بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی
گروه عمران
گرایش سازه

رفتار مهندسی بتن خود تراکم حاوی مس باره

از
علی احمدپور امیرکیاسر

استاد راهنما
دکتر رحمت مدندوست

استاد مشاور
دکتر عطاءالله حاجتی مدارائی

شهریور ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر فداکار

و همسر مهربانم

تشکر و قدردانی

سپاس بی حد ایزد را سزد که بنی آدم را صاحب علم و قلم نمود تا کرامتی در خود یابند و درود فراوان نثار صاحبان فضل و معرفت که روشنی بخش عرصه گیتی شدند. بر خود لازم می‌دانم از استاد راهنمای بزرگوار و ارجمندم، جناب آقای **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 عطاءالله حاجتی مدارائی** که مشاورت این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند کمال تشکر و قدردانی را ابراز می‌دارم.

همچنین از اساتید بزرگوار **جناب آقای دکتر ملک محمد رنجبر** و **دکتر حسین قاسم زاده موسوی**که به عنوان داور زحمت بازخوانی این پایان‌نامه را بر عهده داشته و نظرات ارزنده‌ای در هر چه بهتر شدن آن ارائه نموده‌اند، سپاسگزاری می نمایم.

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

بر خود لازم می دانم که از زحمات مسئولین و کارکنان محترم آزمایشگاه بتن دانشکده فنی دانشگاه گیلان، آقای مهندس کاتبی، آقای سرمست و خانم مهندس حاج جعفری و همچنین از دوستان عزیزم آقایان مهندسین **رضا عبداله زاده، ابراهیم سیف زاد، سعید کوهستانی** و **حمید پوراکابریان** که در مراحل انجام این پایان نامه کمک‌های بسیاری به اینجانب نموده‌اند صمیمانه تشکر کنم.

در پایان از **پدر، مادر، همسر و خواهرم** که همواره یاور و پشتیبان بنده بوده و در تمامی عرصه های زندگی مرا از رهنمودها و کمک هایشان بهره مند نموده اند، سپاسگزاری می نمایم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده فارسی ..... ر
چکیده انگلیسی ..... ز
فصل اول: پیشگفتار ۱
۱-۱. مقدمه ۲
۱-۲. هدف ۳
۱-۳. ساختار پایان نامه ۴
فصل دوم: مروری بر بتن خودتراکم ۵
۲-۱. مقدمه ۶
۲-۲. معرفی بتن خودتراکم ۶
۲-۳. مزیت های استفاده از بتن خودتراکم ۸
۲-۴. نمونه های اجرایی بتن خودتراکم ۱۰
۲-۴-۱. سازه های اجرا شده با بتن خودتراکم در خارج از ایران ۱۰
۲-۴-۱-۱. پل معلق Akashi-Kaiko در Awaji-Shima و Kobe ژاپن ۱۰
۲-۴-۱-۲. برج Landmark یوکوهاما – ژاپن ۱۱
۲-۴-۱-۳. بازار بزرگ Midsummer Place واقع در لندن- انگلستان ۱۲
۲-۴-۲. سازه های اجرا شده با بتن خودتراکم در ایران ۱۲
۲-۴-۲-۱. پروژه توسعه حرم حضرت معصومه (س) ۱۲
۲- ۵. خصوصیات بتن خودتراکم تازه ۱۳
۲- ۶. تئوری های اساسی کارپذیری بتن ۱۵
۲- ۷. فرضیه ی لایه خمیر ۱۸
۲- ۸. طرح مخلوط بتن خودتراکم ۲۰
۲-۹. روش های مختلف طرح اختلاط بتن خودتراکم ۲۱
۲-۹-۱. روش پیشنهادی Okamura و Ozawa ۲۱
۲-۹-۲. روش پیشنهادی انستیتو تحقیقات بتن و سیمان سوئد (CBI) ۲۳
۲-۹-۳. روش پیشنهادی Sue و همکاران ۲۳
۲-۹-۴. روش پیشنهادی Toralles و Carbonari ۲۴
۲-۹-۵. روش پیشنهادی Gettu و همکاران ۲۵
۲-۹-۶. روش پیشنهادی استاندارد اروپایی EFNARC ۲۶
۲-۱۰. اجزاء تشکیل دهنده بتن خودتراکم ۲۸
۲-۱۰-۱. درشت دانه ها ۲۸

