فهـــــرست

جلد ۲

فصل پنجم: برش در سازه‌های بتن‌آرمه

قسمت اول: آشنایی با انواع ترک‌خوردگی در یک تیر بتن‌آرمه ۸

قسمت دوم: محاسبه مقاومت برشی یک مقطع بتن‌آرمه ۱۶

قسمت سوم: طراحی تیرهای بتن‌آرمه در برش و مباحث تکمیلی ۳۱

تست‌های فصل پنجم ۴۰

آزمون ۵۴

فصل ششم: پیچش در سازه‌های بتن‌آرمه

قسمت اول: مفاهیم مقدماتی پیچش ۶۰

قسمت دوم: طراحی مقاطع بتن‌آرمه در پیچش ۷۰

قسمت سوم: ترکیب پیچش و سایر بارگذاری‌ها ۷۷

تست‌های فصل ششم ۸۳

آزمون ۹۱

فصل هفتم: پیوستگی فولاد و بتن، طول مهاری و ...

قسمت اول: چسبندگی مهاری ۹۶

قسمت دوم: چسبندگی خمشی ۱۰۸

قسمت سوم: قلاب و وصله میلگرد ۱۱۹

قسمت چهارم: ضوابط قطع میلگرد ۱۲۶

تست‌های فصل هفتم ۱۳۱

آزمون ۱۴۱

فصل هشتم: کنترل خیز و ترک در سازه‌های بتن‌آرمه

قسمت اول: کنترل عرض ترک در یک تیر بتنی ۱۴۴

قسمت دوم: کنترل خیز در تیرها ۱۵۰

تست‌های فصل هشتم ۱۶۲

آزمون ۱۶۷

فصل نهم: اصول طراحی دال‌ها

قسمت اول: آشنایی با انواع دال‌ها ۱۷۰

قسمت دوم: تحلیل و طراحی دال‌های یک‌طرفه ۱۷۴

قسمت سوم: تحلیل و طراحی دال‌های دوطرفه ۱۸۰

تست‌های فصل نهم ۱۸۹

آزمون ۱۹۸

فصل دهم: اصول طراحی پی‌ها

قسمت اول: آشنایی با انواع پی‌ها ۲۰۲

قسمت دوم: مراحل طراحی پی منفرد تحت بار محوری ۲۰۵

تست‌های فصل دهم ۲۱۹

سؤالات آزمون‌های سراسری از سال ۹۷ به بعد ۲۲۳

سری عمران

فصل پنجم:

برش در سازه‌های بتن‌آرمه

مروری بر آنچه خواهیم خواند:

در فصل‌های قبل، با مفاهیم طراحی خمشی تیرها و طراحی ستون‌ها آشنا شدیم. در ادامهٔ مطالب این کتاب می‌خواهیم یکی دیگر از قسمت‌های بسیار مهم طراحی را یاد بگیریم. به‌طور کلی یک تیر بتن‌آرمه ابتدا برای خمش طراحی شده و در مرحلهٔ بعد، آرماتورگذاری موردنیاز آن در برش مشخص می‌شود. این موضوع را در این فصل به‌طور کامل مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای درک بهتر شما عزیزان، مطالب این فصل را مطابق نمودار درختی زیر ارائه کرده‌ایم:

- برش در سازه‌های بتن‌آرمه
  - قسمت اول: آشنایی با انواع ترک‌خوردگی در یک تیر بتن‌آرمه
  - قسمت دوم: محاسبهٔ مقاومت برشی یک مقطع بتن‌آرمه
  - قسمت سوم: طراحی تیرهای بتن‌آرمه در برش و مباحث تکمیلی

انتشارات سری عمران
www.serieomran.ir

A-۱- بررسی ترک‌خوردگی در یک المان بتنی

همانطور که در فصل‌های قبل نیز این موضوع را مشاهده کردیم، بتن ماده‌ای است که در تحمل کشش ضعف داشته و در صورت ایجاد کشش زیاد در آن، ترک می‌خورد. در رابطه با نحوهٔ ترک خوردن بتن، به اصل اساسی زیر توجه کنید:

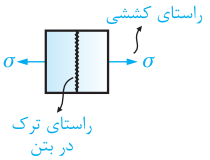
یک اصل اساسی

در صورتی که بر یک المان بتنی تنش وارد شود، عمود بر راستای اصلی کششی در المان، ترک‌خوردگی ایجاد می‌شود.

برای درک بهتر این موضوع، به تمرین سادهٔ زیر توجه کنید.

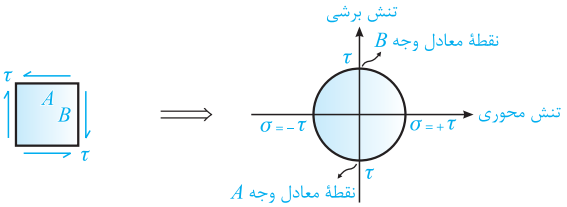
تمرین ۱: در سه المان زیر، نحوهٔ ترک‌خوردگی المان بتنی را مشخص کنید؟

پاسخ: در این تمرین باید کمی با مفاهیم دایرهٔ مور و جهت تنش کششی اصلی در یک المان آشنا باشید. با توجه به این موضوع به بررسی پاسخ این سؤال می‌پردازیم:

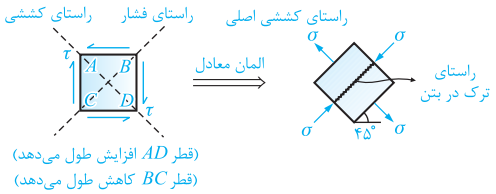


المان (۱): در این المان که حالت **کشش خالص** نام دارد، در راستای افقی بیشترین کشش در المان وجود دارد و در صورت ترک‌خوردن المان، ترک‌ها عمود بر راستای کششی ظاهر می‌شوند.

المان (۲): در این المان که **برش خالص** نام دارد، برای تعیین جهت ترک‌خوردگی، باید از مفهوم دایرهٔ مور استفاده شود.

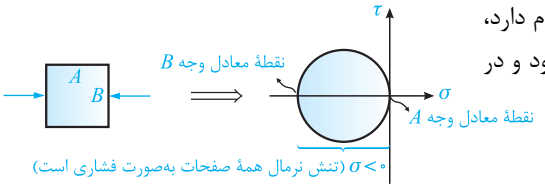


با توجه به مفاهیم مقاومت مصالح می‌دانیم که با چرخش ۴۵ درجه‌ای المان در جهت خلاف عقربه‌های ساعت (۹۰ درجه در دایره مور)، راستای کششی اصلی ظاهر می‌شود و جهت ترک‌ها عمود بر راستای کششی است:

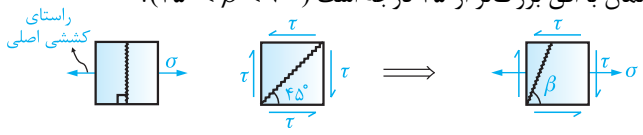


زیر شاخه‌های قسمت اول
A-۱- بررسی ترک‌خوردگی در یک المان بتنی
A-۲- مروری بر مفاهیم تنش‌های اصلی و نحوهٔ ترک‌خوردگی در یک تیر دو سر مفصل
A-۳- میلگردگذاری برشی در یک تیر بتنی

المان (۳): در این المان که حالت **فشار خالص** نام دارد، در هیچ صفحه‌ای تنش کششی ظاهر نمی‌شود و در نتیجه المان ترک نمی‌خورد.



