دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

عنوان:

ارزیابی آزمایشگاهی اثر رژیم حرارتی بر خواص لایه های سطحی بتن های حجیم

استاد راهنما:

دکتر محمود نیلی

پژوهشگر:

محسن دایی چینی

خرداد ماه ۱۳۸۹

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان نامه در مجلات، کنفرانس ها و یا سخنرانی ها، باید نام دانشگاه بوعلی (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

در مراحل انجام این پژوهش مقالات زیر تدوین گردید:

۱- ارائه مقاله شفاهی در پنجمین کنگره ملی عمران

۲-ارائه مقاله شفاهی و دریافت لوح تقدیر در اولین نشست تخصصی آب منطقه‌ای همدان

۳- پذیرش اصل مقاله در ۹امین کنگره بین المللی مهندسی عمران پیشرفته ACE 2010

۴- ارائه مقاله پوستری در هفته پژوهش در دانشگاه بوعلی

و رردای

ش و پاس ذات پاک وی یاز ودی قم، را ت و اسان، ا ت یدواورا ز ورعم وداش یارا ت.

ا ک و ق .و رون ان و نررایا .ام، ود ض ی دام ازمای مروران ان رت ایاری در مام.

ازا تاد زا ام ناب آ ی د مریی پاس زمات و تلاش ی ی ش .و عمات اقدرشان و رردای ی م.

ازاساید روار ناب آ ی د مرر ضایا ورو ناب آ ی د مررن ز ت داوری ن پایان راز ی مام.

ن ازاساید وه ند ی ان دا ه وعی نا مرشان ب داش وده ام رردای ی مام.

قدم

رر روارو بام

وما بان‌ود وزم

ی‌ام‌را نا یدر

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

ارزیابی آزمایشگاهی اثر رژیم حرارتی بر خواص لایه های سطحی بتن های حجیم

نام نویسنده: محسن دایی چینی

نام استاد راهنما: دکتر محمود نیلی

دانشکده : مهندسی	**گروه آموزشی: عمران**	
رشته تحصیلی: مهندسی عمران	**گرایش تحصیلی: سازه**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب: ۸۷/۷/۲۹	**تاریخ دفاع: ۸۹/۳/۱۶**	**تعداد صفحات: ۱۴۸**

چکیده:

لایه های سطحی در بتن های حجیم تحت شرایط نسبتاً پیچیده رژیم حرارتی - رطوبتی از یک سو و شوک حرارتی پس از قالب برداری از سوی دیگر قرار می گیرند. با افزایش رده مقاومتی بتن و یا افزایش میزان سیمان مصرفی این پدیده بحرانی‌تر می‌گردد. در تحقیق حاضر شرایط واقعی هیدراسیون سیمان در لایه های سطحی بتن حجیم مدل‌سازی آزمایشگاهی شده است. سه رژیم حرارتی با دمای حداکثر ۴۹، ۶۱ و ۷۳ درجه سلسیوس در طول مدت ۲۴ ساعت بر روی نمو نه های بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۶و ۰/۴۶ اعمال گردیده است. نمو نه‌ها پس از تحمل رژیم حرارتی به محیط آزمایشگاه منتقل و تا سنین آزمایش نگهداری شده اند. برای مقایسه نمونه هائی نیز در شرایط استاندارد و خشک تهیه شده اند. در صد میکروسیلیس مصرفی ۰٪ ، ۵٪ و ۸٪ می باشند. نتایج نشان می دهد که بتن‌های حاوی میکروسیلیس به شدت متأثر از شرایط نگهداری می باشند. مقاومت فشاری طولانی مدت نمونه های حاوی میکروسیلیس در شرایط خشک در مقایسه با نمونه‌های استاندارد کاهش قابل توجه یافته اند. اعمال رژیم حرارتی با پیک دمائی ۷۳ و ۶۱ در جه سلسیوس باعث کسب مقاومت ۱ روزه قابل توجهی می شود از سوی دیگر روند کسب مقاومت ودوام را در طولانی مدت کاهش می دهد. با افزایش در صد میکروسیلیس مقاومت طولانی مدت نمونه‌های حرارتی نسبت به نمونه هایی که در شرایط استاندارد نگهداری شده‌اند کاهش بیشتری می یابد. دمای زیاد نمونه‌های فاقد میکروسیلیس سبب افزایش نفوذپذیری و کاهش دوام می‌گردد بنابر این بر اساس نتایج حاضر ارزیابی روند خواص مقاومتی و دوامی در لایه سطحی بتن حجیم به دلیل قرار گرفتن در دمای قابل توجه از طریق نگهداری نمونه در شرایط استاندارد قابل اعتماد نمی‌باشد و لحاظ نمودن اثر دما و رطوبت در نمونه‌های حاوی میکروسیلیس بر اساس نتایج حاصل از این پایان‌نامه توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: لایه سطحی، رژیم حرارتی، بتن حجیم، میکروسیلیس

