

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

بررسی تأثیر ابعاد و نحوه کاربرد نانوذرات سیلیسی بر خواص مکانیکی و دوام بتن

دکتر یحیی یار

(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

دکتر طیبه پرهیزگار

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی)

دکتر سید حسام مدنی

(عضو هیئت علمی دانشگاه تحصیلات تکمیلی و فناوری پیشرفته رمان)

مهندس امیرمازیار رئیس قاسمی

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: ی - ۷۰۵

چاپ اول: ۱۳۹۳

عنوان و نام پدیدآور	بررسی تأثیر نوع، ابعاد و نحوه کاربرد نانوذرات سیلیسی بر عملکرد، خواص مکانیکی و دوام بتن / علیرضا باقری - [و دیگران]
مشخصات نشر	تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	۲۳۴ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۱۸-۹
وضعیت فهرست نویسی	فیا
یادداشت	[مولفان] علیرضا باقری، سیدحسام مدنی، طیبه پرهیز کار، امیرمازیار رئیس قاسمی.
یادداشت	کتابنامه
موضوع	نانوسیسیوم
موضوع	بتن - پایداری
شناسه افزوده	باقری، علیرضا، ۱۳۳۹-
شناسه افزوده	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
رده بندی کنگره	۱۳۹۲: ۴۲۰/۹۷/TA841A
رده بندی دیویی	۶۲۰/۱۹۲
شماره کتابشناسی ملی	۳۵۰۳۱۱۱
سویه نشر	۹۳/۷۹۸ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بررسی تأثیر نوع، ابعاد و نحوه کاربرد نانوذرات سیلیسی بر عملکرد، خواص مکانیکی و دوام بتن

دکتر علیرضا باقری، دکتر طیبه پرهیز کار، سیدحسام مدنی،

مهندس امیرمازیار رئیس قاسمی

شماره نشر: گ - ۷۰۵ چاپ اول: ۱۳۹۲

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس

شمارگان: ۱۰۰ نسخه

بها: ۹۵۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد

نشانی: تهران، بزرگراه شهید رجایی، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی،

خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۹۴۵-۱۶۹۶

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

president@bhrc.ac.ir

ISBN: 978-600-113-118-9

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۱۸-۹

سپاسگزاری و قدردانی

تهیه‌کنندگان این گزارش از مقام محترم ریاست و نیز معاونان محترم تحقیقات و اجرایی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی که امکانات لازم را برای انجام این تحقیق فراهم آورده‌اند، کمال تشکر را دارند. همچنین از کارکنان بخش بتن این مرکز که در مراحل اجرایی این تحقیق همکاری داشته‌اند، سپاسگزاری می‌شود.

www.ketab.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	ط
فصل اول: مقدمه و ضرورت انجام تحقیق حاضر	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۲-۱ ضرورت انجام تحقیق	۳
۳-۱ روند انجام مطالعه	۳
فصل دوم: روش‌های تولید و خصوصیات انواع نانوسیلیس	۵
۱-۲ تعاریف	۵
۲-۲ روش‌های مختلف تولید نانوسیلیس	۹
۱-۲-۲ روش‌های تولید سل سیلیس	۹
۱-۱-۲-۲ سل سیلیس تهیه شده از پلیمریزاسیون اسید پلیسیک	۹
۱-۱-۱-۲-۲ روش جابجایی یونی	۱۰
۲-۱-۲-۲ سل‌های سیلیس تهیه شده از طریق پایدارسازی نانوسیلیس‌های پیروژنیک	۱۴
۲-۲-۲ روش‌های تولید نانوسیلیس‌های پودری	۱۴
۱-۲-۲-۲ روش‌های تولید تر نانوسیلیس‌های پودری	۱۴
۱-۱-۲-۲-۲ روش سل - ژل	۱۴
۲-۱-۲-۲-۲ روش تولید نانوسیلیس رسوبی	۱۵
۲-۲-۲-۲ روش تهیه نانوسیلیس پیروژنیک (یا دوده‌ای)	۱۷
۳-۲ وضعیت شیمی سطح نانوسیلیس	۲۰
۱-۳-۲ گروه‌های سطحی	۲۰
۲-۳-۲ بارهای سطحی	۲۳
۴-۲ بررسی مشخصات میکروسیلیس‌های مورد استفاده در مصالح پایه سیمانی	۲۵
۵-۲ بررسی و مقایسه میکروسیلیس و نانوسیلیس‌های استفاده شده در مواد پایه سیمانی	۲۶
۶-۲ بررسی روش پایدارسازی ذرات جامد نانومقیاس در فاز مایع	۲۹
۱-۶-۲ پایدارسازی الکترواستاتیکی	۳۱
۲-۶-۲ پایدارسازی استریک	۳۱



