

فصل ۱

فصل ۲

فصل ۳

فصل ۴

فصل ۵

فصل ۶

طراحی شالوده های بتن آرمه

مقدمه

خط پایان جریان بارهای ثقلی و جانبی در سازه، شالوده ها^۱ هستند. شالوده ها با افزایش سطح توزیع بار، تنش حاصل از بارهای وارد بر ستون ها و دیوارها را تا مقدار تنش مجاز خاک کاهش می دهند. در این بخش به بیان انواع شالوده ها و ضوابط طراحی آن ها خواهیم پرداخت.

جرعه ای تجربه:

در ادبیات مهندسی خیلی اوقات تفاوتی بین دو واژه پی و شالوده در نظر گرفته نمی شود و هر دو کلمه به یک معنا مورد استفاده قرار می گیرند. اما باید توجه داشته باشید که شالوده واژه کلی تری نسبت به پی بوده و برای انواع سطحی و عمقی این عضو رابط بین سازه و خاک مورد استفاده قرار می گیرد. حال آنکه پی بیشتر برای شالوده های سطحی بکار برده می شود.

۱-۲ انواع شالوده‌ها

بند ۹-۱۵-۲: شالوده‌ها به دو دسته شالوده‌های سطحی و عمیق تقسیم بندی می‌شوند. زمانی که خاک زیر سازه سست باشند، از شالوده‌های عمیق جهت انتقال بار سازه به لایه‌های زیرین و سخت‌تر خاک استفاده می‌شود. انواع شالوده‌ها شامل شالوده منفرد، شالوده مرکب، شالوده نواری، شالوده گسترده و شمع‌ها هستند.

شالوده منفرد^۲: به شالوده‌ای اطلاق می‌شود که بار یک ستون یا دو ستون نزدیک به هم را در محل درز انبساط به زمین منتقل می‌نماید. شالوده‌ی منفرد می‌تواند در پلان به شکل مربع مستطیل، چند ضلعی منظم، دایره یا هر شکل غیر منظم باشد؛ و در مقطع نیز می‌تواند به شکل مربع مستطیل، دوزنقه و یا پلکانی باشد. عملکرد شالوده‌ی منفرد به صورت دو طرفه است.

شالوده‌ی مرکب^۳: به شالوده‌ای اطلاق می‌شود که بار دو ستون (عملکرد یک طرفه) یا چهار ستون (عملکرد دو طرفه) را به زمین منتقل می‌کند. شالوده‌ی مرکب می‌تواند در پلان به شکل مربع مستطیل، چند ضلعی منظم، دایره یا هر شکل غیر منظم باشد؛ و در مقطع نیز می‌تواند به شکل مربع مستطیل، دوزنقه و یا پلکانی باشد. شالوده‌های منفردی که نزدیک به هم باشند، می‌توانند به یکدیگر پیوسته گردند تا به شالوده‌ی مرکب تبدیل شوند.

شالوده‌ی نواری^۴: به شالوده‌ی یک سره‌ای اطلاق می‌شود که بار دیوار و یا چند ستون را که در یک ردیف قرار دارند، به زمین منتقل می‌نماید. مقطع شالوده می‌تواند به شکل مربع مستطیل، دوزنقه و یا پاشنه‌دار (T وارونه) باشد. در حالتی که شالوده‌ی نواری صرفاً بار دیوار را به زمین منتقل کند، شالوده‌ی نواری دیواری نامیده می‌شود؛ که در مقطع می‌تواند به صورت پلکانی یا شیب‌دار باشد. شالوده‌های نواری می‌توانند به صورت شبکه‌ی نواری متقاطع استفاده شوند.

ت - شالوده‌ی گسترده^۵: به شالوده‌ای اطلاق می‌شود که بار چند ستون یا دیوار را که در ردیف‌ها و امتدادهای مختلف قرار دارند، به زمین منتقل می‌نماید. شالوده‌ی گسترده ممکن است به شکل دال، مجموعه‌ی تیر- دال و یا صندوقه‌ای^۶ ساخته شود.

شمع منفرد^۷: به شمع‌ی گفته می‌شود که مستقیماً بار یک ستون را دریافت نموده و به زمین منتقل می‌نماید.

گروه شمع: گروه شمع به تعدادی شمع گفته می‌شود که بار خود را از یک یا چند ستون از طریق یک سر شمع^۸ مشترک دریافت نمایند.

^۲ Isolated footing

^۳ Combined footing

^۴ Strip footing

^۵ Mat footing

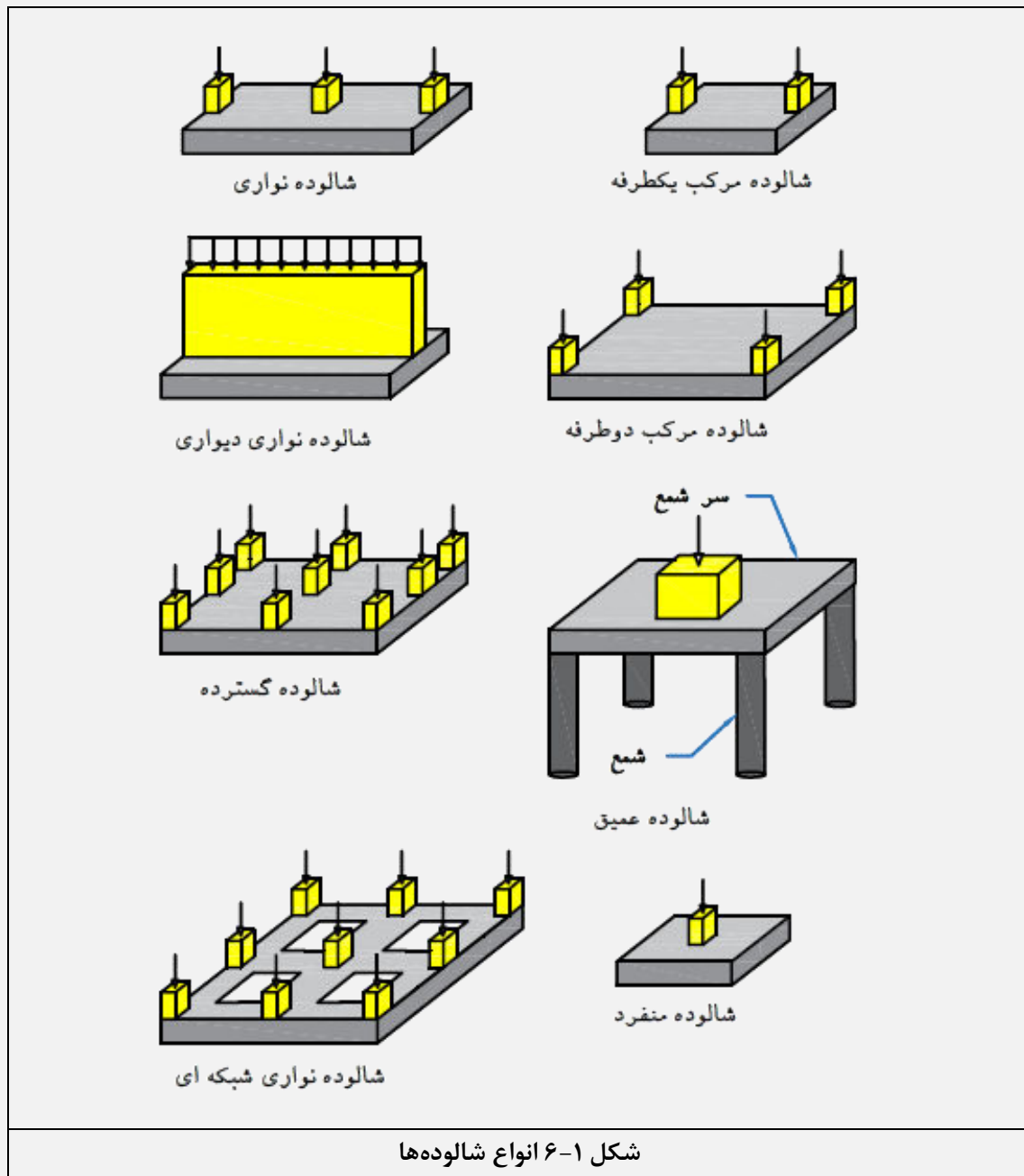
^۶ شالوده صندوقه‌ای یا کیسون به عنوان یک ساختار حائل ضد آب، در اجرای سدها و یا تعمیر کشتی‌ها بکار می‌روند.

^۷ pile

^۸ Pile Caps

فانوس ۱:

شالوده های عمیق از شمع و سر شمع ها تشکیل می شوند. وظیفه سر شمع ها انتقال بار دیوارها و ستون ها به شمع ها است.

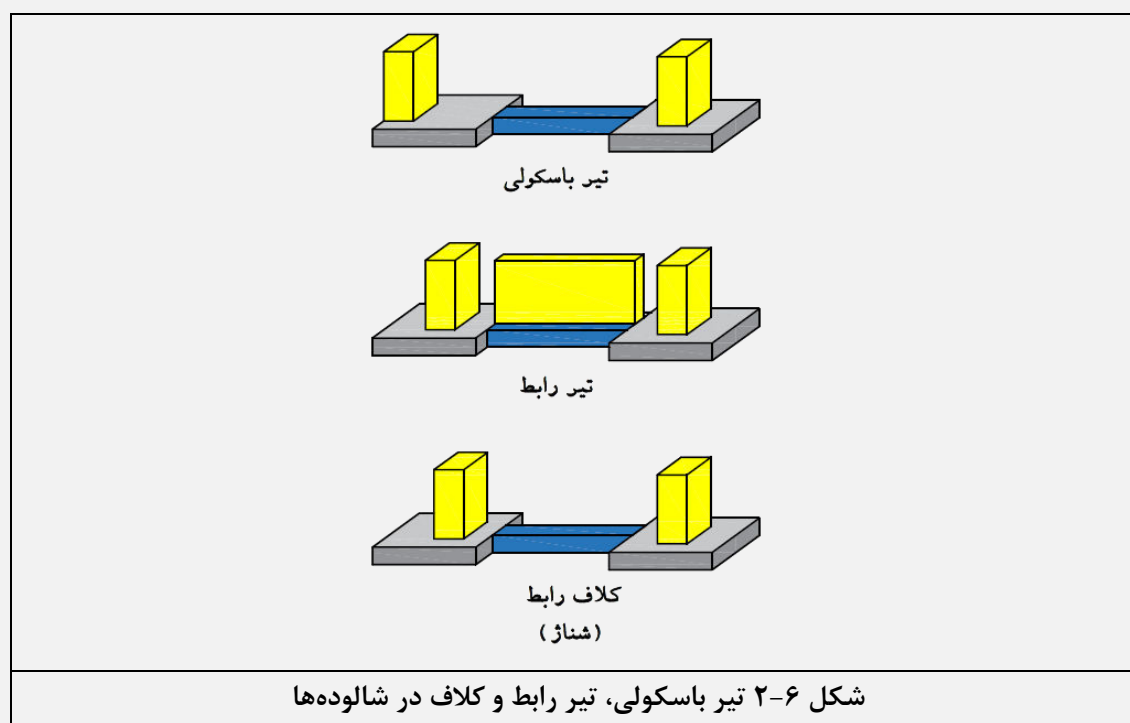


اعضایی مانند تیر روی زمین، تیر باسکولی و کلاف رابط، جهت بهبود عملکرد در شالوده ها حضور دارند. به توضیحات زیر در خصوص این اعضا دقت کنید.

