
بسم الله الرحمن الرحيم

شرح جامع و نمونه سوالات

طراحی(سازه های بتنی ۱)

«مهندسی عمران»

مولف: اسلام سازمند

انتشارات ارشد

سرشناسه : سازمند، اسلام، ۱۳۶۰-
عنوان و نام پدیدآور : شرح جامع و نمونه سوالات طراحی (سازه‌های بتنی ۱)/ مولف اسلام سازمند.
شمارگان : ۵۰ ن
مشخصات ظاهری : [۲۷۲] ص.: مصور، جدول، نمودار؛ ۲۲×۲۹س‌م.
شابک : ۳۱۰.۰۰۰ تومان : ۱- ۳۲۱- ۱۱۵-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
موضوع : سازه‌های بتنی -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع : سازه‌های بتنی -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)
موضوع : آزمون دوره‌های تحصیلات تکمیلی -- ایران
موضوع : دانشگاه‌ها و مدارس عالی -- ایران -- آزمون‌ها
رده بندی کنگره : ۴ ش ۲س/۵/ ۶۸۱ TA
رده بندی دیویی : ۶۲۴ /۱۸۳۴۰۷۶
شماره کتابشناسی ملی : ۱۹۵۹۰۷۱

انتشارات ارشد

نام کتاب : شرح جامع و نمونه سوالات طراحی (سازه‌های بتنی ۱)

نام مؤلف : اسلام سازمند

حروفچینی و صفحه‌آرایی : واحد تایپ و صفحه‌آرایی انتشارات ارشد

نوبت چاپ : سال ۱۴۰۲

شماره استاندارد بین‌المللی کتاب (شابک): ۱-۳۲۱-۱۱۵-۶۰۰-۹۷۸

International Standard Book Number(ISBN): 978-600-115-321-1

مرکز پخش: میدان انقلاب – خیابان وحیدنظری – بین دوازده فروردین و منیری جاوید – پلاک ۱۳۰ – طبقه اول – واحد ۲
تلفن: ۶۶۹۷۹۲۳۴-۶۶۹۷۹۲۲۷

www.arshadbook.com

هرگونه الگوبرداری از سبک و سیاق و یا تکثیر کل یا قسمتی از کتاب‌های انتشارات ارشد ممنوع بوده و متخلف براساس قانون دفاع از حقوق مولفین و مصنفین تحت پیگرد شدید قانونی قرار خواهد گرفت. واحد حقوقی انتشارات ارشد: ۶۶۹۷۹۲۳۴-۶۶۹۷۹۲۲۷

پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس(منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

پیشگفتار مولف

به خواست خداوند متعال، پس از ماه‌ها تلاش بی‌وقفه، جلد اول کتاب شرح جامع سازه‌های بتن آرمه، به پایان رسید. اکنون به درگاه حقیقت مطلق سر تعظیم فروآورده و شکر 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 آرمهٔ I و آشنا شدن دانشجویان و مهندسان با نکات مهم در مفاهیم اساسی بتن مسلح و آمادگی جهت شرکت در آزمون‌های کارشناسی ارشد و نظام مهندسی ساختمان، تنظیم شده است. در نگارش کتاب سعی شده است ضمن ارائهٔ دستورالعمل‌های طراحی و مفاهیم مرتبط با هر قسمت به صورت عمیق به همراه نکات مهم، از سؤالات چهار گزینه‌ای مفهومی در هر بخش جهت تعمیق مفاهیم اساسی استفاده شود و در هر قسمت، پس از ارائه مفاهیم مرتبط، مطالب و نکات آیین‌نامه‌ای در زمینهٔ مربوطه براساس آئین‌نامهٔ بتن آمریکا ACI ۳۱۸–۲۰۰۲ و آیین نامهٔ بتن ایران (آبا) به صورت مجزا قید شده است.

در پایان هر فصل از کتاب، مجموعه‌ای از سؤالات چهار گزینه‌ای جهت پاسخگویی 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 و تقویت روحیهٔ تفکر و تعمق دانشجو نقش به سزایی دارد.

در پایان جلد دوم کتاب، چندین دورهٔ آزمون‌های کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد و سراسری به همراه پاسخنامهٔ تشریحی آورده شده است.

اینجانب امیدوارم این کتاب بتواند مجموعهٔ مناسبی را فرا راه دانشجویان مهندسی عمران، مهندسان و متخصصان قرار دهد؛ و از کلیهٔ کسانی که این کتاب را مورد مطالعه قرار می‌دهند، تقاضا دارم انتقادات و نقطه نظرات خود را به اینجانب یا مدیریت محترم انتشارات ارشد منعکس فرمایند.

در پایان از زحمات و همکاری‌های سرکار خانم لیلا صمدیان برای تنظیم و گردآوری این اثر، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نمایم.

با تشکر

اسلام سازمند

sazmand@modares.ac.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ناشر ۳
پیشگفتار مولف ۴

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بتن آرمه ۱۱
۱-۲- سازگاری بتن و فولاد ۱۱
۱-۳- پیشینهٔ تاریخی بتن آرمه ۱۲
۱-۴- مزایا و معایب بتن آرمه ۱۲
معایب بتن: ۱۳
۱-۵- بتن پیش تنیده ۱۳
۱-۶- آیین نامه‌های طراحی ۱۳