۲-۶-۳ روش التراسونیک و سایر روش‌های مکانیکی..... ۳۲

فصل سوم: مروری بر ادبیات فنی در مورد تاثیر نانوسیلیس بر خصوصیات مواد پایه

سیمانی..... ۳۳

۱-۳ بررسی فعالیت پوزولانی نانوسیلیس در مقایسه با میکروسیلیس..... ۳۳

۲-۳ تأثیر نانوسیلیس بر ساختار ژل C-S-H و ریز ساختار..... ۳۹

۱-۲ پدیده یون مصالح سیمانی در حضور میکروسیلیس و نانوسیلیس..... ۴۲

۳-۳ بررسی تأثیر نانوسیلیس بر خواص رئولوژیکی مواد پایه سیمانی..... ۴۵

۵-۳ بررسی تأثیر نانوسیلیس بر خواص مکانیکی مواد پایه سیمانی..... ۴۶

۱-۵-۳ تأثیر نانوسیلیس بر مقاومت فشاری مصالح پایه سیمانی..... ۴۶

۲-۵-۳ تأثیر بر سایر پارامترهای مکانیکی..... ۵۰

۳-۵-۳ مطالعه انجام گرفته در ایران در مورد تأثیر نانوسیلیس بر خصوصیات مکانیکی

مصالح پایه سیمانی..... ۵۲

۶-۳ بررسی مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر نانوسیلیس بر خصوصیات دوامی مصالح

با پایه سیمانی..... ۵۴

۷-۳ جمع‌بندی..... ۶۰

فصل چهارم: مشخصات فیزیکی و شیمیایی نانوسیلیس‌ها و دوده سیلیسی تهیه شده

برای مطالعات آزمایشگاهی..... ۶۱

۱-۴ مواد انتخاب شده جهت انجام تحقیق..... ۶۱

۲-۴ مشخصات فیزیکی و شیمیایی انواع نانوسیلیس و دوده سیلیسی..... ۶۱

۳-۴ تعیین بی‌شکل یا کریستالی بودن نانوسیلیس‌ها و میکروسیلیس تأمین‌شده..... ۶۲

فصل پنجم: بررسی وضعیت پخش نانوذرات سیلیسی و دوده سیلیسی..... ۶۵

۱-۵ مقدمه..... ۶۵

۲-۵ برنامه آزمایشگاهی..... ۶۹

۳-۵ نتایج آزمایش‌های انجام گرفته برای بررسی وضعیت پخش نانوذرات دوده سیلیسی..... ۷۲

۱-۳-۵ وضعیت پخش نانوسیلیس‌های پایروژنیک و دوده سیلیسی در بتن پودری..... ۷۲

۲-۳-۵ بررسی وضعیت پخش نانوسیلیس‌های پایروژنیک و دوده سیلیسی در محیط آبی..... ۷۵

۳-۳-۵ بررسی وضعیت پخش ذرات در سل‌های نانوسیلیس تهیه‌شده به روش

پلیمریزاسیون اسیدسیلیسیک..... ۷۶

۴-۳-۵ بررسی اثر افزایش انرژی پخش در وضعیت پخش نانوسیلیس‌های پایروژنیک در

آب..... ۷۹

۵-۳-۵ بررسی اثر pH روی پخش نانوسیلیس‌های پایروژنیک..... ۸۱

۴-۵	روش پخش انتخاب شده برای پخش نانوسیلیس های پایروژنیک در محیط آبی جهت مطالعات آزمایشگاهی.....	۸۵
۵-۵	اثر محیط منفذی مواد پایه سیمانی بر وضعیت پخش نانوسیلیس ها.....	۸۸
۶-۵	بررسی فرضیات بر اساس اثر نانوپرکنندگی نانوذرات سیلیسی.....	۹۳
۷-۵	جمع بندی.....	۹۴