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱- کلیات ۲
۱-۲- دامنه و اهداف پژوهش ۵

فصل دوم: پیشینه و مرور تحقیقات انجام شده ۷
۲-۱- هیدراسیون سیمان ۹
۲-۱-۱- واکنش‌های هیدراسیون سیمان ۱۲
۲-۲- حرارت هیدراسیون سیمان ۱۳
۲-۳- عوامل اثر گذار بر حرارت هیدراسیون ۱۵
۲-۳-۱- سیمان ۱۵
۲-۳-۲- نسبت آب به سیمان ۱۸
۲-۳-۳-دمای بتن‌ریزی و دمای اولیه ۱۸
۲-۳-۴- مواد سیمانی جایگزین ۱۹
۲-۳-۵- افزودنی شیمیایی ۲۱
۲-۴- حرارت هیدراسیون کل ۲۲
۲-۵- خواص بتن و بلوغ ۲۳
۲-۶- تأثیر دمای عمل‌آوری بر ریز ساختار سیمان هیدراته ۲۶
۲-۷- اثر دمای عمل‌آوری بر افزایش مقاومت بتن ۲۷
۲-۷-۱- عوامل کاهش مقاومت دراز مدت بتن تحت عمل‌آوری با دمای زیاد ۳۵
۲-۸- اثر دما بر دوام بتن ۳۷
۲-۹- تأخیر در تشکیل اترینگایت ۴۲
۲-۹-۱- تشکیل اترینگایت در بتن تازه ۴۳
۲-۹-۲- تشکیل اترینگایت در بتن سخت شده ۴۴
۲-۹-۳- نقش اجزاء مخلوط بتن در پدیده DEF ۴۶
۲-۹-۳-۱- نوع و ترکیب سیمان ۴۶
۲-۹-۳-۲- سنگدانه ۴۷
۲-۹-۳-۳- نسبت آب به سیمان ۴۸
۲-۹-۳-۴- حفرات هوا ۴۸
۲-۱۰- چند فاکتور مهم در عمل‌آوری بتن در دمای زیاد ۴۹

فصل سوم: مصالح مصرفی و طراحی آزمایش‌ها ۵۲
۳-۱- مقدمه ۵۳
۳-۲- مشخصات مصالح مصرفی ۵۵
۳-۲-۱- سنگدانه ۵۵

۳-۲-۱-۱- ماسه ۵۵
۳-۲-۱-۲-شن ۵۶
۳-۲-۲- مواد سیمانی ۵۷
۳-۲-۳- فوق روان کننده ۵۹
۳-۲-۴- آب ۵۹
۳-۳- طراحی اختلاط مواد و مصالح ۵۹
۳-۳-۱- نسبت آب به سیمان ۵۹
۳-۳-۲- نسبت سنگدانه‌ها ۵۹
۳-۳-۳- عیار مصرفی سیمان ۶۰
۳-۳-۴- روش محاسبه طرح اختلاط ۶۱
۳-۳-۵- نحوه اختلاط مواد و مصالح بکار رفته ۶۴
۳-۴- نمونه‌گیری ازبتن تازه و آزمایش‌ها ۶۵
۳-۴-۱- نمونه‌گیری به منظور مطالعه تأثیر عمل‌آوری تحت رژیم حرارتی ۶۶
۳-۴-۱-۱- تشریح نرم افزار Jumo Dicon 40x/50x ۶۷
۳-۴-۱-۲- نمونه‌گیری و روش نگهداری ۷۲
۳-۴-۱-۳- آزمایش تعیین مقاومت فشاری ۷۳
۳-۴-۱-۴- آزمایش تعیین جذب آب حجمی ۷۴
۳-۴-۱-۵- آزمایش تعیین مقاومت ویژه الکتریکی ۷۵
۳-۴-۱-۶- آزمایش تعیین جذب آب مویینه ۷۷
۳-۴-۱-۷- آزمایش تعیین جذب آب اولیه سطحی ۸۰

