دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته وگرایش :

مهندسی عمران – سازه

عنوان :

بررسی خواص مقاومتی و دوام بتن های حاوی سیمان های سه جزئی مبتنی بر دوده سیلیسی و سرباره کوره آهنگدازی

استاد راهنما :

دکتر علیرضا باقری

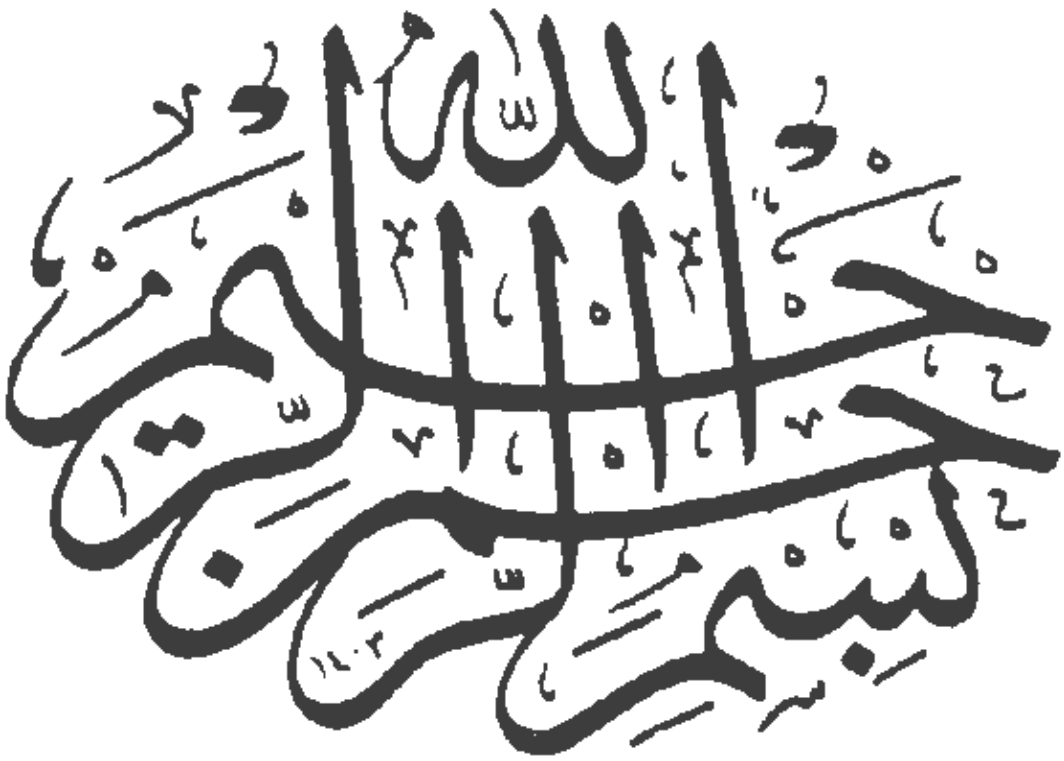
دانشجو :

محمد مهدی معلمی

شماره دانشجویی :

۸۷۰۳۶۹۴

پاییز ۸۹


بسم الله الرحمن الرحيم

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه :

بررسی خواص مقاومتی و دوام بتن های حاوی سیمان های سه جزئی مبتنی بر دوده سیلیسی و سرباره کوره آهنگدازی

استاد راهنما : آقای دکتر علیرضا باقری

نام دانشجو : محمد مهدی معلمی

شماره دانشجویی : ۸۷۰۳۶۹۴

اینجانب محمد مهدی معلمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش مهندسی سازه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط اینجانب انجام پذیرفته و صحت و اصالت مطالب ارائه شده مورد تأیید می باشد و در موارد کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ نهاد علمی و غیر علمی و یا ارگان دیگری ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت نموده ام.

امضاء :

تاریخ :

حق طبع و نشر مالکیت نتایج

۱ -حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن است. هر گونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده عمران دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی مجاز است. ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده موجود باشد .

۲ -کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی است و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیم به

حضرت صاحب الامر ، حجت ابن الحسن عسگری (ع)

امید است

این اندک تلاش علمی انجام شده

مورد توجه ایشان قرار گیرد

تقدیر و تشکر

در اینجا وظیفه خود می دانم که مراتب تشکر و قدر دانی خود را از تمامی دوستان و عزیزانی که اینجانب را در مراحل مختلف انجام و تدوین این پایان نامه یاری نمودند ابراز دارم. عزیزانی همچون :

- جناب آقای دکتر علیرضا باقری، استاد راهنمای محترم پروژه، که در تمامی مراحل راهنما و مشاور اینجانب بوده اند .
- جناب آقای مهندس حامد زنگانه، کارشناس ارشد آزمایشگاه بتن دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، که در انجام این پروژه و ویرایش این اثر، اینجانب را یاری نمودند .
- از دوستان خوبم آقایان مهندس محمد علی سیفی مریان، مهندس هادی علیزاده و مهندس جواد صانعی که در انجام تمامی مراحل پروژه اینجانب را یاری نمودند .
- برادر بزرگوارم جناب آقای عباس زاده، تکنسین محترم آزمایشگاه بتن دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، که بدون مساعدت و کمک ایشان انجام پروژه کاری مشکل می بود .

