

سازه‌های بتن آرمه



(جلد اول)

بر اساس روش طرح مقاومت (ACI 318-14)
و طراحی در حالات حدی

تألیف: دکتر داود مستوفی نژاد

استاد دانشگاه صنعتی اصفهان

سرشناسه	: مستوفی نژاد، داود، ۱۳۳۹-
عنوان و نام پدیدآور	: سازه‌های بتن آرمه بر اساس روش طرح مقاومت ACI 318-14 و طراحی در حالات حدی / تألیف داود مستوفی نژاد.
وضعیت ویراست	: ویراست ۲.
مشخصات نشر	: اصفهان: انتشارات ارکان دانش، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: ج. ۱: ۷۴۰ ص. مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ج. ۱: 978-600-287-067-4
وضعیت فهرست نویسی	: فایا
یادداشت	: چاپ سی و هفتم
یادداشت	: ویراست قبلی کتاب تحت عنوان «سازه‌های بتن آرمه بر اساس ACI 318-02 آیین نامه (ایران - آبا)» و «سازه‌های بتن آرمه: بر اساس ACI 318-05 و آیین نامه بتن ایران (آبا)» توسط انتشارات ارکان دانش در سال‌های مختلف منتشر شده است.
یادداشت	: واژه نامه.
یادداشت	: کتاب نامه.
عنوان دیگر	: سازه‌های بتن آرمه بر اساس ACI 318-02 و آیین نامه‌ی بتن (ایران - آبا).
عنوان دیگر	: سازه‌های بتن آرمه بر اساس ACI 318-05 و آیین نامه‌ی بتن (ایران - آبا).
موضوع	: ساختمان سازی با بتن مسلح
موضوع	: ساختمان‌ها - - طراحی
رده بندی کنگ	: ۱۳۹۴ س۲/م۵/۸۳۲/۲۸۶۸۳
رده بندی دیربی	: ۶۲۴/۱۸۳۴۱
شماره کتاب شناسی ملی	: ۰۱۹۸



انتشارات ارکان دانش

«انتشارات ارکان دانش ناشر برگزیده سال ۱۳۸۷ استان اصفهان» «ناشر برگزیده نمایه‌گاه بین‌المللی کتاب تهران در سال ۱۳۸۹»

نام کتاب	: سازه‌های بتن آرمه - ج. اول (ویرایش جدید) بر اساس روش طرح مقاومت (CI 318-14) و طراحی در حالات حدی
تألیف	: دکتر داود مستوفی نژاد (استاد دانشگاه صنعتی اصفهان)
ناشر	: انتشارات ارکان دانش
چاپ سی و هفتم	: زمستان ۱۳۹۴
شمارگان	: ۲۰۰۰ جلد
عکس روی جلد	: سازه‌ی بتنی هتل ۵ ستاره‌ی پرستیز (واحد سازه‌ی ستر ستر اصفهان)
طراحی جلد	: کانون آگهی و تبلیغات نقشینه
لیتوگرافی	: صدف
چاپ متن	: چاپ ایرانیان
چاپ جلد	: اندیشه
صحافی	: پیمان گستر
قطع و شمارش صفحات	: وزیری، ۷۴۰ صفحه «تغییر قیمت کتاب به هر عنوان غیر مجاز می‌باشد»
بها	: ۳۹۰,۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-287-067-4

شابک: ۹۷۸ - ۶۰۰ - ۲۸۷ - ۰۶۷

اصفهان: خیابان شیخ بهایی، چهارراه سرتیپ، کوی شهید مهرداد انصاری (سرتیپ)، نرسیده به طالقانی، پلاک ۹۲.
تلفن: ۳۲۳۴۱۳۳۹، ۳۲۳۵۶۸۵۹، ۳۲۳۵۶۸۵۸، ۳۲۳۴۱۳۳۹، نمایر: ۳۲۳۴۱۳۳۹، کدپستی: ۶۵۶۳۱-۱۳۵۸

«کلیه حقوق این اثر مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات ارکان دانش می‌باشد و هرگونه چاپ و انتشار به هر شکل بدون کسب اجازه از انتشارات ارکان دانش ممنوع و پیگرد قانونی دارد.»

مقدمه‌ی مولف - چاپ اول

به خواست خداوند متعال، پس از سال‌ها که اندیشه‌ی تألیف کتاب سازه‌های بتن آرمه، و ارائه‌ی اندوخته‌های حاصل از مطالعات گسترده و تعمق و تدریس در این زمینه در دو دهه‌ی گذشته در سر بود، با صرف حدود یک سال به طور تمام وقت، جلد اول این کتاب تحت عنوان "سازه‌های بتن آرمه - جلد اول" به پایان رسید. اکنون به درگاه حقیقت مطلق سر تعظیم فرود آورده و با خیر بی انتها نثار می‌کنم که تحمل سختی‌های فراوان و ریاضت‌هایی که فرا راه نگارش و انجام این مهم قرار داشت، بر من هموار و شیرین ساخت!

کتاب حاضر به منظور تدریس درس سازه‌های بتن آرمه‌ی I و آشنا شدن دانشجویان دوره‌ی کارشناسی با مفاهیم اساسی بتن مسلح تنظیم شده است. در نگارش کتاب سعی شده است که فقط به ارائه‌ی دستور العمل‌های طراحی بسنده نشده و مفاهیم مرتبط با هر قسمت به صورت عمیق، ولی به زبان ساده و با یک زبان بندی مناسب ارائه شود. به همین جهت بسیاری از مطالب و مفاهیم ارائه شده در این کتاب برای درک بهتر دانشجویان تحصیلات تکمیلی نیز مفید خواهد بود. جهت بالا بردن کیفیت چاپ، کلیه‌ی شکل‌ها و نمودارهای کتاب، با دقت و وسواس بسیار زیاد، به کمک نرم افزارهای طراحی تهیه شده و در متن کتاب گنجانده شده است.

