دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد سازه

عنوان پایان نامه

بررسی تأثیر استفاده توأم از خاکستر بادی و دوده سیلیسی بر خواص مکانیکی و دوام بتن

استاد راهنما :

دکتر علیرضا باقری

نام دانشجو :

هادی علیزاده

۸۷۰۴۳۴۴

تابستان ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحیم

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه :

بررسی تأثیر استفاده توأم از خاکستر بادی و دوده سیلیسی بر خواص مکانیکی و دوام بتن

استاد راهنما : آقای دکتر علیرضا باقری

نام دانشجو : هادی علیزاده

شماره دانشجویی : ۸۷۰۴۳۴۴

اینجانب هادی علیزاده 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 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

پدر و مادر مهربانم و همسر فداکارم

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.
- از دوستان خوبم آقایان مهندس حامد زنگانه، مهندس محمد علی سیفی مریان، مهندس محمد مهدی معلمی 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 :

طی چند دهه اخیر مطالعات گسترده ای روی بتن های حاوی سیمان دو جزئی مبتنی بر خاکستر بادی و یا دوده سیلیسی انجام شده که نشانگر مزایایی نظیر بهبود عملکرد دوام این نوع بتن ها بوده است. در عین حال هر کدام از این بتن های حاوی سیمان دو جزئی دارای کاستی هایی می باشد؛ که بطور مثال می توان در بتن های حاوی خاکستر بادی به روند کند کسب مقاومت اولیه و نیز در بتن های حاوی دوده سیلیسی به کاهش کارآیی و افزایش نیاز آبی، اشاره نمود. برای رفع این نقایص اخیراً استفاده توأم این دو ماده افزودنی در بتن مورد توجه محققین قرار گرفته است.

در این تحقیق تأثیر افزودن توأم خاکستر بادی وارداتی نوع F و دوده سیلیسی تولید داخل کشور با تأثیر افزودن این دو ماده بطور جداگانه، روی روند کسب مقاومت و عملکرد دوام بتن مقایسه شده است. بتن های دو جزئی شامل خاکستر بادی در مقادیر ۱۵ و ۳۰ درصد و دوده سیلیسی در مقادیر ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد جایگزین سیمان و بتن های سه جزئی نیز شامل خاکستر بادی در مقادیر ۱۵ و ۳۰ درصد همراه با مقادیر ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد دوده سیلیسی بوده اند. نسبت آب به مواد سیمانی (w/cm) کلیه مخلوط ها ثابت و برابر ۰/۳۸ بوده و عیار مواد سیمانی ۴۲۰ Kg/m^3 و میزان اسلامپ رده S_3 (۱۵۰-۱۰۰mm) برای کلیه مخلوط ها ثابت در نظر گرفته شده است. آزمایش های انجام شده شامل تعیین روند کسب مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، عمق نفوذ آب تحت فشار، آزمایش تسریع شده نفوذ یون کلر (RCPT)، آزمایش تسریع شده انتقال یون کلر در بتن (RCMT)، جذب آب حجمی و مقاومت ویژه الکتریکی بوده اند.

نتایج حاصله نشانگر اینست که مخلوط شاهد (بدون پوزولان) در مقایسه با مخلوط های دو جزئی و سه جزئی عملکرد بسیار ضعیف تری به لحاظ دوام داشته است. کاربرد خاکستر بادی باعث بهبود نسبتاً محدودی در خواص دوام شده است. همچنین استفاده از خاکستر بادی خصوصاً در ۳۰ درصد مصرف افت بسیار قابل توجه در مقاومت بتن در سنین مختلف را به دنبال داشته است. با استفاده توأم از خاکستر بادی به همراه دوده سیلیسی مشکلات افت مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی تا حد زیادی جبران شده، در عین حال ارتقاء بسیار قابل توجه در خواص دوام حاصل شده است. بتن های دو جزئی حاوی دوده سیلیسی خصوصاً در مقادیر مصرف ۵ درصد و بالاتر عملکرد بسیار مناسبی به لحاظ خواص مکانیکی و دوام داشته اند. بتن های سه جزئی در مقایسه با بتن های دو

جزئی حاوی مقادیر متناظر دوده سیلیسی مزیت نسبتاً محدودی به لحاظ خواص دوام ایجاد کرده اند و به نظر می رسد مزیت اصلی آنها، کاهش نیاز آبی و مشکلات اجرایی، کاهش مصرف سیمان از طریق جایگزینی آن با خاکستر بادی و منافع زیست محیطی و کاهش مصرف انرژی ناشی از آن باشد.

