

بسم الله الرحمن الرحيم

بتن خود تراکم : فناوری و کاربرد

تالیف :

علی اکبر رمضانیاپور

(عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

علی کاظمیان

(کارشناس ارشد مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

بهار ۱۳۹۲

سرشناسه	: رمضانیانپور، علی اکبر، ۱۳۳۰ -
عنوان و نام پدیدآور	: بتن خودتراکم : فناوری و کاربرد/ تألیف علی اکبر رمضانیانپور، علی کاظمیان.
مشخصات نشر	: تهران : دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۱۲۰ ص.: مصور، جدول.
شابک	: 978-964-463-514-4 : ۶۸۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: بتن خودتراکم
شناسه افزوده	: کاظمیان، علی، ۱۳۴۲ -
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ب۲/ر۸/۴۳۹ TA
رده بندی دیویی	: ۶۲۵/۴۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۰۷۱۸۵۲



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۹۱/۱۰/۴ شورای چاپ
نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر به تصویب رسیده است

کتاب	: بتن خودتراکم : فناوری و کاربرد
تألیف	: علی اکبر رمضانیان پور - علی کاظمیان
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	: بهار ۱۳۹۲
تیراژ	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۶۸۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۱۴-۴ : ۶۶۴۹۸۸۶۸
	ISBN : 978-964-463-514-4

آدرس : خیابان ولیعصر روبروی خیابان بزرگمهر ، فروشگاه کتاب مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

این کتاب برای جلوگیری از انتشار غیر مجاز رمزگذاری شده است

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	I
فصل اول: معرفی بتن خودتراکم	
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- ویژگی‌های بتن خودتراکم	۲
۱-۳- تاریخچه و مزایای بتن خودتراکم	۳
۱-۴- نمونه‌هایی از کاربرد بتن خودتراکم	۶
۱-۴-۱- موزه ملی سرخپوستان در واشنگتن - ایالات متحده	۶
۱-۴-۲- ساخت پایه‌های ضربدری برج میلاد - تهران	۷
۱-۴-۳- دیوار عکس‌العمل در آزمایشگاه سازه دانشگاه شریروک - کانادا	۹
۱-۴-۴- بازار بزرگ Midsummer Place در لندن - انگلستان	۱۰
۱-۴-۵- تونل رسالت در تهران - ایران	۱۰
۱-۴-۶- طرح توسعه‌ی حرم حضرت معصومه (س) در قم - ایران	۱۱
۱-۴-۷- پل معلق Akashi-Kaiko در Kobe و Awaji-shima - ژاپن	۱۲
۱-۴-۸- بزرگراه طبقاتی شهید صدر در تهران - ایران	۱۲
منابع	۱۵
فصل دوم: اجزاء، نسبت‌های اختلاط و تولید بتن خودتراکم	
۱-۲- مقدمه	۱۷
۲-۲- اجزای بتن خودتراکم	۱۷
۱-۲-۲- افزودنی شیمیایی	۱۸
۲-۲-۲- سنگدانه	۲۳
۳-۲-۲- سیمان	۲۴
۴-۲-۲- مواد مکمل سیمان	۲۴
۳-۲- طرح مخلوط بتن خودتراکم	۲۷

۲۹	۲-۳-۱- روش عمومی
۳۱	۲-۳-۲- روش ACI
۳۳	۲-۳-۳- روش مرکز بین المللی تحقیقات سنگدانه ها در دانشگاه تگزاس (ICAR)
۴۰	۲-۳-۴- بررسی آماری نسبت های اختلاط بتن خودتراکم
۴۴	۲-۴-۴- تولید بتن خودتراکم (مسایل اجرایی)
۴۴	۲-۴-۱- اهمیت کنترل کیفی بتن خودتراکم
۴۵	۲-۴-۲- مسایل اجرایی تولید بتن خودتراکم
۵۰	۲-۴-۳- کاربرد بتن خودتراکم: حال و آینده
۵۱	منابع
۵۳	فصل سوم: بتن خودتراکم تازه: مشخصه های جریان
۵۳	۳-۱- مقدمه
۵۳	۳-۲- مشخصه های جریان بتن خودتراکم
۵۴	۳-۲-۱- نیازهای کارگاهی
۵۴	۳-۲-۲- مشخصه های رئولوژی
۵۹	۳-۳- اندازه گیری مشخصه های جریان بتن خودتراکم
۵۹	۳-۳-۱- آزمایش های کاربردی کارایی
۷۰	۳-۳-۲- آزمایش های بنیادی رئولوژی
۷۳	منابع
۷۵	فصل چهارم: ویژگی های بتن خودتراکم سخت شده
۷۵	۴-۱- مقدمه
۷۶	۴-۲- خواص مکانیکی
۷۶	۴-۲-۱- مقاومت فشاری
۷۷	۴-۲-۲- مقاومت کششی و خمشی
۷۸	۴-۳- پایداری ابعادی
۷۸	۴-۳-۱- مدول الاستیسیته
۷۹	۴-۳-۲- جمع شدگی خمیری

