض) صفحه را کنترل کنید.

ب) صفحات صفحه را محاسبه کنید.

پ) در مورد تکیه تحت کشنده ها و دهانه های صفحات $t_s = 25$ و ارتفاع $b_s = 350$ میلستر باشد، مقطع m-m را کنترل کنید.

جهت سگرتی و بصورت حلقه کاملانه ابعاد نواری مختلف صفحه، فاصله سوراخ ها بصورت کشنده ها اختیار شود.

$$\begin{cases} 1.4D \rightarrow P_u = 1400 \text{ KN} \\ 1.2D + 1.6L \rightarrow P_u = 1680 \text{ KN} \\ 1.2D + L + 1.4W \rightarrow P_u = 1780 \text{ KN} \end{cases} \quad \text{ترکیب بحرانی} \rightarrow f_p = \frac{P_u}{500 \times 560} = 6.36 \leq \phi_c f_p = 11.05 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

$$a_1 = 100 \text{ mm} \rightarrow M_{u1} = \frac{1}{2} f_p \times a_1^2 = 31800 \text{ N.mm/mm}$$

ب) ناحیه ①

$$a_2 = 100 \text{ mm}, b_2 = 200 \rightarrow M_{u2} = \frac{1}{2} f_p \times a_2^2 = 31800$$

ناحیه ②

$$a_3 = 300 \text{ mm}, b_3 = 180 \rightarrow \frac{b_3}{a_3} = 0.6 > 0.5 \xrightarrow{\text{جدول}} \alpha = 0.074$$

ناحیه ③

$$M_{u3} = \alpha f_p \times a_3^2 = 42358 \text{ N.mm/mm}$$

$$a_4 = 200 \text{ mm}, b_4 = 300 \rightarrow \frac{b_4}{a_4} = 1.5 \xrightarrow{\text{جدول}} \beta = 0.081$$

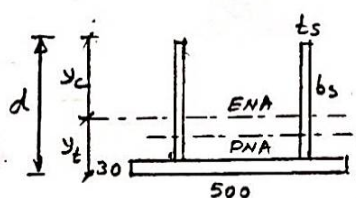
ناحیه ④

$$M_{u4} = \beta f_p \times a_4^2 = 20606 \text{ N.mm/mm}$$

$$M_{u \max} = 42358 \text{ N.mm/mm}$$

$$t_{\text{req}} = \sqrt{\frac{4 M_u}{0.9 F_y}} = \sqrt{\frac{4 \times 42358}{0.9 \times 235}} = 28.3 \text{ mm} \rightarrow t = 30 \text{ mm}$$

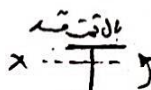
پ) طرح مفهومی: مقطع سوراخ شکل، بالاتر کشش است بنابراین کنترل شدگی



$$\begin{cases} d = 350 + 30 = 380 \\ t = t_s = 25 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{بنده ۱-۲-۳-۴}$$

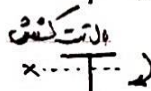
$$\lambda_w = \frac{d}{t} = 15.2 \leq \lambda_{wp} = 0.85 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 24.5 \quad \text{O.K.}$$

کاهش ۷۸٪ برای صفحه زیرستون صفحات. بنابراین حالت شیم برای طرح قسم تعیین شده خواهد بود.



$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x \leq 1.6 M_y$$

بنده ۱-۲-۳-۴ جهت ۱۰ برای حالت شیم طابع:



$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x \leq M_y$$

در این حالت قیادارم.

$$y_t = 117.3 \text{ mm}, y_c = 252.7 \text{ mm}, I_x = 47134.8 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

- تعیین خواص الاستیک مقطع :

$$S_t = \frac{I_x}{y_t} = 4018.3 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_c = \frac{I_x}{y_c} = 1794.2 \times 10^3 \text{ mm}^3 \rightarrow \text{مادر استریت} \rightarrow M_y = S_c \times F_y = 421.6 \text{ KN.m}$$

$$y_1 = 55 \text{ mm}, z_x = 3256.25 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