کلید واژه : سیمان سه جزئی، خواص مکانیکی و دوام، خاکستر بادی، دوده سیلیسی، RCPT، RCMT، مقاومت ویژه الکتریکی، جذب آب حجمی، عمق نفوذ آب تحت فشار

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- لزوم انجام و اهداف تحقیق	۲
۱-۳- سر فصل ها	۳
فصل دوم : دوده سیلیسی در بتن	۵
۲-۱- معرفی دوده سیلیسی	۵
۲-۱-۱- مقدمه	۵
۲-۱-۲- انواع دوده سیلیسی	۶
۲-۱-۳- مشخصات دوده سیلیسی	۸
۲-۱-۴- خواص فیزیکی دوده سیلیسی	۹
۲-۱-۵- ترکیب شیمیایی دوده سیلیسی	۱۱
۲-۱-۶- ساز و کار تأثیر دوده سیلیسی بر خمیر سیمان	۱۲
۲-۱-۷- کاربرد بتن های حاوی دوده سیلیسی	۱۴
۲-۲- تأثیر دوده سیلیسی بر خواص بتن تازه	۱۵
۲-۲-۱- کارایی	۱۵
۲-۲-۲- جداشدگی سنگدانه ها	۱۵
۲-۲-۳- چگالی بتن تازه	۱۶
۲-۲-۴- آب انداختگی و جمع شدگی پلاستیک	۱۶
۲-۳- تاثیر دوده سیلیسی برخواص بتن سخت شده	۱۷
۲-۳-۱- ساز و کار عملکرد دوده سیلیسی در بتن سخت شده	۱۷
۲-۳-۲- مقاومت فشاری	۱۸
۲-۳-۳- مدول الاستیسته	۱۹
۲-۳-۴- مقاومت خمشی	۲۰

۲-۳-۵- دوام بتن حاوی دوده سیلیسی ۲۰
۲-۳-۵-۱- مقاوت در برابر نفوذ یون کلر در بتن ۲۱
۲-۳-۵-۲- مقاومت ویژه الکتریکی ۲۲
۲-۳-۵-۳- جذب آب حجمی ۲۲
فصل سوم : خاکستر بادی در بتن ۲۳
۳-۱- معرفی خاکستر بادی ۲۳
۳-۱-۱- مقدمه ۲۳
۳-۱-۲- منابع خاکستر بادی ۲۵
۳-۱-۳- ساختار خاکستر بادی ۲۵
۳-۱-۳-۱- ساختار شیمیایی ۲۶
۳-۱-۳-۲- خصوصیات فیزیکی ۲۸
۳-۱-۴- فعالیت شیمیایی خاکستر بادی در بتن با سیمان هیدرولیکی ۳۰
۳-۲- تاثیر خاکستر بادی بر خواص بتن تازه ۳۱
۳-۲-۱- کارآیی ۳۱
۳-۲-۲- آب انداختگی ۳۲
۳-۲-۳- تأثیر خاکستر بادی بر گرمازایی بتن ۳۲
۳-۳- تاثیر خاکستر بادی بر خواص بتن سخت شده ۳۳
۳-۳-۱- تأثیر خاکستر بادی بر مقاومت بتن ۳۳
۳-۳-۱-۱- مقاومت فشاری و بهبود روند کسب مقاومت ۳۳
۳-۳-۱-۲- تأثیر ترکیب شیمیایی خاکستر بادی بر مقاومت فشاری ۳۴
۳-۳-۲- دوام بتن حاوی خاکستر بادی ۳۴
۳-۳-۲-۱- مقاوت در برابر نفوذ یون کلر در بتن RCPT ۳۵
۳-۳-۲-۲- مقاومت الکتریکی ۳۶