چکیده

استفاده از مواد مکمل سیمانی جهت بهبود دوام بتن در حال افزایش می باشد . اخیرا توسط برخی از محققین استفاده از دو ماده مکمل سیمانی به همراه سیمان که با نام مخلوط های سه جزئی شناخته می شوند بمنظور دستیابی به بتن های توانمند با روند مطلوب توسعه خواص دوام پیشنهاد شده است .

سرباره کوره آهن گدازی یکی از ضایعات تولید آهن خام است که می تواند به عنوان ماده مکمل سیمانی در تولید سیمان آمیخته به کار رود . علارغم حجم زیاد سرباره کوره آهنگدازی تولید شده در کشور ، واکنش زایی این سرباره نسبتاً کم بوده و لذا مصرف آن در تولید سیمان آمیخته محدود می باشد . لذا بررسی روش های بهبود عملکرد سرباره تولید داخل کشور در بتن از نیازهای مهم تحقیقاتی کشور می باشد . در این تحقیق تاثیر استفاده توأم از مقادیر ۱۵ ، ۳۰ و ۵۰ درصد سرباره به همراه ۲,۵ ، ۵ و ۷,۵ درصد دوده سیلیسی ، بر روی دوام بتن های توانمند به صورت سه جزئی بررسی شده است . همچنین عملکرد این مخلوط های سه جزئی با عملکرد مخلوطهای دوجزئی حاوی هریک از این مواد مکمل سیمانی به صورت مجزا مقایسه شده است . آزمایش های انجام شده شامل مقاومت فشاری و خمشی ، مقاومت الکتریکی ، آزمایش تسریع شده نفوذ یون کلر RCPT ، آزمایش تسریع شده انتقال یون کلر RCMT ، جذب حجمی و عمق نفوذ آب تحت فشار بوده اند .

نتایج نشان می دهد استفاده از سرباره باعث افت مقاومت نسبت به بتن کنترل شده که با افزایش مقدار مصرف سرباره این افت بیشتر شده است . استفاده از دوده سیلیسی باعث بهبود قابل توجهی در روند کسب مقاومت بتن های حاوی مقادیر کم تا متوسط سرباره شده است . لیکن در مقادیر زیاد مصرف سرباره ، استفاده از دوده سیلیسی عملکرد مؤثری در ارتقاع خواص مقاومتی مخلوط ها نداشته است . دوام بتن های دو جزئی حاوی سرباره در سن ۲۸ روز قدری کمتر از بتن کنترل بوده است لیکن در سنین بالاتر نسبت به بتن کنترل دوام بهتری دارند . با افزودن دوده سیلیسی به بتن های حاوی سرباره ، دوام آنها بهبود قابل توجهی می یابد به نحوی که در سن ۲۸ روز نیز نسبت به بتن کنترل عملکرد بهتری دارند .

کلید واژه : سرباره کوره آهنگدازی ، دوده سیلیسی ، مقاومت فشاری ، مقاومت الکتریکی ، RCPT ، RCMT

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه ۱
۱-۱) کلیات ۱
۱–۲) هدف و روش کار ۳
فصل دوم : سرباره کوره آهن‌گدازی و عملکرد سیمان های دو جزئی حاوی سرباره در بتن ۵
۲-۱) تاریخچه استفاده از سرباره کوره آهن‌گدازی آسیاب شده ۵
۲-۲) تعریف پاره ای از اصطلاحات در صنعت تولید سرباره و سیمان ۵
۲-۲-۱) blast furnace slag (b-f-s) ۵
۲-۲-۲) air-coold blast-furnace ۶
۲-۲-۳) expanded blast-furnace slag ۶
۲-۲-۴) grannlated blast-furnace slag (G B F S) ۶
۲-۲-۵) ground grannlated blast-furnase slag (G G B F S) ۶
۲-۲-۶) slag cement (sc) ۶
۲-۲-۷) سیمان هیدرولیکی ۶
۲-۲-۸) سیمان غیرهیدرولیکی ۶
۲-۳) منشأ تولید سرباره کوره آهن‌گدازی ۷
۲-۴) ملاحظات زیست محیطی ۷
۲-۵) خواص فیزیکی و شیمیایی ۸
۲-۵-۱) سرباره از دیدگاه شیمیایی ۸
۲-۵-۲) سرباره از دیدگاه فیزیکی ۱۰
۲-۶) تأثیر سرباره بر خواص بتن تازه ۱۰
۲-۶-۱) کارایی ۱۰
۲-۶-۲) آب انداختن ۱۱
۲-۶-۳) زمان گیرش ۱۲
۲-۷) تأثیر سرباره بر روی بتن سخت شده ۱۳
۲-۷-۱) مقاومت ۱۳
۲-۷-۲) تأثیر عمل‌آوری بتن بر عملکرد ۱۷
۲-۷-۳) تأثیر دما روی روند کسب مقاومت ۱۸
۲-۷-۴) مدول الاستیسیته ۱۸
۲-۷-۵) خزش ۱۸