فصل دوم: خصوصیات مصالح در بتن آرمه

۲-۱-سیمان و اجزاء آن ۱۹
۲-۲- انواع سیمان پرتلند ۲۰
۲-۳- سنگ دانه‌ها ۲۰
۲-۴- رطوبت سطحی و جذب آب دانه‌ها ۲۲
۲-۵- آب بتن ۲۲
۲-۶-مواد مضاف ۲۳
افزودنیهای شیمیایی ۲۳
مواد مضاف معدنی ۲۴
۲-۷- انبار کردن مصالح بتن ۲۵
۲-۸- مقاومت فشاری تک محورهٔ بتن ۲۶
عوامل مؤثر بر مقاومت فشاری بتن ۲۶
۱- نوع نمونه ۲۶
۲-۹-منحنی تنش-کرنش بتن ۲۹
مدلهای تحلیلی برای بیان رفتار منحنی تنش- کرنش فشاری بتن: ۳۰
۲-۱۰-مدول الاستیسیتهٔ بتن ۳۱

عنوان **صفحه**

۲-۱۱- ضریب پواسون بتن ۳۳
۲-۱۲-مقاومت کششی تک محوره بتن ۳۳
ارتباط بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی بتن ۳۴
۲-۱۳- منحنی تنش- کرنش بتن در کشش ۳۴
۲-۱۴- رفتار بتن تحت تنش‌های دو محوره و سه محوره ۳۵
۲-۱۵- مقاومت خستگی بتن ۳۵
۲-۱۶- مقاومت ضربه‌ای بتن ۳۶
۲-۱۷- انقباض در بتن ۳۶
۲-۱۸- خزش در بتن ۳۸
۲-۱۹- تغییرات آماری در مقاومت بتن ۳۹
۲-۲۰- کیفیت بتن ۴۳
۲-۲۱- اختلاط بتن و بتن‌ریزی ۴۶
روش‌های ویژه کاربرد بتن ۵۲
بتن پاشیده ۵۲
بتن پیش آکنده ۵۲
بتن مکیده ۵۲
۲-۲۲- ضوابط قالب‌بندی، لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن و درزهای اجرایی ۵۲
۲-۲۳- فولاد مسلح کننده و جزئیات آرماتوربندی ۵۶

فصل سوم: روش‌ها و مبانی تحلیل و طراحی و ترکیبات بارگذاری

۳-۱- هدف از طراحی ۸۳
۳-۲- روش تنش‌های مجاز ۸۴
۳-۳- روش طراحی مقاومت ۸۴
۳-۴- طراحی در حالت حدی ۸۶
۳-۵- طرح در حالات حدی در آئین نامهٔ بتن ایران ۸۷

فصل چهارم: رفتار مقاطع خمشی و طراحی تیر تحت خمش

۴-۱- بررسی رفتار یک تیر خمشی ۹۷
۴-۲- نوع گسیختگی عضو خمشی ۹۹
۴-۳- محدودهٔ رفتاری مقطع خمشی براساس لنگر موجود ۱۰۰
۴-۴- طراحی الاستیک ۱۰۰
۴-۵- طراحی الاستوپلاستیک ۱۰۱
۴-۶- طراحی به روش تنش مجاز (روش دیگر طراحی) ۱۰۱
۴-۷- طرح یک مقطع بتن آرمه به روش تنش مجاز ۱۰۳
۴-۸- بررسی وضعیت مقطع در لحظهٔ گسیختگی ۱۰۳
۴-۹- منحنی لنگر – انحناء ۱۰۴
۴-۱۰- تئوری خمش در تیرهای بتن آرمه ۱۰۵
۴-۱۱- توزیع تنش معادل در قسمت فشاری مقطع بتن آرمه در لحظهٔ گسیختگی ۱۰۶
۴-۱۲- بررسی یک مقطع مستطیلی تحت خمش به روش طرح مقاومت ۱۰۷
۴-۱۳- طراحی یک مقطع مستطیلی تحت خمش به روش طرح مقاومت ۱۱۲

عنوان **صفحه**

۴-۱۴- بررسی یک مقطع مستطیلی تحت خمش به روش طراحی در حالات حدی (آبا) ۱۱۵
۴-۱۵- مقاطع خمشی مستطیلی با فولاد فشاری بر اساس روش طرح مقاومت ۱۱۹
۴-۱۶- مقاطع خمشی مستطیلی با فولاد فشاری براساس آبا ۱۲۳
۴-۱۷- مقاطع مستطیلی با فولاد گذاری در چند ردیف ۱۲۶
۴-۱۸- ملاحظات متفرقه در تیرها ۱۲۶
۴-۱۹- مقاطع بال‌دار و نامتقارن تحت خمش ۱۳۲
۴-۲۰- رفتار مقطع T شکل تحت خمش ۱۳۵
۴-۲۱- بررسی یک مقطع تحت خمش با عملکرد T شکل به روش طرح مقاومت: ۱۳۵
۴-۲۲- بررسی یک مقطع T شکل تحت خمش به روش طراحی در حالات حدی (آبا) ۱۳۹
۴-۲۳- ملاحظات متفرقه درتیرهای T شکل ۱۴۱
۴-۲۴- سایر مقاطع بال دار ۱۴۲

فصل پنجم: طراحی تیر تحت برش

۵-۱- مقدمه ۱۵۷
۵-۲- توزیع تنش در تیر بتنی تحت برش با رفتار الاستیک ۱۵۷
۵-۳- ساز و کار انتقال برش در تیر بتنی ۱۵۸
۵-۴- حالتهای شکست تیر بتنی ۱۵۹
شکست خمشی (F) ۱۶۰
شکست قطری کششی (DT) ۱۶۰
حالات دیگر شکست برشی ۱۶۰
۵-۵- فولاد برشی یا فولاد جان ۱۶۲
۵-۶- ظرفیت برشی تیر بتن آرمه براساس آئین نامه ۱۶۴
۵-۷- محاسبات برشی تیر بتن‌آرمه براساس آئین‌نامهٔ بتن ایران ۱۷۱
۵-۸- پوش نیروی برشی ۱۷۵
۵-۹- برش در تیر عمیق ۱۷۵