۸۰	۴-۳-۳- جمع شدگی ذاتی
۸۰	۴-۳-۴- جمع شدگی ناشی از خشک شدن
۸۱	۴-۳-۵- خزش
۸۲	۴-۴-۱- دوام بتن خودتراکم
۸۳	۴-۴-۱- ریزساختار بتن خودتراکم
۸۵	۴-۴-۲- نفوذپذیری و قابلیت انتشار در بتن خودتراکم
۸۸	۴-۴-۳- مقاومت در برابر یخ زدن- آب شدن و پوسته شدن در اثر کاربرد نمکهای یخ زدا
۸۹	۴-۴-۴- مقاومت در برابر کریناسیون
۹۰	۴-۴-۵- مقاومت در برابر آتش
۹۲	منابع
۹۵	فصل پنجم: پیشرفت‌ها در زمینه بتن خودتراکم
۹۵	۵-۱- مقدمه
۹۵	۵-۲- بتن خودتراکم توانمند
۹۸	۵-۳- بتن خودتراکم الیافی
۱۰۱	۵-۴- بتن خودتراکم سبک
۱۰۴	۵-۵- بتن خودتراکم کم سیمان (Eco-SCC)
۱۰۶	۵-۶- زمینه‌های تحقیقاتی آینده در ارتباط با بتن خودتراکم
۱۰۷	منابع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- موزه ملی سرخپوستان در واشنگتن (برگرفته از ACI237R-07) ۷
- شکل ۲-۱- برج میلاد- تهران ۸
- شکل ۳-۱- تراکم زیاد آرماتور و زاویه دار بودن پایه‌ی ضربدری شکل (برگرفته از رمضانیان پور و همکارانش (۱۳۸۸)) ۸
- شکل ۴-۱- دیوار عکس العمل در آزمایشگاه شریروک کانادا (برگرفته از ACI237R-07) ۹
- شکل ۵-۱- تونل رسالت- تهران ۱۱
- شکل ۶-۱- نمونه کتیبه‌های اجرا شده بوسیله بتن خودتراکم (برگرفته از میردامادی و همکارانش (۱۳۸۵)) ۱۱
- شکل ۷-۱- پل معلق Akashi-Kaiko در ژاپن ۱۲
- شکل ۸-۱- شمایی از مقطع عرضی پل بزرگراه شهید صدر ۱۳
- شکل ۹-۱- کارخانه‌ی ساخت قطعات پیش ساخته بزرگراه طبقاتی شهید صدر ۱۳
- شکل ۱۰-۱- حجم زیاد آرماتورهای بکار رفته در مقاطع تیرهای دروازه‌ای شکل- بزرگراه شهید صدر ۱۴
- شکل ۱۱-۱- نمونه هایی از تیر دروازه ای ساخته شده به کمک بتن خودتراکم - بزرگراه شهید صدر ۱۴
- شکل ۱۲-۱- ساخت و نصب قطعات پل ساخته شده با کمک بتن خودتراکم- بزرگراه شهید صدر ۱۵
- شکل ۱-۲- مکانیزم تولید حباب هوا، هنگامی که ترساز آنیونی با زئیر هیدروکربن غیرقطبی به خمیر سیمان افزوده می شود (برگرفته از Mehta و Monteiro (۲۰۰۵)) ۲۰
- شکل ۲-۲- راهکارهای متداول برای دست یابی به بتن خودتراکم ۲۸
- شکل ۳-۲- (الف) منحنی توانی ۰.۴۵ (ب) نمونه هایی از دانه بندی گسسته و پیوسته (برگرفته از گزارش ICAR (۲۰۰۷)) ۳۸
- شکل ۴-۲- درصد فراوانی استفاده از مواد جایگزین سیمان مختلف در مخلوط های بتن خودتراکم ۴۱
- شکل ۵-۲- درصد فراوانی بازه‌های نسبت آب به مواد سیمانی در مخلوط‌های بتن خودتراکم ۴۲
- شکل ۶-۲- درصد فراوانی بازه های میزان مواد پودری مصرفی در مخلوط‌های بتن خودتراکم ۴۳
- شکل ۷-۲- درصد فراوانی بازه‌های عیار سیمان مصرفی در مخلوط‌های بتن خودتراکم ۴۳
- شکل ۸-۲- بتن ریزی دیوار با دو روش مختلف (ثقلی و تحت فشار) (برگرفته از RILEM TC 188) ۴۷
- شکل ۹-۲- پایش فشار وارد بر قالب با کمک مبدل های فشار (برگرفته از RILEM TC 188) ۴۸
- شکل ۱۰-۲- تقویت سیستم قالب بخصوص در قسمت تحتانی (استفاده از بتن خودتراکم با سرعت بتن ریزی زیاد) (برگرفته از RILEM TC 188) ۴۸
- شکل ۱۱-۲- اهمیت بالای عمل آوری صحیح بتن خودتراکم (برگرفته از RILEM TC 188) ۴۹
- شکل ۱۲-۲- ایجاد طرح موج بر روی سطح عضو بتنی پیش ساخته (برگرفته از RILEM TC 188) ۵۰

