۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد سازه

عنوان پایان نامه

بررسی تأثیر استفاده از سیمانهای سه جزئی مبتنی بر خاکستربادی ریز همراه با سرباره کوره آهنگدازی یا خاکستربادی معمولی بر خواص مکانیکی و دوام بتن

استاد راهنما :

دکتر علیرضا باقری

نام دانشجو :

محمد علی سیفی مریان

۸۷۰۷۶۵۴

تابستان ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحیم

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه :

بررسی تأثیر استفاده از سیمانهای سه جزئی مبتنی بر خاکستربادی ریز همراه با سرباره کوره آهنگدازی یا خاکستربادی معمولی بر خواص مکانیکی و دوام بتن

استاد راهنما : آقای دکتر علیرضا باقری

نام دانشجو : محمد علی سیفی مریان

شماره دانشجویی : ۸۷۰۷۶۵۴

اینجانب **محمد علی سیفی مریان** 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

مادر مهربانم

و به تمامی کسانی که همانند چشمه یی زلال و پاک تشنگان علم

را از عصاره علم خویش سیراب می کنند.

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 هادی علیزاده، مهندس محمد مهدی معلمی و مهندس جواد صانعی که در انجام تمامی مراحل پروژه اینجانب را یاری نمودند.
- برادران بزرگوارم آقایان عباس زاده و محمدزاده، تکنسینهای محترم آزمایشگاه بتن دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، که بدون مساعدت و کمکهای ایشان انجام پروژه کاری مشکل می بود.

چکیده

در حال حاضر استفاده همزمان از دو ماده مکمل سیمانی در بتن بصورت مخلوط سه جزئی جهت بهبود خواص بتن های توانمند نظیر کارآیی، روند کسب مقاومت یا دوام مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این تحقیق تأثیر استفاده از مواد مکمل سیمانی خاکستربادی ریز، خاکستربادی معمولی نوع F و سرباره کوره آهنگدازی بصورت دو جزئی و سه جزئی بر خواص مقاومتی و دوام بتن با استفاده از آزمایش های تعیین مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی در سنین ۷، ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روزه، آزمایش تعیین مقاومت خمشی، آزمایش تعیین مقدار نفوذ آب تحت فشار در سن ۲۸ روز، آزمایش تسریع شده انتقال یون کلر (RCMT) و آزمایش تسریع نفوذ یون کلر (RCPT) در سنین ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روزه بررسی شده است. مخلوط های بتن دو جزئی شامل، خاکستربادی ریز در مقادیر ٪۷.۵ و ٪۱۵، خاکستربادی معمولی در مقادیر ٪۱۵ و ٪۳۰ و سرباره کوره آهنگدازی در مقادیر ٪۱۵، ٪۳۰ و ٪ ۵۰ جایگزینی سیمان بوده است. بتن های سه جزئی نیز با هدف بررسی تاثیر افزودن خاکستربادی بسیار ریز در مقادیر ۷.۵ و ۱۵ درصد مواد سیمانی به مخلوط های دو جزئی اخیرالذکر به لحاظ دستیابی به خواص بهبود یافته مورد مطالعه قرار گرفته اند. مقدار مواد سیمانی برابر ۴۲۰ کیلوگرم، نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ و مقدار کارآیی برابر رده S۳ استاندارد ایران برای همه مخلوطها ثابت در نظر گرفته شد.

استفاده از ۷.۵ و ۱۵ درصد خاکستربادی ریز در بتن های حاوی مقادیر کم خاکستربادی معمولی (۱۵ درصد) باعث افت نسبتا کمی در روند کسب مقاومت آنها شده لیکن دوام دراز مدت آنها را بهبود می بخشد. استفاده از ۷.۵ یا ۱۵ درصد خاکستربادی ریز در بتن های حاوی مقدار زیاد خاکستربادی معمولی (۳۰ درصد) باعث افت روند کسب مقاومت در تمام سنین شده و همچنین مزیتی به لحاظ دوام دراز مدت ایجاد نمی کند. برای بتن های حاوی مقادیر مختلف سرباره کوره آهنگدازی استفاده از خاکستربادی ریز در ۷.۵ درصد باعث بهبود دوام دراز مدت می گردد. با افزایش مصرف خاکستربادی ریز به ۱۵ درصد بهبود در دوام بیشتر می شود. ضمنا کاربرد خاکستربادی ریز جز در مواردی که مقدار سرباره موجود در بتن کم بوده (حدود ۱۵ درصد) باعث افت مقاومت در تمام سنین می شود.