اگر چه تلاش شده که مطالب ارائه شده در کتاب تا حد زیاد، مستقل از آیین نامه‌های طراحی باشد، ولی در هر قسمت و پس از ارائه‌ی مفاهیم مرتبط، مطالب نکات آیین نامه‌ای در زمینه‌ی مربوطه بر اساس آیین نامه‌ی بتن آمریکا ACI 318 و آیین نامه‌ی بتن ایران (آبا) به صورت مجزا قید شده است. این کتاب حاوی مثال‌های حل شده‌ی نسبتاً زیادی است که در تنظیم مثال‌ها تلاش شده تا نکات مفهومی ویژه گنجانده شود. اغلب مثال‌ها بر اساس ACI 318 و نیز بر اساس آیین نامه‌ی بتن ایران حل شده است.

از آن جا که استفاده کنندگان از این کتاب، ممکن است علاقه‌مند باشند مطالب آیین

نامه‌ای را فقط مبتنی بر آیین نامه‌ی بتن ایران (آبا) و یا فقط بر اساس ACI 318 تعقیب کنند، در کلیه‌ی قسمت‌هایی که مطالب آیین نامه‌ای بر اساس آبا ارائه شده و نیز در مثال‌های حل شده به روش آبا، از یک حاشیه‌ی مشخص به عنوان علامت مشخص کننده‌ی «آبا» در سمت راست متن (نظیر آن چه در این قسمت ملاحظه می‌شود)، استفاده شده است. بدین ترتیب این امکان برای استفاده کنندگان این کتاب فراهم شده است تا با مرور اجمالی هر فصل و مشاهده‌ی حاشیه‌ی مورد اشاره، به سهولت به مطالب آیین نامه‌ای مرتبط با آیین نامه‌ی بتن ایران، و نیز مثال‌های حل شده بر اساس آیین نامه‌ی بتن ایران دسترسی پیدا کنند.

از آن جا که در زمان تنظیم این کتاب، هیچ یک از کتاب‌های معتبر بر اساس ویرایش سال ۲۰۰۲ از ACI 318 تنظیم نشده بود، امکان ایده گرفتن از سایر مراجع برای ارائه‌ی مطالب به شیوه‌ی جدید ACI 318 برای مؤلف فراهم نبوده است؛ لذا نحوه‌ی ارائه‌ی مطالب آیین نامه‌ای بر اساس ACI 318 و نیز طرح مثال‌های مرتبط و حل آن‌ها صرفاً بر اساس سلیقه‌ی مؤلف تنظیم شده است. در همین ارتباط بسیاری از روابط مرتبط نیز بر اساس مفاهیم آیین نامه‌ای توسعه داده شده است.

در پایان هر فصل از کتاب، مجموعه‌ای از سوالات و مسائل جهت پاسخ گویی و حل توسط دانشجویان ارائه شده است. این مجموعه شامل تعدادی سؤال مفهومی مرتبط با مطالب آن فصل است که از دیدگاه مؤلف، تأکید بر آن‌ها در یادگیری مطلب نقش به سزایی دارد. همچنین مسائلی که جهت حل توسط دانشجو ارائه شده، شامل مسائل معمولی جهت تمرین و فهم مطالب، و مسائل مفهومی‌تر جهت تقویت روحیه‌ی تفکر و تعمیق بیشتر دانشجو پیرامون مطالب مرتبط است. دانشجو می‌تواند بر اساس روش تدریس در کلاس، مثال ۱۰ به روش آیین نامه‌ی بتن ایران و یا به روش ACI 318، و یا جهت درک بهتر و مقایسه‌ی جواب‌ها به هر دو روش حل کند. همچنین در پایان هر فصل، تعدادی از مراجع انتخابی که مورد استفاده قرار گرفته، جهت مراجعه‌ی خوانندگان علاقه‌مند به آن مراجع، ارائه شده است.

کتاب حاضر شامل ۱۰ فصل و ۲ پیوست است. فصل اول کتاب جنبه‌ی مقدمه و آشنایی کلی با بتن و بتن مسلح دارد. در فصل دوم کتاب، مروری بر خصوصیات مصالح بتن و فولاد با

تأکید بر خصوصیات مکانیکی بتن تحت بار و خصوصیات فیزیکی آن صورت گرفته است. در این فصل تلاش شده تا کاربردهای جدید بتن نیز مورد توجه قرار گرفته و مصالح جدیدی که می‌توانند در بتن و یا به عنوان جانشین فولاد به کار روند، معرفی شوند.

فصل سوم کتاب به توضیح روش‌های طراحی که از ابتدا توسط مهندسان مورد استفاده قرار گرفته‌اند، پرداخته است. در این فصل سعی شده تا مفهوم یک طراحی مناسب مشخص گردد و روش‌های طراحی که امروزه توسط متخصصین به خصوص در زمینه‌ی طراحی سازه‌ی بتن آرمه مورد استفاده قرار می‌گیرند، به خوبی توضیح داده شوند.

در فصل چهارم کتاب به بررسی رفتار مقاطع خمشی پرداخته شده و به کارگیری روش تنش‌های مجز در طراحی مقاطع خمشی توضیح داده شده است. فصل پنجم کتاب به توضیح مفاهیم اساسی مرتبط با بخش، که امروزه با نگرش‌های جدید و نیز با ضوابط ویژه‌ی آیین نامه‌ای مطرح می‌شوند، پرداخته است. در این فصل تلاش شده که با زبان ساده و قدم به قدم، طراحی یک مقطع مستطیلی فولاد در یک طرف و یا در دو طرف مقطع بر اساس روش طراحی مقاومت (روش ACI 318) - روش طرح در حالات حدی تبیین شود. فصل ششم کتاب نیز به کاربرد همین مفاهیم در مورد مقاطع بالدار و نیز بررسی مقطع تیر تحت خمش دو محوره پرداخته است.

