



فصل اول

کلیات و مفاهیم

آنچه در این فصل می‌خوانیم؛

کلیات و مفاهیم

مقدمه

داستان طراحی یک سازه بتن آرمه با مدل سازی شروع شده، سپس تحت بارگذاری قرار گرفته، و در ادامه تحلیل و طراحی می شود. نویسنده این داستان، مهندس طراحی است که بر روی مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، استاندارد ۲۸۰۰، تحلیل سازه ها و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تسلط کافی دارد. در واقع مهندس طراح^۱ به شخصیت حقیقی یا حقوقی اطلاق می گردد که مسئولیت طراحی سازه را عهده دار بوده و دارای صلاحیت یا رتبه بندی از وزارت راه و شهرسازی است. در این کتاب سعی میکنیم شما مهندسین عزیز را با ضوابطی که یک مهندس طراح باید از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان بداند آشنا سازیم.

این فصل از کتاب طرح و اجرای سازه های بتن آرمه ACE به بیان مفاهیم اولیه از ضوابط مبحث نهم پرداخته که ابزار کار شما در فصول آتی خواهد بود. با ما همراه باشید تا مراحل طراحی اعضای سازه های بتن آرمه را به صورت گام به گام همراه با سوالات آزمون محاسبات نظام مهندسی و تالیفی در این فصل و فصول بعدی مورد بررسی قرار دهیم.

منظور از عضو بتن آرمه چیست؟

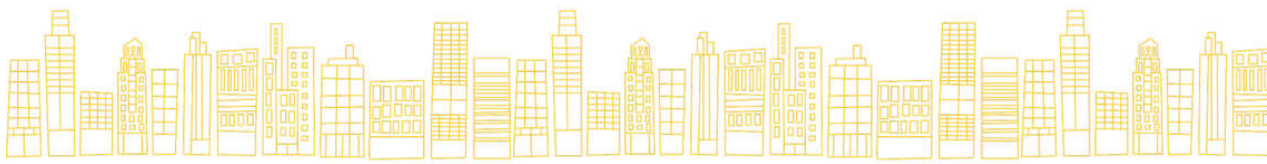
عضو بتن آرمه عضوی است که از ترکیب بتن و آرماتور تشکیل شده است، اما چرا بتن و آرماتور؟ برای پاسخ به این سوال باید بدانید بتن ماده با مقاومت فشاری قابل قبولی است، بنابراین استفاده از آن برای قطعات تحت فشار مانند ستون ها و دیوارها مناسب است. اما به سبب مقاومت کمی که تحت نیروی کششی دارد، استفاده از آن برای قطعاتی که تماماً یا بطور موضعی تحت کشش هستند (تیر، دال، فونداسیون) محدود می گردد. برای رفع این محدودیت، اعضای بتنی که کل مقطع آن ها و یا قسمتی از آن تحت کشش هستند را با قرار دادن فولاد در ناحیه کششی مقطع تقویت می نمایند. البته می توان در صورت نیاز با قرار دادن فولاد در ناحیه فشاری اعضای بتنی (تیر، ستون، دیوار). مقاومت فشاری آن را نیز بهبود بخشید. اما چرا برای جبران نقص بتن در مقاومت کششی و بهبود مقاومت فشاری آن از فولاد استفاده می شود؟ پاسخ این است: به دو دلیل چسبندگی بالا و ضرایب انبساط حرارتی تقریباً یکسانی که بین بتن و آرماتور وجود دارد، در اثر بارهای وارده و تغییرات دما این دو ماده تغییر شکل تقریباً یکسانی داشته و لغزشی بین آنها رخ نمی دهد.

ضریب انبساط حرارتی بتن $\cong 10^{-6} \times 10$

ضریب انبساط حرارتی فولاد $\cong 10^{-6} \times 12$

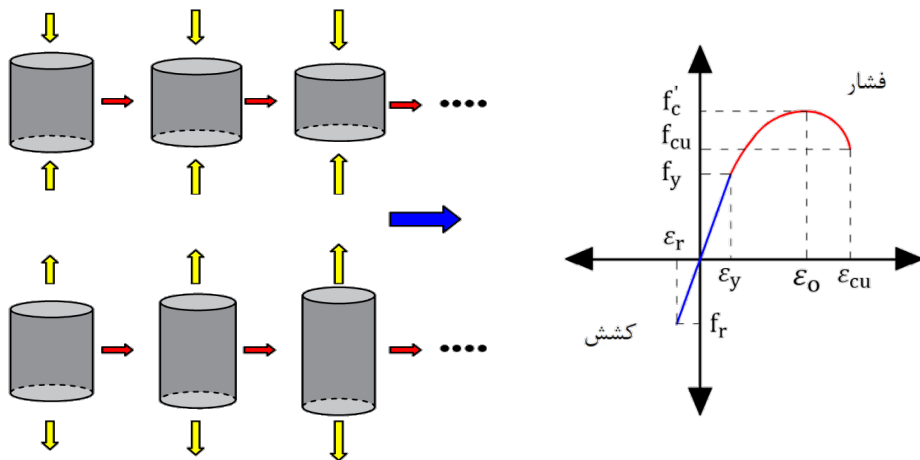
در ادامه نگاهی به مدل رفتاری بتن و فولاد خواهیم داشت. با ما همراه باشید.

۱. شرح وظایف و حدود اختیارات مهندس طراح مطابق ضوابط مبحث دوم مقررات ملی ساختمان تعیین می شود.



بتن

بطور کلی بتن به هر محصولی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد اتلاق می‌گردد. در مفهوم خاص‌تر منظور از بتن در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ماده‌ای است که از سیمان، ماسه، شن و آب تشکیل شده است. چنانچه یک نمونه بتنی تحت یک بازه پیوسته از تنش‌های فشاری و کششی قرار گیرد و کرنش نظیر هر تنش تعیین گردد، نموداری که از مولفه‌های تنش و کرنش این آزمایش بدست می‌آید، نمودار تنش و کرنش بتن نام خواهد داشت. در زیر نمودار کیفی از تنش و کرنش یک نمونه بتنی نشان داده شده که در ادامه به معرفی نواحی و نقاط مهم آن می‌پردازیم. شکل ۱-۱



شکل ۱-۱ نمودار تنش کرنش بتن

بند ۹-۳-۶: با دقت در نمودار تنش کرنش بتن، نمودار در قسمت فشاری از دو بخش رفتار خطی و رفتار غیر خطی تشکیل شده است. در قسمتی که نمودار خطی بوده، رفتار نمونه بتنی، یک رفتار ارتجاعی و شیب نمودار در این ناحیه برابر با مدول الاستیسیته بتن (E_c) است.

الف) چنانچه چگالی بتن (w_c) بین ۱۴۴۰ تا ۲۵۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب باشد مدول الاستیسیته بتن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$E_c = 0.43 w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad \text{رابطه (۱)}$$

ب) چنانچه بتن معمولی و با چگالی ۲۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب باشد، مدول الاستیسیته بتن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad \text{رابطه (۲)}$$

w_c : چگالی بتن ($\frac{Kg}{m^3}$)

f'_c : مقاومت مشخصه بتن (MPa)

E_c : مدول الاستیسیته بتن (MPa)

در مرحله بعدی، بتن تحت فشار، وارد مرحله رفتار غیرخطی شده و حد نهایی مقاومت آن برابر با مقاومت فشاری مشخصه بتن f'_c است. پس از آن بتن دچار یک افت مقاومت شده و به گسیختگی کامل می‌رسد. کرنش معادل نقطه گسیختگی، ϵ_{cu} بوده که مقدار آن مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برای انواع بتن برابر 0.003 است.

اکنون بر روی رفتار کششی بتن توجه کنید، با توجه به نمودار شکل ۱-۱ حد نهایی مقاومت بتن در کشش برابر f_r بوده و از رفتار غیر خطی بتن در کشش صرف نظر می‌گردد. مقدار مقاومت نهایی کششی بتن f_r براساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$f_r = 0.62 \lambda \sqrt{f'_c} \quad \text{رابطه (۳)}$$

λ : ضریب اصلاحی است که با توجه به نوع بتن تعیین می‌شود. در ادامه به توضیح این ضریب خواهیم پرداخت.

فانوس ۱



ضریب پواسون بتن (ν) برای بتن معمولی برابر با 0.2 و برای بتن سبک از آزمایش به دست می‌آید.

مثال ۱



نسبت مدول الاستیسیته بتنی با مقاومت فشاری مشخصه 25 مگاپاسکال و وزن مخصوص 15 کیلونیوتن بر متر مکعب به مدول الاستیسته بتنی با مقاومت فشاری 50 مگاپاسکال و وزن مخصوص 20 کیلونیوتن بر متر مکعب کدام است؟

تالیفی ACE

الف) $2/17$ ب) 0.32 ج) $1/42$ د) 0.46

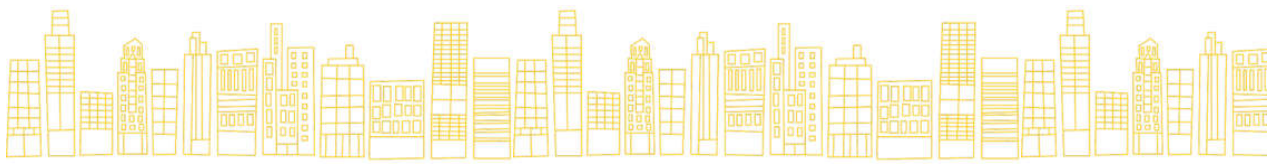
حل:

$$\frac{E_{c1}}{E_{c2}} = \left(\frac{w_{c1}}{w_{c2}} \right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{f'_{c1}}{f'_{c2}}} = \left(\frac{15}{20} \right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{25}{50}} \approx 0.46$$

با توجه به رابطه شماره یک داریم:

گزینه د صحیح است.

در نمودار شکل ۱-۱ مقدار مقاومت فشاری مشخصه بتن f'_c مهم‌ترین پارامتری هست که از آن بسیار در روابط طراحی استفاده می‌شود. طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان بتن‌های با رده مقاومت فشاری مشخصه‌های مختلف به صورت عبارت CN نمایش داده می‌شوند، بگونه‌ای که C حرف اول کلمه Concrete بوده و N نشان دهنده مقاومت فشاری مشخصه بتن بر حسب مگاپاسکال است. برای مثال $C 25$ ، یعنی بتنی که دارای مقاومت فشاری مشخصه 25 مگاپاسکال است.



بند ۹-۳-۱

رده بندی بتن براساس مقاومت مشخصه آن معمولاً به ترتیب زیر است.

C۷۰ C۶۵ C۶۰ C۵۵ C۵۰ C۴۵ C۴۰ C۳۵ C۳۰ C۲۵ C۲۰ C۱۶ C۱۲ C۱۰

بند ۹-۳-۲

برای منظور کردن مشخصات بتن های سبک، برخی روابطی که در این کتاب از پارامتر $\sqrt{f'_c}$ استفاده شده است در ضریب λ مطابق جداول ۱-۱ و ۲-۱ ضرب می گردد. ضریب λ در جدول ۱-۱ با توجه به ترکیب سنگدانه های معمولی و سبک به ترتیب مطابق استانداردهای ملی ۳۰۲ و ۴۹۸۵، یا در جدول ۱-۲ با توجه به چگالی تعیین می شود.

جدول ۱-۱ ضریب اصلاح λ با توجه به ترکیب دانه ها

بتن	ترکیب دانه ها	λ
تمام سبک دانه	ریزدانه و درشت دانه: سبک	۰٫۷۵
نیمه سبک دانه [۱]	ریزدانه: ترکیب معمولی و سبک درشت دانه: سبک	۰٫۷۵ تا ۰٫۸۵
	ریزدانه: معمولی درشت دانه: سبک	۰٫۸۵
	ریزدانه: معمولی درشت دانه: ترکیب معمولی و سبک	۰٫۸۵ تا ۱٫۰۰
معمولی	ریزدانه و درشت دانه: معمولی	۱٫۰۰

[۱] برای بتن های نیمه سبکدانه ترکیبی، مقدار λ از درون یابی خطی بین ۰٫۷۵ و ۰٫۸۵ با توجه به نسبت حجم ریزدانه معمولی به حجم کل سنگدانه و بین ۰٫۸۵ تا ۱٫۰۰ با توجه به نسبت حجم درشت دانه معمولی به حجم کل مواد سنگی به دست می آید.

جدول ۲-۱ ضریب اصلاح λ با توجه به چگالی بتن

چگالی بتن w_c . کیلوگرم بر مترمکعب	λ
$w_c \leq 1600$	۰٫۷۵
$1600 < w_c \leq 2160$	$0.0046w_c \leq 1.00$
$w_c > 2160$	۱٫۰۰

فانوس ۲



در مواردی که در سوالات آزمون محاسبات نوع و یا چگالی بتن مشخص نشده بود و یا از لفظ بتن معمولی در صورت سوال استفاده شده بود مقدار عدد ۱ برای ضریب λ در نظر گرفته شود.

یک گام فراتر

مقدار ضریب λ را می توان از طریق انجام آزمایش مقاومت کششی دو نیمه شدن و به کمک رابطه زیر محاسبه

$$\lambda = \frac{f_{ct}}{0.56\sqrt{f'_c}} \leq 1$$

نمود:



f_{ct} مقاومت کششی است که از طریق آزمایش دو نیمه شدن به دست آمده و براساس واحد مگاپاسکال در رابطه قرار داده می شود. جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد نحوه انجام آزمایش دو نیمه شدن به کتب مرجع مراجعه نمایید.

مثال ۲



نسبت مقاومت کششی یک نمونه بتنی که از مصالح شن و ماسه سبک تهیه شده و دارای مقاومت فشاری مشخصه ۲۵ مگاپاسکال است، به مقاومت کششی یک نمونه بتنی با وزن مخصوص ۱۹٫۴ کیلونیوتن بر متر مکعب و مقاومت فشاری مشخصه ۳۰ مگاپاسکال کدام است؟

تالیفی ACE

الف) ۰/۷۵ (ب) ۱/۳۳ (ج) ۰/۵۵ (د) ۱/۸۱

حل:

رابطه محاسبه مقاومت کششی یک نمونه بتنی براساس رابطه (۳) محاسبه می گردد. $f_r = 0.62 \lambda \sqrt{f'_c}$
نمونه اول:

چون درشت دانه و ریزدانه هر دو سبک هستند λ با توجه به جدول ۱-۱ برابر با ۰٫۷۵ خواهد بود.