واژه های کلیدی: مواد مکمل سیمانی، بتن سه جزئی، مقاومت الکتریکی، آزمایش RCMT

فهرست مطالب

فصل اول _____ ۱

مقدمه _____ ۱

۱-۱- مقدمه _____ ۱

۱-۲- لزوم انجام و اهداف تحقیق _____ ۲

۱-۳- سر فصل ها _____ ۲

فصل اول: مقدمه و کلیات _____ ۳

فصل دوم : معرفی سرباره کوره آهنگدازی، خاکستربادی معمولی و خاکستربادی ریز _____ ۳

فصل سوم : سیمانهای سه جزئی و تأثیر آنها روی خواص بتن _____ ۳

فصل چهارم : برنامه آزمایشگاهی _____ ۳

فصل پنجم : نتایج حاصله و تجزیه و تحلیل آنها _____ ۳

فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات _____ ۳

فصل دوم _____ ۴

معرفی سرباره کوره آهنگدازی، خاکستربادی معمولی و خاکستربادی ریز _____ ۴

۲-۱- سرباره کوره آهنگدازی _____ ۴

۲-۱-۱- تاریخچه _____ ۴

۲-۱-۲- منشأ تولید سرباره کوره آهنگدازی _____ ۵

۲-۱-۳- خواص فیزیکی و شیمیایی _____ ۵

۲-۱-۴- تأثیر سرباره بر خواص بتن تازه _____ ۷

کارایی _____ ۷

آب انداختگی _____ ۷

زمان گیرش _____ ۸

۲-۱-۵- تأثیر سرباره بر روی بتن سخت شده _____ ۹

مقاومت فشاری _____ ۹

مدول الاستیسیته _____ ۱۲

خزش و جمع شدگی _____ ۱۲

جمع‌شدگی خودبه‌خودی _____ ۱۲

دمای هیدراسیون _____ ۱۳

تراوایی _____ ۱۳

مقاومت در مقابل حمله آبهای حاوی املاح مهاجم _____ ۱۴

خوردگی آرماتور ۱۵
مقاومت در برابر واکنش سیلیسی-قلیایی(***ASR***) ۱۵
۲-۲- خاکستر بادی ۱۶
۲-۲-۱- معرفی خاکستربادی ۱۶
۲-۲-۲- منابع خاکستر بادی ۱۷
۲-۲-۳- ساختار شیمیایی ۱۸
۲-۲-۴- ساختار فیزیکی خاکستربادی ۲۰
۲-۲-۵- فعالیت شیمیایی خاکستربادی در بتن با سیمان هیدرولیکی ۲۱
۲-۳- تأثیر میزان ریزی خاکستربادی روی خواص آن ۲۲
۲-۳-۱- روشهای دستیابی به خاکستربادی با ریزی بیشتر ۲۲
۲-۳-۲- وزن مخصوص ۲۶
۲-۳-۳- سطح مخصوص ۲۶
۲-۳-۴- شکل ذرات ۲۹
۲-۳-۵- تأثیرات شیمیایی ۳۰
۲-۳-۶- فعالیت پوزولانی ۳۲
۲-۴- بررسی عملکرد خاکستربادی معمولی و خاکستربادی بسیار ریز بر روی خواص بتن ۳۳
۲-۴-۱- مقدمه ۳۳
۲-۴-۲- کارآیی ۳۴
۲-۴-۳- هیدراسیون ۳۵
۲-۴-۴- نیاز آبی برای دستیابی به کارآیی موردنظر ۳۶
۲-۴-۵- جمع شدگی بر اثر خشک شدن و جمع شدگی خودبخودی ۳۹
۲-۴-۶- مقدار هیدروکسیدکلسیم موجود ۴۰
۲-۴-۷- تخلخل ۴۱
۲-۴-۸- مقاومت فشاری ۴۳
۲-۴-۹- مقاومت در برابر واکنشهای سیلیسی قلیایی سنگدانه ها ۴۶
۲-۴-۱۰- مقاومت در برابر حمله سولفات ها ۴۷
۲-۴-۱۱- مقاومت در برابر نفوذ یون کلر ۴۹
فصل سوم ۵۰
سیمانهای سه جزئی و تأثیر آنها روی خواص بتن ۵۰
۳-۱- مقدمه ۵۰

