١٤١٤٩٧

دانشکده فنی
گروه عمران
گرایش سازه

بررسی دوام و پتانسیل خوردگی بتن سبک حاوی EPS

از
سید یاسین موسوی

استادان راهنما
دکتر ملک محمد رنجبر
دکتر رحمت مدندوست

۱۳۸۹/۷/۳

استاد مشاور
دکتر علی صدر ممتازی

دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه کیان

شهریور ۱۳۸۸

۱۴۱۴۹۷

تقدیم به

مادر دلسوز و پدر صبورم

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

حمد و سپاس بی‌پایان خداوند متعال که توفیق انجام این پژوهش را به من ارزانی داشت. بر خود لازم می‌دانم از اساتید راهنمای بزرگوار و ارجمندم، جناب آقایان **دکتر ملک محمد رنجبر تکلیمی و دکتر رحمت مدندوست** که انجام این رساله بدون راهنمایی‌های علمی و مساعدت همه جانبه ایشان امکان‌پذیر نبود، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. از زحمات و تلاش های جناب آقای **دکتر علی صدر ممتازی** که مشاورت این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند کمال تشکر و قدردانی را ابراز می‌دارم.

همچنین از اساتید بزرگوار **جناب آقای دکتر عطاا.. حاجتی مدارایی** و **دکتر جواد رزاقی** که به عنوان داور زحمت بازخوانی این پایان‌نامه را بر عهده داشته و نظرات ارزنده‌ای در هر چه بهتر شدن آن ارائه نموده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم.

از کلیه اساتید بزرگوار گروه عمران که در مدت تحصیل دوره کارشناسی ارشد، زحمات فراوانی برای اینجانب کشیده‌اند و مطالب علمی و اخلاقی فراوانی از محضر آنان آموخته‌ام نیز سپاسگزارم.

بر خود لازم می‌دانم از مسؤلین و کارکنان محترم آزمایشگاه بتن دانشکده فنی مهندسی، **آقای مهندس سرمست، خانم مهندس حاج جعفری، آقای مهندس کاتبی، آقای جهانگیری** و همچنین از مسؤل محترم سایت کامپیوتری دانشکده فنی آقای **مهندس ناطقی** که در طول انجام این پایان‌نامه با اینجانب همکاری نموده‌اند، تشکر نمایم.

از دوستان عزیزم (به ترتیب الفبا) آقایان مهندسین **میلاد ابراهیم نژاد، سعید ابوالقاسمی، میثم پیکرنگار، فرزاد خیرخواه، ایمان صدری نژاد، احمد علیزاده، علی فصیحی، میرعلیمحمد میرگذار لنگرودی و سید جعفر هاشمی** که در طول انجام این پایان نامه کمک‌های بسیاری به اینجانب نموده‌اند و همچنین از کلیه‌ی دوستان و دانشجویان ورودی ۸۵ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از **خانواده خودم** که در تمامی مدت تحصیلم زحمات زیادی را متحمل شده و اسباب تحصیل اینجانب را فراهم نمودند، سپاسگزاری می‌نمایم.

فهرست عناوین

فهرست جداول ..... خ
فهرست اشکال ..... د
چکیده فارسی ..... ز
چکیده انگلیسی ..... ش
پیشگفتار ۱
مقدمه ۲
هدف ۳
ساختار پایان نامه ۳
فصل اول: مقدمه ای بر بتن سبک ۵
۱-۱. مقدمه ۶
۱-۲. تاریخچه استفاده و کاربرد بتن سبک ۷
۱-۳. مزایای استفاده از بتن سبک ۱۳
۱-۴. معایب استفاده از بتن سبک ۱۴
۱-۵. انواع تقسیم بندی بتن سبک ۱۴
۱-۵-۱. طبقه بندی بتن سبک بر مبنای مقاومتی ۱۵
۱-۵-۱-۱. مقدمه ۱۵
۱-۵-۱-۲. بتن سبک غیرسازه‌ای ۱۶
۱-۵-۱-۳. بتن سبک با مقاومت متوسط ۱۷
۱-۵-۱-۴. بتن سبک سازه ای ۱۷
۱-۵-۲. تقسیم بندی بتن سبک بر مبنای روش های تولید ۱۸
۱-۵-۲-۱. تولید بتن با ایجاد حباب های ریز هوا ۱۸
۱-۵-۲-۲. تولید بتن با حذف ریز دانه ها از مخلوط ۲۰
۱-۵-۲-۳. تولید بتن با استفاده از سنگدانه های سبک ۲۱
۱-۵-۲-۳-۱. سبکدانه های طبیعی ۲۲
۱-۵-۲-۳-۱-۱. سنگ پا ۲۳
۱-۵-۲-۳-۱-۲. پوکه معدنی ۲۳
۱-۵-۲-۳-۱-۳. توف ۲۶
۱-۵-۲-۳-۱-۴. دیاتومیت ۲۶
۱-۵-۲-۳-۲. سبکدانه های مصنوعی ۲۸
۱-۵-۲-۳-۲-۱. رس منبسط شده ۲۹
۱-۵-۲-۳-۲-۲. پرلیت منبسط شده ۳۱
۱-۵-۲-۳-۲-۳. شیل‌منبسط شده ۳۳
۱-۵-۲-۳-۲-۴. روباره آهن گدازی منبسط شده ۳۳

