به‌نام یکتا مهندس هستی...

سخن مؤلفان

سازه‌های بتن‌آرمه یکی از مهمترین دروس رشتهٔ مهندسی عمران است که یادگیری مفهومی و عمیق آن، برای یک مهندس عمران لازم و ضروری می‌باشد.

پس از انتشار کتاب سازه‌های فولادی مؤسسه سری عمران، درخواست‌های بسیار زیاد شما عزیزان مبنی بر انتشار کتاب سازه‌های بتنی توسط این مؤسسه، نشان می‌داد که شما نیز بر اهمیت زیاد این درس واقفید. از این‌رو تصمیم گرفتیم تا با تشکیل قوی‌ترین تیم ممکن، کتابی در دو جلد به شما ارائه کنیم.

ویژگی‌های این کتاب

۱- ارائهٔ یک نگاه جدید در درس بتن که حاصل تجربهٔ بسیار زیاد هر یک از مؤلفین این کتاب در تدریس است.

۲- طبقه‌بندی دقیق هر فصل به بخش‌های مجزا و کوچکتر که باعث افزایش سرعت یادگیری شما می‌شود.

۳- ایجاد یک روند جدید در آموزش مطالب، با کمک پرسیدن چند سؤال مفهومی در شروع هر بحث که درک شما را از مطالب بسیار بالا می‌برد (قسمت بررسی چند سؤال).

۴- جمع‌آوری مثال‌های بسیارخوب و متنوع در قسمت ادراک و تسلط بیشتر در انتهای هر بخش، که باعث افزایش چشمگیر مهارت شما بر مطالب می‌شود.

۵- آوردن کلیهٔ سؤالات کنکور سراسری، آزاد و همچنین سؤالات تألیفی به منظور تکمیل مطالب درسی.

۶- آوردن آزمون در انتهای هر فصل که به کمک آن می‌توانید میزان توانایی خود را در حل سؤالات بسنجید.

به شـما اطمینان می‌دهیم که با مطالعهٔ این کتاب متوجه خواهید شـد که بتن آرمه درسـی جذاب اسـت و با نگاه جدید ارائه شده، می‌توان سـؤالات آن را به خوبی در کنکور تحلیل کرد.

در خاتمه لازم اسـت از جناب آقای دکتر شـریفیان مدیریت مؤسسه سری عمران و عوامل اجرایی مؤسسـه جناب آقای فرزانه، سـرکار خانم نجفی و ... کـه تمام تلاش خود را در جهـت ارائه هر چه بهتر این مجموعـه به‌کار گرفتند و همچنیـن خانواده‌های صبورمان، نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

در آخر علیرغم تلاش فراوانی که برای بازبینی این کتاب شـده است، وجود اشکال در آن غیرممکن نبوده و از اساتید گرانقدر و دانشجویان گرامی تقاضا می‌شود، پیشنهادات و انتقادات خود را در تالار گفتگوی سایت (www.serieomran.ir) مطرح نمایند.

(توفیق رفیق راهتان)

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 ۳۰

تست‌های فصل پنجم ۳۸

آزمون ۵۲

فصل ششم: پیچش در سازه‌های بتن‌آرمه

قسمت اول: مفاهیم مقدماتی پیچش ۵۸

قسمت دوم: طراحی مقاطع بتن‌آرمه در پیچش ۶۸

قسمت سوم: ترکیب پیچش و سایر بارگذاری‌ها ۷۵

تست‌های فصل ششم ۸۱

آزمون ۸۹

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

قسمت اول: چسبندگی مهاری ۹۴

قسمت دوم: چسبندگی خمشی ۱۰۴

قسمت سوم: قلاب و وصله میلگرد ۱۱۵

قسمت چهارم: ضوابط قطع میلگرد ۱۲۲

تست‌های فصل هفتم ۱۲۷

آزمون ۱۳۷

فصل هشتم: کنترل خیز و ترک در سازه‌های بتن‌آرمه

قسمت اول: کنترل عرض ترک در یک تیر بتنی ۱۴۰

قسمت دوم: کنترل خیز در تیرها ۱۴۶

تست‌های فصل هشتم ۱۵۶

آزمون ۱۶۱

فصل نهم: اصول طراحی دال‌ها

قسمت اول: آشنایی با انواع دال‌ها ۱۶۴

قسمت دوم: تحلیل و طراحی دال‌های یک‌طرفه ۱۶۸

قسمت سوم: تحلیل و طراحی دال‌های دوطرفه ۱۷۴

تست‌های فصل نهم ۱۸۱

آزمون ۱۹۰

فصل دهم: اصول طراحی پی‌ها

قسمت اول: آشنایی با انواع پی‌ها ۱۹۴

قسمت دوم: مراحل طراحی پی منفرد تحت بار محوری ۱۹۷

تست‌های فصل دهم ۲۱۰

آزمون سراسری از سال ۹۳ به بعد ۲۱۴

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:

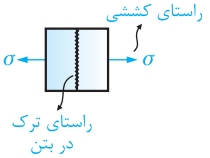
یک اصل اساسی

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.