۲-۱۰-۲. ریزدانه ها ۲۸
۲-۱۰-۳. سیمان ۲۹
۲-۱۰-۴. افزودنی ها ۲۹
۲-۱۰-۴-۱. فوق روان کننده ها ۲۹
۲-۱۰-۴-۲. پرکننده های معدنی ۳۰
۲-۱۰-۴-۲-۱. میکروسیلیس ۳۰
۲-۱۰-۴-۲-۲. خاکستر بادی ۳۱
۲-۱۰-۴-۲-۳. سرباره کوره آهن گدازی ۳۲
۲-۱۰-۴-۲-۴. پودر سنگ آهک ۳۲
۲-۱۰-۴-۲-۵. سایر مواد مضاف مورد استفاده در بتن خودتراکم ۳۲
۲-۱۱. آزمایش های بتن خود تراکم تازه ۳۳
۲-۱۱-۱. آزمایش جریان اسلامپ ۳۵
۲-۱۱-۱-۱. تجهیزات مورد نیاز ۳۵
۲-۱۱-۱-۲. روش انجام آزمایش ۳۶
۲-۱۱-۱-۳. بررسی و تفسیر نتایج ۳۶
۲-۱۱-۲. آزمایش جعبه L (L-BOX) ۳۸
۲-۱۱-۲-۱. تجهیزات مورد نیاز ۳۸
۲-۱۱-۲-۲. روش انجام آزمایش ۳۹
۲-۱۱-۲-۳. بررسی و تفسیر نتایج ۴۰
۲-۱۱-۳. آزمایش قیف V ۴۱
۲-۱۱-۳-۱. تجهیزات مورد نیاز ۴۱
۲-۱۱-۳-۲. روش انجام آزمایش ۴۲
۲-۱۱-۳-۳. بررسی و تفسیر نتایج ۴۳
۲-۱۱-۴. آزمایش جعبه U ۴۴
۲-۱۱-۴-۱. تجهیزات مورد نیاز ۴۴
۲-۱۱-۴-۲. روش انجام آزمایش ۴۵
۲-۱۱-۴-۳. بررسی و تفسیر نتایج ۴۵
۲-۱۱-۵. آزمایش اوریمت ۴۵
۲-۱۱-۵-۱. تجهیزات مورد نیاز ۴۶
۲-۱۱-۵-۲. روش انجام آزمایش ۴۶
۲-۱۱-۵-۳. بررسی و تفسیر نتایج ۴۷
۲-۱۱- ۶. آزمایش حلقه J ۴۷
۲-۱۱- ۶-۱. تجهیزات مورد نیاز ۴۷
۲-۱۱- ۶-۲. روش انجام آزمایش ۴۸

۲-۱۱- ۶-۳. بررسی و تفسیر نتایج ۴۹
۲-۱۲. مروری بر خصوصیات بتن خودتراکم سخت شده ۴۹
۲-۱۲-۱. مقاومت فشاری بتن خودتراکم ۴۹
۲-۱۲-۲. رابطه مقاومت فشاری و کششی بتن خودتراکم ۵۱
۲-۱۲-۳. مدول الاستیسیته بتن خودتراکم ۵۱
۲-۱۲-۴. خزش در بتن خودتراکم ۵۲
۲-۱۲-۵. جمع شدگی در بتن های خودتراکم ۵۲
فصل سوم: مس باره و کاربردهای مختلف آن ۵۳
۳-۱. مقدمه ۵۴
۳-۲. فرآیند تولید مس باره ۵۵
۳-۳. خواص فیزیکی و مکانیکی مس باره ۵۸
۳-۴. ترکیب شیمیایی مس باره ۵۹
۳-۵. زمینه های مختلف کاربرد مس باره ۶۰
۳-۵-۱. تولید ابزارهای ساینده (سنباده) ۶۰
۳-۵-۲. انجام عملیات ماسه پاشی یا سند بلست ۶۲
۳-۵-۳. تولید ابزارهای برش ۶۳
۳-۵-۴. تولید کاشی و سرامیک و شیشه ۶۳
۳-۵-۵. روکش آسفالت خیابان ها ۶۴
۳-۵- ۶. تولید کلینکر سیمان ۶۴
۳-۵-۷. استفاده از مس باره در بتن ۶۵
۳- ۵ -۷ -۱. استفاده از مس باره در روکش های بتنی کف معابر ۶۵
۳- ۵ -۷ -۲. استفاده از مس باره در بتن مقاومت بالا به عنوان درشت دانه ۶۶
۳- ۵ -۷ -۳. استفاده از مس باره به عنوان جایگزین بخشی از ریزدانه در بتن مقاومت بالا در کارپذیری ثابت ۶۹
۳- ۵ -۷ -۴. تعیین مقدار بهینه ی استفاده از مس باره به عنوان جایگزین ماسه در بتن مقاومت بالا ۷۰
۳- ۵ -۷ -۵. مروری بر تحقیقات سایر پژوهشگران ۷۳
فصل چهارم: برنامه آزمایشگاهی ۷۷
۴-۱. مقدمه ۷۸
۴-۲. مصالح مورد استفاده ۷۸
۴-۲-۱. سیمان ۷۸
۴-۲-۲. میکروسیلیس ۷۹
۴-۲-۳. سنگدانه ها ۷۹
۴-۲-۳-۱. شن ۷۹
۴-۲-۳-۲. ماسه ۸۰
۴-۲-۳-۳. مس باره ۸۱
۴-۲-۴. فوق روان کننده ۸۳