فصل هفتم به بررسی مفاهیم مرتبط با برش در بتن آرمه پرداخته است و روش‌های آیین نامه‌ای مرتبط با برش توضیح داده شده است. مفاهیمی همچون "برش برش" و نیز اعضای خاص مانند تیرهای عمیق تحت برش، در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است. فصل هشتم کتاب مفاهیم مشابهی را در ارتباط با پیچش در بتن آرمه توضیح داده است. تئوری‌های خاص پیچش که در بتن آرمه قابل کاربرد هستند، در این فصل شرح داده شده و بررسی مقاطع تحت برش و پیچش توأم به صورت آیین نامه‌ای تبیین شده است.

فصل نهم کتاب، به طور مفصل به توضیح اعضای فشاری بتن آرمه تحت فشار خالص و یا ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی پرداخته است. در این فصل ضمن تبیین روش‌های تحلیلی و توضیح روش آزمون و اصلاح در آنالیز و طراحی ستون‌ها، روش‌های تقریبی و نیز

نحوه‌ی استفاده از نمودارهای طراحی ستون توضیح داده شده است. تأثیر لاغری اعضای فشاری در آنالیز و طراحی آن‌ها به صورت تحلیلی و نیز مبتنی بر روش‌های آیین نامه‌ای، در فصل دهم کتاب شرح داده شده است. در پیوست ۱ و ۲ کتاب نیز مجموعه‌ی نسبتاً کاملی از نمودارهای طراحی ستون‌های بتن آرمه که می‌توانند بر اساس روش ACI 318 و یا بر اساس روش آیین نامه‌ی بتن ایران مورد استفاده قرار گیرند، ارائه شده است.

این جانب امیدوارم این کتاب بتواند مجموعه‌ی مناسبی را فرا راه دانشجویان مهندسی عمران، مهندسان و متخصصان، و اساتید محترم قرار دهد؛ و از کلیه‌ی کسانی که این کتاب را مورد مطالعه قرار می‌دهند، تقاضا دارم انتقادات و نقطه نظرات خود را به این جانب منعکس فرمایند. امیدوارم، به لطف و عنایت، قادر متعال، در آینده‌ی نزدیکی جلد دوم کتاب که عمدتاً در برگیرنده‌ی مباحث سازه‌ای بر مبنای میلگرد در بتن، دال‌های یک طرفه و دو طرفه، پی‌های بتن آرمه، خیز و ترک خوردگی طراحی تیرها و طراحی اجزای بتن آرمه‌ی مقاوم در مقابل زلزله خواهد بود، به جامعه‌ی مهندسان عمران کشور تقدیم گردد.

اود مستوفی نژاد

استاد دانشده‌ی مهندسی عمران

دانشگاه صنعتی اصفهان

۱۳۸۱

بسمه تعالی

مقدمه‌ی چاپ سی و هفتم

حدود ۱۰ سال پیش، جلد اول کتاب سازه‌های بتن آرمه که بر اساس ACI 318-05 و آیین نامه‌ی بتن ایران (آبا) تنظیم شده بود، منتشر شد. در این مدت نسخه‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ آیین نامه‌ی ACI 318 نیز در دسترس قرار گرفت. با گذشت یک دهه از انتشار کتاب و شش بار تکرار چاپ در این دوره، لازم بود که این کتاب مورد بازنگری قرار گیرد؛ لذا ویرایش جدید کتاب که در چاپ سی و هفتم به صورت مجموعه‌ی حاضر ارائه شده، با توضیحات تکمیلی در مورد بعضی از مفاهیم اساسی، و نیز بازبینی ضوابط و روابط بر اساس جدیدترین آیین نامه‌ها، مرتبط موجود، از جمله بر اساس ACI 318-14 تنظیم گردیده است.

در حال حاضر روش "طرح مقاومت" در طراحی سازه‌های بتن آرمه از استقبال قابل توجه برخوردار بوده است. بسیاری از آیین نامه‌های معتبر دنیا بر اساس این روش تنظیم شده‌اند. در ایران نیز آیین نامه‌ها و دستورالعمل‌ها، مرتبط با بتن مسلح که شامل آیین نامه‌ی بتن ایران (آبا) و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان هستند در حال تغییر اساسی بوده و ویرایش جدید این دو آیین نامه که در سال آینده در دسترس قرار خواهند گرفت، بر اساس روش طرح مقاومت ارائه خواهند شد. به دلایل فوق ویرایش حاضر این کتاب اساساً بر مبنای روش طرح مقاومت تنظیم شده و مفاهیم و روابط هر قسمت بر اساس همین روش بیان شده‌اند. در این ارتباط هر جا مستقیماً نکات آیین نامه‌ای مورد اشاره قرار گرفته، از 14-8-ACI استهاده است. از طرفی برای مولف این اطمینان وجود داشته که ویرایش جدید آیین نامه‌های بتن آرمه که در آینده نزدیک منتشر خواهد شد، بر اساس روش "طرح مقاومت" بوده؛ و بنابراین خوانندگانی این کتاب طراحی سازه‌های بتن آرمه را بر اساس آیین نامه‌ی بتن ایران و مبحث نهم مقررات ملی نیز خواهد آموخت. لذا در این ویرایش از کتاب به این دو آیین نامه مستقیماً اشاره نشده است. در مقابل به منظور فراهم کردن یک مبنای مناسب برای آن دسته از مخاطبان کتاب که علاقه‌مند هستند تفاوت روش "طرح مقاومت" و روش "طراحی در حالات حدی" در محاسبات مرتبط با سازه‌های بتن آرمه را نیز ارزیابی و تجربه کنند، مباحث هر فصل به طور مختصر بر اساس روش "طراحی در حالات حدی" نیز بیان شده و نکات آیین نامه‌ای مختصراً بر اساس آیین نامه‌ی بتن کانادا، CSA A23.3-14، نیز شرح داده شده است. هم‌چنین در بعضی از قسمت‌ها مثال‌های