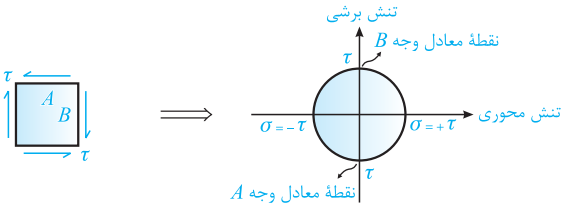
تمرین ۱: در سه المان زیر، نحوهٔ ترک‌خوردگی المان بتنی را مشخص کنید؟

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:

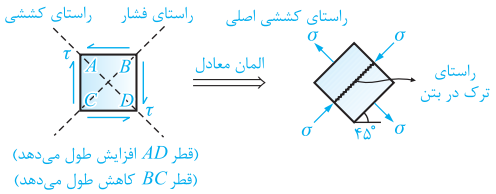


المان (۱): در این المان که حالت **کشش خالص** نام دارد، در راستای افقی بیشترین کشش در المان وجود دارد و در صورت ترک‌خوردن المان، ترک‌ها عمود بر راستای کششی ظاهر می‌شوند.

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

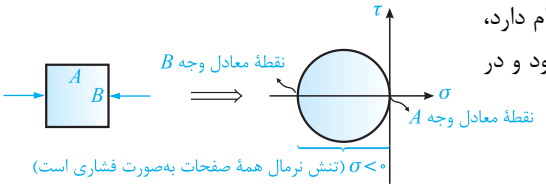


با توجه به مفاهیم مقاومت مصالح می‌دانیم که با چرخش ۴۵ درجه‌ای المان در جهت خلاف عقربه‌های ساعت (۹۰ درجه در دایره مور)، راستای کششی اصلی ظاهر می‌شود و جهت ترک‌ها عمود بر راستای کششی است:

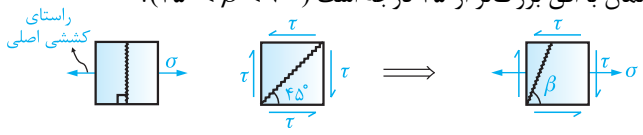


زیر شاخه‌های قسمت اول
A-۱- بررسی ترک‌خوردگی در یک المان بتنی
A-۲- مروری بر مفاهیم تنش‌های اصلی و نحوهٔ ترک‌خوردگی در یک تیر دو سر مفصل
A-۳- میلگردگذاری برشی در یک تیر بتنی

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:

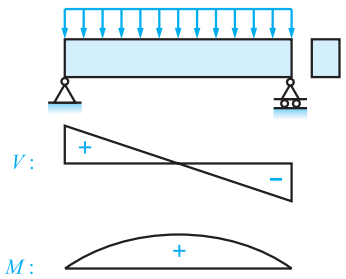
$$\sigma^t_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2})^2 + \tau^2_{xy}}$$ (رابطهٔ مقاومت مصالح)

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

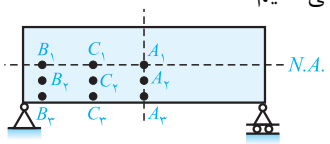
شرط ترک‌خوردگی: $\sigma^t_{max} = f_r \Rightarrow \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} = f_r$

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:



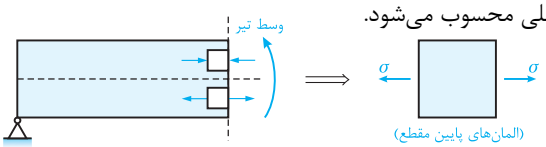
بررسی چند سوال

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

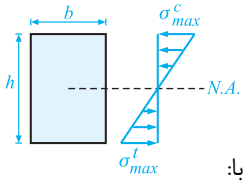
پاسخ: برای بررسی المان در نقاط A_1، A_2 و A_3، به نکات زیر توجه کنید:

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:

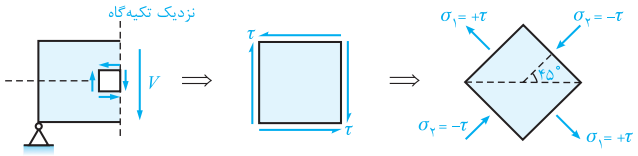
$$\sigma^t_{max} = \frac{M}{S} = \frac{6M}{bh^2}$$

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

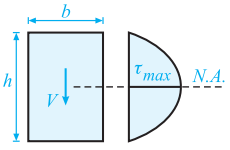
پاسخ: برای بررسی المان تنش در نقاط B_1، B_2 و B_3، به نکات زیر توجه کنید:

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.