۱-۵-۲-۳-۲-۵. زغال سنگ منبسط شده ۳۴
۱-۵-۲-۳-۲-۶. لایتگ ۳۴
۱-۵-۲-۳-۲-۷. ورمیکولیت پوسته پوسته شده ۳۵
۱-۵-۲-۳-۲-۸. پلی استایرن منبسط شده (EPS) ۳۶
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۱. ساختار شیمیایی ۳۶
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۲. مراحل ساختن فوم EPS ۳۶
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۳. مشخصات پلی استایرن منبسط شده (EPS) ۳۷
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۳-۱. سبکی وزن ۳۸
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۳-۲. پایداری ابعادی ۳۸
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۳-۳. خاصیت جذب شوک و ضربه ۳۸
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۳-۴. مقاومت در برابر رطوبت ۳۸
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۳-۵. عایق بودن ۳۹
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۳-۶. مقاومت شیمیایی ۳۹
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۳-۷. غیر سمی بودن ۳۹
۱-۵-۲-۳-۲-۸-۳-۸. خواص مکانیکی ۳۹
فصل دوم: دوام بتن و خوردگی آرماتور در آن ۴۰
۲-۱. مقدمه ۴۱
۲-۲. مکانیسم های کاهنده پایایی سازه های بتنی ۴۲
۲-۲-۱. مقدمه ۴۲
۲-۲-۲. سنگدانه های واکنش زا ۴۴
۲-۲-۲-۱. واکنش های سیلیسی- قلیایی ۴۴
۲-۲-۲-۲. واکنش های قلیایی- کربناتی ۴۵
۲-۲-۳. مقاومت در برابر عوامل شیمیایی ۴۶
۲-۲-۳-۱. سولفات ها ۴۶
۲-۲-۳-۲. آب دریا ها ۴۶
۲-۲-۳-۳. حمله اسیدی ۴۷
۲-۲-۴. چرخه ذوب و یخ شدن ۴۷
۲-۲-۵. عوامل متفرقه ۴۸
۲-۲-۵-۱. سایش ۴۸
۲-۲-۵-۲. فرسایش ۴۸
۲-۳. خوردگی فولاد در بتن ۴۸
۲-۳-۱. مقدمه ۴۸
۲-۳-۲. طریقه خوردگی فولاد در بتن ۴۹
۲-۳-۳. عوامل موثر بر خوردگی آرماتور ۵۳

۲-۳-۴. اندازه گیری پتانسیل الکترو شیمیایی خوردگی ۵۵
۲-۳-۵. اندازه گیری سرعت خوردگی ۵۶
۲-۴. نفوذ یون کلر در جرم بتن ۵۹
۲-۴-۱. مقدمه ۵۹
۲-۴-۲. روش های مختلف انتشار یون کلر ۶۰
۲-۴-۳. واکنش یون کلر با ماتریس بتن ۶۱
۲-۴-۴. آزمایش های نفوذ یون کلر در بتن ۶۱
۲-۴-۴-۱. تعیین پروفیل یون کلر و تعیین ضریب نفوذ ۶۲
۲-۴-۴-۲. آزمایش های بلند مدت نفوذ یون کلر ۶۳
۲-۴-۴-۲-۱. شرایط محیطی حوضچه نمک ((Chloride pending test (AASHTO T259) ۶۳
۲-۴-۴-۲-۲. آزمایش نفوذ توده ای (NordTest NT-Build 443, Bulk Diffusion Test) ۶۵
۲-۴-۴-۳. آزمایش های کوتاه مدت نفوذ یون کلر ۶۵
۲-۴-۴-۳-۱. نفوذ یون کلر تسریع شده (ASTM C 1202 or AASHTO T 277) ۶۶
۲-۴-۴-۳-۲. آزمایش انتشار یون کلر (chloride diffusion test) ۶۸
۲-۴-۴-۳-۳. آزمایش مهاجرت تسریع شده(RMT or CTH; NordTest NT-Build 492) ۷۰
۲-۵. کربناتاسیون ۷۲
۲-۵-۱. مقدمه ۷۲
۲-۵-۲. اصول کربناتاسیون بتن ۷۳
۲-۵-۳. اندازه گیری عمق کربناسیون ۷۴
۲-۶. مقاومت الکتریکی بتن ۷۶
۲-۷. نفوذپذیری هوا در بتن (Air Permeability) ۷۷
۲-۷-۱. عوامل موثر بر نفوذ پذیری بتن ۷۸
۲-۷-۱-۱. نسبت آب به سیمان ۷۸
۲-۷-۱-۲. دانه بندی سنگدانه ها ۷۹
۲-۷-۱-۳. عمل آوری و سن بتن ۷۹
۲-۷-۱-۴. استفاده از پوزولان های مختلف ۷۹
فصل سوم: مروری بر کارهای گذشته ۸۰
۳-۱. مقدمه ۸۱
۳-۲. عوامل موثر بر روی نفوذ یون کلر و مروری بر کار های گذشته در این زمینه ۸۱
۳-۲-۱. تاثیر پارامترهای مربوط به گروه اول ۸۱
۳-۲-۲. تاثیر پارامترهای مربوط به گروه دوم ۸۸
۳-۲-۳. پیش بینی نفوذ یون کلر در بتن ۹۱
۳-۳. عوامل موثر بر روی کربناتاسیون و مروری بر کار های گذشته در این زمینه ۹۷
۳-۳-۱. سن بتن ۹۲

۳-۳-۲. مشخصات سنگدانه ها ۹۲
۳-۳-۳. بتن های حاوی مواد پوزولانی ۹۲
۳-۳-۴. میزان سیمان، نوع وکیفیت آن ۹۳
۳-۳-۵. عمل آوری ۹۳
۳-۳-۶. مقاومت ۹۳
۳-۳-۷. نسبت آب به سیمان ۹۴
۳-۳-۸. دما و رطوبت نسبی ۹۵
۳-۴. مطالعات وتحقیقات انجام شده بر روی خوردگی آرماتور در داخل بتن ۹۵
فصل چهارم: برنامه آزمایشگاهی ۹۸
۴-۱. مقدمه ۹۹
۴-۲. مصالح مورد استفاده ۹۹
۴-۲-۱. سیمان ۹۹
۴-۲-۲. میکروسیلیس ۹۹
۴-۲-۳. آب ۱۰۱
۴-۲-۴. سنگدانه‌ها ۱۰۱
۴-۲-۴-۱. ماسه ۱۰۱
۴-۲-۴-۲. شن ۱۰۲
۴-۲-۵. سبکدانه‌ها مصرفی ۱۰۳
۴-۲-۶. فوق روان کننده ۱۰۵
۴-۳. ساخت نمونه های آزمایشگاهی ۱۰۶
۴-۴. قالب گیری نمونه ها ۱۰۷
۴-۵. عمل آوری نمونه ها ۱۰۹
۴-۶. آزمایش بتن تازه ۱۰۹
۴-۷. آزمایش های بتن سخت شده ۱۱۰
۴-۷-۱. مقاومت فشاری ۱۱۰
۴-۷-۲. مقاومت کششی ۱۱۲
۴-۷-۲-۱. آزمایش دو نیم شدن(برزیلی) ۱۱۲
۴-۷-۳. مقاومت خمشی (مدول گسیختگی) ۱۱۳
۴-۷-۴. روابط بین مقاومت فشاری، کششی و خمشی ۱۱۴
۴-۷-۵. آزمایش اولتراسونیک ۱۱۴
۴-۷-۶. اندازه گیری جذب آب نهایی (Finally Absorption) ۱۱۶
۴-۷-۷. آزمایش مقاومت الکتریکی ۱۱۷
۴-۷-۸. آزمایش نفوذ پذیری ۱۱۸
۴-۷-۹. نفوذ یون کلر در بتن ۱۲۱