نمونه دوم:

وزن مخصوص نمونه دوم برابر با ۱۹٫۴ کیلونیوتن بر متر مکعب است لذا چگالی آن برابر خواهد بود با:

$$w_c = \frac{19.4 \times 1000}{9.8} = 1979.59 \frac{Kg}{m^3}$$

با توجه به جدول ۱-۲ مقدار λ از رابطه زیر بدست می آید:

$$0.0046 w_c = 0.0046 \times 1979.59 = 0.91 \leq 1$$

بنابراین برای محاسبه نسبت مقاومت کششی نمونه ۱ به نمونه ۲ خواهیم داشت:

$$\frac{f_{r1}}{f_{r2}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \times \sqrt{\frac{f'_{c1}}{f'_{c2}}} = \frac{0.75}{0.91} \times \sqrt{\frac{25}{30}} = 0.752$$

گزینه الف صحیح است.

دامنه کاربرد بتن در طراحی اعضای بتن آرمه

مطابق بند ۳-۳-۳-۹ محدودیت های زیر در خصوص مقدار مقاومت فشاری مشخصه بتن (f'_c) در طرح و اجرای سازه های بتن آرمه باید رعایت شود.

- حداقل مقدار f'_c برای انواع بتن های معمولی و سبک برابر با ۲۰ مگاپاسکال و حداکثر مقدار آن ۵۰ مگاپاسکال است. (برای سازه های با شکل پذیری 'کم)

۱. در خصوص ضوابط لرزه ای و شکل پذیری در فصول آتی صحبت خواهد شد.



- در ساختمان‌های بلندتر از ۲۰ طبقه از روی شالوده، در صورتی که بتوان با پیش‌بینی تدابیر ویژه برای کنترل کیفیت بتن، نشان داده شود که بدست آوردن چنین مقاومتی در اجرا امکان پذیر است، می‌توان حداکثر مقاومت را در بتن‌های معمولی تا ۷۰ مگاپاسکال افزایش داد.
- در سازه‌های بتن‌آرمه با شکل پذیری ویژه حداقل مقدار f'_c برای بتن‌های معمولی و سبک ۲۵ مگاپاسکال و حداکثر مقدار آن برای بتن‌های سبک ۳۵ مگاپاسکال می‌باشد.
- در کلیه موارد حداقل مقدار f'_c نباید از آنچه که برای دوام بتن در پیوست ۹-پ-۱ مبحث نهم مقررات ملی آمده است، کمتر در نظر گرفته شود.

مثال ۳



کدام یک از گزینه‌های زیر صحیح است؟

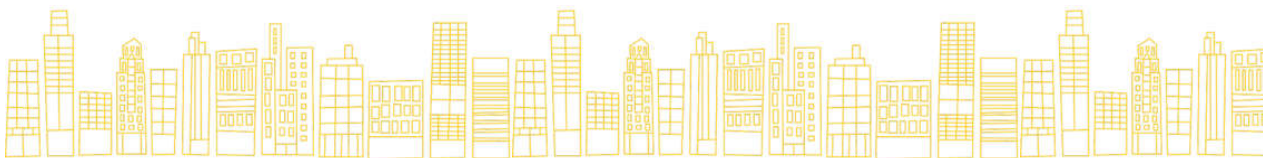
- الف) برای طرح و اجرای یک سازه بتن‌آرمه با شکل پذیری کم می‌توان از بتن بارده مقاومتی ۱۶ مگاپاسکال استفاده نمود.
- ب) برای طرح و اجرای یک بیمارستان با شکل پذیری ویژه می‌توان از بتن سبک ۴۰ C استفاده نمود.
- پ) برای طراحی و اجرای ستون‌های یک مجتمع تجاری با شکل پذیری متوسط می‌توان از بتن معمولی ۳۰ C استفاده نمود.
- ج) همه موارد صحیح است.

حل:

با توجه به توضیحات ارائه شده گزینه پ صحیح است

جمع شدگی و خزش در بتن^۱

بخش ۹-۳-۹: در نمودار شکل ۱-۱ رابطه بین تنش و کرنش بتن تابعی از زمان است، بطوری که یک عضو بتنی تحت فشار به مرور زمان دچار تغییر شکلی علاوه بر آنچه که اثر مستقیم بار وارد بر عضو است می‌شود. افزایش کرنش عضو بتنی تحت بارگذاری ثابت فشاری، پس از گذشت زمانی مشخص را خزش می‌نامند. عواملی همچون عدم کیفیت مناسب جنس مصالح سنگی، میزان کم مصالح سنگی، افزایش سن، مقاومت فشاری کم، رطوبت و دمای پایین محیط و شدت بالای تنش فشاری منجر به افزایش پدیده خزش در اعضای بتنی می‌شود. این پدیده به ویژه در سازه‌های بلند مرتبه قابل ملاحظه بوده و اثرات ناشی از آنها باید در طراحی سازه‌های بتن‌آرمه لحاظ گردد.



آرماتورهای فولاد

آرماتورهای فولادی، المان‌های میله‌ای شکلی هستند که در ترکیب با بتن منجر به بهبود مقاومت کششی، فشاری، برشی و پیچشی آن می‌شوند. آرماتورهای فولادی شامل میلگردهای فولادی و سیم‌های فولادی می‌باشند. آرماتورهای فولادی گرم نوردیده شده را میلگرد فولادی و آرماتورهای سرد نوردیده شده یا سرد اصلاح شده را سیم‌های فولادی می‌گویند. شکل ۲-۱

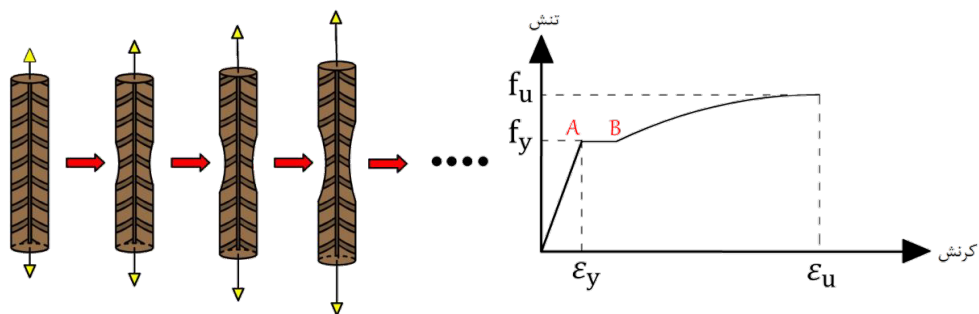


شکل ۲-۱ الف: سیم فولادی ب: میلگرد فولادی

نام گذاری آرماتورها به صورت ϕN بوده که در آن N میزان قطر آرماتور بر حسب میلی متر را مشخص می‌کند. برای مثال منظور از آرماتور $\phi 16$ ، آرماتور نمره ۱۶ و با قطر ۱۶ میلی متری است.

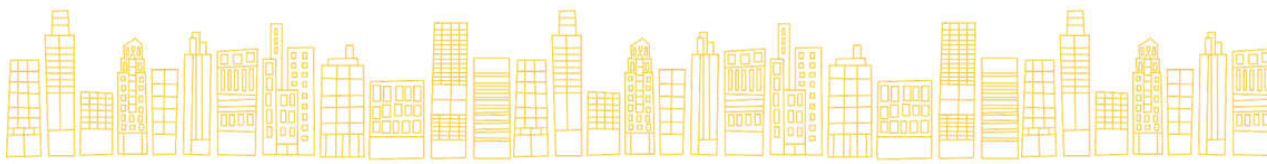
نمودار تنش و کرنش فولاد

اگر یک نمونه آرماتور فولادی را همانند نمونه بتنی تحت تنش‌های پیوسته (فشاری یا کششی) از مقدار کم تا مقدار مشخصی که منجر به گسیختگی فولاد شود قرار دهیم و همچنین کرنش‌های نظیر هر کدام از تنش‌ها را نیز مشخص نماییم. نموداری که با مولفه قائم تنش و مولفه افقی کرنش به دست می‌آید، نمودار تنش کرنش فولاد خواهد بود.



شکل ۳-۱ نمودار تنش کرنش فولاد

همانطور که مشاهده می‌کنید، نمودار تنش و کرنش فولاد از سه بخش خطی، افقی، و غیر خطی تشکیل شده است. در ناحیه اول رفتار فولاد کاملاً ارتجاعی بوده و پس از باربرداری جابه‌جایی پس ماندی در آرماتور فولادی باقی نمی‌ماند. ناحیه دوم که به صورت AB در نمودار نشان داده شده است، ناحیه تسلیم فولاد (پله

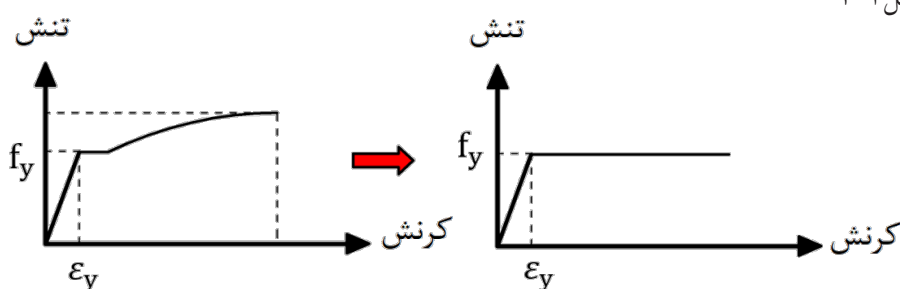


تسلیم فولاد) بوده و هرچه کربن موجود در آلیاژ فولاد کمتر باشد این ناحیه بزرگتر خواهد بود. ناحیه سوم موسوم به ناحیه سخت‌شونده، ناحیه‌ای است که فولاد روند افزایش مقاومت خود را به صورت غیر خطی از سر می‌گیرد، تا به مقاومت نهایی خود برسد. همانگونه که در شکل مشخص است حدنهایی رفتار خطی فولاد با تنش f_y نشان داده شده که اصطلاحاً به آن تنش تسلیم یا جاری شدن فولاد می‌گویند. کرنش نظیر تنش تسلیم بر روی نمودار با ϵ_y نشان داده شده که اصطلاحاً به آن کرنش تسلیم یا جاری شدن فولاد می‌گویند. شیب ناحیه اول که رفتار خطی دارد برابر با مدول الاستیسته بتن بوده و مقدار آن براساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برابر است با:

$$E_s = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

به سبب اینکه در اعضای بتن آرمه میزان کرنش ایجاد شده در آرماتورها چه در فشار و چه در کشش بیش از کرنش نظیر نقطه B در نمودار تنش کرنش فولاد شکل ۱-۳ نمی‌شود، تا نقطه B از نمودار تنش کرنش فولاد در طرح و اجرای سازه‌های تن آرمه استفاده شده و از ناحیه سوم در طراحی اعضای بتن آرمه صرف نظر می‌گردد.

شکل ۱-۴



شکل ۱-۴ بخشی از نمودار تنش کرنش فولاد که در طراحی سازه‌های بتن آرمه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

براساس این نمودار و مطالب ذکر شده در بالا برای تنش ایجاد شده در آرماتور (f_s) داریم:

الف) هنگامی که کرنش ایجاد شده در فولاد کمتر از کرنش جاری شدن فولاد است:

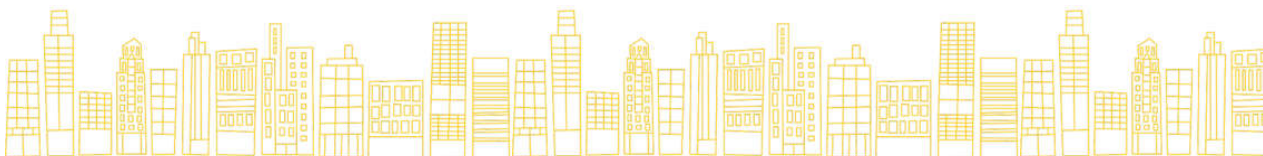
$$\epsilon_s \leq \epsilon_y \Rightarrow f_s = E_s \times \epsilon_s$$

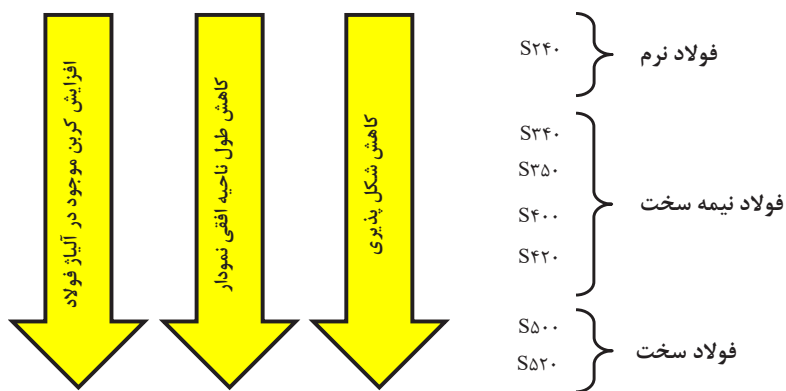
ب) هنگامی که کرنش ایجاد شده در فولاد کمتر از کرنش جاری شدن فولاد است:

$$\epsilon_s \geq \epsilon_y \Rightarrow f_s = f_y$$

فانوس: ضریب پواسون فولاد (ν) تقریباً برابر با ۰٫۳ است.

طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان فولادهای با تنش تسلیم مختلف به صورت عبارت SN نمایش داده می‌شوند، که در آن S بیانگر حرف اول Steel بوده و N بیانگر تنش تسلیم فولاد است. براساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان آرماتورها براساس میزان شکل‌پذیری به سه دسته: فولاد نرم، فولاد نیمه سخت و فولاد سخت تقسیم می‌شوند. به شکل زیر دقت نمایید.





شکل ۵-۱ انواع آرماتورها

در جدول ۳-۱ انواع آرماتورها به همراه مشخصات کششی خود ارائه شده اند، از موارد ارائه شده در این جدول استفاده بسیاری در روابط فصول آتی خواهد شد.

