



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



جمهوری اسلامی ایران

وزارت راه و شهرسازی

کاربرد خطوط سه جزئی مصالح سیمانی جهت بهبود دوام بتن

مجری: دکتر جهار سبحانی

همکار: دکتر بابک احمدی

شماره نشر: گ - ۷۹۳

چاپ اول: ۱۳۹۶

سرشناسه
 عنوان و نام پدیدآور
 : سبجانی، جعفر، ۱۳۵۶
 : کاربرد مخلوط سه جزئی مصالح سیمانی جهت بهبود دوام بتن / مجری جعفر سبجانی؛ همکار بابک احمدی
 مشخصات نشر
 مشخصات ظاهری
 فروست
 شابک
 وضعیت فهرست نویسی
 یادداشت
 موضوع
 موضوع
 موضوع
 موضوع
 : فیا
 : کتابنامه
 : بتن -- مخلوط کردن
 Concrete -- Mixing :
 : بتن -- افزوده ها
 Concrete -- Stability -- Testing :
 : احمدی، بابک، ۱۳۶۰
 : مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
 Road, Housing and Urban Development Research Center :
 ۱۳۹۶ ۲۵/۳ تا ۴۹/۳
 : ۶۶۷/۸۹۳
 : ۶۸۶۹۳۷۷ : شماره کتابشناسی



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نام کتاب: کاربرد مخلوط سه جزئی مصالح سیمانی جهت بهبود دوام بتن

مجری: جعفر سبجانی

همکار: بابک احمدی

شماره نشر: گ-۷۹۳

ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۶

تیراژ: ۱۰۰ نسخه

قطع: وزیری

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

قیمت: ۷۵۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-113-169-1

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۶۹-۱

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
 کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر برای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محفوظ است.

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ... نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶ تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۳۸۴۱۳۲
 پست الکترونیکی: pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http://pub.bhrc.ac.ir

پیشگفتار

بتن به عنوان پرمصرف‌ترین ماده ساختمانی و نیاز به آن به منظور توسعه و احداث زیرساخت‌های عمرانی کشور اهمیت ویژه‌ای دارد. سیمان، مهمترین جزء این ماده ساختمانی است و هم‌اکنون، ایران بعنوان یکی از ده کشور اول تولیدکننده سیمان قرار گرفته است و لذا بخش عمده‌ای از اقتصاد کشور با این ماده ساختمانی در ارتباط است. تولید سیمان به عنوان یکی از مواد اصلی بتن، فرآیندی است که با مصرف انرژی بسیار زیاد و تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی همراه است. مطالعات نشان داده است که تولید هر تن سیمان پرتلند، علاوه بر مصرف زیاد انرژی و سوخت‌های فسیلی با ارزش، حدود یک تن گاز دی‌اکسیدکربن نیز وارد هوا می‌کند. مصرف انرژی، بزرگترین نگرانی زیست‌محیطی در ارتباط با تولید بتن و سیمان است. استفاده از مواد پوزولانی به عنوان جایگزین بخشی از سیمان پرتلند، یکی از راهکارهای اساسی در زمینه کاهش مصرف سیمان است که به واسطه آن آلودگی زیست‌محیطی ناشی از تولید سیمان کاهش می‌یابد و از سوی دیگر صرفه‌جویی اقتصادی مناسبی چه از نظر کاهش هزینه‌های تولید و چه از نظر کاهش هزینه‌های انرژی صنعت ساختمان حاصل خواهد شد. علاوه بر این جایگزینی سیمان پرتلند با چنین موادی موجب افزایش دوام بتن و عمر مفید سازه‌های بتنی می‌شود که این امر در بلندمدت مایه‌ای اقتصادی زیادی را عاید کشور کرده و کاهش هزینه‌ها را به دنبال خواهد داشت.

تا کنون، اکثر تحقیقات انجام شده متمرکز بر روی جایگزینی یک نوع ماده پوزولانی (مخلوط دو جزئی) مطرح بوده است، لکن از آنجا که مواد پوزولانی دارای سرعت واکنش پذیری متفاوت است، جایگزینی بخشی از سیمان با ترکیبی از مواد پوزولانی مختلف می‌تواند هم‌افزایی داشته باشد و منجر به بهبود خواص بتن در سنین کوتاه مدت و بلند مدت گردد. در تحقیق حاضر، مخلوط‌های بتنی دو جزئی و سه جزئی با ترکیبی از سیمان پرتلند به همراه مواد پوزولانی رایج در کشور شامل دوده سیلیس، روباره، زئولیت و پومیس مورد تحقیق قرار گرفته است. امید است با انجام تحقیقات

اینچنین و استفاده از نتایج آن در صنعت، گامی در جهت توسعه پایدار با کاهش مصرف انرژی‌های محدود فسیلی، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و افزایش عمر مفید سازه‌های بتنی برداشته شود.