۴-۲-۵. آب ۸۴
۴- ۳. طرح اختلاط ۸۴
۴- ۴. تهیه نمونه های آزمایشگاهی ۸۶
۴- ۵. آزمایش های بتن سخت شده ۸۷
۴-۵-۱. آزمایش مقاومت فشاری ۸۷
۴-۵-۲. آزمایش مقاومت کششی (به روش دو نیم شدن) ۸۸
۴-۵-۳. آزمایش مقاومت خمشی ۸۹
۴-۵-۴. آزمایش مدول الاستیسیته ۹۰
فصل پنجم: نتایج آزمایشگاهی و بحث بر روی آن ها ۹۱
۵-۱. مقدمه ۹۲
۵-۲. نتایج آزمایشات بتن تازه ۹۲
۵-۲-۱. جریان اسلامپ و جریان اسلامپ ۵۰ سانتی متر ۹۲
۵-۲-۲. آزمایش V-funnel ۹۵
۵-۲-۳. آزمایش L-box ۹۷
۵-۳. نتایج آزمایشات بتن سخت شده ۹۸
۵-۳-۱. مقاومت فشاری ۹۸
۵-۳-۲. چگالی ۱۰۶
۵-۳-۲-۱. تغییرات مقاومت فشاری با چگالی بتن و حجم مس باره مصرفی ۱۰۶
۵-۳-۴. مقاومت کششی ۱۰۸
۵-۳-۵. مقاومت خمشی ۱۱۲
۵-۳-۶. مدول الاستیسیته ۱۱۶
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۹
۶-۱. مقدمه ۱۲۰
۶-۲. نتیجه گیری ۱۲۰
۶-۳. پیشنهاد برای کار های آینده ۱۲۲
مراجع ۱۲۴

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۲- ۱ : محدودیت های پیشنهادی مخلوط بتن خودتراکم آئین نامه EFNARC ۲۷
جدول ۲- ۲ : مواد پودری مورد استفاده در بتن خودتراکم بر حسب واکنش پذیری با آب ۳۰
جدول ۲- ۳ : آزمایش های بتن خود تراکم تازه ۳۴
جدول ۲- ۴ : آزمایش های کنترل کننده کارایی بتن خود تراکم ۳۴
جدول ۲- ۵ : رده بندی بتن خودتراکم بر اساس جریان اسلامپ ۳۷
جدول ۲- ۶ : رده بندی بتن خودتراکم بر اساس قابلیت عبور ۴۱
جدول ۲- ۷ : رده بندی لزجت بتن خودتراکم ۴۳
جدول ۳- ۱ : مقدار تولید سالانه مس باره در برخی کشورها ۵۴
جدول ۳- ۲ : خواص فیزیکی مس باره ۵۹
جدول ۳- ۳ : اکسید های اصلی تشکیل دهنده مس باره ۵۹
جدول ۳- ۴ : آنالیز شیمیایی مس باره ی تولید شده در کشور های مختلف ۶۰
جدول ۳- ۵ : طرح اختلاط های مورد مطالعه توسط Khanzadi و همکاران ۶۶
جدول ۳-۶ : درصد افزایش مقاومت بتن مس باره ای نسبت به بتن سنگ آهکی در تحقیقات Khanzadi و همکاران ۶۸
جدول ۳-۷ : نتایج آزمایش های مقاومت فشاری و مقاومت کششی بتن پرمقاومت حاوی مس باره با کارپذیری ثابت در سنین مختلف ۷۰
جدول۴-۱: ترکیبات شیمیایی سیمان مصرفی ۷۸
جدول ۴- ۲ : ترکیبات شیمیایی میکروسیلیس مصرفی ۷۹
جدول ۴- ۳ : آنالیز شیمیایی مس باره ۸۲
جدول۴- ۴ : مشخصات فوق روان کننده مصرفی ۸۴
جدول۴- ۵ : محدودیتهای طرح اختلاط بتن خودتراکم بر اساس EFNARC ۸۵
جدول ۴- ۶ : جزییات طرح های اختلاط بتن خودتراکم ساخته شده ۸۶
جدول ۵- ۱ : طبقه بندی شکل ذرات طبق بخش اول آیین نامه BS 812:1975 همراه با مثال ها ۱۰۲
جدول ۵- ۲ : بافت سنگدانه ها طبق بخش اول آیین نامه BS 812:1975 با مثال ها ۱۰۳