۳-۲- سیمانهای سه جزئی مبتنی بر دوده سیلیسی و نوعی پوزولان دیگر ۵۲
۳-۳- بررسی عملکرد سیمانهای سه جزئی مبتنی بر سرباره کوره آهنگدازی همراه با خاکستربادی معمولی ۵۳
۳-۳-۱- مقاومت فشاری ۵۴
۳-۳-۲- مقاومت خمشی ۵۶
۳-۳-۳- مقاومت در برابر حمله سولفاتی ۵۶
۳-۳-۴- مقاومت در برابر نفوذ یون کلر ۵۷
۳-۳-۵- مقاومت در برابر نفوذ آب در بتن ۵۹
۳-۴- بررسی عملکرد سیمانهای سه جزئی مبتنی بر خاکستربادی ریز همراه با نوع دیگری از پوزولان ۵۹
فصل چهارم ۶۲
برنامه آزمایشگاهی ۶۲
۴-۱- کلیات برنامه آزمایشگاهی ۶۲
۴-۲- مواد و مصالح مورد استفاده در پروژه ۶۳
۴-۲-۱- سیمان ۶۳
۴-۲-۲- سنگدانه ها ۶۵
۴-۲-۳- آب ۶۹
۴-۲-۴- فوق روانساز ۶۹
۴-۲-۵- خاکستر بادی ریز ۶۹
۴-۲-۶- خاکستر بادی معمولی ۷۲
۴-۲-۷- سرباره کوره آهنگدازی ۷۴
۴-۳- مخلوط های بتن مورد مطالعه ۷۶
۴-۴- ساخت مخلوط ها ۷۸
۴-۵- ساخت آزمونه ها و روش عمل آوری ۷۹
۴-۶- آزمایش های انجام شده ۸۰
۴-۶-۱- آزمایش مقاومت فشاری ۸۰
۴-۶-۲- آزمایش مقاومت خمشی ۸۱
۴-۶-۳- آزمایش تسریع شده انتقال یون کلر (***RCMT***) ۸۱
۴-۶-۴- آزمایش تسریع شده نفوذ یون کلر (***RCPT***) ۸۴
۴-۶-۵- آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار ۸۶
۴-۶-۶- آزمایش جذب حجمی ۸۷
۴-۶-۷- آزمایش مقاومت الکتریکی ۸۷

فصل پنجم ۸۸
نتایج و تفسیر آنها ۸۸
۵-۱- کارایی بتن تازه ۸۹
۵-۲- مقاومت فشاری ۹۱
۵-۲-۱- تأثیر کاربرد مجزای خاکستربادی ریز، خاکستربادی معمولی و سرباره بر مقاومت فشاری بتن ۹۱
۵-۲-۲- بررسی تأثیر کاربرد توأم خاکستربادی ریز به همراه خاکستربادی معمولی ۹۳
۵-۲-۳- بررسی تأثیر کاربرد توأم خاکستربادی ریز به همراه سرباره ۹۴
۵-۳- مقاومت خمشی ۹۶
۵-۴- مقاومت الکتریکی ویژه ۹۷
۵-۴-۱- تأثیر کاربرد مجزای خاکستربادی ریز، خاکستربادی معمولی و سرباره بر مقاومت الکتریکی بتن ۹۸
۵-۴-۲- بررسی تأثیر کاربرد توأم خاکستربادی ریز به همراه خاکستربادی معمولی روی مقاومت الکتریکی ۹۹
۵-۴-۳- بررسی تأثیر کاربرد توأم خاکستربادی ریز به همراه سرباره روی مقاومت الکتریکی ۱۰۱
۵-۵- عمق نفوذ آب تحت فشار ۱۰۳
۵-۶- جذب آب حجمی ۱۰۴
۵-۷- آزمایش مقاومت در برابر نفوذ یون کلر به روش ***RCMT*** ۱۰۶
۵-۷-۱- تأثیر کاربرد مجزای خاکستربادی ریز، خاکستربادی معمولی و سرباره روی نرخ انتقال یون کلر ۱۰۷
۵-۷-۲- بررسی تأثیر کاربرد توأم خاکستربادی ریز به همراه خاکستربادی معمولی روی نرخ انتقال یون کلر ۱۰۸
۵-۷-۳- بررسی تأثیر کاربرد توأم خاکستربادی ریز به همراه سرباره روی نرخ انتقال یون کلر ۱۰۹
۵-۸- آزمایش مقاومت در برابر نفوذ یون کلر به روش ***RCPT*** ۱۱۱
۵-۸-۱- تأثیر کاربرد مجزای خاکستربادی ریز، خاکستربادی معمولی و سرباره روی شار عبوری از بتن ۱۱۲
۵-۸-۲- بررسی تأثیر کاربرد توأم خاکستربادی ریز به همراه خاکستربادی معمولی روی شار عبوری از بتن ۱۱۳
۵-۸-۳- بررسی تأثیر کاربرد توأم خاکستربادی ریز به همراه سرباره روی شار عبوری از بتن ۱۱۴
فصل هفتم ۱۱۶
نتیجه گیری ۱۱۶
۷-۱- نتیجه گیری ۱۱۷
۷-۱- پیشنهاد برای ادامه تحقیق ۱۲۰
منابع ۱۲۱

فهرست تصاویر

شکل ۲-۱ تأثیرات آب بر روی اسلامپ بتن آمیخته با سرباره و بدون سرباره [۱] ۷

شکل ۲-۲ رابطه مقاومت ملات شامل انواع مختلف سرباره با سیمان پرتلند[۱] ۱۰

شکل ۲-۳- مقاومت سیمان پرتلند آمیخته دارای یک سرباره آهنگدازی (بلین $>۵۰۰ m^2/kg$) [۲] ۱۰