۴-۷-۱۰. نحوه آماده نمودن الکترود مس – سولفات مس ۱۲۲
۴-۷-۱۱. بررسی شکل ظاهری نمونه های بتنی ۱۲۲
۴-۷-۱۲. بررسی ظاهری خوردگی آرماتورها ۱۲۳
۴-۷-۱۳. آزمایش مقاومت کششی آرماتور های مدفون در بتن ۱۲۳
فصل پنجم: نتایج آزمایشگاهی و بحث بر روی آن ها ۱۲۴
۵-۱. مقدمه ۱۲۵
۵-۲. آزمایشات بتن تازه ۱۲۶
۵-۲-۱. اسلامپ ۱۲۶
۵-۳. نتایج آزمایشات بتن سخت شده تا ۲۸ روزگی ۱۲۸
۵-۳-۱. وزن مخصوص و تاثیر درصد دانه های EPS بر روی آن ۱۲۸
۵-۳-۲. مقاومت بتن سبک حاوی دانه های EPS ۱۳۰
۵-۳-۲-۱. مقاومت فشاری ۱۳۰
۵-۳-۲-۲. مقاومت کششی ۱۳۴
۵-۳-۲-۳. رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی ۱۳۵
۵-۴. نتایج آزمایشات مربوط به دوام و پتانسیل خوردگی آرماتور ۱۳۶
۵-۴-۱. تغییرات مقاومت فشاری برای سنین بالاتر از ۲۸ روزگی ۱۳۶
۵-۴-۱-۱. تغییرات مقاومت فشاری سنین بالاتر از ۲۸ روزگی بتن بدون میکروسیلیس ۱۳۷
۵-۴-۱-۲. تغییرات مقاومت فشاری سنین بالاتر از ۲۸ روزگی بتن حاوی ٪۵ میکروسیلیس ۱۴۱
۵-۴-۱-۳. تغییرات مقاومت فشاری سنین بالاتر از ۲۸ روزگی بتن حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس ۱۴۳
۵-۴-۱-۴. تغییرات مقاومت فشاری(بالاتر از ۲۸ روزگی) با تغییر در میزان میکروسیلیس ۱۴۶
۵-۴-۲. مقاومت خمشی ۱۴۸
۵-۴-۳. جذب آب ۱۴۹
۵-۴-۴. مقاومت الکتریکی ۱۵۱
۵-۴-۵. امواج اولتراسونیک ۱۵۴
۵-۴-۶. نفوذ هوا در بتن ۱۵۶
۵-۴-۷. نفوذ یون کلر ۱۵۹
۵-۴-۸. پتانسیل الکتروشیمیایی ۱۶۳
۵-۴-۹. شکل ظاهری نمونه های بتنی ۱۶۴
۵-۴-۱۰. شکل ظاهری خوردگی آرماتور ۱۶۴
۵-۴-۱۱. مقاومت کششی آرماتور ۱۶۵
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۶۶
۶-۱. مقدمه ۱۶۷
۶-۲. نتیجه گیری ۱۶۷
۶-۳. پیشنهاد برای کار های آینده ۱۷۰

مراجع

فهرست جداول

جدول ۱-۱ : طبقه بندی بتن سبک ۱۵
جدول ۱-۲ : خواص مهندسی بتن کفی ۲۰
جدول ۱-۳ : عناصر تشکیل دهنده پومیس ۲۴
جدول ۱-۴ : مقاومت فشاری بتن حاوی پومیس در سنین مختلف ۲۵
جدول ۱-۵ : مقاومت فشاری بتن حاوی لیکا در سنین مختلف ۳۰
جدول ۱-۶ : بررسی خصوصیات بتن ساخته شده با پرلیت به عنوان عایق حرارتی ۳۲
جدول ۱-۷ : بررسی خصوصیات بتن ساخته شده با ورمیکولیت ۳۶
جدول ۲-۱ : مکانسیم های کاهنده پایایی سازه های بتنی ۴۳
جدول ۲-۲ : حداکثر مجاز یون کلرید از نظر خوردگی ۵۴
جدول ۲-۳ : اختلاف پتانسیل الکترود های مرجع رایج نسبت به الکترود هیدرژن ۵۵
جدول ۲-۴ : تفسیر نتایج آزمایش RCPT ۶۷
جدول ۳-۱ : طرح اختلاط Hooton و همکارانش (فاز ۱) ۸۸
جدول ۴-۱ : ترکیبات شیمیایی و خواص فیزیکی سیمان پرتلند مصرفی و میکروسیلیس ۱۰۰
جدول ۴-۲ : الزامات بروز خاصیت پوزولانی در مواد ۱۰۱
جدول ۴-۳: جزئیات دانه بندی ماسه مصرفی ۱۰۲
جدول ۴-۴: جزئیات دانه بندی شن مصرفی ۱۰۳
جدول ۴-۵ : دانه بندی و وزن مخصوص دانه‌هایEPS ۱۰۴
جدول ۴-۶ : ویژگی های فوق روان کننده Sika-Viscocrete 1 ..... ۱۰۵
جدول ۴-۷ : جزییات طرح اختلاط بتن سبک ساخته شده ۱۰۷
جدول ۴-۸ : طبقه بندی کیفیت بتن بر اساس سرعت پالس ۱۱۶
جدول ۴-۹ : تخمین احتمال خوردگی آرماتورهای مدفون در بتن بر اساس مقاومت الکتریکی ۱۱۸
جدول ۴-۱۰ : تخمین وضعیت نفوذ پذیری گاز در بتن ۱۲۰
جدول ۵-۱ : تغییرات مقاومت میزان اسلامپ با چگالی بتن تازه حاوی EPS ۱۲۸
جدول ۵-۲ : مقاومت فشاری نمونه های درصدهای متفاوت EPS و میکروسیلیس ۱۳۶
جدول ۵-۳ : مقادیر مدول گسیختگی در بتن سبک حاوی EPS ۱۴۸

