فصل اول
کلیات و مفاهیم

آنچه در این فصل می‌خوانیم؛

کلیات و مفاهیم

مقدمه

داستان طراحی یک سازه بتن‌آرمه با مدل سازی شروع شده، سپس تحت بارگذاری قرار گرفته، و در ادامه تحلیل و طراحی می‌شود. نویسنده این داستان، مهندس طراحی است که بر روی مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، استاندارد ۲۸۰۰، تحلیل سازه‌ها و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تسلط کافی دارد. در واقع مهندس طراح[1] به شخصیت حقیقی یا حقوقی اطلاق می‌گردد که مسئولیت طراحی سازه را عهده‌دار 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 سازه‌های بتن‌آرمه 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 سازه‌های بتن‌آرمه 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 بتن‌آرمه چیست؟

عضو بتن‌آرمه 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 ستون‌ها و دیوارها مناسب است. اما به سبب مقاومت کمی که تحت نیروی کششی دارد، استفاده از آن برای قطعاتی که تماما یا بطور موضعی تحت کشش هستند (تیر، دال، فونداسیون) محدود می‌گردد. برای رفع این محدودیت، اعضای بتنی که کل مقطع آن‌ها و یا قسمتی آز آن تحت کشش هستند را با قرار دادن فولاد در ناحیه کششی مقطع تقویت می‌نمایند. البته می‌توان 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 می‌شود؟ پاسخ این است: به دو دلیل چسبندگی بالا و ضرایب انبساط حرارتی تقریبا یکسانی که بین بتن و آرماتور وجود دارد، در اثر بارهای وارده و تغییرات دما این دو ماده تغییر شکل تغریبا یکسانی داشته و لغزشی بین آنها رخ نمی‌دهد.

$$\text{ضریب انبساط حرارتی بتن} \cong ۱۰ \times ۱۰^{-۶}$$

$$\text{ضریب انبساط حرارتی فولاد} \cong ۱۲ \times ۱۰^{-۶}$$

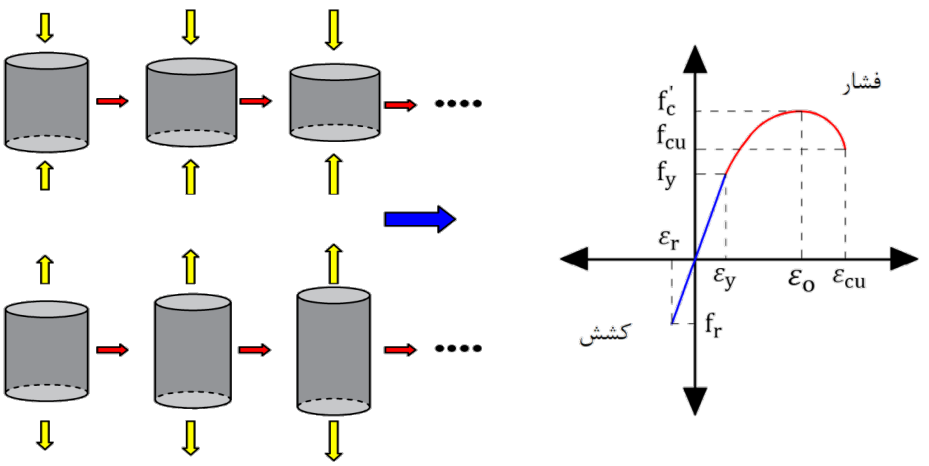
در ادامه نگاهی به مدل رفتاری بتن و فولاد خواهیم داشت. با ما همراه باشید.

---

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

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 الاستیسته بتن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

رابطه (۱)
$$E_c = ۰,۰۴۳ w_c^{۱,۵} \sqrt{f'_c}$$

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

رابطه (۲)
$$E_c = ۴۷۰۰ \sqrt{f'_c}$$

w_c : چگالی بتن $(\frac{Kg}{m^۳})$

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 ۰٫۰۰۳ 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.

رابطه (۳)
$$f_r = ۰٫۶۲\lambda\sqrt{f'_c}$$

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 (υ) برای بتن معمولی برابر با ۰٫۲ و برای بتن سبک از آزمایش به دست می‌آید.