شکل ۲-۴ تأثیر در صد جایگزینی سرباره در مقاومت فشاری بتن [۶] ۱۱

شکل ۲-۵ تأثیر ریزی سرباره در مقاومت فشاری بتن [۶] ۱۱

شکل ۲-۶ توسعه جمع شدگی خودبه خودی بتن با در صد های جایگزینی مختلف GGBFS [۶] ۱۲

شکل ۲-۷ مقایسه تولید حرارت در بتن با سیمان پرتلند، سیمان پرتلند- خاکستر بادی و سیمان پرتلند سرباره ای[۱] ۱۳

شکل ۲-۸ مقایسه اندازه منافذ پخش شده در خمیر سیمان پرتلند و خمیر شامل ۴۰ درصد سرباره[۱] ۱۴

شکل ۲-۹ نتایج مقدار کلرید در عمق ۲۰ تا ۴۰ میلیمتری در بتن [۱] ۱۵

شکل ۲-۱۰ انبساط بتن منشوری در آب با مصالح گوناگون[۱] ۱۶

شکل ۲-۱۱ خاکستربادی با تقسیم بندی های متفاوت[۱۴] ۲۳

شکل ۲-۱۲ شکل شماتیک از یک دستگاه جداسازی چرخه ای بوسیله هوا[۱۳] ۲۴

شکل ۲-۱۳ توزیع اندازه ای ذرات خاکستربادی بسیارریز و کلاس F [۱۲] ۲۵

شکل ۲-۱۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی خاکستربادی بسیارریز و کلاس F (SEM) [۱۲] ۲۵

شکل ۲-۱۵ تأثیر آسیاب کردن بر روی منابع مختلف خاکستربادی[۱۰] ۲۶

شکل ۲-۱۶ تأثیر آسیاب کردن برروی سطح مخصوص منابع مختلف خاکستربادی[۱۰] ۲۷

شکل ۲-۱۷ منحنی پخش اندازه ذرات خاکستربادی بسیارریز را در مقایسه با خاکستر بادی معمولی[۱۳] ۲۸

شکل ۲-۱۸ خاکستربادی بدون آسیاب کردن[۱۰] ۲۹

شکل ۲-۱۹خاکستربادی بعد از ۲ ساعت آسیاب کردن[۱۰] شکل۲-۲۰ خاکستربادی بعد از۱۰ساعت آسیاب [۱۰] ۲۹

شکل ۲-۲۱ تفاوتهای مقادیر ترکیبات شیمیایی در خاکستربادی معمولی و بسیارریز[۱۳] ۳۰

شکل ۲-۲۲ اطلاعات آزمایش XRD برای خاکستربادی بسیارریز و معمولی[۱۲] ۳۱

شکل ۲-۲۳ اثر آسیاب کردن بر روی اندیس فعالیت پوزولانی خاکستربادی در طول ۷ روز[۱۰] ۳۳

شکل ۲-۲۴ درصد روانی بتن با سیمان پرتلند و انواع خاکستربادی[۱۳] ۳۴

شکل ۲-۲۵ مقایسه نرخ حرارت هیدراسیون در سیمان پرتلند و خاکستربادی بسیارریز و معمولی[۱۳] ۳۵

شکل ۲-۲۶ تأثیر آسیاب کردن روی آب موردنیاز بتن حاوی خاکستربادی از منابع مختلف[۱۰] ۳۷