حل شده‌ای بر اساس روش "طراحی در حالات حدی" نیز ارائه شده تا یک مبنای مقایسه‌ای برای خواننده‌ی علاقه‌مند فراهم شود. کلیدی توضیحات مرتبط با روش "طراحی در حالات حدی" با یک حاشیه‌ی ویژه نظیر آن چه در سمت راست این خطوط ملاحظه می‌شود، متمایز شده تا مخاطبینی که مایل هستند مطالب را فقط بر اساس روش "طرح مقاومت" دنبال کنند، به راحتی قادر باشند از قسمت‌های مرتبط با روش "طراحی در حالات حدی" عبور نمایند. متذکر می‌شود که مطالب مرتبط با روش "طراحی در حالات حدی" با مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تا ویرایش سال ۱۳۹۲ نیز سازگار می‌باشد.

در ویرایش جدید کتاب، بخش‌های قابل توجهی از فصل دوم در تبیین خصوصیات مکانیکی و فیزیکی بتن مورد بسط و تجدید نظر قرار گرفته است. به خصوص توضیحات تکمیلی مبسوط در تبیین نتایج آماری مقاومت بتن و نحوه‌ی درجه بندی و قضاوت بر کیفیت کار کارگاهی و نیز درجه بندی کیفیت نمونه برداری و آزمایش نمونه‌ها اضافه شده است. همچنین بخش مستقلی در مورد روش تعیین مقاومت بتن بر اساس نتایج مغزه گیری از بتن افزوده شده است. در سایر فصول نیز همگی تغییراتی که در سال‌های اخیر در روش "طرح مقاومت" توسط محققین و آیین نامه‌ها و استانداردها، بر اساس ACI 318-14 اعمال شده است. اگر چه این تغییرات در همگی فصول وجود دارد ولی در بعضی از فصول و از جمله در فصل ۹ که به قطعات فشاری و ستون‌ها مربوط می‌شود، تغییرات بسیار بیش‌تر هستند.

اینجانب فرصت را مغتنم شمرده و از اظهار لطف و محبت‌هایی که در چند سال گذشته از طرف اساتید محترم دانشگاه‌ها، دانشجویان رشته‌ی مهندسی عمران، و مهندسان عمران از سراسر کشور، نسبت به مطالب جلد اول و دوم و نحوه‌ی تنظیم و ارائه‌ی آن مبذول گردیده است، تشکر قلبی خود را اعلام می‌نمایم. هم‌چنین از مدیریت و دست‌انداکاران محترم انتشارات ارکان دانش صمیمانه تشکر می‌کنم. امیدوارم چاپ حاضر کتاب، مکمل استفاده‌ی بهتر دانشجویان و مهندسان عمران را فراهم آورد.

داود مستوفی نژاد
استاد دانشکده‌ی مهندسی عمران
دانشگاه صنعتی اصفهان
بهمن ماه ۱۳۹۴

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل ۱ مقدمه ۱-۱۶

- ۱-۱ بتن آرمه ۱
- ۲-۱ سازگاری بتن و فولاد ۳
- ۳-۱ پیشینه‌ی تاریخی بتن آرمه ۴
- ۴-۱ مزایا و معایب بتن آرمه ۵
- ۵-۱ بتن پیش‌تنیده ۹
- ۶-۱ آس‌ن‌ام‌های طراحی ۱۱
- مسائل ۱۵
- مراجع انتخابی ۱۶

فصل ۲ خصوصیات مصالح در بتن آرمه ۱۷-۱۱۴

- ۱-۲ سیمان و اجزای آن ۱۷
- ۲-۲ انواع سیمان پرتلند ۱۸
- ۳-۲ سنگ دانه‌ها ۱۹
- ۴-۲ رطوبت سطحی و جذب آب دانه‌ها ۲۲
- ۵-۲ آب بتن ۲۳
- ۶-۲ مواد مضاف ۲۴
- ۱- مواد مضاف تسریع کننده ۲۵
- ۲- مواد مضاف کندگیر کننده ۲۵
- ۳- مواد مضاف کاهنده‌ی آب یا فوق روان کننده‌ها ۲۵
- ۴- مواد مضاف هوازا ۲۶
- ۵- مواد مضاف معدنی ۲۶
- ۷-۲ مقاومت فشاری تک محوره‌ی بتن ۲۸
- ۱-۷-۲ تعریف مقاومت فشاری بتن و محدوده‌ی تغییرات آن ۲۸
- ۲-۷-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت فشاری بتن ۳۰
- ۱- نوع نمونه ۳۰
- ۲- اندازه‌ی نمونه ۳۳
- ۳- سرعت بارگذاری ۳۴
- ۴- عوامل مرتبط با نوع و درصد مصالح بتن و نحوه‌ی مراقبت ۳۶
- ۸-۲ منحنی تنش-کرنش بتن ۴۳
- ۹-۲ مدول الاستیسیته‌ی بتن ۴۸