مثال ۱

نسبت مدول الاستیسیته بتنی با مقاومت فشاری مشخصه ۲۵ مگاپاسکال و وزن مخصوص ۱۵ کیلونیوتن بر متر مکعب به مدول الاستیسته بتنی با مقاومت فشاری ۵۰ مگاپاسکال و وزن مخصوص ۲۰ کیلونیوتن بر متر مکعب کدام است؟

تالیفی ACE

الف) ۲٫۱۷ ب) ۰٫۳۲ ج) ۱٫۴۲ د) ۰٫۴۶

حل:

با توجه به رابطه شماره یک داریم:
$$\frac{E_{c1}}{E_{c2}} = \left(\frac{w_{c1}}{w_{c2}}\right)^{1,5} \times \sqrt{\frac{f'_{c1}}{f'_{c2}}} = \left(\frac{15}{20}\right)^{1,5} \times \sqrt{\frac{25}{50}} \cong ۰٫۴۶$$

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 ۲۵، یعنی بتنی که دارای مقاومت فشاری مشخصه ۲۵ مگاپاسکال است.

بند ۹-۳-۴-۱ رده بندی بتن براساس مقاومت مشخصه آن معمولا به ترتیب زیر است.

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

بند ۹-۳-۲-۲ برای منظور کردن مشخصات بتن‌های سبک، برخی روابطی که در این کتاب از پارامتر $\sqrt{f'_c}$ استفاده شده است در ضریب λ مطابق جداول ۱-۱ و ۱-۲ ضرب می‌گردد. ضریب λ در جدول ۱-۱ با توجه به ترکیب سنگدانه‌های معمولی و سبک به ترتیب مطابق استانداردهای ملی ۳۰۲ و ۴۹۸۵، یا در جدول ۱-۲ با توجه به چگالی تعیین می‌شود.

جدول ۱-۱ ضریب اصلاح λ با توجه به ترکیب دانه‌ها

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

[۱] برای بتن‌های نیمه سبکدانه ترکیبی، مقدار λ از درون‌یابی 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 درشت‌دانه معمولی به حجم کل مواد سنگی به دست می‌آید.

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

چگالی بتن w_c، کیلوگرم بر مترمکعب	λ
$w_c \leq ۱۶۰۰$	۰٫۷۵
$۱۶۰۰ < w_c \leq ۲۱۶۰$	$۰/۰۰۰۴۶w_c \leq ۱.۰۰$
$w_c > ۲۱۶۰$	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 می‌توان از طریق انجام آزمایش مقاومت کششی دو نیمه شدن و به کمک رابطه زیر محاسبه نمود:

$$\lambda = \frac{f_{ct}}{۰.۵۶\sqrt{f'_c}} \leq ۱$$

f_{ct} مقاومت کششی است که از طریق آزمایش دو نیمه شدن به دست آمده و براساس واحد مگاپاسکال در رابطه قرار داده می‌شود.

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 ۱۹٫۴کیلونیوتن 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 می‌گردد. $f_r = ۰٫۶۲\lambda\sqrt{f'_c}$

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:

با توجه به جدول ۱-۲ مقدار λ از رابطه زیر بدست می‌آید: $w_c = \frac{۱۹/۴ \times ۱۰۰۰}{۹/۸} = ۱۹۷۹/۵۹ \frac{Kg}{m^۳}$

$۰/۰۰۰۴۶w_c = ۰/۰۰۰۴۶ \times ۱۹۷۹/۵۹ = ۰/۹۱ \leq ۱$

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

$$\frac{f_{r۱}}{f_{r۲}} = \frac{\lambda_۱}{\lambda_۲} \times \sqrt{\frac{f'_{c۱}}{f'_{c۲}}} = \frac{۰/۷۵}{۰/۹۱} \times \sqrt{\frac{۲۵}{۳۰}} = ۰/۷۵۲$$

گزینه الف صحیح است.

دامنه کاربرد بتن در طراحی اعضای بتن‌آرمه

مطابق بند ۹-۳-۳-۳ محدودیت‌های زیر در خصوص مقدار مقاومت فشاری مشخصه بتن (f'_c) در طرح و اجرای سازه‌های بتن‌آرمه باید رعایت شود.

- حداقل مقدار f'_c برای انواع بتن‌های معمولی و سبک برابر با ۲۰ مگاپاسکال و حداکثر مقدار آن ۵۰ مگاپاسکال است. (برای سازه‌های با شکل‌پذیری[۱] کم)

۱. در خصوص ضوابط لرزه‌ای و شکل‌پذیری در فصول آتی صحبت خواهد شد.