فصل چهارم:نتایج آزمایش‌ها و تفسیر آنها ۸۱
۴-۱- مقدمه ۸۲
۴-۲- مقاومت فشاری ۸۳
۴-۲-۱- تأثیر شرایط عمل‌آوری بر مقاومت فشاری ۸۵
۴-۲-۲- اثر رطوبت عمل‌آوری بر مقاومت فشاری ۹۳
۴-۲-۳- اثر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری ۹۴
۴-۲-۴- اثر نسبت آب به سیمان بر مقاومت فشاری ۹۸
۴-۲-۵- بررسی روش‌های بلوغ بر در بتن‌های تحت دمای زیاد ۱۰۰
۴-۳- جذب آب حجمی ۱۰۹
۴-۳-۱- اثر شرایط عمل‌آوری بر جذب آب حجمی ۱۰۹
۴-۳-۲- اثر میکروسیلیس بر جذب آب حجمی ۱۱۳
۴-۴- جذب آب مویینه ۱۱۵
۴-۴-۱- اثر شرایط عمل‌آوری بر جذب آب مویینه ۱۱۶
۴-۴-۲- اثر میکروسیلیس بر جذب آب مویینه ۱۱۷
۴-۵- جذب آب سطحی اولیه ۱۲۲

۴-۵-۱- اثر شرایط عمل‌آوری بر جذب آب سطحی اولیه..... ۱۲۲
۴-۵-۲- اثر میکروسیلیس بر جذب آب سطحی اولیه..... ۱۲۵
۴-۵-۳- اثر نسبت آب به سیمان بر جذب آب اولیه سطحی..... ۱۲۸
۴-۶- مقاومت ویژه الکتریکی..... ۱۳۰
۴-۶-۱- اثر شرایط عمل‌آوری بر مقاومت ویژه الکتریکی..... ۱۳۰
۴-۶-۲- اثر میکروسیلیس بر مقاومت ویژه الکتریکی..... ۱۳۴
۴-۶-۳- اثر نسبت آب به سیمان بر مقاومت ویژه الکتریکی..... ۱۳۷

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها..... ۱۳۸
۵-۱- نتیجه گیری..... ۱۳۹
۵-۲- پیشنهادها برای تحقیقات آینده..... ۱۴۲
فهرست مراجع..... ۱۴۴

فهرست جداول

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: پیشینه و مرور تحقیقات انجام شده

جدول ۲-۱-تأثیردمای عمل‌آوری بر ساختار منافذ ۳۸
جدول ۲-۲- مشخصات طرح‌ها و نحوه انجام آزمایش..... ۳۹
جدول ۲-۳- مقاومت فشاری بتن‌های عمل‌آوری شده در دماهای مختلف و ذخیره شده در اتاق رطوبت تا زمان آزمایش..... ۴۱
جدول ۲-۴- تغییر در مقاومت فشاری نمونه‌ها تحت عمل‌آوری حرارتی بر حسب درصدی از مقاومت نمونه‌های عمل‌آوری شده در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد..... ۴۱

فصل سوم: مصالح مصرفی و طراحی آزمایش‌ها

جدول ۳-۱- نتایج آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی..... ۵۶
جدول ۳-۲- مشخصات فیزیکی مصالح سنگی..... ۵۶
جدول ۳-۳- مشخصات سیمان استفاده شده در طرح های اختلاط..... ۵۸
جدول ۳-۴- مشخصات سیلیکافیوم استفاده شده در طرح اختلاط..... ۵۸
جدول ۳-۵ - سهم هر یک از مصالح سنگی در یک متر مکعب بتن به همراه چگالی متوسط آنها..... ۶۰
جدول ۳-۶- جزئیات طرح مخلوط‌ها و نسبت مواد در نسبت آب به سیمان ۰/۳۶..... ۶۲
جدول ۳-۷- جزئیات طرح مخلوط‌ها و نسبت مواد در نسبت آب به سیمان ۰/۴۶..... ۶۳