- تعیین خواص الاستیک مقطع :

$$M_p = F_y \cdot z_x = 765.2 \text{ KN.m}$$

- تعیین مقدار (مادر) استریت :

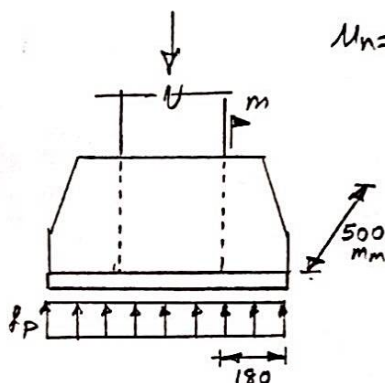
$$M_n = M_p \leq M_y \rightarrow M_n = 421.6 \text{ KN.m}$$

- تعیین M_u : در مقطع m-m

$$M_u = f_p \times 500 \times \frac{180^2}{2} = 51.5 \text{ KN.m}$$

$$M_u = 51.5 \leq \phi_b M_n = 379.4 \text{ KN.m} \quad \text{O.K.}$$

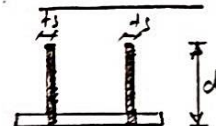
- کنترل :



- کنترل برش : (بند ۱۰-۲-۶-۱-۲-۱ ب) بخش ۱۰

$$V_u = f_p \times 500 \times 180 = 572.4 \text{ KN}$$

$$V_n = 0.6 F_y \cdot A_w \cdot C_v, \quad A_w = d \times t_w = d \times (2t_s) = 380 \times (2 \times 25) = 19,000 \text{ mm}^2$$

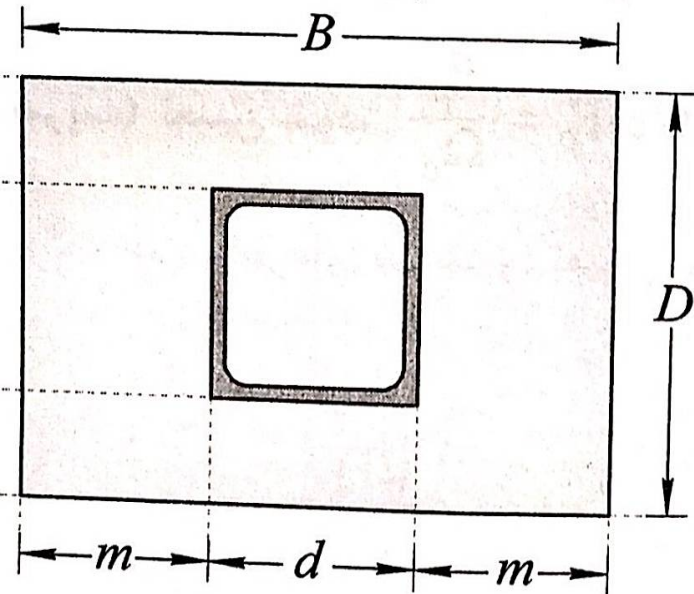


$$\sigma : K_v = 1.2, \quad \frac{h}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{d}{t_s} = \frac{380}{25} = 15.2 < 1.1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} = 35.2 \Rightarrow C_v = 1.0$$