- در ساختمان‌های بلندتر از ۲۰ طبقه از روی شالوده، درصورتی 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 با رده مقاومتی ۱۶ مگاپاسکال استفاده نمود.

ب) برای طرح و اجرای یک بیمارستان با شکل پذیری ویژه می‌توان از بتن سبک C ۴۰ استفاده نمود.

پ) برای طراح و اجرای ستون‌های یک مجتمع تجاری با شکل پذیری متوسط می‌توان از بتن معمولی C ۳۰ استفاده نمود.

ج) همه موارد صحیح است.

حل:

با توجه به توضیحات ارائه شده گزینه پ صحیح است

جمع شدگی و خزش در بتن[1]

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.

1. Shrinkage

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 ۱-۲

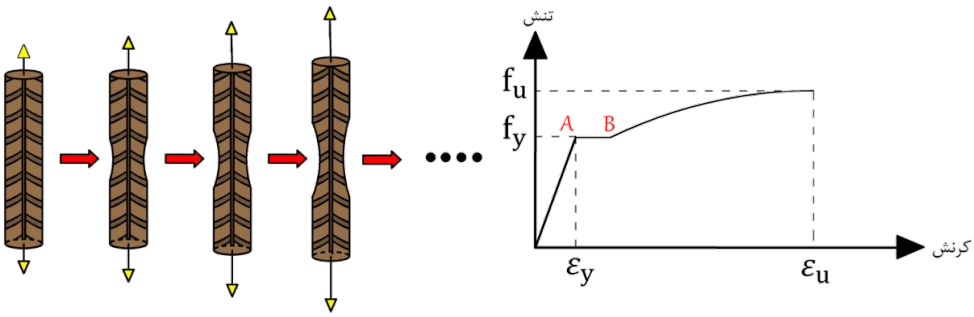
(ب) (الف)

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

نام گذاری آرماتورها به صورت ΦN بوده که در آن N میزان قطر آرماتور برحسب میلی‌متر را مشخص می‌کند. برای مثال منظور از آرماتور $\Phi 16$، آرماتور نمره ۱۶ و با قطر ۱۶ میلی‌متری 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.



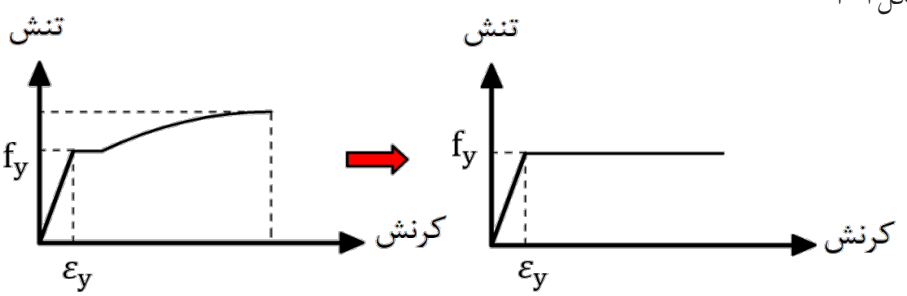
شکل ۱-۳ نمودار تنش کرنش فولاد

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 کاملا ارتجاعی بوده و پس از باربرداری جابه‌جایی پس‌ماندی 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 اصطلاحا به آن تنش تسلیم یا جاری شدن فولاد می‌گویند. کرنش نظیر تنش تسلیم بر روی نمودار با ε_y نشان داده شده که اصطلاحا 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:

$$E_s = ۲ \times ۱۰^{۵}\ Mpa$$

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 بتن‌آرمه صرف نظر می‌گردد. شکل ۱-۴



شکل ۱-۴ بخشی از نمودار تنش کرنش فولاد که در طراحی سازه‌های بتن‌آرمه 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:

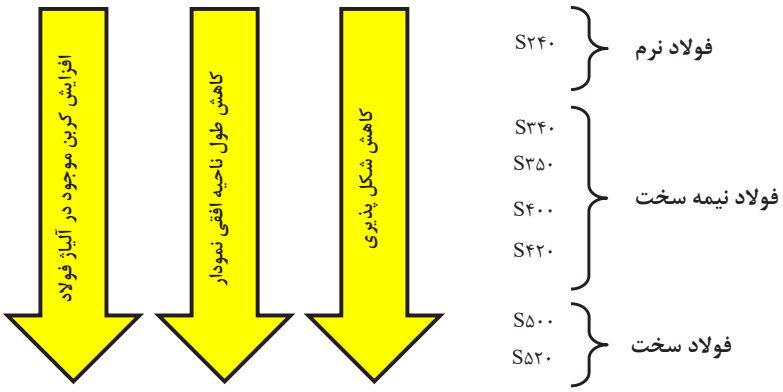
$$\varepsilon_s \leq \varepsilon_y \qquad \Rightarrow \qquad f_s = E_s \times \varepsilon_s$$

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

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y \qquad \Rightarrow \qquad f_s = f_y$$

فانوس: ضریب پواسون فولاد (υ) تقریبا 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 شکل پذیری به سه دسته: فولاد نرم، فولاد نیمه سخت و فولاد سخت تقسیم می‌شوند. به شکل زیر دقت نمایید.



شکل ۱-۵ انواع آرماتورها

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

جدول ۱-۳ ویژگی‌های کششی آرماتورها

رده	علامت مشخصه	طبقه بندی از نظر شکل رویه	طبقه بندی از نظر شکل‌پذیری	مقاومت کششی حداقل f_u، مگاپاسکال	تنش حد تسلیم f_y مگاپاسکال		کرنش گسیختگی [۱] درصد	
					حداقل	حداکثر	حداقل A_5	حداقل A_{10}
S۲۴۰	س ۲۴۰	ساده	نرم	۳۶۰	۲۴۰	-	۲۵	۱۸
S۳۴۰	آج ۳۴۰	آجدار مارپیچ	نیمه سخت	۵۰۰	۳۴۰	-	۱۸	۱۵
S۳۵۰	آج ۳۵۰	آجدار مارپیچ	نیمه سخت	۵۰۰	۳۵۰	۴۵۵	۱۷[۲]	-
S۴۰۰	آج ۴۰۰	آجدار جناغی	نیمه سخت	۶۰۰	۴۰۰	-	۱۶	۱۲
S۴۲۰	آج ۴۲۰	آجدار جناغی	نیمه سخت	۶۰۰	۴۲۰	۵۴۵	۱۶[۲]	-
S۵۰۰	آج ۵۰۰	آجدار مرکب	سخت	۶۵۰	۵۰۰	-	۱۰	۸
S۵۰۰c	آج ۵۰۰ سرد	آجدار	سخت	۵۵۰	۵۰۰	-	۱۲	-
S۵۲۰	آج ۵۲۰	آجدار مرکب	سخت	۶۹۰	۵۲۰	۶۷۵	۱۳	-

[۱] انتخاب یکی از طول‌های آزمون برای تعیین میزان کرنش گسیختگی کافی است. در صورت عدم ذکر طول آزمون، طول حداقل A_5 باید ملاک عمل قرار گیرد. طول‌های A_5 و A_{10} بر طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۱۳۲، به ترتیب برابر با ۵ و ۱۰ برابر قطر آرماتور می‌باشد.

[۲] برای میلگردهایی که قطر اسمی آنها ۳۲ میلی‌متر یا بیشتر است، حداقل مقدار کرنش تعریف شده برای A_5 ممکن است تا ۲ درصد به ازای هر سه میلی‌متر افزایش در قطر، کاهش یابد. حداکثر کاهش از حداقل مقادیر ارائه شده در جدول به ۴ درصد محدود می‌شود.

فانوس ۳

بند ۹-۴-۵-۲: در آرماتورهای ذکر شده در جدول ۱-۳، حداقل نسبت مقاومت کششی به تنش حد تسلیم برابر با ۱/۲۵ می‌باشد. ($\frac{f_u}{f_y} \geq 1,25$) 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 بتن‌آرمه مطابق جدول ۱-۴ و جدول ۱-۵ ارائه نموده است.

