دهمین کنفرانس ملی بتن
۱۵ و ۱۶ مهر ماه ۱۳۹۷
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بررسی آزمایشگاهی رویه بتنی با رویکرد توسعه پایدار

بابک احمدی[۱*]، علی ذوالقدری[۲] ، زینب دریس[۳]، سینا علیزاده[۴]

۱- مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی، بخش فناوری بتن

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه زنجان، مدیر کنترل کیفیت شرکت فهاب بتن

۳- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران شبکه‌های آب و فاضلاب دانشگاه محیط‌زیست

۴- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

*bamadi@aut.ac.ir

چکیده

بتن به عنوان پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی قرن اخیر شناخته شده‌است که مشخصات مکانیکی و دوامی آن بسیار دارای اهمیت است. روسازی بتنی یکی از انواع روسازی‌های صلب است که به دلیل افزایش سرعت ساخت و ساز و کاهش هزینه‌ها و عمر بالاتر نسبت به روسازی انعطاف‌پذیر، به عنوان یک گزینه‌ی مناسب مطرح می‌باشد. این نوع بتن به دلیل حجم خمیر کمتر و ریزدانه‌ی بیشتر دارای اسلامپ پایین (۵-۰ سانتی‌متر) می‌باشد که در اثر فشار حاصل از تراکم، فاصله‌ی سنگدانه‌ها در مخلوط کاهش می‌یابد و چگالی خشک روسازی افزایش می‌یابد.

در جهت توسعه پایدار و حفظ منابع تجدید ناپذیر محیط‌زیست از مواد جایگزین سیمان که شامل پوزولان‌های سرباره، زئولیت، ولاستونیت و پومیس می‌باشد به صورت ترکیبی و جایگزینی در مقادیر بالا استفاده شد؛ به این منظور در این پژوهش هفت طرح بتن هوادار با نسبت آب به سیمان ۰/۳ و دو طرح دیگر نیز جهت بررسی بیشتر طرح بهینه با دو نسبت آب به سیمان ۰/۲۸ و ۰/۳۴ زده‌شد که از پوزولان‌های مختلف برای دستیابی به مقاومت مکانیکی و الکتریکی مطلوب و از حباب‌ساز برای ایجاد هوای بین ۴ تا ۷ درصد استفاده‌شد. نتایج بدست آمده از بتن سخت شده نشان‌دهنده‌ی افزایش قابل توجه مقاومت الکتریکی ترکیبات حاوی زئولیت- سرباره و همچنین افزایش مقاومت خمشی بتن‌های حاوی ترکیب ولاستونیت- سرباره بودند.

کلمات کلیدی: روسازی بتنی، خواص مکانیکی، مقاومت الکتریکی، پوزولان‌های طبیعی، سرباره

۱. مقدمه

روسازی‌های سازگار با محیط‌زیست آن‌هایی هستند که در همه‌ی ابعاد از جمله طراحی، ساخت و نگهداری آن‌ها مسائل زیست محیطی در نظرگرفته می‌شود. مشکلات زیست محیطی تولید سیمان پرتلند به عنوان یکی از مولفه‌های بتن به تنهایی موجب ایجاد ۷٪ از کل گاز دی اکسید کربن هوا می‌شود. بنابراین کاهش تولید سیمان به عنوان راهی جایگزین در کاهش آلودگی محیط‌زیست مد نظر است. علاوه بر این، در سال‌های اخیر افزایش طول عمر بتن در راستای افزایش مشخصات مکانیکی و دوام، موضوع مورد توجه بوده‌است. استفاده از پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی و مواد شبه‌سیمانی به عنوان جایگزین سیمان‌پرتلند برای رسیدن به اهداف فوق الذکر، جزء کارهای اساسی است. به عنوان مثال بخش عظیمی از تولید سیمان در اروپا، سیمان‌های آمیخته می‌باشد. رویه‌های بتنی به عنوان یکی از پتانسیل‌های جایگزینی رویه‌های آسفالتی در کشور مطرح است. استفاده از رویه‌های بتنی در کشورهای دیگر بسیار متداول بوده و دهه‌های زیادی از بکارگیری آن‌ها در کشورهای توسعه یافته سپری می‌شود، اما در کشور ما با وجود مصالح کافی، به دلیل ارزان بودن قیمت قیر در سال‌های قبل، معرفی نشدن گزینه‌های مناسب جایگزین و در مواردی نبود دانش فنی- اجرایی و تجهیزات مورد نیاز، اجرا و ساخت این نوع رویه‌ها متداول نشده‌است. در سال‌های اخیر با توجه به مازاد بودن سیمان تولیدی داخل کشور لزوم توجه بیشتر به روسازی‌های بتنی در کشور بیشتر از قبل احساس می‌شود. دوام و طول عمر مصالح سیمانی نقش مهمی در عملکرد آن‌ها به عنوان مصالح در روسازی‌های بتنی داشته‌است. رویه بتنی دارای درصد