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ : کشتی آتلانتوس به وزن ۳۰۰۰ تن ساخته شده با استفاده از بتن سبک ۸
شکل ۱-۲ : کشتی پرالتا ساخته شده با استفاده از بتن سبک ۸
شکل ۱-۳ : فرودگاه دالس در واشنگتن ۹
شکل ۱-۴ : سالن اطراف هتل Lake و تیرهای پیش ساخته به کار رفته در آن ۱۰
شکل ۱-۵ : پل Jeff Danzer ۱۲
شکل ۱-۶ : پل رودخانه Mattaponi ۱۲
شکل ۱-۷ : ضریب هدایت حرارتی انواع بتن های ساخته شده با سنگدانه های سبک ۱۴
شکل ۱-۸ : ارتباط بین وزن مخصوص با نوع بتن سبک و سبکدانه مصرفی ۱۶
شکل ۱-۹ : تولید پوکه معدنی یا پومیس ۲۳
شکل ۱-۱۰ : سبکدانه طبیعی پومیس ۲۴
شکل ۱-۱۱ : چسبندگی ضعیف دیاتومیت با خمیر سیمان ۲۶
شکل ۱-۱۲ : مقاومت فشاری و ضریب انبساط حرارتی بتن حاوی درصدهای متفاوت دیاتومیت ۲۷
شکل ۱-۱۳ : نمونه ای از دانه های لیکا ۳۰
شکل ۱-۱۴ : پرلیت منبسط شده ۳۱
شکل ۱-۱۵ : مقاومت فشاری بتن حاوی درصدهای متفاوت پرلیت منبسط شده(EPA) ۳۲
شکل ۱-۱۶ : ضریب هدایت حرارتی بتن سبک حاوی پرلیت ۳۳
شکل ۱-۱۷ : ورمیکولیت و یکی از بزرگترین معادن آن در آفریقای جنوبی ۳۵
شکل ۱-۱۸ : فرآیند تولید فوم پلی استایرن ۳۸
شکل ۱-۱۹ : تصویر میکروسکوپی تهیه شده به روش SEM از پلی استایرن منبسط شده ۳۷
شکل ۲-۱ : تشکیل ژل ناشی از واکنش سیلیسی-قلیایی در اطراف سنگدانه حاوی سیلیس فعال ۴۵
شکل ۲-۲ : خوردگی آرماتور در داخل بتن ۴۹
شکل ۲-۳ : تشکیل لایه محافظ چگال از جنس دی اکسید آهن در اطراف آرماتور ۵۰
شکل ۲-۴ : طریقه خوردگی آرماتور ۵۱
شکل ۲-۵ : نحوه خرابی سطح بتن در اثر خوردگی فولاد ۵۲
شکل ۲-۶ : تصویر شماتیک دستگاه پولاریزاسیون خطی ۵۷
شکل ۲-۷ : تصویر شماتیک دستگاه پولاریزاسیون خطی باحلقه محافظ کنترل شده ۵۸
شکل ۲-۸ : طریقه تشکیل نمک فریدل ۶۱
شکل ۲-۹ : آماده سازی نمونه ها جهت انجام آزمایش تعیین عمق نفوذ یون کلر ۶۳
شکل ۲-۱۰ : پاشیدن نیترات نقره و تعیین عمق نفوذ یون کلر ۶۳
شکل ۲-۱۱ : نحوه انجام آزمایشAASHTO T259 ..... ۶۴
شکل ۲-۱۲ : نحوه انجام آزمایشBulk Diffusion Test ۶۵
شکل ۲-۱۳ : نحوه انجام آزمایش(ASTM C1202 or AASHTO T277) ۶۷
شکل ۲-۱۴ : نحوه انجام آزمایش مهاجرت یون کلر ۶۹
شکل ۲-۱۵ : نمونه ای از نمودار زمان- انتشار یون کلر ۷۰
شکل ۲-۱۶ : نحوه انجام آزمایش(RMT or CTH; NordTest NT-Build 492) ۷۱
شکل ۲-۱۷ : تعیین عمق نفوذ یون کلر در نمونه های بتنی به روش CTH ۷۱
شکل ۲-۱۸ : رسیدن لایه های کربناته به آرماتور مدفون در بتن ۷۲