محمد شکرچی زاده

ریس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

www.ketab.ir



پیشگفتار مجریان

در این گزارش خواص بتن‌های ساخته شده از ترکیب دو سه جزئی مواد مکمل سیمانی شامل دوده سیلیس، زئولیت، سرباره کوره آهنگدازی و پوزولان طبیعی خاش از نظر مکانیکی و خواص دوام مورد بررسی قرار گرفته است. این گزارش مشتمل بر چهار فصل است که در فصل نخست مقدمه و کلیات ارائه شده و بدنبال آن در فصل دوم پیشینه تحقیق مورد کنکاش قرار گرفته است. در فصل سوم مواد و مصالح و طرح مخلوط‌ها معرفی و در نهایت در فصل چهارم نتایج این پژوهش ارائه شده است.

www.ketab.ir



فهرست مطالب

شماره صفحه

عنوان

۱	فصل اول- کلیات
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ مواد سیمانی مکمل و سیمان‌های آمیخته
۴	۳-۱ پوزولان به عنوان مواد سیمانی مکمل در صنعت بتن
۵	۴-۱ و آتش پوزولانی
۶	۵-۱ پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی
۶	۱-۵-۱ پوزولان‌های طبیعی
۷	۲-۵-۱ پوزولان‌های معدنی
۹	۶-۱ شناسایی فازها و مدل سازی ترمودینامیکی
۱۱	۱-۶-۱ خواص S-H-S در سیمان پخته
۱۵	فصل دوم - مروری بر تحقیقات گذشته
۱۵	۱-۲ بررسی خواص ترکیبی مواد سیمان مکمل دوجزئی
۱۵	۱-۱-۲ سیستم دوجزئی سیمان-دوده سیلیس
۱۶	۲-۱-۲ سیستم دوجزئی سیمان-خاکستر بادی
۱۶	۲-۲ بررسی خواص ترکیبی مواد سیمانی مکمل سه جزئی
۳۹	فصل سوم - مشخصات مواد و مصالح و روش‌های آزمایشگاهی
۳۹	۱-۳ مقدمه
۴۰	۲-۳ مواد و مصالح
۴۰	۱-۲-۳ مواد سیمانی
۴۰	۱-۱-۲-۳ سیمان پرتلند
۴۳	۲-۱-۲-۳ دوده سیلیس
۴۳	۳-۱-۲-۳ زئولیت طبیعی
۴۴	۴-۱-۲-۳ پوزولان خاش
۴۴	۵-۱-۲-۳ روباره
۴۵	۲-۲-۳ مصالح سنگی



۴۷	۳-۲-۳ آب
۴۷	۴-۲-۳ فوق‌روان‌کننده
۴۷	۳-۳ روش انجام آزمایش‌ها
۴۷	۱-۳-۳ واکنش پذیری پوزولانی
۴۷	۲-۳-۳ آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی
۴۸	۳-۳-۳ آزمایش جذب آب در ۳۰ دقیقه و ۲۴ ساعت
۴۸	۴-۳-۳ آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار
۵۰	۵-۳-۳ آزمایش مقاومت الکتریکی بتن
۵۲	۶-۳-۳ آزمایش جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن
۵۵	فصل چهارم مطالعات آزمایشگاهی و تحلیل نتایج
۵۵	۴-۱ مقدمه
۵۵	۴-۲ واکنش‌پذیری پوزولان‌ها، مورد استفاده
۵۹	۴-۳ طرح مخلوط‌های بتن در مرحله اول
۶۲	۴-۴ آزمایش‌های انجام گرفته مرحله اول
۶۲	۴-۴-۱ مقاومت فشاری بتن
۷۲	۴-۴-۲ مقاومت الکتریکی
۷۶	۴-۵ تحلیل نتایج مرحله اول مشخصات بتن
۷۶	۴-۵-۱ مقاومت فشاری بتن
۷۸	۴-۵-۱-۱ تأثیر سن آزمایش
۷۹	۴-۵-۱-۲ مقایسه مخلوط‌های دوجزئی با طرح شاهد
۷۸	۴-۵-۱-۳ مخلوط‌های سه‌جزئی حاوی زئولیت و پوزولان خاش
۷۹	۴-۵-۱-۴ مخلوط‌های سه‌جزئی حاوی زئولیت و دوده سیلیس
۸۰	۴-۵-۱-۵ مخلوط‌های سه‌جزئی حاوی پوزولان خاش و دوده سیلیس
۸۰	۴-۵-۱-۶ مخلوط‌های سه‌جزئی حاوی روباره و پوزولان خاش
۸۱	۴-۵-۱-۷ مخلوط‌های سه‌جزئی حاوی روباره و زئولیت
۸۱	۴-۵-۱-۸ مخلوط‌های سه‌جزئی حاوی روباره و دوده سیلیس
۸۲	۴-۵-۱-۹ مقایسه مخلوط‌های سه‌جزئی با هم
۸۲	۴-۶ جمع‌بندی نتایج مرحله اول بتن
۸۳	۴-۷ مرحله دوم مطالعات آزمایشگاهی