فصل ششم: طراحی تیر تحت پیچش

۶-۱- مقدمه ۱۸۹
۶-۲- بررسی تیربتن آرمه تحت پیچش براساس آیین‌نامه ۱۹۰
۶-۳- اثر پیچش بر تیر بتن آرمه براساس آئین‌نامهٔ بتن ایران ۱۹۷

فصل هفتم: طراحی ستون‌ها و اعضاء فشاری

۷-۱- مقدمه ۲۰۹
۷-۲- انواع ستون ۲۱۰
۷-۳- ضوابط و محدودیت‌های فولادگذاری ستون ۲۱۲
۷-۴- اعضاء فشاری تحت بار محوری خالص ۲۱۹
۷-۵- اعضاء فشاری تحت بار محوری و لنگر خمشی ۲۲۰
۷-۶- بررسی ستون بتن‌آرمهٔ مستطیلی با فولادگذاری در دو وجه موازی محور خمش ۲۲۳
۷-۸- ستون‌های با مقطع دایروی ۲۲۷
۷-۹- روش تقریبی ویتنی برای تعیین باربری ستون‌های بتن‌آرمه ۲۲۸

عنوان **صفحه**

۷-۱۰- مقاطع تحت تأثیر بار محوری کششی و لنگر خمشی ۲۲۹
۷-۱۱- بررسی ستون‌ها به روش آئین‌نامهٔ بتن ایران ۲۳۰
۷-۱۳- ستون‌های لاغر ۲۳۴
۷-۱۴- رفتار ستون‌های لاغر و حالت‌های شکست آن ۲۳۴
۷-۱۵- کمانش ستون الاستیک تحت بار محوری خالص ۲۳۵
۷-۱۶- تشدید لنگر ۲۳۸
۷-۱۷- روش‌های تحلیل سازه و ارتباط آن با تشدید لنگرستون ۲۳۸
۷-۱۸- تشدید لنگر ستون براساس ACI ۳۱۸-۰۵ ۲۳۹
۷-۱۹- بررسی لاغری ستون براساس آیین‌نامهٔ بتن ایران ۲۴۷
۷-۲۰- بررسی لاغری در ستون‌های تحت خمش دو محوره ۲۵۱
سؤالات طراحی (سازه‌های فولادی ۱ و ۲ – سازه‌های بتنی ۱ و ۲ – راهسازی و روسازی سراسری سال ۱۳۹۲ ۲۶۰
پاسخنامه طراحی (سازه‌های فولادی ۱ و ۲ – سازه‌های بتنی ۱ و ۲ – راهسازی و روسازی سراسری سال ۱۳۹۲ ۲۶۴
سؤالات سازه‌های بتنی ۱ و ۲ آزاد ۹۰ ۲۶۸

فصل اول

مقدمه

عناوین اصلی

- بتن آرمه
- سازگاری بتن و فولاد
- پیشینهٔ تاریخی بتن آرمه
- مزایا و معایب بتن آرمه
- بتن پیش تنیده
- آیین نامه‌های طراحی

فصل اول

مقدمه

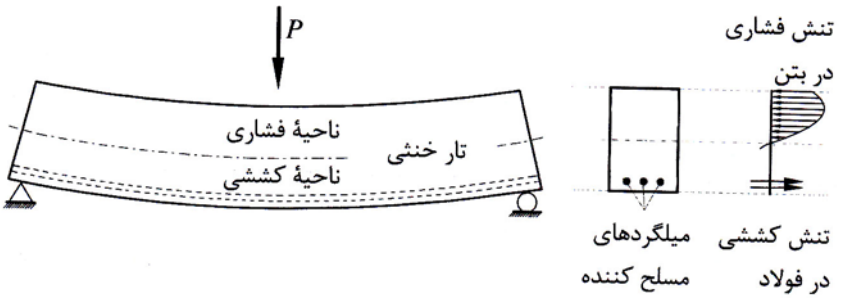
۱-۱- بتن آرمه

تعریف بتن: بتن یک نوع سنگ ساختهٔ دست بشر است که از مقاومت فشاری قابل قبول و مقاومت کششی بسیار پایین (در حدود ۱۰ ٪ مقاومت فشاری) برخوردار است.

ایدهٔ بتن مسلح برای جبران ضعف مقاومت کششی بتن ابداع شده است.

در این ایده، در هر قسمت که قطعهٔ سازه‌ای تحت کشش (کشش مستقیم یا کشش ناشی از خمش) قرار گیرد، از فولاد به عنوان یک مادهٔ مقاوم در مقابل کشش ایجاد شده، استفاده می‌گردد.

شکل ۱-۱، ترکیب بتن و فولاد را در تحمل کشش و فشار ناشی از خمش در یک تیر بتن مسلح نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- ترکیب بتن و فولاد در یک تیر بتن آرمه

📖 **نکته:** فولاد می‌تواند به عنوان یک عنصر کمکی در تحمل فشار نیز در کنار بتن قرار گیرد، مانند میلگردهای مسلح کننده در ستون‌ها و یا حتی در ناحیهٔ فشاری تیرها.

📖 **نکته:** در یک مقطع بتن آرمه، ممکن است ترک‌های کششی در ناحیه کششی بتن و در جهت متعامد نسبت به جهت تنش‌های کششی ایجاد شوند. این ترک‌ها ممکن است از میلگردهای کششی نیز عبور کرده و تا نزدیکی‌های تار خنثی بالا روند. معمولاً عرض ترک‌ها بسیار محدود می‌باشد (کوچکتر از ۰/۳ میلی متر).