۲-۷-۶) جمع‌شدگی خودبه‌خودی ۱۸
۲-۷-۷) دمای هیدراسیون ۱۹
۲-۷-۸) تراوایی ۲۰
۲-۷-۹) مقاومت در مقابل تهاجم سولفات ۲۱
۲-۷-۱۰) مقاومت در برابر واکنش قلیایی- سیلیسی (ASR) ۲۳
۲-۷-۱۱) خوردگی آرماتور ۲۴
۲-۸) بررسی تجزیه شیمیایی سرباره ایرانی و مقایسه آن با نوع خارجی ۲۸

فصل سوم : دوده سیلیسی و سیمان دوجزئی با دوده سیلیسی ۳۰
۳-۱) معرفی دوده سیلیسی ۳۰
۳-۱-۱) مقدمه ۳۰
۳-۱-۲) انواع دوده سیلیسی ۳۱
۳-۱-۳) مشخصات دوده سیلیسی ۳۲
۳-۱-۴) خواص فیزیکی دوده سیلیسی ۳۳
۳-۱-۵) ترکیب شیمیایی دوده سیلیسی ۳۴
۳-۱-۶) ساز و کار تأثیر دوده سیلیسی بر خمیر سیمان ۳۶
۳-۱-۷) کاربرد بتن های حاوی دوده سیلیسی ۳۷
۳-۲) تاثیر دوده سیلیسی روی خواص بتن تازه ۳۸
۳-۲-۱) کارایی ۳۸
۳-۲-۲) جداشدگی سنگدانه ها ۳۸
۳-۲-۳) چگالی بتن تازه ۳۸
۳-۲-۴) آب انداختگی و جمع شدگی پلاستیک ۳۹
۳-۳) تاثیرات دوده سیلیسی برخواص بتن سخت شده ۳۹
۳-۳-۱) ساز و کار عملکرد دوده سیلیسی در بتن سخت شده ۳۹
۳-۳-۲) مقاومت فشاری ۴۰
۳-۳-۳) مدول الاستیسته ۴۱
۳-۳-۴) مقاومت خمشی ۴۱
۳-۳-۵) دوام بتن حاوی دوده سیلیسی ۴۱
۳-۳-۵-۱) مقاوت در برابر نفوذ یون کلرید در بتن ۴۲
۳-۳-۵-۲) مقاومت الکتریکی ۴۳
۳-۳-۵-۳) جذب آب حجمی ۴۳

فصل چهارم : بررسی سیمان‌های سه‌جزئی و اثر انها روی مقاومت و دوام بتن با تاکید بر سیمان‌های سه‌جزئی مبتنی بر سرباره کوره آهن گدازی و دوده سیلیسی ۴۴
۴-۱) الزامات فیزیکی سیمان سه‌جزئی ۴۵

۴-۲) خواص سیمان‌های سه‌جزئی در بتن تازه ۴۶
۴-۲-۱) کارایی ۴۶
۴-۳) خواص سیمان‌های سه‌جزئی در بتن سخت شده ۴۷
۴-۳-۱) توسعه مقاومت فشاری ۴۷
۴-۳-۲) دوام ۵۱
۴-۳-۲-۱) افزایش دمای هیدراسون ۵۱
۴-۳-۲-۲) نفوذپذیری در برابر یون کلر ۵۱
۴-۳-۲-۳) واکنش قلیایی-سیلیسی ۵۳
۴-۳-۲-۴) مقاومت سولفاتی ۵۴
۴-۳-۲-۵) نفوذپذیری و جذب آب ۵۵
فصل پنجم : مصالح مصرفی و شرح برنامه آزمایشگاهی ۵۷
۵-۱) مصالح مصرفی ۵۷
۵-۱-۱) مصالح سنگی ۵۷
۵-۱-۲) سیمان ۶۱
۵-۱-۳) دوده سیلیسی ۶۲
۵-۱-۴) سرباره کوره آهن‌گدازی ۶۴
۵-۱-۵) آب و فوق‌روان‌کننده ۶۷
۵-۲) مشخصات طرح‌های اختلاط ساخته شده ۶۸
۵-۳) روش ساخت نمونه‌ها ۶۹
۵-۴) شرح آزمایش‌های انجام شده ۷۳
۵-۴-۱) آزمایش اسلامپ ۷۳
۵-۴-۲) دمای بتن تازه ۷۴
۵-۴-۳) آزمایش مقاومت فشاری ۷۴
۵-۴-۴) آزمایش سختی خمشی ۷۵
۵-۴-۵) آزمایش الکتریکی ۷۶
۵-۴-۶) آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلرید (RCPT) ۷۶
۵-۴-۷) آزمایش تسریع شده انتقال یون کلرید (RCMT) ۷۹
۵-۴-۸) آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار ۸۱
۵-۴-۹) آزمایش جذب آب حجمی ۸۲
فصل ششم : نتایج آزمایش‌ها و تفسیر نتایج ۸۳
۶-۱) آزمایش اسلامپ ۸۳
۶-۲) دمای بتن تازه ۸۵
۶-۳) آزمایش مقاومت فشاری ۸۵
۶ – ۳ – ۱) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۸۶