بیشتری سنگدانه بوده که این موضوع روی خواص مقاومت، جمع شدگی، طاقت، تراکم پذیری و سهولت در اجرا، بسیار تأثیرگذار می‌باشد. همواره بهبود دوام و طولانی کردن عمر رویه‌های بتنی به عنوان یک مساله فنی و مهم مطرح بوده‌است.

۱. ۲. ملاحظات زیست محیطی روسازی‌های بتنی

همانطور که بیان شد، علاوه بر اهداف اقتصادی و فنی، اثرات زیست محیطی و ملزومات توسعه‌ی پایدار، به طور فزاینده در طراحی روسازی‌ها و پروژه‌های زیر ساختاری دیگر در نظرگرفته می شود. مواد تشکیل دهنده‌ی بتن نیاز به فرآوری کمی دارند و اکثر آن‌ها در محل به دست آمده و ساخته‌می‌شوند؛ بنابراین انرژی حمل و نقل را به حداقل می‌رسانند. در ادامه به بررسی ویژگی‌های مثبت زیست محیطی روسازی‌های بتنی پرداخته می‌شود.

۱. ۲. ۱. طول عمر زیاد

روسازی‌های بتنی در بزرگراه‌های متعددی در آمریکای شمالی بیش از ۵۰ سال قدمت دارند[۱]. عمر طولانی روسازی‌های بتنی به منطقه و نوع خاصی از محیط‌زیست و آب و هوا محدود نمی باشد.

۱. ۲. ۲. کاهش مصرف سوخت خودرو و انتشار گاز

برخلاف آسفالت که ویسکوالاستیک است و به همین دلیل به دما و بارگذاری حساس است، سطح صلب روسازی‌های بتنی در زیر بارگذاری وسایل‌نقلیه سنگین، تغییر شکل نمی‌دهد و در نتیجه دارای انحنای کمتری است. مصرف سوخت تا حدودی تابعی از درجه انحنای روسازی ناشی از اعمال بار از طرف چرخ‌های وسایل‌نقلیه سنگین است. هرگونه انحنا، مقداری از انرژی پیشراندن وسیله‌ی نقلیه را جذب می‌کند. به این ترتیب انرژی و سوخت بیشتری برای حرکت وسایل نقلیه سنگین بر روی روسازی‌های انعطاف پذیر لازم می باشد[۲]. از نقطه نظر انتشار گازهای مضر نیز می‌توان به این نکته اشاره کرد که مقدار تولید CO_2 در ساخت بتن در درجه‌ی اول تابعی از سیمان موجود در مخلوط است. از طرفی آب، شن، ماسه و دیگر مواد تشکیل‌دهنده‌ی بتن، تا حدود ۹۰٪ وزنی آن را شامل می‌شوند. فرآیند استخراج معدن شن و ماسه، خرد کردن سنگ، ترکیب مصالح بتن و حمل و نقل به کارگاه ساخت بتن، نیاز به انرژی بسیار کمی دارد. در نتیجه‌ی کلیه‌ی عوامل مذکور، مقدار گازهای آلاینده‌ی کمی در راستای تولید و استفاده از بتن وارد محیط‌زیست می‌شود[۲].