۱-۲- سازگاری بتن و فولاد

بتن و فولاد سازگاری قابل توجهی برای تشکیل یک جسم مرکب دارند که در این میان می‌توان به موارد زیر اشاره نمود :

الف – ضریب انبساط حرارتی بتن و فولاد بسیار به هم نزدیک است.

ب- بتن و فولاد چسبندگی بسیار خوبی با یکدیگر داشته و بین آن دو معمولاً لغزش اتفاق نمی‌افتد.

ج- بتن می‌تواند فولاد مسلح کننده را در مقابل خوردگی شیمیایی محافظت نماید.

د- پوشش بتن روی میلگردها، مقاومت بسیار خوبی در مقابل آتش سوزی ایجاد می‌کند.

۱-۳- پیشینهٔ تاریخی بتن آرمه

سابقهٔ ثبت سیمان (سیمان پرتلند) به ژوزف آسپدین (Joseph Aspdin) انگلیسی در سال ۱۸۲۴ بر می‌گردد.

سابقهٔ استفاده از بتن مسلح به سال ۱۸۵۰ بر می‌گردد که ژوزف لامبوت (Joseph Lambot) فرانسوی یک قایق بتنی را که با شبکه‌ای از سیم‌های موازی مسلح شده بود، تولید کرد.

اختراع بتن آرمه معمولا به ژوزف مونیر(Joseph monier) فرانسوی نسبت داده می‌شود، که در سال ۱۸۶۷ ابداع ساخت حوضچه‌ها و مخازن بتنی مسلح به شبکه‌ای از سیم آهنی را برای خود ثبت نمود.

نخستین ساختمان بتن آرمه را در سال ۱۸۷۵ در آمریکا ویلیام وارد (William E.ward) در نیویورک بنا نمود.

تادیوس هیات (Thaddeus Hyatt) در سال ۱۸۷۷ یک کتاب ۲۸ صفحه‌ای در ارتباط با موضوع تحقیقات خود در مورد تیر بتن آرمه منتشر کرد.

رانسام (E.L.Ransome) در سال ۱۸۸۴، استفاده از میله‌های آجدار را به منظور فراهم نمودن چسبندگی بهتر بین فولاد و بتن، به نام خود ثبت کرد.

سال ۱۹۰۳ : تشکیل یک کمیتهٔ مشترک از نمایندگان سازمان‌های علاقه مند در زمینهٔ بتن آرمه در آمریکا، نقطهٔ شروعی برای همگانی کردن دانش طراحی بتن آرمه .

دههٔ اول قرن بیستم: انجام آزمایشات متعدد توسط دانشمندان در آمریکا و اروپا جهت تعیین مقاومت فشاری بتن و مدول الاستیسیتهٔ بتن.

از سال ۱۹۱۶ تا ۱۹۳۵: تمرکز بیشتر تحقیقات بر ستون‌های بتن آرمه تحت بار محوری.

دو دههٔ ۱۹۳۰ تا ۱۹۵۰: توجه بیشتر محققین به ستون‌های بتن آرمه با بار خارج از محور، شالوده‌های بتن آرمه و مقاومت نهایی تیرها.

از سال ۱۹۵۰ به بعد و تا کنون تحقیقات بسیار زیادی در زمینهٔ قطعات و سازه‌های بتن آرمه انجام گرفته است. با این وجود به دلیل ناشناخته‌های فراوان در زمینهٔ رفتار اجزاء بتن آرمه، در حال حاضر نیز بسیاری از تحقیقات زندهٔ دانشگاه‌های معتبر و مراکز تحقیقاتی دنیا در زمینهٔ اجزاء و قطعات بتن آرمه معطوف می‌گردد.

۱-۴- مزایا و معایب بتن آرمه

مزایای بتن آرمه نسبت به سایر مصالح ساختمانی به خصوص فولاد عبارتند از :

۱- مقاومت فشاری قابل قبول بتن آرمه در مقایسه با بسیاری از مصالح ساختمانی

۲- تمامی اجزاء تشکیل دهندهٔ بتن، به جز سیمان، به عنوان مصالح محلی و ارزان قیمت محسوب می‌شوند. و تقریباً در همه جا می‌توان آب، ماسه و شن را از فواصل نزدیک به محل بتن ریزی حمل نمود.

۳- بتن را می‌توان به سهولت با ساختن قالب مناسب، به هر شکل دلخواه در آورد.

۴- مقاومت بسیار خوب بتن در مقابل آتش.

۵- مقاومت خوب بتن در مقابل رطوبت و آب حاوی بعضی از یون‌ها از قبیل یون سولفات و یا یون کلرور.

۶- صلبیت بالای اجزاء بتن آرمه.

۷- نیاز به محافظت و نگه داری کمتر اجزاء بتنی در مقایسه با سازهٔ فولادی.

۸- عمر بهره دهی بسیار طولانی بتن در مقایسه با سایر مصالح ساختمانی.

۹- بتن تنها گزینهٔ اقتصادی در بعضی از اجزاء سازه‌ای نظیر پی‌ها، دیوارهای زیرزمین و شمع‌ها محسوب می‌شود.

۱۰- عدم نیاز به نیروهای اجرایی و کارگران با مهارت بالا برای اجرای بتن در مقایسه با سایر مصالح نظیر فولاد.

معایب بتن:

۱- مقاومت کششی بسیار پایین بتن (در حدود یک دهم مقاومت فشاری آن).
۲- نیاز به قالب بندی، مهارگذاری و شمع بندی برای اجرای بتن درجا که مبالغ قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهند.
۳- سنگین‌تر شدن اعضای بتن آرمه در مقایسه با اعضای فولادی به دلیل مقاومت پایین تر به ازای واحد وزن بتن در مقایسه با فولاد.
۴- پایین‌تر بودن کنترل کیفیت بتن نسبت به کنترل کیفیت فولاد.
۵- افزایش تغییر شکل و خیز اجزاء بتن آرمه به دلیل افت و خزش در بتن.