۶ – ۳ – ۲) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی سرباره ۸۷
۶ – ۳ – ۳) نتایج حاصل از سیمان سه جزئی ۸۸
۶ – ۴) آزمایش مقاومت خمشی ۹۱
۶ – ۴ – ۱) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۹۱
۶ – ۴ – ۲) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی سرباره ۹۱
۶ – ۴ – ۳) نتایج حاصل از سیمان سه جزئی ۹۲
۶ – ۵) آزمایش مقاومت الکتریکی ۹۲
۶ – ۵ – ۱) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۹۳
۶ – ۵ – ۲) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی سرباره ۹۴
۶ – ۵ – ۳) نتایج حاصل از سیمان سه جزئی ۹۵
۶ – ۶) آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلرید (RCPT) ۹۶
۶ – ۶ – ۱) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۹۷
۶ – ۶ – ۲) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی سرباره ۹۸
۶ – ۶ – ۳) نتایج حاصل از سیمان سه جزئی ۹۹
۶ – ۷) آزمایش تسریع شده انتقال یون کلرید (RCMT) ۱۰۰
۶ – ۷ – ۱) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۱۰۱
۶ – ۷ – ۲) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی سرباره ۱۰۲
۶ – ۷ – ۳) نتایج حاصل از سیمان سه جزئی ۱۰۳
۶ – ۸) آزمایش تعیین درصد جذب آب نیم ساعته ۱۰۴
۶ – ۸ – ۱) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۱۰۵
۶ – ۸ – ۲) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی سرباره ۱۰۶
۶ – ۸ – ۳) نتایج حاصل از سیمان سه جزئی ۱۰۷
۶ – ۹) آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار ۱۰۸
۶ – ۹ – ۱) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۱۰۹
۶ – ۹ – ۲) نتایج حاصل از سیمان دو جزئی حاوی سرباره ۱۰۹
۶ – ۹ – ۳) نتایج حاصل از سیمان سه جزئی ۱۱۰
۶ – ۱۰) مقایسه نتایج آزمایش ها ۱۱۲
۶ – ۱۰– ۱)مقایسه مخلوط ها از لحاظ دوام و مقاومت ۱۱۲
۶ – ۱۰– ۲)مقایسه نتایج با الزامات آیین نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان۱۱۶
فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۸
۷-۱) نتیجه گیری ۱۱۸
۷-۲) پیشنهادات ۱۲۱
منابع ۱۲۲

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ : رابطه پاسخ به لرزش (ویبره) در بتن با سیمان پرتلند و سیمان شامل ۵۰ در صد سرباره ۱۱

شکل ۲-۲ : تأثیرات آب بر روی اسلامپ بتن آمیخته با و بدون سرباره ۱۱

شکل ۲-۳ : مقایسه مقاومت ملات حاوی انواع مختلف سرباره با سیمان پرتلند ۱۴

شکل ۲-۴ : تأثیر درصد آب به سیمان در مقاومت بتن با ۵۰ در صد سرباره در مقایسه با بتن با سیمان پرتلند ۱۵

شکل ۲-۵ : مقاومت بتن حاوی سیمان پرتلند و سرباره با بلین < 500m^2/kg ۱۵

شکل ۲-۶ : تاثیر در صد جایگزینی GGBFS در مقاومت فشاری بتن ۱۶

شکل ۲-۷ : تاثیر ریزی GGBFS در مقاومت فشاری بتن ۱۷

شکل ۲-۸ : توسعه جمع شدگی خودبه خودی بتن با در صد های جایگزینی مختلف سرباره ۱۹

شکل ۲-۹ : تاثیر در صد جایگزینی GGBFS در جمع شدن بتن ۱۹

شکل ۲-۱۰ : توسعه جمع شدگی خودبه خودی بتن با زیزی متفاوت در GGBFS ۱۹

شکل۲-۱۱ : مقایسه تولید حرارت در جرم بتن با سیمان پرتلند ، سیمان پرتلند- خاکستر بادی و سیمان پرتلند سرباره ای ۲۰

شکل ۲-۱۲ : مقایسه اندازه منافذ پخش شده در خمیر سیمان پرتلند و خمیر شامل ۴۰ در صد سرباره ۲۱

شکل ۲-۱۳ : تاثیر سن عمل آوری و مقدار سرباره بر روی هیدروکسید کلسیم در خمیر سیمان ۲۳

شکل ۲-۱۴ : انبساط نمونه منشور بتنی حاوی مصالح مختلف واکنش زا در درصد های مختلف جایگزینی سرباره ۲۳

شکل ۲-۱۵ : تاثیر افزودن سرباره بر انبساط قلیایی سنگدانه ۲۴

شکل ۲-۱۶ : نتایج ظرفیت کلرید در عمق ۲۰,۳ تا ۴۰,۶ میلیمتری لایه ها در بتن تیرها ۲۵