جدول ۳-۱ ویژگی های کششی آرماتورها

رده	علامت مشخصه	طبقه بندی از نظر شکل روبه	طبقه بندی از نظر شکل پذیری	مقاومت کششی حد اقل f_{yk} مگاپاسکال	تنش حد تسلیم f_y مگاپاسکال		کرنش گسیختگی درصد [۱]	
					حد اقل	حداکثر	حد اقل A_s	حداقل A_{s1}
S240	س ۲۴۰	ساده	نرم	۳۶۰	۲۴۰	-	۲۵	۱۸
S340	آج ۳۴۰	آجدار مارپیچ	نیمه سخت	۵۰۰	۳۴۰	-	۱۸	۱۵
S350	آج ۳۵۰	آجدار مارپیچ	نیمه سخت	۵۰۰	۳۵۰	۴۵۵	۱۷[۲]	-
S400	آج ۴۰۰	آجدار جناغی	نیمه سخت	۶۰۰	۴۰۰	-	۱۶	۱۲
S420	آج ۴۲۰	آجدار جناغی	نیمه سخت	۶۰۰	۴۲۰	۵۴۵	۱۶[۲]	-
S500	آج ۵۰۰	آجدار مرکب	سخت	۶۵۰	۵۰۰	-	۱۰	۸
S500c	آج ۵۰۰ سرد	آجدار	سخت	۵۵۰	۵۰۰	-	۱۲	-
S520	آج ۵۲۰	آجدار مرکب	سخت	۶۹۰	۵۲۰	۶۷۵	۱۳	-

[۱] انتخاب یکی از طول های آزمون برای تعیین میزان کرنش گسیختگی کافی است. در صورت عدم ذکر طول آزمون، طول حداقل A_s باید ملاک عمل قرار گیرد. طول های A_s و A_{s1} بر طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۱۳۲، به ترتیب برابر با ۵ و ۱۰ برابر قطر آرماتور می باشد.

[۲] برای میلگردهایی که قطر اسمی آنها ۳۲ میلی متر یا بیشتر است، حداقل مقدار کرنش تعریف شده برای A_s ممکن است تا ۲ درصد به ازای هر سه میلی متر افزایش در قطر، کاهش یابد. حداکثر کاهش از حداقل مقادیر ارائه شده در جدول به ۴ درصد محدود می شود.

فانوس ۳



بند ۹-۴-۵-۲: در آرماتورهای ذکر شده در جدول ۳-۱، حداقل نسبت مقاومت کششی به تنش حد تسلیم برابر با ۱/۲۵ می باشد. $(\frac{f_{yk}}{f_y} \geq 1,25)$ در فولادهای سرد نوردیده، حداقل نسبت فوق برابر با ۱/۰۳ است.



مشخصات مورد نیاز آرماتورها در طراحی

مبحث نهم مقررات ملی ساختمان محدودیت‌هایی را جهت کاربرد آرماتورهای آجدار و ساده در سازه‌های بتن آرمه مطابق جدول ۴-۱ و جدول ۵-۱ ارائه نموده است.

جدول ۴-۱ کاربرد آرماتورهای آجدار طولی و عرضی

کاربرد	محل مورد استفاده	حداکثر مقدار f_y یا f_{yk} مجاز برای کاربرد در محاسبات. (مگاپاسکال) [۱]	نوع آرماتور	
			میلگردهای آجدار	سیم‌های آجدار
خمشی، نیروی محوری، حرارت و انقباض	قاب‌های لرزه‌ای ویژه	۵۵۰	توضیحات [۳]	غیر مجاز
	کلیه اجزای دیوارهای لرزه‌ای ویژه	۵۵۰		
	سایر موارد	۵۰۰	همه رده‌های آجدار	همه رده‌های آجدار [۲]
آرماتورهای محصورکننده، و یا آرماتورهای تکیه‌گاهی آرماتورهای طولی	سیستم‌های ویژه لرزه‌ای	۷۰۰	همه رده‌های آجدار	همه رده‌های آجدار
	دورپیچ‌های	۷۰۰		
	سایر موارد	۵۵۰		
برش	قاب‌های لرزه‌ای ویژه	۵۵۰	همه رده‌های آجدار	همه رده‌های آجدار
	کلیه اجزای دیوارهای لرزه‌ویژه	۵۵۰		
	دورپیچ‌ها	۴۲۰	همه رده‌های آجدار	همه رده‌های آجدار
	برش اصطکاک	۴۲۰		
	خاموت‌ها، بست‌ها، تنگ‌ها	۴۲۰		
پیچش	آرماتورهای طولی و عرضی	۴۲۰	همه رده‌های آجدار	همه رده‌های آجدار
مهارها	سیستم‌های لرزه‌ای ویژه	۵۵۰	همه رده‌های آجدار	غیر مجاز
	سایر موارد	۵۵۰	همه رده‌های آجدار	همه رده‌های آجدار
محل‌هایی که در طراحی آن از روش خرابایی استفاده می‌شود.	دورگیرهایی که برای برش استفاده می‌شوند.	۴۲۰	همه رده‌های آجدار	همه رده‌های آجدار
	سایر موارد	۵۵۰		

[۱] اعداد این ستون بیانگر حداکثر مقدار f_y برای هر رده آرماتور است.

[۲] استفاده از شبکه‌های آجدار جوشی نیز مجاز است.

[۳] در آرماتورهای طولی آجدار در قاب‌های ویژه و در دیوارهای لرزه‌ای ویژه و اجزای آن‌ها از جمله دیوار پایه‌ها و تیرهای هم‌بند که تحت اثر لنگر خمشی، نیروی محوری، و یا هر دو به صورت توأم قرار می‌گیرند، باید سه شرط زیر ارضا شود.



الف) تنش تسلیم اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه از حد تسلیم در محاسبات، f_y ، بیش از ۱۲۵ مگاپاسکال فراتر نرود.
 ب) نسبت تاب کششی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه به تنش حد تسلیم اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه از ۱٫۲۵ کمتر نشود. ($\frac{f_u}{f_y} \geq 1.25$)

پ) حداقل درصد ازدیاد طول گسیختگی در طول آزمون ۲۰۰ میلی‌متری برای آرماتورهای به قطر ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر برابر ۱۴ درصد، برای آرماتورهای به قطر ۲۲ تا ۳۵ میلی‌متر برابر ۱۲ درصد، و برای آرماتورهای به قطر بزرگتر از ۳۵ میلی‌متر و تا ۵۷ میلی‌متر برابر ۱۰ درصد باشد.

جدول ۱-۵ کاربرد آرماتورهای دورپیچ ساده

شماره رده	کاربری	محل مورد استفاده	حداکثر مقدار f_y با f_{yt} مجاز برای کاربرد در طراحی، مگاپاسکال
انواع آرماتورهای گرم و سرد نوردیده که دارای ویژگی‌های جدول ۱-۳ می‌باشند.	محصور کننده بتن با تکیه‌گاه جانبی آرماتورهای طولی	دورپیچ‌ها در سیستم‌های لرزه‌ای ویژه	۷۰۰
		دورپیچ‌ها	۷۰۰
	برش	دورپیچ‌ها	۴۲۰
	پیچش	دورپیچ‌ها	۴۲۰

فانوس ۴



استفاده از آرماتورهای با تنش تسلیم بیش از ۵۵۰ مگاپاسکال در قاب‌های با شکل پذیری ویژه مجاز نمی‌باشد.

مثال ۴

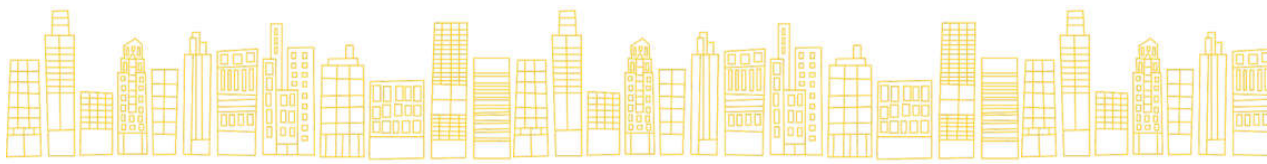


نسبت مقاومت کششی یک نمونه بتنی که از مصالح شن و ماسه سبک تهیه شده و دارای مقاومت فشاری مشخصه ۲۵ مگاپاسکال است، به مقاومت کششی یک نمونه بتنی با وزن مخصوص ۱۹٫۴ کیلونیوتن بر متر مکعب و مقاومت فشاری مشخصه ۳۰ مگاپاسکال کدام است؟

الف) ۰/۰۱ ب) ۰/۱ ج) ۰/۰۰۵ د) ۰/۰۵

حل:

با توجه به نمودار تنش کرنش فولاد در شکل ۱-۴ میزان تنش جاری شدن فولاد S_{400} برابر ۴۰۰ مگاپاسکال می‌باشد، که این مقدار از تنش ۳۵۰ مگاپاسکال بیشتر است، بنابراین نتیجه خواهیم گرفت که آرماتور $\Phi 10$ جاری نشده است. تا زمانی که آرماتور رفتار خطی داشته باشد و جاری نشود، رابطه زیر برقرار است:



$$f_s = E_s \times \varepsilon_s$$

$$۲۵۰ = ۲ \times ۱۰^۵ \times \varepsilon_s \Rightarrow \varepsilon_s = ۰,۰۰۱۷۵$$

کرنش به دست آمده کرنش محوری است درحالی که برای محاسبه تغییرات مساحت مقطع آرماتور نیاز به محاسبه کرنش جانبی است.

$$\varepsilon_{s-جانبی} = \varepsilon'_s = -\nu \times \varepsilon_s = -۰,۳ \times ۰,۰۰۱۷۵ = -۰,۰۰۰۵۲۵$$

$$\Delta d = \varepsilon'_s \times d = ۰,۰۰۰۵۲۵ \times ۱۰ = ۰,۰۰۵۲۵ \text{ mm}$$

$$d' = d - \Delta d = ۱۰ - ۰,۰۰۵۲۵ = ۹,۹۹۴۷۵$$

$$\frac{\Delta A}{A} \times ۱۰۰ = \frac{\frac{\pi}{۴} \times (d'^2 - d'^2)}{\frac{\pi}{۴} \times d^2} \times ۱۰۰ = \frac{\frac{\pi}{۴} \times (۱۰^2 - ۹,۹۹۴۷۵^2)}{\frac{\pi}{۴} \times ۱۰^2} \times ۱۰۰ \approx ۰,۱\%$$

گزینه ب صحیح است.

فانوس ۵



$$MPa = \frac{N}{mm^2}$$

در بحث واحدها همواره مگاپاسکال برابر است با نیوتن بر میلی متر مربع:

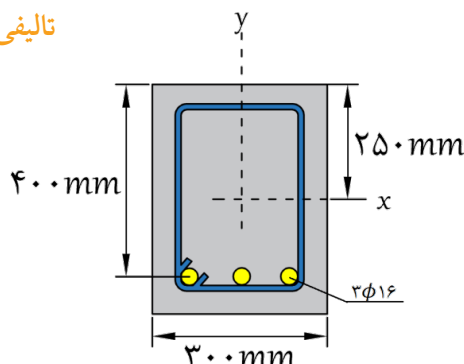
این نکته مهم به این معناست که اگر در حل مسائل و بکارگیری روابط، واحد تنش مگاپاسکال باشد و ابعاد همگی براساس میلی متر به کار روند، نیرو براساس نیوتن و لنگر براساس نیوتن میلی متر محاسبه می شود، بلعکس این موضوع نیز صادق است.

مثال ۵



به مقطع بتن آرمه زیر به ابعاد $۳۰۰ \times ۴۵۰ \text{ mm}^2$ لنگر خمشی ۶۵ کیلونیوتن متر حول محور x اثر می کند، میزان تنش ایجاد شده در محل آرماتورها و میزان نیرویی که آرماتورها در هنگام جاری شدن می توانند تحمل نمایند، چه میزان است؟ (فولاد از رده S۴۰۰ بود و هیچ بخشی از بتن مقطع تحت لنگر وارده ترک نخورده است. $n = ۱۰$)

تألیفی ACE



الف) ۴۲/۷ مگاپاسکال - ۲۴۱/۳ کیلونیوتن

ب) ۵۵/۷ مگاپاسکال - ۱۸۵/۴ کیلونیوتن

ج) ۴/۲۷ مگاپاسکال - ۲۳۷/۷ کیلونیوتن

د) ۵/۵۷ مگاپاسکال - ۸۵/۷ کیلونیوتن

حل:

بخش اول:

از مقاومت مصالح می دانیم که تنش ناشی از لنگر خمشی هنگام رفتار ارتجاعی مصالح در هر نقطه‌ای از مقطع با فاصله آن نقطه از مرکز سطح رابطه مستقیم داشته و از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\sigma = \frac{MC}{I}$$

 M : لنگر خمشی C : فاصله محل محاسبه تنش تا مرکز سطح مقطع I : ممان اینرسی کلی مقطع بدون در نظر گرفتن جنس مصالح به کارگرفته شده

نکته: اگر مقطع مشابه یک تیر بتن آرمه غیر همگن باشد، برای محاسبه تنش ایجاد شده در محل آرماتورها رابطه فوق باید در ضریب $n = \frac{E_s}{E_c}$ ضرب شود.

برای محاسبه تنش در محل آرماتورها داریم

$$C = 400 - 250 = 150 \text{ mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{300 \times 450^3}{12} = 2278125000 \text{ mm}^4$$

$$\sigma = n \frac{MC}{I} = 10 \times \frac{6500000 \times 150}{2278125000} = 42.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 42.7 \text{ MPa}$$

بخش دوم:

طبق مطالب گفته شده تنشی که منجر به جاری شدن آرماتورهای از رده S400 می شود، 400 مگاپاسکال خواهد بود. بنابراین خواهیم داشت:

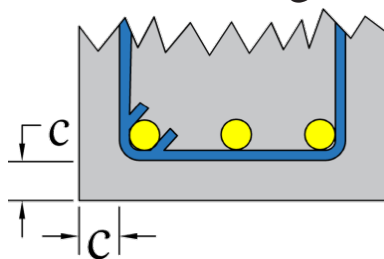
$$\sigma = \frac{F}{A} \Rightarrow 400 = \frac{F}{\frac{3 \times \pi \times 16^2}{4}}$$

$$\Rightarrow F \approx 241274.2 \text{ N} \approx 241.2 \text{ KN}$$

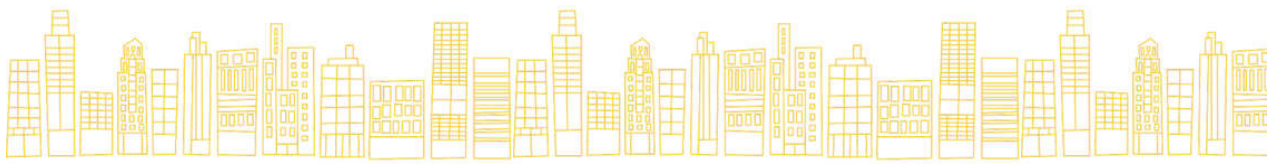
گزینه الف صحیح است.