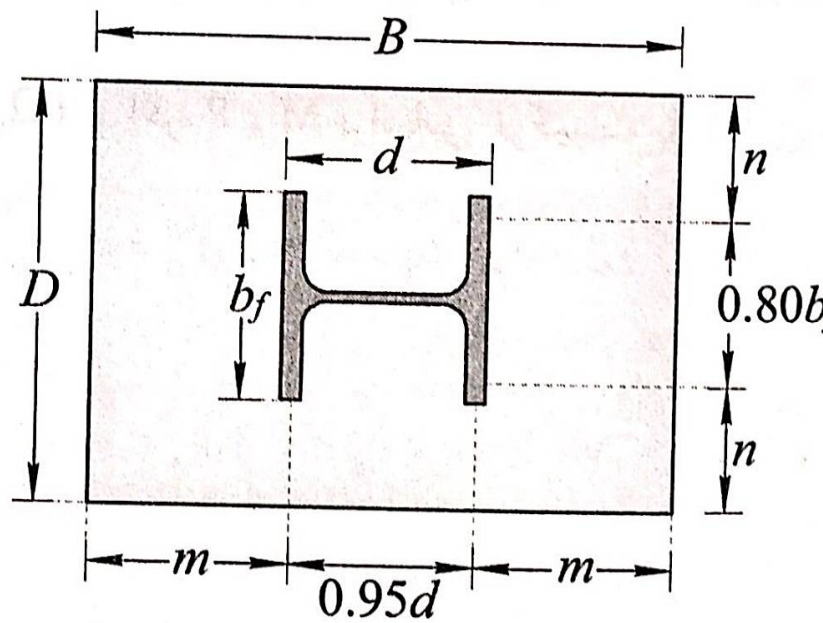
$$V_n = 0.6 \times 235 \times 19,000 \times 1 \Rightarrow V_n = 2679 \text{ KN}$$

- کنترل :

$$V_u = 572.4 \leq \phi_v \cdot V_n = 0.9 \times 2679 = 2411.1 \text{ O.K.}$$



ب - ستون قوطی شکل

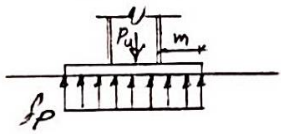
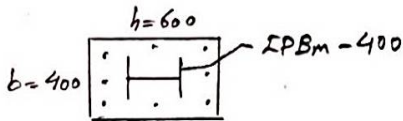


الف - ستون I شکل

مثال ۱. ابعاد صفحه زیر ستون زیر را کنترل کنید و ضوابط آنرا هم فرض کنید.

$A_2^{plan} = 1,581,067 \text{ mm}^2$ و $A_2^{sec} = 2,063,600 \text{ mm}^2$ است و فولاد مصرفی از نوع S275 با $F_y = 275 \text{ MPa}$ و $F_u = 6000 \text{ KN}$ می باشد.

مقاومت مشخصه بتن $f'_c = 30 \text{ MPa}$ است.



$$A_1 = 400 \times 600 = 240,000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \min \{ A_2^{plan}, A_2^{sec} \} = 1,581,067 \text{ mm}^2$$

$$F_p = 0.85 f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2.18 f'_c \leq 1.7 f'_c \Rightarrow F_p = 1.7 f'_c$$

$$F_p = 1.7 \times 30 = 51 \text{ MPa}$$

$$f_p = \frac{P_u}{A_1} = \frac{6000 \times 1000}{240000} = 25 \text{ MPa} \leq \phi_c F_p = 0.65 \times 51 = 33.2 \text{ OK. } \checkmark$$

تعیین ضوابط:

$$\text{IPBm-400} \rightarrow d = 400 \text{ mm}, b_f = 300 \text{ mm}$$

$$m = \frac{1}{2} (600 - 0.95d) = 110 \text{ mm} \rightarrow M_{u1} = f_p \times \frac{m^2}{2} = 15,1250 \text{ N.mm/mm} \rightarrow$$

$$n = \frac{1}{2} (400 - 0.8b_f) = 80 \text{ mm} \rightarrow M_{u2} = f_p \times \frac{n^2}{2} = 80,000$$

$$\rightarrow M_{u\max} = 151,250 \text{ N.mm/mm} \quad \text{I t}$$

$$M_n = F_y \cdot Z = \frac{1}{4} \times 1 \times t^2 \cdot F_y$$

$$M_{u\max} \leq \phi_b M_n = 0.9 \times \frac{1}{4} t^2 \cdot F_y \Rightarrow t = \sqrt{\frac{4 M_{u\max}}{0.9 F_y}} = 49.4 \text{ mm} \rightarrow t = 50 \text{ mm}$$