شکل ۳-۱ : تصویر TEM از دوده سیلیسی ۳۲

شکل ۳-۲ : تصویر TEM از دوده سیلیسی ۳۲

شکل ۳-۳ : تصویر الکترونی از دوده سیلیسی ۳۳

شکل ۳-۴ : تصویری از ساختار ناحیه انتقالی بین خمیر سیمان و سنگدانه ، A) نمونه بتن بدون دوده سیلیسی با سن ۲۸ روز ، B) نمونه بتن حاوی دوده سیلیسی با سن ۲۸ روز ، ۱) سطح سنگدانه ۲) خمیر سیمان ۳) منافذ ۴) هیدروکسید کلسیم ۵) ریز ترک ها ۴۰

شکل ۳-۵ : نتایج بدست آمده برای بهبود مقاومت ۴۱

شکل ۳-۶ : تأثیر کاربرد دوده سیلیسی بر شار عبوری از بتن ۴۳

شکل ۴-۱: مقاومت فشاری بتن های ساخته شده از ترکیبات مختلف سرباره و دوده سیلیسی ۴۹

شکل ۴-۲ : توسعه مقاومت فشاری بر اساس سن و درصد آب به مواد سیمانی ۴۹

شکل ۴-۳ : توسعه مقاومت فشاری با سن در خمیر ، عمل آوری شده در آب تازه قابل شرب ۵۰

شکل ۴-۴ : توسعه مقاومت فشاری با سن در نمونه بتن ، عمل آوری شده در آب تازه قابل شرب ۵۰

شکل ۴-۵ : افزایش دمای بتن شامل 400 kg/m3 ماده سیمانی ۵۱

شکل ۴-۶ : مقایسه نتایج آزمایش سرعت نفوذ کلرید ۵۳

شکل ۴-۷ : انبساط ناشی از ASR برای بتن شامل مصالح با واکنش زیاد و متوسط ۵۴

شکل ۴-۸ : مقایسه مقاومت سولفاتی برای ملات با انواع مختلف سیمان ۵۵

شکل ۴-۹ : ضریب جذب برای خمیر سیمان در معرض شرایط مختلف ۵۶

شکل ۴-۱۰ : ضریب جذب برای بتن در معرض شرایط مختلف ۵۶

شکل ۵-۱ : منحنی دانه بندی شن تلفیقی و مقایسه با توصیه های ASTM C33 ۵۸

شکل ۵-۲ : منحنی دانه بندی ماسه تلفیقی و مقایسه با محدودهٔ ASTM C33 ۵۹

شکل ۵-۳ : منحنی دانه بندی ترکیبی مصالح سنگی و محدوده های روش ملی طرح مخلوط بتن ۶۰

شکل ۵-۴ : دوده سیلیسی مورد استفاده در پروژه ۶۳

شکل ۵-۵ : تصویر سرباره گرانوله تهیه شده از کارخانه ذوب آهن ۶۵

شکل ۵-۶ : منحنی توزیع ابعادی سرباره کوره آهنگدازی ۶۶

شکل ۵-۷ : منحنی تجمعی توزیع ابعادی ذرات سرباره کوره آهنگدازی ۶۶

شکل ۵-۸ عکس میکروسکوپی سرباره با بزرگ نهایی ۴۰ برابر الف) نور طبیعی ب)حالت پلاریزه ۶۷

شکل ۵-۹ : تصویر نگهداری مصالح سنگی (شن و ماسه شسته) ۷۰

شکل ۵-۱۰ : تصویر نگهداری مصالح سنگی (ماسه سیلیسی) ۷۱
شکل ۵-۱۱ : نحوه نگهداری سیمان ۷۱
شکل ۵-۱۲ : نمایی از مخلوط کن مورد استفاده ۷۲
شکل ۵-۱۳ : حوضچه های عمل آوری نمونه ها ۷۳
شکل۵-۱۴ : دستگاه مورد استفاده برای آزمایش مقاومت فشاری ۷۵
شکل ۵-۱۵ : جزئیات قاب برای اعمال بار خمشی بر اساس استاندارد ASTM C78 ۷۵
شکل ۵-۱۶ : دستگاه آزمایش مقاومت الکتریکی ۷۶
شکل ۵-۱۷ : تصویر شماتیک دستگاه RCPT ۷۸
شکل ۵-۱۸ : چگونگی قرار گیری نمونه درون سلول ۷۸
شکل ۵-۱۹ : دستگاه تعیین عمق نفوذ کلر به روش RCPT ۷۸
شکل ۵-۲۰ : دستگاه آزمایش RCMT ۸۰
شکل ۵-۲۱ : چگونگی اندازه گیری نفوذ کلر در نمونه ها ۸۱
شکل ۵-۲۲ : نمونه های شکسته شده در آزمایش RCMT ۸۱
شکل ۵-۲۳ : دستگاه آزمایش تعیین عمق نفوذ آب تحت فشار ۸۲
شکل ۶-۱ : نتایج مربوط به مقدار فوق روانساز استفاده شده در ساخت طرح مخلوطهای بتن ۸۵
شکل ۶-۲ : مقاومت فشاری برای نمونه های دوجزئی حاوی دوده سیلیسی ۸۷
شکل ۶-۳ : مقاومت فشاری برای نمونه های دوجزئی حاوی سرباره ۸۸
شکل ۶-۴ : مقایسه مقاومت فشاری بتن سه جزئی حاوی ۱۵ درصد سرباره در درصد های مختلف دوده سیلیسی در سنین مختلف با بتن کنترل و بتن دو جزئی حاوی ۱۵ درصد سرباره ۸۹
شکل ۶-۵ : مقایسه مقاومت فشاری بتن سه جزئی حاوی ۳۰ درصد سرباره در درصد های مختلف دوده سیلیسی در سنین مختلف با بتن کنترل و بتن دو جزئی حاوی ۳۰ درصد سرباره ۹۰
شکل ۶-۶ : مقایسه مقاومت فشاری بتن سه جزئی حاوی ۵۰ درصد سرباره در درصد های مختلف دوده سیلیسی در سنین مختلف با بتن کنترل و بتن دو جزئی حاوی ۵۰ درصد سرباره ۹۲
شکل ۶-۷ : نتایج آزمایش مقاومت خمشی برای تمام نمونه ها ۹۲