شکل ۲-۱۹ : تشخیص لایه های کربناتی با استفاده از محلول فنل فتالئین ۷۵
شکل ۲-۲۰ : لایه های کربناتی در محل ترک ها ۷۶
شکل ۲-۲۱ : نمودار بین مقاومت الکتریکی و شار عبوری ۷۷
شکل ۲-۲۶ : تاثیر نسبت آب به سیمان بر روی نفوذپذیری بتن ۷۸
شکل ۳-۱ : نتایج تحقیقات Hootan و همکارانش در دانشگاه تورنتو ۸۲
شکل ۳-۲ : نتایج آزمایشات Hooton و همکارانش ۸۹
شکل ۳-۳ : نفوذ یون کلر در در بتن معمولی و پر مقاومت و مقایسه آن با نتایج بدست آمده از قانون دوم فیک ۹۱
شکل ۳-۴ : نمودار بین مقاومت فشاری ۲۸ روزه و عمق کربناتاسیون ۹۴
شکل ۳-۵ : نمودار رطوبت- عمق کربناتاسیون ۹۵
شکل ۳-۶ : پتانسیل خوردگی بتن با مقاومت متوسط ۹۶
شکل ۳-۷ : پتانسیل خوردگی بتن پرمقاومت ۹۶
شکل ۳-۸ : پتانسیل خوردگی بتن با تغییر در سن نمونه برای مقادیر متفاوت آب به سیمان ۹۷
شکل ۴-۱ : نمودار دانه بندی ماسه (BS 882) ۱۰۲
شکل ۴-۲ : نمودار دانه بندی شن (BS 882) ۱۰۳
شکل ۴-۳ : پلی استایرن منبسط شده-منبسط نشده ۱۰۳
شکل ۴-۴ : پخش EPS در درون ماتریس بتن سبک ۱۰۷
شکل ۴-۵ : تصویر نمونه های خوردگی آرماتور ۱۰۸
شکل ۴-۶ : محیط عمل آوری آبی ۱۰۹
شکل ۴-۷ : محیط مخرب نمکی ۱۰۹
شکل ۴-۸ : دستگاه تست مشخصات مکانیکی بتن ۱۱۲
شکل ۴-۹ : دستگاه اولتراسونیک مورد استفاده در آزمایش ۱۱۵
شکل ۴-۱۰ : عملکرد دستگاه سنجش مقاومت الکتریکی ۱۱۷
شکل ۴-۱۱ : دستگاه مقاومت سنج های چهار شاخه ای مورد استفاده در آزمایش ۱۱۸
شکل ۴-۱۲ : دستگاه تعیین نفوذ پذیری هوا و گاز در بتن ۱۱۹
شکل ۴-۱۳ : آماده سازی نمونه جهت انجام آزمایش نفوذ گاز ۱۲۰
شکل ۵-۱ : طریقه نام گذاری اختلاط ها ۱۲۶
شکل ۵-۲ : میزان اسلامپ و روان کننده مصرفی با چگالی بتن تازه در بتن های حاوی EPS با مصالح سیمانی مختلف..... ۱۲۷
شکل ۵-۳ : تغییرات وزن مخصوص بتن با مقاومت فشاری در بتن های حاوی دانه های EPS ۱۲۹
شکل ۵-۴ : تغییرات مقاومت فشاری با میزان EPS مصرفی در بتن های حاوی مصالح سیمانی مختلف ۱۲۹
شکل ۵-۵ : تغییرات مقاومت فشاری با روزهای عمل آوری نمونه های بتنی حاوی EPS و بدون میکروسیلیس ۱۳۰
شکل ۵-۶ : تغییرات مقاومت فشاری با روزهای عمل آوری نمونه های بتنی حاوی EPS و ٪۵ میکروسیلیس ۱۳۱
شکل ۵-۷ : تغییرات مقاومت فشاری با روزهای عمل آوری نمونه های بتنی حاوی EPS و ٪۱۰ میکروسیلیس ۱۳۲
شکل ۵-۸ : تغییرات مقاومت فشاری نمونه های بتنی حاوی EPS تا ۲۸ روزگی ۱۳۲
شکل ۵-۹ : مطالعه سطح شکست بتن های حاوی EPS، به ترتیب ساخته شده با و بدون SF ۱۳۳
شکل ۵-۱۰: تغییرات مقاومت کششی با حجم EPS در بتن های ساخته شده با درصدهای متفاوت میکروسیلیس ۱۳۴
شکل ۵-۱۱ : تغییرات مقاومت کششی برزیلی در مقایسه با مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۱۳۵
شکل ۵-۱۲: مقاومت فشاری بتن بدون میکروسیلیس و دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۳۷
شکل ۵-۱۳: مقاومت فشاری بتن بدون میکروسیلیس و ٪۱۵ دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۳۸
شکل ۵-۱۴: مقاومت فشاری بتن بدون میکروسیلیس و ٪۲۲/۵ دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۳۹