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۲- ۱: پل معلق Akashi-Kaiko ۱۱
شکل ۲-۲ : برج Landmark در ژاپن ۱۱
شکل ۲-۳ : نمونه ستونهای اجرا شده با بتن خودتراکم در حرم حضرت معصومه (س) ۱۳
شکل ۲-۴ : نمونه کتیبه های اجرا شده با بتن خودتراکم در حرم حضرت معصومه (س) ۱۳
شکل ۲- ۵ : اصول بنیادی نظریه ی لایه خمیر اضافی ۱۸
شکل ۲- ۶ : رابطه سه ویژگی بتن خودتراکم با خودتراکمی ۲۰
شکل ۲- ۷ : مقایسه اجزای تشکیل دهنده بتن خودتراکم و بتن معمولی ۲۱
شکل ۲-۸ : چگونگی وقوع انسداد سنگدانه ها ۲۲
شکل ۲- ۹ : الف) روش طرح اختلاط بتن خودتراکم ۲۲
شکل ۲- ۹ : ب) مقایسه تأثیر افزودن آب و فوق روان کننده ۲۲
شکل ۲-۱۰ : دستگاه آزمایش March Cone ۲۵
شکل ۲-۱۱ : آزمایش Mini-slump ۲۶
شکل ۲-۱۲ : روش کلی طرح اختلاط بتن خودتراکم ۲۷
شکل ۲- ۱۳ : مخروط ناقص و صفحه کار آزمایش اسلامپ ۳۶
شکل ۲- ۱۴ : جعبه L شکل ۳۹
شکل ۲- ۱۵ : قیف V شکل ۴۲
شکل ۲- ۱۶ : جعبه U شکل ۴۴
شکل ۲- ۱۷ : دستگاه آزمایش اوریمت ۴۶
شکل ۲- ۱۸ : دستگاه آزمایش حلقه J ۴۸
شکل ۲- ۱۹ : رابطه بین مقاومت فشاری مکعبی و نسبت آب به سیمان بتن خودتراکم ۵۰
شکل ۲- ۲۰ : رابطه بین مقاومت فشاری استوانه ای و نسبت آب به سیمان بتن خودتراکم ۵۰
شکل ۲- ۲۱ : رابطه بین مقاومت فشاری مکعبی و مقاومت کششی استوانه ای بتن خودتراکم ۵۱
شکل ۲- ۲۲ : رابطه بین مقاومت فشاری مکعبی و مدول الاستیسیته بتن خودتراکم ۵۲
شکل ۳-۱: الف) مس باره براق و صیقلی ۵۸
شکل ۳-۱: ب) مس باره مات ۵۸
شکل ۳- ۲ : چرخ سنگ زنی ساخته شده با چسب پایه مس باره ۶۱
شکل ۳- ۳ : استفاده از مس باره در عملیات سندبلست ۶۳
شکل ۳- ۴ : روند توسعه مقاومت فشاری با گذشت زمان در تحقیقات Khanzadi و همکاران ۶۷
شکل ۳- ۵ : روند توسعه مقاومت کششی با گذشت زمان در تحقیقات Khanzadi و همکاران ۶۸
شکل ۳- ۶ : تأثیر استفاده از مس باره بر مقدار آب مصرفی جهت تولید بتن پر مقاومت در کارپذیری ثابت ۶۹
شکل ۳- ۷ : اسلامپ و مقاومت فشاری بتن های با مقاومت بالا حاوی مس باره ریزدانه در سنین مختلف ۷۱
شکل ۳- ۸ : تصویر میکروسکوپی نمونه های بتن پرمقاومت حاوی درصدهای مختلف مس باره ریزدانه ۷۲
شکل ۳- ۹ : مقاومت کششی بتن های پرمقاومت حاوی مقادیر مختلف مس باره ریزدانه در سن ۲۸ روز ۷۳

شکل ۳- ۱۰ : مقایسه روند رشد مقاومت فشاری ملات های ساخته شده با ماسه رودخانه ای و مس باره ریز دانه در نسبت های آب به سیمان متفاوت ۷۴
شکل ۳- ۱۱ : مقایسه روند رشد مقاومت فشاری بتن های ساخته شده با ماسه رودخانه ای و مس باره ریز دانه در نسبت های آب به سیمان متفاوت ۷۴
شکل ۳- ۱۲ : مقایسه انقباض نمونه های بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه ای و مس باره ریز دانه ۷۵
شکل۳- ۱۳ : مقایسه عمق کربناتاسیون در نمونه های بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه ای و مس باره ریز دانه ۷۵
شکل ۳- ۱۴ : مقایسه ی مقاومت فشاری بتن های ساخته شده با درشت دانه سنگ آهکی و مس باره ۷۶
شکل ۴- ۱ : نمودار دانه بندی شن مصرفی ۸۰
شکل ۴- ۲ : نمودار دانه بندی ماسه مصرفی ۸۱
شکل ۴- ۳ : تصویر مس باره مورد استفاده ۸۲
شکل ۴- ۴ : نمودار دانه بندی مس باره مصرفی ۸۳
شکل۴- ۵ : دستگاه تست مشخصات مکانیکی بتن ۸۸
شکل۴- ۶ : دستگاه کرنش سنج ۹۰
شکل ۵- ۱ : جریان اسلامپ به ازای درصدهای مختلف مس باره برای دو نسبت آب به سیمان ۹۳
شکل ۵- ۲ : زمان جریان اسلامپ ۵۰ سانتی متر به ازای درصدهای مختلف مس باره برای دو نسبت آب به سیمان ۹۴
شکل ۵- ۳ : زمان تخلیه قیف V شکل به ازای درصدهای مختلف مس باره برای دو نسبت آب به سیمان ۹۶
شکل ۵- ۴ : زمان تخلیه قیف V پس از ۵ دقیقه به ازای درصدهای مختلف مس باره برای دو نسبت آب به سیمان ۹۶
شکل ۵- ۵ : نسبت h_2/h_1 به ازای درصدهای مختلف مس باره برای دو نسبت آب به سیمان ۹۷
شکل ۵- ۶ : تغییرات مقاومت فشاری بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ به ازای درصدهای مختلف مس باره ۹۹
شکل ۵- ۷ : تغییرات مقاومت فشاری بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ به ازای درصدهای مختلف مس باره ۹۹
شکل ۵- ۸ : تغییرات مقاومت فشاری با گذشت زمان برای بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ و درصدهای مختلف مس باره ۱۰۰
شکل ۵- ۹ : تغییرات مقاومت فشاری با گذشت زمان برای بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و درصدهای مختلف مس باره ۱۰۰
شکل ۵-۱۰: کاهش مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن به ازای درصدهای مختلف مس باره در دو نسبت آب به سیمان ۱۰۴
شکل ۵- ۱۱: درصد کاهش مقاومت فشاری ۲۸ روزه در این مطالعه و تحقیقات Wu و همکاران ۱۰۵
شکل ۵- ۱۲: تغییرات چگالی به ازای درصد های مختلف مس باره برای دو نسبت آب به سیمان ۱۰۶
شکل ۵- ۱۳: رابطه بین مقاومت فشاری ۲۸ روزه و چگالی بتن خودتراکم ۱۰۷
شکل ۵- ۱۴ : رابطه بین مقاومت فشاری ۲۸ روزه و درصد حجمی مس باره ۱۰۸
شکل ۵- ۱۵ : تغییرات مقاومت کششی بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ به ازای درصدهای مختلف مس باره ۱۰۸
شکل ۵- ۱۶ : تغییرات مقاومت کششی بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ به ازای درصدهای مختلف مس باره ۱۰۹
شکل ۵- ۱۷ : تغییرات مقاومت کششی با گذشت زمان برای بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ و درصدهای مختلف مس باره ۱۰۹
شکل ۵- ۱۸ : تغییرات مقاومت کششی با گذشت زمان برای بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و درصدهای مختلف مس باره ۱۱۰
شکل ۵- ۱۹ : کاهش مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن به ازای درصدهای مختلف مس باره در دو نسبت آب به سیمان ۱۱۰
شکل ۵- ۲۰ : رابطه بین مقاومت فشاری و کششی ۲۸ روزه بتن خودتراکم حاوی مس باره ۱۱۱
شکل ۵- ۲۱ : مقایسه روابط آیین نامه های مختلف برای تعیین مقاومت کششی بتن با نتایج آزمایشگاهی ۱۱۲
شکل ۵- ۲۲: تغییرات مقاومت خمشی بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ به ازای درصدهای مختلف مس باره ۱۱۳