۳-۳-۲-۳- جذب آب حجمی ۳۶
۳-۳-۲-۴- مقاومت در برابر ذوب شدن و یخ زدن ۳۶
۳-۳-۲-۵- مقاومت در برابر حمله سولفاتی ۳۷
فصل چهارم : استفاده توأم از خاکستر بادی و دوده سیلیسی در بتن ۳۸
۴-۱- مقدمه ۳۸
۴-۲- تأثیر سیمان سه جزئی بر خواص بتن تازه ۴۰
۴-۲-۱- آب انداختگی بتن تازه ۴۰
۴-۲-۲- گرمازایی بتن ۴۰
۴-۲-۳-کارآیی ۴۱
۴-۳- تأثیر سیمان سه جزئی بر خواص بتن سخت شده ۴۲
۴-۳-۱- مقاومت فشاری ۴۲
۴-۳-۲- مقاومت خمشی ۴۵
۴-۳-۳- نفوذ پذیری و مقاومت در برابر نفوذ یون کلر ۴۶
فصل پنجم : مصالح مصرفی و برنامه آزمایشگاهی ۵۱
۵-۱- کلیات برنامه آزمایشگاهی ۵۱
۵-۲- مواد و مصالح مصرفی ۵۲
۵-۲-۱- سیمان ۵۲
۵-۲-۲- سنگدانه ۵۴
۵-۲-۳- آب ۵۹
۵-۲-۴- فوق روانساز ۶۰
۵-۲-۵- خاکستر بادی ۶۰
۵-۲-۶- دوده سیلیسی ۶۱
۵-۳- مخلوط های بتن مورد مطالعه ۶۲
۵-۴- ساخت مخلوط ها ۶۴

۵-۵-ساخت آزمونه ها و روش عمل آوری ۶۵
۵-۶-آزمایش های انجام شده ۶۷
۵-۶-۱- آزمایش مقاومت فشاری ۶۷
۵-۶-۲- آزمایش مقاومت خمشی ۶۸
۵-۶-۳- آزمایش تسریع شده انتقال یون کلر (RCMT) ۶۸
۵-۶-۴- آزمایش تسریع شده نفوذ یون کلر (RCPT) ۷۱
۵-۶-۵- آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار ۷۳
۵-۶-۶- آزمایش جذب حجمی ۷۴
۵-۶-۷- آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی ۷۵
فصل ششم : نتایج و تجزیه و تحلیل آنها ۷۶
۶-۱- نیاز آبی مخلوط ها ۷۶
۶-۲- مقاومت فشاری ۷۸
۶-۲-۱- تأثیر کاربرد خاکستر بادی و دوده سیلیسی بر مقاومت فشاری بتن ۷۸
۶-۲-۲- تأثیر کاربرد توأم دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر مقاومت فشاری بتن ۸۰
۶-۲-۳- بررسی تأثیر نسبت آب به مواد سیمانی بر مقاومت فشاری ۸۲
۶-۳- مقاومت خمشی ۸۴
۶-۴- آزمایش تسریع شده انتقال یون کلر به داخل بتن RCMT ۸۶
۶-۴-۱- تأثیر کاربرد دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر ضریب نفوذ یون کلر به داخل بتن RCMT ۸۷
۶-۴-۲- تأثیر کاربرد توأم دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر ضریب نفوذ یون کلر به داخل بتن RCMT ۸۹
۶-۴-۳- بررسی تأثیر نسبت آب به مواد سیمانی بر میزان نفوذ یون کلر در بتن ۹۱
۶-۵- آزمایش تسریع شده نفوذ یون کلر به داخل بتن RCPT ۹۲
۶-۵-۱- تأثیر کاربرد دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر شار عبوری بتن RCPT ۹۳
۶-۵-۲- تأثیر کاربرد توأم دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر شار عبوری بتن RCPT ۹۵
۶-۵-۳- بررسی تأثیر نسبت آب به مواد سیمانی بر شارعبوری از بتن ۹۷