تیر روی زمین: به تیری اطلاق می شود که بار دیوار را به شالوده های منفرد یا سر شمع ها منتقل می نماید. در صورتی که دیوار از نوع بتن مسلح باشد، کل دیوار می تواند به عنوان تیر عمیق روی زمین باشد. این تیر متکی بر خاک فرض نمی شود.

تیر باسکولی: به تیر با سختی نسبی زیادی اطلاق می شود که دو شالوده ای منفرد را که برآیند بارهای وارد بر یکی از آنها دارای برون محوری زیاد نسبت به مرکز شالوده می باشد، به یکدیگر متصل می کند. این تیر متکی بر خاک فرض نمی شود.

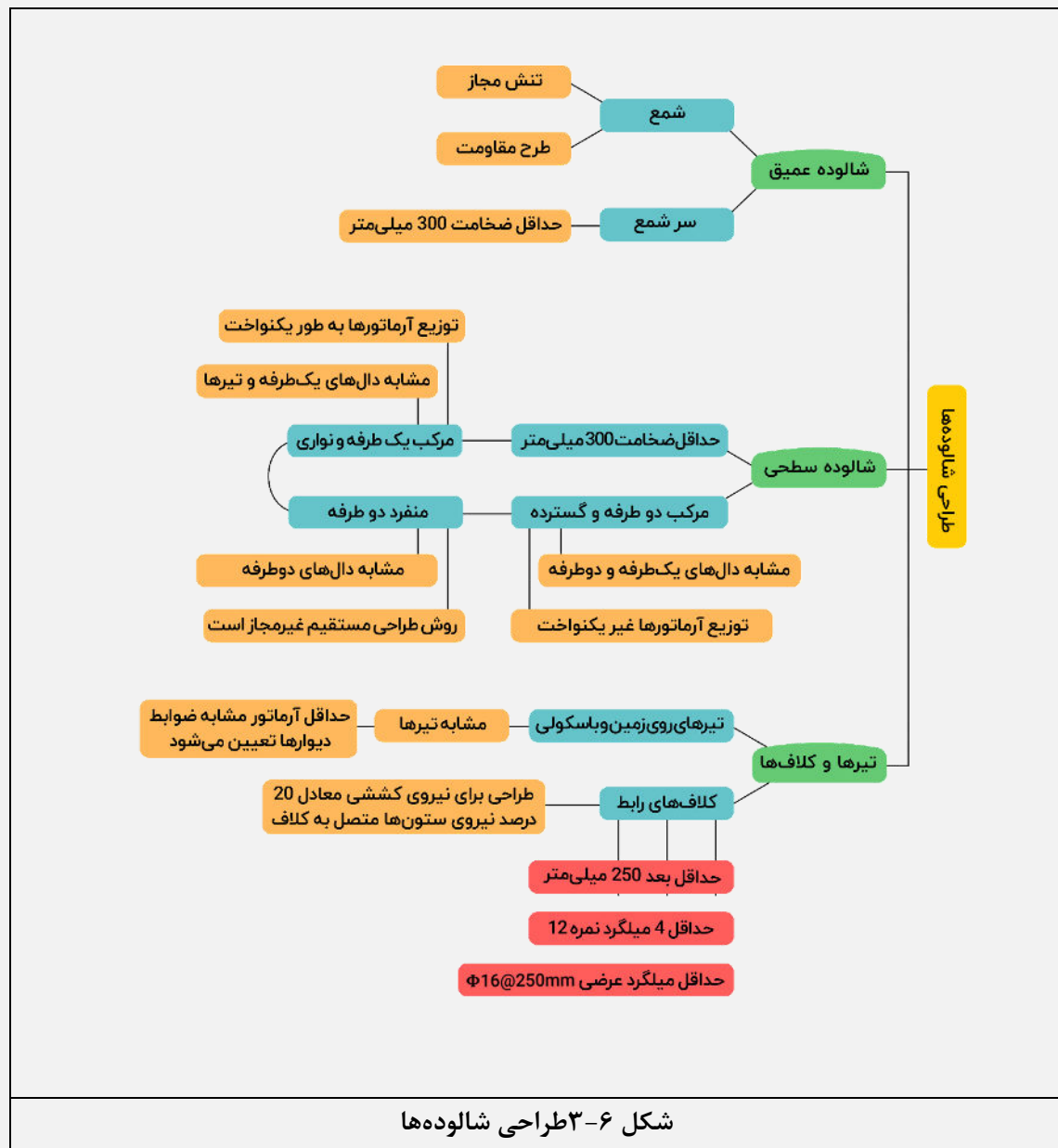
کلاف رابط: به عضوی اطلاق می شود که شالوده های سطحی جدا از هم را در یک سازه در دو امتداد ترجیحا عمود بر هم، متصل می کند؛ به طوری که مانع حرکت نسبی دو شالوده گردد.



۶-۲ طراحی شالوده

رفتار و روش طراحی شالوده ها تا حد زیادی مشابه دال ها بوده و به سبب ناچیز بودن نیروی محوری و لنگر خمشی در این اعضا معمولا طراحی آن ها براساس نیروی برشی و لنگر خمشی انجام می شود. بسته به نوع و عملکرد شالوده، طراحی آن ممکن است مشابه تیرها، دال ها یکطرفه، دال ها دو طرفه و دیوارها انجام شود. پیش از پرداختن به توضیحات مربوط به چگونگی طراحی شالوده ها باید توجه داشت که حداقل ابعاد شالوده ها براساس کاهش تنش انتقالی از سازه به خاک مطابق آنچه که در آموزش طراحی پی موسسه ACE به آن اشاره شده است تعیین می گردد و سپس مطابق ضوابط این فصل جزئیات اجرایی آن تعیین می شود. توجه داشته

باشید که مطابق بند ۹-۱۵-۳-۲-۱ مبحث نهم ضخامت حداقل شالوده های سطحی ۳۰۰ میلی متر می باشد. در ادامه به بررسی روند طراحی انواع شالوده ها خواهیم پرداخت.



۶-۲-۱ شالوده سطحی مرکب یک طرفه و نواری

بخش ۹-۱۵-۳-۲:

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{A_s f_y}{2 \times \alpha_c f'_c \times b} \right)$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \begin{cases} A_v \geq A_{v, \min} \\ A_v < A_{v, \min} \end{cases} \max \begin{cases} \left(0.17\lambda \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right) b_w d \leq 0.42\lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ \left(0.66\lambda(\rho_w)^{\frac{1}{3}} \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right) b_w d \leq 0.42\lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ \left(0.66\lambda_s\lambda(\rho_w)^{\frac{1}{3}} \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right) b_w d \leq 0.42\lambda \sqrt{f'_c} b_w d \end{cases}$$

ϕ : ضریب کاهش مقاومت و براساس جدول ۱-۲ تعیین می شود.

۲-۲-۲ شالوده های سطحی منفرد دو طرفه

بخش ۹-۱۵-۳-۳

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \min \begin{cases} 0.33 \\ 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ 0.083 \left(2 + \frac{a_s d}{b} \right) \end{cases}$$

روش تحلیل مشابه دال های دو طرفه و بوده و هر سه روش: مستقیم، قاب معادل و پلاستیک مجاز است.

مشابه دال های مستطیلی باید مدل آرماتورگذاری زیر در پی رعایت شود:

الف: میلگردها در جهت بلند باید به طور یکنواخت در کل عرض شالوده توزیع شوند.

ب: برای میلگردها در جهت کوتاه، بخشی از کل میلگرد $(\gamma_s A_s)$ باید به طور یکنواخت در نواری به اندازه ی عرض -شالوده با مرکزیت محور ستون یا ستون پایه توزیع شوند. باقی مانده ی میلگردها در جهت کوتاه، $(1 - \gamma_s) A_s$ ، باید به طور یکنواخت در خارج از این نوار در شالوده توزیع شوند. $\gamma_s = 2/(\beta + 1)$ می باشد؛ که β نسبت طول جهت بلند به طول جهت کوتاه است.

۲-۲-۶ شالوده سطحی مرکب دو طرفه و گسترده

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.33 \\ 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \\ 0.083 \left(2 + \frac{a_s d}{b} \right) \end{array} \right\} \times \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

طراحی این نوع از شالوده‌ها دقیقاً مشابه دال‌های دو طرفه بوده با این تفاوت که تنها روش‌های تحلیلی قاب معادل و پلاستیک فقط در آن‌ها مجاز است. (روش تحلیل مستقیم غیر مجاز است)

۶-۲-۴ مقاطع بحرانی برای محاسبه M_u و V_u در شالوده‌های سطحی

بخش ۹-۱۵-۶ مقدار M_u بسته به نوع عضو متکی بر شالوده در مقاطع بحرانی به شرح جدول ۶-۱ است

جدول ۶-۱ محل مقطع بحرانی اعضای متکی به شالوده

عضو متکی	محل مقطع بحرانی
ستون یا ستون پایه	بر ستون یا ستون پایه
ستون با کف ستون فولادی	وسط فاصله‌ی بر ستون و لبه‌ی کف ستون فولادی
دیوار بتنی	بر دیوار
دیوار مصالح بنایی	وسط فاصله‌ی مرکز و بر دیوار بنایی

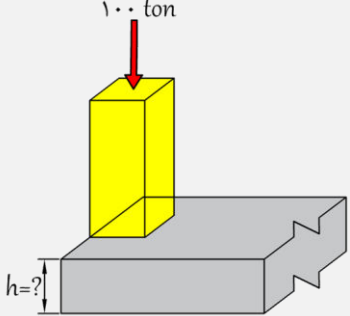
موقعیت مقطع بحرانی را برای برش ضریب‌دار در برش یک طرفه می‌توان به فاصله‌ی d از محل مقطع بحرانی M_u مطابق دال‌های یکطرفه، و در برش دو طرفه به فاصله‌ی $d/2$ از محل مقطع بحرانی M_u مطابق دال‌های دو طرفه تعیین نمود.

ستون‌ها یا ستون پایه‌های بتنی با مقطع دایره یا چند ضلعی منظم را می‌توان به عنوان اعضای با مقطع مربعی با مساحت معادل برای محاسبه‌ی محل‌های مقاطع بحرانی لنگر، برش و طول مهار می‌لگردد منظور نمود.

مثال ۱:

جهت کاهش تنش‌های انتقالی به خاک زیر ساختمانی از پی نواری به عرض ۲ متر در زیر اعضای قائم ساختمان استفاده شده است. آرماتورهای طولی بکار رفته در این پی ۱/۲ درصد بوده و بتن مصرفی در آن از نوع C۲۵ می‌باشد. در صورتی که این پی فاقد آرماتور برشی باشد، تعیین نمایید حداقل ضخامت پی تقریباً چند متر باشد، تا بتواند برش ناشی از بار ستون نشان داده شده در شکل را تحمل نماید؟ میزان فاصله محل تماس پی با خاک تا مرکز آرماتور کششی ۷۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

تالیفی ACE

	الف) ۱ متر ب) ۰/۳ متر ج) ۲/۳ متر د) ۱/۵ متر
---	---

حل:

با توجه به اینکه پی مورد سوال نواری است خواهیم داشت:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \left(0.66 \lambda_s \lambda (\rho_w)^{\frac{1}{3}} \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right) b_w d \leq 0.42 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_s = 0$$

با توجه به اینکه ضخامت پی مشخص نیست ابتدا فرض می‌شود که ضخامت پی برابر حداقل ضخامت مجاز یعنی ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به پوشش ۷۰ میلی‌متر تا مرکز آرماتورهای کششی عمق موثر پی برابر با ۲۳۰ میلی‌متر خواهد بود و در این صورت λ_s برابر با یک می‌باشد.

$$\phi V_n = 0.75 \times \left(0.66 \times (0.012)^{\frac{1}{3}} \sqrt{25} \right) \times 2000 \times d \geq 100 \times 10^4$$

$$\Rightarrow d \geq 882/4 \text{ mm}$$

با توجه به اینکه فرض اولیه غلط است، باید ضریب λ_s اصلاح شود.