شکل ۵- ۲۳ : تغییرات مقاومت خمشی بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ به ازای درصدهای مختلف مس باره ۱۱۳
شکل ۵- ۲۴ : تغییرات مقاومت خمشی با گذشت زمان برای بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ و درصدهای مختلف مس باره ۱۱۴
شکل ۵- ۲۵ : تغییرات مقاومت خمشی با گذشت زمان برای بتن های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و درصدهای مختلف مس باره ۱۱۴
شکل ۵- ۲۶ : کاهش مقاومت خمشی ۲۸ روزه بتن به ازای درصدهای مختلف مس باره در دو نسبت آب به سیمان ۱۱۵
شکل ۵- ۲۷ : مدول الاستیسیته ۲۸ روزه نمونه های حاوی مقادیر مختلف مس باره برای دو نسبت آب به سیمان ۱۱۶
شکل ۵- ۲۸ : رابطه میان مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن خودتراکم حاوی مس باره ۱۱۷
شکل ۵- ۲۹ : رابطه بین مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری بتن خودتراکم مس باره ای و معمولی ۱۱۸

چکیده

رفتار مهندسی بتن خودتراکم حاوی مس باره

علی احمدپور امیرکیاسر

بتن یکی از اصلی ترین مصالح مورد استفاده در صنعت ساخت و ساز می باشد. کاربرد بتن های مرسوم نیازمند به ویبره در ساخت سازه های بتنی با شکل های پیچیده و آرماتورگذاری متراکم همواره مسئله ساز بوده است. از طرف دیگر همگنی ناکافی ناشی از بتن ریزی به علت تراکم نامناسب و یا جداشدگی دانه های سنگی ممکن است موجب تردید در عملکرد بتن ساخته شده در محل سرویس دهی گردد. نیاز به تراکم کافی و کارپذیری بتن در سازه هایی که در آنها با انباشتگی و تراکم میلگرد ها روبرو هستیم، منجر به رشد و توسعه ی بتن خودتراکم گردیده است. از طرفی یکی از بزرگترین معضلات قرن حاضر، رشد فزاینده ی حجم ضایعات و پسماندهای صنعتی است. یکی از این ضایعات، مس باره است که در طی فرآیندهای متالورژیکی تولید و پالایش مس حاصل می شود. علی رغم روند رو به رشد بازیافت مس باره، حجم بالای تولید سالانه آن منجر به انباشته شدن حجم عظیمی از مس باره در انبارها گردیده است. در ایران سالانه ۳۶۰۰۰۰ تن مس باره از صنایع مس تولید می شود. یکی از راه حل های پیشنهادی برای بازیافت این ضایعات به کار گیری آنها در تولید بتن است. در این رساله سعی بر آن است که خواص مهندسی بتن خودتراکم حاوی دانه های مس باره به عنوان جایگزین بخشی از ماسه، مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور مخلوط های بتن خودتراکم حاوی درصد های مختلف مس باره به عنوان جایگزین ماسه (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد) تهیه شدند. خواص خودتراکمی مخلوط های حاصله توسط آزمایشهای جریان اسلامپ، قیف V و جعبه L مورد بررسی قرار گرفته است. خواص بتن خودتراکم سخت شده نیز توسط آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت کششی (به روش های دونیم شدن استوانه و مدول گسیختگی) و مدول الاستیسیته در سنین مختلف بررسی گردیده است. نتایج بدست آمده نشان می دهند که با افزایش میزان مس باره در بتن خودتراکم، خواص خودتراکمی اندکی کاهش می یابند، لیکن تا ۳۰٪ جایگزینی ماسه با مس باره مخلوط های بتن حاصله به خوبی در رده بندی بتن خودتراکم قرار می گیرند. همچنین افزایش مقدار مس باره در ماتریس بتن منجر به کاهش مختصری در خواص مقاومتی بتن نسبت به بتن خودتراکم شاهد گردیده است، به نحوی که در مخلوط های حاوی ۳۰ درصد مس باره نسبت به بتن شاهد با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ و ۰/۴۵، مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ترتیب ۷/۲ و ۸/۷ درصد و مقاومت کششی ۲۸ روزه به ترتیب ۹/۷۵ و ۱۱/۴۳ درصد کاهش داشته است. بنابراین میزان جایگزینی ماسه با مس باره باید با توجه به مقاومت مورد انتظار انتخاب گردد.