نکته: با توجه به شکل زیر، در المان سمت راست که عملاً مجموع یک المان کشش خالص و یک المان برش خالص است، زاویهٔ ترک ایجاد شده در المان با افق بزرگ‌تر از ۴۵ درجه است ($45^\circ < \beta < 90^\circ$).



زاویهٔ ترک با افق ۹۰° است ($\beta=90^\circ$).

زاویهٔ ترک با افق ۴۵° است ($\beta=45^\circ$).

زاویهٔ ترک با افق، بین ۴۵° و ۹۰° است ($45^\circ<\beta<90^\circ$).

از سوی دیگر شرط ترک‌خوردن المان سمت راست آن است که تنش کششی حداکثر در آن، با f_r (تنش ترک‌خوردگی بتن) برابر شود:

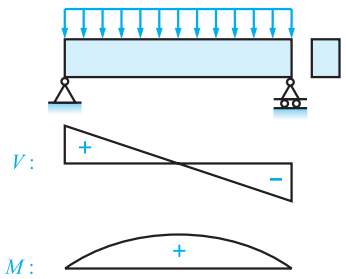
$$\sigma^t_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2})^2 + \tau^2_{xy}}$$ (رابطهٔ مقاومت مصالح)

در المان مورد نظر: $\sigma^t_{max} = \frac{\sigma + 0}{2} + \sqrt{(\frac{\sigma - 0}{2})^2 + \tau^2}$

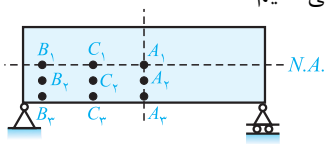
شرط ترک‌خوردگی: $\sigma^t_{max} = f_r \Rightarrow \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} = f_r$

A-۲- مروری بر مفاهیم تنش‌های اصلی و نحوهٔ ترک‌خوردگی در یک تیر دو سر مفصل

تیر دو سر سادهٔ مستطیلی مقابل را تحت بار گسترده در نظر بگیرید:



از آنجا که مقادیر برش و خمش در طول تیر تغییر می‌کند، می‌خواهیم با بررسی چند سؤال ساده در صفحهٔ بعد، مقدار و امتداد تنش‌های اصلی را در نقاط نشان داده شده در شکل زیر بررسی کنیم:



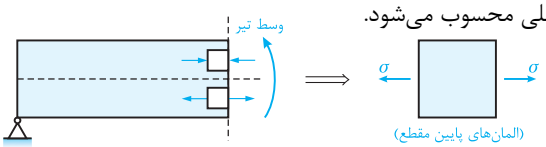
بررسی چند سوال

سؤال ۱: در تیر رسم شده در صفحهٔ قبل، در نقاط A_1، A_2 و A_3 المان تنش را رسم کنید.

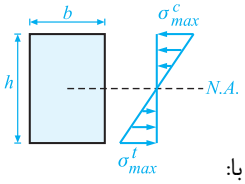
پاسخ: برای بررسی المان در نقاط A_1، A_2 و A_3، به نکات زیر توجه کنید:

۱- با توجه به دیاگرام‌های رسم شده، مقدار برش در وسط تیر صفر بوده و مقدار خمش بیشینه است. با توجه به این موضوع تنش برشی ناشی از برش در نقاط A_1، A_2 و A_3 صفر است. بنابراین در این نقاط، المان تنش تنها تحت تنش نرمال ناشی از خمش قرار دارد.

۲- با توجه به صفر بودن تنش برشی، المان واقع در این نقاط یا تحت کشش خالص قرار می‌گیرد و یا تحت فشار خالص. با توجه به اینکه لنگر تیر مثبت است، المان‌های پایین مقطع همگن تحت کشش قرار دارند و راستای افقی برای آنها راستای کششی اصلی محسوب می‌شود.



۳- از آنجا که توزیع تنش خمشی در مقطع مانند شکل مقابل است، در تار پایینی مقطع یعنی نقطهٔ A_3 تنش کششی حداکثر است و در روی محور خنثی یعنی نقطهٔ A_1، تنش کششی به صفر می‌رسد. در نواحی بالای محور خنثی نیز تنش به‌صورت فشاری خواهد بود.



۴- در پایین مقطع یعنی نقطهٔ A_3، مقدار تنش کششی حداکثر بوده و برابر است با:

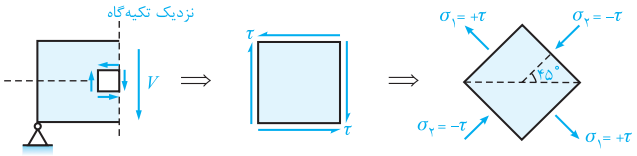
$$\sigma^t_{max} = \frac{M}{S} = \frac{6M}{bh^2}$$

سؤال ۲: المان تنش در نقاط B_1، B_2 و B_3 در تیر نشان داده شده را در این قسمت رسم کنید.

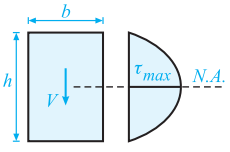
پاسخ: برای بررسی المان تنش در نقاط B_1، B_2 و B_3، به نکات زیر توجه کنید:

۱- در نزدیک تکیه‌گاه‌ها لنگر خمشی ناچیز است و تنش نرمال ناشی از لنگر خمشی در این نقاط قابل صرف‌نظر کردن است ($M \simeq 0$). بنابراین در این نقاط، المان تنش تنها تحت تنش برشی قرار دارد.

۲- در محل تکیه‌گاه سمت چپ، با چرخش المان برش خالص به اندازهٔ ۴۵ درجه، راستای کششی مطابق شکل زیر به‌دست می‌آید:



۳- از مقاومت مصالح می‌دانیم که تحت نیروی برشی، توزیع تنش برشی در ارتفاع مقطع به صورت یک سهمی مطابق شکل زیر است. در نقطهٔ B_1 در محل محور خنثی، بیشترین تنش برشی وجود خواهد داشت و بنابراین در این نقطه بیشترین تنش کششی نیز وجود دارد. این تنش کششی به تدریج کاسته شده و در نقطهٔ B_3 به صفر می‌رسد.