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.004d}} = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.004 \times 882/4}} \approx 0.664 \leq 1.0$$

$$\phi V_n = 0.75 \times \left(0.66 \times 0.664 \times (0.012)^{\frac{1}{3}} \sqrt{25} \right) \times 2000 \times d \geq 100 \times 10^4$$

$$d \geq 1329 \text{ mm}$$

مجدد λ_s اصلاح می شود.

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.004d}} = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.004 \times 1329}} \approx 0.563 \leq 1.0$$

$$\phi V_n = 0.75 \times \left(0.66 \times 0.563 \times (0.12)^{\frac{1}{3}} \sqrt{25} \right) \times 2000 \times d \geq 100 \times 10^4$$

$$d \geq 1570/11 \text{ mm}$$

$$H \geq 1/57 + 70 \approx 2/27 \text{ m}$$

علت اینکه مجدد ضریب λ_s اصلاح نشد این بود که با اصلاح آن تغییرات عمق موثر کمتر از ۱۰ درصد می شد.

گزینه ج صحیح است

مثال ۲:

در صورتی که رده بتن مصرفی در یک شالوده C۳۰ باشد، نیروی برشی دوطرفه مقاوم شالوده برای ستون میانی، برابر با نیروی برشی نهایی ایجاد شده بوده و نیازی به میلگرد برشی نمی باشد. اگر رده بتن مصرفی در این شالوده به C۲۵ تقلیل یابد، چند درصد از نیروی برشی نهایی موجود باید توسط میلگرد های برشی تامین شود؟ (ابعاد مقطع ستون 400×600 میلی متر و عمق موثر شالوده برابر 520 mm فرض شود).

محاسبات ۹۷

الف) ۱۲	ب) ۲۵	ج) ۵۴	د) ۱۸
---------	-------	-------	-------

حل)

در حالت اول تمامی مقاومت برشی شالوده توسط بتن تامین می شد و مقدار آن برابر با نیروی برشی در محیط بحرانی شالوده است.

$$V_u = \phi V_{c1}$$

$$\phi V_{c1} = \phi \times \min \left\{ \begin{array}{l} 0.33 \\ 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \\ 0.183 \left(2 + \frac{a_s d}{b} \right) \end{array} \right\} \times \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$\beta = \frac{600}{400} = 1.5$$

$$\Rightarrow a_s = 40 \text{ ستون میانی}$$

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.004d}} = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.004 \times 520}} \approx 0.8 \leq 1.0$$

$$b_c = 2 \times [(600 + 520) + (400 + 520)] = 4080 \text{ mm}$$

$$V_u = \phi V_{c1} = 0.75 \times \min \left\{ \begin{array}{l} 0.33 \\ 0.17 \left(1 + \frac{2}{1.5} \right) \\ 0.83 \left(2 + \frac{40 \times 520}{4080} \right) \end{array} \right\} \times 0.8 \times \sqrt{30} \times 4080 \times 520$$

$$\Rightarrow V_u = \phi V_{c1} = 2300855/39 \text{ N}$$

حالت دوم:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi V_n = \phi (V_{c2} + V_s)$$

$$V_{c2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.33 \\ 0.17 \left(1 + \frac{2}{1.5} \right) \\ 0.83 \left(2 + \frac{40 \times 520}{4080} \right) \end{array} \right\} \times 0.8 \times \sqrt{25} \times 4080 \times 520 = 2800512 \text{ KN}$$

$$0.75 \times (2800512 + V_s) \geq 2300855/39$$

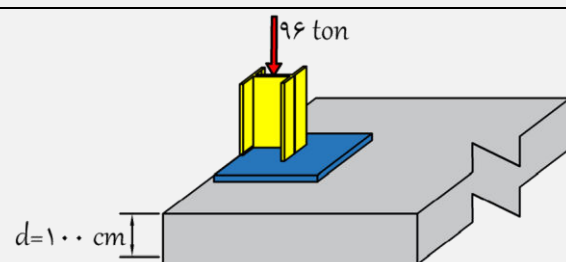
$$\Rightarrow V_s \geq 267295/18 \text{ N}$$

$$\frac{\phi V_s}{V_u} = \frac{267295/18}{2300855/39} \approx 11/6$$

گزینه الف صحیح است.

مثال ۳:

مطابق شکل ستون فولادی ۲۷۰ IPE در مرکز کف ستونی به ابعاد ۶۰ × ۶۰ میلیمتر بر روی شالوده قرار گرفته است. در صورتی که بتن مصرفی در شالوده از نوع C۳۰ و فولاد مصرفی از نوع S۴۲۰ باشد. میزان آرماتورهای کششی محاسباتی در این شالوده بدون توجه به ضوابط حداقلی و حداکثری آرماتور، حداقل چند میلی‌متر مربع باید باشد؟ (عرض پی برابر با ۱۵۰۰ میلی‌متر است و رفتار پی کشش کنترل است).



الف) ۴۲۰۰

ب) ۳۳۱۰

ج) ۶۸۳۰

د) ۵۹۷۰

حل:

در حالتی که ستون به همراه کف ستون فولادی روی شالوده قرار گرفته باشد، محل بحرانی برای محاسبه لنگر نهایی وار بر پی وسط فاصله ی بر ستون و لبه ی کف ستون فولادی است. بنابراین لنگر خمشی نهایی در این محل برابر خواهد بود با:

$$M_u = 960 \times \left(\frac{600 - 270}{2} + 135 \right) = 2/88 \times 10^9 \text{ N.mm}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$\phi A_s f_y \left(d - \frac{A_s f_y}{2 \times \alpha_c f'_c \times b} \right) \geq M_u$$

$$0/9 \times 420 A_s \left(1000 - \frac{420 A_s}{2 \times 0/85 \times 30 \times 1500} \right) \geq 2/88 \times 10^9$$

$$A_s \geq 7967/57 \text{ mm}$$

گزینه د صحیح است.

فانوس ۲:

- در تعیین میلگردهای حداقل خمشی در شالوده های سطحی، ضوابط دال های یک طرفه برای شالوده های سطحی با عمل کرد یک طرفه، و ضوابط دال های دو طرفه برای شالوده های سطحی با عملکرد دو طرفه ملاک محاسبه می باشند. تیرهای روی زمین و تیرهای باسکولی از ضوابط تیرها پیروی می کنند.

$$A_{s-min} = \begin{cases} \text{شالوده های سطحی با عملکرد یکطرفه} & 0/0018 A_g \\ \begin{cases} v_{uv} \leq \phi 0/17 \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} & 0/0018 A_g \\ v_{uv} > \phi 0/17 \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} & \frac{5 v_{uv} b_{slab} b}{\phi \alpha_s f_y} \end{cases} & \text{شالوده های سطحی با عملکرد دو طرفه} \end{cases}$$

- نسبت سطح مقطع آرماتور آجدار حرارتی و جمع شدگی به سطح مقطع ناخالص بتن باید بزرگتر یا مساوی ۰/۰۰۱۸ در نظر گرفته شود.
- آرماتورهای حرارتی در شالوده های با ضخامت بیش تر از ۲۰۰ میلی متر باید در دو لایه نزدیک به سطوح زیر و روی شالوده قرار داده شوند. در شالوده های با ضخامت کمتر می توان آن ها را در یک لایه قرار داد.
- فاصله آرماتورهای حرارتی و جمع شدگی از یکدیگر نباید بیش تر از ۳۵۰ میلی متر در نظر گرفته شود.

فانوس ۳:

طول گیرایی میلگردها در شالوده‌ها مطابق ضوابط و روابط طول گیرایی در فصل دوم محاسبه می‌شود. مهار کافی برای میلگرد کششی در جایی که تنش میلگرد کششی مستقیماً متناسب با لنگر نمی‌باشد، مانند شیب‌ها، پله‌ها یا شالوده‌های با ضخامت متغیر، و یا در جایی که میلگرد کششی موازی وجه فشاری نیست، الزامی می‌باشد.

مثال ۴:

یک شالوده نواری به عرض ۱/۵ متر، ارتفاع کلی ۷۰۰ میلی‌متر و عمق موثر ۶۰۰ میلی‌متر مفروض است. چنانچه مقدار آرماتور محاسباتی در ناحیه کششی برابر ۷/۵ سانتی‌مترمربع محاسبه گردیده باشد، برای این شالوده حداقل آرماتور در ناحیه کششی به کدام یک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟

محاسبات ۹۲

الف) ۱۰ سانتی‌متر مربع

ب) ۷/۵ سانتی‌متر مربع

ج) ۱۸/۹ سانتی‌متر مربع

د) ۲۲/۵ سانتی‌متر مربع

حل)

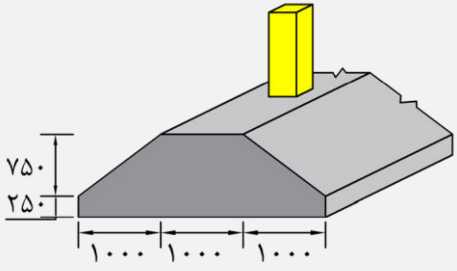
با توجه به عملکرد یکطرفه پی نواری و توضیحات فانوس ۲ داریم:

$$A_{s-min} = 0.0018 A_g = 0.0018 \times (700 \times 1500) = 1890 \text{ mm}^2 = 18.9 \text{ cm}^2$$

گزینه ج صحیح است.

مثال ۵

پی نواری بتنی درجا در زیر یک ستون دارای مقطع نشان داده شده، می‌باشد. مقدار حداقل سطح مقطع آرماتور حرارت و جمع شدگی در این پی به کدام یک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (بتن از رده C۲۵ و فولاد از نوع S۴۰۰ می‌باشد و ابعاد بر حسب میلی‌متر است).



الف) $25/4 \times 10^2 \text{ mm}^2$

ب) $22/3 \times 10^2 \text{ mm}^2$

ج) $41/2 \times 10^2 \text{ mm}^2$

د) $46/6 \times 10^2 \text{ mm}^2$

(حل)

با توجه به عملکرد یکطرفه پی نواری و توضیحات فانوس ۲ داریم:

$$A_{s-min} = 0.0018 A_g = 0.0018 \times \left[(250 \times 3000) + \left(\frac{3000 + 1000}{2} \right) \times 750 \right]$$

$$\Rightarrow A_{s-min} = 22275 \text{ mm}^2$$

گزینه ب صحیح است.