شکل ۶-۸ : مقاومت الکتریکی برای نمونه های دوجزئی حاوی دوده سیلیسی ۹۴

شکل ۶-۹ : مقاومت الکتریکی برای نمونه های دوجزئی حاوی سرباره ۹۴

شکل ۶-۱۰ : مقایسه مقاومت الکتریکی ویژه برای مخلوط های سه جزئی حاوی ۱۵ درصد سرباره و مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۹۵

شکل ۶-۱۱ : مقایسه مقاومت الکتریکی ویژه برای مخلوط های سه جزئی حاوی ۳۰ درصد سرباره و مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۹۶

شکل ۶-۱۲ : مقایسه مقاومت الکتریکی ویژه برای مخلوط های سه جزئی حاوی۵۰ درصد سرباره و مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۹۶

شکل ۶-۱۳ : نتایج RCPT برای مخلوط های دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۹۸

شکل ۶-۱۴ : نتایج RCPT برای نمونه های دو جزئی حاوی سرباره ۹۸

شکل ۶-۱۵ : نتایج RCPT برای نمونه های سه جزئی حاوی ۱۵ درصد سرباره و مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۹۹

شکل ۶-۱۶ : نتایج RCPT برای نممونه های سه جزئی حاوی ۳۰ درصد سرباره و مقادی مختلف دوده سیلیسی ۹۹

شکل ۶-۱۷ : نتایج RCPT برای نممونه های سه جزئی حاوی ۵۰ درصد سرباره و مقادی مختلف دوده سیلیسی ۱۰۰

شکل ۶-۱۸ : نتایج آزمایش RCMT برای نمونه های دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۱۰۲

شکل ۶-۱۹ : نتایج RCMT برای نمونه های دو جزئی حاوی سرباره ۱۰۲

شکل ۶-۲۰ : نتایج RCMT برای نمونه های سه جزئی حاوی ۱۵ درصد سرباره و مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۱۰۳

شکل ۶-۲۱ : نتایج RCMT برای نمونه های سه جزئی حاوی ۳۰ درصد سرباره و مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۱۰۴

شکل ۶-۲۲ : نتایج RCMT برای نمونه های سه جزئی حاوی ۵۰ درصد سرباره و مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۱۰۴

شکل ۶-۲۳ : نتایج آزمایش جذب حجمی برای نمونه های دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۱۰۶

شکل ۶-۲۴ : نتایج آزمایش جذب حجمی برای نمونه های دو جزئی حاوی سرباره ۱۰۶

شکل ۶-۲۵ : نتایج آزمایش جذب آب برای مخلوط های سه جزئی حاوی ۱۵ درصد سرباره با مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۱۰۷

شکل ۶-۲۶ : نتایج آزمایش جذب آب برای مخلوط های سه جزئی حاوی ۳۰ درصد سرباره با مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۱۰۷

شکل ۶-۲۷ : نتایج آزمایش جذب آب برای مخلوط های سه جزئی حاوی ۵۰ درصد سرباره با مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۱۰۸

شکل ۶-۲۸ : نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در سن ۲۸ روز برای مخلوط های دو جزئی حاوی دوده سیلیسی ۱۱۰

شکل ۶-۲۹ : نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در سن ۲۸ روز برای مخلوط های دو جزئی حاوی سرباره ۱۱۰

شکل ۶-۳۰ : نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در سن ۲۸ روز برای مخلوط های حاوی ۱۵ سرباره و مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۱۱۱

شکل ۶-۳۱ : نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در سن ۲۸ روز برای مخلوط های حاوی ۳۰ سرباره و مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۱۱۱

شکل ۶-۳۲ : نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در سن ۲۸ روز برای مخلوط های حاوی ۵۰ سرباره و مقادیر مختلف دوده سیلیسی ۱۱۱