- ۸۴ ۱-۷-۴ مقاومت فشاری
- ۸۷ ۲-۷-۴ مقاومت الکتریکی
- ۸۸ ۳-۷-۴ جذب آب نیم ساعته
- ۸۹ ۴-۷-۴ جذب آب ۲۴ ساعته
- ۹۰ ۵-۷-۴ نفوذ آب تحت فشار
- ۹۲ ۶-۷-۴ مهاجرت تسریع شده یون کلرید
- ۹۳ ۷-۷-۴ جمع شدگی ناشی از خشک شدن
- ۹۴ ۸-۴ جمع بندی
- ۹۷ مراجع

www.ketab.ir

چکیده

تحقیق پیش رو ایده استفاده از ترکیب همزمان چند نوع ماده جایگزین سیمان به منظور استفاده بهینه از خواص هر یک را در قالب مخلوط‌های دوجزئی (Binary) و سه‌جزئی (Ternary) دنبال می‌کند. بدین منظور یک برنامه آزمایشگاهی شامل دو فاز طراحی شد. فاز اول مربوط به بررسی خواص مقاومت فشاری و الکتریکی ۳۰ طرح مخلوط بتنی چند جزئی می‌باشد که این مخلوط‌ها شامل یک مخلوط بتن شاهد، ۱۳ مخلوط دوجزئی (شامل سیمان پرتلند و یک نوع ماده جایگزین سیمان) و ۱۶ مخلوط سه جزئی (شامل سیمان پرتلند و دو نوع ماده جایگزین سیمان) می‌باشد. در این مرحله مقاومت الکتریکی این طرح مخلوط‌ها علاوه بر مقاومت فشاری و همزمان مورد سنجش قرار گرفت. با استفاده از مدل‌های ریاضی مورد تحلیل و بهینه سازی قرار گرفت. در فاز دوم این مطالعه بر اساس بهینه‌سازی و مدل‌های ریاضی تعداد ۱۱ طرح مخلوط بتن برای بررسی پایداری انتخاب گردید. پس از ساخت این طرح مخلوط‌ها به عنوان طرح‌های نهایی، آزمون سی‌سی‌سی و دوام شامل آزمون مقاومت فشاری، مقاومت الکتریکی، جذب آب نیم ساعت و جذب آب ۲۴ ساعت، تعیین عمق نفوذ آب و میزان نفوذ یون کلراید و همچنین آزمون خفج شدگی ناشی از خشک شدن بر روی آنها انجام گرفت. پس از تحلیل نتایج مشخص شد که استفاده از مواد پوزولانی در ترکیب‌های چند جزئی بر حسب نوع ماده پوزولانی رفتار خمایشی را نشان می‌دهد. بر این اساس مشخص شد استفاده از پوزولان‌های دوده سیلیس و زئولیت طبیعی به علت واکنش‌پذیری مناسب می‌تواند تاثیر مثبتی بر بهبود رفتار مقاومتی بتن در ترکیب‌های دو و یا سه جزئی داشته باشد، این در حالی است که استفاده از پوزولان‌های خاخاش و روباره به دلیل واکنش‌پذیری کمتر ممکن است مقاومت بتن را در ترکیب‌های دو و یا سه جزئی کاهش دهند. به طور کلی طرح مخلوط بتن‌های سه جزئی حاوی دوده سیلیس و زئولیت نسبت به طرح مخلوط‌های دو جزئی آنها بهبود نسبی داشته است.

کلمات کلیدی: مواد جایگزین سیمان، خواص مکانیکی، دوام بتن، بهینه‌سازی، مخلوط