پوشش روی آرماتورها

به میزان بتنی که بر روی آرماتورها برای جلوگیری از خوردگی، زنگ زدگی و فرسودگی قرار میگیرد، پوشش روی آرماتور گفته می شود که در اغلب مواقع با حرف C نشان داده می شود. شکل ۱-۶



شکل ۱-۶ پوشش آرماتورها



بند ۹-۴-۵ میزان پوشش بتن روی آرماتورها در امتداد هر لبه برای شرایط محیطی معمولی نباید کمتر از مقادیر جدول ۶-۱ باشد.

جدول ۶-۱ حداقل ضخامت پوشش روی بتن روی میلگرد برای اجزای بتنی

شرایط محیطی سازه بتنی	نوع عضو	میلگردها	حداقل پوشش روی میلگردها، میلی متر
بتن در تماس دائم خاک است.	کلیدی اعضا	کلید میلگردها	۷۵
بتن در تماس با هوا و یا تماس غیر دائم با خاک است.	کلیدی اعضا	میلگردهای به قطر ۱۸ تا ۵۸ میلی متر	۵۰
		میلگردها و سیم های به قطر ۱۶ میلی متر و کمتر	۴۰
بتن در تماس با هوا و با خاک نیست.	دال ها، تیرچه ها و دیوارها	میلگردهای بزرگتر از قطر ۳۶ میلی متر	۴۰
		میلگردهای قطر ۳۴ میلی متر و نازک تر	۲۰
	تیرها، ستون ها، ستون پایه ها و اعضای کششی	آرماتورهای طولی، خاموت ها، بست ها، دورپیچ ها و تنگ ها	۴۰

فانوس ۶



بند ۹-۴-۵-۲: برای گروه میلگردها، ضخامت پوشش بتنی روی آن ها، نباید از کوچکترین دو مقدار (الف) و (ب) زیر کمتر باشد.

الف) قطر معادل گروه میلگردها:

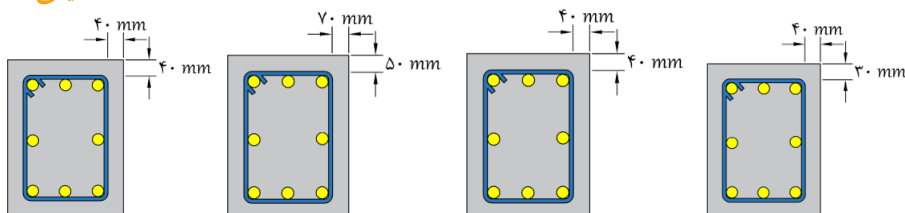
ب) ۷۵ میلی متر برای مواردی که بتن بر روی خاک ریخته شده و با آن در تماس دائمی است، و ۵۰ میلی متر برای مواردی که بتن در تماس با خاک ریخته نشده است.

مثال ۶



در کدام یک از مقطع تیرهای زیر میزان پوشش بتن روی آرماتور به درستی در نظر گرفته شده است؟ (فواصل نشان داده شده در شکل تاروی خاموت ها است، خاموت ها نمره ۱۰ هستند.)

تالیفی ACE



- | | | | |
|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| (الف) | (ب) | (ج) | (د) |
| بتن در تماس هوا و خاک نیست | بتن در تماس دائم خاک | بتن در تماس دائم خاک | بتن در تماس با هوا |
| آرماتور طولی نمره ۱۸ | آرماتور طولی نمره ۲۴ | آرماتور طولی نمره ۲۲ | آرماتور طولی نمره ۲۲ |
| آرماتور عرضی نمره ۸ | آرماتور عرضی نمره ۱۲ | آرماتور عرضی نمره ۸ | آرماتور عرضی نمره ۱۰ |

حل:

بررسی گزینه الف:

در حالتی که بتن در تماس هوا و خاک نباشد، براساس جدول ۱-۶ میزان پوشش بتن بر روی آرماتورهای طولی و عرضی حداقل باد ۴۰ میلی متر باشد. بنابراین گزینه الف غلط است.

بررسی گزینه ب:

هنگامی که بتن در تماس دائم خاک است حداقل پوشش بتن بر روی آرماتور ها براساس جدول ۱-۶، ۷۵ میلی متر است. بنابراین گزینه ب غلط است.

بررسی گزینه ج:

هنگامی که بتن در تماس دائم خاک است حداقل پوشش بتن از هر سمت بر روی آرماتور ها براساس جدول ۱-۶، ۷۵ میلی متر است. بنابراین گزینه ج غلط است.

بررسی گزینه د:

طبق جدول ۱-۶ هنگامی که بتن در تماس با هوا هست حداقل پوشش برای میلگردهای به قطر ۱۸ تا ۵۸ برابر با ۵۰ میلی متر و برای میلگردهای با قطر ۱۶ میلی متر و کمتر برابر با ۴۰ میلی متر است. این موضوع برای آرماتورهای عرضی به قطر ۱۰ میلی متر با وجود پوشش ۴۰ میلی متری رعایت شده است. در نگاه اول شما تصور خواهید کرد که میزان پوشش بر روی آرماتورهای طولی با قطر ۲۲ میلی متر برابر ۴۰ میلی متر است، در حالی که اینگونه نبوده و پوشش بر روی آرماتورهای طولی از روی خود آرماتورهای طولی محاسبه می شود، نه مقدار ضخامت بتنی که بر روی آرماتورهای عرضی قرار دارد، بنابراین خواهیم داشت:

قطر آرماتور عرضی + پوشش بتن بر روی آرماتورهای عرضی = پوشش بتن بر روی آرماتورهای طولی

$$50 \text{ mm} = 40 + 10 = \text{پوشش بتن بر روی آرماتورهای طولی}$$

همانطور که مشاهده می کنید پوشش لازم برای آرماتورهای طولی نیز تامین شده است.

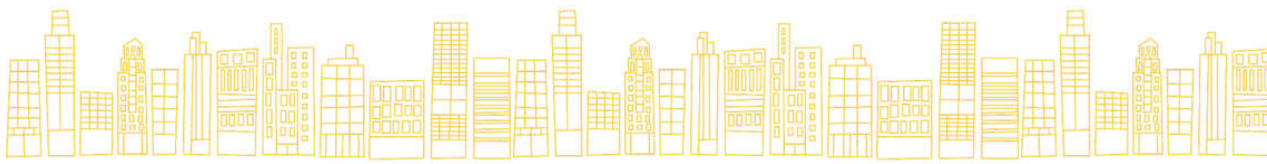
گزینه د صحیح است.

فرآیند طراحی یک سازه بتن آرمه

اکنون که با مصالح تشکیل دهنده اعضای بتن آرمه آشنا شدید، به بحث در مورد فرایند طراحی سازه های بتن آرمه خواهیم پرداخت. قبل از پرداختن به فرایند طراحی سازه های بتن آرمه لازم است با تعریف سیستم سازه ای و اجزای آن در سازه های بتن آرمه آشنا شوید.

پند ۱-۱-۹ سیستم های سازه ای به مجموعه ای از اجزای بهم پیوسته سازه ای اطلاق می شوند که به طور مشترک برای عملکرد خاصی طراحی می گردند. اجزای یک سیستم سازه ای شامل:

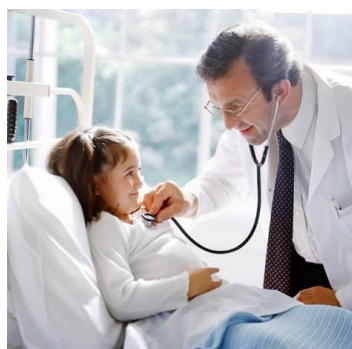
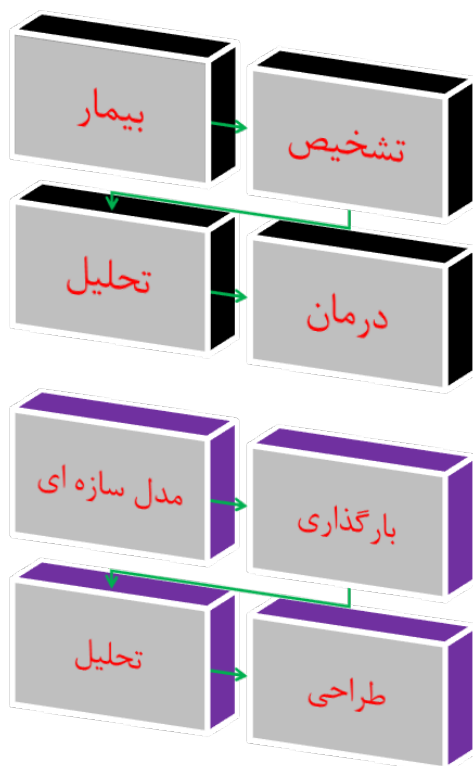
- کف ها و بام ها (شامل دالهای یکطرفه و دو طرفه)
- تیرها و تیرچه ها



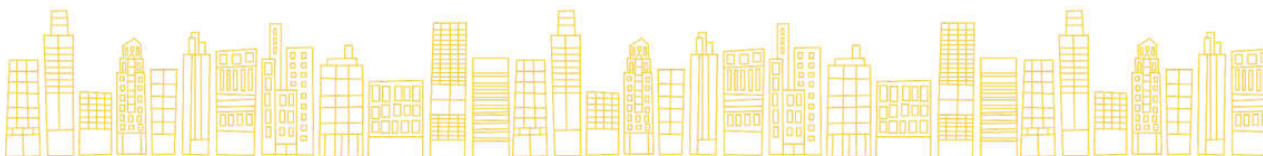
- ستونها
- دیوارها
- دیافراگم‌ها
- شالوده‌ها

اتصالات و مهارها که برای انتقال بار از یک عضو به عضو دیگری لازم می‌باشد.

در فصول بعدی در مورد ضوابط طراحی هرکدام از این اعضا به طور مفصل بحث و بررسی صورت خواهد گرفت. اما همانطور که پیشتر بیان شد، می‌خواهیم به بررسی فرایند طراحی یک عضو بتن آرمه با ذکر یک مثال بپردازیم. هنگامی که فرد بیماری به پزشک مراجعه می‌کند، پزشک معالج پس از شناخت بیماری فرد و شرایط جسمی بیمار براساس کتب پزشکی که خوانده است، به ارائه دستورالعمل‌هایی جهت بهبودی فرد بیمار می‌پردازد. طراحی اعضای سازه‌ای در مهندسی عمران نیز به همین ترتیب است، بگونه‌ای که مهندس طراح پس از بررسی نوع عضو، میزان بار وارد بر عضو و تحلیل دقیق آن به ارائه دستورالعمل طراحی عضو براساس آیین‌نامه‌ها می‌پردازد. واضح است اگر مهندس طراحی برآورد صحیحی نسبت به بارهای وارد بر سازه و تحلیل دقیق آن تحت بارها را نداشته باشد، طراحی مناسب و قابل قبولی نمی‌تواند ارائه دهد. به فرایند طراحی یک عضو سازه‌ای در شکل ۱-۷ توجه نمایید.



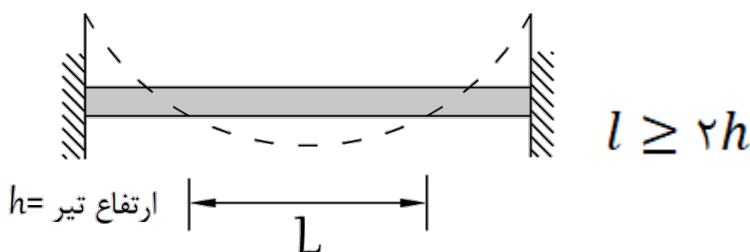
شکل ۱-۷ شباهت فرایند درمان بیمار و طراحی سازه



مدل سازه‌ای معادل بیمار

بخش ۹-۶-۳ در گام اول پروسه طراحی، باید اعضای سازه‌ای به طور ساده مدل شده تا گام‌های بعدی شامل بارگذاری، تحلیل و طراحی بر روی مدل ابتدایی صورت گیرد. اعضای یک سازه به صورت میله‌ای، صفحه‌ای و سه بعدی مدل می‌شوند.

اعضای میله‌ای: اعضای هستند که در آن‌ها یکی از ابعاد به طور قابل ملاحظه از دو بعد دیگر بزرگتر باشد؛ و دو بعد دیگر اختلاف چندانی باهم نداشته باشند. در این اعضا فاصله‌ی بین دو مقطع با لنگرهای خمشی صفر باید حداقل دو برابر ارتفاع عضو باشد. تیرها، ستون‌ها، مهاربندها و قوس‌ها از جمله اعضای میله‌ای می‌باشند.



شکل ۸-۱ عضو میله‌ای

اعضای صفحه‌ای: اعضای هستند که در آن‌ها یکی از ابعاد (ضخامت) به طور قابل ملاحظه کوچکتر از دو بعد دیگر باشد. دال‌ها، دیافراگم‌ها، شالوده‌های غیر ضخیم، پوسته‌ها از جمله اعضای صفحه‌ای می‌باشند. اعضای سه بعدی: اعضای هستند که در آن‌ها هیچ یک از ابعاد اختلاف قابل ملاحظه‌ای با دو بعد دیگر نداشته باشد. شالوده‌های ضخیم، پوسته‌های ضخیم و اعضای با بتن حجیم از جمله اعضای سه بعدی می‌باشند.

نکات مدل سازی

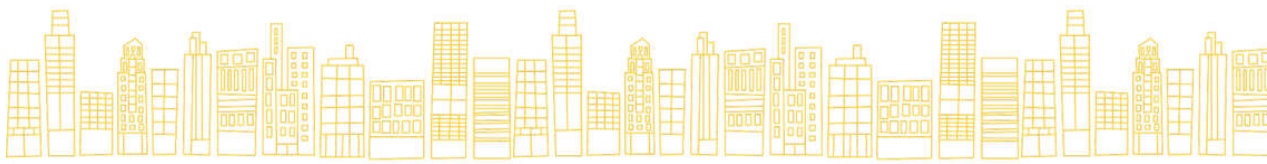
مشخصات مقطع اعضا در مدل سازی

بخش ۹-۶-۵-۳ با توجه به موارد بیان شده در بخش قبلی هنگامی که عضو بتی از مرحله رفتار ارتجاعی خود وارد مرحله رفتار غیر ارتجاعی می‌شود، سطح مقطع آن تغییر نموده و ترک‌هایی در عضو رخ می‌دهد که موجب کاهش سختی‌های خمشی، محوری، برشی و پیچشی $(\alpha \frac{Gj}{I}, \alpha \frac{GA_s}{I}, \alpha \frac{EA}{I}, \alpha \frac{EI}{I})$ یک عضو بتنی می‌شوند.