مثال ۶:

ستونی بتنی به ابعاد 500×500 میلی‌متر در مرکز یک پی منفرد به ابعاد 2000×2000 میلی‌متر و ارتفاع موثر 1000 میلی‌متر قرار گرفته است. تنش برشی ایجاد شده در محیط بحرانی سوراخ شدگی اطراف ستون برابر با 1 مگاپاسکال می‌باشد. در صورتی که بتن مصرفی در این پی، معمولی و از رده C25 و فولاد مصرفی از نوع S420 باشد، حداقل سطح مقطع آرماتورهای ناحیه کششی در این پی چند میلی‌متر مربع خواهد بود؟

تالیفی ACE

الف) ۵۲۶۶	ب) ۴۷۶۲	ج) ۳۶۰۰	د) ۲۴۷۵
-----------	---------	---------	---------

(حل)

با توجه به عملکرد دوطرفه پی و توضیحات فانوس ۲ داریم:

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.004d}} = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.004 \times 1000}} \approx 0.632 \leq 1.0$$

$$\begin{cases} v_{uv} = 1 \\ \varphi \cdot 0.17 \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} = 0.175 \times 0.17 \times 0.632 \times \sqrt{25} = 0.429 \end{cases} \Rightarrow v_{uv} > \varphi \cdot 0.17 \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$\Rightarrow A_{s-min} = \frac{5 v_{uv} b_{slab} b}{\phi \alpha_s f_y} = \frac{5 \times 1 \times 2000 \times 4 \times (500 + 1000)}{0.175 \times 40 \times 420} = 4761.9 \text{ mm}^2$$

گزینه ب صحیح است.

۶-۲-۵ طراحی شالوده های عمیق

در این قسمت ابتدا به طراحی شمع ها و سپس طراحی سر شمع ها می پردازیم.

۶-۲-۵-۱ طراحی شمع ها

طراحی شمع ها می تواند به دو روش مقاومت مجاز و روش طرح مقاومت انجام شود. تعداد و نحوه ی آرایش شمع ها به صورتی تعیین می شوند که نیروها و لنگرهای وارد بر شالوده ی عمیق، از مقاومت های مجاز آن که با استفاده از اصول مکانیک خاک و سنگ در انطباق با مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان (آموزش طراحی پی موسسه ACE) تعیین می گردند، کمتر باشد.

۶-۲-۵-۲ طراحی سازه های شمع به روش مقاومت مجاز

۹-۱۵-۲: در صورت وجود دو شرط زیر می توان از روش مقاومت مجاز برای طراحی شمع ها استفاده نمود:

- شمع ها در تمام طول خود به طور جانبی مهار شده باشند.
- لنگرهای ایجاد شده در شمع ها ناشی از نیروهای وارده کمتر از لنگر ناشی از برون محوری اتفاقی به میزان ۵ درصد قطر یا عرض شمع باشند.

در روش طراحی شمع ها به شیوه مقاومت مجاز باید نامعادله زیر برقرار باشد:

$P_a \geq P_u$	رابطه (۱)
----------------	-----------

P_u : نیروی فشاری وارد بر شمع بوده که براساس ۱۰ ترکیب بار صفحه ۱۲ مبحث ششم مقررات ملی ساختمان تعیین می شود. (N)

P_a : مقاومت مجاز فشاری شمع بوده که مطابق جدول ۶-۲ محاسبه می شود. (N)

جدول ۶-۲ حداکثر مقاومت مجاز فشاری شمع

نوع شمع	حداکثر مقاومت مجاز فشاری
شمع درجا ریز بدون غلاف	$P_a = 0.3f'_c A_g + 0.4f_y A_s$
شمع درجا ریز با غلاف فولادی نازک که محصور شده نمی باشد.	$P_a = 0.33f'_c A_g + 0.4f_y A_s$
شمع درجا ریز محصور شده با لوله ی فولادی که محصور شده می باشد.	$P_a = 0.4f'_c A_g$

شمع پیش ساخته	$P_a = 0.33f'_c A_g + 0.4f_y A_s$
---------------	-----------------------------------

فانوس ۴:

A_g سطح مقطع ناخالص می باشد و در صورتی که از جداره های موقتی یا دائم استفاده شود، وجه درونی غلاف به عنوان سطح خارجی مقطع در نظر گرفته می شود. A_s شامل مساحت غلاف فولادی نمی شود.

فانوس ۵:

شمع های درجا ریز با غلاف فولادی نازک، به شرط برآورده شدن شرایط زیر محصور شده محسوب می گردند:

الف - در طراحی از مقاومت محوری غلاف صرف نظر شده باشد.

ب - غلاف دارای نوک آب بند باشد، و به روش ماندلر حفاری شده باشد.

پ - ضخامت غلاف فولادی کمتر از ۲ میلی متر نباشد.

ت - غلاف بدون درز و وصله باشد، یا وصله ها حداقل مقاومتی معادل مقاومت مصالح پایه ی غلاف ایجاد نمایند و شکل آنها به گونه ای باشد که شرایط محصور شدگی را برای بتن درجا ریز فراهم نماید.

ث - نسبت مقاومت مشخصه ی تسلیم فولاد غلاف به مقاومت مشخصه ی فشاری بتن حداقل ۶ باشد؛ و مقاومت مشخصه ی تسلیم فولاد از ۲۱۰ مگاپاسکال کمتر نباشد.

ج - قطر اسمی حداکثر شمع ۴۰۰ میلی متر باشد.

مثال ۷:

برای انتقال نیروی فشاری ۱۷۰ تنی ستونی به لایه سخت زمین بستر ساختمانی در کلاردشت، ابتدا به عمق ۳ متر، زمین توسط مته حفاری شده و سپس غلاف فولادی دایره ای شکل به قطر داخلی ۴۱۰ میلی متر و ضخامت ۳ میلی متر در داخل آن فرو رفته و داخل آن براساس طراحی باید توسط بتن و آرماتور پر شود. با فرض اینکه بتن مصرفی در داخل غلاف از رده C۳۰ بوده و آرماتورها همگی از نوع S۴۲۰ باشند، کدام یک از گزینه های زیر آرماتورگذاری طولی ایمن و اقتصادی داخل این غلاف را به درستی نشان می دهد؟ (خاک اطراف شمع بخوبی کوبیده شده و امکان کمانش شمع وجود ندارد. آرماتورهای طولی توسط دورپیچ مهار شده اند.)

تالیفی ACE

الف) ۸Φ۲۰	ب) ۱۰Φ۱۸	ج) ۹Φ۲۰	د) ۹Φ۱۸
-----------	----------	---------	---------

حل:

شمع بیان شده در مثال را می توان به روش مقاومت مجاز طراحی نمود زیرا دو شرط:

- شمع ها در تمام طول خود به طور جانبی مهار شده باشند.
- لنگرهای ایجاد شده در شمع ها ناشی از نیروهای وارده کمتر از لنگر ناشی از برون محوری اتفاقی به میزان ۵ درصد قطر یا عرض شمع باشند.

در این شمع رعایت شده است. حال به حل مثال پردازیم. در طراحی به روش مقاومت مجاز داریم:

$$P_a \geq P_u$$

به سبب اینکه قطر اسمی شمع ۴۱۰ میلی متر است این شمع محصور شده نبوده و P_a از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$P_a = 0.33 f'_c A_g + 0.4 f_y A_s$$

$$0.33 \times 30 \times \frac{\pi \times 410^2}{4} + 0.4 \times 420 \times A_s \geq 170 \times 10^4$$

$$\Rightarrow A_s \geq 2339 \text{ mm}^2$$

$$8 \times \frac{\pi \times 20^2}{4} = 2513/27 \text{ mm}^2$$

گزینه ایمن و اقتصادی $8\Phi 20$ می باشد گزینه های دیگر رو شما بررسی کنید.

گزینه الف صحیح است.

مثال ۸:

کدام یک از گزینه های زیر نادرست است؟

تالیفی ACE

- الف) در طراحی شمع ها به روش تنش مجاز نباید مساحت غلاف در نظر گرفته شود.
- ب) یک شمع دایره ای به قطر ۴۰۰ میلی متر را که تحت نیروی محوری فشاری ۱۰۰ تن و لنگر خمشی ۱/۵ تن متر است را در صورتی که مهار جانبی شده باشد نمی توان به روش تنش مجاز طراحی نمود.
- ج) شمع تشکیل شده از غلاف با تنش تسلیم ۲۴۰ مگاپاسکال و بتن داخل آن با مقاومت مشخصه ۵۰ مگاپاسکال محصور شده نمی باشد.
- د) برای اینکه غلاف فولادی برای بتن شمع محصور شدگی ایجاد نماید، ضخامت آن باید بیش از ۲ میلی متر باشد.

حل)

در گزینه ب لنگر ایجاد شده در شمع کمتر از لنگر ناشی از برون محوری اتفاقی به میزان ۵ درصد قطر می باشد و لذا در صورتی که مهار جانبی شمع تامین شده باشد، طراحی به روش مقاومت مجاز قابل قبول است.



در گزینه ج نسبت تنش تسلیم غلاف به مقاومت مشخصه بتن برابر با $4/8$ است که از مقدار ۶ کمتر است و لذا شمع مهارشده محسوب نمی شود.
گزینه ب صحیح است.

۳-۲-۵-۶ طراحی شمع ها به روش طرح مقاومت

طراحی شمع ها به روش طرح مقاومت برای انواع شمع ها مجاز و مشابه طراحی ستون ها می باشد. نکته مهمی که در این بخش باید به آن توجه کرد، چنانچه شمع تحت نیروی محوری فشاری بدون حضور لنگر خمشی باشد، در نامساوی $\phi M_n \geq M_u$ ضریب ϕ از جدول ۳-۶ تعیین می شود. در صورتی که شمع تحت نیروی برشی، ترکیب لنگر خمشی و نیروی محوری و یا نیروی محوری کششی باشد، ضرایب کاهش مقاومت از جدول ۱-۲ فصل دوم تعیین می شود.

جدول ۳-۶ ضرایب کاهش مقاومت محوری فشاری ϕ برای شمع ها

نوع شمع	ضرایب کاهش مقاومت محوری فشاری
شمع درجا ریز بدون غلاف	۰/۵۵
شمع درجاریز با غلاف نازک فولادی که مطابق فانوس ۴ محصور شده نمی باشد.	۰/۶۰
شمع درجا ریز محصور شده با لوله ای فولادی ضخیم (بیشتر از ۶ میلی متر)	۰/۷۰
شمع درجا ریز محصور شده با لوله ای فولادی که مطابق فانوس ۴ محصور شده می باشد.	۰/۶۵
شمع پیش ساخته	۰/۶۵

فانوس ۶:

ضریب ۰/۵۵ یک حد بالا برای شرایط خاک خوب و سیستم اجرایی با کنترل کیفیت خوب می باشد. مقادیر کمتری را می توان بسته به نوع خاک، سیستم اجرایی و سیستم کنترل کیفیت، مورد توجه قرار داد.

فانوس ۷:

بخش ۹-۴-۱۵: شمع های درجا ریز که در معرض برکنش قرار دارند، یا M_u در آنها بزرگتر از $0.4M_{cr}$ باشد، باید مسلح به میلگرد بوده یا توسط لوله ای فولادی محاط شده باشند.

قسمت‌هایی از شمع‌ها که در هوا، آب یا خاک سستی قرار دارند که نمی‌تواند مقاومت کافی در طول عضو برای جلوگیری از کمانش را فراهم کند، باید به عنوان ستون مطابق فصل سوم طراحی شوند.

