

بررسی اثر زئولیت بر کارایی بتن خود تراکم

مصطفی خانزادی

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

محمد رضا نبی زاده شهر بابک

دانشجوی دکتری، مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

Nabizade@civileng.iust.ac.ir

سید رضا باقری

کارشناس ارشد، مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

ولی اله قلعه نوی

دانشجوی دکتری، مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۱۰-۱۹

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۱-۲۸

چکیده:

امروزه در راستای کاهش هزینه‌های جاری و همچنین کاهش یا حذف مشکلات زیست‌محیطی، استفاده از مواد زائد و دورریز و پوزولان‌ها در بتن به یکی از مباحث مورد علاقه اکثر محققین تبدیل شده‌است و از طرفی استفاده از این مواد علاوه بر کمک به بهبود خواص بتن به یکی از بحث‌های مهم در زمینه توسعه پایدار نیز تبدیل شده‌است. در این پژوهش امکان استفاده از زئولیت به عنوان یک پوزولان طبیعی که خواص پوزولانی از خود نشان می‌دهد در بتن خودتراکم مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور اثر جایگزینی زئولیت با درصد جایگزینی وزنی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ بر روی خواص بتن تازه و مقاومت فشاری بتن سخت شده بررسی گردید. نتایج آزمایشات نشان داد که زئولیت باعث بهبود عملکرد بتن خودتراکم در حالت تازه می‌شود و دلیل این عملکرد این است که زئولیت چسبناکی و پایداری بتن را افزایش و آب‌انداختگی را کاهش می‌دهد. ضمن اینکه زئولیت در سنین اولیه سبب کاهش مقاومت بتن سخت شده می‌شود. اما در سنین ۲۸ و ۹۰ روز مقاومتی برابر و حتی بیشتر از بتن پایه را کسب می‌کند. کلمات کلیدی: بتن خود تراکم پوزولانی، زئولیت، کارایی بتن خود تراکم، توسعه پایدار

ژئولیت به عنوان یک پوزولان طبیعی انواع مختلفی دارد که خواص شیمیایی و فیزیکی و خلوص آن‌ها متفاوت است و توانسته است به عنوان یک پوزولان طبیعی مناسب در ساخت بتن‌های خودتراکم مصرف شود. مصرف این پوزولان علاوه بر اقتصادی کردن رویه ساخت بتن، بهبود خواص ژئولوژیک و مقاومتی سیمان را نیز به همراه دارد. تنوع موجود در بین نمونه‌های مختلف ژئولیت باعث می‌شود که انسجام کاملی بین همه‌ی نتایج بدست آمده از تحقیقات مختلف وجود نداشته باشد و همانطور که برخی از محققین عنوان کرده‌اند، باید هر نوع ژئولیت با خواص شیمیایی و فیزیکی خاص بطور جداگانه بررسی شود از این رو در قسمت مرور تحقیقات پیشین سعی می‌شود که نتایج کلی و مشترک تمامی محققین ذکر شود [۱]. مقادیر زیاد Al_2O_3 و SiO_2 در ژئولیت با هیدروکسید کلسیم هیدراته واکنش می‌دهد که محصول آن ژل C-S-H و آلومینات‌های اضافه بر محصولات هیدراتاسیون سیمان است و در نتیجه ریزساختار بتن سخت‌شده خصوصاً در ناحیه انتقالی خمیر سیمان و سنگدانه بهبود می‌یابد [۲، ۳].

با جایگزینی بخشی از سیمان با ژئولیت می‌توان مقاومت بتن را افزایش داد. به طوری که استفاده از ژئولیت به میزان کمتر از ۱۰ الی ۱۵ درصد باعث افزایش مقاومت در همه‌ی سنین بتن می‌شود. در حالیکه استفاده از ژئولیت به میزان بیشتر از ۱۵ الی ۲۰ درصد سبب کاهش مقاومت اولیه (کمتر از ۲۸ روز) و جبران مقاومت در سنین زیاد (۹۰ و ۱۸۰ روز) می‌شود [۴-۶]. فنگ و همکاران برای بررسی تأثیر ژئولیت بر خواص بتن تازه و مقاومت بتن، چهار سری آزمایش مختلف انجام دادند. در این مطالعه آن‌ها اثر ترکیب ژئولیت و سایر مواد افزودنی، اندازه ذرات ژئولیت و مقدار ژئولیت جایگزین شده را بررسی کردند و در نهایت گزارش کردند که بتن‌های تازه حاوی ژئولیت آب‌انداختگی بسیار کمتری نسبت به بتن‌های حاوی سیمان پرتلند خالص از خود نشان دادند [۴]. برخی از محققین مقدار بهینه استفاده از ژئولیت را برای افزایش مقاومت ۲۸ روزه ی بتن، ۱۰ الی ۱۵ درصد عنوان کرده‌اند و افزایش مقاومتی تا حدود ۱۵ درصد آزمونه‌ی شاهد را گزارش داده‌اند [۷]. در تحقیقی بتن پرمقاومت (بیش از ۸۰ MPa مقاومت) و روان (اسلامپ ۱۸۰ mm) با استفاده از ژئولیت بدست آمده‌است [۴]. در بررسی دیگری نیز نشان داده شده‌است که بتن سازه‌ای حاوی مقدار جایگزینی ۵۰ درصد ژئولیت قابل ساخت است [۸].

