

بسمه تعالی

تکنولوژی بتن

با نگاه کاربردی

مؤلفان:

مجتبی حسینی

سید عظیم حسینی

زیر نظر حمیدرضا منیری ایبانه

سرشناسه : حسنوی، مجتبی، ۱۳۶۶ -
 عنوان و نام پدیدآور : تکنولوژی بتن با نگاه کاربردی / مولفان مجتبی حسنوی، سیدعظیم
 حسینی، زیر نظر حمیدرضا منیری ابیانه.
 مشخصات نشر : تهران : هوشمند تدبیر، ۱۳۹۲.
 مشخصات ظاهری : ۱۷۶ ص: مصور.
 شابک : 978-600-7274-02-6
 وضعیت فهرست نویسی : فیبا
 موضوع : بتن
 شناسه افزوده : حسینی، سیدعظیم، ۱۳۴۶ -
 شناسه افزوده : منیری ابیانه، حمیدرضا، ۱۳۴۲ -
 رده بندی کنگره : ۱۳۹۲ ۸۵ ح/ ۴۳۹ TA
 رده بندی دیویی : ۶۲۰/۱۳۶
 شماره کتابشناسی ملی : ۳۳۴۴۱۲۱

عنوان : تکنولوژی بتن با نگاه کاربردی
 مولفین : مجتبی حسنوی - سیدعظیم حسینی
 زیر نظر : حمیدرضا منیری ابیانه
 ناشر : هوشمند تدبیر
 مدیر مسئول : محمد قجر
 مدیر تولید : هادی کجانی حصار
 طرح جلد : مرتضی کلاهی - حمید باغبانپور
 شابک : 978-600-7274-02-6
 تیراژ : ۱۰۰۰ نسخه چاپ اول
 سال انتشار : ۱۳۹۲
 بها : ۱۱۰۰۰ تومان

نشانی: تهران - میدان انقلاب - ابتدای کارگر شمالی - انتهای کوچه رستم - پلاک ۲۰ - واحد ۷
 تلفن: ۷۵ و ۶۶۴۷۹۶۶۵ فکس: ۶۶۴۶۰۳۰۱

فهرست مطالب

پیشگفتار

مقدمه

فصل اول: مواد تشکیل دهنده بتن

۱۵	۱-۱- سیمان
۱۵	۱-۱-۱- تاریخچه سیمان
۱۷	۱-۱-۲- تولید سیمان
۱۷	۱-۲-۱- انتخاب محل کارخانه
۱۸	۱-۲-۲- استخراج و انتقال مواد اولیه
۱۸	۱-۲-۳- سنگ شکن
۱۹	۱-۲-۴- دبیوی مصالح
۲۰	۱-۲-۵- آسیاب مواد
۲۱	۱-۲-۶- تهیه خوراک کوره
۲۲	۱-۲-۶-۱- روش تر
۲۲	۱-۲-۶-۲- روش نیمه تر
۲۲	۱-۲-۶-۳- روش نیمه خشک
۲۲	۱-۲-۶-۴- روش خشک
۲۴	۱-۲-۷- جلوگیری از اتلاف انرژی
۲۴	۱-۲-۸- فیلتراسیون
۲۵	۱-۲-۹- آسیاب نهایی
۲۵	۱-۳- انتقال سیمان به محل مصرف
۲۶	۱-۴- فساد سیمان
۲۶	۱-۵- عناصر و خواص سیمان
۲۸	۱-۶- آزمایش‌های سیمان
۲۹	۱-۶-۱- آزمایش آفت سرخ شدن
۳۰	۱-۶-۲- آزمایش باقی مانده نامحلول
۳۰	۱-۶-۳- آزمایش ضریب اشباع آهکی
۳۱	۱-۶-۴- آزمایش معادل قلیایی
۳۱	۱-۶-۵- آزمایش گیرش
۳۲	۱-۶-۶- آزمایش سلامت
۳۳	۱-۶-۶-۱- آزمایش انبرک لوشاتلیه
۳۴	۱-۶-۶-۲- آزمایش اتوکلاو
۳۴	۱-۶-۷- آزمایش مقاومت
۳۵	۱-۶-۸- آزمایش نرمی
۳۸	۱-۶-۹- آزمایش وزن مخصوص