۱-۵- بتن پیش تنیده

بتن پیش تنیده روش دیگری برای تولید یک مقطع مرکب و جبران ضعف کششی بتن است. در مقطع پیش تنیده با ایجاد تنش‌های فشاری اولیه در مقطع بتنی، شرایطی فراهم می‌شود که تنش‌های کششی ناشی از خمش، تنش‌های فشاری اولیه را خنثی نموده و بدین ترتیب در مقطع یا اصلاً تنش کششی ایجاد نشود و یا تنش‌های کششی ایجاد شده اندک بوده و از مقاومت کششی بتن فراتر نرود.

📖 **نکته:** در مقطع بتن پیش تنیده، هیچ گونه ترک خوردگی مشاهده نخواهد شد.

پیش تنیدگی به دو روش انجام می‌گیرد:
الف) روش پیش‌کشیده
ب) روش پس‌کشیده

روش پیش‌کشیده: ابتدا کابل‌های پیش تنیدگی که از نوع با مقاومت بالا و با تنش تسلیم بین ۲۰۰۰-۱۲۰۰ Mpa انتخاب می‌شوند، از داخل قالب عبور داده شده و به مقدار دلخواه کشیده می‌شوند. سپس داخل قالب بتن ریزی شده و پس از کسب مقاومت بتن (معمولاً پس از ۷ روز)، کابل‌ها آزاد می‌شوند. بدین ترتیب عکس العمل نیروی کششی اولیه در کابل، به صورت نیروی فشاری بر مقطع بتنی اثر می‌کند.

روش پس‌کشیده : در این روش کابل‌های عبور داده شده از یک غلاف محافظ، به همراه غلاف در موقعیت مناسب در داخل قالب تعبیه شده و بتن ریزی انجام می‌گیرد. قطعه بتنی پس از انجام گیرش به محل نصب حمل شده و در موقعیت مربوطه قرار می‌گیرد. آنگاه کابل موجود در قطعه که اکثراً از یک طرف مهار شده است، از طرف دیگر توسط دستگاه تحت کشش قرار گرفته و نهایتاً در انتهای قطعه مهار می‌شود. پس از مهار کابل، عکس العمل نیروی کششی کابل به صورت نیروی فشاری بر قطعه اثر می‌کند.

📖 **نکته:** در بتن پس‌کشیده به سادگی می‌توان کابل را به هر شکل دلخواه و از جمله به شکل سهمی در داخل بتن تعبیه نمود.

۱-۶- آیین نامه‌های طراحی

سال ۱۹۰۴: انتشار نخستین مجموعه مقررات مرتبط با بتن آرمه تحت نظر پروفسور مورش (professor morsch) در دانشگاه اشتوتگارت آلمان.
سال‌های ۱۹۰۷ تا ۱۹۰۹: انتشار مقررات طراحی بتن آرمه در کشورهای انگلستان، فرانسه، اتریش و سوئیس.

سال ۱۹۰۴: تشکیل کمیتهٔ مشترکی در ارتباط با بتن آرمه بین چهار مؤسسهٔ مرتبط با این موضوع در آمریکا.

سال ۱۹۱۰: انتشار " مقررات استاندارد ساختمانی برای استفاده از بتن آرمه " توسط " مؤسسه ملی استفاده کنندگان سیمان " که بعدها به مؤسسهٔ بتن آمریکا ACI تغییر نام داد.

سال ۱۹۱۶ : انتشار گزارش نهایی مقررات مرتبط با بتن آرمه توسط کمیتهٔ مشترک تشکیل شده در سال ۱۹۰۴ که به ACI متصل شده بود.

امروزه آیین نامه ACI ۳۱۸ مجموعه مقررات ساختمانهای بتن آرمه را تحت عنوان Building code Requirements for structural concrete هر ۶ یا ۷ سال منتشر می‌کند.

نسخه‌های دههٔ اخیر آیین نامه ACI ۳۱۸ عبارتند از:

ACI 318-95 , ACI 318-99 , ACI 318-02 , ACI 318-05

امروزه آیین نامه ACI اساس بسیاری از آیین نامه‌های دنیا از جمله آیین نامه بتن کانادا CSA STANDARD A23.3، آیین نامه بتن استرالیا AS3600، آیین نامه بتن نیوزلند و... می‌باشد.

سال ۱۳۷۱ : انتشار جلد اول آیین نامه بتن ایران (آبا) با محتوای تکنولوژی بتن، مصالح و مسائل اجرایی توسط دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

سال ۱۳۷۴ : انتشار جلد دوم آیین نامه بتن ایران (آبا) مربوط به اصول تحلیل و طراحی سازه‌های بتن آرمه.

سال ۱۳۷۹ : انتشار آیین نامه بتن ایران (آبا) در یک مجلد

📖 **نکته:** آیین نامهٔ بتن ایران (آبا) تا حدودی بر اساس آیین نامهٔ بتن آمریکا و آیین نامهٔ بتن کانادا تنظیم شده است و بسیاری از اصول و جزئیات آن مشابه آیین نامه‌های مذکور می‌باشد.

تست‌های آخر فصل

۱- کدام عبارت در مورد مقاومت کششی و فشاری بتن صحیح است؟

۱) مقاومت کششی و فشاری بتن قابل قبول است.

۲) مقاومت فشاری بتن قابل قبول و مقاومت کششی آن بسیار پایین است.