تحقیقات انجام شده در مورد تأثیر ژئولیت بر نفوذپذیری و تخلخل خمیر سیمان در بتن، کاهش منافذ و نفوذپذیری بتن را در اثر استفاده از ژئولیت تأیید کرده‌اند. به نظر می‌رسد که درصد بهینه استفاده از ژئولیت در این زمینه ۱۰ الی ۲۰ درصد جایگزین سیمان باشد. در مقاله‌ای گزارش شده‌است که ژئولیت اثری قوی‌تر از خاکستر بادی و ضعیفتر از دوده سیلیسی در افزایش مقاومت، کاهش جذب آب و کاهش انتشارپذیری یون کلر در بتن دارد [۷].

تأثیر ژئولیت بر کنترل واکنش قلیایی سنگدانه‌ها (ASR) در بتن کاملاً اثبات شده‌است و گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد استفاده از مقادیر مناسب ژئولیت می‌تواند سبب محدود کردن انبساط‌های ناشی از واکنش قلیایی سنگدانه‌ها در بتن گردد [۷-۱۳]. تأثیر ژئولیت در این زمینه را می‌توان با پیش گرمایش ژئولیت تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد، خردشدگی بیشتر ژئولیت و افزایش قابلیت خاصیت تبادل یونی توسط غوطه‌وری در محلول NH_4Cl افزایش داد. در نهایت باتوجه به موارد فوق برخی محققین ژئولیت را به عنوان یک پوزولان، کارآمدتر از خاکستر بادی و روباره دانسته‌اند [۱۰]. طبق بررسی مطالعات موجود مطالعه‌ای جدی بر روی ژئولیت و میکروسلیس انجام نشده‌است که عدم مطالعه اثر ژئولیت و مس باره بر خواص بتن تازه و مقاومت جداسازی بتن خود تراکم

۲. برنامه‌ی آزمایشگاهی

ویژگی مصالح مصرفی در این پژوهش بدین شرح است، سیمان مورد استفاده در این پژوهش، سیمان معمولی تیپ ۲ تهران با چگالی ویژه $3,15 \text{ gr/cm}^3$ بود. منبع زئولیت مصرفی (نوع کلینوپتیلولایت) از معادن شمال سمنان در ایران می باشد. زئولیت نمونه دارای چگالی ($2,20 \text{ gr/cm}^3$) و مدول نرمی $2,45 \text{ gr/cm}^3$ و متوسط اندازه ذرات آن $16,84$ میکرومتر است. سنگدانه‌های درشت و ریز مورد مصرف در تهیه بتن از رودخانه کرج تهیه شده بودند. حداکثر اندازه سنگدانه‌های درشت 12 میلی‌متر، چگالی ویژه $2,45 \text{ gr/cm}^3$ و جذب آب آن $2,78\%$ بود. سنگدانه ریز نوع اول دارای چگالی ویژه $2,50 \text{ gr/cm}^3$ و جذب آب $2,78\%$ و مدول نرمی $3,27$ و نوع دوم دارای چگالی ویژه $2,50 \text{ gr/cm}^3$ و جذب آب $2,78\%$ و مدول نرمی $3,27$ بودند.

در این مرحله که بدنه اصلی پژوهش را تشکیل می‌دهد، آزمایش‌های متعددی بر روی بتن‌های حاوی زئولیت و میکروسیلیس با درصد‌های جایگزینی مختلف و همچنین بتن شاهد انجام پذیرفت. در این بخش سعی شده است که طرح‌های اختلاط به گونه‌ای طراحی شوند که اثر گذاری زئولیت بر هر سه مورد قابلیت پرکنندگی، قابلیت عبورپذیری و مقاومت جاداشدگی به بهترین شکل ممکن نشان داده شود. با توجه به اینکه سایر محققین میزان جایگزینی زئولیت را بین 10% تا 20% وزن سیمان و میکروسیلیس را $7,5\%$ توصیه کرده‌اند مقدار 10% برای بتن‌های زئولیت‌دار و میکروسیلیس‌دار در نظر گرفته شد و با کاهش و افزایشی به مقدار 5% میزان اثرگذاری آنها بر خواص بتن تازه بررسی شد.