۴۸	۱-۹-۲	مدول الاستیسیته‌ی استاتیکی بتن
۵۰	۲-۹-۲	مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی بتن
۵۰	۳-۹-۲	مدول الاستیسیته‌ی خمشی بتن
۵۱	۴-۹-۲	عوامل مؤثر بر مدول الاستیسیته‌ی بتن
۵۲	۱۰-۲	ضریب پواسون بتن
۵۲	۱۱-۲	مقاومت کششی تک محوره‌ی بتن
۵۳	۱-۱۱-۲	مقاومت کششی بتن تحت کشش خالص
۵۴	۲-۱۱-۲	مقاومت کششی بتن تحت کشش ناشی از خمش
۵۵	۳-۱۱-۲	ارتباط بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی
۵۶	۱۲-۲	منحنی تنش-کرنش بتن در کشش
۵۸	۱۳-۲	رفتار بتن تحت تنش‌های دو محوره و سه محوره
۵۸	۱-۱۳-۲	بررسی رفتار بتن تحت تنش‌های دو محوره
۶۱	۲-۱۳-۲	رفتار بتن تحت تنش‌های سه محوره
۶۲	۱۴-۲	مقاومت خستگی بتن
۶۶	۱۵-۲	مقاومت ضربه‌ای بتن
۶۷	۱۶-۲	انقباض در بتن
۶۷	۱-۱۶-۲	افت پلاستیک
۶۷	۲-۱۶-۲	افت خودگیری
۶۸	۳-۱۶-۲	افت خشک شدگی
۷۰	۴-۱۶-۲	افت کرناسیون
۷۱	۵-۱۶-۲	عوامل مؤثر بر افت بتن
۷۳	۱۷-۲	خزش در بتن
۷۶	۱۸-۲	تغییرات آماری در مقاومت بتن
۷۶	۱-۱۸-۲	انحراف معیار
۷۷	۲-۱۸-۲	سایر مشخصات آماری مقاومت
۷۹	۳-۱۸-۲	تفسیر متغیرهای آماری مقاومت
۸۱	۴-۱۸-۲	مقاومت فشاری متوسط لازم
۸۲	۵-۱۸-۲	پذیرش نمونه‌های آزمایشگاهی
۸۳	۶-۱۸-۲	تعداد نمونه گیری برای آزمایش مقاومت
۸۳	۱۹-۲	ارزیابی مقاومت بتن بر اساس مغزه گیری
۸۵	۲۰-۲	بتن الیافی
۸۸	۲۱-۲	بتن با مواد پلیمری
۸۸	۱	بتن اشباع شده با پلیمر (PIC)

۸۹	۲- بتن با سیمان پلیمری (PCC)
۸۹	۳- بتن پلیمری (PC)
۹۰	۲-۲۲ فولاد مسلح کننده
۹۷	۲-۲۳ میل‌های مسلح کننده‌ی کامپوزیتی FRP
۹۸	۲-۲۳-۱ ساختار مواد کامپوزیتی FRP
۹۸	الف- الیاف شیشه
۹۹	ب- الیاف کربن
۹۹	ج- الیاف آرامید
۱۰۰	۲-۲۳-۲ مشخصات میل‌های کامپوزیتی FRP
۱۰۰	الف) مقاومت در مقابل خوردگی
۱۰۰	ب) مقاومت کششی
۱۰۱	ج) مدول الاستیسیته
۱۰۱	د) وزن مخصوص
۱۰۱	هـ) ایستایی
۱۰۱	و) سم شدن
۱۰۳	مسائل
۱۰۹	مراجع انتخابی

فصل ۳ روش‌های طراحی و ترمیمات بارگذاری ۱۱۵-۱۳۸

۱۱۵	۳-۱ هدف از طراحی
۱۱۷	۳-۲ روش تنش‌های مجاز
۱۱۸	۳-۳ روش طرح مقاومت
۱۲۷	۳-۴ طراحی در حالت حدی
۱۲۹	۳-۵ طراحی در حالات حدی در آیین نامه‌ها
۱۳۵	مسائل
۱۳۷	مراجع انتخابی

فصل ۴ رفتار مقاطع خمشی و طراحی به روش تنش‌های مجاز ۱۳۹-۱۶۸

۱۳۹	۴-۱ بررسی رفتار یک تیر خمشی
۱۴۴	۴-۲ نوع گسیختگی عضو خمشی
۱۴۵	۴-۳ محدوده‌ی رفتاری مقطع خمشی بر اساس لنگر موجود
۱۴۶	۴-۴ طراحی الاستیک
۱۵۰	۴-۵ طراحی الاستوپلاستیک
۱۵۱	۴-۶ طراحی به روش تنش مجاز (روش دیگر طراحی)
۱۵۷	۴-۷ طرح یک مقطع بتن آرمه به روش تنش مجاز