۳۸	----- ۱-۶-۱۰-۹- وزن مخصوص دانه‌ای
۳۹	----- ۱-۶-۹-۲- وزن مخصوص انبوهی
۴۰	----- ۱-۶-۱۰- آزمایش حرارت هیدراتاسیون
۴۱	----- ۱-۷-۷- انواع سیمان
۴۳	----- ۱-۷-۱- سیمان تیپ ۱ (سیمان پرتلند معمولی)
۴۳	----- ۱-۷-۲- سیمان تیپ ۲ (سیمان پرتلند اصلاح شده)
۴۵	----- ۱-۷-۳- سیمان تیپ ۳ (سیمان پرتلند زود سخت شونده)
۴۵	----- ۱-۷-۴- سیمان تیپ ۴ (سیمان پرتلند با حرارت زایی کم)
۴۶	----- ۱-۷-۵- سیمان تیپ ۵ (سیمان پرتلند ضد سولفات)
۴۷	----- ۱-۷-۶- سیمان پرتلند پوزولانی
۴۸	----- ۱-۷-۷- سیمان پرتلند سرباره‌ای
۴۹	----- ۱-۷-۸- سیمان پرتلند بنایی
۵۱	----- ۱-۷-۹- سیمان پرتلند آهکی
۵۱	----- ۱-۷-۱۰- سیمان پرتلند ضد آب
۵۲	----- ۱-۷-۱۱- سیمان پرتلند چاه‌های نفت
۵۳	----- ۱-۷-۱۲- سیمان پرتلند سفید
۵۴	----- ۱-۷-۱۳- سیمان پرتلند رنگی
۵۵	----- ۱-۷-۱۴- سیمان پرتلند گسترش یابنده
۵۷	----- ۱-۷-۱۵- سیمان پرآلومین یا برقی
۵۸	----- ۱-۲- سنگ دانه
۵۸	----- ۱-۲-۱- انواع سنگ دانه‌ها
۶۱	----- ۱-۲-۲- اندازه سنگ دانه‌ها
۶۴	----- ۱-۲-۳- مدول نرمی سنگ دانه‌ها
۶۴	----- ۱-۲-۴- جرم مخصوص سنگ دانه‌ها
۶۵	----- ۱-۲-۵- جذب آب و رطوبت سنگ دانه‌ها
۶۵	----- ۱-۲-۵-۱- جذب آب
۶۶	----- ۱-۲-۵-۲- رطوبت
۶۶	----- ۱-۲-۶- شکل سنگ دانه‌ها
۶۸	----- ۱-۲-۷- مواد زیان آور در سنگ دانه‌ها
۶۹	----- ۱-۲-۸- مقاومت سنگ دانه‌ها
۷۰	----- ۱-۲-۸- تولید سنگ دانه‌ها
۷۲	----- ۱-۳- آب
۷۲	----- ۱-۳-۱- آب اختلاط
۷۳	----- ۱-۳-۲- آب عمل آوری
۷۴	----- ۱-۳-۳- آزمایش آب

فصل دوم: خواص بتن و آزمایش‌های مربوط به آن

۷۷	۱-۲-۱ کارایی
۷۸	۱-۲-۱-۱ آزمایش اسلامپ
۸۱	۱-۲-۲-۱ آزمایش ضریب تراکم
۸۳	۱-۲-۳-۱ آزمایش وی بی
۸۴	۱-۲-۴-۱ آزمایش میز سیلان (جریان یا بخش)
۸۵	۱-۲-۵-۱ آزمایش نفوذ وزنه
۸۶	۲-۲-۱ دوام
۸۷	۱-۲-۲-۱ یخ زدگی
۸۸	۱-۲-۲-۱-۱ استفاده از بتن هوادار
۹۰	۱-۲-۲-۲-۱ استفاده از الیاف شیشه ای و فولادی
۹۱	۱-۲-۲-۳-۱ استفاده از مواد پلیمری
۹۱	۱-۲-۲-۴-۱ استفاده از فناوری کریستالی
۹۲	۱-۲-۲-۵-۱ استفاده از فوم بتنی
۹۲	۲-۲-۲-۱ انقباض
۹۴	۲-۲-۳-۱ خزش
۹۵	۲-۳-۱ مقاومت
۹۶	۱-۳-۲-۱ آزمایش مقاومت فشاری
۹۹	۲-۳-۲-۱ آزمایش مقاومت کششی
۱۰۰	۱-۳-۲-۲-۱ آزمایش مقاومت خمشی
۱۰۱	۲-۳-۲-۲-۱ آزمایش کنش ترکاندن
۱۰۲	۳-۳-۲-۱ آزمایش مغزه گیری
۱۰۳	۴-۳-۲-۱ آزمایش چکش اشمیت
۱۰۴	۵-۳-۲-۱ آزمایش سرعت پالس فراصوت (پالس اولتراسونیک)