کلید واژه: بتن خودتراکم، مس باره، خواص مکانیکی، بتن تازه

Abstract

Engineering Properties of Self-compacting Concrete Containing Copper Slag
Ali Ahmadpour Amirkiasar

Concrete is one of the major construction materials being used worldwide. Using traditional concrete, which needs vibration, in construction of structures with dense reinforcement and complex shape, has been faced with many problems. On the other hand, inadequate homogeneity of the cast concrete due to poor compaction or segregation may dramatically lower the performance of mature concrete in insitu. To ensure adequate compaction and facilitate placement of concrete in structures with congested reinforcement and in restricted areas, self-compacting concrete (SCC) has been developed. One of the major problems of this century is the rapid increasing in volume of industrial by-products and wastes. Copper slag is a by-product obtained during metallurgical matte smelting and refining of copper. Despite increasing rate of reusing copper slag, the huge amount of its annual production is disposed in dumps or stockpiles to date. In Islamic Republic of Iran, the amount of copper slag produced is 360000 tons per year. One of the greatest potential applications of reusing copper slag is in concrete production. In this thesis experimental studies on self-compacting concretes with two W/C ratios (0.38 & 0.45) containing different proportions of copper slag as a replacement of sand (10, 20, 30 & 40%) have been carried out including : Slump, V-funnel, L-box, compressive strength, tensile strength (splitting and modulus of rupture) and modulus of elasticity tests. The results show that as the copper slag content increases, a slight decrease in self-compactibility and strength properties occur. With 30% replacement of sand with copper slag, for w/c ratios of 0.38 and 0.45, the compressive strength decreases 7.2% and 8.7% and the tensile strength decreases 9.75% and 11.43% respectively, so it is suggested that the determination of the copper slag replacement level should be considered with the desired compressive strength of concrete.

Key words: Self-compacting concrete, Copper slag, Mechanical properties, Fresh concrete

فصل اول

پیشگفتار

۱- ۱ . مقدمه

ساختمان ها، ابنیه ی راه ها، سد ها و بطور کلی سازه هایی که امروزه در ایران ساخته می شوند، عموما از اسکلت فلزی و یا بتنی بهره می برند. اگرچه بنا به دلایل متنوع سازه های با اسکلت بتنی رواج بیشتری یافته و کماکان با روند رو به رشدی مواجه اند. از آن گذشته حتی در سازه های با اسکلت فولادی نیز معمولا استفاده از بتن و انجام عملیات بتن ریزی غیر قابل اجتناب است. باید توجه داشت که تولید و کنترل کیفیت فولاد معمولا در کارخانه صورت گرفته و نیروهای کاری کارگاه نقشی در آن ندارند، در حالی که نوع و مرغوبیت بتن ارتباط مستقیم با دو مسئله اساسی دارد: یکی نسبت اجزایی که در ساخت بتن بکار گرفته شده و دیگری مسائل و ریزه کاری های اجرایی که در اختلاط اجزا، ساخت بتن، حمل، ریختن و مراقبت از بتن رعایت شده است. از طرفی به علت قرار گرفتن 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 ساخت سازه های زیربنایی، افزایش دقت و ایمنی در تولید و اجرای سازه های مهندسی امری ضروری می باشد. از جمله راهکارهای مناسب می توان به دستیابی به تکنیک ها و ترکیبات جدیدی از مصالح ساختمانی جهت تسهیل اجرای 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 اشاره نمود. شاید بتوان استفاده از بتن خودتراکم برای ساخت سازه های فوق را راهکار مناسبی معرفی نمود، هرچند مطالعه و تحقیق جهت رفع نواقص و مشکلات تولید و اجرای آن ضروری می نماید.