باتوجه به این نکات سیزده طرح اختلاط متفاوت طراحی گردید. در همه این طرح‌ها نسبت آب به مواد سیمانی برابر با $0,38$ ، وزن شن برابر 530 کیلوگرم بر مترمکعب و وزن ماسه برابر 980 کیلوگرم بر متر مکعب، نسبت مصالح سنگی درشت‌دانه به ریزدانه $65:35$ و نسبت ماسه 1 به 2 هم $50:50$ و وزن کل مواد سیمانی برابر با 450 کیلوگرم بر متر مکعب و پودرسنگ برابر با 135 کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شد.

بر اساس بررسی جامعی که توسط دامون [۱۴] صورت گرفت مشخص گردید که نزدیک به 90% محققینی که بر روی بتن خودتراکم تحقیق کرده‌اند بتن‌هایی با قطر اسلامپ بین $650-700 \text{ mm}$ ساخته‌اند از این رو در این تحقیق سعی شده است مقدار فوق روان کننده طوری انتخاب شود تا قطر اسلامپ بتن‌های شاهد، پایه‌زئولیتی و پایه‌میکروسیلیسی در این محدوده قرار گیرد. کد طرح‌ها و درصد جایگزینی مواد سیمانی و درصد وزنی فوق روان کننده سیزده مخلوط بتن در جدول (۱) نشان داده شده است.

۳. آزمایش‌های انجام گرفته بر روی بتن

آزمایش جریان اسلامپ^۱:

این آزمایش طبق استاندارد اندازه گیری جریان اسلامپ بتن خودتراکم شماره 11270 سازمان ملی استاندارد ایران انجام شد و به منظور تعیین آزادی حرکت بتن خودتراکم در سطح افق در هنگام نبود مانع صورت می‌گیرد. اساس آزمایش بر اصولی استوار است که آزمایش اسلامپ معمولی بر آن بنا نهاده شده است. قطر دایره‌ای که بتن پس از

¹ Slump Flow

پخش شدن می‌سازد، معیار سنجش قابلیت پرکنندگی بتن خواهد بود. نتایج این آزمایش هیچ اشاره‌ای به توانایی گذشتن بدون انسداد بتن از خلال موانع ندارد اما می‌تواند ملاکی برای ارزیابی مقاومت در برابر جداسازی باشد.

جدول ۱- طرح اختلاط نمونه‌های ساخته شده (قطر اسلامپ تمامی طرح‌ها بین ۶۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر)

ردیف	کد اختلاط	درصد جایگزینی %	سیمان Kg/m ³	زئولیت Kg/m ³	میکروسیلیس Kg/m ³	فوق روان‌کننده درصد وزنی مواد سیمانی
۱	REF SCC	-	۴۵۰	-	-	۰,۷۳
۲	REF SEG	-	۴۵۰	-	-	۱,۱۷
۳	REF SEG 2	-	۴۵۰	-	-	۱,۴۶
۴	Z SCC 15	۱۵	۳۸۲,۵	۶۷,۵	-	۱,۱۷
۵	Z SCC 10	۱۰	۴۰۵	۴۵	-	۱,۱۷
۶	Z SCC 5	۵	۴۲۷,۵	۲۲,۵	-	۱,۱۷
۷	Z SEG	۱۰	۴۰۵	۴۵	-	۱,۶۱
۸	Z SEG 2	۱۰	۴۰۵	۴۵	-	۱,۹
۹	SF SCC 15	۱۵	۳۸۲,۵	-	۶۷,۵	۱,۰۷
۱۰	SF SCC 10	۱۰	۴۰۵	-	۴۵	۱,۰۷
۱۱	SF SCC 7.5	۷,۵	۴۱۶,۵	-	۳۳,۵	۱,۰۷
۱۲	SF SCC 5	۵	۴۲۷,۵	-	۲۲,۵	۱,۰۷
۱۳	SF SEG	۱۰	۴۰۵	-	۴۵	۱,۵۱

حلقه ی J^۲:

این آزمایش طبق استاندارد اندازه گیری قابلیت عبور بتن خود تراکم با استفاده از حلقه J شماره ۱۱۲۷۱ سازمان ملی استاندارد ایران انجام شد و جهت اندازه گیری قابلیت گذرندگی بتن بکار می‌رود. طبق توافقات برای آرماتورهای معمولی، ۳ برابر بزرگترین اندازه ی دانه‌ی سنگی برای فاصله‌ی میان میلگردها منظور می‌شود. قطر حلقه‌ی میلگردی عمودی ۳۰۰ میلی‌متر و ارتفاع میلگردها ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد. نتایج آزمایش حلقه‌ی J می‌تواند مکمل مناسبی برای آزمایش جریان اسلامپ باشد. این آزمایش‌های ترکیبی، توانایی جریان‌یابی و گذرندگی بتن را کنترل می‌کنند. پس از اتمام آزمایش، اختلاف ارتفاع بتن درون و بیرون اندازه گیری شود. این مقدار نشانه‌ای برای قابلیت گذرندگی و یا درجه‌ای است که نشان می‌دهد چه حدودی J حلقه از فاصله بین میلگردها برای عبور بتن قابل استفاده است.