جدول ۱-۴ کاربرد آرماتورهای آجدار طولی و عرضی

کاربرد	محل مورد استفاده	حداکثر مقدار f_y یا f_{yt} مجاز برای کاربرد در محاسبات. (مگاپاسکال)[۱]	نوع آرماتور		
			میلگردهای آجدار	سیم‌های آجدار	ملاحضات
خمش،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 خرپایی 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 توام 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 اندازه گیری 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

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

فانوس ٤

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

مثال ٤

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 ۱۹٫۴کیلونیوتن 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 S۴۰۰ برابر ۴۰۰ مگاپاسکال می‌باشد، که این مقدار از تنش ۳۵۰ مگاپاسکال بیشتر است، بنابراین نتیجه خواهیم گرفت که آرماتور ϕ۱۰ جاری نشده است. تا زمانی که آرماتور رفتار خطی داشته باشد و جاری نشود، رابطه زیر برقرار است:

$$f_s = E_s \times \varepsilon_s$$

$$۳۵۰ = ۲ \times ۱۰^۵ \times \varepsilon_s \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_s = ۰,۰۰۱۷۵$$

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

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

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

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

$$\frac{\Delta A}{A} \times ۱۰۰ = \frac{\frac{\pi}{۴} \times (d^۲ - d'^۲)}{\frac{\pi}{۴} \times d^۲} \times ۱۰۰ = \frac{\frac{\pi}{۴} \times (۱۰^۲ - ۹,۹۹۴۷۵^۲)}{\frac{\pi}{۴} \times ۱۰^۲} \times ۱۰۰ \approx ۰,۱٪$$

گزینه ب صحیح است.

فانوس ۵

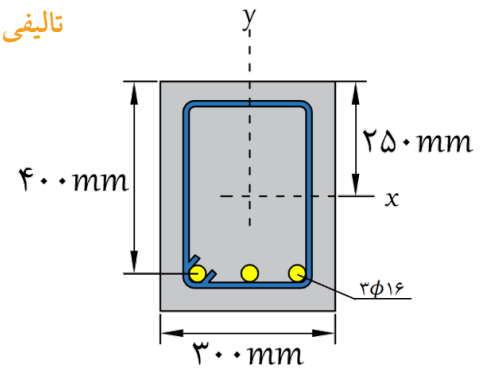
در بحث واحدها همواره مگاپاسکال برابر است با نیوتن بر میلی‌متر مربع: $MPa = \frac{N}{mm^۲}$

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

مثال ۵

به مقطع بتن آرمه زیر به ابعاد $۳۰۰ \times ۴۵۰\ mm^۲$ لنگر خمشی ۶۵ کیلونیوتن متر حول محور x اثر می‌کند، میزان تنش ایجاد شده در محل آرماتورها و میزان نیرویی که آرماتورها در هنگام جاری شدن می‌توانند تحمل نمایند، چه میزان است؟ (فولاد از رده S۴۰۰ بود و هیچ بخشی از بتن مقطع تحت لنگر وارده ترک نخورده است. $n = ۱۰$)

تالیفی 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 می‌دانیم 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 می‌شود.

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

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 بتن‌آرمه 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

$$C = ۴۰۰ - ۲۵۰ = ۱۵۰\ mm$$

$$I = \frac{bh^۳}{۱۲} = \frac{۳۰۰ \times ۴۵۰^۳}{۱۲} = ۲۲۷۸۱۲۵۰۰۰\ mm^۴$$

$$\sigma = n\frac{MC}{I} = ۱۰ \times \frac{۶۵۰۰۰۰۰۰ \times ۱۵۰}{۲۲۷۸۱۲۵۰۰۰} = ۴۲/۷\ \frac{N}{mm^۲} = ۴۲/۷\ MPa$$

بخش دوم:

طبق مطالب گفته شده تنشی که منجر به جاری شدن آرماتورهای از رده S۴۰۰ می‌شود، ۴۰۰ مگاپاسکال خواهد بود. بنابراین خواهیم داشت:

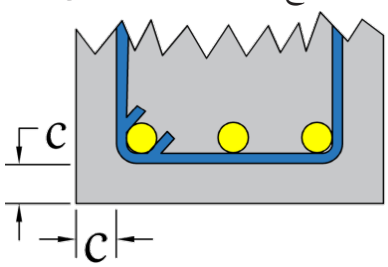
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \Rightarrow \quad ۴۰۰ = \frac{F}{\frac{۳ \times \pi \times ۱۶^۲}{۴}}$$

$$\Rightarrow F \approx ۲۴۱۲۷۴,۳\ N \approx ۲۴۱,۳\ KN$$

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 می‌شود که در اغلب مواقع با حرف C نشان داده می‌شود. شکل ۱-۶



شکل ۱-۶ پوشش آرماتورها