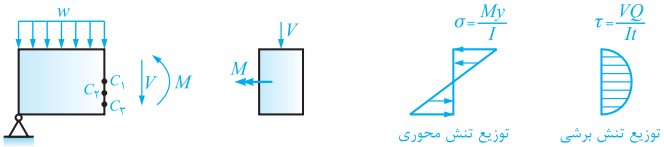


$$\Rightarrow \text{نقطهٔ } B_1 : \sigma^t_{max} = \tau_{max} = \frac{3}{2}\frac{V}{A}$$

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:

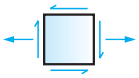


۲- در محل المان C_1، یعنی حوالی محور خنثی، تنش محوری ناشی از خمش صفر است و در محل المان C_3، یعنی حوالی لبهٔ تیر، تنش برشی ناشی از برش صفر است.

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

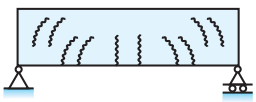
المان C_1 : المان C_1 روی محور خنثی قرار دارد، پس $\sigma = 0$ می‌باشد.

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

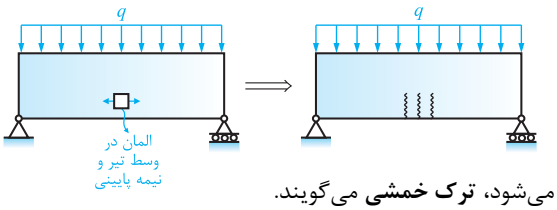


المان C_3 : در محل المان C_3 تنش برشی صفر است و تنش کششی وجود دارد.

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:

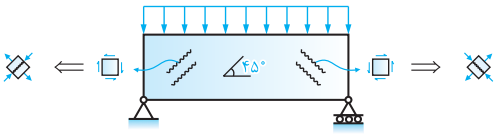


۱) در نواحی میانی تیر نشان داده شده، نیروی برشی ناچیز است و خمش در نیمهٔ پایینی مقطع تنش‌های کششی ایجاد می‌کند. در این حالت جهت ترک‌ها عمود بر راستای کششی بوده و به صورت زیر است:



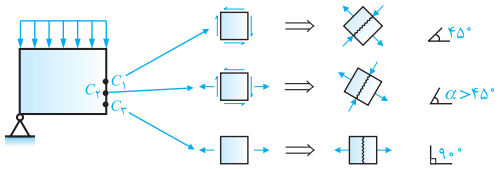
نکته: به این نوع ترک‌ها که در اثر خمش ایجاد می‌شود، **ترک خمشی** می‌گویند.

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.

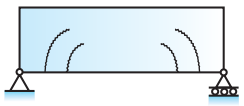


نکته: به اینگونه ترک‌ها، **ترک برشی** می‌گویند. این ترک‌ها در حوالی محور خنثی ظاهر شده و با افق زاویهٔ تقریبی ۴۵ درجه را می‌سازند.

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:

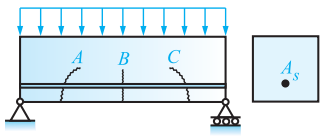


نکته: به اینگونه ترک‌ها، **ترک خمشی - برشی** می‌گویند. ترک‌های خمشی - برشی به صورت قائم از پایین تیر در نقطهٔ C_3 شروع شده و هر چه به بالای تیر نزدیکتر می‌شویم، ترک‌ها افقی‌تر می‌شوند. شایان ذکر است که در نقطهٔ C_1، المان وضعیت برش خالص را داشته و ترک با افق زاویهٔ ۴۵ درجه می‌سازد. شکل کلی ترک‌های خمشی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

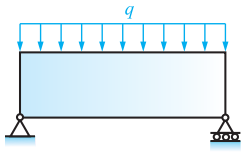


۱) ترک‌های نوع A و C در اثر خمش و کشش قطری پدید آمده‌اند.
۲) ترک نوع B در اثر کشش قطری پدید آمده است.
۳) ترک‌های A و B و C در اثر خمش به‌وجود آمده‌اند.
۴) ترک‌ها در هر محل دلخواهی در مقطع می‌تواند ایجاد شود.