فصل سوم: بتن‌های ویژه

۱۰۹	۱-۳-۱ بتن توانمند
۱۱۱	۲-۳-۱ بتن سبک
۱۱۲	۱-۲-۳-۱ بتن سبک دانه
۱۱۳	۲-۲-۳-۱ بتن اسفنجی
۱۱۴	۳-۲-۳-۱ بتن بدون ریزدانه
۱۱۴	۳-۳-۱ بتن الیافی (تقویت شده با تار)
۱۱۷	۴-۳-۱ بتن خودتراکم (SCC)
۱۲۰	۵-۳-۱ بتن پلیمری
۱۲۰	۵-۳-۱-۱ بتن با پلیمر تزریقی (PIC)
۱۲۰	۵-۳-۲-۱ بتن پلیمری (PC)
۱۲۱	۵-۳-۳-۱ بتن پلیمری با سیمان پرتلند (PPCC)

۱۲۱	۶-۳- بتن پاشیده (شاتکریت)
۱۲۶	۷-۳- بتن با سنگدانه از پیش آکنده
۱۲۹	۸-۳- بتن زیر آب
۱۲۹	۱-۸-۳- بتن ریزی با جام‌های زیر آبی
۱۳۰	۲-۸-۳- بتن ریزی با قیف و لوله
۱۳۱	۱-۲-۸-۳- بتن ریزی با قیف و لوله به روش لوله تر
۱۳۲	۲-۲-۸-۳- بتن ریزی با قیف و لوله به روش لوله خشک
۱۳۳	۳-۲-۸-۳- بتن ریزی با سنگدانه از پیش آکنده
۱۳۴	۴-۲-۸-۳- بتن ریزی با پمپ
۱۳۵	۹-۳- بتن آب مکیده شده
۱۳۷	۱۰-۳- بتن فروسیمایی
۱۳۸	۱۱-۳- بتن غلنگی (RCC)

فصل چهارم: طرح اختلاط بتن

۱۴۳	۱-۴- روش ملی طرح مخلوط بتن
۱۴۳	۱-۱-۴- مبانی طرح
۱۴۳	۱-۱-۱-۴- حاشیه ایمنی مقاومت
۱۴۳	۲-۱-۱-۴- اندازه‌گیری روانی
۱۴۴	۳-۱-۱-۴- آب آزاد
۱۴۴	۴-۱-۱-۴- نوع سنگدانه
۱۴۵	۵-۱-۱-۴- دانه‌بندی سنگدانه
۱۴۵	۶-۱-۱-۴- سیمان مصرفی
۱۴۵	۷-۱-۱-۴- شرایط عمل‌آوری و سن آزمایش
۱۴۶	۸-۱-۱-۴- دوام
۱۴۶	۲-۱-۴- تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم
۱۴۶	۱-۲-۱-۴- دوام
۱۴۶	۲-۲-۱-۴- تعیین انحراف معیار
۱۴۸	۳-۱-۴- گام‌های روش طرح مخلوط
۱۴۹	۱-۳-۱-۴- گام اول، تعیین نسبت آب به سیمان
۱۵۰	۲-۳-۱-۴- گام دوم، انتخاب منحنی سنگدانه
۱۵۳	۳-۳-۱-۴- گام سوم، تعیین مقدار آب آزاد بتن
۱۵۵	۴-۳-۱-۴- گام چهارم، تعیین مقدار سیمان در بتن
۱۵۶	۱-۴-۳-۱-۴- فاکتور K برای خاکستر بادی
۱۵۶	۲-۴-۳-۱-۴- فاکتور K برای دوده سیلیسی
۱۵۷	۵-۳-۱-۴- گام پنجم، تعیین مقدار سنگدانه در بتن