فصل چهارم:نتایج آزمایش‌ها و تفسیر آنها

جدول ۴-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری با نسبت آب به سیمان۰/۴۶..... ۸۴
جدول ۴-۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری با نسبت آب به سیمان۰/۳۶..... ۸۵
جدول ۴-۳- بلوغ محاسبه شده به روش Saul و Arrhenius..... ۱۰۲
جدول ۴-۴- ضرایب فرمول..... ۱۰۷
جدول ۴-۵- نتایج آزمایش جذب آب حجمی در بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۶..... ۱۱۰
جدول ۴-۶- نتایج آزمایش جذب آب حجمی در بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶..... ۱۱۰
جدول ۴-۷- نتایج آزمایش جذب آب مویینه در بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۶..... ۱۱۵
جدول ۴-۸- نتایج آزمایش جذب آب مویینه در بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶..... ۱۱۷
جدول ۴-۹- میانگین نتایج جذب آب سطحی اولیه..... ۱۲۲
جدول ۴-۱۰- میانگین نتایج آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی..... ۱۳۰

فهرست اشکال

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: پیشینه و مرور تحقیقات انجام شده

شکل ۲-۱- ترک حرارتی داخلی..... ۱۰
شکل ۲-۲- ترک حرارتی داخلی..... ۱۱
شکل ۲-۳- مرحله‌بندی نرخ تولید حرارت بتن ناشی از هیدراسیون سیمان..... ۱۳
شکل ۲-۴- تأثیر نوع سیمان بر دمای آدیاباتیک وتولید حرارت بتن..... ۱۶
شکل۲-۵- تأثیر ترکیبات شیمیایی سیمان بر حرارت‌زایی..... ۱۶
شکل ۲-۶- تأثیر مقدار گچ و نرمی بر حرارت‌زایی سیمان..... ۱۷
شکل ۲-۷- تاثیر نسبت آب به سیمان بر حرارت‌زایی بتن..... ۱۸
شکل ۲-۸- تأثیر دمای محیط و دمای بتن‌ریزی برحرارت‌زایی بتن..... ۱۹
شکل ۲-۹- تأثیر جایگزینی میکروسیلیس به‌جای بخشی از سیمان بر حرارت‌زایی..... ۲۰
شکل ۲-۱۰- تأثیر درصدهای مختلف فوق روان‌کننده بر افزایش دمای اولیه بتن..... ۲۲
شکل ۲-۱۱- تعریف شماتیک بلوغ بتن..... ۲۴
شکل ۲-۱۲- اثر دمای عمل‌آوری بر افزایش مقاومت بتن ۲۸
شکل ۲-۱۳- اثر درجه حرارت بر مقاومت فشاری..... ۳۰
شکل ۲-۱۴- رابطه بین مقاومت فشاری و زمان و دمای عمل‌آوردن ۳۰
شکل ۲-۱۵- رابطه بین مقاومت فشاری و زمان و دمای عمل‌آوردن..... ۳۱
شکل ۲-۱۶- تأثیر درجه حرارت بر رابطه بین مقاوت و بلوغ ۳۲
شکل ۲-۱۷- اثر درجه حرارت در جریان اولین ۲۸ روز پس از در جا ریختن بر مقاومت..... ۳۳
شکل ۲-۱۸- نحوه اعمال دمای عمل‌آوری بر نمونه‌های بتنی..... ۳۹
شکل ۲-۱۹- مقاومت فشاری نمونه‌های عمل‌آوری شده در دماهای مختلف..... ۴۰
شکل ۲-۲۰- کسب مقاومت فشاری بتن با سیمان معمولی در شرایط مختلف عمل‌آوری..... ۴۱

فصل سوم: مصالح مصرفی و طراحی آزمایش‌ها

شکل ۳-۱- نمودار جریان تحقیق و مسیر مطالعات و برنامه‌ریزی آزمایش‌ها..... ۵۵
شکل ۳-۲ منحنی‌های دانه‌بندی مصالح سنگی..... ۵۷
شکل ۳-۳- بررسی انطباق بین دانه‌بندی انتخاب شده و محدوده‌های پیشنهاد شده بر اساس طرح مخلوط ملی ایران..... ۶۰
شکل ۳-۴-(الف) بتن ساخته شده با میکسر، (ب) اسلامپ بتن ساده(ج) میکسر مورد استفاده برای ساخت بتن..... ۶۴
شکل ۳-۵- محفظه طراحی شده جهت اعمال شرایط رژیم حرارتی به نمونه‌های بتنی..... ۶۶
شکل ۳-۶- رژیم های حرارتی اعمال شده به نمونه های بتن..... ۶۷