شکل ۲-۲۷ نتایج انقباض خود به خودی[۱۲] ۴۰

شکل ۲-۲۸ مقدار هیدروکسیدکلسیم در سنین مختلف خمیرهای سیمان و خاکستربادی[۱۳] ۴۰

شکل ۲-۲۹ درصد تخلخل کل در سنین مختلف[۲۰] ۴۱

شکل ۲-۳۰ درصد تخلخل مویینه در سنین مختلف[۲۰] ۴۲
شکل ۲-۳۱ درصد تخلخل ژلی در سنین مختلف[۲۰] ۴۲
شکل ۲-۳۲ قطر میانگین خلل و فرج در سنین مختلف[۲۰] ۴۲
شکل ۲-۳۳ مقاومت فشاری برای بتن حاوی سیمان، خاکستربادی معمولی و بسیارریز[۱۳] ۴۳
شکل ۲-۳۴ توزیع سایز ذرات سیمان تیپ یک و خاکسترهای بادی معمولی و ریز[۲۰] ۴۴
شکل ۲-۳۵ آزمایشهای تسریع شده مطابق با ۱۲۶۰ ***ASTM C*** [۱۲] ۴۶
شکل ۲-۳۶ آزمایشهای منشور بتنی مطابق با ۱۲۳۹ ***ASTM C*** [۱۲] ۴۶
شکل ۲-۳۷ دیاگرام سیستم سه جزئی CaO-SiO_2-Al_2O_3 [۲۳] ۴۸
شکل ۲-۳۸ اثر اکسید کلسیم شیشه ای بر روی خرابی سولفاتی[۲۳] ۴۸
شکل ۲-۳۹ مقدار جریان عبوری بتن در سن ۲۸ روزه[۱۵] ۴۹
شکل ۳-۱ نتایج مقاومت فشاری بتن های دو جزئی و سه جزئی مبتنی بر دوده سیلیسی [۳۱] ۵۳
شکل ۳-۲ مقاومت فشاری بتن در شرایط آزمایشگاهی[۳۲] ۵۴
شکل ۳-۳ مقاومت نسبی بتن در شرایط قرارگیری در محیط سولفاتی[۳۲] ۵۵
شکل ۳-۴ مقاومت فشاری ملات حاوی سیمان های سه جزئی[۳۳] ۵۶
شکل ۳-۵ مقاومت خمشی ملات حاوی سیمان های سه جزئی[۳۳] ۵۶
شکل ۳-۶ ضریب انتشار یون کلر در بتن های دو جزئی و سه جزئی حاوی خاکستربادی و سرباره را بعد از یکسال[۳۴] ۵۷
شکل ۳-۷ ضریب نفوذپذیری بتن های دو جزئی و سه جزئی حاوی خاکستربادی و سرباره[۳۴] ۵۹
شکل ۳-۸ نتایج مقاومت فشاری یک روزه بتن[۳۸] ۶۰
شکل ۴-۱ عایق بندی کیسه های سیمان ۶۴
شکل ۴-۲- بسته بندی سنگدانه ها در کیسه های پلاستیکی جهت حفظ رطوبت ۶۵
شکل ۴-۳- منحنی دانه بندی شن تلفیقی و مقایسه با توصیه های ***ASTM C***۳۳ ۶۷
شکل ۴-۴- منحنی دانه بندی ماسه تلفیقی و مقایسه با توصیه های ***ASTM C***۳۳ ۶۷
شکل ۴-۵- منحنی دانه بندی مصالح سنگی طبق توصیه های روش ملی طرح مخلوط بتن ۶۸
شکل ۴-۶ تصویر نمونه ای از خاکستر بادی ریز ۷۱
شکل ۴-۷ منحنی توزیع ابعادی خاکستربادی ریز ۷۱
شکل ۴-۸ منحنی تجمعی توزیع ابعادی خاکستربادی ریز ۷۱
شکل ۴-۹- تصویر نمونه ای از خاکستر بادی معمولی ۷۳
شکل ۴-۱۰- منحنی توزیع ابعادی ذرات خاکستربادی معمولی ۷۴
شکل ۴-۱۱- منحنی تجمعی توزیع ابعادی ذرات خاکستربادی معمولی ۷۴
شکل ۴-۱۲ منحنی توزیع ابعادی سرباره کوره آهنگدازی ۷۶

شکل ۴-۱۳ منحنی تجمعی توزیع ابعادی ذرات سرباره کوره آهنگدازی ۷۶
شکل ۴-۱۴- سطل های نگهداری سنگدانه ها ۷۹
شکل ۴-۱۵ حوضچه های عمل آوری نمونه ها ۸۰
شکل۴-۱۶- دستگاه مورد استفاده برای آزمایش مقاومت فشاری ۸۰
شکل ۴-۱۷- جزئیات قاب برای اعمال بار خمشی بر اساس استاندارد ***ASTM C***۷۸ ۸۱
شکل ۴-۱۸ دستگاه آزمایش ***RCMT*** ۸۳
شکل ۴-۱۹ چگونگی اندازه گیری نفوذ کلر در نمونه ها ۸۳
شکل ۴-۲۰- تصویر شماتیک دستگاه ***RCPT*** ۸۵
شکل ۴-۲۱- چگونگی قرار گیری نمونه درون سلول ۸۵
شکل ۴-۲۲- دستگاه آزمایش ***RCPT*** ۸۵
شکل ۴-۲۳ دستگاه آزمایش تعیین عمق نفوذ آب تحت فشار ۸۶
شکل ۴-۲۴ دستگاه آزمایش مقاومت الکتریکی ۸۷
شکل ۵-۱ نتایج مربوط به مقدار فوق روانساز استفاده شده در ساخت طرح مخلوطهای بتن ۹۰
شکل ۵-۲- تأثیر کاربرد خاکستربادی ریز بر مقاومت فشاری بتن ۹۲
شکل ۵-۳- تأثیر کاربرد خاکستر بادی بر مقاومت فشاری بتن ۹۲
شکل ۵-۴- تأثیر کاربرد سرباره کوره آهنگدازی بر مقاومت فشاری بتن ۹۳
شکل ۵-۵ تأثیر کاربرد توأم ۱۵ درصد خاکستربادی معمولی همراه با خاکستربادی ریز در مقاومت فشاری بتن ۹۴
شکل ۵-۶ تأثیر کاربرد توأم۳۰ درصد خاکستربادی معمولی همراه با خاکستربادی ریز در مقاومت فشاری بتن ۹۴
شکل ۵-۷ تأثیر کاربرد توأم ۱۵ درصد سرباره همراه با خاکستربادی ریز در مقاومت فشاری بتن ۹۵
شکل ۵-۸ تأثیر کاربرد توأم ۳۰ درصد سرباره همراه با خاکستربادی ریز در مقاومت فشاری بتن ۹۵
شکل ۵-۹ تأثیر کاربرد توأم ۵۰ درصد سرباره همراه با خاکستربادی ریز در مقاومت فشاری بتن ۹۶
شکل ۵-۱۰ تأثیر کاربرد خاکستر بادی ریز، خاکستربادی معمولی و سرباره(جداگانه و توأم) بر مقاومت خمشی بتن۹۷
شکل ۵-۱۱- تأثیر کاربرد خاکستربادی ریز بر مقاومت الکتریکی بتن ۹۸
شکل ۵-۱۲- تأثیر کاربرد خاکستربادی معمولی بر مقاومت الکتریکی بتن ۹۹
شکل ۵-۱۳- تأثیر کاربرد سرباره بر مقاومت الکتریکی بتن ۹۹
شکل ۵-۱۴ تأثیر کاربرد توأم ۱۵ درصد خاکستربادی معمولی به همراه خاکستربادی ریز بر مقاومت الکتریکی بتن ۱۰۰
شکل ۵-۱۵ تأثیر کاربرد توأم ۳۰ درصد خاکستربادی معمولی به همراه خاکستربادی ریز بر مقاومت الکتریکی بتن ۱۰۰
شکل ۵-۱۶ تأثیر کاربرد توأم ۱۵ درصد سرباره به همراه خاکستربادی ریز بر مقاومت الکتریکی بتن ۱۰۱
شکل ۵-۱۷ تأثیر کاربرد توأم ۳۰ درصد سرباره به همراه خاکستربادی ریز بر مقاومت الکتریکی بتن ۱۰۲