آزمایش پایداری الک^۲:

این آزمایش جهت اندازه گیری مقاومت بتن در مقابل جداسازی بکار می‌رود. قطر الک مورد استفاده در این آزمایش cm ۳۵ و اندازه چشمه‌های الک ۵ mm می‌باشد. پس از اتمام آزمایش نسبت وزن ملات عبوری از الک به وزن بتن ریخته شده در الک محاسبه شده و به‌عنوان معیاری برای سنجش مقاومت جداسازی بتن خودتراکم استفاده می‌شود. برای

² J Ring

³ Sieve Stability

انجام این آزمایش ۱۰ لیتر از بتن به داخل سطل ریخته می‌شود. زمان بین مخلوط‌کردن و ریختن بتن نباید بیش از ۳۰ ثانیه شود. روی سطل را به منظور اجتناب از خشک‌شدن بتن بپوشانید. پس از ۱۵ دقیقه حدود ۲ لیتر (۴,۸ کیلوگرم) از بتن لایه بالایی را از ارتفاع نیم متری به داخل الک بریزید و وزن نمونه را یادداشت کنید. پس از ۲ دقیقه زیر الک همراه با محتویات آن وزن می‌شود و نسبت زیر محاسبه شود:

$$\text{پایداری} (\%) = \frac{\text{وزن مواد عبوری}}{\text{وزن نمونه}} \times 100$$

آزمایش مقاومت فشاری:

این آزمایش طبق دستورالعمل تعیین مقاومت فشاری آزمونه‌های بتن شماره ۳۲۰۶ سازمان ملی استاندارد ایران انجام گرفت. برای تعیین مقاومت فشاری مخلوط‌های ساخته شده از آزمونه‌های مکعبی ۱۰۰ میلی‌متری استفاده شد. این آزمونه‌ها پس از بیرون‌آمدن از قالب جهت عمل‌آوری به درون حوضچه آب با دمای تقریبی ۲۰ درجه سانتیگراد انتقال یافتند و در سنین مورد نظر از آن خارج و آزمایش تعیین مقاومت فشاری بر روی آن‌ها انجام شد.

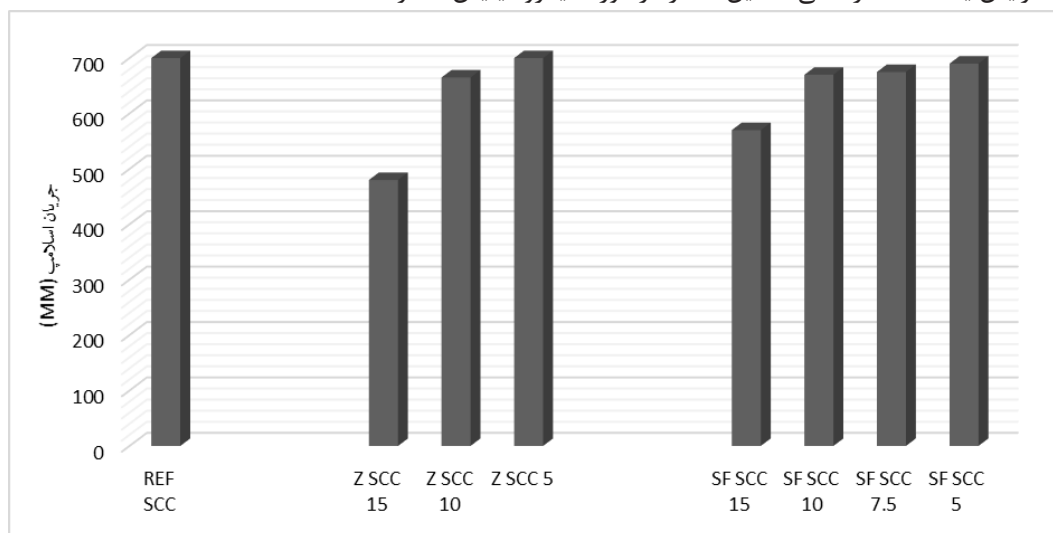
۴. بحث در مورد نتایج

تأثیر بر خاصیت پرکنندگی:

نتایج آزمایش جریان اسلامپ برای بتن‌های پایه‌زئولیتی و میکروسیلیسی در شکل (۱) آورده شده‌است. با توجه به شکل مشخص است که تغییر در مقدار زئولیت تأثیر بیشتری نسبت به میکروسیلیس بر جریان اسلامپ بتن دارد. به عنوان مثال با افزایش مقدار زئولیت از ۱۰٪ به ۱۵٪ شاهد افت اسلامپ به مقدار ۲۸٪ در بتن زئولیتی می‌باشیم در حالی که این عدد برای میکروسیلیس ۱۵٪ است. لذا ضروریست به هنگام استفاده از زئولیت در بتن از مقدار فوق روان‌کننده بیشتری نسبت به بتن‌های میکروسیلیس دار جهت دستیابی به اسلامپ مورد نظر استفاده کنیم.