فانوس ۸:

- بخش ۹-۱۵-۴: در شمع‌های پیش ساخته در سازه‌های با شکل‌پذیری کم، باید دو ضابطه زیر رعایت شود.
- لازم است آرایش میلگردهای طولی به صورت متقارن باشد؛ و حداقل ۴ میلگرد طولی به مساحت حداقل 0.008 سطح مقطع ناخالص شمع فراهم گردد.
 - میلگردهای طولی باید با میلگردهای عرضی، حداقل به قطر ۱۰ میلی‌متر محاط گردند. فاصله‌ی پنج میلگرد عرضی اول حداکثر ۲۵ میلی‌متر، فاصله‌ی میلگردهای عرضی تا طول ۶۰۰ میلی‌متر از هر دو انتهای شمع حداکثر ۱۰۰ میلی‌متر، و فاصله‌ی میلگردهای عرضی در بقیه‌ی طول شمع حداکثر ۱۵۰ میلی‌متر باشد.

مثال ۹:

برای انتقال نیروی فشاری ۲۲۰ تنی ستونی به لایه سخت زمین بستر ساختمانی در کلاردشت، ابتدا به عمق ۳ متر، زمین توسط مته حفاری شده و سپس غلاف فولادی دایره‌ای شکل به قطر داخلی ۴۱۰ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر در داخل آن فرو رفته و داخل آن براساس طراحی باید توسط بتن و آرماتور پر شود. با فرض اینکه بتن مصرفی در داخل غلاف از رده C۳۰ بوده و آرماتورها همگی از نوع S۴۲۰ باشند، کدام یک از گزینه‌های زیر آرماتورگذاری طولی ایمن و اقتصادی داخل این غلاف را به درستی نشان می‌دهد؟ (خاک اطراف شمع بخوبی کوبیده شده و امکان کمانش شمع وجود ندارد. آرماتورهای طولی توسط دورپیچ مهار شده‌اند.)

تالیفی ACE

الف) ۸Φ۲۰	ب) ۱۰Φ۱۸	ج) ۹Φ۲۰	د) ۹Φ۱۸
-----------	----------	---------	---------

حل:

این بار مثالی که پیش‌تر به روش تنش مجاز حل کرده بودیم را به روش طرح مقاومت حل می‌کنیم.

$$\phi P_n \geq P_u$$

با توجه به ضخامت غلاف و قطر داخلی آن، شمع توسط غلاف نازک فولادی محصور نشده است و مطابق جدول ۳-۶ ضریب کاهش مقاومت برابر 0.6 خواهد بود.

$$P_n = 0.85[(A_g - A_s)\alpha f'_c + A_s f_y]$$

$$0.6 \times 0.85 \left[\left(\frac{\pi \times 410^2}{4} - A_s \right) \times 0.85 \times 30 + 420 A_s \right] \geq 220 \times 10^4$$

$$\Rightarrow A_s \geq 2400.7 \text{ mm}^2$$

$$A \times \frac{\pi \times 20^2}{4} = 2513/27 \text{ mm}^2$$

گزینه ایمن و اقتصادی $8\Phi 20$ می باشد گزینه های دیگر رو شما بررسی کنید.
گزینه الف صحیح است.

۴-۵-۲-۶ طراحی سر شمع ها

بخش ۹-۱۵-۴-۱:

الف) چنانچه رفتار سر شمع ی یکطرفه باشد، طراحی خمشی و برشی سر شمع مشابه دال های یکطرفه انجام می شود.

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{A_s f_y}{2 \times \alpha \cdot f'_c \times b} \right)$$

M_u : در مقطع مشخص شده مطابق جدول ۶-۱ محاسبه می شود. (N.m)

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \begin{cases} A_v \geq A_{v, \min} & \max \begin{cases} \left(0.17\lambda \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right) b_w d \leq 0.42\lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ \left(0.66\lambda (\rho_w)^{\frac{1}{3}} \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right) b_w d \leq 0.42\lambda \sqrt{f'_c} b_w d \end{cases} \\ A_v < A_{v, \min} & \left(0.66\lambda_s \lambda (\rho_w)^{\frac{1}{3}} \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right) b_w d \leq 0.42\lambda \sqrt{f'_c} b_w d \end{cases}$$

V_u : در فاصله d از محل مشخص شده در جدول ۶-۱ محاسبه می شود. (N)

ب) چنانچه رفتار سر شمع دو طرفه باشد، طراحی خمشی و برشی سر شمع مشابه دال های دو طرفه انجام می شود.

$$\phi M_n \geq M_u$$

M_u : پس از تحلیل براساس یکی از سه روش: مستقیم، قاب معادل و پلاستیک در مقطع مورد نظر تعیین می شود. (N.m)

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.33 \times 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ 0.183 \left(2 + \frac{a_s d}{b} \right) \end{array} \right.$$

فانوس ۹:

- در اکثر موارد سر شمع‌ها به روش خرپایی طراحی می‌شوند که در جلد دوم همین کتاب به آن اشاره شده است.
- برش ضریب‌دار (V_u) در هر مقطعی از سر شمع مطابق (الف) تا (پ) محاسبه می‌شود:
- الف -** عکس‌العمل همه‌ی شمع‌هایی که مرکز آنها در فاصله‌ای برابر با نصف قطر شمع یا بیشتر در خارج مقطع مورد بررسی قرار دارد، به عنوان عامل ایجاد برش در نظر گرفته می‌شود.
- ب -** عکس‌العمل همه‌ی شمع‌هایی که مرکز آنها در فاصله‌ای برابر با نصف قطر شمع یا بیشتر در داخل مقطع مورد بررسی قرار دارد، به عنوان عامل ایجاد برش در نظر گرفته نمی‌شود.
- پ -** برای موقعیت‌های مرکز شمع بین دو حالت بالا، بخشی از عکس‌العمل شمع که به عنوان عامل ایجاد برش در آن مقطع محسوب می‌شود، با درونیابی خطی بین مقدار کامل در فاصله‌ی نصف قطر شمع در خارج مقطع مورد بررسی، و مقدار صفر در فاصله‌ی نصف قطر شمع در داخل مقطع مورد بررسی، محاسبه می‌شود.

۵-۲-۵-۶ طراحی تیرهای روی زمین و باسکولی

- بخش ۵-۳-۱۵-۹:** طراحی تیرهای روی زمین و تیرهای باسکولی مشابه طراحی تیرهایی است که در فصل دوم به آن پرداخته شد. باید به دو نکته مهم در خصوص تیرهای روی زمین و تیرهای باسکولی توجه داشته باشید:
- ضوابط حداقل میلگرد طولی و عرضی در تیرهای روی زمین و باسکولی مشابه ضوابط غیر لرزه‌ای دیوارها است.
 - اگر تیر روی زمین به صورت یک تیر عمیق (دیوار) باشد، طراحی آن مشابه فصل پنجم یعنی طراحی دیوارها صورت می‌گیرد.

۶-۲-۵-۶ طراحی کلاف‌های رابط شالوده‌های سطحی

بخش ۹-۱۵-۶: این کلاف‌ها تنها تحت نیروی کششی طراحی می‌شوند. نیروی کششی طراحی در این اعضا معادل ۱۰ درصد بزرگترین نیروی محوری نهایی وارد به ستون‌های دو طرف کلاف می‌باشد. همچنین ابعاد کلاف‌ها باید متناسب با ابعاد شالوده‌ی سطحی، و حداقل ۲۵۰ میلی‌متر اختیار شوند.

تعداد میلگردهای طولی کلاف‌های رابط باید حداقل چهار عدد، و قطر آنها حداقل ۱۲ میلی‌متر باشد. این میلگردها باید توسط میلگردهای عرضی به قطر حداقل ۶ میلی‌متر، و با فواصل حداکثر ۲۵۰ میلی‌متر از یک دیگر در نظر گرفته شوند.

فانوس ۱۰:

میلگردهای طولی کلاف‌های رابط باید در شالوده‌های سطحی میانی ممتد باشند، و در شالوده‌های سطحی کناری در بر خارجی ستون مهار شوند.

در سازه‌های یک طبقه که دارای دهانه‌ی بزرگ هستند، مانند سازه‌های ساختمان‌های صنعتی، آشیانه‌ها و غیره که در آنها شالوده‌ها دارای عمق استقرار و پایداری کافی در برابر نیروهای جانبی هستند، از پیش‌بینی کلاف رابط در امتداد دهانه‌ی قاب می‌توان صرف نظر کرد. در این شالوده‌ها خاکریزی اطراف شالوده باید به روش مناسبی کوبیده و متراکم شود.

مثال ۱۰:

کلاف رابطی، پی منفرد دو ستون بتنی به ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ میلی‌متر را به یکدیگر متصل نموده است. نیروی محوری این ستون‌ها برابر ۱۰۰ و ۸۰ تن می‌باشد. حداقل چند میلی‌متر مربع آرماتور طولی از رده S۴۲۰ باید در این عضو بکار برده شود تا بتواند شرایط عملکرد یکسان دو پی منفرد با یکدیگر را تامین نماید؟

الف) ۲۶۵	ب) ۳۲۶	ج) ۴۵۳	د) ۵۳۶
----------	--------	--------	--------

حل:

طبق توضیحات کلاف رابط باید برای نیروی کششی معادل ده درصد بزرگترین نیروی محوری نهایی وارد به ستون‌های دو طرف خود طراحی شود. همچنین حداقل باید چهار عدد آرماتور طولی نمره ۱۲ در کلاف‌ها بکار برده شود.

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$\phi \times A_s \times f_y \geq 0.1 \times \max\{100, 80\} \times 10^4$$

$$0.19 \times A_s \times 420 \geq 10^5$$

$$\Rightarrow A_s \geq 264/55 \text{ mm}^2$$

$$A_{s-min} = 4 \times \frac{\pi \times 12^2}{4} = 452/38 \text{ mm}^2$$

$$\text{پاسخ صحیح} = \max\{A_s, A_{s-min}\} = 452/38 \text{ mm}^2$$

گزینه ج صحیح است

۶-۳ ضوابط لرزه‌ای شالوده‌ها

چنانچه در نظر دارید شالوده ساختمان شما علاوه بر بارهای ثقلی بارهای ناشی از زلزله را تحمل کند، باید علاوه بر ضوابط بخش‌های قبلی این فصل، ضوابط لرزه‌ای که در این بخش به آن‌ها اشاره می‌شود را نیز رعایت نمایید.

۶-۳-۱ ضوابط لرزه‌ای شالوده‌های تکی، نواری، سراسری، و سر شمع‌ها

بخش ۹-۲۰-۲: ضوابط این بخش باید برای شالوده‌ها و سر شمع‌های بکار رفته در سازه‌های با شکل‌پذیری متوسط و زیاد رعایت شوند. در اینجا تنها به بیان متن صریح آیین نامه در خصوص این ضوابط بسنده می‌کنیم.

- آرماتورهای طولی ستون‌ها و دیوارهایی که نیروهای ایجاد شده در اثر زلزله را تحمل می‌کنند، باید در داخل شالوده‌های تکی، نواری، سراسری، و یا سر شمع‌ها به گونه‌ای مهار شده باشند که بتوانند در فصل مشترک آن‌ها به تنش کششی حد تسلیم برسند. (به اندازه حداقل طول مهاری در داخل شالوده ادامه یابند) همچنین در ستون‌ها متصل به شالوده در صورت نیاز به مهاری قلاب‌دار، انتهای آرماتورهای طولی تعبیه شده برای تحمل خمش باید دارای قلاب‌های با خم ۹۰ درجه به طرف مرکز ستون در نزدیک قسمت تحتانی شالوده باشند.
- در ستون‌ها و یا اجزای لبه‌ی دیوارهای سازه‌ای ویژه که فاصله‌ی لبه‌ی آن‌ها از لبه‌ی شالوده، از نصف ضخامت شالوده کم‌تر است، باید از آرماتورهای عرضی مطابق ضوابط آرماتورهای عرضی ستون‌های با شکل‌پذیری زیاد در قسمت فوقانی شالوده استفاده شود. این آرماتورها باید از روی شالوده به اندازه‌ی طول مهاری آرماتورهای طولی ستون و یا جزء لبه‌ی دیوار برشی ویژه، که برای تنش f_y محاسبه شده است، در درون شالوده ادامه یابند.
- در مواردی که اثرات زلزله در ستون‌ها و یا اجزای لبه‌ی دیوارهای سازه‌ای ویژه ایجاد برکنش می‌نمایند، باید در قسمت فوقانی شالوده یا سر شمع، آرماتورهای خمشی که برای ترکیب‌های ضریب‌دار محاسبه شده‌اند، به کار برده شوند. مقدار این آرماتورها نباید کمتر از مقدار حاصل از رابطه (۲) در نظر گرفته شود.