- شکل ۲-۱۳- بتن ریزی دیوارهای پیش ساخته ساختمان‌های مسکونی بصورت کاملاً صنعتی با کمک بتن خودتراکم (برگرفته از RILEM TC 188) ۵۰
- شکل ۳-۱- مدل های آرایه شده برای بتن تازه ۵۵
- شکل ۳-۲- مشخصات ظاهری چند نمونه از رنومترهای بتن (برگرفته از گزارش ICAR (۲۰۰۷)) ۵۶
- شکل ۳-۳- نمایش تاثیر خاصیت تیکسوتروپی در آزمایش گام به گام (برگرفته از گزارش ICAR (۲۰۰۷)) ۵۷
- شکل ۳-۴- ظهور پدیده‌ی تیکسوتروپی در اندازه گیری های منحنی جریان (برگرفته از گزارش ICAR (۲۰۰۷)) ۵۸
- شکل ۳-۵- نمایش تفاوت ویژگی های ویسکوالاستیسیته و تیکسوتروپی (برگرفته از گزارش ICAR (۲۰۰۷)) ۵۹
- شکل ۳-۶- وجود حلقه ای از سلات در اطراف و لایه‌ی نازک آب در سطح بتن تازه - شاخص پایداری دیداری برابر ۲ ۶۲
- شکل ۳-۷- ابعاد و مشخصات ظاهری حلقه‌ی J بر اساس استاندارد ASTM ۶۲
- شکل ۳-۸- ابعاد و مشخصات قالب مورد استفاده در آزمایش جداشدگی در ستون بر اساس استاندارد ASTM ۶۴
- شکل ۳-۹- دستگاه انجام آزمایش نفوذ ۶۵
- شکل ۳-۱۰- ابعاد جعبه‌ی L شکل بر اساس استاندارد BS EN 12350-10:2010 (ابعاد بر حسب میلیمتر) ۶۶
- شکل ۳-۱۱- ابعاد قیف V شکل بر اساس (الف) استاندارد BS EN (ب) راهنمای EFNARC ۶۷
- شکل ۳-۱۲- ابعاد جعبه‌ی U شکل بر اساس راهنمای EFNARC (۲۰۰۲) ۶۸
- شکل ۳-۱۳- آزمایش پایداری الک ۶۹
- شکل ۳-۱۴- ابعاد دستگاه آزمایش پرکردن جعبه بر اساس راهنمای EFNARC (۲۰۰۲) ۶۹
- شکل ۳-۱۵- چند نمونه از رنومترهای بتن : BML (بالا- چپ)، BTRHEOM (بالا- راست)، Tattersal (پایین- راست) و IBB (پایین- چپ) ۷۱
- شکل ۴-۱- ارتباط بین مقاومت دو نیم شدن استوانه و مقاومت فشاری برای بتن خودتراکم و معمولی (Domone (۲۰۰۷)) ۷۸
- شکل ۵-۱- مقاومت فشاری مخلوط های بتن خودتراکم توانمند (Le و همکارانش (۲۰۱۲)) ۷۸
- شکل ۵-۲- برخی از انواع الیاف مورد استفاده در بتن (a) الیاف فولادی موج‌دار (b) الیاف پلی پروپیلن (c) ریزالیاف فولادی (d) ریز الیاف پلی پروپیلن (برگرفته از متا و مونته‌ئرو (۱۳۸۸)) ۷۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۱- ویژگی های بتن خودتراکم مصرفی در آزمایشگاه دانشگاه شریروک کانادا (برگرفته از ACI237R-07) ۱۰