فهرست جداول

جدول ۲-۱ : محدوده ترکیبات شیمیایی سرباره درکانادا آمریکا ۸

جدول ۲-۲ : اثر مقدار سرباره در زمان گیرش ۱۲

جدول ۲-۳ : نسبت اختلاط بتن استفاده شده در نمونه های تولید شده ۱۶

جدول ۲-۴ : نتایج مقاومت فشاری ۱۷

جدول ۲-۵ : در صد آنالیر شیمیایی سرباره ۲۵

جدول ۲-۵ : در صد آنالیر شیمیایی سرباره ۲۵

جدول ۲-۶ : ترکیب سرباره کوره بلند ذوب آهن اصفهان ۲۶

جدول ۲-۷ : تجزیه شیمیایی سرباره آهنگدازی مورد اسفاده کارخانه سیمان سپاهان اصفهان ۲۶

جدول ۲-۸ : خصوصیات شیمیایی سرباره ذوب آهن اصفهان ۲۶

جدول ۲-۹ : رنج ترکیبات شیمیایی سرباره کوره آهن گدازی در آمریکا و کانادا ۲۷

جدول ۲-۱۰ : ترکیبات شیمیایی سرباره کوره آهن گدازی ۲۷

جدول ۲-۱۱ : آنالیز شیمیایی مواد سیمانی در کانادا ۲۷
جدول ۲-۱۲ : تجزیه شیمیایی سیمان ، سرباره و دوده سیلیسی در ترکیه ۲۸
جدول ۲-۱۳ : تجزیه شیمیایی مواد مکمل سیمانی مختلف ۲۹
جدول ۳-۱ : سیلیس موجود در دوده سیلیسی بر حسب نوع آلیاژ تولید شده ۳۱
جدول ۳-۲ : وزن مخصوص دوده سیلیسی تولید شده از آلیاژ های مختلف ۳۳
جدول ۳-۳ : الزامات فیزیکی دوده سیلیسی ۳۴
جدول ۳-۴ :خصوصیات فیزیکی دوده های سیلیسی مختلف ۳۴
جدول ۳-۵ : تفاوت های ترکیبات شیمیایی دوده های سیلیسی از منابع مختلف ۳۵
جدول ۳-۶ : الزامات شیمیایی دوده سیلیسی ۳۵
جدول ۳-۷ : تجزیه شیمیایی دوده سیلیسی کارخانه فروسیلیس سمنان ۳۵
جدول ۳-۸ : تجزیه شیمیایی دوده سیلیسی کارخانه ازنا ۳۵
جدول ۴-۱ : تجزیه شیمیایی سیمان ۴۵
جدول ۴-۲ : الزامات فیزیکی برای سیمان هیدرولیکی در ASTM 1157 و مقایسه آن با خواص سیمان سه جزئی ۴۶
جدول ۵-۱ : دانه بندی شن تلفیقی و مقایسه با توصیه های استاندارد ASTM C33 ۵۷
جدول ۵-۲ : مشخصات فیزیکی نمونه های شن مورد استفاده در پروژه ۵۸
جدول ۵-۳ : دانه بندی ماسه تلفیقی و مقایسه با توصیه های استاندارد ASTM C33 ۵۹
جدول ۵-۴ : مشخصات فیزیکی نمونه های ماسه مورد استفاده در پروژه ۶۰
جدول ۵-۵ : نتایج آزمایش های انجام شده بر روی سیمان ۶۱
جدول ۵-۶ : آنالیز شیمیایی سیمان مورد استفاده ۶۲
جدول ۵-۷ : نتایج آزمایش های آنالیز شیمیایی انجام شده روی نمونه دوده سیلیسی ۶۲
جدول ۵-۸ : ویژگی های دوده سیلیسی مورد استفاده ۶۴
جدول ۵-۹ : آنالیز شیمیایی سرباره کوره آهنگدازی ۶۵
جدول ۵-۱۰ : ویژگی های فیزیکی و شیمیایی سرباره کوره آهنگدازی طبق استاندارد ASTM C989 ۶۶
جدول ۵-۱۱ : طرح های اختلاط و مشخصات بتن تازه ۷۰

جدول ۵-۱۲ : سن نمونه ها برای آزمایش های مختلف ۷۳

جدول ۵-۱۳ : تنظیم ولتاژ دستگاه آزمایش RCMT ۸۱

جدول ۶-۱ : طرح اختلاط بتن های ساخته شده همراه با مقدار فوق روانساز استفاده شده ، اسلامپ و دمای بتن تازه ۸۴

جدول ۶-۲ : نتایج آزمایش مقاومت فشاری و خمشی ۸۶

جدول ۶-۳ : نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی ویژه ۹۳

جدول ۶-۴ : نتایج آزمایش RCPT ۹۷

جدول ۶-۵ : نتایج آزمایش RCMT ۱۰۱

جدول ۶-۶ : نتایج آزمایش جذب آب نیم ساعته در سنین ۲۸ ، ۹۰ و ۱۸۰ روز ۱۰۵

جدول ۶-۷ : نتایج آزمایش عمق نفوذ آب در سن ۲۸ روز ۱۰۹

جدول ۶-۸ : محدوده رتبه بندی نتایج مخلوط ها ۱۱۲

جدول ۶-۹ : رتبه بندی عملکرد مخلوط ها در سنین مختلف ۱۱۳

جدول ۶-۱۰ : رتبه بندی کلی عملکرد مخلوط ها از لحاظ دوام ۱۱۴

جدول ۶-۱۱ : رتبه بندی کلی عملکرد مخلوط ها از لحاظ مقاومت ۱۱۴

جدول ۶-۱۲ : مقایسه نتایج با الزامات آیین نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان در سن ۲۸ روز ۱۱۶