شکل ۵-۱۸ تأثیر کاربرد توأم ۳۰ درصد سرباره به همراه خاکستربادی ریز بر مقاومت الکتریکی بتن _____ ۱۰۲
شکل ۵-۱۹- تأثیر کاربرد مخلوطهای دوجزئی بر جذب آب حجمی نیم ساعته بتن _____ ۱۰۵
شکل ۵-۲۰- تأثیر کاربرد مخلوطهای سه جزئی بر جذب آب حجمی نیم ساعته بتن _____ ۱۰۵
شکل ۵-۲۱- نمودار نرخ نفوذ یون کلر مخلوط های دوجزئی در سنین ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ _____ ۱۰۷
شکل ۵-۲۲- تأثیر کاربرد توأم ۱۵ درصد خاکستر بادی به همراه خاکستربادی ریز بر نرخ انتقال یون کلر در بتن ۱۰۸
شکل ۵-۲۳- تأثیر کاربرد توأم۳۰ درصد خاکستر بادی به همراه خاکستربادی ریز بر نرخ انتقال یون کلر در بتن ۱۰۸
شکل ۵-۲۴- تأثیر کاربرد توأم ۱۵ درصد سرباره به همراه خاکستربادی ریز بر نرخ انتقال یون کلر در بتن _____ ۱۰۹
شکل ۵-۲۵- تأثیر کاربرد توأم ۳۰ درصد سرباره به همراه خاکستربادی ریز بر نرخ انتقال یون کلر در بتن _____ ۱۱۰
شکل ۵-۲۶- تأثیر کاربرد توأم ۵۰ درصد سرباره به همراه خاکستربادی ریز بر نرخ انتقال یون کلر در بتن _____ ۱۱۰
شکل ۵-۲۷- نمودار شار عبوری(کلمب) مخلوط های دو جزئی در سنین ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ _____ ۱۱۲
شکل ۵-۲۸- تأثیر کاربرد توأم ۱۵ درصد خاکستر بادی به همراه خاکستربادی ریز بر شار عبوری در بتن _____ ۱۱۳
شکل ۵-۲۹- تأثیر کاربرد توأم ۳۰ درصد خاکستر بادی به همراه خاکستربادی ریز بر شار عبوری در بتن _____ ۱۱۳
شکل ۵-۳۰- تأثیر کاربرد توأم ۱۵ درصد سرباره به همراه خاکستربادی ریز بر شار عبوری در بتن_____ ۱۱۴
شکل ۵-۳۱- تأثیر کاربرد توأم ۳۰ درصد سرباره به همراه خاکستربادی ریز بر شار عبوری در بتن_____ ۱۱۵
شکل ۵-۳۲- تأثیر کاربرد توأم ۵۰ درصد سرباره به همراه خاکستربادی ریز بر شار عبوری در بتن _____ ۱۱۵