۱. ۲. ۳. توسعه پایدار و حذف آلاینده‌ها

سوخت فسیلی در سطوح جهانی یکی از مهمترین مسائل دنیا می‌باشد. انتشار کربن‌دی‌اکسید ناشی از صنایع، دلیل اصلی گرمایش‌جهانی می‌باشد. صنعت سیمان از اصلی‌ترین منتشرکننده‌های کربن دی اکسید می‌باشد. بنابراین جهت کاهش سیمان اقداماتی باید صورت‌گیرد. در سال‌های اخیر سیمان با پوزولان یا مواد مکمل سیمانی به صورت گسترده در ساخت و سازهای بتنی جایگزینی بخشی از سیمان شده‌است. مواد پوزولانی علاوه بر مزایای محیط‌زیستی، می‌تواند سبب بهبود ریز ساختار خمیر سیمان، بهبود مقاومت و افزایش دوام محصولات سیمانی شود[۳].

۲. برنامه آزمایشگاهی

۲. ۱. مصالح مصرفی

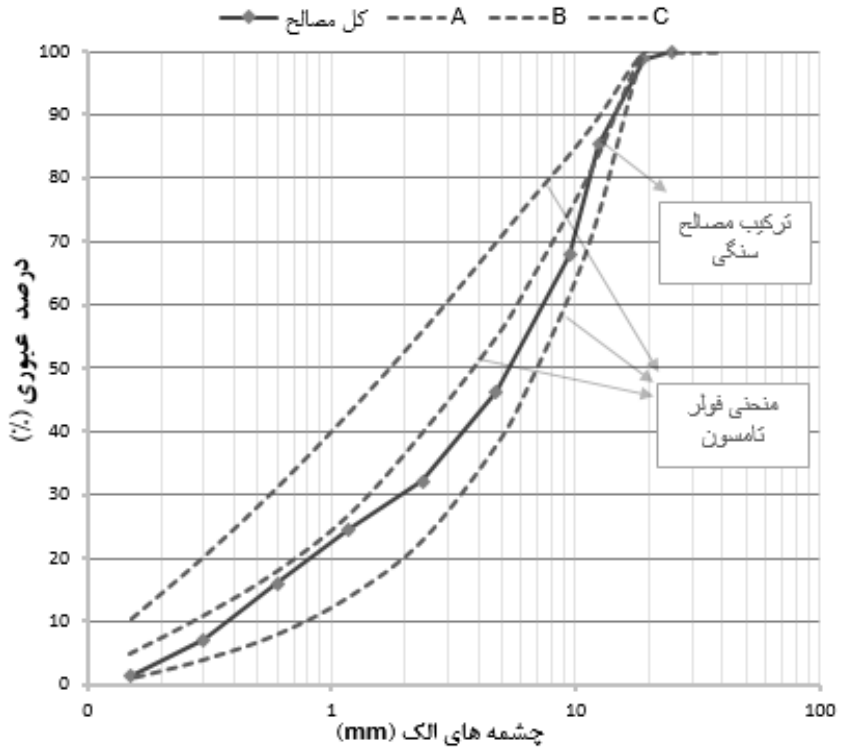
۲. ۱ . ۱. مصالح سنگی

سنگدانه‌ی استفاده‌شده در این مطالعه شامل ماسه گرد گوشه پرفیلر، شن شکسته با حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر و شن نخودی با حداکثر اندازه ۱۲/۵ میلی‌متر می‌باشد. مشخصات مصالح ذکر شده در جدول شماره ۱ قابل مشاهده است. نسبت ترکیب شن و ماسه پس از ساخت مخلوط‌های آزمایشی در مقدار

بهینه‌ی ۵۰ درصد سهم ماسه، ۲۷ درصد سهم شن بادامی و ۲۳ درصد سهم شن نخودی در نظرگرفته شده‌است. منحنی دانه بندی مخلوط مصرفی مطابق آیین‌نامه ملی طرح مخلوط در شکل شماره ۱ نشان داده شده‌است.