فصل ششم: واکنش پوزولانی نانوسیلیس ها و اثر آنها بر خواص خمیرهای سیمانی.....		
۱-۶	نرخ واکنش پوزولانی انواع نانوسیلیس با سطوح ویژه مختلف و تاثیر این مواد بر درجه هیدراسیون سیمان در خمیرهای سیمانی.....	۹۷
۱-۶-۱	روش های آنالیز حرارتی.....	۹۷
۱-۶-۲	محاسبه های مربوط به تغییر فاز محصولات واکنش سیمان.....	۹۹
۱-۶-۳	محاسبه مقدار پروکسیدکلسیم.....	۱۰۴
۱-۶-۳-۱	محاسبه مقدار پروکسیدکلسیم در مطالعات دیگران.....	۱۰۴
۱-۶-۳-۲	میزان مصرف آهک در خمیرهای آهکی حاوی نانوسیلیس و میکروسیلیس در تحقیق حاضر.....	۱۰۷
۱-۶-۳-۳	بررسی فعالیت پوزولانی نانوسیلیس ها از طریق اندازه گیری مصرف آهک در خمیرهای سیمانی در تحقیق حاضر.....	۱۱۱
۱-۶-۴	آب غیر قابل تبخیر و درجه هیدراسیون سیمان.....	۱۱۸
۱-۶-۴-۱	محاسبه آب غیر قابل تبخیر و درجه هیدراسیون در مطالعات دیگران.....	۱۱۸
۱-۶-۴-۲	محاسبه درجه هیدراسیون سیمان خمیرهای سیمانی در تحقیق حاضر.....	۱۲۰
۱-۶-۴-۳	تعیین درجه هیدراسیون سیمان.....	۱۲۲
۱-۶-۵	تاثیر انواع نانوسیلیس با سطوح ویژه مختلف بر سایر خواص رادپایه سیمانی.....	۱۲۶
۱-۶-۵-۱	زمان گیرش.....	۱۲۷
۱-۶-۵-۲	مقاومت فشاری.....	۱۳۱
۱-۶-۵-۳	تخلخل سنجی جیوه ای.....	۱۳۳
۱-۶-۵-۴	جمع بندی.....	۱۳۵

فصل هفتم: بررسی تاثیر نوع و ابعاد نانوذرات سیلیسی بر خواص مکانیکی و دوام ملات.....		
۱-۷	مواد و نحوه اختلاط.....	۱۳۷
۲-۷	روش های آزمایش.....	۱۴۰
۳-۷	نتایج و بحث.....	۱۴۱
۳-۷-۱	مقدار فوق روانساز لازم برای دستیابی به سیلان مورد نظر ملات های سیمانی.....	۱۴۱
۳-۷-۲	مقاومت فشاری.....	۱۴۳
۳-۷-۳	مقاومت الکتریکی.....	۱۵۱

۱۵۹	۴-۳-۷ جذب آب
۱۶۰	۵-۳-۷ مقاومت خمشی
۱۶۱	۴-۷ جمع‌بندی
فصل هشتم: بررسی تأثیر نوع و ابعاد نانوذرات سیلیسی بر خواص مکانیکی و دوام بتن	
۱۶۳	۱-۱ مصالح استفاده‌شده
۱۶۳	۲-۱ نحوه ساخت و قالب‌گیری مخلوط‌ها
۱۶۵	۳-۱ روش‌های آزمایش
۱۶۶	۲-۸
۱۷۲	۱-۲-۸ از آب مخلوط‌های بتنی
۱۷۲	۲-۲-۸ مقاومت فشاری
۱۷۳	۳-۲-۸ مقاومت کششی
۱۷۶	۴-۲-۸ نتایج نفوذ سنجی شده یون کلر (RCPT)
۱۸۴	۵-۲-۸ ضرایب آزمون خوردگی سنجی شده یون کلر (RCMT)
۱۸۹	۶-۲-۸ جذب آب نهایی مخلوط‌های بتن
۱۹۲	۳-۸ همبستگی بین نتایج آزمایشگاهی
۱۹۳	۴-۸ تأثیر استفاده همزمان نانوسیلیس و سده سیلیسی بر خواص بتن
۱۹۵	۵-۸ جمع‌بندی
۱۹۷	فصل نهم: نتیجه‌گیری
۱۹۹	مراجع
۲۰۳	