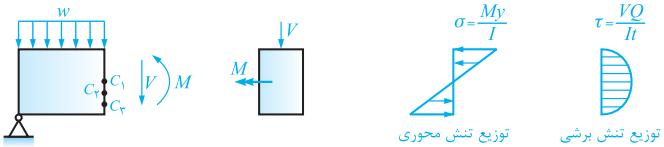


$$\Rightarrow \text{نقطهٔ } B_1 : \sigma^t_{max} = \tau_{max} = \frac{3}{2}\frac{V}{A}$$

سؤال ۳: در نقاط C_1، C_2 و C_3 المان تنش را بررسی کنید.

پاسخ: برای بررسی المان در نقاط C_1، C_2 و C_3، به نکات زیر توجه کنید:

۱- در این مقطع که در محدودهٔ بین تکیه‌گاه و وسط تیر قرار دارد، نیروی برشی و لنگر خمشی هر دو مخالف صفر بوده و تنش‌های ناشی از برش و خمش به‌صورت زیر در ارتفاع مقطع تغییر می‌کنند:



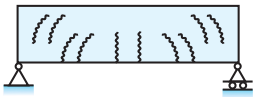
۲- در محل المان C_1، یعنی حوالی محور خنثی، تنش محوری ناشی از خمش صفر است و در محل المان C_3، یعنی حوالی لبهٔ تیر، تنش برشی ناشی از برش صفر است.

۳- المان تنش در نقاط C_1، C_2 و C_3 مطابق شکل زیر است:

المان C_1 : المان C_1 روی محور خنثی قرار دارد، پس $\sigma = 0$ می‌باشد.

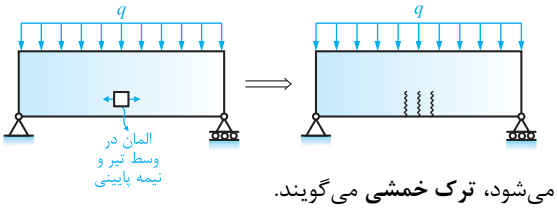
المان C_2 : در محل المان C_2 تنش برشی و تنش کششی وجود دارد.

المان C_3 : در محل المان C_3 تنش برشی صفر است و تنش کششی وجود دارد.



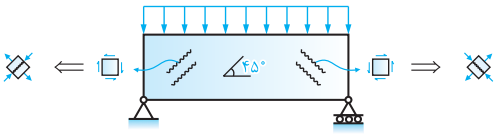
تا به اینجا شیوهٔ تحلیل المان تنش در نقاط مختلف تیر را یاد گرفتیم. حال می‌خواهیم با کمک این مطالب، انواع ترک‌هایی را که در یک تیر بتنی رخ می‌دهد بشناسیم. به‌طور کلی شکل ترک‌های محتمل در یک تیر دو سر مفصل، مطابق شکل مقابل است. در مورد این شکل، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) در نواحی میانی تیر نشان داده شده، نیروی برشی ناچیز است و خمش در نیمهٔ پایینی مقطع تنش‌های کششی ایجاد می‌کند. در این حالت جهت ترک‌ها عمود بر راستای کششی بوده و به صورت زیر است:



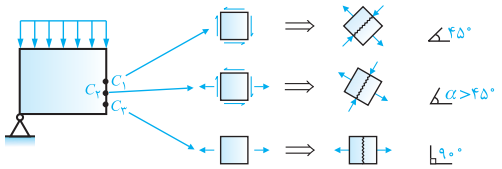
نکته: به این نوع ترک‌ها که در اثر خمش ایجاد می‌شود، **ترک خمشی** می‌گویند.

۲) در حوالی محل تکیه‌گاه‌های تیر، مقدار لنگر خمشی ناچیز است و تنها برش بر تیر اثر می‌کند. در این حالت وضعیت برش خالص در المان‌ها رخ می‌دهد و ترک عمود بر راستای کششی ظاهر می‌شود.

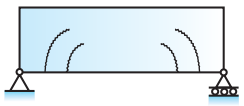


نکته: به اینگونه ترک‌ها، **ترک برشی** می‌گویند. این ترک‌ها در حوالی محور خنثی ظاهر شده و با افق زاویهٔ تقریبی ۴۵ درجه را می‌سازند.

۳ در نواحی دیگر تیر، نیروی برشی باعث ایجاد تنش برشی و لنگر خمشی باعث ایجاد تنش نرمال می‌شود. بر این اساس المان تنش و نحوهٔ ترک خوردن تیر در نقاط مختلف مقطع، مطابق شکل مقابل است:

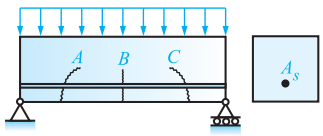


نکته: به اینگونه ترک‌ها، **ترک خمشی - برشی** می‌گویند. ترک‌های خمشی - برشی به صورت قائم از پایین تیر در نقطهٔ C_3 شروع شده و هر چه به بالای تیر نزدیکتر می‌شویم، ترک‌ها افقی‌تر می‌شوند. شایان ذکر است که در نقطهٔ C_1، المان وضعیت برش خالص را داشته و ترک با افق زاویهٔ ۴۵ درجه می‌سازد. شکل کلی ترک‌های خمشی - برشی مطابق شکل مقابل است:



● **دقت:** به ترک‌های برشی و خمشی - برشی، **ترک قطری** نیز گفته می‌شود.

تمرین ۲: در مورد انواع ترک‌های به‌وجود آمده در شکل زیر، کدام عبارت درست است؟

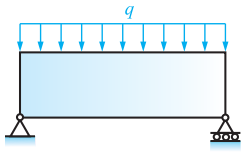


۱) ترک‌های نوع A و C در اثر خمش و کشش قطری پدید آمده‌اند.
۲) ترک نوع B در اثر کشش قطری پدید آمده است.
۳) ترک‌های A و B و C در اثر خمش به‌وجود آمده‌اند.
۴) ترک‌ها در هر محل دلخواهی در مقطع می‌تواند ایجاد شود.

● **حل:** با توجه به توضیحات ارائه شده، مشخص است که ترک‌های A و C (ترک‌های خمشی - برشی) ابتدا از لبهٔ تیر به‌صورت عمود آغاز شده و در میانه‌های ارتفاع تیر در زاویهٔ تقریباً 45° با افق قرار می‌گیرند. بنابراین ابتدا خمش و سپس کشش قطری (برش) در این ترک‌ها مؤثر هستند و گزینهٔ (۱) صحیح است.

تذکر: منظور از کشش قطری، المان تحت برش خالص است که در آن راستای کششی اصلی، در راستای قطر المان قرار می‌گیرد.