جدول ۱- مشخصات مصالح سنگی (استاندارد ملی ایران به شماره ۴۴۶ و ۴۹۸۲ و ۴۹۸۰)

نوع مصالح سنگی	چگالی SSD (kg/m^3)	جذب آب (٪)	مدول نرمی (٪)	ذرات کوچکتر از ۷۵ میکرون (٪)
ماسه	۲۵۳۰	۲/۷	۳/۳	۱/۶
شن نخودی	۲۵۵۰	۲/۶	-	۰/۴
شن بادامی	۲۵۶۰	۲/۳	-	۰/۵



شکل ۱- منحنی دانه بندی ترکیبی شن و ماسه- آئین نامه ملی طرح مخلوط بتن

۲. ۱. ۲. سیمان

سیمان از عوامل اصلی تعیین کننده کیفیت و خواص بتن می‌باشد. سیمان مصرفی سیمان پرتلند دلیجان از نوع ۴۲۵-۱ می‌باشد. نتایج آزمایش‌های مختلف از جمله مقاومت فشاری ملات سیمان در سنین مختلف و دیگر مشخصات درجدول شماره ۲ و ۳ ارائه شده‌است.

جدول ۲- مقاومت فشاری و خمشی ملات سیمان (استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۳)

سن آزمایش (روز)	مقاومت فشاری (kg/cm^2)	مقاومت خمشی (kg/cm^2)
۳	۲۱۷	۴۳
۷	۳۷۵/۵	۶۹
۲۸	۴۷۰	۷۵

جدول ۳- غلظت نرمال، زمان گیرش و نرمی سیمان (استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۲، ۳۹۰ و ۱۱۸۹۵)

غلظت نرمال (٪)	زمان گیرش اولیه (min)	زمان گیرش نهایی (min)	نرمی سیمان (cm^2/gr)	چگالی (gr/cm^3)
۲۳/۸	۱۵۵	۲۱۰	۳۳۸۵	۳/۱۷

۲. ۱. ۳. مواد جایگزین سیمان

۲. ۱. ۳. ۱. زئولیت

زئولیت طبیعی یک کریستال سیلیکاتی آلومیناتی با حفره‌ها و شبکه‌های یکنواخت است. این نوع سنگ طبیعی دارای خصوصیات خاصی مانند تغییریون، سطح مخصوص بسیار زیاد و فعالیت کاتالیزوری است که موجب استفاده ی زیاد این ماده در صنعت، از جمله بتن و سیمان شده‌است[۴]. زئولیت از گذشته‌های دور در ساخت و ساز مورد استفاده قرارگرفته‌است. هر چند که استفاده‌ی عمده از آن به عنوان پوزولان طبیعی در سیمان‌ها از اوایل قرن‌بیستم شروع شده، اما در دهه‌های اخیر رشد چشمگیری داشته‌است. اخیراً مهمترین استفاده زئولیت در صنعت سیمان و بتن در چین گزارش شده‌است. کشور چین بیشترین مصرف زئولیت در جهان را دارد. توف زئولیت به عنوان ماده پوزولانی سیمان درکشورهای روسیه، آلمان، اسلوونی، کوبا، صربستان و اسپانیا استفاده شده‌است[۵ و ۶]. استفاده از زئولیت به عنوان ماده پوزولانی در ایران نیز افزایش یافته‌است. سنگ زئولیت از معدن افتر سمنان ایران استخراج، و پس از آسیاب به صورت پودر، مورد استفاده قرارگرفته‌است. آنالیز شیمیایی این ماده در جدول شماره ۴ نمایش داده شده‌است. مزیت اصلی زئولیت درمقایسه با دیگر پرکننده‌ها قیمت پایین و دردسترس بودن آن می‌باشد[۷ و ۸].

جدول ۴- مشخصات پوزولان طبیعی زئولیت (استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۹۲)

مشخصه	چگالی (kg/m^3)	SiO_2%	Al_2O_3%	Na_2O%	CaO%	K_2O%	MgO%	Fe_2O_3%	SO_3%
زئولیت	۲۱۹۰	۷۸/۶۹	۴۵/۱۲	۹۳/۱	۶۱/۳	۶۳/۰	۱۵/۱	۰/۶۳	۰/۱۴