۳) مقاومت کششی بتن قابل قبول و مقاومت فشاری آن بسیار پایین است.

۴) مقاومت کششی و فشاری بتن بسیار پایین است.

۲- کدام عبارت در مورد ترک در یک عضو بتن آرمه صحیح نمی‌باشد ؟

۱) ترک‌های کششی در ناحیهٔ کششی بتن و در جهت متعامد نسبت به جهت تنش‌های کششی ایجاد می‌شوند.

۲) ترک‌های کششی ممکن است از میلگردهای کششی نیز عبور کنند.

۳) یک مقطع بتن آرمه ترک می‌خورد و معمولاً عرض ترک‌ها بسیار محدود می‌باشد.

۴) معمولاً عرض ترک‌ها بسیار محدود بوده و عملکرد قطعهٔ بتن مسلح را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۳- به چه دلیلی بتن و فولاد، یک جسم مرکب همساز تشکیل می‌دهند ؟

۱) مقاومت بتن و فولاد در مقابل دمای آتش بسیار خوب است.

۲) بتن و فولاد به راحتی در معرض خوردگی شیمیایی قرار نمی‌گیرند.

۳) چسبندگی شیمیایی بین دو ماده و نیز ناصافی‌های سطحی و برآمدگی‌های آج میلگرد.

۴) پایین بودن ضریب انبساط حرارتی بتن نسبت به فولاد.

۴- کدام گزینه از مزایای بتن نمی‌باشد ؟

۱) مقاومت پایین تر به ازای واحد وزن بتن در مقایسه با فولاد.

۲) نیاز به محافظت و نگهداری کمتر اجزاء بتنی در مقایسه با سازهٔ فولادی.

۳) مقاومت خوب بتن در مقابل آب حاوی یون سولفات.

۴) نیاز کمتر به نیروهای اجرایی و کارگران با مهارت بالا در مقایسه با سازهٔ فولادی.

۵- کدام گزینه از معایب بتن نمی‌باشد ؟

۱) مقاومت کششی بسیار پایین بتن.

۲) هزینهٔ قابل توجه برای قالب بندی، مهارگذاری و شمع بندی

۳) پایین تر بودن کنترل کیفیت بتن نسبت به فولاد

۴) صلبیت بالای اجزاء بتن آرمه.

۶- کدام عبارت در مورد بتن پیش تنیده صحیح نمی‌باشد ؟

۱) بتن پیش تنیده روشی برای جبران ضعف کششی بتن است.

۲) در بتن پیش کشیده به سادگی می‌توان کابل را به هر شکل دلخواه در داخل بتن تعبیه نمود.

۳) در مقطع بتن پیش تنیده، هیچ گونه ترک خوردگی مشاهده نخواهد شد.

۴) در وسط دهانه و در پایین مقطع یک تیر بتن پیش تنیده، تنش فشاری ناشی از عکس العمل نیروی کابل و خروج از مرکزیت آن نیرو، می‌تواند با تنش کششی ناشی از لنگر ایجاد شده در اثر بار خارجی متعادل گردد.

۷- عمر بهره دهی طولانی بتن مرهون چه واقعیتی است ؟

۱) کاهش مقاومت بتن در طول زمان.

۲) اثر عوامل مخرب محیطی و یون‌های مهاجم.

۳) تحکیم بیشتر سیمان و افزایش مقاومت بتن در طول زمان.

۴) تغییرات حجمی وابسته به زمان در بتن.

۸- کدام عبارت در مورد مقطع بتن آرمه و بتن پیش تنیده از نظر تحمل تنش‌ها صحیح است ؟

۱) در مقطع بتن آرمه تنش‌های فشاری اولیه، تنش‌های کششی ناشی از بار خارجی را متعادل می‌کنند ولی در مقطع پیش تنیده، فولادهای مسلح کننده، تنش‌های کششی را تحمل می‌کنند.

۲) در مقطع پیش تنیده، تنش‌های فشاری اولیه، تنش‌های کششی ناشی از بار خارجی را متعادل می‌کنند ولی در مقطع بتن آرمه، فولادهای مسلح کننده، تنش‌های کششی را تحمل می‌کنند.

۳) در مقطع بتن آرمه و مقطع پیش تنیده، تنش‌های فشاری اولیه، تنش‌های کششی ناشی از بار خارجی را متعادل می‌کنند.

۴) در مقطع بتن آرمه و مقطع بتن پیش تنیده، فولادهای مسلح کننده، تنش‌های کششی را تحمل می‌کنند.

۹- کدام عبارت در مورد مقاومت به ازای واحد وزن بتن نادرست است ؟

۱) مقاومت پایین تر به ازای واحد وزن بتن درمقایسه با فولاد، منجر به سنگین تر شدن اعضای بتن آرمه می‌شود.

۲) مقاومت به ازای واحد وزن بتن حدود $\frac{۱}{۶}$ تا $\frac{۱}{۳}$ همین کمیت برای فولاد است.

۳) مقاومت به ازای واحد وزن بتن باعث کاهش بار زلزله در سازه‌های بتن آرمه می‌شود.

۴) مقاومت به ازای واحد وزن بتن باعث اشغال فضای بیشتری توسط ستون‌ها و تیرهای بتن آرمه گردد.

۱۰- کدام عبارت در مورد فولاد مسلح کننده در تیر بتن آرمه صحیح می‌باشد؟

۱) میلگردهای مسلح کننده صرفاً برای تحمل تنش‌های کششی در تیر بتن آرمه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲) میلگردهای مسلح کننده صرفاً برای تحمل فشار در تیر بتن آرمه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳) میلگردهای مسلح کننده می‌توانند به عنوان یک عنصر کمکی در تحمل فشار نیز در کنار بتن قرار گیرند.