فهرست جداول

جدول ۲-۱- محدوده ترکیبات شیمیایی سرباره درکانادا و آمریکا [۱] _____ ۶

جدول ۲- ۲ اثر مقدار سرباره در زمان گیرش ***[۴]*** _____ ۸

جدول ۲-۳ مقادیر معمول از ساختار شیمیایی خاکسترهای بادی آمریکای شمالی از منابع مختلف[۸] _____ ۱۹

جدول ۲-۴ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از نمونه های خاکستربادی کلاس ***C*** و ***F***[۱۱] _____ ۲۱

جدول ۲-۵ خصوصیات فیزیکی سیمان پرتلند و خاکستربادی با اندازه ذرات مختلف[۱۴] _____ ۲۸

جدول ۲-۶ رابطه بین سایز ذرات خاکستربادی و مساحت سطح آنها [۸] _____ ۲۸

جدول ۲-۷ نمونه ای از مشخصه های شیمیایی سیمان پرتلند و خاکستر بادی با اندازه های متفاوت[۱۴] _____ ۳۱

جدول ۲-۸ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیمان و خاکستربادی بسیارریز و کلاس ***F*** و ***C***[۱۲] _____ ۳۲

جدول ۲-۹ طرح اختلاط بتن با انواع مختلف خاکستربادی و دستیابی به روانی موردنیاز[۱۵] _____ ۳۴

جدول ۲-۱۰ افت اسلامپ بتن حاوی خاکستربادی بسیارریز[۹] _____ ۳۵

جدول ۲-۱۱ میزان ***w/b*** و مقاومت فشاری بدست آمده برای میزان روانی یکسان ٪۱۱۰ _____ ۳۸

بر روی انواع مختلف خاکستربادی[۱۴] _____ ۳۸

جدول ۲-۱۲ نتایج انقباض بر اثر خشک شدن روی انواع مختلف خاکستربادی[۱۴] _____ ۳۹

جدول ۲-۱۳ مقاومت فشاری بتن حاوی خاکستربادی با درصدهای مختلف[۲۰] _____ ۴۴

جدول ۲-۱۴ مقاومت فشاری بتن حاوی سیمان و انواع خاکستر بادی[۱۵] _____ ۴۵

جدول ۲-۱۵ نتایج مقاومت فشاری برای بتن با درصدهای مختلف خاکستربادی ریز[۹] _____ ۴۵

جدول ۲-۱۶ نتایج آزمایش انبساط تحت محلول Na_2SO_4 [۱۴] _____ ۴۹

جدول ۳-۱ جزئیات طرح اختلاط بتن های دو جزئی و سه جزئی مبتنی بر دوده سیلیسی ***[۳۱]*** _____ ۵۳

جدول ۳-۲ نسبت های اجزاء در سیمان کنترل، سیمانهای دوجزئی و سیمانهای سه جزئی[۳۳] _____ ۵۵

جدول ۳-۳ نتایج آزمایش تسریع نفوذ یون کلر ***(RCPT)*** [۳۰] _____ ۵۸

جدول ۳-۴ نتایج آزمایش انتقال یون کلر ***(RMT)*** [۳۶] _____ ۵۸

جدول ۳-۵ جدول طرح مخلوطها و نتایج آزمایش مقاومت فشاری _____ ۶۰

جدول ۴-۱ نتایج آزمایشات انجام شده بر روی سیمان _____ ۶۴

جدول ۴-۲ آنالیز شیمیایی سیمان مورد استفاده _____ ۶۴

جدول ۴-۳ دانه بندی شن تلفیقی و مقایسه با توصیه های استاندارد ***ASTM C***۳۳ _____ ۶۶

جدول ۴-۴ دانه بندی ماسه تلفیقی و مقایسه با توصیه های استاندارد ***ASTM C***۳۳ _____ ۶۶

جدول ۴-۵ دانه بندی کلی مصالح سنگی و مقایسه با توصیه های روش ملی طرح مخلوط بتن _____ ۶۶