تأثیر بر قابلیت عبور:

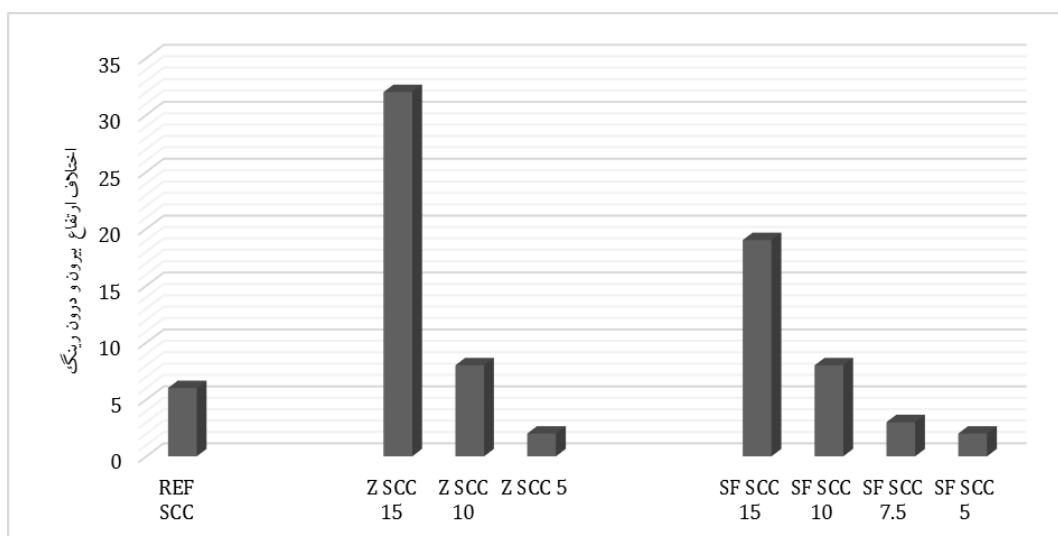
نتایج آزمایش حلقه ی جی بتن‌های پایه‌زئولیتی و میکروسیلیسی در شکل (۲) آورده شده‌است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در بتن‌های ۱۰٪ زئولیت و ۱۰٪ میکروسیلیس قابلیت عبور از رینگ تقریباً برابر با بتن پایه است و از این رو این مواد اثر قابل-توجهی بر قابلیت عبور بتن ندارند. اما نکته قابل ذکر این است که با افزایش مقدار زئولیت به ۱۵٪ میزان انسداد به طور قابل-ملاحظه‌ای افزایش یافته‌است در حالی که این مقدار در مورد میکروسیلیس کمتر است.



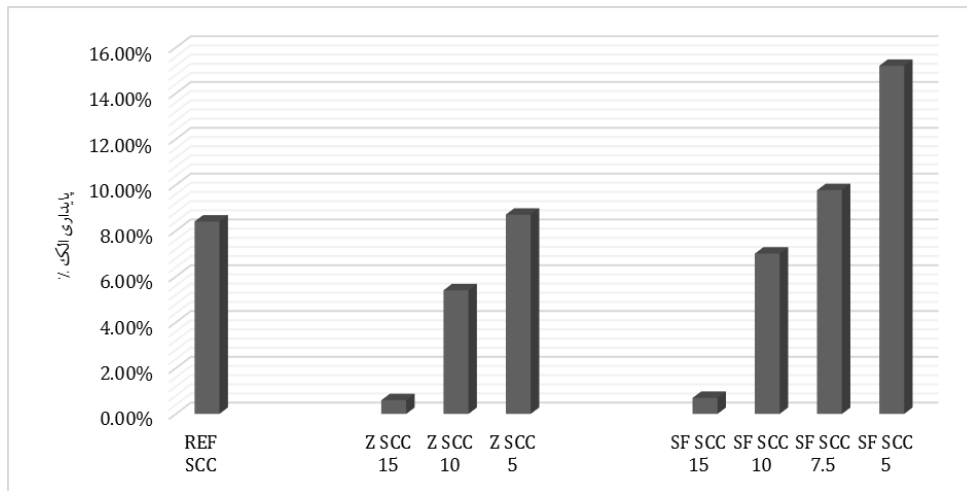
شکل ۱- نتایج جریان اسلامپ برای بتن‌های پایه (با مصرف ۰,۷۳ درصد فوق روان‌کننده)، زئولیتی (با مصرف ۱,۱۷ درصد فوق روان‌کننده) و میکروسیلیسی (با مصرف ۱,۰۷ درصد فوق روان‌کننده)