A-۳- میلگردگذاری برشی در یک تیر بتنی

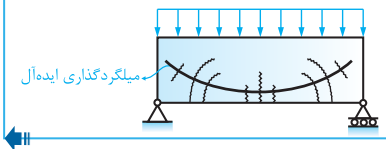


همانطور که بیان کردیم، بتن در کشش بسیار ضعیف بوده و زود ترک می‌خورد. برای جبران این ضعف، باید در سازهٔ بتن‌آرمه از میلگردگذاری استفاده کنیم. میلگردگذاری در حالت ایده‌آل باید عمود بر ترک‌ها قرار بگیرد تا هنگامی که ترک به آن می‌رسد، به بهترین شکل از پیشرفت ترک جلوگیری کند. در ادامه با بررسی چند سؤال، این موضوع را برای تیر روبه‌رو بررسی خواهیم کرد.

بررسی چند سوال

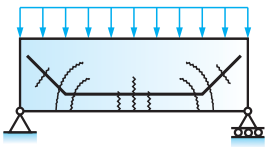
سوال ۱: ایده‌آل‌ترین نوع میلگردگذاری در مقطع تیر نشان داده شده چگونه است؟

● **پاسخ:** همانطور که بیان کردیم، ایده‌آل‌ترین نوع میلگردگذاری در یک مقطع به صورتی است که میلگردها عمود بر ترک‌ها قرار گیرند و عملاً میلگرد مانع از پیشرفت ترک‌ها در تیر شود. با توجه به ترک‌های محتمل در یک تیر دو سر ساده که در این قسمت یاد گرفتیم، میلگردگذاری ایده‌آل یک تیر دو سر ساده به شکل زیر می‌باشد:



سؤال ۲: آیا در پروژه‌های عملی، از میلگردگذاری ایده‌آل نشان داده شده استفاده می‌شود؟

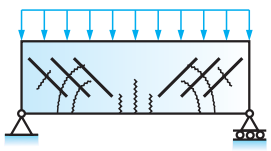
پاسخ: از آنجا که در عمل میلگردگذاری ایده‌آل نمی‌تواند به‌سادگی اجرا شود، از **میلگردهای اُتکا** به‌صورت مقابل می‌توان به‌عنوان یک طرح جایگزین استفاده کرد. این شیوه از میلگردگذاری، بسیار شبیه به میلگردگذاری ایده‌آل است.



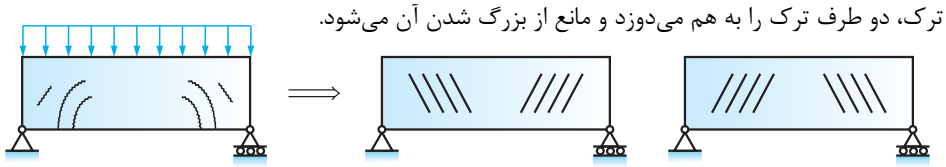
دقت: می‌توان گفت که میلگردهای اتکا، همان میلگردهای طولی هستند که در نزدیکی تکیه‌گاه‌ها خم شده‌اند.

سؤال ۳: چه طرح دیگری را برای آرماتورگذاری برشی این تیر دو سر مفصل می‌توان پیشنهاد داد؟ آیا این طرح چندان رایج می‌باشد؟

پاسخ: به‌عنوان یک طرح جایگزین دیگر، می‌توان از **میلگردهای عرضی (خاموت)** در حالت مایل استفاده کرد. استفاده از میلگردهای عرضی یا خاموت که عمود بر ترک‌ها باشد، به‌خوبی باعث مقابله با ترک‌های یک تیر بتنی می‌شود. این موضوع در شکل مقابل نشان داده شده است:



دقت: در این حالت اگر میلگردگذاری موازی ترک‌ها باشد، کارایی ندارد زیرا در حقیقت میلگرد عمود بر ترک، دو طرف ترک را به هم می‌دوزد و مانع از بزرگ شدن آن می‌شود.



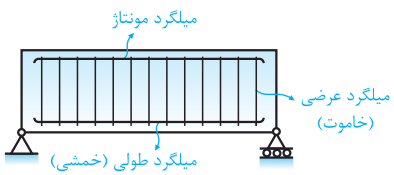
اما باید توجه کنیم که استفاده از آرماتورهای مایل چندان رایج نیست، زیرا:

۱- اجرای آرماتورهای مایل دشوار است.

۲- اگر در بارگذاری‌های رفت و برگشتی مانند زلزله علامت برش عوض شود، جهت ترک‌ها عکس شده و در این صورت آرماتورهای مورب، موازی ترک‌ها شده و کارایی ندارند.

سؤال ۴: چه طرحی برای آرماتورگذاری برشی تیر نشان داده شده عملی بوده و استفادهٔ بیشتری دارد؟

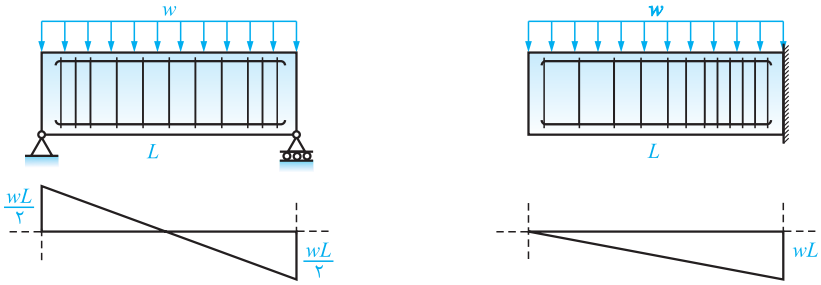
پاسخ: در اغلب پروژه‌ها از میلگردگذاری قائم به عنوان میلگردهای عرضی مقاوم در برابر برش استفاده می‌کنند.



هر چند این نوع از آرماتورگذاری نسبت به حالت مایل ظرفیت کمتری دارد ولی مشکلات آرماتورگذاری مایل را ندارد. در این حالت برای اجرای ساده‌تر خاموت‌ها و ساخت قفسهٔ آرماتور، از میلگردهای طولی با حداقل قطر (برابر قطر خاموت‌ها) در بالای مقطع استفاده می‌شود که به آن‌ها میلگرد مونتاژ نیز گفته می‌شود.