۴) میلگردهای مسلح کننده صرفاً برای تحمل برش در تیر بتن آرمه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پاسخ تست‌های آخر فصل

۱- گزینه «۲»

۲- گزینه «۴»

۳- گزینه «۳»

۴- گزینه «۱»

۵- گزینه «۴»

۶- گزینه «۲»

۷- گزینه «۳»

۸- گزینه «۲»

۹- گزینه «۳»

۱۰- گزینه «۳»

فصل دوم

خصوصیات مصالح در بتن آرمه

عناوین اصلی

- سیمان و اجزاء آن
- سنگدانه‌ها
- آب بتن
- مواد مضاف
- مقاومت فشاری تک محورهٔ بتن
- منحنی تنش – کرنش بتن
- مدول الاستیسیته بتن
- مقاومت کششی تک محورهٔ بتن
- رفتار بتن تحت تنش‌های دو محوره و سه محوره
- مقاومت خستگی بتن
- مقاومت ضربه‌ای بتن
- انقباض و خزش در بتن
- تغییرات آماری در مقاومت بتن
- کیفیت بتن
- اختلاط بتن و بتن ریزی
- بتن‌ریزی در شرایط ویژه
- روشهای ویژهٔ کاربرد بتن
- ضوابط قالب‌بندی، لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن و درزهای اجرایی
- فولاد مسلح کننده و جزئیات آرماتوربندی

فصل دوم

خصوصیات مصالح در بتن آرمه

۲-۱-سیمان و اجزاء آن

سیمان: به ماده‌ای اطلاق می‌شود که با انجام واکنش شیمیایی با آب (واکنش هیدراسیون)، نقش چسباندن مصالح سنگی به یکدیگر و تولید جسم سفت بتن را ایفا می‌کند.

📖 **نکته:** مواد اولیهٔ سیمان عمدتاً از خاک رس و آهک تشکیل شده است.

درصد مواد اولیهٔ سیمان عبارت است از: آهک (cao) حدود ۶۳ درصد، سیلیس (sio_2) حدود ۲۰ درصد، آلومین (AL_2O_3) حدود ۶ درصد، اکسید آهن (Fe_2o_3) حدود ۳ درصد و اکسید منیزیم (Mgo) حدود ۱/۵ درصد.

📖 **نکته:** اضافه کردن سنگ گچ به کلینکر سیمان جهت جلوگیری از گیرش سریع سیمان است.

اجزاء سیمان عبارتند از:

۱- تری کلسیم سیلیکات به شکل Sio_2، $3Cao$ و با علامت اختصاری C_3s

خصوصیات این ماده:

- گیرش سریع‌تر نسبت به سایر اجزاء.
- آزاد کردن گرمای زیاد در هنگام ترکیب با آب (۱۲۰ کالری بر گرم)
- فراهم کردن زمینهٔ مستعد برای حمله سولفات‌ها به بتن.

۲- دی کلسیم سیلیکات به شکل Sio_2، $2Cao$ و با علامت اختصاری C_2S

خصوصیات این ماده:

- برخلاف C_3S، گیرش اولیهٔ بالایی نداشته و دیرگیر است.
- ترکیب C_2S با آب، گرمای کمی تولید می‌کند (۶۲ کالری بر گرم)

۳- تری کلسیم آلومینات به شکل AL_2O_3، $3Cao$ و با علامت اختصاری C_3A

خصوصیات این ماده: (خصوصیاتی مشابه C_3S)

- گیرش اولیه بسیار بالا
- فراهم نمودن زمینهٔ کاملاً مستعد برای حمله سولفات‌ها به بتن
- آزاد کردن گرمای بسیار زیاد در اثر ترکیب با آب (حدود ۲۱۰ کالری برگرم)

۴- تتراکلسیم آلومینو فریت به شکل Fe_2o_3، AL_2O_3، $4cao$ و با علامت اختصاری C_4AF.

خصوصیات این ماده

- گیرش متوسط
- آزاد کردن حدود ۱۰۰ کالری بر گرم گرما پس از ترکیب با آب.

۲-۲- انواع سیمان پرتلند

پنج نوع سیمان پرتلند براساس استاندارد ASTM:

۱- سیمان نوع I: سیمان معمولی است که برای مصارف عمومی ساختمانی مناسب است.

۲- سیمان نوع II: یک سیمان اصلاح شده با خصوصیات متوسط است که نسبت به سیمان نوع I حرارت کمتری آزاد کرده و برای مصرف در محیط‌هایی که حملهٔ ضعیفی از سولفات وجود خواهد داشت، مناسب است.

۳- سیمان نوع III: یک سیمان زودگیر است و همچنین یک سیمان پرحرارت محسوب می‌شود. برای ساخت بتن در هوای سرد مناسب است. همچنین در تعمیرات فوری و نیز مواردی که در نظر باشد قالب‌ها سریع باز شوند، توصیه می‌شود.

۴- سیمان نوع IV: یک سیمان کندگیر و کم حرارت محسوب می‌شود. معمولاً در هوای گرم بکار می‌رود. همچنین می‌توان برای جلوگیری از اتصالات سرد در بتن‌ریزی پیوسته استفاده کرد. از طرفی کاربرد سیمان نوع IV در بتن‌ریزی حجیم باعث کاهش تنش‌های حرارتی خواهد شد.

۵- سیمان نوع V: یک سیمان ضد سولفات و یا مقاوم در مقابل حملهٔ سولفاتها محسوب می‌شود. تا حدودی خصوصیات دیرگیری داشته و نسبت به سیمان نوع I، حرارت کمتری تولید می‌کند.