شکل ۳-۷- محفظه طراحی شده جهت نگهداری و اعمال شرایط رژیم حرارتی به نمونه‌های بتنی.....۶۷
شکل ۳-۸- گزینه‌های قابل انتخاب.....۶۷
شکل ۳-۹-برقرای ارتباط بین کامپیوتر و دستگاه کنترل دما.....۶۸
شکل ۳-۱۰ کابل اتصال PC به دستگاه کنترل کننده دما (PLC).....۶۸
شکل۳-۱۱- تنظیم برنامه زمانی و دمایی رژیم حرارتی اعمالی.....۶۹
شکل ۳-۱۲- انتخاب نام برنامه اجرایی.....۷۰
شکل ۳-۱۳- دستگاه کنترل کننده دما(PLC).....۷۰
شکل ۳-۱۴-صفحه مربوط به ثبت اطلاعات دمایی.....۷۱
شکل ۳-۱۵-ثبت اطلاعات دمایی رژیم حرارتی با حداکثر دمای ۷۳ درجه سانتیگراد.....۷۱
شکل۳-۱۶-(الف) شکل جک ADR 2000 KN، (ب) انجام آزمایش مقاومت فشاری.....۷۳
شکل ۳-۱۷- خشک کردن نمونه‌ها در آون و غوطه‌ور کردن آنها در آب جهت انجام آزمایش جذب آب حجمی.....۷۵
شکل ۳-۱۸- انجام آزمایش مقاومت الکتریکی.....۷۶
شکل ۳-۱۹-چگونگی غوطه‌ور شدن آزمونه‌ها برای تعیین جذب آب آنها.....۷۷
شکل ۳-۲۰- با ترسیم نقاط به دست آمده در دستگاه $i-\sqrt{t}$ و برازش خط مستقیم از این نقاط.....۷۹
شکل ۳-۲۱- دستگاه سنجش جذب آب اولیه سطحی.....۸۰

فصل چهارم:نتایج آزمایش‌ها و تفسیر آنها

شکل ۴-۱- مقاومت فشاری در نسبت آب به سیمان ۰/۳۶.....۸۷
شکل ۴-۲- مقاومت فشاری در نسبت آب به سیمان ۰/۴۶.....۸۸
شکل ۴-۳- اثر دمای عمل‌آوری بر افزایش مقاومت بتن.....۸۹
شکل ۴-۴- افزایش مقاومت اولیه وکاهش مقاومت نهایی در دمای بالا در بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۶.....۹۰
شکل ۴-۵- افزایش مقاومت اولیه وکاهش مقاومت نهایی در دمای بالا در بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶.....۹۱
شکل ۴-۶- تأثیر رطوبت عمل‌آوری بر رشد مقاومت یتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۶ .....۹۳
شکل ۴-۷- اثر میکروسیلیس در زمان و دماهای متفاوت در بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۶.....۹۵
شکل ۴-۸- اثر میکروسیلیس در زمان و دماهای متفاوت در بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶.....۹۶
شکل ۴-۹- اثر درصد میکروسیلیس در مقاومت ۹۱ روزه.....۹۷
شکل ۴-۱۰- اثر نسبت آب به سیمان در مقاومت ۹۱ روزه.....۹۸
شکل ۴-۱۱- اثر نسبت آب به سیمان در سنین مختلف در ۰٪ و ۵٪ میکروسیلیس.....۹۹
شکل ۴-۱۲- رابطه بلوغ ومقاومت فشاری به روش Arrhenius در نسبت آب به سیمان ۰/۳۶.....۱۰۳
شکل ۴-۱۳- رابطه بلوغ ومقاومت فشاری به روش Arrhenius در نسبت آب به سیمان ۰/۴۶.....۱۰۴
شکل ۴-۱۴- رابطه بلوغ ومقاومت فشاری به روش Saul در نسبت آب به سیمان ۰/۳۶.....۱۰۵
شکل ۴-۱۵- رابطه بلوغ ومقاومت فشاری به روش Saul در نسبت آب به سیمان ۰/۴۶.....۱۰۶
شکل ۴-۱۶- مقایسه مقاومت بدست آمده از فرمول با مقاومت‌های بدست آمده از آزمایش.....۱۰۸