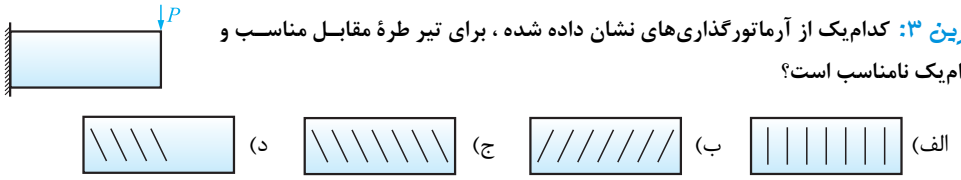
سؤال ۵: در اجرای قائم آرماتورهای، فاصلهٔ بین آرماتورها معمولاً چگونه درنظر گرفته می‌شود؟

حل: معمولاً در طراحی یک تیر در برش، در نواحی که برش در تیر بیشتر است، فاصلهٔ خاموت‌ها نزدیکتر در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبهٔ فاصلهٔ بین خاموت‌ها، باید مقاومت برشی مقطع را با برش وارد بر تیر مقایسه کرد که در قسمت‌های بعدی به صورت مفصل این موضوع را یاد می‌گیریم. با توجه به این موضوع، در دو تیر زیر شیوهٔ مناسب آرماتورگذاری قائم در طول تیر نشان داده شده است:

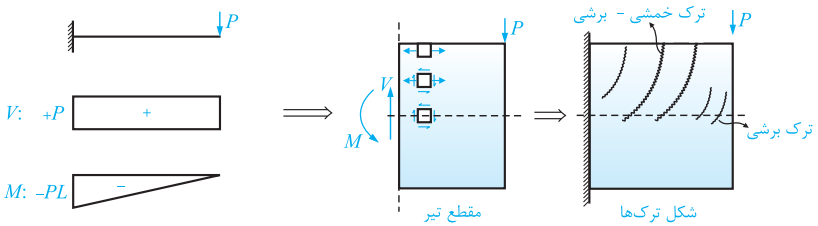


همانطور که مشاهده کردید در قسمت بررسی چند سؤال، مفاهیم بسیار جالبی را در مورد مفهوم آرماتورگذاری یک تیر بتن‌آرمه یاد گرفتیم.

تمرین ۳: کدام‌یک از آرماتورگذاری‌های نشان داده شده ، برای تیر طرهٔ مقابل مناسب و کدام‌یک نامناسب است؟



حل: برای پاسخ‌گویی به این سؤال، ابتدا بهتر است با رسم المان‌های تیر، جهت ترک‌های احتمالی در تیر را مشخص کنیم:



با رسم جهت ترک‌های تشکیل شده، می‌توان در مورد آرماتورگذاری مناسب این تیر بحث کرد:

آرماتورگذاری الف: آرماتورهای قائم برشی برای انواع مختلف ترک‌های برشی مناسب می‌باشند. توجه شود با توجه به این‌که آرماتورها در این حالت بر ترک‌ها عمود نمی‌باشند، ظرفیت آنها از آرماتورهای حالت مایل کمتر است.

آرماتورگذاری ب: این آرماتورها تقریباً موازی ترک‌ها می‌باشند؛ بنابراین کاملاً نامناسب هستند.

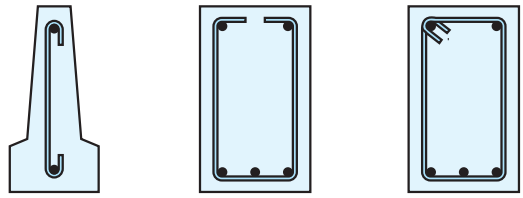
آرماتورگذاری ج: این گزینه بهترین شکل آرماتورها از نظر تئوری می‌باشد، زیرا آرماتورها عمود بر جهت ترک‌ها می‌باشند و از ظرفیت خاموت‌ها در آن نسبت به حالت (الف) بهتر استفاده می‌شود. البته دقت شود که اجرای این سیستم آرماتورگذاری دشوار است.

آرماتورگذاری د: در انتهای آزاد تیر با این‌که مقدار خمش صفر است، ولی برش وجود دارد. بنابراین در این محدوده صرفاً ترک‌های برشی ایجاد می‌شود که نیاز به آرماتورگذاری دارد و شکل (د)، شکل مناسبی نمی‌باشد.

با توجه به مطالب گفته شده، تنها خاموت‌گذاری‌های (الف) و (ج) برای تیر نشان داده شده مناسب هستند.

چند تذکر:

۱- در یک تیر بتنی، فولادهای برشی (خاموت) می‌توانند به صورت تنگ باز یا بسته استفاده شوند.

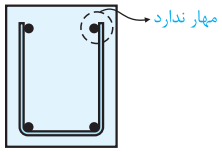


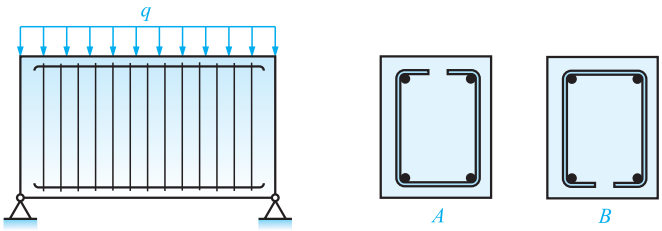
تنگ بسته (دو شاخه) | تنگ باز (رکابی) (دو شاخه) | تنگ باز (قلاب) (تک شاخه)

۲- خاموت‌های بسته علاوه بر مقاومت برشی، در افزایش مقاومت پیچشی مقطع نیز مؤثرند که در فصل بعد آن را بررسی می‌کنیم.

۳- با توجه به ترد بودن شکست‌های برشی، آیین‌نامه‌های بتن‌آرمه در طراحی به‌گونه‌ای عمل می‌کنند که شکست خمشی قبل از شکست برشی رخ دهد.

۴- انتهای خاموت حتماً باید دارای مهار باشد و طرح مقابل قابل قبول نمی‌باشد. همچنین بهتر است قسمت مهار شده، در قسمت فشاری قرار بگیرد تا اتصال میلگرد و بتن بهتر انجام می‌شود.





* A از B مناسب‌تر است زیرا قسمت مهار میلگرد در ناحیهٔ فشاری قرار گرفته است.

۱۳- مقاومت برشی یک مقطع بتن‌آرمهٔ ترک‌خورده: (سراسری ۷۰)

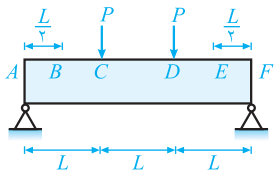
۱) رابطهٔ مستقیم با مجذور مقاومت فشاری بتن، نیروی برشی اعمالی، میزان فولاد و عمق مؤثر مقطع و رابطهٔ معکوس با میزان لنگر اعمالی دارد.

۲) رابطهٔ مستقیم با میزان لنگر اعمالی، درصد فولاد، نیروی برشی اعمالی و مجذور مقاومت فشاری بتن دارد.

۳) رابطهٔ مستقیم با مجذور مقاومت فشاری بتن و میزان فولاد و رابطهٔ معکوس با میزان لنگر و برش اعمالی دارد.

۴) رابطهٔ مستقیم با مقاومت فشاری بتن و فاصلهٔ مقطع از تکیه‌گاه دارد.