چکیده

مطالعه حاضر به بررسی تأثیر نوع و ابعاد نانوسیلیس بر خواص مکانیکی و دوام مواد پایه سیمانی می‌پردازد. بررسی‌های توزیع ابعادی نشان می‌دهند که نانوسیلیس‌های پایروژنیک در حالت کلوخه‌ای هستند و پخش مؤثر آنها در محیط‌های آبی با دشواری‌های بسیار همراه است. لیکن سل‌های نانوسیلیس دارای پخش مناسب به صورت ذرات مجزا و غیر کلوخه در محیط آبی هستند. نکته قابل توجه این است که پس از افزودن نانوسیلیس‌ها به مخلوط‌های پایه سیمان، یون‌های دوظرفیتی موجود در آب منفذی سیمان باعث کلوخه‌شدگی قابل توجه این مواد می‌شود. بر این اساس، فرضیات بر مبنای بهبود ریزساختار مواد پایه سیمان به علت ریزپرکنندگی با این مواد با چالش‌های جدی مواجه هستند. نتایج آزمایش‌های ترموگرافتری روی خمیره‌های آهکی و سیمانی نشان‌دهنده واکنش پوزولانی بسیار سریعی در نانوسیلیس‌ها در مقایسه با دوده سیلیسی است و با افزایش سطح ویژه سرعت واکنش آنها بیشتر می‌شود. ضمناً سرعت واکنش پوزولانی نانوسیلیس‌های پایروژنیک قدری بهتر از سل‌های نانوسیلیس مشاهده گردید. همچنین نتایج نشان می‌دهند که نانوسیلیس‌ها اثر تسریع‌کنندگی بر هیدراسیون سیمان در سنین اولیه دارند، اما با گذشت زمان سبب کاهش درجه هیدراسیون سیمان در مقایسه با نمونه‌های کنترل می‌گردند.

هرچند سرعت واکنش پوزولانی نانوسیلیس‌های ریزتر در سنین اولیه بیشتر از انواع درشت‌تر هستند، لیکن نانوسیلیس‌های درشت‌تر دارای عملکرد بهتر در بهبود شاخصه‌های دوام همچون محدود کردن نفوذ یون کلرید از سن ۲۸ روز و کمتر هستند. جالب است دوده سیلیسی، که به مراتب سرعت واکنش پوزولانی کندتری نسبت به نانوسیلیس‌ها دارد، در سن ۲۸ روز بهتر از نانوسیلیس‌های ریز عمل می‌کند و رفتار مشابهی با نانوسیلیس‌های درشت دارد و در سن ۹۰ روز حتی از نانوسیلیس‌های درشت نیز پیشی گرفته است. هرچند نانوسیلیس‌ها اثر تسریع‌کنندگی بر روند کسب مقاومت مخلوط‌های سیمانی، به ویژه در سنین اولیه دارند، لیکن در سن ۲۸ روز از مقدار ارتقای اولیه در مقاومت به صورت قابل توجهی کاسته می‌شود. در سن ۹۰ روز عملکرد اغلب نانوسیلیس‌ها ضعیف‌تر از دوده سیلیسی است. بنابراین به نظر می‌رسد تنها مزیت نانوسیلیس‌ها نسبت به دوده سیلیسی عملکرد سریع‌تر آنها در ارتقای خواص بتن در سنین اولیه باشد.