شکل ۴-۱۷- آهنگ جذب آب نمونه‌های بتن عمل‌آوری شده با نسبت آب به سیمان۰/۳۶.....۱۱۱
شکل ۴-۱۸- آهنگ جذب آب نمونه‌های بتن عمل‌آوری شده با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶.....۱۱۲
شکل ۴-۱۹- جذب آب اولیه و نهایی نمونه‌های بتن عمل‌آوری شده با درصدهای متفاوت میکروسیلیس.....۱۱۴
شکل ۴-۲۰- جذب آب موئینه بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۶ .....۱۱۸
شکل ۴-۲۱- ضرایب جذب آب موئینه حاصله از برازش خطی داده‌های آزمایش جذب آب موئینه.....۱۱۹
شکل ۴-۲۲- خطوط برازش شده از مقادیر جذب آب موئینه مخلوط‌های دارای نسبت آب به سیمان ۰/۳۶.....۱۲۰
شکل ۴-۲۳- خطوط برازش شده از مقادیر جذب آب موئینه مخلوط‌های دارای نسبت آب به سیمان ۰/۴۶ .....۱۲۱
شکل ۴-۲۴- تغییرات جذب آب اولیه سطحی با شرایط متفاوت عمل‌آوری در زمان‌های مختلف برای مخلوط‌های دارای نسبت آب به سیمان ۰/۳۶.....۱۲۳
شکل ۴-۲۵- تغییرات جذب آب سطحی با شرایط متفاوت عمل‌آوری در زمان‌های مختلف برای مخلوط‌های دارای نسبت آب به سیمان ۰/۴۶.....۱۲۴
شکل ۴-۲۶- تغییرات جذب آب سطحی در زمان ۱۰ دقیقه با در صدهای متفاوت میکروسیلیس.....۱۲۵
شکل ۴-۲۷- تغییرات جذب آب سطحی با درصدهای مختلف میکروسیلیس در زمان‌های مختلف برای مخلوط‌های دارای نسبت آب به سیمان ۰/۳۶.....۱۲۶
شکل ۴-۲۸- تغییرات جذب آب سطحی با درصدهای مختلف میکروسیلیس در زمان‌های مختلف برای مخلوط‌های دارای نسبت آب به سیمان ۰/۴۶.....۱۲۷
شکل ۴-۲۹- تأثیر نسبت آب به سیمان بر جذب آب سطحی بدون پوزولان تحت شرایط عمل‌آوری مختلف.....۱۲۸
شکل ۴-۳۰- تأثیر نسبت آب به سیمان بر جذب آب سطحی بتن حاوی ۸٪ پوزولان تحت شرایط عمل‌آوری مختلف.....۱۲۹
شکل ۴-۳۱- تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی با زمان برای مخلوط‌های دارای نسبت آب به سیمان ۰/۳۶.....۱۳۲
شکل ۴-۳۲- تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی با زمان برای مخلوط‌های دارای نسبت آب به سیمان ۰/۴۶.....۱۳۳
شکل ۴-۳۳- تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی ۹۱ روزه با تغییر میزان میکروسیلیس.....۱۳۴
شکل ۴-۳۴- تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی با شرایط متفاوت عمل‌آوری و درصدهای مختلف میکروسیلیس.....۱۳۵
شکل ۴-۳۵- تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی با شرایط متفاوت عمل‌آوری و درصدهای مختلف میکروسیلیس برای مخلوط‌های دارای نسبت آب به سیمان ۰/۴۶.....۱۳۶
شکل ۴-۳۶- تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی با شرایط متفاوت عمل‌آوری و ۵٪ میکروسیلیس.....۱۳۷