$A_s \geq \max \left\{ \min \left\{ \max \left\{ \frac{1/4}{f_y}, \frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} \right\}, \frac{1/33 A_{s-\text{محاسباتی}}}{0.0018 A_g} \right\} \right\}$	رابطه (۲)
--	------------------

- شالوده‌های سازه‌های با شکل پذیری متوسط و زیاد باید از نوع بتن آرمه باشند. استفاده از بتن غیر مسلح در شالوده‌ی سازه‌های با شکل‌پذیری کم، در صورتی مجاز است که طراحی آن‌ها مطابق ضوابط آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی باشد.
- سر شمع‌هایی که در شمع‌های مایل استفاده می‌شوند، باید برای کل مقاومت فشاری این شمع‌ها که به صورت ستون کوتاه عمل می‌کنند، محاسبه شوند. اثرات لاغری شمع‌های کوبیدنی باید برای آن قسمت از طول شمع‌ها که در خاک فاقد توانایی ایجاد تکیه‌گاه جانبی برای شمع، و یا در هوا و یا آب قرار می‌گیرند، منظور شوند.

سوال ۱۱:

یک سر شمع بتنی به ضخامت ۴۰ سانتی‌متر جهت کمک به انتقال بارهای ثقیلی و جانبی ناشی از یک سازه با شکل‌پذیری ویژه به خاک بر روی شمع‌های درجاریز دایره‌ای به قطر ۶۰۰ میلی‌متر قرار گرفته است. پس از طراحی این شمع‌ها به روش خرابایی میزان ۱۱۵۰ میلی‌متر مربع به عنوان آرماتورهای خمشی تعیین شده است. در صورتی که بتن مصرفی در این سر شمع از رده C۳۰ و فولاد مصرفی از نوع S۴۲۰ باشد، تعیین نمایید کدام یک از گزینه‌های زیر آرماتورهای خمشی و افت و حرارت این سر شمع را به طور اقتصادی در یک متر طول تامین می‌نماید؟ (ارتفاع موثر سر شمع ۳۵۰ میلی‌متر است)

تالیفی ACE

الف) ۸Φ۱۴	ب) ۷Φ۱۴	ج) ۸Φ۱۶	د) ۷Φ۱۶
-----------	---------	---------	---------

حل:

مطابق رابطه (۲) داریم:

$$A_{s-\min} = \max \left\{ \min \left\{ \max \left\{ \frac{1/4}{f_y}, \frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} \right\} bd, \frac{1/33 A_{s-\text{محاسباتی}}}{0.0018 A_g} \right\} \right\}$$

$$A_{s-\min} = \max \left\{ \min \left\{ \max \left\{ \frac{1/4}{420}, \frac{0.25\sqrt{30}}{420} \right\} \times 350 \times 1000 = 1166/67, \frac{1/33 \times 1150}{0.0018 \times 400 \times 1000} = 72.0 \right\} \right\}$$

$$n \frac{\pi \times 14^2}{4} = A_{s-min} = 1166/67$$

$$\Rightarrow n = 7/57$$

گزینه الف صحیح و اقتصادی تر است

مثال ۱۲:

کدام یک از گزینه های زیر صحیح است؟

تالیفی ACE

الف) در ستون هایی که فاصله لبه آن ها از لبه پی از نصف ضخامت شالوده بیشتر است، آرماتورهای عرضی باید با فاصله حداقل ۱۵۰ میلی متر در شالوده ادامه یابند.

ب) آرماتورهای طولی ستون ها برای اینکه در شالوده ها به تسلیم کششی برسند، باید به میزان سه برابر طول مهاریشان در شالوده ادامه یابند.

ج) انتهای آرماتورهای طولی تعبیه شده برای تحمل خمش باید دارای قلاب های با خم ۹۰ درجه به طرف مرکز ستون در نزدیکی قسمت تحتانی شالوده باشند.

د) سر شمع هایی که در شمع های مایل استفاده می شوند، باید به روش دال های دوطرفه طراحی شوند.

حل)

باتوجه به توضیحات گزینه ج صحیح است.

۲-۳-۲ تیرهای در تراز پی (کلافها) و دالهای متکی به زمین

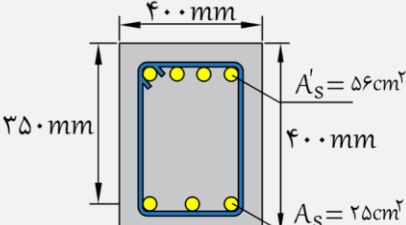
بند ۹-۲۰-۹-۳-۱: در سازه های با شکل پذیری متوسط و زیاد، در تیرهای کلاف و تیرهایی که جزئی از یک شالوده ی گسترده بوده و تحت اثر خمش ستون هایی که جزء سیستم مقاوم باربر زلزله می باشند، قرار می گیرند، باید تمامی ضوابط تیرهای با شکل پذیری زیاد رعایت شوند.

مثال ۱۳:

مقطع تیر باسکولی بتنی، سازه ای با شکل پذیری متوسط در محل اتصال به شالوده منفرد در شکل زیر نشان داده شده است. چنانچه بتن مصرفی تیر از رده C۳۰ و فولاد مصرفی از نوع S۴۰۰ باشد و عمق موثر تیر نیز

۳۵۰ میلی باشد، تعیین نمایید مقاومت خمشی اسمی مثبت و منفی هر مقطع در سراسر طول تیر حداقل باید چند کیلو نیوتن متر باشد؟

تالیفی ACE

	الف) ۱۶۰ ب) ۶۵۰ ج) ۲۳۰ د) ۱۹۰
---	---

حل:

همانطور که گفته شد در تیرهای باسکولی متصل سازه های با شکل پذیری متوسط و زیاد باید ضوابط هندسی و آرماتورگذاری تیرهای با شکل پذیری ویژه رعایت شوند. در تیرهای با شکل پذیری ویژه مقاومت مثبت و منفی هر مقطع در سراسر طول تیر نباید کمتر از یک چهارم حداکثر مقاومت خمشی در مقاطع بر تکیه گاهی در دو انتهای عضو باشد.

در محل اتصال تیر به پی منفرد، لنگر خمشی منفی بوده و آرماتورهای قسمت بالای تیر، کششی و آرماتورهای قسمت پایین تیر، فشاری هستند.

برای محاسبه مقاومت خمشی مقطع نشان داده ابتدا باید، جاری شدن یا نشدن آرماتورهای فشاری بررسی شوند.

$$A_{s-min} = \frac{\alpha \cdot f'_c}{f_y} \left(\beta \times \frac{0.003}{0.003 - \epsilon_y} d' \times b \right) + \frac{A'_s}{f_y} (f_y - \alpha \cdot f'_c)$$

$$A_{s-min} = \frac{0.185 \times 30}{400} \left(0.1835 \times \frac{0.003}{0.003 - 0.002} \times 50 \times 400 \right) + \frac{2500}{400} (400 - 0.185 \times 30)$$

$$A_{s-min} = 5534/5 \text{ mm}^2 = 55/345 \text{ cm}^2 \leq 56 \text{ cm}^2$$

آرماتورهای فشاری جاری شده اند.

$$M_n = \alpha \cdot f'_c (\beta c \times b) \times \left(d - \frac{\beta c}{2} \right) + A'_s (f_{ys} - \alpha \cdot f'_c) \times (d - d')$$

$$\beta c = \frac{A_s f_y - A'_s (f_y - \alpha \cdot f'_c)}{\alpha \cdot f'_c b}$$

$$M_n = \alpha \cdot f'_c \left(\frac{A_s f_y - A'_s (f_y - \alpha \cdot f'_c)}{\alpha \cdot f'_c b} \times b \right) \times \left(d - \frac{A_s f_y - A'_s (f_y - \alpha \cdot f'_c)}{2 \alpha \cdot f'_c b} \right) + A'_s (f_y - \alpha \cdot f'_c) \times (d - d')$$

$$M_n = 0.18 \times 30 \times \left(\frac{5600 \times 400 - 2500 \times (400 - 0.18 \times 30)}{0.18 \times 30 \times 400} \right) \times 400 \times \left(350 - \frac{5600 \times 400 - 2500 \times (400 - 0.18 \times 30)}{2 \times 0.18 \times 30 \times 400} \right) + 2500 \times (400 - 0.18 \times 30) \times (350 - 50) = 653/86 \text{ KN.m}$$

$$M_{n-\min} = \frac{M_n}{4} = 163/465 \text{ KN.m}$$

مثبت و منفی در هر مقطع

گزینه الف صحیح است.

۳-۳-۶ کلاف های لرزه ای در شالوده

بخش ۹-۲۰-۴-۱:

- در سازه های با شکل پذیری متوسط و زیاد، سر شمع ها، ستون پایه ها، و پی های صندوقه ای باید به وسیله ی کلاف های لرزه ای و در جهات متعامد به یکدیگر متصل شوند؛ مگر آن که بتوان ثابت نمود که از روش های دیگر شرایط تکیه گاهی مشابهی برای آنها تأمین شده اند.
- در خاک های متوسط و نرم (زمین نوع IV بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان)، شالوده های منفرد گسترده باید به وسیله ی کلاف های لرزه ای به یکدیگر متصل شوند.
- در مواردی که به کلاف های لرزه ای در شالوده نیاز است، مقاومت کششی و فشاری آنها باید برابر با حداقل $0.1 S_{DS}$ برابر بزرگ ترین نیروی محوری ضریب دار ستون و یا سر شمع تحت بارهای مرده و زنده باشند؛ مگر آن که محدودیت حرکت جانبی از یکی از روش های زیر تأمین شده باشد. S_{DS} پارامتر شتاب پاسخ طیفی در تناوب های کوتاه متناظر با ۵ درصد استهلاک است که بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان تعیین می شود. (معادل حاصل ضرب شدت شتاب منطقه ای در ضریب بازتاب است AB)

الف) وجود تیرهای بتن آرمه در داخل دال متکی به زمین؛

ب) وجود دال های متکی به زمین؛

ج) محصور شدگی شالوده ی منفرد یا سر شمع به وسیله ی بسترهای سنگی مناسب، خاک های چسبنده ی سخت، و یا خاک های دانه ای بسیار متراکم؛

د) سایر روش هایی که به تأیید مقام قانونی مسئول رسیده باشند.