- جدول ۱-۲- مقادیر پخش شدگی پیشنهادی توسط روش ACI برای شرایط مختلف در آزمایش جریان اسلامپ (برگرفته از Constantiner و Daczko (۲۰۰۱)) ۳۲
- جدول ۲-۲- مقادیر مواد بودری پیشنهادی در روش ACI ۳۳
- جدول ۳-۲- پیشنهادهایی برای پارامترهای مختلف در طرح مخلوط آزمون بتن خودتراکم به روش ACI ۳۳
- جدول ۴-۲- نقش پارامترهای تأثیرگذار در طرح مخلوط بتن خودتراکم (برگرفته از گزارش ICAR (۲۰۰۷)) ... ۳۴
- جدول ۵-۲- تأثیر پارامترهای مخلوط بتن خودتراکم بر کارایی (برگرفته از گزارش ICAR (۲۰۰۷)) .. ۳۶
- جدول ۶-۲- انتخاب اجزای خمیر سیمان (برگرفته از گزارش ICAR (۲۰۰۷)) ۳۹
- جدول ۱-۳- ضوابط پذیرش پیشنهادی بتن خودتراکم توسط راهنمای EFNARC (۲۰۰۲) ۶۰
- جدول ۲-۳- تعیین شاخص پایداری دیداری بر اساس استاندارد ASTM ۶۱
- جدول ۳-۳- تفسیر نتایج آزمایش حلقه ی L بر اساس استاندارد ASTM ۶۳
- جدول ۱-۴- نسبت های اختلاط مخلوط های بتنی (رمضانیان پور و همکاران (۱۳۹۰)) ۸۶
- جدول ۲-۴- نتایج آزمایش مقاومت فشاری مخلوط های بتنی (رمضانیان پور و همکاران (۱۳۹۰)) ۸۷
- جدول ۳-۴- نتایج آزمایش های نفوذ آب و نفوذ تسریع شده ی یون کلراید در نمونه های بتن خودتراکم (رمضانیان پور و همکاران (۱۳۹۰)) ۸۸
- جدول ۱-۵- نسبت های اختلاط و مقاومت فشاری مخلوط های بتن خودتراکم توانمند ۹۷
- جدول ۲-۵- نتایج برخی از آزمایش های صورت گرفته بر روی بتن توانمند در حالت تازه ۹۷
- جدول ۳-۵- نسبت های اختلاط برای ساخت بتن خودتراکم توانمند (Le و همکارانش (۲۰۱۲)) ۹۸
- جدول ۴-۵- اجزا و نسبت های اختلاط مخلوط های بتن خودتراکم فوق توانمند الیافی (Deeb و همکاران (۲۰۱۲)) ۱۰۰
- جدول ۵-۵- نسبت های اختلاط مخلوط های بتن خودتراکم سبک (Hubertova و Hela (۲۰۰۷)) ۱۰۳
- جدول ۶-۵- نتایج برخی از آزمایش های انجام گرفته بر روی مخلوط بتن خودتراکم تازه (Hubertova و Hela (۲۰۰۷)) ۱۰۳
- جدول ۷-۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری و کششی مخلوط های بتن خودتراکم سبک (Hubertova و Hela (۲۰۰۷)) ۱۰۴
- جدول ۸-۵- نسبت های اختلاط بتن خودتراکم کم سیمان ۱۰۴
- جدول ۹-۵- نتایج آزمایش های بتن خودتراکم کم سیمان در حالت تازه ۱۰۵