تأثیر بر پایداری :

نتایج آزمایش پایداری الک بتن‌های پایه زئولیتی و میکروسیلیسی در شکل (۳) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که زئولیت در افزایش مقاومت جاشدگی در بتن تأثیر مثبت دارد. این تأثیر مثبت بر افزایش مقدار زئولیت افزایش یافته است. با توجه به شکل با مقایسه بتن پایه با بتن زئولیتی ۱۰٪ و میکروسیلیسی ۱۰٪ مشخص است زئولیت و میکروسیلیس هر دو مقاومت جاشدگی را افزایش می‌دهند اما مقدار اثرگذاری زئولیت از میکروسیلیس نیز بیشتر است و زئولیت عملکرد بهتری نسبت به میکرو سیلیس نشان می‌دهد. با مقایسه نتایج طرح‌های حاوی میکروسیلیس و زئولیت مشخص می‌شود شدت تغییرات در مقاومت جاشدگی نسبت به افزایش یا کاهش مقدار زئولیت کمتر از شدت تغییرات ناشی از افزایش یا کاهش میکروسیلیس است. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت؛ زئولیت توانایی بیشتری نسبت به میکروسیلیس در حفظ مقاومت بتن در مقابل جاشدگی دارد. زئولیت همچنین مقاومت مناسبی در مقابل افزایش درصد فوق‌روان‌کننده از خود نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۴) دیده می‌شود، با افزایش فوق‌روان‌کننده به مقدار ۰,۴۴ به مقدار اولیه هر طرح بتن‌های پایه و میکرو سیلیسی دچار جاشدگی شده‌اند ولی بتن زئولیتی پایداری خود را حفظ کرده است. با افزایش مقدار فوق‌روان‌کننده به مقدار ۰,۷۳ به مقدار اولیه در حالی بتن زئولیتی علائم جاشدگی از خود نشان می‌داد که بتن پایه دچار جاشدگی شدید شده بود.



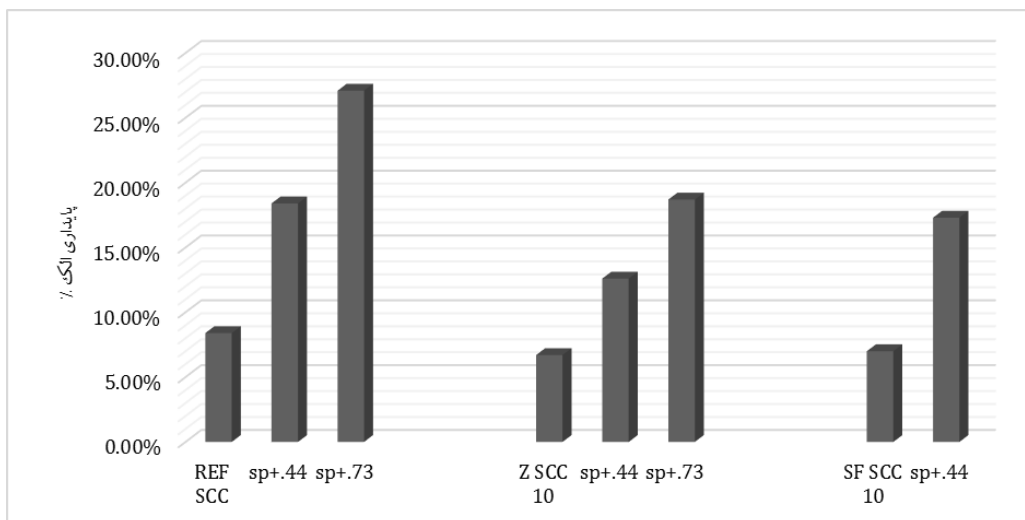
شکل ۲- نتایج آزمایش حلقه جی برای بتن‌های پایه (با مصرف ۰,۷۳ درصد فوق‌روان‌کننده)، زئولیتی (با مصرف ۱,۱۷ درصد فوق‌روان‌کننده) و میکروسیلیسی (با مصرف ۱,۰۷ درصد فوق‌روان‌کننده)