سختی نسبی اعضا در مدل سیستم‌های سازه‌ای باید مبتنی بر فرضیات منطقی و منسجم تعیین شود؛ و اثرات ترک خوردگی عضو، در سختی‌های خمشی و پیچشی عضو منظور گردد. به این منظور مبحث نهم مقررات ملی ساختمان دو راهکار جهت در نظر گرفتن اثرات کاهش سختی ارائه نموده است.

(۱) استفاده از ضرایب اصلاحی ممان اینرسی و سطح مقطع اعضا مطابق جداول ۷-۱ و ۸-۱

(۲) استفاده از روش تحلیل‌های دقیق که بتواند اثرات غیر خطی را در اعضا به خوبی مدل نماید.



جدول ۷-۱ ممان اینرسی و سطح مقطع مجاز اعضا در تحلیل الاستیک برای بارهای ضربدار

عضو و شرایط آن	ممان اینرسی	سطح مقطع برای تغییر شکل محوری	سطح مقطع برای تغییر شکل برشی
ستون‌ها	$0.7I_g$	$1.0A_g$	$b_w h$
دیوارها	ترک نخورده		
	ترک خورده		
تیرها	$0.35I_g$		
دال‌های تخت و دال‌های قارچی	$0.25I_g$		

جدول ۸-۱ مقادیر دقیق‌تر ممان اینرسی اعضا در تحلیل الاستیک برای بارهای ضربدار

عضو	مقادیر ممان اینرسی		
	حداکثر	I	حداقل
ستون‌ها و دیوارها	$0.35I_g$	$\left(0.8 + 2.5 \frac{A_{st}}{A_g}\right) \left(1 - \frac{M_u}{P_u h} - 0.5 \frac{P_u}{P_c}\right) I_g$	$0.875I_g$
تیرها، دال‌های تخت و دال‌های قارچی	$0.25I_g$	$(0.1 + 2.5\rho) \left(1.2 - 0.2 \frac{b_w}{d}\right) I_g$	$0.5I_g$

A_{st} : مساحت کلیه آرماتورهای طولی، شامل آرماتورهایی که در ناحیه فشاری یک مقطع بتنی قرار می‌گیرند، (A'_s) و آرماتورهایی که در ناحیه کششی مقطع بتنی قرار می‌گیرند. (A_s) (mm²)
توضیح: همانطور که از مقاومت مصالح به خاطر دارید بخشی از مقطعی که لنگر خمشی به آن اثر می‌کند، تحت تنش فشاری و بخش دیگر آن تحت تنش کششی قرار می‌گیرد که اصطلاحاً به آن‌ها نواحی فشاری و کششی گفته می‌شود.

A_g : سطح مقطع کلی مقطع بدون در نظرگیری آرماتورها (mm²)

M_u : لنگر خمشی ضریب دار در مقطع عضو (N.mm)

P_u : نیرو محوری ضریب دار در مقطع عضو (N)

P_c : مقاومت محوری اسمی عضو (توضیح در فصول سوم) (N)

I_g : ممان اینرسی مقطع ترک نخورده بدون لحاظ اثر آرماتورها (mm⁴)

b_w : عرض موثر مقطع (mm)

d : ارتفاع موثر مقطع (فاصله مرکز سطح دورترین آرماتور کششی تا بیرونی ترین تار فشاری مقطع) (mm)

ρ : نسبت آرماتورهایی که برای تقویت ضعف کششی مقطع بتنی در آن قرار می‌گیرند (نسبت آرماتورهای کششی A_s به سطح مقطع موثر $b_{wd} \left(\frac{A_s}{b_{wd}}\right)$ در فصول بعدی بیشتر با این مفهوم سروکار خواهیم داشت).



فانوس ۷



در صورت وجود بارهای جانبی دائمی (مانند فشار جانبی خاک یا سیال) ممان اینرسی که از جداول ۷-۱ و ۸-۱ برای ستون‌ها و دیوارها محاسبه شد، باید بر ضریب $(1 + \beta_{ds})$ تقسیم شود. β_{ds} برابر با نسبت برش دائمی در کل طبقه به حداکثر برش کل طبقه در همان ترکیب بار می‌باشد.

برای مثال محاسبه β_{ds} برای حالتی که سازه تحت فشار جانبی سیال و نیروی زلزله به تنهایی قرار دارد:

$$\beta_{ds} = \frac{1,4F}{E + 1,4F}$$

F : (KN) برش ناشی از فشار جانبی سیال

E : (KN) برش ناشی از زلزله

فانوس ۸



برای در نظر گرفتن اثر ترک خوردگی در تیرهای T شکل ممان اینرسی آن‌ها به دو صورت زیر می‌تواند محاسبه شود:

(الف) ممان اینرسی ناخالص با منظور کردن عرض موثر بال

(ب) دو برابر ممان اینرسی ناخالص مقطع مستطیلی جان.

فانوس ۹

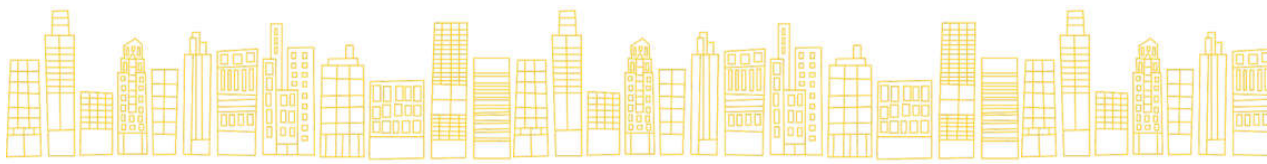


هنگامی که قرار است عضو فقط تحت بارهای جانبی تحلیل شود، آیین نامه این اجازه را داده است که می‌توان ممان اینرسی کلیه اعضا را برابر ΔI_g در نظر گرفت.

فانوس ۱۰

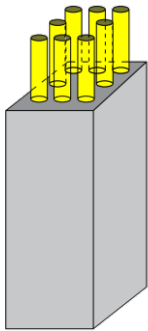


برای مواردی که محاسبه تغییر مکان آبی ناشی از بار جانبی مد نظر است می‌توان برای ممان اینرسی عضو $1/4$ برابر مقادیر جداول ۸-۱ و ۷-۱ را در نظر گرفت. البته می‌توان ممان اینرسی را از تحلیل‌های دقیق‌تری بدست آورد بشرط آنکه از مقدار I_g تجاوز نکند.





مثال ۷



ستون شکل مقابل به ابعاد $500 \times 500 \text{ mm}$ دارای ۸ آرماتور طولی نمره ۲۲ بوده و مقاومت محوری اسمی آن نیز ۸۵ کیلونیوتن است، چنانچه این ستون تحت لنگر ضریب دار ۱۵ کیلونیوتن متر و بار محوری ضریب دار ۷۰ کیلونیوتن متر قرار گیرد، ممان اینرسی این عضو در تحلیل الاستیک به روش دقیق کدام است.

الف) $14,32 \times 10^8 \text{ mm}^4$

ب) $21,64 \times 10^8 \text{ mm}^4$

ج) $18,22 \times 10^8 \text{ mm}^4$

د) $11,57 \times 10^8 \text{ mm}^4$

تالیفی ACE

حل:

طبق جدول ۸-۱ داریم:

$$I = \left(0,8 + 25 \frac{A_{st}}{A_g} \right) \left(1 - \frac{M_u}{P_u h} - 0,5 \frac{P_u}{P_c} \right) I_g$$

$$I = \left(0,8 + 25 \frac{8 \times \pi \times \frac{22^2}{4}}{500 \times 500} \right) \left(1 - \frac{15 \times 10^3}{70 \times 500} - 0,5 \frac{70}{85} \right) \times I_g = 0,176 I_g$$

$$0,25 I_g \not\leq 0,176 I_g \leq 0,875 I_g \quad \text{Not Ok}$$

$$0,25 I_g = 0,25 \times \frac{500 \times 500^3}{12} \approx 1822916667 \text{ mm}^4 \approx 18,22 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

گزینه ج صحیح است.

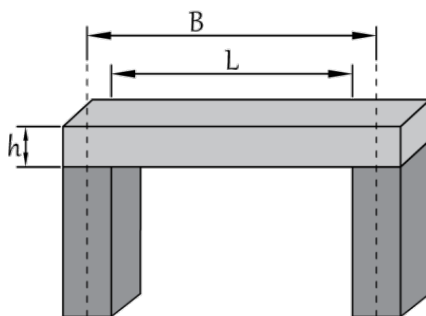
دهانه موثر

بند ۹-۶-۳-۲-۱ طولی از تیر یا دال که تحت تاثیر سختی ناحیه اتصال خود به تکیه (ستون یا دیوار) قرار ندارد، به عنوان دهانه موثر در مدلسازی محسوب می شود. با توجه به وضعیت اتصالات تکیه گاهی چهار حالت برای محاسبه طول دهانه موثر در سازه های بتن آرمه وجود دارد:

الف) طول دهانه ی موثر برای عضوی که با تکیه گاه های خود پیوسته نباشد، باید معادل فاصله محور تا محور تکیه گاه ها، یا طول آزاد دهانه به اضافه ی ارتفاع عضو، هر کدام که کوچکتر است، در نظر گرفته شود. شکل ۹-۱

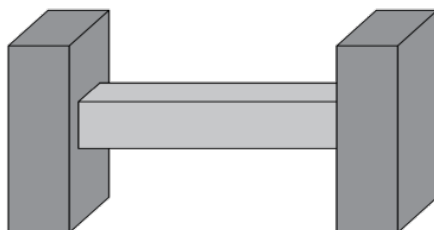
$$\text{طول دهانه موثر} = \min\{B, l + h\}$$





شکل ۹-۱ طول دهانه موثر - اتصال ناپیوسته به تکیه‌گاه

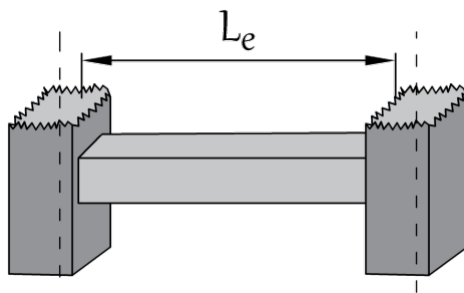
ب) طول موثر برای عضوی که با تکیه‌گاه‌های خود پیوسته است، با توجه به مقاومت و سختی نسبی اعضا در محل اتصال و با قضاوت مهندسی تعیین گردیده و درصدی از طول انتهایی عضو که در ناحیه اتصال واقع شده است صلب منظور می‌گردد. شکل ۱۰-۱



شکل ۱۰-۱ طول دهانه موثر - اتصال پیوسته به تکیه‌گاه

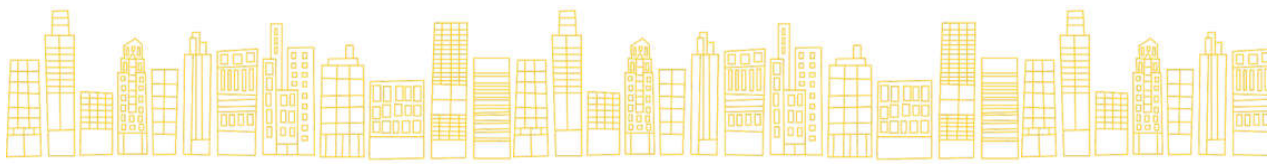
یک جرعه تجربه ۱:

در مدل سازی سازه‌های بتن آرمه معمولاً مهندسین عزیز بر اساس قضاوت مهندسی طول دهانه موثر را برای حالتی که اتصال عضو با تکیه‌گاه خود پیوسته است برابر طول دهانه آزاد به اضافه نصف فاصله آکس تکیه‌گاه تا بر تکیه‌گاه از هر سمت در نظر می‌گیرند. شکل ۱۱-۱



شکل ۱۱-۱ طول موثری بر اساس قضاوت مهندسی برای اتصال پیوسته

پ) طول موثر برای اعضای طره با گیرداری کامل برابر با طول آزاد آنهاست.
ت) دال‌های یکطرفه توپر و سیستم‌های تیرچه‌ای با دهانه آزاد کم‌تر یا مساوی سه متر را که با تکیه‌گاه‌های خود



به صورت یکپارچه ساخته می شوند، طول دهانه موثر را می توان به صورت دال های یکسره روی تکیه گاه های ساده، بدون منظور نمودن عرض تکیه گاه، و با طول آزاد دهانه های آن ها در نظر گرفت.

مثال ۸



یک تیر پیش ساخته به ارتفاع ۵۰ سانتی متر بر روی دو ستون با فاصله آکس به آکس ۴ متر قرار می گیرد، چنانچه ستون ها دایره ای و به قطر ۶۰ سانتی متر باشند، طول دهانه موثر به کدام یک از گزینه های زیر نزدیک تر است.

الف) ۴ m ب) ۳٫۴ m ج) ۴٫۵ m د) ۳٫۹ m

تالیفی ACE

حل:

برای حالتی که تیر و ستون تکیه گاهی پیوسته نباشند، طول دهانه موثر تیر برابر با کوچکترین دو مقدار می باشد: الف) فاصله محور تا محور تکیه گاه ها (ب) طول آزاد دهانه به اضافه ی ارتفاع عضو

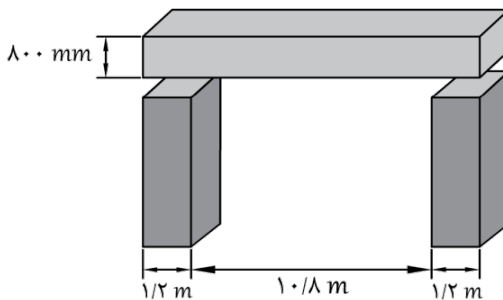
$$l_e = \min\{4m, (4 - 0.6 + 0.5)\} = 3.9m$$

گزینه د صحیح است.