۱۴- یک تیر بتنی دو سر مفصل با دو بار متمرکز نشان داده شده است. با صرف‌نظر از وزن مردهٔ تیر، از نظر تئوری در چه قسمت‌هایی از دهانهٔ تیر باید خاموت قرار داده شود؟ (توجه کنید که مقادیر حداقل خاموت یا شکل‌پذیری مورد نظر نیست) (سراسری ۷۰)



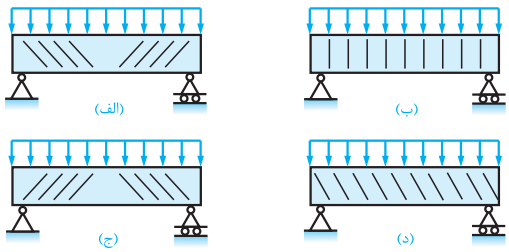
۱) CD

۲) AB و EF

۳) BC و DE

۴) AC و DF

۱۵- برای تحمل برش در یک تیر بتنی دو سر مفصل، کدام‌یک از انواع فولادگذاری‌ها را ترجیح می‌دهید؟ (سراسری ۷۱)



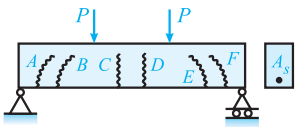
۱) الف یا ب

۲) ب یا ج

۳) الف یا ج

۴) د

۱۶- یک تیر بتنی دو سر مفصل با دو بار متمرکز مفروض است. در مورد انواع ترک‌های پدید آمده اظهارنظر کنید. (سراسری ۷۱)



۱) تمامی ترک‌های نشان داده شده در اثر کشش قطری پدید می‌آیند.

۲) ترک‌های نوع C و D در اثر کشش قطری پدید می‌آیند.

۳) ترک‌های نوع A، B، E و F ناشی از خمش و کشش قطری هستند.

۴) ترک‌ها به شکل نشان داده شده پدید نمی‌آیند.

۱۷- دلیل تعیین حداکثر فاصله بین آرماتورهای عرضی در یک تیر بتن‌آرمه کدام است؟ (سراسری ۷۲)

۱) جلوگیری از گسیختگی ترد برشی

۲) جلوگیری از بروز ترک‌های پیوستگی

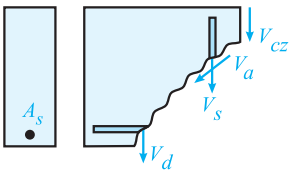
۳) تغییر نوع گسیختگی برشی از ترد به نرم

۴) اطمینان از اینکه آرماتورهای عرضی، مسیر ترک‌های قطری احتمالی را قطع کنند.

۱۸- مقاطع خمشی بتن‌آرمه را باید طوری طراحی کرد که: (سراسری ۷۲ و ۷۹)

۱) گسیختگی خمشی و برشی هم‌زمان اتفاق بیفتد تا طرح اقتصادی باشد.
۲) گسیختگی برشی قبل از گسیختگی خمشی اتفاق بیفتد.
۳) گسیختگی خمشی قبل از گسیختگی برشی اتفاق بیفتد.
۴) گسیختگی خمشی و برشی با هم اتفاق نیفتد.

۱۹- در تیر بتن مسلح زیر، پس از آنکه ترک‌های قطری اتفاق افتاد، مجموع نیروهای برشی مقاوم در مقطع عبارتند از: (سراسری ۷۳)



۱) $V_{cz} + V_{ay} + V_d$
۲) $V_{cz} + V_d$
۳) $V_{cz} + V_{ay} + V_d + V_s$
۴) V_{cz}

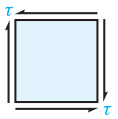
۲۰- آرماتورهای عرضی در تیرهای بتن‌آرمه قبل از تشکیل ترک‌های قطری: (سراسری ۷۵)

۱) مقدار قابل توجهی تنش تحمل می‌کنند و پس از تشکیل ترک‌های قطری، تمامی تنش برشی وارده را تحمل می‌کنند.
۲) مقدار قابل توجهی تنش تحمل می‌کنند و پس از تشکیل ترک‌های قطری، مقاومت برشی تیر بتن‌آرمه را افزایش می‌دهند.
۳) عملاً خالی از تنش هستند و پس از تشکیل ترک‌های قطری، تمامی تنش برشی وارده را تحمل می‌کنند.
۴) عملاً خالی از تنش هستند ولی پس از تشکیل ترک‌های قطری، مقاومت برشی تیر بتن‌آرمه را افزایش می‌دهند.

۲۱- آیا آرماتورهای طولی خمشی در یک تیر بتن‌آرمه نقشی در مقاومت برشی تیر دارند؟ (سراسری ۷۶)

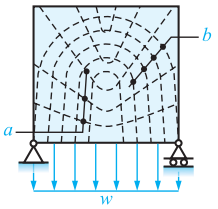
۱) بله، اگرچه این اثرات وجود دارند، به صورت محاسباتی در جایی منظور نمی‌شوند.
۲) بله، مقدار آرماتور طولی در روابط دقیق محاسبات مقاومت برشی آمده‌اند.
۳) خیر، مگر اینکه قطر آرماتور طولی کمتر از ۲۰ میلی‌متر باشد.
۴) خیر، برش در تیرهای بتن‌آرمه توسط آرماتورهای عرضی کنترل می‌شود.

۲۲- المان کوچکی از یک تیر بتن مسلح تحت برش خالص قرار دارد. مطلوب است تعیین τ_{max} بدون به‌وجود آمدن ترک برشی در صورتی که مدول گسیختگی بتن $30\ kgf/cm^2$ باشد؟ (سراسری ۷۶)



۱) $\frac{15\sqrt{2}}{2}\ kgf/cm^2$
۲) $\frac{30\sqrt{2}}{2}\ kgf/cm^2$
۳) $60\ kgf/cm^2$
۴) $30\ kgf/cm^2$

۲۳- در تیر - دیوار بتن‌آرمهٔ نشان داده شده، منحنی‌های تنش‌های اصلی کششی و فشاری کدامند؟ (سر اسری ۷۷)



۱) منحنی‌های a کششی اصلی و منحنی‌های b فشاری اصلی هستند.
۲) منحنی‌های a فشاری اصلی و منحنی‌های b کششی اصلی هستند.
۳) منحنی‌های a و b با توجه به بارگذاری w در لبهٔ پایین، همگی کششی هستند.
۴) منحنی‌های کششی اصلی و فشاری اصلی نشان داده نشده است.