جدول ۵-۱۰- نتایج آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید و رده نفوذپذیری در برابر نفوذ یون کلراید بر اساس

استاندارد ASTM C 1202 ۱۰۵

جدول ۵-۱۱- نسبت های اختلاط بتن خودتراکم کم سیمان (Mueller و همکارانش (۲۰۱۰)) ۱۰۶

www.ketab.ir

پیش گفتار

با وجود گذشت سالها از ابداع بتن خودتراکم توسط محققین ژاپنی و تجربیات موفق کاربرد آن در پروژه‌های عمرانی در کشورهای مختلف دنیا، هنوز این نوع بتن در کشور ما بطور اصولی شناخته نشده و کاربرد آن محدود به چند پروژه خاص می‌شود. بطور کلی دو مورد را می‌توان به عنوان جدی‌ترین موانع در مسیر بکارگیری صحیح بتن خودتراکم در پروژه‌های عمرانی کشور مطرح نمود: مورد اول نوسانات زیاد و در برخی موارد کیفیت پایین مواد و مصالح و تولیدات کارخانجات داخلی می‌باشد که تولید بتن خودتراکم را با چالش‌های زیادی مواجه می‌کند. دومین مورد نیز عدم آشنایی مشاورین و کارفرمایان پروژه‌های دولتی و خصوصی با ویژگی‌ها و مزایای این نوع بتن می‌باشد. گاهی ذهنیت قدیمی مترادف دانستن بتن خودتراکم با بتن با روانی بالا و کیفیت پایین نیز بر این مشکلات دامن می‌زند. شناخت دقیق خواص بتن تازه، سخت شده و مسایل اجرایی بتن خودتراکم قطعاً می‌تواند به گسترش این نوع بتن در کشور و استفاده‌ی بجای آن در پروژه‌های عمرانی کمک کند.

در این کتاب سعی شده است تا از جنبه‌های مختلف به بررسی بتن خودتراکم پرداخته شود. پس از ارایه‌ی نکات کلی در مورد ویژگی‌ها و تاریخچه‌ی بتن خودتراکم در فصل اول، اجزای مورد استفاده، روش‌های طرح مخلوط و مسایل اجرایی تولید بتن خودتراکم در فصل دوم مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند.

در فصل سوم ویژگی‌های مورد انتظار در بتن خودتراکم تازه و روش‌های ارزیابی آنها، که از اهمیت بالایی برخوردار هستند، تشریح شده است. در ادامه، با توجه به دغدغه‌ی روزافزون دوام در سازه‌های بتنی، رفتار بتن خودتراکم سخت شده از منظر خواص مکانیکی و دوام در برابر عوامل مخرب در قیاس با بتن معمولی مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت نیز تحقیقات و پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌ی بتن خودتراکم در فصل پنجم ارایه شده است.

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از راهنمایی‌ها و نظرات ارزشمند آقایان مهندس احسان کامل، مهندس ساسان توکل و مهندس محمد حسین خزعلی کمال تشکر را داشته باشند. همچنین علی رغم تلاش فراوانی که برای تالیف کتاب شده است، قطعاً مطالب ارایه شده غاری از خطا نیست. بنابراین خوانندگان عزیز می‌توانند نظرات و پیشنهادات خود را به آدرس پست الکترونیکی ak_civil85@aut.ac.ir ارسال نموده و در ارتقای کیفی کتاب سهیم باشند.

علی اکبر رمضانیان پور

علی کاظمیان