- در سازه های با شکل پذیری متوسط و زیاد، تیرهای در تراز پی را می توان کلاف لرزه ای محسوب نمود؛ به شرط آن که دارای آرماتورهای طولی پیوسته با طول های گیرایی کافی در داخل ستون و یا بعد از

آن بوده و یا آرماتورهای طولی آن‌ها در سر شمع یا شالوده مهار شده باشند، و شرایط زیر را تأمین نمایند:

الف) کوچکترین بُعد تیر در تراز پی بزرگ‌تر از $\frac{1}{3}$ فاصله‌ی آزاد ستون‌های متصل به یکدیگر بوده، ولی نیازی نیست که بزرگ‌تر از ۴۵۰ میلی‌متر باشد.

ب) از دورگیرهای عرضی که فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر از کمترین دو مقدار نصف کوچک‌ترین دو بُعد متعامد مقطع و ۳۰۰ میلی‌متر بیش‌تر نباشد، استفاده شود.

مثال ۱۴:

دوره تناوب ساختمانی با شکل‌پذیری ویژه واقع بر روی خاک نوع II در شهر تهران برابر ۰/۵ ثانیه می‌باشد. دو پی منفرد قرار گرفته در زیر این ساختمان توسط کلافی بتنی به یکدیگر متصل شده‌اند. در صورتی که نیروی محوری وارد بر هریک از این پی‌های منفرد برابر ۱۰۰ تن باشد، حداقل مقاومت فشاری و کششی این کلاف لرزه‌ای باید چند کیلو نیوتن باشد؟

تالیفی ACE

الف) ۱۰۰۰	ب) ۶۵	ج) ۶۳۵	د) ۸۸
-----------	-------	--------	-------

حل:

نیروی محوری ماکزیمم وارد بر ستون‌های دو طرف کلاف $\times 0.1 S_{DS}$ = حداقل مقاومت فشاری و کششی کلاف لرزه‌ای

$$S_{DS} = AB$$

شهر تهران - خاک بستر نوع II - دوره تناوب ساختمان برابر با ۰/۵

$$S_{DS} = 0.35 \times 2/5 = 0.14$$

$$= 0.1 \times 0.14 \times 1000 = 14 \text{ KN}$$

گزینه د صحیح است.

مثال ۱۵:

کدام گزینه شرط محسوب شدن یک تیر بتنی قرار گرفته بر روی زمین به عنوان کلاف لرزه ای است؟

تالیفی ACE

الف) آرماتورهای طولی پیوسته بوده به طور مناسبی در داخل ستون مهار شده باشند.

ب) چنانچه فاصله آزاد ستون های دو طرف تیر ۴ متر باشد، کوچکترین بعد تیر باید از ۲۰۰ میلی متر بزرگتر باشد.

ج) فاصله دورگیرهای عرضی از نصف کوچکترین بعد متعامد تیر و ۳۰۰ میلی متر بیشتر نباشد.

د) هر سه گزینه شروط تعریف تیر روی زمین به عنوان کلاف لرزه ای هستند.

پاسخ:

با توجه به توضیحات گزینه د صحیح است.

۴-۳-۶ شالوده های عمیق

شمع های بتنی به یکی از چهار حالت زیر در سازه های ساختمانی بکار می روند:

الف) شمع های درجاریز بدون غلاف؛

ب) شمع های درجاریز با غلاف نازک فولادی؛

ج) شمع های درجاریز محصور شده با لوله فولادی؛

د) شمع های پیش ساخته بتنی

پس از چندین روز بحث و بررسی بر روی متن مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و آیین نامه بتن آمریکا^۹ توانستیم تمامی ضوابط لرزه ای ارائه شده برای شمع های بکار رفته در ساختمان های با شکل پذیری کم، متوسط و زیاد را در غالب جدول زیر ارائه نماییم:

جدول ۴-۶ ضوابط لرزه ای انواع شمع های بتنی

شمع های پیش ساخته بتنی			شمع های درجا ریز با غلاف	شمع های درجا ریز محصور	شمع های پیش ساخته بتنی
نوع سازه متصل به شمع			شمع های درجا ریز با غلاف بدون غلاف	شمع های درجا ریز محصور با لوله فولادی	شمع های پیش ساخته بتنی
آرماتورهای طولی	کم I-II-III-IV	درصد	۰/۰۰۲۵ (۱)	۰/۰۰۲۵ (۱)	۰/۰۱
		طول	$\max\left\{\frac{l}{\gamma}, 3m, 3D, l_b\right\}$	$\max\left\{\frac{l}{\gamma}, 3m, 3D, l_b\right\}$	کل طول شمع
	متوسط و زیاد I-II-III	درصد	۰/۰۰۵ (۱)	۰/۰۰۵ (۱)	۰/۰۰۸
		طول	$\max\left\{\frac{l}{\gamma}, 3m, 3D, l_b\right\}$	$\max\left\{\frac{l}{\gamma}, 3m, 3D, l_b\right\}$	کل طول شمع
	متوسط و زیاد IV	درصد	۰/۰۰۵ (۱)	۰/۰۰۵ (۱)	۰/۰۰۸
		طول	کل طول شمع بجز (۲) (۳)	کل طول شمع بجز (۲) (۳)	کل طول شمع
آرماتورهای عرضی	کم I-II-III-IV	l_c	۳D از زیر سر شمع	-	۳D از زیر سر شمع
		s	l_c	$\min\{150, 8d_b\}$	$\min\{150, 8d_b\}$
			l'_c	$16d_b$	150mm
		ρ_s	l_c	-	رابطه (۳)
			l'_c	-	رابطه (۴)
		l_c	۳D از زیر سر شمع	۷D بالا و پایین مرز لایه سخت و نرم	$l_m + 3D \geq 10600$
	متوسط و زیاد I-II-III	s	l_c	$\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 6d_b, S\right\}$ (۴) $\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 5d_b, S\right\}$ (۵)	$\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 6d_b, S\right\}$ (۴) $\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 5d_b, S\right\}$ (۵)
			l'_c	مشابه ناحیه غیربحرانی ستون با شکل پذیری زیاد	مشابه ناحیه غیربحرانی ستون با شکل پذیری زیاد
		ρ_s	l_c	$0.06 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	مشابه ستون با شکل - پذیری زیاد
			l'_c	-	-
		l_c	۷D از زیر سر شمع	۷D بالا و پایین مرز لایه سخت و نرم	$l_m + 3D \geq 10600$
		s	l_c	$\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 6d_b, S\right\}$ (۴) $\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 5d_b, S\right\}$ (۵)	$\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 6d_b, S\right\}$ (۴) $\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 5d_b, S\right\}$ (۵)
			l'_c	مشابه ضوابط شمع های پیش ساخته غیر لرزه بر	مشابه ناحیه غیربحرانی ستون با شکل پذیری زیاد
	متوسط و زیاد IV	ρ_s	l_c	$0.06 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	مشابه ستون با شکل - پذیری زیاد
			l'_c	-	-
		s	l_c	$\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 6d_b, S\right\}$ (۴) $\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 5d_b, S\right\}$ (۵)	$\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 6d_b, S\right\}$ (۴) $\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 5d_b, S\right\}$ (۵)
			l'_c	$\min\left\{\frac{D}{\gamma}, 12d_b, 150\right\}$	مشابه فانوس ۸

(۱) : حداقل تعداد میلگردهای طولی در ستون براساس موارد زیر تعیین می شود:

الف) میلگردهای داخل تنگ های مثلثی: ۳ عدد؛

ب) میلگردهای داخل تنگ های مستطیلی یا دایروی: ۴ عدد؛

پ) میلگردهای داخل دورپیچ و یا در ستون های قاب های خمشی ویژه محصور شده با دورگیرهای دایروی؛
۶ عدد

(۲): در شمع هایی که به طول کافی در خاک سخت و یا سنگ قرار دارند، آرماتور بندی را می توان در فاصله ی کم ترین دو مقدار ۵ درصد طول شمع و یا ۳۳ درصد طولی از شمع که در سنگ یا خاک سخت قرار دارد، از نوک شمع قطع نمود.

(۳): به جای منظور نمودن آرماتور حداقل در سر تا سر طول شمع، شمع را می توان برای تحمل حداکثر انحنای تحمیل شده بر آن که در اثر حرکت زمین و بازتاب سازه ایجاد می شود، طراحی نمود. انحنای باید شامل کرنش های خاک در میدان آزاد که برای اندرکنش سازه-پی تغییر داده شده است، به همراه تغییر شکل های پی که در اثر بارهای زلزله ایجاد می شود، باشد. حداقل آرماتورها نباید از مقداری که برای سازه های با شکل پذیری متوسط یا زیاد که بر روی خاک نوع I، II و III واقع شده اند، کمتر باشد.

(۴): برای میلگردهای طول با مقاومت تسلیم ۴۲۰ مگاپاسکال و کوچکتر

(۵): برای میلگردهای طول با مقاومت تسلیم ۵۲۰ مگاپاسکال

l_b : طول خمشی شمع بوده و عبارت است از فاصله قسمت تحتانی سر شمع تا مقطعی از شمع که در آن $M_u > 0.4M_{cr}$ شود.

l_i : طولی برابر حداقل دو برابر طول قسمت مدفون مورد نیاز در سر شمع (mm)

l_d : طول مهاری آرماتورهای کششی (mm)

l_m : معادل با فاصله ی زیر سر شمع تا نقطه ای که در آن انحنای به صفر می رسد. (mm)

d_b : قطر کوچکترین آرماتور طولی (mm)

D : کوچکترین بعد شمع (mm)

l_c : طول ناحیه بحرانی برشی در شمع های (mm)

l'_c : طول ناحیه غیر بحرانی برشی در شمع ها (mm)

s : حداکثر فاصله بین آرماتورهای عرضی (mm)

ρ_s : حداقل درصد آرماتورهای دورپیچ یا دورگیرهای دایره ای

رابطه (۳)	$\rho_s \geq \max \begin{cases} \cdot/۱۵ \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) & \text{روش تقریبی} \\ \cdot/۰۴ \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{2}{8} + \frac{2/3 P_u}{f'_c A_g} \right) & \text{روش دقیق} \end{cases}$
رابطه (۴)	$\rho_s \geq \max \begin{cases} \cdot/۰۷۵ \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) & \text{روش تقریبی} \\ \cdot/۰۲ \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{2}{8} + \frac{2/3 P_u}{f'_c A_g} \right) & \text{روش دقیق} \end{cases}$
رابطه (۵)	$\rho_s \geq \max \begin{cases} \cdot/۲ \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) & \text{روش تقریبی} \\ \cdot/۰۶ \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{2}{8} + \frac{2/3 P_u}{f'_c A_g} \right) & \text{روش دقیق} \end{cases}$
رابطه (۶)	$\rho_s \geq \max \begin{cases} \cdot/۱ \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) & \text{روش تقریبی} \\ \cdot/۰۳ \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{2}{8} + \frac{2/3 P_u}{f'_c A_g} \right) & \text{روش دقیق} \end{cases}$

توجه: رابطه های (۳) و (۴) باید در ۶۱۰۰ میلی متر فوقانی از زیر سر شمع تامین شوند و همچنین رابطه های (۵) و (۶) در طول ناحیه شکل پذیر شمع (l_m) باید تامین شوند. در همه این روابط f_{yt} نباید بزرگتر از ۷۰۰ مگاپاسکال منظور گردد.