فصل اول

مقدمه

۱-۱-کلیات

در اجزاء سازه‌های بتنی با ابعاد متعارف، بیشتر گرمای ایجاد شده در اثـر هیدراسـیون سـیمان، سریعاً دفع می‌شود و دما به‌طور جزئی تغییر می‌کند. به همین دلیل در این‌گونه سازه‌هـا نسـبتاً مسـائل حرارتی کمتر بوجود می‌آید. از سوی دیگر با افزایش ضخامت، صعود کنترل نشـده دمـا در بـتن حجـیم تقریباً آدیاباتیک[1] خواهد بود (گرما از بدنه سازه متناسب با معکوسی از مربع کوچکترین بعد سـازه دفـع می‌شود). این امر بروز اختلاف دمای زیاد را قوت می‌بخشد که اگر کنترل نشود، می‌تواند مشـکلات دوام و مقاومت را در سازه بوجود آورده و سازه را تخریب نماید *(Chini and Acquaye, 2004)*.

[1]. *Adiabatic*

تعریف بتن حجیم

کمیته ACI 116، بتن حجیم را به عنوان یک بتن در یک سازه بزرگ، (مثلاً یک تیر، ستون، پایه، آب بند یا سد) تعریف کرده است به گونه‌ای که حجم این بتن به اندازه‌ای است که نیاز به ابزار خاصی برای مقابله با تولید حرارت و در نتیجه تغییر حجم دارد.

آیین نامه بتن ایران مبحث دوم (نشریه شماره۳۴۴)، هر حجمی‌از بتن (معمولاً با ابعاد بزرگ) که نیازمند تدابیر ویژه برای کاهش ترک خوردگی ناشی از گرمای آب‌گیری (هیدراسیون) سیمان باشد را بتن حجیم نامیده است.

در آیین نامه بتن ژاپن *(JASS 5)*، بتن حجیم به قطعه بتنی اطلاق می‌شود که اختلاف دما میان سطح (لایه خارجی) و لایه داخلی آن به بیشتر از ۲۵ درجه سانتیگراد برسد. این اختلاف دما معادل حداقل بعد ۸۰۰ میلیمتر یا بیشتر می‌باشد.

اداره راه فلوریدا *(FDOT)*، حداکثر اختلاف دمایی مجاز بین بخشهای هسته و پوسته در حین عمل‌آوری بتن حجیم را $۲۰^{\circ}C$ تعیین کرده است ولی حداکثر دمای عمل‌آوری را مشخص نکرده است. در پروژه های بتن حجیم دمای هسته به حدود $۷۷^{\circ}C$ تا $۹۴^{\circ}C$ می‌رسد، به علاوه در بتن در نتیجه عمل‌آوری در دمای زیاد، ساختار منافذ درشت‌تر و تخلخل کلی افزایش می‌یابد.

مسئله نگران کننده دیگر در عمل‌آوری در دمای زیاد، به تأخیر افتادن تشکیل اترینگایت *(Delay Ettringite Formation)* می‌باشد. اترینگایت جزء متشکله معمول و ظاهراً بی‌ضرر هیدراسیون سیمان پرتلند است. تشکیل اترینگایت در مراحل آغازین هیدراسیون دارای تأثیر مثبت در گیرش سیمان است، هر چند که در بتن سخت شده نقش مخربی را ایفا می‌کند.

با گسترش روز افزون استفاده از بتن مقاومت زیاد، سازه‌های بتنی نظیر پایه پل‌ها، پی(شالوده)، پل‌ها و تکیه‌گاه‌های بتنی نیز می‌توانند به عنوان "سازه‌های بتن حجیم" تعریف شوند. زیرا حجم زیاد سیمان و بتن منجربه تولید حرارت قابل توجه می‌گردد. گزارشات مهندسین مجری سازه‌های بتنی حجیم حاکی از آن است که دمای هسته سازه حجیم گاهی تا حدود $۹۴^{\circ}C$ افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه در سازه‌های حجیم اختلاف دمای بین پوسته و هسته می‌باشد. این بدان دلیل است که پوسته

سازه در اثر تماس مستقیم با محیط به سرعت دچار کاهش دما می‌گردد، در صورتیکه دمای هسته به دلیل خواص هدایت گرمایی کم بتن ممکن است به مدت طولانی تحت دمای حداکثر قرار داشته باشد. بروز اختلاف دمای پوسته و هسته (گرادیان حرارتی) باعث بروز تنش کششی می‌گردد که گاهی از مقاومت کششی بتن تجاوز می‌نماید و باعث بروز ترک خوردگی می‌گردد. بررسی این موضوع مهم از جنبه‌های سرویس دهی سازه قابل توجه است و تحقیقات وسیع محققین در این رابطه هنوز ادامه دارد.