۶-۶- عمق نفوذ آب تحت فشار ۹۸
۶-۷- جذب آب حجمی ۱۰۲
۶-۸- مقاومت ویژه الکتریکی ۱۰۷
۶-۸-۱- تأثیر کاربرد دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر مقاومت ویژه الکتریکی ۱۰۸
۶-۸-۲- تأثیر کاربرد توأم دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر مقاومت ویژه الکتریکی ۱۱۰
۶-۸-۳- بررسی تأثیر نسبت آب به مواد سیمانی بر مقاومت الکتریکی ویژه بتن ۱۱۱
۶-۹- مقایسه مخلوط های مورد مطالعه در سنین مختلف به لحاظ عملکرد دوام ۱۱۳
فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۱۷
۷-۱- نتیجه گیری ۱۱۷
۷-۲- پیشنهادها ۱۱۹
مراجع ۱۲۰

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ : تصویر TEM از دوده سیلیسی ۸

شکل ۲-۲ : تصویر TEM از دوده سیلیسی ۸

شکل ۲-۳ : تصویر SEM از دوده سیلیسی ۹

شکل ۲-۴ – تصویری از ساختار ناحیه انتقالی بین خمیر سیمان و سنگدانه ۱۸

شکل ۲-۵ – تأثیر دوده سیلیسی بر مقاومت فشاری بتن ۱۹

شکل ۲-۶- تأثیر کاربرد دوده سیلیسی بر ضریب نفوذ پذیری یون کلر در بتن ۲۱

شکل ۳-۱- تصویر میکرو گراف الکترونی از خاکستر بادی Class F ۲۹

شکل ۳-۲- تأثیر کاربرد خاکستر بادی بر نیاز آبی مخلوط بتن ۳۱

شکل ۳-۳- تأثیر خاکستر بادی بر گرمازایی بتن ۳۲

شکل ۳-۴- روند توسعه مقاومت فشاری مواد سیمانی مختلف، خاکستر بادی Class F ۳۳

شکل ۳-۵- تأثیر کاربرد خاکستر بادی بر بار الکتریکی عبوری از بتن ۳۵

شکل ۴-۱- بتن حاوی سیمان سه جزئی مبتنی بر دوده سیلیسی و خاکستر بادی ۳۹

شکل ۴-۲- مقایسه نمودار میزان حرارت زایی مخلوط های مختلف بتن ۴۱

شکل ۴-۳- مقایسه روانی مخلوط های مختلف بتن ۴۲

شکل ۴-۴- مقاومت فشاری مخلوط های مختلف بتن ۴۳

شکل ۴-۵- روند کسب مقاومت فشاری در بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۰ ۴۵

شکل ۴-۶- تأثیر توأم دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر مقاومت خمشی بتن ۴۶

شکل ۴-۷- میزان نفوذ یون کلر در بتن ۴۷

شکل ۴-۸- بهبود مقاومت در برابر نفوذ یون کلر در بتن های با نسبت آب به سیمان۰/۴۰ ۴۸

شکل ۴-۹- تأثیر کاربرد توأم دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر شار عبوری بتن ۴۹

شکل ۴-۱۰- تأثیر کاربرد توأم دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر بار الکتریکی عبوری از بتن در سن ۲۸ روز ۵۰