جدول ۴-۶ مشخصات فیزیکی مصالح سنگی _____ ۶۹

جدول ۴-۷ آنالیز شیمیایی خاکستر بادی ریز _____ ۷۰

جدول ۴-۸ ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاکستربادی ریز مورد استفاده و مقایسه آن با الزامات طبق استاندارد ***ASTM C***۶۱۸ ۷۰
جدول ۴-۹ آنالیز شیمیایی خاکستر بادی ۷۲
جدول ۴-۱۰ ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاکستربادی معمولی مورد استفاده و مقایسه آن با الزامات استاندارد ***ASTM C***۶۱۸ ۷۳
جدول ۴-۱۱ آنالیز شیمیایی سرباره کوره آهنگدازی ۷۵
جدول ۴-۱۲ ویژگی های فیزیکی و شیمیایی سرباره کوره آهنگدازی طبق استاندارد ***ASTM C***۹۸۹ ۷۵
جدول ۴-۱۳ طرح اختلاط بتن های ساخته شده با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ۷۷
جدول ۴-۱۴- سن نمونه ها برای آزمایش های مختلف ۷۹
جدول ۴-۱۵- تنظیم دستگاه آزمایش ***RCMT*** ۸۳
جدول ۵-۱- طرح اختلاط بتن های ساخته شده همراه با مقدار فوق روانساز استفاده شده ***(w/cm=***۰.۳۸***)*** ۸۹
جدول ۵-۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۹۱
جدول ۵-۳- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی ۹۷
جدول ۵-۴- نتایج آزمایش عمق نفوذ آب در سن ۲۸ روز ۱۰۳
جدول ۵-۵- نتایج آزمایش جذب آب حجمی نیم ساعته در سنین ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روز ۱۰۴
جدول ۵-۶- نتایج آزمایش ***RCMT*** ۱۰۶
جدول ۵-۷- نتایج آزمایش ***RCPT*** ۱۱۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

بتن پر مصرف ترین مصالح در مهندسی عمران است که محققین و مهندسین همواره در بررسی روشهای ارتقاع خواص آن می باشند. یکی از زمینه های مهم تحقیق و توسعه در زمینه بتن، دستیابی به بتن با دوام بالا است. رسیدن به این مهم بدون استفاده از مواد افزودنی امکان پذیر نیست. در چند دهه اخیر برای رفع و یا کاهش نواقص بتن و رسیدن به دوام بالا از مواد افزودنی معدنی مانند خاکستر بادی، سرباره کوره آهن گدازی و اخیراً خاکستربادی ریز استفاده شده است. استفاده از این مواد افزودنی جهت جایگزینی بخشی از سیمان فواید دیگری مانند کاهش مصرف انرژی، حفاظت از محیط زیست و صرفه اقتصادی را نیز به همراه دارد.

با توجه به اینکه خاکستر بادی بعنوان بیشترین ماده زاید صنعتی تولیدی در دنیا شناخته شده است، برای ایجاد زمینه برای مصرف آن و حفاظت از محیط زیست، بررسی عملکرد آن در بتن مورد توجه ویژه محققین بوده است. سرباره کوره آهنگدازی نیز بدلیل داشتن عملکرد پوزولانی و همچنین خواص سیمانی و عملکرد مناسب آن در بتن به لحظ دوام، ماده ای مناسب برای جایگزینی بخش قابل توجهی از سیمان در نظر گرفته شده است.

استفاده توأم از مواد افزودنی معدنی در قالب سیمانهای سه جزئی[۱] جهت رفع برخی کاستی های پوزولانی نظیر روند کسب مقاومت در سالهای اخیر مورد توجه بوده است.

هرچند بتن های سه جزئی معمولا حاوی دوده سیلیسی و نوعی پوزولان دیگر می باشند، به علت محدود بودن منابع دوده سیلیسی و افزایش نیاز آبی بتن ناشی از کاربرد آن، استفاده از خاکستربادی به همراه ماده مکمل سیمانی دیگر مانند سرباره نیز توسط برخی محققین بررسی شده است.

۱-۲- لزوم انجام و اهداف تحقیق

با توجه به اینکه سازه های بتنی ساخته شده با بتن معمولی از نظر دوام در برابر شرایط محیطی فوق العاده شدید منطقه خلیج فارس و دریای عمان عملکرد ضعیفی داشته اند، تحقیق و پژوهش در خصوص استفاده از مواد افزودنی معدنی جهت ارتقاء دوام بتن ضروری می باشد.

تحقیقات زیادی در سطح جهان در زمینه استفاده از مواد افزودنی خاکستر بادی ریز، خاکستربادی معمولی و سرباره کوره آهنگدازی بطور مجزا(سیمان دوجزئی[۲]) انجام شده است. همچنین تحقیقات قابل توجهی در خصوص استفاده توأم از خاکستربادی و همچنین سرباره کوره آهنگدازی انجام شده است. لیکن در خصوص استفاده از خاکستربادی ریز همراه ماده افزودنی دیگر به صورت سه جزئی تحقیقات گزارش شده بسیار محدود بوده است.

با توجه به در دسترس بودن خاکستربادی و خاکستربادی بسیار ریز وارداتی در کشور و کاربرد آنها در برخی پروژه های بندر سازی، تحقیق حاضر به بررسی عملکرد بتن های مبتنی بر سیمانهای سه جزئی حاوی خاکستربادی ریز به همراه خاکستربادی معمولی و سیمانهای سه جزئی حاوی خاکستربادی ریز به همراه سرباره کوره آهنگدازی تولید داخل می پردازد

۱-۳- سر فصل ها

مطالب این تحقیق در قالب فصول ذیل تنظیم و ارائه شده است.

---

[۱] Ternary Cements

[۲] Binary Cement