مثال ۹



یک تیر بتن ارمه با مقطع $350 \times 800 \text{ mm}$ مطابق شکل به صورت ساده روی دو تکیه گاه قرار دارد. طول دهانه موثر تیر بر حسب متر به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک تر است ؟



الف) ۱۳٫۲ m

ب) ۱۲ m

ج) ۱۰٫۸ m

د) ۱۱٫۶ m

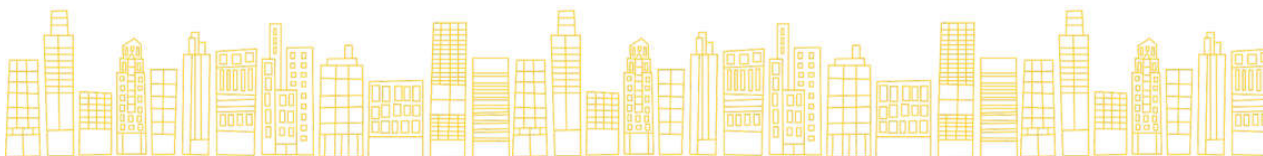
محاسبات ۹۷

حل:

برای حالتی که تیر و ستون تکیه گاهی پیوسته نباشند، طول دهانه موثر تیر برابر با کوچکترین دو مقدار می باشد: الف) فاصله محور تا محور تکیه گاه ها (ب) طول آزاد دهانه به اضافه ی ارتفاع عضو

$$l_e = \min\{4m, (4 - 0.6 + 0.5)\} = 3.9m$$

گزینه د صحیح است.



بارگذاری معادل تشخیص بیماری

گام دوم از فرایند طراحی، بارگذاری سازه مدلسازی شده در بخش قبلی است. شناخت بارهای وارد بر سازه از مهمترین گام‌های طراحی سازه‌ها بوده، بطوری که با عدم شناخت صحیح بارهای وارد بر سازه تحلیل دقیقی بر روی سازه صورت نخواهد گرفت. نحوه محاسبه بارهای وارد بر سازه و نکات مربوطه، موضوع آیین‌نامه مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بوده که در کتاب بارگذاری ACE به آن پرداخته شده است. در اینجا فقط به ارائه ترکیب بارهای مربوط به سازه‌های بتن آرمه و برخی نکات آن می‌پردازیم: جدول ۹-۱

جدول ۹-۱ ترکیب‌های بارگذاری

شماره رابطه	ترکیب‌های بارگذاری	بار اصلی
۱	$U = 1,4D$	D
۲	$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$	L
۳	$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1,0L \text{ or } 0,5(1,6W))$	$L_r \text{ or } S \text{ or } R$
۴	$U = 1,2D + 1,0L + 1,6W + 0,5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$	W
۵	$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L + 0,2S$	E
۶	$U = 0,9D + 1,6W$	W
۷	$U = 0,9D + 1,0E$	E

U : بار ترکیبی و مقاومت مورد نیاز برای تحمل بارهای با ضریب و با لنگرها و نیروهای داخلی مربوطه

D : بارهای مرده و یا لنگرها و نیروهای داخلی مربوطه

L : بارهای زنده و یا لنگرها و نیروهای داخلی مربوطه

L_r : بار زنده‌ی بام و یا لنگرها و نیروهای داخلی مربوطه

S : بار برف و یا لنگرها و نیروهای داخلی مربوطه

R : بار باران و یا لنگرها و نیروهای داخلی مربوطه

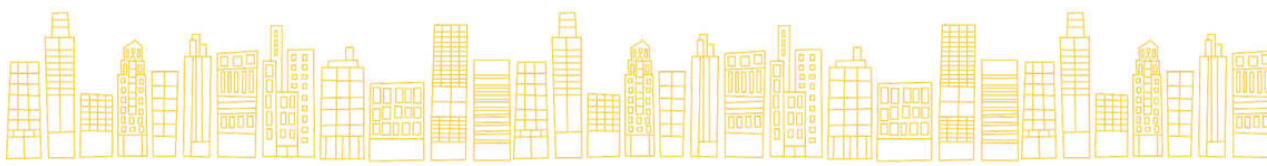
E : تاثیرات نیروی زلزله و یا لنگرها و نیروهای داخلی مربوطه

W : بار باد و یا لنگرها و نیروهای داخلی مربوطه

در رابطه با جدول ۹-۱ منظور از بار اصلی در یک ترکیب بارگذاری، باری است که، آن ترکیب بار اصولاً بر پایه عملکرد آن بار، ولی در کنار تاثیر سایر بارهای مرتبط تنظیم شده است.

تحلیل سازه معادل تحلیل مدارک بیمار

گام سوم از مراحل طراحی سازه‌ها تحلیل اعضا تحت بارهای وارده می‌باشد؛ در این مرحله میزان نیروهای داخلی، خیزها و دوران‌های ایجاد شده، در اعضای سازه تحت بارهای وارد بر آن‌ها تعیین می‌شود. مطابق



مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش سال ۱۳۹۹ پنج روش اصلی برای تحلیل سازه‌های بتن‌آرمه ارائه شده است:

- تحلیل خطی الاستیک مرتبه اول
 - تحلیل خطی الاستیک مرتبه دوم
 - تحلیل غیر الاستیک
 - تحلیل به روش اجزا محدود
 - تحلیل‌های تقریبی برای تیرها و دال‌های یکطرفه ممتد (پیوسته) تحت اثر بارهای قائم
- * روش‌های خاص مجاز دیگری که در موارد خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند:
- الف) در دال‌های دو طرفه تحت بارهای ثقلی
- روش طراحی مستقیم
 - روش طراحی قاب معادل
 - روش پلاستیک
- ب) روش تحلیل جایگزین در دیوارهای لاغر برای تعیین اثرات بارهای خارج از صفحه
- پ) تحلیل دیافراگم‌ها برای تعیین اثرات بارهای داخل صفحه
- ت) روش تحلیل با مدل خرابایی، در یک عضو یا یک ناحیه از سازه
- ث) تحلیل اعضای میله‌ای لاغر تحت خمش و فشار

تحلیل الاستیک مرتبه اول

در تحلیل الاستیک مرتبه اول، نیروهای ایجاد شده در اعضا براساس روابط تحلیل سازه‌ها مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

بخش ۹-۶-۵ در خصوص تحلیل الاستیک مرتبه اول می‌توان به نکات زیر اشاره نمود، لازم به ذکر است که برخی از موارد بیان شده در بخش تحلیل‌ها در فصول آتی به طور مفصل مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

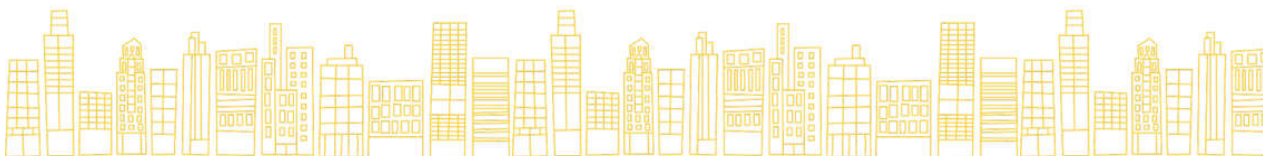
۱- اثرات لاغری بر اساس روش تشدید لنگر در نظر گرفته می‌شود. (در فصل ستون‌ها به این موضوع پرداخته خواهد شد.)

۲- امکان بازپخش لنگرهایی که از تحلیل الاستیک مرتبه اول محاسبه شده اند مجاز است.

۳- لنگرهای هر طبقه یا بام باید با توزیع آن‌ها بین ستون‌های بالا و پایین طبقه یا بام، به نسبت سختی نسبی ستون‌ها و نیز شرایط تقی آنها توزیع شوند.

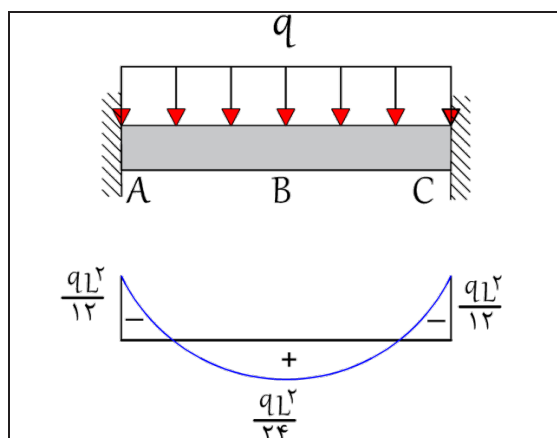
۴- نکات مدل‌سازی به همان گونه که بیان شد باید رعایت شود.

۵- در قاب‌ها و یا ساخت و سازه‌های پیوسته می‌توان چشمه اتصال را صلب فرض نمود.

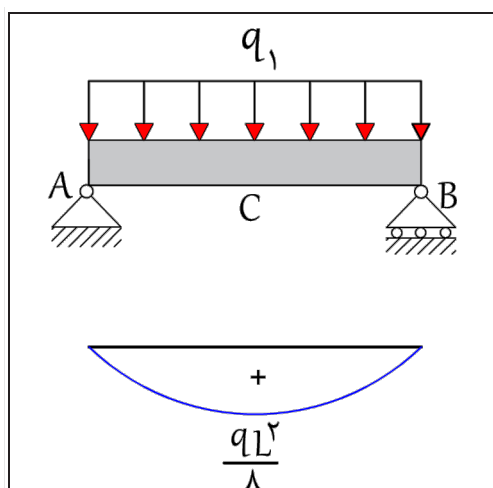


بازپخش لنگرها در اعضای خمشی ممتد:

برای آشنایی با مفهوم بازپخش لنگر، تیر دو سر گیردار زیر که تحت بار گسترده q قرار داشته و مقاومت خمشی مقاطع در طول تیر مقدار ثابتی دارد را در نظر بگیرید:

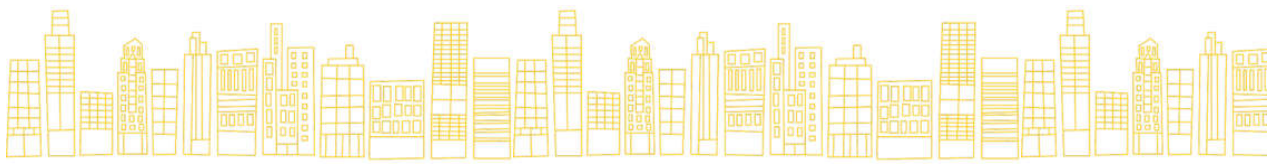


شکل ۱۲-۱ نمودار لنگر تیر دو سر گیردار تحت بار گسترده یکنواخت



شکل ۱۳-۱ نمودار لنگر تیر دو سر مفصل تحت بار گسترده یکنواخت

همانگونه که در نمودار لنگر خمشی تیر دو سرگیردار مشاهده می‌نمایید مقدار لنگر ایجاد شده در دو انتهای تیر نسبت به سایر نقاط بیشتر است؛ بنابراین با فرض یکسان بودن مقاومت خمشی کلبه نقاط در طول تیر، در نواحی انتهایی امکان گسیختگی خمشی نسبت به سایر نقاط بیشتر است. با افزایش میزان بار گسترده مقدار لنگر در طول تیر افزایش پیدا کرده تا جایی که لنگرهای نواحی انتهایی بیش از مقاومت خمشی این نقاط شوند. اگر بار گسترده‌ای را که منجر به رسیدن تیر به این مرحله شده را q_1 بنامیم، تیر دوسر گیردار تحت بار



q_1 تبدیل به یک تیر دو سر مفصل می‌شود. بنابراین دو درجه از نامعینی تیر دوسر گیردار کم شده و تبدیل به یک تیر دو سر مفصل می‌گردد. مشاهده می‌کنید که با توجه به نمودار لنگر خمشی تیر ثانویه، میزان لنگر در وسط دهانه بیشترین مقدار را دارد و در وسط تیر امکان گسیختگی نسبت به سایر نقاط بیشتر است. با افزایش بار گسترده و یکنواخت q_1 میزان لنگر در وسط دهانه افزایش می‌یابد تا جایی که مقدار بار گسترده به میزان q_2 رسیده و لنگر متناظر با آن در وسط دهانه بیش از ظرفیت خمشی مقطع تیر در این نقطه از تیر می‌شود. در این هنگام در وسط تیر مفصل خمشی ایجاد شده و تیر ناپایدار می‌شود. در اینجا طراح برای اینکه تیری طراحی کند تا در برابر بار q_2 دچار گسیختگی نشود می‌تواند دو دیدگاه را در پیش گیرد:

۱- نقاط مختلف تیر را براساس خمش ناشی از بار q_1 طراحی کند؛ در این حالت اگر بار گسترده وارد بر روی تیر به میزان ناچیزی از مقدار q_2 کمتر باشد، در دو نقطه از تیر مفصل تشکیل شده است ولی هنوز ناپایدار نشده است، به عبارتی تیر برای بار کمتر q_1 طراحی شده، ولی می‌تواند بار بیشتر q_2 را تحمل کند.

۲- نقاط مختلف تیر را براساس خمش ناشی از بار q_2 طراحی نماید، در این حالت در صورتی که بار گسترده q_2 بر روی تیر قرار گیرد، در هیچ یک از نقاط تیر مفصل تشکیل نشده و مقاطع نسبت به حالت اول مقاومت خمشی بیشتری دارند.

نتیجه این که تیر طراحی شده مطابق دیدگاه اول نسبت به تیر طراحی شده مطابق دیدگاه دوم اقتصادی تر و در عین حال جوابگوی نیاز طراحی می‌باشد و در یک جمله طراحی بهینه‌تری است.

به این موضوع که عضو برای خمش، پیچش، ... کمتری طراحی شود تا امکان ایجاد مفصل در عضو وجود داشته باشد، امکان بازپخش گفته می‌شود.

نکات مربوط به بازپخش لنگرها در اعضای خمشی ممتد

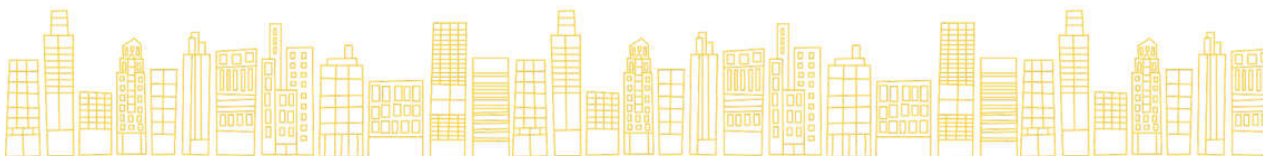
بند ۹-۶-۵-۱ در حالتی که الگوی بارگذاری بار زنده در تحلیل‌های خطی و دالهای دو طرفه اعمال شود، می‌توان مقادیر لنگرهای مثبت یا منفی حداکثر را برای هر گونه چیدمان بارگذاری کاهش داد، بشرط آنکه شرایط زیر تامین شده باشند.