صنعت بتن امروزه یک مصرف کننده بزرگ منابع طبیعی مانند آب، شن، ماسه و سنگ های شکسته است. طبق آمار انجمن بتن ایران، سالانه حدود صد میلیون متر مکعب بتن در ایران تولید شده و به مصرف می رسد. با توجه به اینکه حدود ۷۵ درصد حجم بتن را مصالح سنگی (شن و ماسه) تشکیل می دهند به وضوح قابل درک است که صنعت بتن سالانه مقادیر عظیمی از منابع طبیعی را مصرف می نماید. چنانچه جایگزین مناسبی برای سنگدانه های مصرفی در بتن معرفی نگردد، در آینده ای نه چندان دور روند رو به رشد صنعت بتن در کشور دچار رکود خواهد گردید. از طرفی برداشت بی رویه شن و ماسه از رودخانه ها و معادن لطمات جبران ناپذیری را بر محیط زیست اعمال خواهد کرد که از جمله ی آنها می توان به افزایش احتمال سیل و رانش کوه ها اشاره نمود، کما اینکه در استان گیلان رودخانه های شهرستان تالش که یکی از منابع اصلی تامین شن و ماسه رودخانه ای هستند دچار طغیان های خسارت باری گردیده اند، همچنین گزارش هایی از رانش کوه ها در شهرستان های املش و دیلمان به علت استخراج شن و ماسه از دل کوه ها در دست است. از طرفی در کشور های در حال توسعه، علی الخصوص ایران که دارای

کارخانجات متعدد تولید فلزات صنعتی است، روند رو به رشد حجم فزاینده ضایعات و پسماندهای صنعتی در حال تبدیل شدن به یکی از دغدغه های اساسی در برنامه ریزی های کلان کشوری است. یکی از این ضایعات، مس باره است که روزانه در ایران حدود ۱۰۰۰ تن از صنایع مرتبط با استخراج و پالایش مس بصورت ضایعات تولید می شود. بنابراین چنانچه بتوان از این محصول زائد به عنوان جایگزین شن و یا ماسه در بتن استفاده کرد، جدا از کمک به اقتصاد کشور، می توان بخشی از برداشت بی رویه از منابع و معادن شن و ماسه را کاهش داده و علاوه بر ترسیم دورنمای توسعه پایدار، بخشی از آسیب های ناشی از توسعه بر محیط زیست را کاهش داد. این رویه در برخی کشورهای آسیایی که دارای معادن و تکنولوژی تولید مس هستند از جمله سنگاپور، مالزی و عمان اخیرا شروع گردیده و نتایج مورد قبولی در بر داشته است. بنابراین شایسته است که امکان سنجی استفاده از مس باره تولید شده در صنایع مس کشور در کنار مصالح بومی موجود در تولید بتن مورد بررسی قرار گیرد تا از مزایای بالقوه اقتصادی و زیست محیطی آن در کشور بهره برداری شود.

۱- ۲ . هدف

با توجه به گسترش استفاده از بتن خودتراکم در عرصه ساخت و ساز و عدم شناخت کافی از رفتار بتن خودتراکم و ضوابط لازم برای طراحی مخلوط بتن خودتراکم، نیاز به انجام تحقیقات نظری و عملی در این حوزه وجود دارد. از طرفی با بررسی مطالعات سایر محققین در خصوص تاثیر استفاده از مس باره ریز و درشت دانه به عنوان جایگزین بخشی از ماسه و شن در بتن معمولی و بتن پرمقاومت، مزیت هایی اعم از افزایش خواص مقاومتی و کارپذیری و کاهش نیاز به آب مشاهده گردید، لیکن تا کنون نتایجی از تاثیر دانه های مس باره بر خواص بتن خودتراکم در دست نبوده است. از طرفی انتظار می رود که دانه های مس باره به علت سطح صیقلی و جذب آب پایین بتوانند تاثیر مثبتی بر خواص خودتراکمی داشته باشند که در کنار افزایش مقاومت گزارش شده توسط سایرین ، می تواند مزایای استفاده از این سنگدانه ضایعاتی را دوچندان نماید. همچنین نگارنده متوجه برخی تناقضات در نتایج ارائه شده توسط سایر محققین گردید، به نحوی که برخی افزایش مقاومت بتن معمولی و بتن پرمقاومت را با استفاده از مس باره گزارش داده اند و برخی دیگر با کاهش مقاومت روبرو شده اند. از آنجایی که ممکن است به دلیل استفاده از دانه های مس باره در بتن خودتراکم، ویژگی های بتن تازه و سخت شده آن با بتن خودتراکم معمولی تفاوت داشته باشد، بنابراین بررسی این ویژگی ها قبل از کاربرد آن ضروری به نظر می رسد. با توجه به اهمیت مسائل مطرح شده فوق هدف از انجام این برنامه آزمایشگاهی، بررسی خواص مهندسی بتن خودتراکم حاوی مس باره ی تولید شده در ایران به عنوان جایگزین ماسه و معرفی

درصد بهینه این جایگزینی است به نحوی که از یک سو خواص بتن خودتراکم تازه و سخت شده را بهبود داده و از سوی دیگر منافع اقتصادی و زیست محیطی اشاره شده در بخش مقدمه را نیز فراهم نماید.