افزایش دمای بتن حجیم به عوامل متعددی از جمله دمای بتن‌ریزی، نسبت حجم به سطح قطعه، ترکیبات شیمیایی سیمان (C_3SوC_3A)، نسبت آب به سیمان، میزان سیمان مصرفی، نوع سیمان، نرمی سیمان و دمای عمل‌آوری بستگی دارد.

جهت جلوگیری از افزایش دما در هسته سازه‌های بتنی معمولاً با هدف کنترل گرادیان حرارتی در محدوده $۲۰^{\circ}C$ اقدامات زیادی صورت پذیرفته است. در این راستا از روشهای زیر جهت دستیابی به کاهش دما استفاده می‌گردد:

۱. سیمان با حرارت‌زایی کم یا سیمان مخلوط شده با پوزولان استفاده شود
۲. کاهش دمای اولیه بتن تا حدود $۱۰^{\circ}C$ بوسیله سرد کردن مواد و مصالح بتن
۳. پس سرمایش با استفاده از لوله‌های سرد کننده تعبیه شده در بتن
۴. بتن‌ریزی با اندازه‌های کوچکتر از ۱/۵ متر انجام گیرد
۵. پوزولان- حرارت هیدراسیون پوزولان‌ها تقریباً ۲۵٪ تا ۵۰٪ سیمان است

۱-۲-اهداف و دامنه پژوهش

بررسی و مرور مقالات و گزارش‌ها نشان می‌دهد که افزایش دما باعث بهبود مقاومت اولیه و کاهش مقاومت بلند مدت می‌گردد. به علاوه، سرعت انتشار محصولات هیدراسیون در دمای بالا، اجازه توزیع یکنواخت خمیر در برگیرنده ملات سیمان را در این اعضاء نمی‌دهد. در نتیجه محصولات متراکم هیدراسیون اطراف دانه‌های سیمان می‌گیرد و از ادامه هیدراسیون در مرکز دانه‌های سیمان جلوگیری به عمل می‌آید این مسأله باعث افزایش تخلخل و حجم حفرات می‌گردد و در نتیجه تأثیر منفی بر مقاومت و دوام سازه‌های بتنی خواهد داشت.

از سوی دیگر دمای عمل‌آوری زیاد در بتن سبب، تأخیر در تشکیل اترینگایت[1] می‌گردد. هنگامی‌که سیمان هیدراته می‌شود اترینگایت بصورت بلند و سوزنی شکل تشکیل می‌شود به محض از دست دادن آب، اترینگایت به شکل کوتاه و صفحه‌ای در می‌آید. در عمل‌آوری با دمای زیاد شکل کوتاه اترینگایت به شکل بلند بر می‌گردد و در طولانی مدت باعث پیدایش ترکهای ریز می‌شود.

در بعضی استانداردها در صورتی که در محفظه مناسب و کنترل محیط برای جلوگیری از شوک حرارتی و کمترین افت رطوبت انجام شود، بیشترین دمای عمل‌آوری را $60^{\circ}C$ تا $70^{\circ}C$ تعیین کرده‌اند.

در پژوهش حاضر به خصوصیات مقاومتی و دوامی پوسته در بتن حجیم پرداخته شده است و جهت این موضوع سه مدل حرارت (مبتنی بر واقعیت) با دمای پیک $49^{\circ}C$، $61^{\circ}C$ و $73^{\circ}C$ استفاده شده است و نمونه‌های بتنی در مدل‌های فوق به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شده‌اند و سپس تا سن آزمایش در محیط آزمایشگاه رها شده‌اند.

نسبت‌های آب به سیمان ۰/۳۶ و ۰/۴۶ و از میکروسیلیس به عنوان جایگزین بخشی از سیمان به میزان ۰٪، ۵٪ و ۸٪ استفاده شده است.

1.DEF

آزمایش‌های انجام گرفته عبارتند از: مقاومت فشاری، جذب آب مویینه، جـذب آب حجمـی، جـذب آب سطحی اولیه و مقاومت الکتریکی.

فصل دوم

پیشینه و مرور تحقیقات انجام شده