۱۵۸	۲-۴-۲- روش ACI
۱۵۹	۲-۴-۱- گام اول. انتخاب اسلایپ
۱۵۹	۲-۴-۲- گام دوم. انتخاب اندازه حداکثر سنگدانه‌ها (D_{max})
۱۶۰	۲-۴-۳- گام سوم. تخمین آب مخلوط و مقدار هوا (A و W)
۱۶۱	۲-۴-۴- گام چهارم. انتخاب نسبت آب به سیمان (W/C)
۱۶۱	۲-۴-۵- گام پنجم. محاسبات مقدار سیمان (C)
۱۶۲	۲-۴-۶- گام ششم. تخمین مقدار سنگدانه درشت (CA)
۱۶۳	۲-۴-۷- گام هفتم. تخمین مقدار سنگدانه ریز (ماسه). (FA)
۱۶۵	۲-۴-۸- گام هشتم. تصحیح به جهت رطوبت بتن
۱۶۶	۲-۴-۹- گام نهم. ساخت و تنظیم پیمانه آزمایشی
۱۶۸	۲-۴-۱۰- مثالی از روش ACI
۱۷۶	منابع و مآخذ

www.ketab.ir

پیشگفتار

امروزه بتن را می‌توان یکی از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی در دنیا دانست که روز به روز بر کاربرد آن افزوده می‌شود. از این جهت توجه به مسائل و نکات علمی مربوط به بتن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. این کتاب به منظور آشنایی بیشتر و علمی‌تر با بتن و برای دانشجویان دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی و همچنین مهندسان و کارگرانی که در پروژه‌های مختلف به نحوی با بتن در ارتباط هستند، نگاشته شده است.

شاید با گذر از کنار یک ساختمان در حال احداث و مشاهده‌ی نحوه ساخت نامطلوب بتن، این سؤال برای شما هم پیش آمده باشد که چه خطراتی ممکن است در آینده این ساختمان را تهدید کند؟ بروز گسیختگی و خرابی در بسیاری از سازه‌های بتنی مانند ساختمان‌ها و پل‌های بتنی مؤید این مطلب است که متأسفانه بسیاری از مهندسين و کارگران به اندازه‌ی لازم با اصول تکنولوژی بتن آشنا نبوده و لازم است به نحوی این خلأ را جبران نمایند. هدف اصلی ما نیز بر طرف نمودن این ضعف می‌باشد ضمن این که دانشجویان رشته‌های عمران و معماری نیز می‌توانند از این کتاب به عنوان یک مرجع جامع تکنولوژی بتن استفاده نمایند.

آنچه این کتاب را از سایر کتاب‌های تکنولوژی بتن متمایز می‌نماید، سادگی و شیوایی متن و همچنین استفاده از عکس‌ها و شکل‌های متنوع جهت آموزش هر چه بهتر و قابل فهم‌تر مطالب می‌باشد. سیاست کلی در نحوه‌ی نوشتن متن و ارائه محتویات این کتاب مبتنی بر این مطلب است که اگر کسی تاکنون هیچ‌گونه آشنایی با بتن نداشته، با مطالعه این کتاب، به سطحی از آگاهی و دانش برسد که بتواند مسائل مرتبط با بتن در پروژه‌ها را درک کرده و در صورت نیاز اشکالات و اشتباهاتی که ممکن است در تهیه، اجرا و نگهداری بتن به وجود آید را تا حدی بر طرف نماید.

امید است که نشر این کتاب توانسته باشد گامی هر چند کوچک در جهت ارتقاء سطح علمی دانشجویان، مهندسان و کارگران در زمینه بتن برداشته باشد. قطعاً این کتاب نیز مانند هر کتاب دیگر دارای نواقصی می‌باشد که امیدواریم با ارائه نظرات و پیشنهادات خود ما را در رفع این نواقص یاری نمایید. در پایان از تمامی دوستانی که ما را در تهیه و نشر این کتاب یاری نمودند صمیمانه قدردانی و تشکر می‌نماییم.

گروه مؤلفین

آبان ۱۳۹۲

مقدمه

به هر ماده یا ترکیبی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد، بتن اتلاق می‌شود. بتن و فولاد متداول‌ترین مصالح مصرفی باربر ساختمان می‌باشند. این دو مصالح در بعضی مواقع مکمل یکدیگر بوده و در بعضی مواقع در رقابت با یکدیگر به کار می‌روند. دانش اغلب مهندسين در مورد بتن‌های ساختمانی کمتر از فولاد است. فولاد در شرایط به دقت کنترل‌شده‌ای تولید می‌گردد و خواص آن در آزمایشگاه تعیین شده و در برگه‌های مشخصات سازنده منعکس می‌شود اما قطعات بتنی اغلب در کارگاه ساخته می‌شوند و کیفیت آن‌ها عمدتاً به مهارت در ساخت و ریختن بتن بستگی خواهد داشت.



شکل ۱ فولاد و بتن.