الف) اعضای خمشی بصورت ممتد باشند

ب) در مقطعی که لنگر کاهش داده می‌شود، مقدار کرنش نهایی در پایین ترین آرماتورهای کششی بیش از 0.0075 باشد.

ج) درصد کاهش لنگر در مقاطعی که لنگر کاهش داده می‌شود، نباید از کمترین دو مقدار $(1.00 \cdot E_p)$ درصد و یا ۲۰ درصد بیشتر باشد. (کرنش نهایی در دورترین آرماتورکششی)

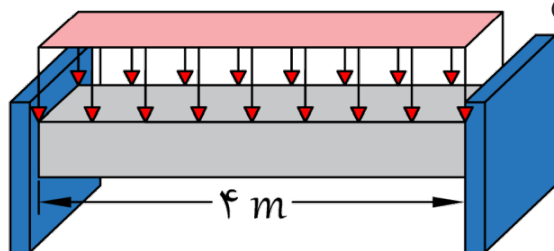
د) مقادیر لنگرهای بازپخش شده در طول دهانه باید با استفاده از مقادیر لنگرهای کاهش یافته و با رعایت شرایط تعادل استاتیکی برای هر ترتیب بارگذاری در دهانه‌ها محاسبه شوند، ضابطه این بند باید در مورد برش‌ها و عکس‌العمل‌های تکیه گاهی رعایت شود.



مثال ۱۰



تیر بتن آرمه دو سر گیردار زیر، به ابعاد $400 \times 450 \text{ mm}$ دارای ۵ آرماتور نمره ۱۸ بوده که در هنگام بارگذاری کرنشی برابر با $0/018$ را متحمل می‌شوند. با فرض اینکه بتوان بیشترین مقدار کاهش لنگر را در تکیه‌گاه اعمال نمود، میزان برش در فاصله یک متری از تکیه‌گاه چه میزانی خواهد بود؟ (شدت بار گسترده اعمالی برابر با ۵ کیلونیوتن بر متر مربع است)



الف) ۲ کیلونیوتن

ب) $1/35$ کیلونیوتن

ج) $1/64$ کیلونیوتن

د) $2/54$ کیلونیوتن

تالیفی ACE

حل:

بابت بار گسترده در واحد سطح را با ضرب در ضخامت تیر به بار گسترده در واحد طول تبدیل می‌کنیم:

$$q = 5 \times 0,4 = 2 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

همانطور که میدانید هنگامی که یک تیر دو سر گیردار تحت یک بار گسترده خطی قرار می‌گیرد، مقدار لنگر ایجاد شده در تکیه‌گاه‌ها برابر است با:

$$M = \frac{ql^2}{12}$$

$$M = \frac{2 \times 4^2}{12} \approx 2,67 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

بنابراین لنگر ایجاد شده در تکیه‌گاه برابر است با:

بیشترین مقدار کاهش لنگر براساس آنچه که پیش‌تر بیان شده برابر است با:

$$\text{Min}\{2\% \cdot 1000 \varepsilon_t\} = \text{Min}\{2\% \cdot (1000 \times 0/018)\} = 18\%$$

بنابراین می‌توان به میزان ۱۸ درصد از مقدار لنگر در تکیه‌گاه‌ها کاهش داد:

$$M_k = 2,67 - 0,18 \times 2,67 = 2,1894 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

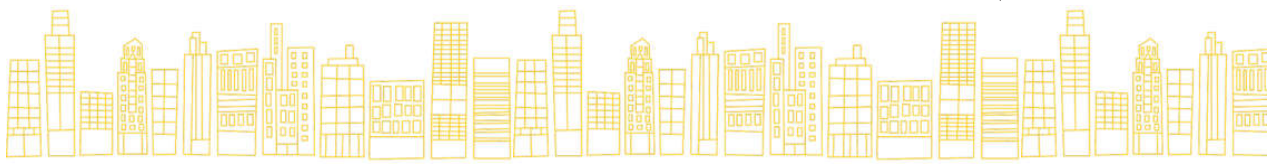
$$2,1894 = \frac{q \times 4^2}{12} \Rightarrow q \approx 1,642 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

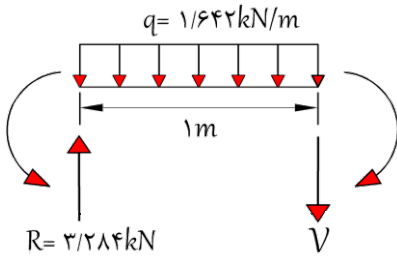
با توجه به بار گسترده به دست آمده میزان عکس العمل تکیه‌گاهی برابر است با:

$$R = \frac{ql}{2} = \frac{1,642 \times 4}{2} = 3,284 \text{ KN}$$

حال به محاسبه برش در فاصله یک متری از تکیه‌گاه بر اساس روابط تحلیل سازه‌ها (تعادل در راستای قائم)

می‌پردازیم:





$$V = 2,284 - 1,642 \times 1 = 1,642 \text{ KN}$$

گزینه ج صحیح است.

تحلیل الاستیک مرتبه دوم

تحلیل الاستیک مرتبه دوم تحلیلی است که نیروهای داخلی براساس روابط تحلیل سازه‌ها حساب شده ولی در آن اثرات بارهای محوری، وجود ترک در طول اعضا و مدت زمان وارد شدن بار در نظر گرفته می‌شود. در خصوص تحلیل الاستیک مرتبه دوم می‌توان به نکات زیر اشاره نمود:

- ۱- مدل‌سازی اعضا براساس هر آنچه که در قسمت مدل‌سازی گفته شد انجام می‌شود.
- ۲- اثرات لاغری بر اساس روش تشدید لنگر در نظر گرفته می‌شود. (در فصل ستون‌ها به این موضوع پرداخته خواهد شد).
- ۳- امکان باز پخش لنگرهایی که از تحلیل الاستیک مرتبه دوم محاسبه شده اند مجاز است.

تحلیل غیر الاستیک

تحلیل غیر الاستیک هم همانند تحلیل الاستیک به دو روش تحلیل مرتبه اول و دوم می‌باشد. در تحلیل غیر الاستیک رفتار غیر خطی مصالح در تحلیل منظور می‌گردد. تفاوت بین تحلیل غیر الاستیک مرتبه اول و دوم بدین صورت است که در تحلیل غیر الاستیک مرتبه اول، تعادل در وضعیت تغییر شکل نیافته تامین شده اما در تحلیل غیر الاستیک مرتبه دوم تعادل را در وضعیت تغییر شکل یافته تامین می‌شود. در خصوص تحلیل غیر الاستیک به نکات زیر دقت نمایید:

- ۱- اثرات لاغری باید لحاظ گردد.
- ۲- باز پخش لنگر در تحلیل غیر الاستیک مجاز نمی‌باشد.

مثال ۱۱



امکان باز پخش لنگر در کدام یک از تحلیل‌های زیر مجاز نمی‌باشد.

الف) تحلیل غیر خطی مرتبه اول

ب) تحلیل خطی مرتبه اول



ج) تحلیل خطی مرتبه دوم

د) در کلیه تحلیل‌ها امکان باز پخش لنگر مجاز است.

تالیفی ACE

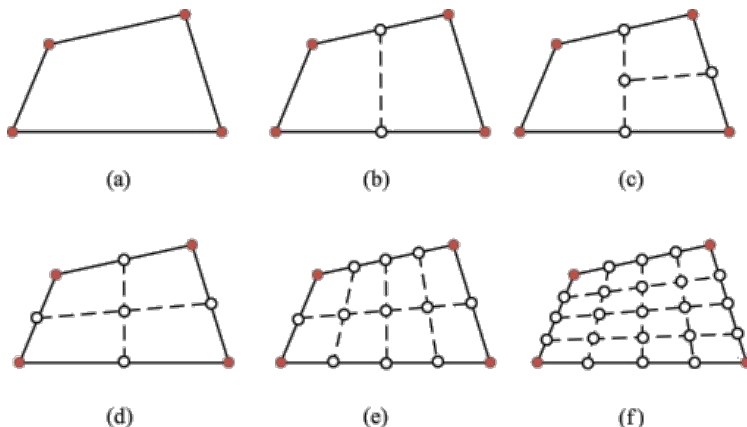
حل:

براساس نکات بیان شده امکان باز پخش لنگر در هیچ یک از تحلیل‌های غیر خطی مرتبه اول و دوم مجاز نمی‌باشد. بنابراین گزینه الف پاسخ صحیح مثال است.

تحلیل به روش اجزا محدود^۱

در تحلیل به روش اجزا محدود عضو مورد تحلیل به قسمت‌های کوچکی که اصطلاحاً به آنها مش گفته می‌شود تقسیم می‌شود، در هر یک از این مش‌ها روابط تعادل بین نیروها و سازگاری تغییر مکان‌ها بررسی شده و از کنار هم قرار دادن تحلیل این مش‌ها به تحلیل کل عضو می‌رسیم. در این روش نیز عضو را می‌توان به هر دو روش خطی و غیر خطی تحلیل نمود. (روش تحلیلی مورد استفاده برای تحلیل دال‌ها و دیوار برشی)

شکل ۱-۱۴



شکل ۱-۱۴ تحلیل سازه در نرم افزار آباکوس به روش اجزا محدود

در خصوص تحلیل به روش اجزا محدود به نکات زیر توجه کنید:

۱- در تحلیل غیر خطی با این روش اصل جمع آثار قوا مجاز نبوده و باید برای هر ترکیب بار تحلیل جداگانه‌ای صورت گیرد.

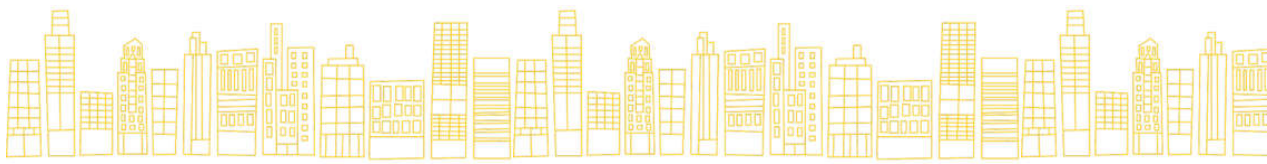
۲- باز پخش لنگرها در اعضای تحلیل شده به روش اجزا محدود مجاز نیست.

۳- استفاده از متوسط گیری پاسخ‌ها در طول محدودی از عضو در تحلیل به روش اجزا محدود مجاز می‌باشد.

روش‌های ساده شده تحلیل‌های الاستیک

در کنار همه روش‌های گفته شده در خصوص تحلیل سازه‌های بتن آرمه مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ویرایش پنجم روشی ساده جهت تحلیل برخی اعضا با شرایط خاص ارائه نموده است.

1. Finite element method



بند ۹-۶-۹-۱ در صورتی که شرایط (الف) تا (ث) زیر موجود باشد، لنگرهای خمشی و تلاش‌های برشی را می‌توان در مقاطع مختلف با استفاده از جدول ۱-۱۰ تعیین نمود.

(الف) تیر یا دال حداقل دو دهانه داشته باشد.

(ب) هر یک از اعضا در طول خود دارای مقطع ثابت باشند.

(پ) طول دهانه‌ی بزرگتر از دو دهانه مجاور، از ۲۰ درصد طول دهانه کوچکتر تجاوز ننماید.

(ت) بارها در سراسر طول تیر یا دال، تقریباً به صورت یکنواخت توزیع شده باشند.

(ث) شدت بار زنده از سه برابر شدت بار مرده بیشتر نباشد.

جدول ۱-۱۰ مقادیر تقریبی لنگرها و برش‌ها در تیرها و دالهای یکطرفه‌ی ممتد

۱- لنگر مثبت	
$\frac{w_u l^2}{11}$	دهانه‌های انتهایی (الف) با انتهای غیر ممتد به صورت ساده (غیر گیردار)
$\frac{w_u l^2}{14}$	دهانه‌های انتهایی (ب) با انتهای غیر ممتد، به صورت یکپارچه با تکیه‌گاه
$\frac{w_u l^2}{16}$	دهانه‌های داخلی
۲- لنگر منفی	
$\frac{w_u l^2}{9}$	لنگر منفی در وجه خارجی اولین تکیه‌گاه داخلی (الف) دو دهانه
$\frac{w_u l^2}{10}$	لنگر منفی در وجه خارجی اولین تکیه‌گاه داخلی (الف) بیش از دو دهانه
$\frac{w_u l^2}{11}$	لنگر منفی در وجوه دیگر تکیه‌گاه‌های داخلی
۳- لنگر منفی در موارد خاص	
$\frac{w_u l^2}{12}$	(الف) لنگر منفی در وجوه تکیه‌گاه‌های خارجی دال‌ها با دهانه‌های حداکثر ۳ متر، و تیرهایی که در آنها نسبت مجموع سختی ستون‌ها به مجموع سختی تیرها در هر انتهای دهانه بیش از ۸ متر است.
$\frac{w_u l^2}{24}$	(ب) لنگر منفی در وجه داخلی تمام تکیه‌گاه‌های خارجی برای اعضایی که با تکیه‌گاه‌های خود به صورت یکپارچه ساخته شده باشد. در مواردی که تکیه‌گاه یک تیر لبه باشد.
$\frac{w_u l^2}{16}$	(ب) لنگر منفی در وجه داخلی تمام تکیه‌گاه‌های خارجی برای اعضایی که با تکیه‌گاه‌های خود به صورت یکپارچه ساخته شده باشد. در مواردی که تکیه‌گاه ستون باشد.
۴- برش در تیرهای ممتد	
$1.15 \frac{w_u l}{2}$	برش در اعضای انتهایی در وجه اولین تکیه‌گاه داخلی
$\frac{w_u l}{2}$	برش در وجوه سایر تکیه‌گاه‌ها



فانوس ۱۱

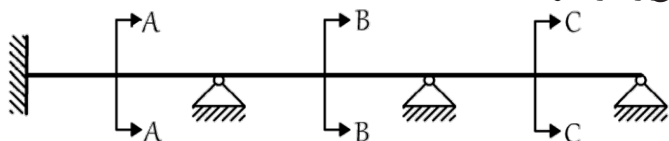


باز پخش لنگر برای لنگرهایی که از جدول ۱-۱۰ محاسبه شده‌اند مجاز نمی‌باشد.