شکل ۵-۱۵: مقاومت فشاری بتن بدون میکروسیلیس و ٪۳۰ دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۳۹
شکل ۵-۱۶ : تغییرات مقاومت فشاری نمونه های حاوی دانه های EPS در بتن بدون میکروسیلیس..... ۱۴۰
شکل ۵-۱۷ : مقاومت فشاری بتن حاوی ٪۵ میکروسیلیس و ٪۱۵ دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۴۲
شکل ۵-۱۸: مقاومت فشاری بتن حاوی ٪۵ میکروسیلیس و ٪۲۲/۵ دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۴۲
شکل ۵-۱۹ : مقاومت فشاری بتن حاوی ٪۵ میکروسیلیس و ٪۳۰ دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۴۲
شکل ۵-۲۰ : تغییرات مقاومت فشاری نمونه های حاوی دانه های EPS و ٪۵ میکروسیلیس در دو شرایط محیطی ۱۴۳
شکل ۵-۲۱: مقاومت فشاری بتن حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس و بدون دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۴۴
شکل ۵-۲۲: مقاومت فشاری بتن حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس و ٪۱۵ دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۴۴
شکل ۵-۲۳ : مقاومت فشاری بتن حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس و ٪۲۲/۵ دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۴۵
شکل ۵-۲۴ : مقاومت فشاری بتن حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس و ٪۳۰ دانه های EPS در دو شرایط محیطی ۱۴۵
شکل ۵-۲۵ : تغییرات مقاومت فشاری نمونه های حاوی دانه های EPS در بتن حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس ۱۴۵
شکل ۵-۲۶ : تغییرات مقاومت فشاری بتن سبک حاوی EPS در ۹۰ روزگی ۱۴۶
شکل ۵-۲۷ : تغییرات مقاومت فشاری بتن سبک حاوی EPS در ۱۸۰ روزگی ۱۴۷
شکل ۵-۲۸ : تغییرات مقاومت فشاری بتن سبک حاوی EPS در ۲۷۰ روزگی ۱۴۷
شکل ۵-۲۹ : تغییرات مقاومت فشاری بتن سبک حاوی EPS در ۳۶۵ روزگی ۱۴۷
شکل ۵-۳۰ : نمودار مقاومت فشاری در برابر مقاومت خمشی ۱۴۹
شکل ۵-۳۱ : نمودار تغییرات جذب آب نهایی بتن سبک حاوی EPS ۱۵۰
شکل ۵-۳۲ : تغییرات مقاومت الکتریکی در بتن های با و بدون میکروسیلیس حاوی مقادیر مختلفی از EPS ۱۵۱
شکل ۵-۳۳ : رابطه مقاومت فشاری ۳۶۵ روزه مکعبی واقع در محیط مخرب نمکی با مقاومت الکتریکی ۱۵۳
شکل ۵-۳۴ : سرعت امواج در برابر میزان دانه های EPS در بتن بدون میکروسیلیس ۱۵۴
شکل ۵-۳۵ : سرعت امواج در برابر میزان دانه های EPS در بتن حاوی ٪۵ میکروسیلیس ۱۵۵
شکل ۵-۳۶ : سرعت امواج در برابر میزان دانه های EPS در بتن حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس ۱۵۵
شکل ۵-۳۷ : مقاومت فشاری و سرعت امواج مافوق در نمونه های حاوی EPS در محیط مخرب نمکی و محیط آبی ۱۵۶
شکل ۵-۳۸ : میزان نفوذ گاز بر اساس میزان میکروسیلیس برای درصدهای متفاوت دانه های EPS ۱۵۷
شکل ۵-۳۹ : میزان نفوذ گاز نسبی در مقابل وزن مخصوص بتن ۱۵۸
شکل ۵-۴۰ : رابطه بین مقاومت الکتریکی و نفوذ گاز در بتن ۱۵۸
شکل ۵-۴۱ : میزان کلر موجود در بتن بدون میکروسیلیس و درصد های متفاوت دانه های EPS ۱۵۹
شکل ۵-۴۲ : میزان کلر موجود در بتن حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس با درصدهای متفاوت EPS ۱۶۱
شکل ۵-۴۳ : نسبت نفوذ کلر در بتن بدون میکروسیلیس در مقایسه با بتن حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس ۱۶۱
شکل ۵-۴۴ : رابطه بین مقدار سرعت خروج هوا و مقدار نفوذ یون کلر در عمق ۱۰ میلیمتری ۱۶۲
شکل ۵-۴۵ : میزان پتانسیل الکتروشیمیایی نمونه های حاوی آرماتور در مقایسه با وزن مخصوص ۱۶۳
شکل ۵-۴۶ : آثار وجود نمک در سطح بتن سبک حاوی دانه های EPS ۱۶۴

چکیده

بررسی دوام و پتانسیل خوردگی بتن سبک حاوی EPS

سید یاسین موسوی

در این رساله سعی بر آن است که دوام و با تاکید بر پتانسیل خوردگی آرماتورهای مدفون در بتن سبک حاوی دانه های منبسط شده پلی‌استایرن (EPS) در مقایسه با بتن معمولی با وجود و یا بدون میکروسیلیس مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. با توجه به اینکه هدف، بدست آوردن بتن سبک سازه‌ای با مقاومت فشاری بالای ۱۷ مگاپاسکال و محدوده تغییرات وزن مخصوص ۱۶۰۰ تا ۲۱۰۰ Kg/m^3 است، دانه‌های EPS با درصدهای وزنی ۱۵، ۲۲/۵ و ۳۰ جایگزین سنگدانه ها شدند. بعد از قالب گیری، نمونه ها ۲۸ روز در شرایط محیط آبی عمل آوری شده اند. بعد از ۲۸ روز عمل آوری، نمونه ها به دو گروه تقسیم بندی شدند. در گروه اول عمل آوری در محیط آبی ادامه نمود و گروه دوم نمونه ها در محیط نمکی حاوی ٪۵ کلرید سدیم تحت سیکل‌های تر و خشک شدن به مدت ۳۶۵ روز نگهداری شدند. علاوه بر آزمایشات بتن تازه و بررسی خواص مهندسی بتن سبک تا ۲۸ روزگی، آزمایش های مربوط به مقاومت های فشاری و خمشی بر روی نمونه های واقع در محیط مخرب نمکی و محیط آبی تا سن ۳۶۵ روزگی، جذب آب نمونه ها، مقاومت الکتریکی، امواج اولتراسونیک (UPV)، نفوذ پذیری گاز در بتن، تخمین میزان نفوذ یون کلر در اعماق مختلف بتن و مقایسه آن با دیگر پارامتر های مشخص کننده دوام بتن، میزان خوردگی و کاهش مقاومت کششی آرماتورهای مدفون در بتن و همچنین تغییرات احتمالی حاصل در شکل ظاهری نمونه های بتنی و آرماتورهای موجود در آن مورد مطالعه قرار گرفته است.

نتایج بدست آمده نشان می دهند که با افزایش میزان EPS در بتن شاهد کاهش مقاومت فشاری بتن در تمامی سنین، با و یا بدون وجود میکروسیلیس می باشیم. از طرفی نگهداری نمونه های حاوی EPS در محیط نمکی مقاومت بیشتری را در مقایسه با عمل آوری در محیط آبی نتیجه داده است. در مقایسه با نمونه های عمل آوری شده در محیط آبی، نگهداری نمونه های بتن سبک حاوی EPS در محیط نمکی باعث افزایش مقاومت فشاری خواهد شد. میزان UPV برای نمونه های عمل آوری شده در محیط نمکی از نمونه های محیط آبی بیشتر است که نشانه نفوذ یون کلر در جرم بتن می باشد. مقاومت الکتریکی و سرعت خروج هوا با کاهش در میزان EPS افزایش می یابد در حالیکه جذب آب و نفوذ یون کلر کاهش می یابد. پتانسیل خوردگی برای نمونه های حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس و با میزان EPS بالاتر از ۱۵ درصد منفی تر از ۳۵۰ میلی ولت است که بر احتمال بالای خوردگی دلالت می کند.