بر خلاف فولاد، بیشمار طرح اختلاط مواد سازنده بتن (آب، سیمان و سنگدانه) وجود دارد. از این رو تولید بتنی مرغوب، مستلزم آگاهی از خواص و رفتار بتن در شرایط مختلف می‌باشد. در واقع اگرچه کیفیت سیمان (ماده اصلی سازنده بتن) مانند فولاد توسط سازنده تضمین می‌شود و با انتخاب سیمانی مناسب می‌توان اطمینان داشت که هرگز در اثر کیفیت سیمان، هیچ‌گونه نقص و خرابی در بتن پیش نخواهد آمد، اما مساله این است که سیمان در واقع به تنهایی یک ماده ساختمانی نیست بلکه بتن است که این خاصیت را دارا می‌باشد. نقش سیمان در بتن را می‌توان همان نقش پودر در کیک دانست که کیفیت کیک به خوب پختن آرد بستگی خواهد داشت. در واقع سیمان جزیی از بتن است و استاندارد بودن آن دلیلی بر مرغوب بودن بتن نیست اما برای تهیه بتن مرغوب استفاده از سیمان استاندارد ضروری می‌باشد.

برای تهیه بتن مناسب علاوه بر مواد اولیه، نحوه اجرا نیز نقش مهمی را ایفا می‌کند. ساخت بتن دستورالعمل‌های مشخصی دارد و بیشتر مشکلات بتن از اجرای ضعیف آن می‌باشد. در کتاب‌های مختلف مزایا و معایب بتن بر شمرده شده است که در جدول زیر لیست کاملی از آن‌ها ارائه گردیده است.

جدول ۱ مزایا و معایب بتن.

مزایای بتن	معایب بتن
مقاومت فشاری بسیار بالا	مقاومت کششی ضعیف (۱/۱۰ تا ۱/۱۵ مقاومت فشاری)
در دسترس بودن اکثر مواد سازنده بتن (شن، ماسه و آب) در کشور و ارزان تمام شدن آن نسبت به فولاد	هزینه‌ی بالای ساخت، نصب و برداشتن قالب‌ها، مهارها و شمع‌ها (۳۰ تا ۵۰ درصد کل هزینه‌ی اجرای سازه)
مقاومت بسیار خوب در برابر آتش (برعکس فولاد)	وزن بالاتر نسبت به فولاد در مقاومت یکسان (که بیشتر در دهانه‌های بلند ایجاد مشکل می‌کند)
مقاومت خوب در برابر رطوبت و آب	کنترل کیفیت پایین‌تر بتن نسبت به فولاد به دلیل تولید آن در کارگاه
صلبیت بالای بتن و در نتیجه احساس نکردن لرزش به هنگام وزش باد شدید و یا تحرک همسایگان	تغییرات حجمی وابسته به زمان و ایجاد ترک
نیاز به محافظت و نگهداری کمتر در مقایسه با فولاد	آلودگی بسیار زیاد محیط زیست در اثر تولید سیمان مصرفی برای ساخت بتن
عمر بهره‌دهی بسیار طولانی	
عدم نیاز به نیروهای اجرایی و کارگران با مهارت بالا	

با مروری بر مزایا و معایب بتن در جدول فوق، در مجموع می‌توان مزایای آن را برجسته‌تر از معایب آن دانست و با به کار بستن روش‌هایی مانند استفاده از میلگرد برای جبران ضعف کششی، تا حد زیادی بر معایب آن فائق آمد.

در این کتاب در چهار فصل کلی به مسائل مربوط به بتن پرداخته شده است. در فصل اول مواد تشکیل‌دهنده بتن یعنی سیمان، سنگ‌دانه و آب به طور مفصل مورد بحث قرار گرفته است. در فصل دوم خواص بتن مانند کارایی و دوام به همراه آزمایش‌های مربوط به این خواص بررسی گردیده است. در فصل سوم انواع بتن‌های ویژه مثل بتن سبک، بتن پلیمری، بتن

خودتراکم و ... که به طور ویژه‌ای ساخته می‌شوند و موارد مصرفی خاصی دارند معرفی گردیده‌اند و نهایتاً در فصل چهارم، به بحث بسیار مهم طرح اختلاط بتن و انواع استانداردهای موجود در این زمینه پرداخته شده است.

در پایان بر خود لازم می‌دانیم از تمام کسانی که در ارائه این اثر ما را یاری رساندند کمال تشکر را بنماییم. همچنین از همکاران نشر و چاپ، مخصوصاً جناب آقای محمد قجر، مدیر مسئول انتشارات هوشمند تدبیر که با تجربیاتشان همراه ما بودند، کمال سپاس را داریم.

www.ketab.ir