● **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

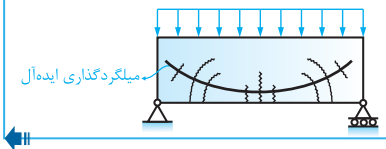


همانطور که بیان کردیم، بتن در کشش بسیار ضعیف بوده و زود ترک می‌خورد. برای جبران این ضعف، باید در سازهٔ بتن‌آرمه از میلگردگذاری استفاده کنیم. میلگردگذاری در حالت ایده‌آل باید عمود بر ترک‌ها قرار بگیرد تا هنگامی که ترک به آن می‌رسد، به بهترین شکل از پیشرفت ترک جلوگیری کند. در ادامه با بررسی چند سؤال، این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

بررسی چند سوال

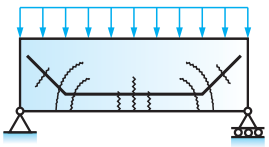
سوال ۱: ایده‌آل‌ترین نوع میلگردگذاری در مقطع تیر نشان داده شده چگونه است؟

● **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؟

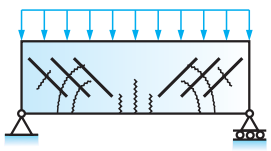
پاسخ: از آنجا که در عمل میلگردگذاری ایده‌آل نمی‌تواند به‌سادگی اجرا شود، از **میلگردهای اُتکا** به‌صورت مقابل می‌توان به‌عنوان یک طرح جایگزین استفاده کرد. این شیوه از میلگردگذاری، بسیار شبیه به میلگردگذاری ایده‌آل است.



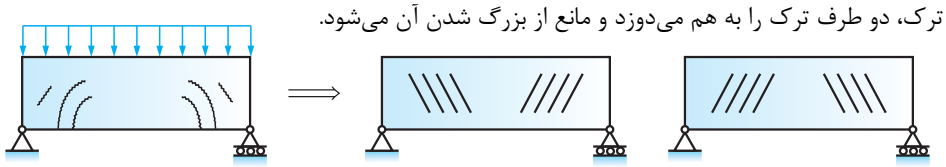
دقت: می‌توان گفت که میلگردهای اتکا، همان میلگردهای طولی هستند که در نزدیکی تکیه‌گاه‌ها خم شده‌اند.

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.



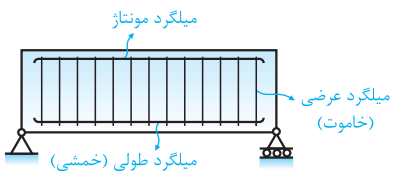
اما باید توجه کنیم که استفاده از آرماتورهای مایل چندان رایج نیست، زیرا:

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؟

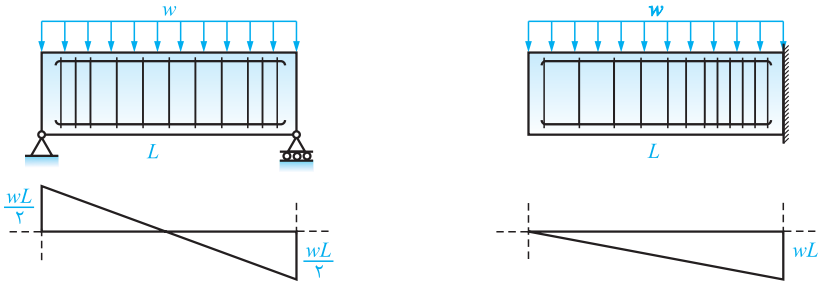
پاسخ: در اغلب پروژه‌ها از میلگردگذاری قائم به عنوان میلگردهای عرضی مقاوم در برابر برش استفاده می‌کنند.



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.

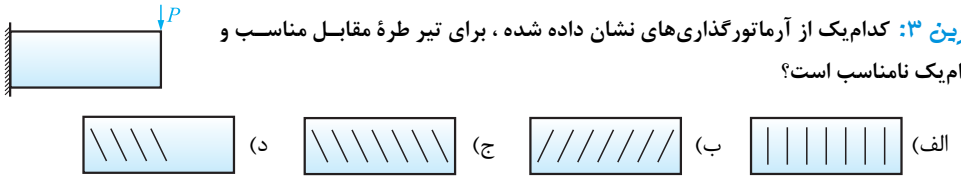
سؤال ۵: در اجرای قائم آرماتورهای، فاصلهٔ بین آرماتورها معمولاً چگونه درنظر گرفته می‌شود؟