مسائل.....	۱۶۵
مراجع انتخابی.....	۱۶۸
فصل ۵ طراحی تیر تحت خمش - مفاهیم اساسی و مقاطع مستطیلی.. ۲۶۲-۱۶۹	
۱-۵ مقدمه.....	۱۶۹
۲-۵ منحنی لنگر- انحنای.....	۱۷۱
۳-۵ تئوری خمش در تیرهای بتن آرمه.....	۱۷۲
۴-۵ توزیع تنش معادل در قسمت فشاری مقطع بتن آرمه در لحظه‌ی گسیختگی.....	۱۷۵
۵-۵ بررسی مقطع مستطیلی تحت خمش به روش طرح مقاومت.....	۱۷۷
۱-۵-۵ وضعیت متوازن یک مقطع مستطیلی.....	۱۷۸
۲-۵-۵ تعیین مقاومت خمشی اسمی مقطع مستطیلی.....	۱۸۱
الف- مقطع تحت مسلح (کم فولاد).....	۱۸۱
ب- مقطع فوق مسلح (پر فولاد).....	۱۸۲
۱-۵-۵ مقاومت خمشی طراحی مقطع مستطیلی.....	۱۸۳
۱- مقطع کشش - کنترل.....	۱۸۴
۲- مقاطع بار - سرریز.....	۱۸۵
۳- مقاطع در ناحیه انتقال.....	۱۸۷
۴-۵-۵ محدودیت بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار فولاد کششی.....	۱۸۸
الف - بیش‌ترین مقدار فولاد.....	۱۸۸
ب- کم‌ترین مقدار فولاد.....	۱۹۱
۶-۵ طراحی مقطع مستطیلی تحت خمش به روش طرح مقاومت.....	۱۹۷
۷-۵ بررسی یک مقطع مستطیلی تحت خمش به روش طرحی در حالات حدی.....	۲۰۶
۱-۷-۵ بررسی وضعیت متوازن در مقطع مستطیلی.....	۲۰۷
۲-۷-۵ تعیین لنگر خمشی مقاوم نهایی.....	۲۰۸
الف- مقطع تحت مسلح (کم فولاد).....	۲۰۸
ب- مقطع فوق مسلح (پر فولاد).....	۲۰۸
۳-۷-۵ حالت حدی نهایی مقاومت در خمش.....	۲۰۹
۴-۷-۵ محدودیت بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار فولاد کششی.....	۲۰۹
الف- کم‌ترین مقدار فولاد.....	۲۰۹
ب- بیش‌ترین مقدار فولاد.....	۲۱۰
۵-۷-۵ طراحی مقطع مستطیلی تحت خمش بر اساس روش حالات حدی.....	۲۱۰
۸-۵ مقاطع خمشی مستطیلی با فولاد فشاری بر اساس روش طرح مقاومت.....	۲۱۵
۱-۸-۵ نقش فولاد فشاری در رفتار عضو خمشی.....	۲۱۵
۲-۸-۵ بررسی جاری شدن فولادهای کششی در مقطع مستطیلی با فولاد فشاری.....	۲۱۷
۳-۸-۵ بررسی جاری شدن فولادهای فشاری در مقطع مستطیلی با فولاد فشاری.....	۲۱۹

۴-۸-۵	تعیین ظرفیت خمشی مقطع مستطیلی با فولاد فشاری	۲۲۱
الف- ۲۲۲	جاری شدن فولادهای کششی و فشاری	
ب- ۲۲۳	جاری شدن فولاد کششی و جاری نشدن فولاد فشاری	
ج- ۲۲۴	جاری نشدن فولاد کششی و جاری شدن فولاد فشاری	
د- ۲۲۴	جاری نشدن فولادهای کششی و فشاری	
۵-۸-۵	مقاومت خمشی طراحی مقطع با فولاد فشاری	۲۲۵
۶-۸-۵	محدودیت بیشترین مقدار فولاد کششی در مقاطع با فولاد فشاری	۲۲۵
۹-۵	مقاطع خمشی مستطیلی با فولاد فشاری بر اساس روش طراحی در حالات حدی	۲۳۴
۱-۹-۵	بررسی جاری شدن فولادهای کششی در مقطع با فولاد فشاری	۲۳۵
۲-۹-۵	بررسی جاری شدن فولادهای فشاری در مقطع با فولاد فشاری	۲۳۶
۳-۹-۵	تعیین ظرفیت خمشی مقطع مستطیلی با فولاد فشاری	۲۳۷
الف- ۲۳۷	جاری شدن فولادهای کششی و فشاری	
ب- ۲۳۸	جاری شدن فولادهای کششی و جاری نشدن فولادهای فشاری	
ج- ۲۳۹	جاری نشدن فولاد کششی و جاری شدن فولاد فشاری	
د- ۲۳۹	جاری شدن فولادهای کششی و فشاری	
۴-۹-۵	مقاومت در خمش در مقطع با فولاد فشاری	۲۳۹
۵-۹-۵	محدودیت بیشترین مقدار فولاد کششی در مقاطع با فولاد فشاری	۲۴۰
۱۰-۵	مقاطع مستطیلی با فولاد گزاف در چند ردیف	۲۴۵
۱۱-۵	ملاحظات متفرقه در تیرها	۲۴۸
۱-۱۱-۵	تکیه‌گاه‌های جانبی در مقاطع خمشی	۲۴۹
۲-۱۱-۵	تغییر شکل تیر	۲۴۹
۳-۱۱-۵	توزیع فولادهای خمشی در تیر	۲۵۰
۴-۱۱-۵	تیر عمیق	۲۵۳
۵-۱۱-۵	میلگردهای گروهی	۲۵۴
مسائل		۲۵۵
مراجع انتخابی		۲۶۲
فصل ۶	طراحی تیر تحت خمش - مقاطع بالدار، مقاطع نامتقارن،	۲۶۵-۳۲۶
۱-۶	مقدمه	۲۶۵
۲-۶	ساخت تیر T شکل و عرض مؤثر	۲۶۶
۱-۲-۶	تیر T شکل به صورت مجزا	۲۶۶
۲-۲-۶	تیر T شکل همراه با دال	۲۶۷
۳-۶	رفتار مقطع T شکل تحت خمش	۲۷۰
۱-۳-۶	تعیین عملکرد یک مقطع T شکل	۲۷۱
۴-۶	بررسی یک مقطع تحت خمش با عملکرد T شکل به روش طرح مقاومت	۲۷۲
۱-۴-۶	فولاد متوازن در یک مقطع با عملکرد T شکل	۲۷۳