انواع دیگر سیمان عبارتند از:

سیمان‌های حباب‌زا (I -A، II -A، III-A)، سیمان سفید، سیمانهای رنگی، سیمان سرباره‌ای، سیمان پوزو لانی، سیمان بنایی، سیمان چاه نفت، سیمان انبساطی و سیمان آلومنیوم.

مثال

برای مقابله با سولفات، استفاده از کدامیک از سیمان‌های زیر در بتن توصیه می‌شود.

۱) سیمان روباره‌ای و سیمان با C_3A زیاد
۲) سیمان نوع I
۳) فقط سیمان نوع II
۴) هیچکدام از موارد فوق

جواب: گزینه «۴»

۲-۳- سنگ دانه‌ها

مصالح سنگی به صورت دانه‌های درشت یا شن و دانه‌های ریز یا ماسه بوده و در مجموع ۶۰ تا ۷۵ درصد از حجم بتن را اشغال می‌کنند.

📖 **نکته:** مرز بین شن و ماسه الک نمرهٔ ۴ است که اندازه بعد شبکه‌های آن ۴/۷۶ میلیمتر می‌باشد.

تقسیم‌بندی دانه‌ها از نظر شکل ظاهری: گرد، نامنظم، گوشه‌دار یا شکسته، پولکی و سوزنی

📖 **نکته:** دانه‌های با شکل ظاهری پولکی و سوزنی برای بتن‌سازی مناسب نبوده و نباید در مجموع از ۱۵ درصد کل دانه‌ها بیشتر باشند.

📖 **نکته:** دانه‌های گوشه‌دار به دلیل برخورداری از سطح مخصوص بزرگتر، نیاز به خمیر سیمان بیشتری داشته، ولی اتصال بهتری در بتن ایجاد می‌کنند.

نحوه توزیع دانه‌ها از نظر ابعاد با منحنی دانه‌بندی مشخص می‌شود. منحنی دانه‌بندی، درصد رد شده دانه‌ها از هر الک استاندارد برحسب اندازهٔ الک را مشخص می‌کند.

انواع منحنی دانه‌بندی:

۱- منحنی دانه‌بندی پیوسته: اولاً تمام ابعاد استاندارد دانه‌ها را شامل باشد، و ثانیاً بعضی از ابعاد دانه‌ها نسبت به سایر ابعاد، به صورت قابل ملاحظه کمتر نباشد.

۲- منحنی دانه‌بندی ناپیوسته (گسسته)

📖 **نکته:** در ساخت بتن معمولاً از دانه‌بندی پیوسته استفاده می‌شود.

مزایای استفاده از دانه‌بندی پیوسته در ساخت بتن:

۱- استفاده از شن و ماسه با دانه‌بندی پیوسته، فضای خالی بین دانه‌ها را کاهش داده و در نتیجه مصرف خمیر سیمان را کاهش می‌دهد.

۲- با استفاده از یک دانه‌بندی پیوسته، ابعاد مختلف دانه‌ها به خوبی در بین یکدیگر جای گرفته و حجم بیشتری از بتن توسط دانه‌ها اشغال می‌شود و بتن توپرتر و متراکم‌تری ایجاد می‌گردد.

📖 **نکته:** دانه‌بندی گسسته مصرف کاملاً محدودی دارد مانند ساخت بتن با دانه‌های نمایان و یا بتن اکسپوز

ضریب نرمی ماسه: مجموع درصد باقیماندهٔ دانه‌ها روی الک استاندارد تقسیم بر صد که میزان ریزی و نرمی دانه‌های ماسه را مشخص می‌کند. که در محدودهٔ ۲/۳ تا ۳/۲ متغیر بوده و غالباً برابر ۲/۸ می‌باشد.

ری کردن ماسه: انبساط حجمی ظاهری ریز دانه‌ها بر اثر رطوبت

این انبساط ظاهری در رطوبت حدود ۵ درصد، بیشترین مقدار را داشته و با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد تا به صفر برسد.

📖 **نکته:** با توجه به وقوع پدیدهٔ ری‌کردن ماسه برای ریز دانه‌های مرطوب، توصیه می‌شود که در کارگاه برای جداکردن ماسه از پیمانه‌های حجمی استفاده نشود و ماسه توزین گردد.

📖 **نکته:** استفاده از دانه‌های درشت‌تر شن، منجر به امکان استفاده از آب و سیمان کمتری خواهد شد. با این وجود تجربیات نشان داده است که استفاده از دانه‌های درشت‌تر، مقاومت فشاری بتن را کاهش می‌دهد.

حداکثر بعد دانه‌های سنگی براساس آئین‌نامه بتن ایران:

- $\frac{۱}{۵}$ حداقل فاصله بین وجوه قالب
- $\frac{۳}{۴}$ حداقل فاصله آزاد بین میلگردها
- $\frac{۱}{۳}$ ضخامت دال
- $\frac{۳}{۴}$ ضخامت پوشش روی میلگردها

مثال

در کاربرد سنگدانه‌های درشت در بتن کدام عبارت صحیح نیست؟

۱) بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه درشت نباید از $\frac{۱}{۵}$ کوچکترین بعد داخلی قالب بیشتر باشد.

۲) بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه درشت نباید از $\frac{۳}{۴}$ حداقل فاصله بین میلگردها بیشتر باشد.

۳) بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه درشت نباید از $\frac{۲}{۳}$ ضخامت دال بیشتر باشد.

۴) بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه درشت نباید از ۶۳ میلیمتر بزرگتر باشد.

جواب: **گزینه «۳»** می‌باشد. بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌ها نباید از $\frac{۱}{۳}$ ضخامت دال بیشتر باشد.