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:

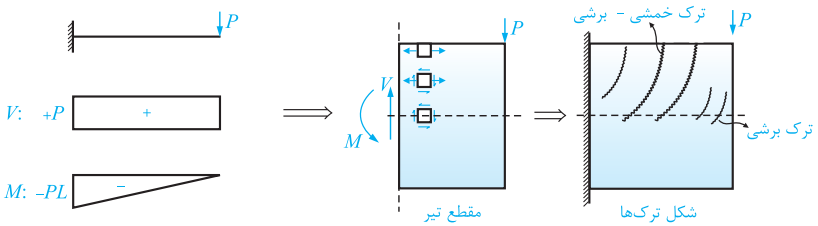


همانطور که مشاهده کردید در قسمت بررسی چند سؤال، مفاهیم بسیار جالبی را در مورد مفهوم آرماتورگذاری یک تیر بتن‌آرمه یاد گرفتیم.

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.

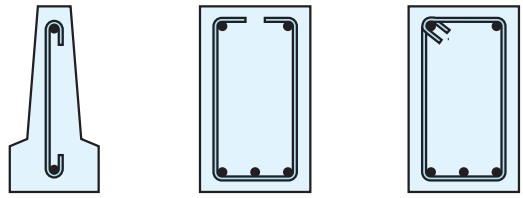
آرماتورگذاری ج: این گزینه بهترین شکل آرماتورها از نظر تئوری می‌باشد، زیرا آرماتورها عمود بر جهت ترک‌ها می‌باشند و از ظرفیت خاموت‌ها در آن نسبت به حالت (الف) بهتر استفاده می‌شود. البته دقت شود که اجرای این سیستم آرماتورگذاری دشوار است.

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.

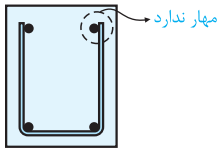


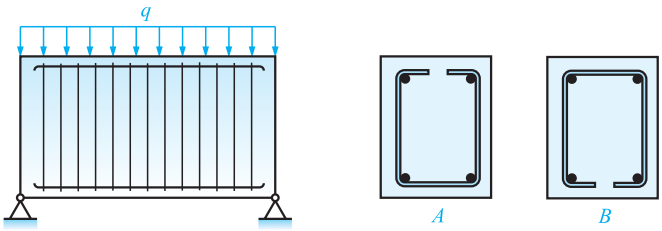
تنگ بسته (دو شاخه) | تنگ باز (رکابی) (دو شاخه) | تنگ باز (قلاب) (تک شاخه)

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.

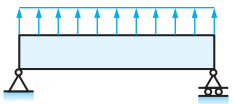


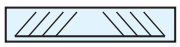


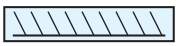
* A از B مناسب‌تر است زیرا قسمت مهار میلگرد در ناحیهٔ فشاری قرار گرفته است.

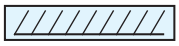
تست‌های فصل پنجم

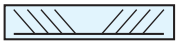
۱- نامناسب‌ترین آرماتورگذاری عرضی در تیر دو سر سادهٔ زیر، در کدام گزینه نشان داده شده است؟ (آزاد ۸۷)



۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

۲- کدام‌یک از گزینه‌های زیر در مورد ترک‌های برشی و خمشی - برشی نادرست می‌باشند؟

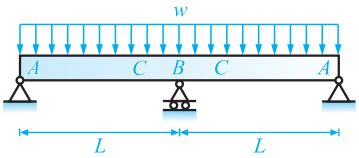
۱) ترک‌های خمشی - برشی معمولاً از ترک‌های برشی متداول‌تر هستند.

۲) در نقاطی که نیروی برشی و لنگر خمشی زیاد است، ترک‌های خمشی - برشی ایجاد می‌شوند.

۳) ترک‌های برشی معمولاً در نقاط عطف تیرهای سراسری ایجاد می‌شوند.

۴) در یک تیر معمولی ابتدا ترک‌های برشی رخ می‌دهد.