۲. ۱. ۳. ۲. سرباره

سرباره ذوب آهن نیز یکی از محصولات جانبی کارخانه ذوب آهن است، که در صورت اضافه شدن آب به آن واکنشی صورت نمی‌گیرد. این ماده‌ی شبه‌سیمانی بر خلاف سایر پوزولان‌ها که با هیدروکسیدکلسیم حاصل از آبگیری سیمان واکنش نشان می‌دهند، تنها از هیدروکسیدکلسیم به عنوان کاتالیزور استفاده کرده و در حضور آب واکنشی شبه‌سیمانی دارد. ۹۵ درصد وزن سرباره ذوب آهن از اکسیدهای سیلیس، آلومینیوم، کلسیم و منیزیم تشکیل شده و مابقی شامل گوگرد، اکسیدهای آهن و منگنز است. پژوهش انجام‌گرفته توسط ژائو و لو نشان می‌دهد که هر مقدار نرمی سرباره بیشتر باشد واکنش پوزولانی آن در سنین اولیه افزایش می‌یابد. سرباره باعث بهبود ناحیه انتقال می‌گردد. جایگزینی ۲۰ درصد این ماده به جای سیمان باعث قویتر شدن پیوند ناحیه انتقال و همچنین بهبود ماتریس سیمان می‌گردد[۹]. با توجه به نرمی و کیفیت بالای سرباره ذوب آهن اصفهان، در این پژوهش مورد استفاده قرارگرفته‌است.

جدول ۵- مشخصات سرباره ذوب آهن (استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۹۲)

مشخصه	چگالی (kg/m^3)	SiO_2%	Al_2O_3%	Na_2O%	CaO%	K_2O%	MgO%	Fe_2O_3%	SO_3%
سرباره	۲۹۱۰	۳۶/۳۹	۱۰/۴	۰/۷۵	۳۷/۸۱	۰/۷۵	۹/۰۶	۱/۰۴	۲/۰۲

۲. ۱. ۳. ۳. ولاستونیت

ولاستونیت یک ماده معدنی با مدول الاستیسیه بالا و ارزان قیمت بر پایه‌ی کلسیم ایزوسیلیکات است که ممکن است شامل مقادیری آهن و منیزیم نیز باشد. SiO_2 و CaO اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی ولاستونیت هستند. در ولاستونیت $CaSiO_3$ خالص، هر مولفه تقریبا ۵۰ درصد وزن ولاستونیت را در صنعت پلاستیک و سرامیک به علت سفیدی و اجزای سوزنی شکل آن استفاده‌می‌شود. استفاده از ولاستونیت در مخلوط‌های بتنی به عنوان جایگزین قسمتی از سیمان، ماسه یا هردو توسط CRII گزارش شده‌است[۱۰].

در تحقیقی که توسط راکینگ و کومار انجام شده، مشاهده شده‌است که ترکیب ولاستونیت در بتن با جایگزینی بخشی از آن به جای سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری و مقاومت خمشی می‌شود و با جایگزینی بخشی از ولاستونیت به جای ماسه با عیار ثابت سیمان، مقاومت فشاری و خمشی افزایش می‌یابد. همچنین در این تحقیق ترکیب ولاستونیت و خاکستر بادی با جایگزینی بخشی از سیمان و بخشی از ماسه به ترتیب مقاومت فشاری ٪۳۵-۲۸ و مقاومت خمشی ٪۴۲-۳۶ افزایش یافتند[۱۱]. وجود منابع در دسترس ولاستونیت در کشورمان و مزیت‌های استفاده از این ماده و سازگاری آن با محیط زیست، ترویج استفاده از این ماده در صنعت ساختمان را به عنوان راهکاری مناسب در راستای توسعه‌ی پایدار و حفظ محیط‌زیست نمایان می‌سازد.

جدول ۶- مشخصات ولاستونیت (استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۹۲)