فانوس ۱۰:	در مواردی که از دورگیرهای مستطیلی و سنجاقی ها برای آرماتورهای عرضی استفاده می شود، سطح مقطع کل آرماتورهای عرضی در ناحیه شکل پذیر شمع باید از رابطه (۷) محاسبه و f_{yt} حداکثر ۷۰۰ مگاپاسکال منظور شود.
	$A_{sh} \geq \max \begin{cases} \cdot/۳ s b_c \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - ۱ \right) \left(\cdot/۵ + \frac{۱/۴ P_u}{f'_c A_g} \right) \\ \cdot/۱۲ s b_c \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\cdot/۵ + \frac{۱/۴ P_u}{f'_c A_g} \right) \end{cases}$

مثال ۱۶:

قرار است یک شمع درجاریز دایره‌ای بدون غلاف به قطر ۶۰۰ میلی‌متر به طول ۶ متر درون خاک نوع ۳ کوبیده شود. در ادامه روی سر شمع قرار گرفته بر روی این شالوده، سازه‌ای با سطح شکل‌پذیری متوسط بنا می‌شود. تعیین نمایید حداقل چه طول از این شمع از زیر سر شمع باید آرماتورگذاری شود، حداقل سطح آرماتور طولی در این ناحیه چند میلی‌متر مربع باید باشد؟ (بتن مصرفی از رده C۲۵ بوده و شمع تحت فشار جانبی یکطرفه ۱۱ کیلونیوتن بر متر می‌باشد).

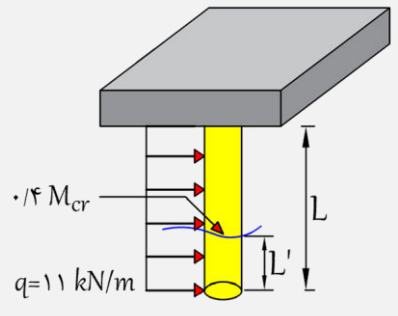
تالیفی ACE

الف) ۱/۸ متر - ۱۴۱۴	ب) ۲/۹ متر - ۹۸۰	ج) ۵/۸ متر - ۱۴۱۴	د) ۳/۲ متر - ۹۸۰
---------------------	------------------	-------------------	------------------

حل:

با توجه به جدول ۴-۶ داریم:

$$\text{حداقل طول آرماتورگذاری از زیر سر شمع} = \max \left\{ \frac{l}{\gamma}, 3m, 3D, l_b \right\}$$

$\begin{aligned} \cdot/4 M_{cr} &> M_u \\ \cdot/4 \times \frac{\cdot/62 \times \sqrt{25} \times \pi \times 300^3}{2} &= \frac{11 l'^2}{2} \\ \Rightarrow l' &\approx 178/53 \text{ mm} \\ \Rightarrow l_b = l - l' &= 6000 - 178/5 \\ &\approx 5821/5 \text{ mm} \end{aligned}$	
---	---

$$\text{حداقل طول آرماتورگذاری از زیر سر شمع} = \max \left\{ \frac{6000}{\gamma}, 3000 \text{ mm}, 3 \times 600, 5821/5 \right\}$$

$$\text{حداقل طول آرماتورگذاری از زیر سر شمع} = 5821/5 \text{ mm}$$

حداقل سطح مقطع آرماتورهای طولی در فاصله ۳ متری از زیر سر شمع برابر است با:

$$A_s = \cdot/005 \times \frac{\pi \times 600^2}{4} = 1413/71 \text{ mm}^2$$

گزینه ج صحیح است.

مثال ۱۷:

مطابق شکل شمع پیش ساخته بتنی به قطر ۵۰۰ میلی متر و طول ۱۲ متر تحت بار گسترده جانبی و لنگر متمرکز خمشی قرار دارد، اگر قرار باشد این شمع بار سازه ای با شکل پذیری ویژه را به لایه مقاوم خاک منتقل نماید، طول ناحیه شکل پذیر شمع از زیر سر شمع برابر با متر است؟

تالیفی ACE

	الف) ۱۲ ب) ۱۲/۵ ج) ۱۰/۶ د) ۲/۵
--	--

حل:

طول ناحیه شکل پذیر شمع برابر است با:

$$l_m + 3D \geq 10600 \text{ mm}$$

برای محاسبه l_m باید نقطه ای از شمع که خیز در آن صفر است را تعیین کنیم.

$$\frac{(500 - 10x^2)(12 - x)^2}{4EI} = \frac{10x(12 - x)^3}{3EI} + \frac{10(12 - x)^4}{8EI}$$

$$\Rightarrow x \approx 5/66 \text{ m}$$

$$l_m = 12 - 5/66 = 6/34 \text{ m}$$

$$\text{طول ناحیه شکل پذیر شمع} = 6/34 + 3 \times 0/5 = 7/84 \text{ m} \approx 10/6 \text{ m}$$

گزینه ج صحیح است.

مثال ۱۸:

شمع دایره ای شکل پیش ساخته بتنی به قطر ۶۰۰ میلی متر و طول ۸ متر در زیر ساختمانی با شکل پذیری متوسط قرار گرفته است، در صورتی که نیروی محوری وارد بر شمع برابر ۱۲۰ تن و بتن مورد استفاده در

آن از رده C۳۰ و فولاد مصرفی از نوع S۴۲۰ باشد، به ترتیب طول ناحیه شکل پذیر شمع و حداقل درصد آرماتور دورپیچ در این ناحیه برابر با کدام گزینه است؟

تالیفی ACE

الف) ۰/۰۱۳۴-۰/۰۱۳۴ متر	ب) ۰/۰۱۴۳-۰/۰۱۴۳ متر	ج) ۰/۰۱۳۴-۰/۰۱۳۴ متر	الف) ۰/۰۱۳۴-۰/۰۱۳۴ متر
------------------------	----------------------	----------------------	------------------------

حل:

نکته: در صورتی که طول شمع مساوی با کوچکتر از ۱۰۶۰۰ میلی متر باشد، کل طول شمع مساوی طول ناحیه شکل پذیر منظور می شود. بنابراین در این سوال طول ناحیه شکل پذیر شمع برابر با ۸ متر است.

$$\rho_s \geq \max \begin{cases} \text{روش تقریبی} \\ 0.2 \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \\ \text{روش دقیق} \\ 0.06 \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{2}{8} + \frac{2/3 P_u}{f'_c A_g} \right) \end{cases}$$

$$\rho_s \geq \max \begin{cases} \text{روش تقریبی} \\ 0.2 \times \left(\frac{30}{42.0} \right) \approx 0.143 \\ \text{روش دقیق} \\ 0.06 \times \left(\frac{30}{42.0} \right) \times \left(\frac{2}{8} + \frac{2/3 \times 120 \times 10^4 \times 4}{30 \times \pi \times 600^2} \right) \approx 0.134 \end{cases}$$

گزینه ب صحیح است.

۱-۴-۳ نکات تکمیلی ضوابط لرزه ای شمع ها

- بند ۲-۵-۹-۲۰-۹: شمع ها، پایه ها و شالوده های صندوقه ای که بارهای کششی را تحمل می نمایند، باید دارای آرماتورهای طولی پیوسته، در طول خود برای مقاومت در برابر نیروهای کششی طراحی باشند.
- قطر دورگیرها و دورپیچ ها در ناحیه بحرانی و غیر بحرانی شمع های درجا ریز بدون غلاف متصل به سازه با شکل پذیری کم باید حداقل ۱۰ میلی متر باشد.
- حداقل قطر دورپیچ ها و یا دورگیرها در ناحیه بحرانی و غیر بحرانی شمع های درجا ریز بدون غلاف متصل به سازه های با شکل پذیری متوسط و زیاد و حداکثر قطر مقطع ۵۰۰ میلی متر: ۱۰ میلی متر
- حداقل قطر دورپیچ ها و یا دورگیرها در ناحیه بحرانی و غیر بحرانی شمع های درجا ریز بدون غلاف متصل به سازه های با شکل پذیری متوسط و زیاد و قطر مقطع بیش از ۵۰۰ میلی متر: حداقل ۱۴ میلی متر

- قطر دورگیرها و دورپیچها در ناحیه بحرانی و غیر بحرانی شمعهای درجا ریز با غلاف نازک فولادی متصل به سازه با شکل پذیری کم باید حداقل ۱۰ میلی متر باشد.
- حداقل قطر دورپیچها و یا دورگیرها در ناحیه بحرانی و غیر بحرانی شمعهای درجا ریز با غلاف نازک فولادی متصل به سازه های با شکل پذیری متوسط و زیاد و حداکثر قطر مقطع ۵۰۰ میلی - متر : ۱۰ میلی متر
- حداقل قطر دورپیچها و یا دورگیرها در ناحیه بحرانی و غیر بحرانی شمعهای درجا ریز با غلاف نازک فولادی متصل به سازه های با شکل پذیری متوسط و زیاد و قطر مقطع بیش از ۵۰۰ میلی متر : ۱۴ میلی متر
- بند ۹-۲۰-۹-۵-۸-۲: ضخامت غلاف جداره در شمعهای درجاریز با غلاف نازک فولادی که به صورت دورپیچ جوش شده می باشد، نباید از ۲ میلی متر کمتر بوده؛ و این غلاف باید شمع را از آسیب مواد مضر در خاک و یا اثرات تغییر سطح آبهای زیر زمینی مصون نگه دارد.
- بند ۹-۲۰-۹-۵-۱۰-۲: آرماتورهای طولی در شمعهای بتنی پیش ساخته به قطر ۵۰۰ میلی متر و کمتر باید به وسیله ی دورگیرهای با قطر حداقل ۱۰ میلی متر، و برای قطرهای بزرگتر از ۵۰۰ میلی متر به وسیله ی دورگیرهای با قطر حداقل ۱۲ میلی متر محصور شوند.
- بند ۹-۲۰-۹-۵-۱۰-۶: در شمعهای پیش ساخته ای که بار سازه های با شکل پذیری متوسط و زیاد را تحمل می کنند، حداکثر بار محوری که از ترکیب های بارهای قائم و جانبی به دست می آید، نباید از مقادیر (الف) و (ب) بیش تر باشد:

الف) در شمعهای با مقطع مربعی : $0.2f'_c A_g$

ب) در شمعهای با مقطع دایره ای یا ۸ ضلعی : $0.4f'_c A_g$

مثال ۱۹:

کدام گزینه نادرست است؟

الف) حداقل قطر دورپیچ در شمع های درجاریز با غلاف نازک فولادی متصل به سازه با شکل پذیری متوسط قطر ۶۰۰ میلی متر، ۱۴ میلی متر است.

ب) حداقل قطر دورگیر در شمع های درجاریز بدون غلاف متصل به سازه ای با شکل پذیری کم ۱۰ میلی متر است.

ج) حداکثر بارمحوری وارد به شمع پیش ساخته از بتن C۲۵ به قطر ۵۰۰ میلی متر و متصل به سازه با شکل پذیری متوسط ۹۸۰ کیلونیوتن است.

د) ضخامت غلاف جداره در شمع های درجاریز با غلاف نازک فولادی که به صورت دورپیچ جوش شده می باشد، نباید از ۲ میلی متر کمتر باشد

تالیفی ACE

پاسخ:

- در شمع های پیش ساخته ای که بار سازه های با شکل پذیری متوسط و زیاد را تحمل می کنند، حداکثر بار محوری که از ترکیب های بارهای قائم و جانبی به دست می آید، نباید از مقادیر (الف) و (ب) بیش تر باشد:

الف) در شمع های با مقطع مربعی : $0.12 f'_c A_g$

ب) در شمع های با مقطع دایره ای یا ۸ ضلعی : $0.14 f'_c A_g$

$$0.14 f'_c A_g = 0.14 \times 25 \times \frac{\pi \times 500^2}{4} \approx 1963/5 \text{ KN}$$

گزینه ج صحیح است.