۳- در تیر بتنی دو دهانهٔ زیر، در کدام محل‌ها احتمال رخ دادن ترک برشی بیشتر است؟



۱) B و C

۲) B و A

۳) A

۴) C و A

۴- شرایط گفته شده در کدام گزینه، هر کدام به صورت مجزا می‌تواند باعث افزایش مقاومت برشی مقطع شود؟

۱) افزایش مقاومت مشخصهٔ بتن، افزایش لنگر نهایی وارد بر تیر، افزایش عرض مقطع

۲) افزایش برش نهایی وارد بر تیر، افزایش لنگر نهایی تیر، افزایش نیروی محوری فشاری

۳) کاهش لنگر نهایی وارد بر تیر، افزایش نیروی محوری کششی، افزایش ارتفاع مؤثر مقطع

۴) کاهش لنگر نهایی وارد بر تیر، کاهش نیروی محوری کششی، افزایش مقاومت مشخصهٔ بتن

۵- کدام مورد در مقاومت برشی یک مقطع بتن مسلح اثری ندارد؟

۱) نیروی محوری مقطع

۲) تنش تسلیم فولادهای طولی

۳) نحوهٔ بارگذاری عضو

۴) مقاومت فشاری بتن

۶- اصولاً برای جلوگیری از بروز ناپایداری به دلیل ترک‌های مورب ناشی از تنش‌های برشی در نزدیکی تکیه‌گاه‌های تیرهای بتن مسلح، کدام راه حل زیر مناسب می‌باشد؟

۱) استفاده از فولادهای عرضی قائم به شکل خاموت یا رکابی

۲) استفاده از فولادهای عرضی قائم همراه با فولادهای طولی خم شده

۳) استفاده از فولادهای عرضی مورب با زاویهٔ مناسب

۴) هر سه مورد می‌تواند به عنوان راه‌حل مناسب مطرح باشد

۷- یک مقطع بتن‌آرمهٔ مستطیلی با آرماتورهای عرضی به صورت تنگ بسته مسلح شده است. مؤثرترین راه برای افزایش مقاومت برشی این مقطع کدام مورد است؟

۱) افزایش عرض مؤثر مقطع

۲) افزایش عمق مؤثر مقطع

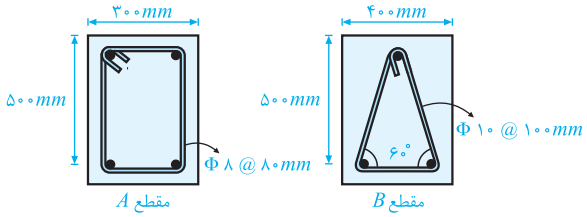
۳) افزایش مقاومت فشاری بتن

۴) افزایش مقاومت فولاد در آرماتورهای عرضی

۸- در یک مقطع ترک‌خورده، مقاومت برشی تحمل شده توسط خاموت‌های مایل در یک تیر بتنی، حداکثر چند درصد بیشتر از خاموت‌های قائم با مساحت یکسان و با فاصلهٔ یکسان نسبت به حالت مایل می‌باشد؟

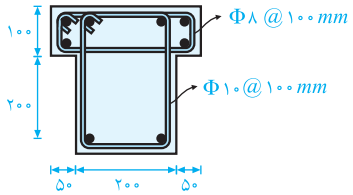
۱) ۴۰٪ ۲) ۲۰٪ ۳) ۳۰٪ ۴) ۱۵٪

۹- چنانچه در مقطع A از فولاد برشی مایل با زاویهٔ ۴۵ درجه نسبت به محور طولی تیر و در مقطع B از فولاد برشی قائم مثلثی شکل استفاده شود، نسبت ظرفیت برشی فولادها در مقطع A به B تقریباً چقدر است؟ (f_y برای فولادهای عرضی در دو مقطع یکسان است.)



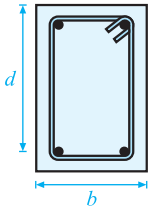
۱) ۱/۱
۲) ۱/۳
۳) ۰/۷
۴) ۰/۹

۱۰- مقاومت برشی اسمی مقطع شکل زیر چقدر است؟ ($f_y = ۳۰۰MPa$ ، $f_c = ۲۵MPa$ ، $\pi \simeq ۳$ ، ابعاد روی شکل برحسب میلی‌متر است.)



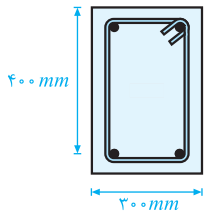
۱) $۲۲۲kN$
۲) $۱۳۵kN$
۳) $۱۹۵kN$
۴) $۱۶۲kN$

۱۱- حداکثر برشی را که به ازای هر نوع آرایش آرماتور عرضی می‌توان به مقطع زیر اعمال کرد، چقدر می‌باشد؟



۱) $۰/۲\,\phi_c\sqrt{f_c}\,bd$
۲) $۰/۸\,\phi_c\sqrt{f_c}\,bd$
۳) $\phi_c\sqrt{f_c}\,bd$
۴) بدون مشخص بودن مشخصات آرماتور برشی نمی‌توان تعیین کرد.