۲۷۵	۲-۴-۶ تعیین مقاومت خمشی اسمی مقطع با عملکرد T شکل
۲۷۵	الف- مقطع تحت مسلح
۲۷۷	ب- مقطع فوق مسلح
۲۷۸	۳-۴-۶ مقاومت خمشی طراحی مقطع با عملکرد T شکل
۲۷۸	۴-۴-۶ محدودیت بیشترین و کمترین مقدار فولاد کششی در مقاطع با
۲۷۸	الف- بیشترین مقدار فولاد
۲۷۹	ب- کمترین مقدار فولاد
۲۸۰	۵-۴-۶ فولاد لازم در جهت عرضی بال فشاری
۲۹۳	۵-۶ بررسی یک مقطع T شکل تحت خمش به روش طراحی در حالات حدی
۲۹۳	۱-۵-۶ تعیین عملکرد یک مقطع T شکل
۲۹۴	۲-۵-۶ فولاد متوازن در یک مقطع با عملکرد T شکل
۲۹۴	۲-۵-۶ تعیین لنگر خمشی مقاوم نهایی
۲۹۴	الف) مقطع تحت مسلح
۲۹۶	ب- مقطع فوق مسلح
۲۹۶	۴-۵-۶ محدودیت بیشترین و کمترین مقدار فولاد کششی
۲۹۶	الف) بیشترین مقدار فولاد
۲۹۷	ب) کمترین مقدار فولاد
۳۰۳	۶-۶ ملاحظات متفرقه در تیر T شکل
۳۰۴	۷-۶ سایر مقاطع بال دار
۳۰۶	۸-۶ مقاطع نامتقارن تحت لنگر خمشی
۳۱۲	۹-۶ خمش دو محوره در تیرها
۳۲۱	مسائل
۳۲۶	مراجع انتخابی
۳۲۷-۳۹۲	فصل ۷ طراحی تیر تحت برش
۳۲۷	۱-۷ مقدمه
۳۲۸	۲-۷ توزیع تنش در تیر بتنی تحت برش با رفتار الاستیک
۳۳۳	الف- ترکهای برشی جان
۳۳۳	ب- ترکهای خمشی - برشی
۳۳۳	ج- ترکهای خمشی
۳۳۳	۳-۷ ساز و کار انتقال برش در تیر بتنی
۳۳۵	۴-۷ حالت‌های شکست تیر بتنی
۳۳۶	۱-۴-۷ شکست خمشی (F)
۳۳۷	۲-۴-۷ شکست قطری کششی (DT)
۳۳۷	۳-۴-۷ شکست برشی فشاری و شکست برشی کششی

۳۳۹	۴-۴-۷ حالات دیگر شکست برشی
۳۴۰	۵-۷ فولاد برشی یا جان
۳۴۳	۶-۷ روش تشابه خریابی جهت بررسی یک عضو بتن آرمه تحت برش
۳۴۵	۷-۷ ظرفیت برشی تیر بتن آرمه بر اساس آیین نامه
۳۴۵	۱-۷-۷ ظرفیت برشی تیر بتنی بدون فولاد برشی
۳۴۸	۲-۷-۷ ظرفیت برشی عضو بتنی در آیین نامه
۳۴۸	الف- ظرفیت برشی بتن به صورت ساده
۳۴۹	ب- ظرفیت برشی بتن به صورت تفصیلی
۳۴۹	ج- ظرفیت برشی بتن به صورت ساده در حالت وجود بار محوری فشاری
۳۵۰	د- ظرفیت برشی بتن به صورت تفصیلی در حالت وجود بار محوری فشاری
۳۵۰	ه- ظرفیت برشی بتن در حالت وجود بار محوری کششی
۳۵۱	۳-۷-۱ کنترل برش در عضو بتنی بدون فولاد برشی
۳۵۲	۴-۷-۷ ظرفیت برشی تیر بتنی مسلح به فولاد برشی
۳۵۵	الف- فولاد برشی قائم
۳۵۶	ب- فولاد برشی مایل
۳۵۶	ج- فولاد های طویل خم شده
۳۵۷	د- فولاد قائم تورب عرضی
۳۵۷	۵-۷-۷ مقاومت برشی اساسی مقطع بتن آرمه و طراحی فولاد برشی
۳۵۸	۶-۷-۷ نکات و محدودیت های آیین نامه ها
۳۵۸	الف- محاسبه ی برش در تیر
۳۵۹	ب- حداکثر فاصله ی خاموت های برشی
۳۶۱	ج- حداقل فولاد جان
۳۶۲	د- حداکثر فولاد جان
۳۶۷	۸-۷ محاسبات برشی تیر بتنی بر اساس طراحی در حالت ی
۳۶۸	۱-۸-۷ مقاومت برشی تأمین شده توسط بتن
۳۶۹	۲-۸-۷ مقاومت برشی تأمین شده توسط فولاد برشی
۳۶۹	خاموت های قائم
۳۷۰	خاموت های مایل
۳۷۰	۳-۸-۷ نکات و محدودیت های آیین نامه ای
۳۷۰	الف- محاسبه ی برش در تکیه گاه
۳۷۱	ب- حداکثر فاصله ی خاموت های برشی
۳۷۱	ج- حداقل فولاد برشی
۳۷۲	د- حداکثر فولاد برشی
۳۷۵	۹-۷ پوش نیروی برشی
۳۷۷	۱۰-۷ برش در تیر با مقطع متغیر