۹- (۲)

در مقطع A از فولاد برشی مایل ($\alpha = ۴۵^\circ$) و در مقطع B از فولاد برشی قائم با $\beta = ۶۰^\circ$ استفاده شده است:

$$\begin{cases} (V_s)_A = \phi_s f_{yv} (A_{sv})_A \dfrac{d}{s_A}(\sin\alpha + \cos\alpha) \\ (V_s)_B = \phi_s f_{yv} (A_{sv})_B \dfrac{d}{s_B}\sin\beta \end{cases}$$

$$\frac{(V_s)_A}{(V_s)_B} = \frac{(A_{sv})_A}{(A_{sv})_B}\frac{s_B}{s_A}\frac{\sin\alpha + \cos\alpha}{\sin\beta}$$

$$\frac{(V_s)_A}{(V_s)_B} = \frac{۲\times\frac{\pi\times ۸^۲}{۴}}{۲\times\frac{\pi\times ۱۰^۲}{۴}}\times\frac{۱۰۰}{۸۰}\times\frac{\sin ۴۵ + \cos ۴۵}{\sin ۶۰} = \frac{۸^۲\times ۱۰\times\sqrt{۲}}{۱۰^۲\times ۸\times\frac{\sqrt{۳}}{۲}} \simeq ۱/۳$$

۱۰- (۳)

با توجه به اینکه مقاومت برشی اسمی مقطع خواسته شده است، ضرایب ϕ_c و ϕ_s را برابر یک در نظر می‌گیریم و داریم:

$$V_c = ۰/۲\phi_c\sqrt{f_c}\,b_w\,d = ۰/۲\times ۱\times\sqrt{۲۵}\times ۲۰۰\times ۳۰۰ = ۶۰۰۰۰\,N = ۶۰\,kN$$

$$A_{sv} = ۲\times\frac{\pi\times ۱۰^۲}{۴} \simeq ۱۵۰\,mm^۲$$

$$V_s = \phi_s f_{yv} A_{sv}\frac{d}{s} = ۱\times ۳۰۰\times ۱۵۰\times\frac{۳۰۰}{۱۰۰} = ۱۳۵۰۰۰\,N = ۱۳۵\,kN$$

$$V_r = V_c + V_s = ۶۰ + ۱۳۵ = ۱۹۵\,kN$$

تذکر: با توجه به تمرین‌های قسمت دوم درس‌نامه، آرماتورهای عرضی واقع در بال مقطع، مقاومت کمی در برابر برش دارند و از آنها در محاسبات صرف‌نظر می‌شود.

۱۱- (۳)

حداکثر برشی که می‌توان به مقطع نشان داده شده اعمال کرد، برابر مقاومت برشی مقطع (V_r) است. از طرفی حداکثر مقاومت برشی آرماتورها (V_s)، براساس آیین‌نامه به $۴V_c$ محدود می‌شود. بنابراین حداکثر مقدار V_r برابر است با:

$$V_{r_{max}} = V_c + V_s = V_c + \underbrace{۴V_c}_{\rightarrow V_{s_{max}}} = ۵V_c = ۵\times ۰/۲\phi_c\sqrt{f_c}\,bd = \phi_c\sqrt{f_c}\,bd$$

۱۲- (۳)

برای تحلیل این سؤال، مقاومت برشی V_c را محاسبه و آن را با V_s مقایسه می‌کنیم:

$$V_c = ۰/۲\phi_c\sqrt{f_c}\,b_w\,d = ۰/۲\times ۰/۶\times\sqrt{۲۵}\times ۳۰۰\times ۴۰۰ = ۷۲۰۰۰\,N = ۷۲\,kN$$

$V_s = ۴۰۰\,kN > ۴V_c \Rightarrow$ طراحی نادرست است.

بنابراین مساحت فولادهای برشی استفاده شده، زیادتر از حد مجاز است که باعث می‌شود خاموت‌ها در لحظهٔ نهایی جاری نشده و به‌جای آن بتن در بین دو ترک قطری خرد شود. بنابراین دو مورد از جملات گفته شده درست است و گزینهٔ (۳) صحیح می‌باشد.

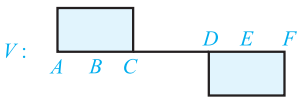
(۱) -۱۳

بر اساس رابطهٔ دقیق V_c، ظرفیت برشی بتن مقطع رابطهٔ مستقیم با $\sqrt{f_c}$، V_u، ρ_w و d و رابطهٔ معکوس با M_u دارد و گزینهٔ (۱) صحیح است.

$$V_c = (۰/۱۹\phi_c \sqrt{f_c} + ۱۲\rho_w \frac{V_u d}{M_u}) b_w d$$

(۴) -۱۴

ابتدا لازم است تا نمودار برش در طول تیر رسم شود:



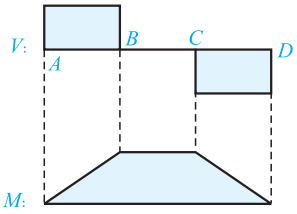
در محدودهٔ AC و DF به دلیل وجود نیروی برشی، در صورتی که $V_u = P > \frac{V_c}{۲}$ باشد، نیاز به قرار دادن خاموت می‌باشد و بنابراین گزینهٔ (۴) کامل‌ترین جواب می‌باشد.

(۱) -۱۵

با توجه به قسمت اول درس‌نامه، حالت (الف) یا (ب) می‌تواند میلگردگذاری مناسبی برای این تیر محسوب شود.

(۳) -۱۶

ابتدا نمودار برش و خمش تیر را رسم می‌کنیم:



در محدودهٔ بین دو بار (طول BC)، حالت خمش محض (بدون برش) وجود دارد و ترک‌ها تنها ناشی از تنش‌های کششی به دلیل لنگر خمشی خواهند بود. اما در محدوده AB و CD ترک‌ها ابتدا به دلیل تنش‌های خمشی از پایین مقطع آغاز شده و در حین بالا رفتن، تحت تأثیر کشش قطری (ناشی از برش) مورب می‌شوند (ترک خمشی - برشی). با توجه به این توضیحات، گزینهٔ (۳) صحیح است.

(۴) -۱۷

برای این‌که هر ترک قطری ایجاد شده، حداقل توسط یک خاموت قطع شود، محدودیت حداکثر فاصلهٔ بین آرماتورهای عرضی اعمال می‌شود ($s \le s_{max}$)، در این صورت از ظرفیت برشی تمام خاموت‌ها استفاده می‌شود.

(۳) -۱۸

با توجه به درس‌نامه، گزینهٔ (۳) صحیح است و آیین‌نامه به‌گونه‌ای عمل می‌کند که شکست خمشی ابتدا رخ دهد، زیرا شکست برشی به‌صورت ترد و غیرمطلوب است.