۱۲- در طراحی برشی مقطع شکل روبه‌رو، ظرفیت فولادهای طراحی شده در مقطع برابر $۴۰۰\,kN$ می‌باشد. چند مورد از جملات زیر دربارهٔ این مقطع هنگامی‌که تحت برش نهایی قرار دارد، صحیح است؟ ($f_c = ۲۵\,MPa$ ، $f_y = ۳۰۰\,MPa$، $\phi_c = ۰/۶$ ، $\phi_s = ۰/۸۵$)



الف) در لحظهٔ نهایی خاموت‌ها جاری می‌شوند.
ب) در لحظهٔ نهایی بتن در بین دو ترک قطری خرد می‌شود.
ج) طراحی برشی تیر بر اساس آیین‌نامه قابل قبول نیست.

۱) ۰ ۲) ۱ ۳) ۲ ۴) ۳

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

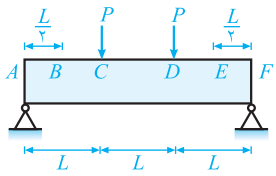
۱) رابطهٔ مستقیم با مجذور مقاومت فشاری بتن، نیروی برشی اعمالی، میزان فولاد و عمق مؤثر مقطع و رابطهٔ معکوس با میزان لنگر اعمالی دارد.

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)



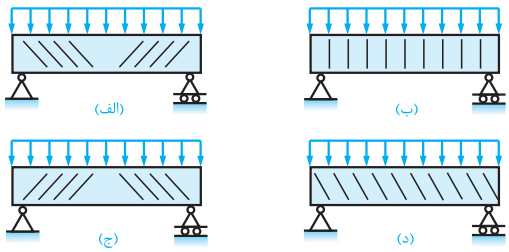
۱) CD

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)



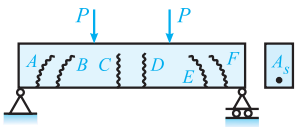
۱) الف یا ب

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.

پاسخ تست‌های فصل پنجم

۱- (۴)

برای پاسخ‌گویی به این تست ساده تنها باید به این نکته دقت شود که بار گستردهٔ وارد بر تیر، عکس حالت عادی و رو به بالا است. بنابراین جهت ترک‌های تیر نیز معکوس ترک‌هایی است که در قسمت اول این فصل بر روی آن بحث کردیم. در این شرایط آرماتورهای عرضی در گزینهٔ (۴) همگی موازی ترک‌ها بوده و نامناسب‌ترین نوع آرماتورگذاری برای این تیر محسوب می‌شوند. برای درک بهتر به قسمت اول درس‌نامه مراجعه شود.

۲- (۴)

ترک‌های برشی نسبتاً کمیاب هستند و اکثراً در نزدیکی تکیه‌گاه‌ها و یا در نقاط عطف تیرهای سراسری (که لنگر خمشی صفر است) به‌وجود می‌آیند. در ضمن در یک تیر معمولی در بیشتر اوقات ابتدا ترک‌های خمشی ایجاد می‌شود.

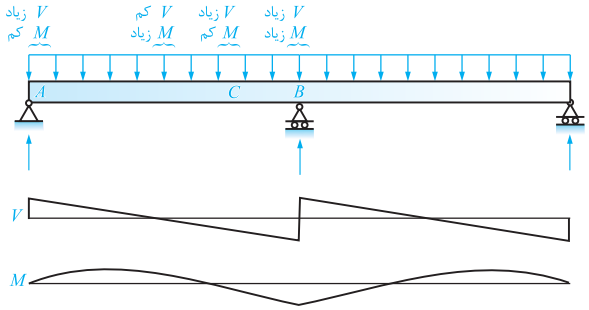
۳- (۴)

در تیرهای بتنی با توجه به نسبت نیروی برشی به لنگر خمشی ایجاد شده در مقطع، سه نوع ترک‌خوردگی متفاوت مشاهده می‌شود:

۱- در مقاطعی که نیروی برشی کوچک و لنگر خمشی قابل توجه باشد، تنها ترک‌های خمشی ایجاد می‌شود.

۲- در مقاطعی که مقادیر نیروی برشی و لنگر خمشی هر دو قابل توجه باشند، ابتدا ترک‌های خمشی به‌وجود می‌آید. در ادامه این ترک‌ها به امتداد قطری تغییر جهت داده و شروع به گسترش می‌کنند که در این صورت تبدیل به ترک‌های خمشی - برشی می‌شوند.