۴۵۲	۲-۹ انواع ستون
۴۵۳	الف- ستون بتن آرمه با تنگ بسته
۴۵۵	ب- ستون بتن آرمه با دورپیچ حلقوی
۴۵۶	ج- ستون مرکب
۴۵۷	۳-۹ ضوابط و محدودیت‌های فولاد گذاری ستون
۴۵۷	۱-۳-۹ ضوابط فولادهای طولی
۴۶۰	۲-۳-۹ ضوابط فولادهای عرضی به صورت تنگ
۴۶۱	۳-۳-۹ ضوابط فولادهای عرضی به صورت دورپیچ
۴۶۶	۴-۳-۹ ضوابط فولادهای ستون برای طرح لرزه‌ای در مناطق زلزله خیز
۴۷۵	۴-۹ اعضای فشاری تحت بار محوری خالص
۴۷۵	۱-۴-۹ تعیین موقعیت مرکز پلاستیک
۴۷۷	۲-۴-۹ تعیین مقاومت ستون کوتاه تحت بار محوری خالص
۴۷۹	۵-۹ اعضای فشاری تحت بار محوری و لنگر خمشی
۴۸۱	۱-۵-۹ حالات شکست یک ستون بتن آرمه
۴۸۱	الف) بار محوری مرکزی (بار محوری خالص)
۴۸۲	ب) بار محوری بتن و لنگر خمشی کوچک
۴۸۲	ج) بار محوری بتن و لنگر خمشی بزرگتر از حالت قبل
۴۸۲	د) بار محوری و لنگر خمشی متناظر با وضعیت متوازن
۴۸۴	ه) بار محوری کوچک و لنگر خمشی بزرگ
۴۸۴	و) لنگر خمشی بزرگ
۴۸۵	۲-۵-۹ منحنی اثر متقابل بار محوری و لنگر خمشی
۴۸۶	۶-۹ بررسی ستون بتن آرمه‌ی مستطیلی با فولاد گذاری در دو وجه موازی محور
۴۸۷	۱-۶-۹ بررسی باربری ستون در وضعیت متوازن
۴۸۹	۲-۶-۹ بررسی باربری ستون در حالت شکست کششی
۴۹۱	۳-۶-۹ بررسی باربری ستون در حالت شکست فشاری
۴۹۲	۴-۶-۹ ضریب کاهش مقاومت ستون
۵۰۴	۵-۶-۹ نمودارهای طراحی ستون
۵۰۷	۶-۶-۹ مراحل طراحی ستون
۵۱۱	۷-۹ بررسی ستون بتن آرمه‌ی مستطیلی با فولاد گذاری در چهار وجه مقطع
۵۱۸	۸-۹ ستون‌های با مقطع دایروی
۵۲۰	۹-۹ روش تقریبی ویتنی برای تعیین باربری ستون‌های بتن آرمه
۵۲۰	۱-۹-۹ روش تقریبی ویتنی برای ستون با مقطع مستطیلی
۵۲۲	۲-۹-۹ روش تقریبی ویتنی برای ستون با مقطع دایروی
۵۲۴	۱۰-۹ مقاطع تحت تأثیر بار محوری کششی و لنگر خمشی

۱۱-۹	بررسی ستون‌ها به روش طراحی در حالات حدی.....	۵۲۶
۱-۱۱-۹	ضوابط عمومی فولاد گذاری ستون.....	۵۲۶
۲-۱۱-۹	مرکز پلاستیک مقطع و تعیین موقعیت آن.....	۵۲۷
۳-۱۱-۹	مقاومت ستون کوتاه تحت بار محوری خالص.....	۵۲۷
۴-۱۱-۹	ستون مستطیلی با فولاد گذاری در دو وجه موازی محور خمش.....	۵۲۸
۵-۱۱-۹	ستون مستطیلی با فولاد گذاری در چهار وجه مقطع.....	۵۳۲
۶-۱۱-۹	ستون با مقطع دایروی (روش آزمون و اصلاح و روش تقریبی ویتنی).....	۵۳۵
۷-۱۱-۹	نمودارهای طراحی ستون.....	۵۳۵
۸-۱۱-۹	اثر توأم بار محوری کششی و لنگر خمشی.....	۵۳۸
۱۲-۹	خمش دو محوره در ستون‌ها.....	۵۳۹
۱-۱۲-۹	بررسی ستون تحت خمش دو محوره به طور دقیق.....	۵۴۰
۱-۱۲-۹	روش معکوس بار (روش برسلر).....	۵۴۳
۳-۱۲-۹	روش منحنی‌های هم‌بار - روش PCA.....	۵۴۷
۴-۱۲-۹	روش خنجر - ماکزیت معادل - روش مک گریگور.....	۵۵۵
	مسائل.....	۵۵۸
	مراجع انتخابی.....	۵۶۴
فصل ۱۰ طراحی ستون‌های لاغر..... ۵۶۷-۶۲۲		
۱-۱۰	مقدمه.....	۵۶۷
۲-۱۰	رفتار ستون‌های لاغر و حالت‌های شکست آن.....	۵۶۸
	الف- شکست ماده‌ای.....	۵۷۰
	ب- شکست پایداری.....	۵۷۱
۳-۱۰	کمانش ستون الاستیک تحت بار محوری خالص.....	۵۷۲
۴-۱۰	محاسبه‌ی ضریب طول مؤثر.....	۵۷۵
	الف- استفاده از نمودگراف.....	۵۷۸
	ب- استفاده از روابط تقریبی.....	۵۷۸
	ج استفاده از جدول.....	۵۸۰
۵-۱۰	تشدید لنگر.....	۵۸۲
۶-۱۰	روش‌های تحلیل سازه و ارتباط آن با تشدید لنگر ستون.....	۵۸۵
۷-۱۰	تشدید لنگر ستون بر اساس ACI 318-14.....	۵۸۷
۱-۷-۱۰	محاسبه‌ی نیروهای داخلی ستون.....	۵۸۷
۲-۷-۱۰	تعریف قاب بدون حرکت جانبی و یا با حرکت جانبی.....	۵۹۰
۳-۷-۱۰	لنگر تشدید یافته در ستون بدون حرکت جانبی.....	۵۹۳
۴-۷-۱۰	لنگر تشدید یافته در ستون با حرکت جانبی.....	۶۰۲

۶۱۱	۸-۱۰ بررسی لاغری ستون بر اساس طراحی در حالات حدی
۶۱۶	۹-۱۰ بررسی لاغری در ستون‌های تحت خمش دو محوره
۵۹۶	مسائل
۶۰۰	مراجع انتخابی
۶۲۳-۶۵۶	پیوست ۱ نمودارهای طراحی ستون بر اساس ACI 318-14
۶۵۷-۶۹۰	پیوست ۲ نمودارهای طراحی ستون بر اساس حالات حدی
۶۹۱-۷۰۲	واژه نامه
۷۰۳-۷۱۶	واژه یاب