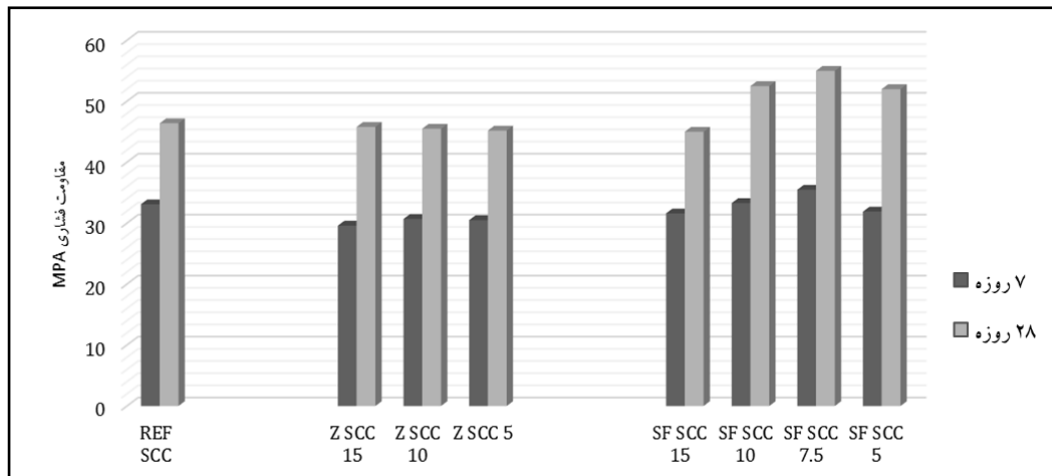
شکل ۳- نتایج پایداری الک برای بتن‌های پایه (با مصرف ۰,۷۳ درصد فوق روان کننده)، ژئولیتی (با مصرف ۱,۱۷ درصد فوق روان کننده) و میکروسیلیسی (با مصرف ۱,۰۷ درصد فوق روان کننده)

مقاومت فشاری:

نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن‌های پایه ژئولیتی و میکروسیلیسی در شکل (۵) آورده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود ژئولیت در سن ۷ روزه مقاومت نسبتاً کمتری از بتن شاهد نشان می‌دهد اما در سن ۲۸ روز مقاومت آن تقریباً برابر با بتن شاهد است. همچنین تغییر در مقدار جایگزینی ژئولیت تاثیر قابل توجهی بر مقاومت فشاری بتن‌های ژئولیتی نگذاشته است و هر سه مخلوط دارای مقاومت یکسانی هستند.



شکل ۴- نتایج پایداری الک برای بتن‌های (با مصرف ۰,۷۳ درصد فوق روان کننده)، ژئولیتی (با مصرف ۱,۱۷ درصد فوق روان کننده) و میکروسیلیسی (با مصرف ۱,۰۷ درصد فوق روان کننده)



شکل ۵- نتایج مقاومت فشاری برای بتن‌های پایه (با مصرف ۰٫۷۳ درصد فوق روان‌کننده)، ژئولیتی (با مصرف ۱٫۱۷ درصد فوق روان‌کننده) و میکروسیلیسی (با مصرف ۱٫۰۷ درصد فوق روان‌کننده)

۵. نتیجه‌گیری

با وجود اینکه ژئولیت واکنش‌زایی کمتری نسبت به میکروسیلیس با آب از خود نشان می‌دهد اما درصد آب اضافه در مخلوط‌های ژئولیتی کمتر از مخلوط‌های میکروسیلیسی بوده و کمترین میزان آب‌انداختگی در مخلوط‌های ژئولیتی مشاهده شد.

با افزایش درصد جایگزینی سیمان با ژئولیت لازم است مقدار بیشتری فوق روان‌کننده به منظور دست‌یابی به یک قطر اسلامپ هدف استفاده شود، علاوه بر آن افزایش درصد ژئولیت چسبناکی بتن را نیز افزایش می‌دهد. با توجه به نتایج آزمایش پایداری الک ژئولیت بهترین عملکرد را در افزایش مقاومت جاداشدگی مخلوط‌ها داشته‌است. با مقایسه مخلوط‌های طرح‌های پایه (REF SCC و Z SCC5 و SF SCC5) مختلف، با وجود اینکه هر مخلوط قطر اسلامپ برابر داشتند اما مخلوط ژئولیتی مقاومت بالاتری در مقابل جاداشدگی از خود نشان داده‌است. با افزایش مقدار فوق روان‌کننده طرح‌های پایه مشاهده شد که ژئولیت عملکرد بهتری را در حفظ همگنی بتن نسبت به سایر طرح‌ها نشان داد و لذا برای شرایط کارگاهی که احتمال خطا در ساخت بتن زیاد است می‌تواند راهکار مناسبی باشد، علاوه بر آن ژئولیت به دلیل افزایش چسبناکی و مقاومت در مقابل جاداشدگی بتن برای ساخت بتن‌هایی که نیاز به قابلیت پمپ‌پذیری بالایی دارند نیز توصیه می‌شود.