شکل ۵-۱- عایق بندی کیسه های سیمان ۵۴

شکل ۵-۲- بسته بندی سنگدانه ها در کیسه های پلاستیکی ۵۵

شکل ۵-۳- منحنی دانه بندی شن تلفیقی و مقایسه با توصیه های ASTM C33 ۵۷
شکل ۵-۴- منحنی دانه بندی ماسه تلفیقی و مقایسه با توصیه های ASTM C33 ۵۸
شکل ۵-۵- منحنی دانه بندی مصالح سنگی طبق توصیه های روش ملی طرح مخلوط بتن ۵۸
شکل ۵-۶- تصویر نمونه ای از خاکستر بادی ۶۱
شکل ۵-۷- تصویر نمونه ای از دوده سیلیسی ۶۲
شکل ۵-۸- حوضچه های عمل آوری نمونه ها ۶۶
شکل ۵-۹- دستگاه مورد استفاده برای آزمایش مقاومت فشاری ۶۷
شکل ۵-۱۰- جزئیات قاب برای اعمال بار خمشی بر اساس استاندارد ASTM C78 ۶۸
شکل ۵-۱۱- دستگاه آزمایش RCMT ۷۰
شکل ۵-۱۲- چگونگی اندازه گیری نفوذ کلر در نمونه ها ۷۰
شکل ۵-۱۳- تصویر شماتیک دستگاه RCPT ۷۲
شکل ۵-۱۴- چگونگی قرار گیری نمونه درون سلول ۷۲
شکل ۵-۱۵- دستگاه آزمایش RCPT ۷۳
شکل ۵-۱۶- دستگاه آزمایش تعیین عمق نفوذ آب تحت فشار ۷۴
شکل ۵-۱۷- دستگاه آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی ۷۵
شکل ۶-۱- مقدار فوق روانساز به کار رفته برای هر مخلوط جهت دستیابی
به محدوده اسلامپ ۱۰۰-۱۵۰ mm ۷۷
شکل ۶-۲- تأثیر کاربرد خاکستر بادی بر مقاومت فشاری بتن ۷۹
شکل ۶-۳- تأثیر کاربرد دوده سیلیسی بر مقاومت فشاری بتن ۸۰
شکل ۶-۴- الف- تأثیر ۱۵ درصد خاکستر بادی و مقادیر مختلف دوده سیلیسی بر مقاومت فشاری بتن ۸۱
شکل ۶-۴- ب- تأثیر ۳۰ درصد خاکستر بادی و مقادیر مختلف دوده سیلیسی بر مقاومت فشاری بتن ۸۲
شکل ۶-۵- تأثیر کاهش نسبت آب به مواد سیمانی بر مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف ۸۳
شکل ۶-۶- تأثیر کاربرد خاکستر بادی و دوده سیلیسی (بطور جداگانه و توأم) بر مقاومت خمشی بتن ۸۴
شکل ۶-۷- تأثیر کاهش نسبت آب به مواد سیمانی بر مقاومت خمشی بتن ۸۵

شکل ۶-۸- تأثیر کاربرد دوده سیلیسی بر نرخ نفوذ یون کلر در بتن ۸۷
شکل ۶-۹- تأثیر کاربرد خاکستر بادی بر نرخ نفوذ یون کلر در بتن ۸۸
شکل ۶-۱۰- الف- تأثیر ۱۵ درصد خاکستر بادی و مقادیر مختلف دوده سیلیسی بر نرخ نفوذ یون کلر در بتن ۸۹
شکل ۶-۱۰-ب- تأثیر ۳۰ درصد خاکستر بادی و مقادیر مختلف دوده سیلیسی بر نرخ نفوذ یون کلر در بتن ۹۰
شکل ۶-۱۱- تأثیر کاهش نسبت آب به مواد سیمانی بر نرخ نفوذ یون کلر در بتن ۹۱
شکل ۶-۱۲- تأثیر کاربرد دوده سیلیسی بر شار عبوری از بتن ۹۴
شکل ۶-۱۳- تأثیر کاربرد خاکستر بادی بر شار عبوری از بتن ۹۵
شکل ۶-۱۴-الف- تأثیر کاربرد توأم ۱۵ درصد خاکستر بادی و دوده سیلیسی بر شار عبوری از بتن ۹۶
شکل ۶-۱۴-ب- تأثیر کاربرد توأم ۳۰ درصد خاکستر بادی و دوده سیلیسی بر شار عبوری از بتن ۹۷
شکل ۶-۱۵- تأثیر کاهش نسبت آب به مواد سیمانی بر شار عبوری از بتن ۹۸
شکل ۶-۱۶- تأثیر کاربرد خاکستر بادی و دوده سیلیسی (بطور جداگانه و توأم) بر عمق نفوذ آب تحت فشار ۱۰۰
شکل ۶-۱۷- تأثیر کاهش نسبت آب به مواد سیمانی بر عمق نفوذ آب تحت فشار بتن ۱۰۱
شکل ۶-۱۸- تأثیر کاربرد دوده سیلیسی بر جذب آب حجمی نیم ساعته بتن ۱۰۳
شکل ۶-۱۹- تأثیر کاربرد خاکستر بادی بر جذب آب حجمی نیم ساعته بتن ۱۰۴
شکل ۶-۲۰- الف- تأثیر کاربرد توأم ۱۵ درصد خاکستر بادی و دوده سیلیسی
بر جذب آب حجمی نیم ساعته بتن ۱۰۵
شکل ۶-۲۰- ب- تأثیر کاربرد توأم ۳۰ درصد خاکستر بادی و دوده سیلیسی
بر جذب آب حجمی نیم ساعته بتن ۱۰۵
شکل ۶-۲۱- تأثیر کاهش نسبت آب به مواد سیمانی بر جذب آب حجمی نیم ساعته بتن ۱۰۶
شکل ۶-۲۲- تأثیر کاربرد دوده سیلیسی بر مقاومت الکتریکی ویژه بتن ۱۰۸
شکل ۶-۲۳- تأثیر کاربرد خاکستر بادی بر مقاومت الکتریکی ویژه بتن ۱۰۹
شکل ۶-۲۴-الف- تأثیر کاربرد ۱۵ درصد خاکستر بادی و دوده سیلیسی بر مقاومت الکتریکی ویژه بتن ۱۱۰
شکل ۶-۲۴-ب- تأثیر کاربرد ۳۰ درصد خاکستر بادی و دوده سیلیسی بر مقاومت الکتریکی ویژه بتن ۱۱۱
شکل ۶-۲۵- تأثیر کاهش نسبت آب به مواد سیمانی بر مقاومت الکتریکی ویژه بتن ۱۱۲