مثال ۱۲



مقدار لنگر خمشی مثبت اعمال شده بر روی هر یک از مقاطع A، B و C تیر بتن آرمه زیر براساس روش ساده شده تحلیل الاستیک به ترتیب چند کیلونیوتن متر است؟ (طول هر یک از دهانه‌ها ۵ متر و بار گسترده خطی ۴ کیلونیوتن بر متر بر روی تمامی دهانه‌ها قرار دارد)



الف) $9/1 - 9/1 - 6/25$

ب) $7/14 - 6/25 - 9/1$

ج) $6/25 - 6/25 - 7/14$

د) $7/14 - 6/25 - 6/25$

تالیفی ACE

حل:

با توجه به جدول ۱-۱۰

مقطع A بخشی از یک دهانه خارجی بوده که این دهانه دارای انتهای غیر ممتد و یکپارچه با تکیه‌گاه است.

$$M_A^+ = \frac{w_u l^2}{14} = \frac{4 \times 5^2}{14} \approx 7,14 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

مقطع B یک دهانه داخلی است.

$$M_B^+ = \frac{w_u l^2}{16} = \frac{4 \times 5^2}{16} \approx 6,25 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

مقطع C نیز بخشی از یک دهانه خارجی بوده که این دهانه دارای انتهای غیر ممتد و تکیه‌گاه ساده است.

$$M_C^+ = \frac{w_u l^2}{11} = \frac{4 \times 5^2}{11} \approx 9,1 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

گزینه ب صحیح است.

مثال ۱۳



تیر بتن آرمه زیر به ابعاد $300 \times 400 \text{ mm}$ و طول دهانه‌های ۴ متر تحت بار مرده $\frac{4 \text{ KN}}{\text{m}}$ و بار زنده $\frac{2 \text{ KN}}{\text{m}}$ قرار دارد، به روش تحلیل الاستیک تقریبی تعیین نمایید مقطع A-A به ترتیب برای چه میزان لنگر خمشی منفی و نیروی برشی باید طراحی شود؟ (بتن مورد استفاده در تیر از رده C۲۵ و فولاد مصرفی از رده S۴۰۰ می‌باشد)

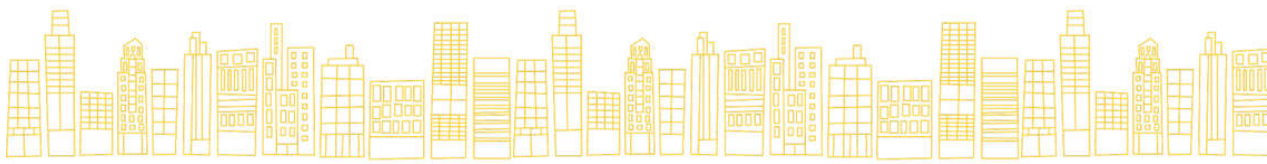
الف) $16 - 11/63$

ب) $14 - 9/13$

ج) $14 - 11/63$

د) $16 - 9/13$

تالیفی ACE



حل:

ابتدا میزان باری را که بر روی تیر قرار می‌گیرد از ترکیب بارها محاسبه می‌کنیم:

$$w = \max \begin{cases} 1,4D = 1,4 \times 4 = 5,6 \frac{KN}{m} \\ 1,2D + 1,6L = 1,2 \times 4 + 1,6 \times 2 = 8 \frac{KN}{m} \end{cases} \Rightarrow w = 8 \frac{KN}{m}$$

حال با توجه به اینکه مقطع A-A مقطعی داخلی از اولین تکیه‌گاه داخلی است و براساس جدول ۱-۱۰ داریم:

$$M_A^- = \frac{w_u l^2}{11} = \frac{8 \times 4^2}{11} \approx 11,63 \text{ KN} \cdot m$$

$$V_A = \frac{w_u l}{2} = \frac{8 \times 4}{2} = 16 \text{ KN}$$

گزینه الف صحیح است.

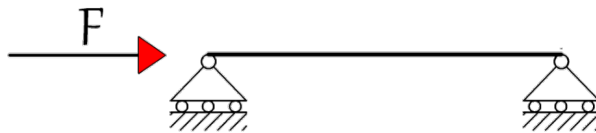
اگر لنگر خمشی و نیروی برشی وجه مقابل مقطع A-A در سوی دیگر همان تکیه‌گاهی که مقطع A-A به آن متصل است، مورد سوال بود جواب‌ها چه تغییری می‌کرد؟

طراحی معادل درمان

پس از طی کردن گام‌های: مدل‌سازی، بارگذاری و تحلیل حال نوبت به گام چهارم یعنی طراحی سازه بتن‌آرمه می‌رسد. در طراحی یک سازه بتنی براساس ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، ما چه اهدافی را دنبال می‌کنیم؟ هنگامی که صحبت از طراحی یک سازه بتن‌آرمه می‌شود، منظور این است که سازه و اعضای آن یک میزان حداقلی از مقاومت، پایداری، بهره‌برداری، پایایی و انسجام را دارا می‌باشند.

حداقل مقاومت لازم سازه بتن‌آرمه: منظور از حداقل مقاومت لازم یک سازه بتن‌آرمه این است که سازه و اعضای آن نظیر: تیر، ستون، دال، دیوار و پی در طول عمر سازه، بارهای وارده را بخوبی تحمل نمایند، آسیب قابل ملاحظه ندیده و دچار گسیختگی نشوند.^۱

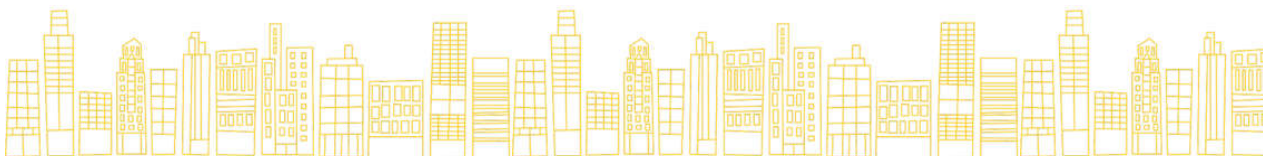
پایداری سازه‌های بتن‌آرمه: بنابر مفاهیم تحلیل سازه‌ها می‌دانیم که ناپایداری یک عضو یا یک سازه متشکل از چند عضو به این معناست که آن عضو یا سازه در یک بارگذاری خاص، دچار تغییر مکان‌های بزرگ شود. به شکل ۱-۱۵ توجه نمایید:



شکل ۱-۱۵ تیر ساده با دو تکیه‌گاه غلطکی تحت نیروی افقی F ناپایدار است

براساس قوانین اولیه طراحی، سازه و اجزای آن، در زمان بارگذاری و پس از تغییر شکل‌های معمول و مجاز نباید دچار ناپایداری و فرو ریزش شوند.

۱. این بند بیان می‌کند که سازه می‌تواند رفتار غیر خطی داشته و دچار برخی خرابی‌های جزئی شود.



بهره‌برداری سازه‌های بتن آرمه: کنترل‌های بهره‌برداری در سازه‌های بتن آرمه، پس از موضوعات مقاومت حداقل و پایداری سازه، در زمان استفاده از ساختمان موضوعیت پیدا می‌کند. براساس این هدف طراحی، سازه باید در مرحله بهره‌برداری دچار تغییر شکل‌ها، بازشدگی ترک‌ها، ارتعاشات بیش از حد نشده، بعلاوه اینکه آتش سوزی آسیب قابل ملاحظه‌ای به اسکلت ساختمان وارد ننماید.

مثال ۱۴



کدام یک از موارد زیر جزء اهداف بهره‌برداری در طراحی یک تیر بتن آرمه است:

الف) تامین مقاومت برشی حداقل تیر

ب) کنترل حداکثر خیز تیر

ج) محاسبه بارهای وارد بر تیر براساس ترکیب بارهای طراحی

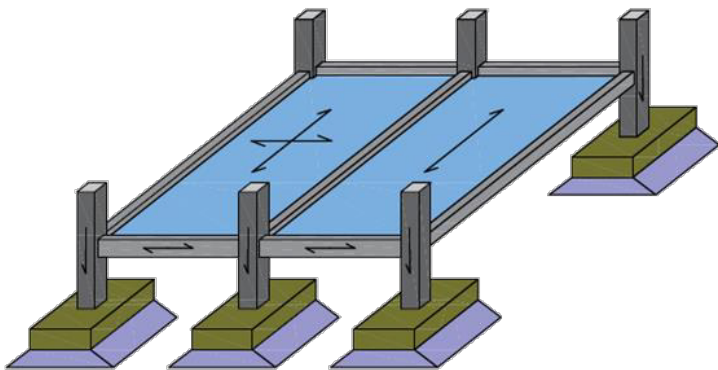
د) تامین الزامات لرزه‌ای تیر

حل:

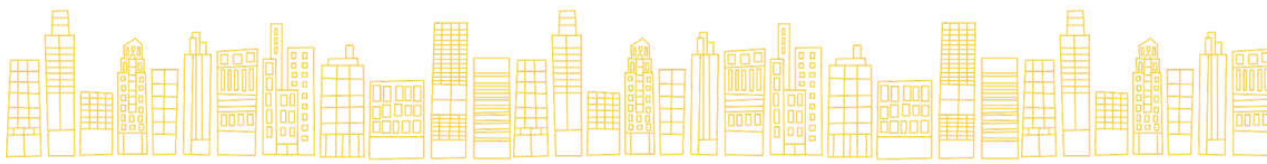
با توجه به توضیحات گزینه ب صحیح است

دوام یا پایداری یک سازه: منظور از دوام یا پایداری در سازه‌های بتن آرمه این است که اجزای تشکیل دهنده مصالح سازه بتن آرمه، شامل: بتن و فولاد، با شرایط محیط سازگاری کافی داشته و شرایط موجود محیطی و یون‌های در دسترس، موجب فرسودگی، پیری زودرس و یا انهدام آن‌ها نشوند.

انسجام یا یکپارچگی سازه بتن آرمه: انسجام و یکپارچگی به این معناست که سازه همانند یک مدار الکتریکی بطور پیوسته بار را از سقف‌ها به تیرها، از تیرها به ستون‌ها و دیوارهای باربر، و از ستون‌ها و دیوارها به پی‌ها و در انتها از سطح زیرین پی‌ها به خاک، بدون هیچگونه خلل و قطع شدگی جریان بار، منتقل نماید.



شکل ۱۶-۱ انتقال بار بین اعضای یک سازه بتن آرمه





مثال ۱۵

کدارم یک از مسیرهای انتقال بار در یک سازه صحیح است؟

(الف) دال ← ستون ← پی

(ب) دال ← تیر ← پی

(ج) تیر ← دال ← پی

(د) هیچکدام

تالیفی ACE

حل:

گاهی اوقات سیستم سازه‌ای بدون تیر بوده و بار مستقیماً به ستون منتقل می‌شود.
گزینه الف صحیح است.

آزمونک پایان فصل اول

۱- تنش و کرنش ترک‌خوردگی بتنی با جرم مخصوص ۱۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت مشخصه ۲۵

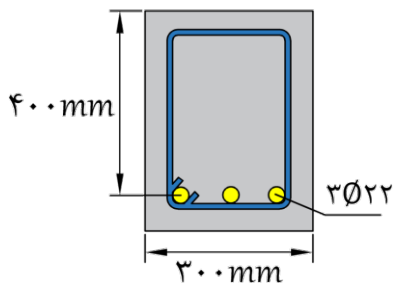
مگاپاسکال به ترتیب کدام است؟

(الف) ۶٫۲۵ مگاپاسکال - ۰٫۰۰۰۳۶

(ب) ۵٫۴۵ مگاپاسکال - ۰٫۰۰۰۱۲

(ج) ۴٫۳۴ مگاپاسکال - ۰٫۰۰۰۳۶

(د) ۲٫۳۲ مگاپاسکال - ۰٫۰۰۰۱۲



۲- شکل زیر مقطع یک تیر بتن‌آرمه به ابعاد $300 \times 450 \text{ mm}$ تحت لنگر خمشی مثبت است. (لنگر

خمشی مثبت لنگری است که پایین مقطع را تحت کشش قرار می‌دهد.) برای محاسبه سختی خمشی تیر در

تحلیل خطی مرتبه دوم این تیر از چه مقداری باید برای ممان اینرسی استفاده شود؟ (روش دقیق محاسبه ممان

اینرسی مد نظر است)

(الف) 797347.3 cm^4

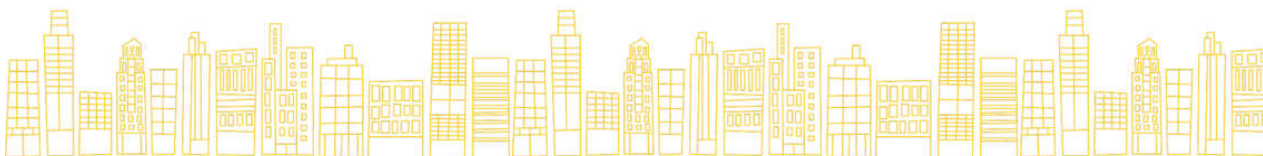
(ب) 227812.5 cm^4

(ج) 113906.2 cm^4

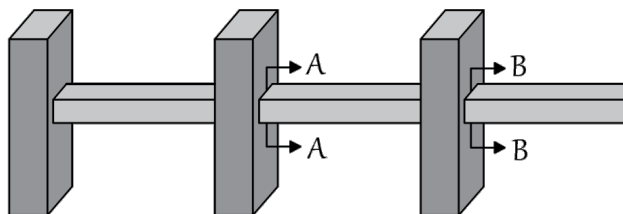
(د) 98345.1 cm^4

۳- بار یکنواخت w بر روی تیر ممتد شکل زیر و در تمامی دهانه‌ها حضور دارد. نسبت برش طراحی ایجاد

شده در مقطع A به برش طراحی ایجاد شده در مقطع B به روش تحلیل الاستیک تقریبی به کدام یک از



گزینه‌های زیر نزدیک تر است؟ (طول همه دهانه‌ها برابر با L است)



الف) ۱

ب) ۲

ج) ۰٫۵

د) برش در نقطه B صفر است

۴- با توجه به سوال بالا نسبت لنگر خمشی منفی در نقطه B به لنگر خمشی منفی در نقطه A به روش تحلیل الاستیک تقریبی به کدام یک از گزینه‌های زیر نزدیک تر است؟

د) ۵٫۵

ج) ۰٫۵

ب) ۰٫۱۸

الف) ۱٫۱

سوال ۴ - گزینه د

سوال ۳ - گزینه ج

سوال ۲ - گزینه ج

سوال ۱ - گزینه د