(۳) -۱۹

با توجه به درس‌نامه، مقاومت برشی مقطع ترک‌خورده که در آن ترک‌های قطری رخ داده است، برابر است با:

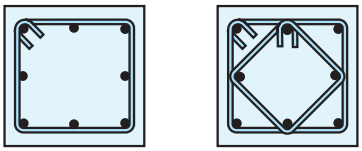
$$V_r = V_c + V_s = (V_{cz} + V_{ay} + V_d) + V_s$$

(۴) -۲۰

همانطور که از درسنامه می‌دانیم قبل از ترک‌خوردگی بتن، کرنش و درنتیجه تنش ایجاد شده در آرماتورهای عرضی ناچیز است، اما بعد از ترک‌خوردگی، آرماتورهای عرضی مقاومت برشی تیر را به اندازهٔ V_s افزایش می‌دهند (کل مقاومت برشی را تشکیل نمی‌دهند) و گزینهٔ (۴) صحیح است.

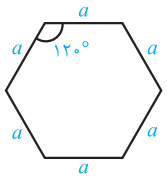
سوالات آزمون سراسری ۹۷

۱- در دو مقطع بتن آرمهٔ (۱) و (۲)، ابعاد، قطر آرماتورهای طولی و عرضی و فواصل خاموت‌گذاری یکسان است. در مقطع (۱) از یک خاموت بستهٔ مربعی و در مقطع (۲) از دو خاموت بستهٔ مربعی مطابق شکل استفاده شده است. نسبت مقاومت برشی تأمین شده توسط آرماتورهای عرضی (V_s) در مقطع (۲) به مقاومت برشی تأمین شده توسط آرماتورهای عرضی در مقطع (۱) حدوداً کدام است؟


(۱) (۲)

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۱/۴
۴) ۱/۷

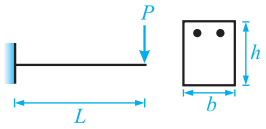
۲- یک دال تخت با عمق مؤثر d دارای ستون‌های شش ضلعی منتظم مطابق شکل می‌باشد. محیط مقطع بحرانی برای محاسبهٔ مقاومت برشی دوطرفه (پانچ) دال کدام است؟



۱) $6a$
۲) $6a+\sqrt{3}\,d$
۳) $6a+2\sqrt{3}\,d$
۴) $6a+4\sqrt{3}\,d$

۳- در تیر شکل زیر، در کدام حالت ترک برشی و ترک خمشی همزمان رخ می‌دهد؟

(مقاومت برشی بتن از رابطهٔ $V_c=0/2\sqrt{f_c}\,bh$ و اساس شکست مقطع از رابطهٔ $f_r=0/6\sqrt{f_c}$ محاسبه می‌شوند)



۱) $\frac{h}{L}=4/0$
۲) $\frac{h}{L}=2/0$
۳) $\frac{h}{L}=1/0$
۴) $\frac{h}{L}=0/5$

۴- در یک مقطع بتن مسلح، کدام‌یک از موارد زیر در مقاومت برشی تیر تأثیر چندانی ندارد؟

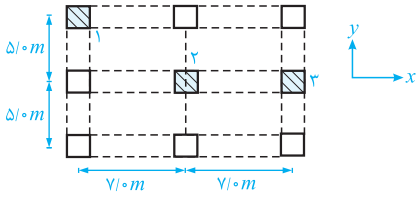
۱) درصد فولاد فشاری تیر
۲) درصد فولاد کششی تیر
۳) نیروی محوری در مقطع
۴) مقدار لنگر خمشی، M_u، وارد بر مقطع

۵- تیر با مقطع مستطیلی به عرض b، ارتفاع مؤثر d، سطح فولاد کششی A_s و مقاومت جاری شدن فولاد f_y مفروض است. با افزایش کدام پارامتر در صورت ثابت بودن سایر پارامترها، هم لنگر مقاوم خمشی مقطع و هم انحنای مقطع در حالت مقاومت نهایی افزایش می‌یابد؟ (مقطع طوری است که در لنگر نظیر مقاومت خمشی نهایی، میلگرد تسلیم می‌شود و کرنش دورترین تار فشاری بتن به مقدار مشخص ε_{cu} می‌رسد.)

۱) b
۲) d
۳) A_s
۴) f_y

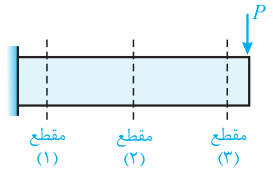
سوالات آزمون سراسری ۹۸

۱- در پلان شکل زیر که مربوط به یک طبقهٔ مهار نشده است، ضریب تشدید لنگر (δ_s) برای کدام ستون بزرگتر است؟ (نیروی افقی در راستای محور x وارد می‌شود و ابعاد و آرماتورگذاری تمام تیرها و ستون‌ها یکسان است)



۱) ستون ۱
۲) ستون ۲
۳) ستون ۳
۴) در هر سه ستون برابر است.

۲- یک تیر طره‌ای مطابق شکل، تحت بار P در انتهای خود قرار دارد. در مقاطع مشخص شده در شکل، کدام‌یک مقاومت برشی بزرگتری دارد؟ (با فرض اینکه آرماتورهای کششی در کل طول تیر بدون تغییر امتداد یافته‌اند)



۱) مقطع (۱)
۲) مقطع (۲)
۳) مقطع (۳)
۴) در هر سه مقطع یکسان است.

۳- افزایش کدام‌یک از پارامترهای ρ (درصد آرماتور کششی مقطع) و ρ' (درصد آرماتور فشاری مقطع) سبب افزایش یا کاهش شکل‌پذیری در تیر بتن‌آرمه می‌شوند؟ (فرض شود طرح اولیه متناسب بوده است.)

۱) افزایش ρ سبب کاهش و افزایش ρ' (با ثابت نگه داشتن ρ) سبب افزایش شکل‌پذیری می‌شود.
۲) افزایش ρ سبب افزایش و افزایش ρ' (با ثابت نگه داشتن ρ) سبب کاهش شکل‌پذیری می‌شود.
۳) افزایش ρ و ρ' (با نسبت ثابت و یکسان) سبب کاهش شکل‌پذیری می‌شوند.
۴) افزایش ρ و ρ' (با نسبت ثابت و یکسان) سبب افزایش شکل‌پذیری می‌شوند.

۴- در استفاده از لنگر ترک‌خوردگی پیچشی در مقاطع تیرهای بتن مسلح مستطیلی ساختمانی، کدام عبارت نادرست است؟

۱) لنگر ترک‌خوردگی مقاطع بالدار نسبت به مقاطع معادل بدون بال می‌تواند بیشتر باشد.
۲) حداکثر لنگر پیچشی طراحی در پیچش سازگاری، به لنگر ترک‌خوردگی محدود می‌شود.
۳) در شرایطی که لنگر طراحی کمتر از ۲۵٪ لنگر ترک‌خوردگی باشد، نیازی به لحاظ کردن پیچش نیست.
۴) در شرایطی که لنگر طراحی پیچشی از لنگر ترک‌خوردگی کمتر باشد، نیازی به آرماتور پیچشی نیست.