کلید واژه: بتن سبک، دانه‌های پلی استایرن، دوام، پتانسیل خوردگی آرماتور، نفوذ یون کلر

Abstract

Evaluation of Durability and Reinforcement Corrosion in Light-weight Concrete Containing Expanded Polystyrene (EPS)
S. Y. Mousavi

This thesis presents the results of an experimental investigation on the effects of expanded polystyrene (EPS) beads on the durability and reinforcement corrosion in light-weight concrete with or without silica fume. Because of, the objective of this study is to produce structural light-weight concrete with compressive strength above 17 MPa and density varying between 1600 to 2100 Kg/m^3 EPS beads were partially substitute with 15, 22.5 and 30 percentages by volume of aggregate. After casting, the specimens were subjected to water curing for 28 days. After 28 days of curing, the specimens were classified in to two groups. For first group curing were continued in water environment and second one were subjected to alternate wetting and drying in 5% NaCl solution over a period of 365 days. In addition to fluidity and mechanical properties of light weight EPS concrete since 28 days after casting, compressive and flexural strengths of 5% NaCl solution cured specimens at different ages and comparing with water cured results, water absorption, electrical resistivity, ultrasonic pulse velocity (UPV), air permeability, chloride profile at different depths, reduction in steel bars tensile strength and possible changes in specimens and steel bars configuration were studied.

The results showed that with increasing in EPS volume, the compressive strength of light weight concrete at different ages with or without silica fume was decreased. In compared to water curing specimens, curing the light weight EPS concrete in 5% NaCl solution environments can increasing the compressive strength. Furthermore, UPV values for EPS concrete which cured in salty environments are higher than water curing specimens which can be symptom of chloride penetration in concrete mass. Electrical resistivity and air exclusion rating were increasing with decreasing in EPS content, while water absorption and chloride diffusion were decreased. Electrical potential for 10% silica fume EPS concrete with EPS content higher than 15% is more negative than –350 millivolts which indicates a high probability of corrosion.

Key Word: Light weight concrete, EPS beads, corrosion potential, chloride penetration

پیشگفتار

مقدمه

ایران دارای تنوع مختلف آب و هوایی می باشد به گونه ای که از شمال و جنوب در معرض دریا قرار گرفته است. لذا ساخت سازه هایی که بتوانند در مقابل عوامل مختلف جوی، محیطهای شور و نمکی و .. دارای مقاومت و پایایی مناسب باشند، می بایست مورد توجه قرار گیرد. همچنین به علت مسیرهای کوهستانی و جلگه ای احتیاج به ساخت پل ها و کانال های متفاوت در مسیر راه های اصلی و فرعی کشور نیز از احتیاجات راهسازی در ایران می باشد. از طرفی به علت قرار گیری فلات ایران بر روی گسل های متفاوت این کشور همواره در معرض خطرات ناشی از زلزله قرار دارد. با توجه به عوامل بالا، امروزه در پی گسترش صنعت ساخت و ساز در کشور و نیاز به ایجاد سازه های حیاتی، افزایش دقت و ایمنی در تولید و اجرای سازه های مهندسی امری ضروری می باشد. از جمله راهکارهای مناسب می توان به دستیابی به تکنیکها و ترکیبات جدیدی از مصالح ساختمانی جهت تسهیل پروژه های پیچیده به منظور افزایش ضریب اطمینان و ایمنی ساخت آنها در بالا بردن مقاومت قابل قبول و همچنین کاهش هزینه های ساخت و ساز می باشد. شاید بتوان استفاده از بتن سبک برای ساخت سازه های فوق را راهکار مناسبی معرفی نمود، هرچند مطالعه و تحقیق پیرامون بتن سبک به جهت رفع نواقص و مشکلات تولید و کاربرد آن و پیشبرد نقاط قوت و تواناییش ضرورتی آشکار است. در سازه های بتن آرمه قسمت عمده ای از کل بار مرده وارد بر سازه را بتن تشکیل می دهد. لذا با کاهش چگالی بتن مصرفی، امتیازات قابل توجهی نظیر استفاده از مقاطع کوچکتر در اعضای سازه ای و بهره وری بیشتر حاصل می گردد. بتن سبک به علت وزن مخصوص پایین در هنگام مواجهه با زلزله می تواند عملکرد مطلوب تری در مقایسه با بتن معمولی داشته باشد. همچنین در ساخت کانال ها و پل ها به علت سبک سازی می توان طول دهانه بیشتری را برای بتن سبک در نظر گرفت که باعث صرفه جویی در هزینه های ساخت، حمل و نقل بخصوص در مناطق کوهستانی می شود. اما در بحث ساخت سازه های بتنی سبک در مجاورت دریا ها و یا در مناطق شرجی کشور یعنی در جاییکه خوردگی آرماتور در بتن محتمل می باشد، می بایست بسته به نوع سبکدانه مورد استفاده تحقیقات بیشتری صورت پذیرد.

ساختن بتن با دوام و پایا از دیرباز چالش ذهنی و عملی مهندسین عمران بوده و هست. خوردگی فولاد در بتن یکی از عوامل بسیار موثر در کاهش دوام سازه های بتن مسلح می باشد. منابع هنگفت لازم برای تعمیر خرابی های ناشی از خوردگی فولاد در بتن، ضرورت بهبود بخشیدن به وضعیت دوام سازه های در دست ساخت و همچنین تضمین دوام سازه های موجود تازه تعمیر شده را چند برابر کرده است.