۳- در مقاطعی که نیروی برشی بزرگ و لنگر خمشی کوچکی وجود داشته باشد، ترک برشی در حوالی محور خنثی به‌وجود می‌آید و در این محل‌ها ترک خمشی یا وجود ندارد و یا در صورت وجود ناچیز است. اکنون برای مشخص شدن نوع ترک‌خوردگی این تیر با استفاده از نمودار خمش و برش تیر داریم:



بنابراین در این تیر در مقاطع A و C که نیروی برشی مقدار قابل توجه و لنگر خمشی کوچک است، احتمال ایجاد ترک برشی وجود دارد و گزینهٔ (۴) صحیح می‌باشد.

۴- (۴)

برای پاسخ‌گویی به این تست، به رابطهٔ مقاومت برشی بتن مقطع توجه کنید:

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

با توجه به رابطهٔ بالا، کاهش لنگر وارد بر تیر و افزایش مقاومت مشخصهٔ بتن، مقاومت برشی تیر را افزایش می‌دهد. از طرفی با توجه به توضیحات قسمت دوم درسنامه، کاهش نیروی محوری کششی نیز مقاومت برشی مقطع را افزایش می‌دهد و گزینهٔ (۴) صحیح است.

(۲) -۵

با توجه به گزینه‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- اعمال نیروی محوری فشاری باعث افزایش مقاومت برشی مقطع می‌شود.

۲- نسبت فولادهای طولی ($\rho_w = \frac{A_s}{b_w d}$) در مقاومت برشی موثر است.

۳- نحوهٔ بارگذاری عضو می‌تواند باعث تغییر نسبت $\frac{V_u}{M_u}$ شود که با توجه به رابطهٔ دقیق V_c ، مقاومت برشی را تغییر می‌دهد.

۴- مقاومت فشاری بتن مقطع با $\sqrt{f_c}$ رابطهٔ مستقیم دارد.

با توجه به موارد گفته شده، تنش جاری شدن فولادهای طولی (f_y) اثری بر مقاومت برشی مقطع ندارد.

(۴) -۶

برای مهار ترک‌های مورب، استفاده از فولادهای عرضی قائم، فولادهای عرضی قائم به همراه فولادهای طولی خم شده (اُتکا) و استفاده از فولادهای عرضی مورب هر سه مناسب می‌باشند، با توجه به این موضوع گزینهٔ (۴) صحیح است.

(۲) -۷

با توجه به رابطهٔ $V_r = V_c + V_s$ ، در صورتی که هر دو عامل V_c و V_s با هم افزایش یابند، V_r بیشترین افزایش ممکن را خواهد داشت:

$$V_c = ۰/۲ \phi_c \sqrt{f_c} b_w d \quad , \quad V_s = \phi_s f_{yv} A_{sv} \frac{d}{s}$$

با توجه به روابط بالا، چنانچه پارامتر d (عمق مؤثر مقطع) که در هر دو رابطه وجود دارد افزایش یابد، V_c و V_s هر دو افزایش می‌یابند و افزایش مقاومت برشی مقطع بیشتر می‌باشد و گزینهٔ (۲) صحیح است..

تذکر: افزایش عوامل بیان شده در گزینه‌های (۱)، (۳) و (۴) تنها یکی از مقاومت‌های V_c یا V_s را تحت تأثیر قرار می‌دهند و لذا افزایش V_r ناشی از آنها، کمتر از حالتی است که V_c و V_s هر دو افزایش یابند.

(۱) -۸

در حالتی که تمام پارامترها یکسان بوده و تنها زاویهٔ خاموت‌ها نسبت به محور طولی تیر تغییر کند، با استفاده از روابط V_s داریم:

$$\frac{\text{مقاومت برشی خاموت‌های مایل}}{\text{مقاومت برشی خاموت‌های قائم}} : \frac{V_۱}{V_۲} = \frac{\phi_s f_{yv} A_{sv} \frac{d}{s}(\sin\alpha + \cos\alpha)}{\phi_s f_{yv} A_{sv} \frac{d}{s}} = \sin\alpha + \cos\alpha$$

از سوی دیگر بیشترین مقدار عبارت $\sin\alpha + \cos\alpha$، در $\alpha = ۴۵^\circ$ رخ داده و برابر $\sqrt{۲}$ است:

$$max\left\{\frac{V_۱}{V_۲}\right\} = max\{\sin\alpha + \cos\alpha\} = \sqrt{۲} \simeq ۱/۴۰$$

بنابراین مقاومت برشی آرماتورها در حالت مایل، حداکثر ۴۰ درصد بیشتر از حالت قائم 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:

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

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.