فهرست جداول

جدول ۲-۱- سیلیس موجود در دوده سیلیسی بر حسب نوع آلیاژ تولید شده ۶

جدول ۲-۲ – وزن مخصوص دوده سیلیسی تولید شده از آلیاژ های مختلف ۱۰

جدول ۲-۳ – الزامات فیزیکی دوده سیلیسی ۱۰

جدول ۲-۴ – خصوصیات فیزیکی دوده های سیلیسی مختلف ۱۰

جدول ۲-۵ – الزامات شیمیایی دوده سیلیسی ۱۱

جدول ۲-۶ – تفاوت های ترکیبات شیمیایی دوده های سیلیسی از منابع مختلف ۱۱

جدول ۲-۷ – تجزیه شیمیایی دوده سیلیسی کارخانه فروسیلیس سمنان ۱۲

جدول ۲-۸ - تجزیه شیمیایی دوده سیلیسی کارخانه ازنا ۱۲

جدول ۳-۱- یک روش طبقه بندی خاکستر بادی ۲۷

جدول ۳-۲- ساختار شیمیایی خاکسترهای بادی معمول آمریکای شمالی برای منابع مختلف ۲۷

جدول ۳-۳- الزامات شیمیایی خاکستر بادی ۲۸

جدول ۳-۴- خواص فیزیکی و شیمیایی یک نمونه خاکستربادی ۳۰

جدول ۳-۵- الزامات فیزیکی اختیاری خاکستر بادی ۳۱

جدول ۴-۱- میزان آهک تولید شده در مخلوط های مختلف بتن ۴۴

جدول ۵-۱ : نتایج آزمایشات انجام شده بر روی سیمان ۵۳

جدول ۵-۲: آنالیز شیمیایی سیمان مورد استفاده ۵۳

جدول ۵-۳: دانه بندی شن تلفیقی و مقایسه با توصیه های استاندارد ASTM C33 ۵۶

جدول ۵-۴: دانه بندی ماسه تلفیقی و مقایسه با توصیه های استاندارد ASTM C33 ۵۶

جدول ۵-۵: دانه بندی کلی مصالح سنگی و مقایسه با توصیه های روش ملی طرح مخلوط بتن ۵۷

جدول ۵-۶- مشخصات فیزیکی مصالح سنگی ۵۹

جدول ۵-۷- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاکستربادی طبق استاندارد ASTM C618 ۶۰