ژئولیت مقاومت فشاری کمتری را نسبت به بتن پایه در سن هفت روز از خود نشان می‌دهد اما در سن ۲۸ روز تقریباً مقاومت برابر با بتن پایه را کسب کرد. با گذشت زمان روند کسب مقاومت بهبود یافت و در سن ۹۰ روز بتن‌های ژئولیتی مقاومت فشاری بیشتری از بتن پایه را نشان دادند. دلیل این رفتار می‌تواند افزایش جذب موجود در بتن تازه توسط ژئولیت باشد.

۶. تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از آزمایشگاه تکنولوژی بتن پیشرفته دانشگاه علم و صنعت ایران که در مراحل اجرای این تحقیق همکاری کرده‌اند و امکانات آزمایشگاهی را فراهم آورده‌اند، کمال تشکر را دارد.

1. Liguori, B., et al., *Evaluation of zeolite-bearing tuffs as pozzolanic addition for blended cements. Special Publication*, 2004. 221: p. 319-334.
2. Poon, C., et al., *A study on the hydration rate of natural zeolite blended cement pastes. Construction and Building Materials*, 1999. 13(8): p. 427-432.
3. Perraki, T., G. Kakali, and F. Kontoleon, *The effect of natural zeolites on the early hydration of Portland cement. Microporous and Mesoporous Materials*, 2003. 61(1): p. 205-212.
4. Feng, N.-Q., G.-Z. Li and X.-W. Zang, *High-strength and flowing concrete with a zeolitic mineral admixture. Cement, Concrete and Aggregates*, 1990. 12(2): p. 61-69.
5. Feng, N., et al., *Effect of ultrafine mineral powder on the charge passed of the concrete. Cement and concrete research*, 2002. 32(4): p. 623-627.
6. Canpolat, F., et al., *Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production. Cement and Concrete Research*, 2004. 34(5): p. 731-735.
7. Chan, S.Y. and X. Ji, *Comparative study of the initial surface absorption and chloride diffusion of high performance zeolite, silica fume and PFA concretes. Cement and Concrete Composites*, 1999. 21(4): p. 293-300.
8. Uzal, B., L. Turanli, and P. Kumar Mehta, *High-volume natural pozzolan concrete for structural applications. ACI Materials Journal*, 2007. 104(5): p. 535-538.
9. Naiqian, F. and H. Tingyu, *Mechanism of natural zeolite powder in preventing alkali—silica reaction in concrete. Advances in cement research*, 1998. 10(3): p. 101-108.
10. Naiqian, F., J. Hongwei, and C. Enyi, *Study on the suppression effect of natural zeolite on expansion of concrete due to alkali-aggregate reaction. Magazine of Concrete Research*, 1998. 50(1): p. 17-24.
11. Naiqian, F., M. Changchen, and J. Xihuang, *Natural zeolite for preventing expansion due to alkali-aggregate reaction. Cement, Concrete and Aggregates*, 1992. 14.(۲)
12. Sersale, R. and G. Prigione, *Portland-zeolite-cement for minimizing alkali-aggregate expansion. Cement and Concrete Research*, 1987. 17(3): p. ۴۰۴-۴۱۰.
13. Quanlin, N. and F. Naiqian, *Effect of modified zeolite on the expansion of alkaline silica reaction. Cement and concrete research*, 2005. 35(9): p. 1784-1788.
14. Domone, P., *Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies. Cement and Concrete Composites*, 2006. 28(2): p. 197-208.

Effect of Zeolite on workability of self-compacting concrete

Mostafa Khanzadi

Associate Professor, Faculty Member, IUST

***Mohammad Reza Nabizadeh Shahrabak**

Ph.D. student, Construction engineering and management, IUST

Nabizade@civileng.iust.ac.ir

Seyyed Reza Bagheri

MSc. Graduate student, Construction engineering and management, IUST

Valiollah Ghalehnovi

Ph.D. student, Geotechnical engineering, IUST

Abstract

Nowadays, the use of waste materials and natural pozzolans in order to reduce costs as well as reduce or eliminate environmental problems has become one of the topics of interest to the majority of researchers. In addition to improvement of concrete properties and characteristics, usage of these waste materials also play a great role in sustainable development.

In this study, the possibility of using zeolite as a natural pozzolan in SCC was evaluated. For this purpose, the effect of substitution of zeolites with different percentages on the properties of fresh concrete and hardened concrete compressive resistance was evaluated. The results showed that zeolite can improve the performance of SCC in the fresh state, increases the viscosity and stability of concrete and reduces segregation. While the zeolite reduces the strength of concrete at early ages, but in the ages of 28 and 90 days resistance against the base concrete gets even more.

Keywords: Pozzolanic SCC, Zeolite, Workability of self-compacting concrete, Sustainable development