بسمه‌تعالی

فصل اول : مقدمه

کلیات

با توجه به اینکه مهندسی عمران به ایجاد زیر ساخت ها و فضا های لازم برای کلیه فعالیت های بشر بر روی کره زمین می پردازد دارای اهمیت ویژه در بین رشته های فنی و مهندسی می باشد . از ابعاد مهم فعالیت های عمرانی و ساختمانی شناخت ویژگی های مصالح به کار رفته در ساختمانها و سعی در ارتقاع خواص و عملکرد آنهاست . از بین مصالح مورد استفاده ، بتن به عنوان پرمصرف‌ترین ماده در جهان پس از آب ، دارای اهمیت ویژه ای است . در طی سالیان متمادی تحقیقات بسیاری بر روی بتن انجام شده که ارتقاع خواص و عملکرد وهمچنین ابداع انواع مختلف آن را به همراه داشته است . از مهم‌ترین مزایای بتن اقتصادی بودن وقابلیت شکل‌پذیری این محصول تولید بشر می‌باشد. این ویژگی باعث شده ، انواع سازه‌ها با اشکال مختلف را بتوان با این ماده به وجود آورد .

اساسی‌ترین ماده تشکیل‌دهنده بتن که عامل چسباندن سنگدانه ها و توسعه خواص در بتن می باشد سیمان است . تولید این ماده در سطح جهان به صورت صنعتی بسیار گسترش یافته و تقریباً تمام کشورهای جهان سیمان را تولید می‌کنند . در فرایند تولید این ماده هزینه و انرژی فراوانی مصرف می‌شود . ضمناً به علت تولید CO_2 و مواد آلاینده دیگر که در هوا پخش می‌شود عزم جهانی بر کاهش تولید سیمان و جایگزین کردن موادی می‌باشد که علاوه بر عدم کاهش خواص بتن همچون مقاومت فشاری و دوام در بهبود خواص بتن اثرمثبتی داشته باشند . از این روست که محققین علم سیمان و بتن ، برای بهینه‌سازی

مصرف سیمان و تولید سیمان با حداقل انرژی و استفاده از حداکثر ممکن مواد مکمل سیمانی ، تمام تلاش خود را به کار برده‌اند . نتیجه این تحقیقات به تولید سیمان‌های مختلف برای شرایط متفاوت در جهان انجامیده است . تولید و کاربرد سیمان‌های دو جزئی که مخلوطی از سیمان پرتلند همراه با نوعی ماده افزودنی معدنی دیگر می باشد از دستاورد های مهم این تلاش ها بوده است که منافع اقتصادی ، زیست محیطی و فنی قابل توجهی را به دنبال داشته است . در دهه اخیر نیز مبحث استفاده از سیمان های سه جزئی که شامل سیمان پرتلند به همراه دو نوع ماده افزودنی مختلف به صورت توأم می باشد مورد توجه محققین و مهندسین قرار گرفته است .

مواد افزودنی معدنی بتن که مواد مکمل سیمانی نیز نامیده می شوند را می توان به دو گروه تقسیم بندی نمود :

۱ : مواد پوزولانی

براساس ASTM C125 ، افزودنی ماده‌ای است غیر از آب ، سنگدانه و سیمان هیدولیکی و الیاف که به عنوان اجزای بتن یا ملات استفاده می‌شود و قبل یا هنگام مخلوط‌کردن ، به بتن یا ملات افزوده می‌شود . ASTM C 618 ، پوزولان‌ها را چنین تعریف می کند : مواد سیلیسی یا سیلیسی- آلومینی آمورف (غیربلوری) هستند که به تنهایی خاصیت سیمانی (چسبندگی) کم داشته و یا اصلاً ندارند و به صورت ذرات با هیدروکسید کلسیم واکنش کرده ، ترکیباتی را تولید می‌کنند که دارای خاصیت سیمانی هستند (۱) . مواد پوزولانی نیز به دو بخش طبیعی و مصنوعی (مواد جنبی صنعتی یا مواد زائد صنعتی) تقسیم می‌گردد . امروزه نیز مواد افزودنی معدنی ، جایگاه وسیعی در صنعت بتن پیدا کرده‌اند . کشورهای مختلف نیز با کشف معادن جدید پوزولان‌ها طبیعی و همچنین تولید پوزولان‌های مصنوعی پتانسیل بالایی برای تولید بتن‌های پوزلانی دارند . از جمله مواد پوزولانی مصنوعی که فراورده جانبی بخش صنعت است ، دوده سیلیسی می‌باشد . این ماده دارای دانه‌بندی بسیار ریزی بوده که تأثیر به سزایی در ارتقاع مقاومت و دوام بتن از خود نشان داده است .