جدول ۵-۸- آنالیز شیمیایی خاکستر بادی ۶۱

جدول ۵-۹- آنالیز شیمیایی دوده سیلیسی ۶۱

جدول ۵-۱۰- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی دوده‌سیلیسی طبق استاندارد ASTM C1240 ۶۲
جدول ۵-۱۱- کد اختصاری طرح اختلاط های بتن ۶۳
جدول ۵-۱۲- میزان اسلامپ و فوق روانساز مخلوط ها ۶۵
جدول ۵-۱۳- سن نمونه ها برای آزمایش های مختلف ۶۶
جدول ۵-۱۴- تنظیم دستگاه آزمایش RCMT ۷۰
جدول ۶-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری و مقاومت خمشی ۷۸
جدول ۶-۲- نتایج آزمایش RCMT ۸۶
جدول ۶-۳- نتایج آزمایش RCPT ۹۲
جدول ۶-۴- نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار و ۹۹
جدول ۶-۵- نتایج آزمایش جذب آب حجمی نیم ساعته ۱۰۲
جدول ۶-۶- نتایج آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی ۱۰۷
جدول ۶-۷- محدوده رتبه بندی نتایج مخلوط ها ۱۱۳
جدول ۶-۸- رتبه بندی مخلوط های با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ در سنین مختلف ۱۱۴
جدول ۶-۹- رتبه بندی کلی عملکرد مخلوط ها به لحاظ دوام جدول ۱۱۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه :

بی شک بتن پر مصرف ترین ماده پس از آب، در مهندسی عمران است. اما این ماده مصنوعی ساخت دست بشر نواقصی مانند تخلخل، دوام و استحکام نسبتاً کم آهک هیدراته موجود در خمیر سیمان، تغییرات حجمی بتن ناشی از گرما زایی و ایجاد ترک، دارد. یکی از زمینه های مهم تحقیق و توسعه در زمینه بتن، دستیابی به بتن با دوام 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 بتن با دوام از مواد افزودنی مانند، خاکستر بادی، دوده سیلیسی و پوزولان های طبیعی استفاده شده است . استفاده از این مواد پوزولانی فواید دیگری مانند، کاهش مصرف انرژی، حفاظت از محیط زیست و مسائل اقتصادی را نیز به همراه دارد.

در این بین خاکستر بادی و دوده سیلیسی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند. خاکستر بادی بدلیل اینکه بعنوان بیشترین ماده زائد صنعتی در دنیا شناخته شده و برای ایجاد زمینه برای مصرف آن و حفاظت از محیط زیست و همچنین با توجه به اثرات قابل قبولی که در بتن از خود نشان داده است، مورد توجه ویژه محققین قرار دارد. دوده سیلیسی نیز بدلیل خلوص بالای سیلیس و سطح ویژه زیاد عملکرد مناسبی از خود در ارتقاء مقاومت و بهبود تخلخل بتن نشان داده است. شایان ذکر است که استفاده از دوده سیلیسی باعث بروز مشکلات اجرایی مانند افزایش نیاز آبی و نیز افزایش ترک های پلاستیک بتن

می شود.

برای رفع و یا کاهش معایب و نیز استفاده بهینه از مزایای استفاده از خاکستر بادی و دوده سیلیسی در بتن، اخیراً استفاده توأم خاکستر بادی و دوده سیلیسی در بتن مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این تحقیق خواص مکانیکی و دوام بتن های دو جزئی حاوی خاکستر بادی و دوده سیلیسی به طور جداگانه و نیز استفاده توأم این دو ماده افزودنی در بتن مورد بررسی قرار گرفته 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 جهت ارتقاء دوام بتن ضروری می باشد.

تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از دو ماده افزودنی خاکستر بادی و دوده سیلیسی بطور جداگانه انجام شده است. لیکن تاکنون در کشور پژوهش متمرکزی روی استفاده توأم از این دو ماده افزودنی (بتن سه جزئی) صورت نگرفته است. با توجه به تولید دوده سیلیسی در کشور و همچنین در دسترس بودن خاکستر بادی وارداتی پایان نامه حاضر به این موضوع می پردازد.

با توجه به اینکه عملکرد آزمایشRCPT[1] برای ارزیابی دوام بتن های حاوی پوزولان ها توسط برخی محققین مورد سؤال می باشد، در این تحقیق علاوه بر این آزمایش از آزمایش RCMT[2] نیز استفاده شده است. شایان ذکر است که آزمایش RCMT در کشور برای اولین بار انجام می گیرد.

[1] Rapid Chloride Penetration Test
[2] Rapid Chloride Migration Test