هدف

امروزه استفاده از بتن سبک در سازه های مدرن به علت مزایای ویژه آن نسبت به بتن معمولی مانند وزن مخصوص پایین‌تر، سطح مقطع کمتر، طول دهانه بیشتر و... رو به افزایش است. ساخت بتن سبک با دوام و پایا، با گسترش صنعت ساخت وساز در کشور و نیاز به ایجاد سازه های حیاتی مانند اسکله های دریایی، پلها، سدها و... امری اجتناب ناپذیر است. خوردگی آرماتور فولادی در بتن سبک در اثر نفوذ یون کلر از بزرگترین چالش هایی است که از دیدگاه پایداری و دوام در سازه های بتن مسلح مطرح بوده و ارائه راهکار مناسب برای حفظ عملکرد سازه های واقع در این محیط مخرب لازم می نماید. با نگاهی به هزینه های هنگفت لازم برای تعمیر و بهسازی خرابی های ناشی از خوردگی فولاد در بتن، ضرورت بهبود بخشیدن به وضعیت دوام سازه ها را چندین برابر کرده است. لذا با توجه به مزایا بتن سبک و احتیاجات روزافزون به بتن سبک در صنعت ساخت و ساز کشور با استفاده از سبکدانه های در دسترس و کمبود مطالعات گسترده بر روی دوام و خوردگی آرماتور مدفون در بتن سبک، موضوع این رساله در رابطه با دوام خوردگی فولاد در بتن سبک حاوی دانه های پلی استایرن منبسط شده[1] انتخاب گردیده است. از آنجا که نتایج تحقیقات تعداد زیادی از دانشمندان و پژوهشگران در سطح جهان نشان از این دارد که استفاده از مواد پوزولانی به عنوان جایگزین بخشی از سیمان پرتلند در ساخت بتن عملکرد آن در مقابله با حملات سولفات ها وکلروها (تر کیبات کلر دار) و دیگر مواد مضر چند برابر کرده است. لذا در این رساله از درصدهای متفاوت میکروسیلیس در ساخت نمونه های بتنی استفاده شده است تا بدین ترتیب علاوه بر اینکه خواص بتن را بهبود بخشیم، بهترین طرح اختلاط بتن سبک حاوی دانه های پلی استایرن منبسط شده (EPS) را جهت رسیدن به اهداف مورد نظر بدست آوریم.

ساختار پایان نامه

این رساله شامل یک مقدمه و ۵ فصل می باشد. مقدمه شامل سه بخش مقدمه، هدف و ساختار پایان نامه است، که در قسمت مقدمه دلایل و لزوم تحقیق در مورد بتن سبک و دوام آن ارائه گردیده و درقسمت هدف، هدف از انجام این تحقیق تشریح شده و در قسمت ساختار پایان نامه به مطالب فصول مختلف این پایان نامه اشاره گردیده است.

فصل اول مقدمه ای بر بتن سبک بوده که با مقدمه ای شامل شرح بسیار مختصری از تعریف بتن سبک و مزایای بتن سبک حاوی EPS آن آغاز می گردد. سپس تاریخچه ای از ساخت و کاربرد انواع بتن سبک تشریح گردیده و در ادامه به معرفی انواع طبقه بندی بتن های سبک متداول پرداخته شده است. در بررسی سبکدانه های مصرفی در بتن، علاوه بر اینکه توضیحی مختصر در ارتباط با ساخت و کاربرد سبکدانه ها توضیح داده شده است، مروری بر کارهای گذشتگان در ارتباط با بتن سبک ساخته شده با آن سبکدانه نیز صورت گرفته است.

---

[1] Expanded Polystyrene

در فصل دوم به خوردگی آرماتور در داخل بتن پرداخته شده است. در قسمت مقدمه فصل دوم تعاریف مختلف دوام بتن و همچنین مکانسیم های موثر بر دوام بتن ارائه گردیده است. پس از مروری مختصر بر هر کدام از مکانسیم های کاهنده پایایی سازه های بتنی، مکانیسم خوردگی فولاد در بتن به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. آمار و ارقامی از خسارات خوردگی فولاد مدفون در بتن ارائه شده و درادامه اصول خوردگی فولاد در بتن با ارائه چند تصویر تشریح گردیده است. سپس نفوذ یون کلر و کربناسیون که دو پدیده اصلی در ارتباط با خوردگی آرماتور می باشند مورد توجه قرار گرفته است. در قسمت نفوذ یون کلر روش های مختلف انتشار یون کلر، واکنش یون کلر با ماتریس بتن و آزمایش های نفوذ یون کلر در بتن مورد بررسی قرار گرفته است. سپس اصول کربناتاسیون وطریقه اندازه گیری کربناتاسیون تشریح و تفسیر شده است.

فصل سوم به عوامل موثر و مروری بر کارهای گذشتگان در ارتباط با نفوذ یون کلر، کربناتاسیون و خوردگی آرماتور اختصاص داده شده است.

در فصل چهام به ذکر برنامه آزمایشگاهی در نظر گرفته شده پرداخته می شود. لذا در ابتدای امر به معرفی مصالح مصرفی که شامل سیمان، میکرو سیلیس، مصالح سنگی و دانه های پلی استایرن منبسط شده مصرفی می باشد پرداخته می شود و در ادامه به طرح اختلاط ها و نمونه های مورد آزمایش اشاره می شود. سپس محیط های نگهداری نمونه ها معرفی شده و در ادامه نیز آزمایش های انجام شده تشریح می گردد.

فصل پنجم نیز که شامل بحث، بررسی و تفسیر نتایج بدست آمده از آزمایشات مختلف می باشد در سه بخش ارائه گردیده است. بخش اول این فصل شامل بررسی خصوصیات بتن تازه بوسیله آزمایش اسلامپ می باشد. در قسمت دوم نتایج آزمایشات مقاومت فشاری وکششی اعم از شکافت و خمشی تا سن ۲۸ روزگی ارائه گردیده است. در نهایت در بخش سوم که مربوط به نمونه های قرار گرفته در سیکل تر و خشک شدن در محیط نمکی و مقایسه آن با محیط آبی در سن ۳۶۵ روزگی اختصاص داده شده است، مقاومت فشاری در سنین مختلف، مقاومت خمشی، جذب آب، امواج اولتراسونیک، مقاومت الکتریکی، نفوذ گاز در بتن، نفوذ یون کلر دراز مدت در بتن، پتانسیل خوردگی آرماتورهای مدفون در بتن سبک، ارزیابی مقاومت کششی آرماتور ها و همچنین ارزیابی شکل ظاهری نمونه های بتنی و آرماتور های موجود در آن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج در قالب نمودارها و جداول نمایش داده شده اند.

در فصل ششم که فصل انتهایی می باشد روند نتایج آزمایشات بصورت کلی بیان شده و راه کارهایی نیز برای ادامه تحقیقات مربوط در این زمینه ارائه گردیده است.

فصل اول

مقدمه ای بر بتن سبک