۱- ۳ . ساختار پایان نامه

این رساله در شش فصل تنظیم و ارائه می گردد. فصل اول تحت عنوان پیشگفتار، شامل سه بخش مقدمه، هدف و ساختار پایان نامه است، که در قسمت مقدمه دلایل و لزوم تحقیق در مورد بتن خودتراکم حاوی مس باره ارائه گردیده و در قسمت 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 دوم، در مورد مروری بر بتن خودتراکم بوده و ضمن آشنایی با بتن خودتراکم، تاریخچه و کاربرد این نوع بتن در جهان و ویژگی های استفاده از بتن خودتراکم مورد توجه بوده است. در ادامه ضمن معرفی روش های طرح اختلاط بتن خودتراکم، خصوصیات بتن تازه و آزمایشات مربوط به بتن تازه ارائه شده است. در انتهای فصل نیز به بررسی برخی خصوصیات بتن خودتراکم سخت شده پرداخته ایم. فصل سوم، ابتدا به معرفی مس باره، نحوه ی تولید و کاربردهای مختلف آن در صنعت می پردازیم. در ادامه مروری بر کارهای سایر محققان در استفاده از مس باره در صنعت سیمان و بتن ارائه شده است. در فصل چهارم به ذکر برنامه آزمایشگاهی در نظر گرفته شده پرداخته می شود. لذا در ابتدای امر به معرفی مصالح مصرفی که شامل سیمان، میکروسیلیس، فوق روان کننده، آب، مصالح سنگی و مس باره می باشد پرداخته و در ادامه به طرح اختلاط ها و نمونه های مورد آزمایش اشاره می نماییم. در انتها روش انجام آزمایشات بتن سخت شده نیز شرح داده می شود. نتایج بدست آمده از آزمایش های جریان اسلامپ، جریان اسلامپ ۵۰ سانتی متر، قیف V ، جعبه L ، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته انجام شده بر مخلوط های بتن خودتراکم معمولی و بتن خودتراکم حاوی مس باره در فصل پنجم ارائه شده است. در فصل ششم نتایج کلی بدست آمده از این مطالعه به همراه پیشنهادات برای کارهای آینده ارائه گردیده است.

فصل دوم

مروری بر بتن خودتراکم

۲- ۱ . مقدمه

بتن خود تراکم (SCC)[1] مخلوط بتنی است که در حالت تازه اش، به طور همگن تحت وزن خود جریان می یابد و به طور کامل هواگیری می گردد و تمام ابعاد و زوایای قالب ها را بطور مناسب پر کرده و آرماتورها را بخوبی و بدون نیاز به ویبراسیون خارجی، در بر می گیرد. بتن خود تراکم برای اولین بار در اواسط دهه ی ۱۹۸۰ میلادی در دانشگاه توکیو معرفی و تولید گردید [۱و۲].

ژاپن تجربه های فراوانی از مشکلات متعدد مربوط به دوام ساختمان ها و سازه های بتنی داشت که کیفیت بتن در آنها به اندازه ی مورد انتظار نبود [۳]. معرفی بتن خود تراکم، به عنوان راهکاری جدید برای ساختن سازه های بتنی قابل اطمینان و با دوام بالا پیشنهاد گردید [۴]. دلیل اصلی کمبود کیفیت بتن، کاهش تعداد کارگران ماهر بود، فلذا پیشنهاد شد که بتن بدون نیاز به ویبراسیون ممکن است راه حلی برای مشکل کمبود کارگران ماهر و کاهش دوام سازه ها یشان باشد [۵]. بتن خود تراکم مشخصات قابل توجهی مانند جریان پذیری بالا، مقاومت در برابر جداشدگی و قابلیت ممتاز خود تراکمی بدون نیاز به ویبره را دارد [۶].

۲- ۲ . معرفی بتن خودتراکم

بتن خود تراکم برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ برای دست یابی به سازه های با دوام طراحی شد. از آن زمان به بعد، تحقیقات زیادی بر نوع بتن مورد استفاده در ژاپن انجام شد [۷]. ژاپنی ها از سال ۱۹۹۰ به بعد از بتن خودتراکم که نیاز به هیچ ویبره ای نداشت و تحت اثر وزن خود به تراکم کامل می رسید در ساخت پل ها، تونل ها و ساختمان ها استفاده کرده اند [۸].

بتن خود تراکم در بخش های مختلف سازه با در صدی از آرماتور به طور کامل تمام خلاها و فواصل را پر می کند، مانند عسل جریان می یابد و بعد از ریختن بتن، سطحی نزدیک به افق دارد [۹].

به طور کلی، بتن خودتراکم دارای مولفه های اساسی مشابه با بتن معمولی و بتن با کارایی بالا (HPC)[2] است. اگرچه به علت میزان بالای پرکننده، پودر سنگ آهک و خاکستر بادی، جنبه های میکروسکوپی آن متفاوت خواهد بود. عموماً بتن خودتراکم شامل میزان بالای مواد سیمانی و نسبت آب به سیمان پایین تر از بتن های معمولی است و می تواند به مقاومت های بالاتر دست یابد. مقدار خمیر در بتن خود تراکم، به علت کاهش مقدار درشت دانه، بالاتر از بتن های معمولی ویبره شده است [۱۰].

[1] Self-Compacting Concrete
[2] High Performance Concrete