مشخصه	چگالی (kg/m^3)	SiO_2 %	CaO%	LOI
ولاستونیت	۲۹۰۰	۵۱/۷۲	۴۸/۲۸	۰/۰۱

۲. ۱. ۳. ۴. پومیس

پومیس سنگ سفید مایل به خاکستری روشن است اما گاهی مواقع به رنگ‌های صورتی و زرد کمرنگ یا قهوه‌ای نیز دیده‌می‌شود. این سنگ در اثر انباشته‌شدن خاکسترهای آتشفشانی و آهسته سرد شدن آن‌ها همراه با انبساط ناشی از حباب‌های به وجود آمده توسط گازهای موجود در آن به وجود می‌آید[۱۲و ۱۳]. از پومیس عموما در تهیه بتن‌های سبک و سیمان مخصوص که به صورت مخلوطی از آهک و خاکستر آتشفشانی است و همچنین در تهیه سیمان پرتلند ، افزودنی بتن و سنگدانه، ساخت بلوک‌های ساختمانی، مصارف کشاورزی و باغداری، به عنوان ماده ساینده و رطوبت گیر، فیلتر و سنگ‌شست‌وشو استفاده‌می‌شود. این سنگدانه در کشور ایسلند با نام هلکا تولید می‌شود. ذخایر پومیس شناخته‌شده در ایران در ۳ منطقه اصلی دماوند، تفتان و سهند قرار دارند. پومیس تفتان در سد زیردان واقع در منطقه‌ی چابهار مورد استفاده قرارگرفته و در سال ۱۳۸۲ محصول برتر توسعه‌ای انتخاب شده‌است.

استلی و داد با جایگزینی ۵ درصد پومیس به جای سیمان، افزایش مقاومت فشاری تا ۲۹ درصد را مشاهده‌کردند[۱۴]. به دلیل نرمی بالای این پوزولان و وجود سیلیس فعال نسبتا بالا، در این تحقیق مورد بررسی قرارگرفته‌است.

جدول ۷- مشخصات ولاستونیت (استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۹۲)

مشخصه	چگالی (kg/m^3)	SiO_2%	Al_2O_3%	Na_2O%	CaO%	K_2O%	MgO%	Fe_2O_3%	SO_3%
پومیس	۲۷۳۰	۶۱/۳	۱۸/۸	۱/۶	۸/۵	۱/۹	۲/۲	۵/۵	۰/۲

۳. طرح مخلوط، تعداد و روش ساخت نمونه‌ها

در این پژوهش ابتدا هفت طرح مخلوط با آب به سیمان ۰/۳ و عیار مواد سیمانی ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب ساخته‌شد. جایگزینی پوزولان‌های سرباره، پومیس، ولاستونیت و زئولیت به جای سیمان در درصدهای مختلف مطابق جدول ۸ انجام‌گرفته‌است. دو طرح S32Z8-0.28 و S40Z20-0.34 پس از به دست آمدن نتایج بتن تازه و سخت شده برای بررسی بیشتر مقاومت الکتریکی و مکانیکی ساخته‌شد که به ترتیب با دو نسبت آب به سیمان ۰/۲۸ و ۰/۳۴ و جایگزینی سرباره و زئولیت به جای بخشی از سیمان انجام گرفت.

جدول ۸- مشخصات طرح مخلوط‌ها

کد طرح مخلوط	S40-0.3	S32Z8-0.3	S34P16-0.3	S34W16-0.3	*S40W5Z5-0.3	S52Z8-0.3	S32Z8-0.3	**S32Z8-0.28	S40Z20-0.34
کل مواد سیمانی (Kg/m^3)	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰
سیمان (Kg/m^3)	۳۰۰	۳۰۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰
سرباره (Kg/m^3)	۲۰۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۷۰	۲۰۰	۲۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۲۰۰
زئولیت (Kg/m^3)	–	–	–	–	۲۵	۴۰	۴۰	۴۰	۱۰۰
ولاستونیت (Kg/m^3)	–	۴۰	–	۸۰	۲۵	–	–	–	–
پومیس (Kg/m^3)	–	–	۸۰	–	–	–	–	–	–
W/(C+P)	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲۸	۰/۳۴
ماسه (SSD) (Kg/m^3)	۷۶۳	۷۸۳	۷۵۹	۷۵۹	۷۵۹	۸۰۷	۷۷۲	۷۸۶	۷۷۶
شن مخلوط(SSD) (Kg/m^3)	۷۸۷	۸۰۸	۷۸۳	۷۸۴	۷۸۴	۸۱۳	۷۹۷	۷۹۷	۷۷۲
فوق روان کننده (درصدوزنی‌موادسیمانی)	۰/۴	۰/۴	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۵	۰/۵۲	۰/۶۱	۰/۶۲
حباب ساز (درصدوزنی‌موادسیمانی)	۰/۲	۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۳

S= slag, W= wollastonite, Z= zeolite, P= pumice*

** ۳۲ درصدجایگزینی سرباره، ۸ درصد جایگزینی زئولیت و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۲۸: S32Z8-0.28

۴. نتایج

۴. ۱. آزمایش‌های انجام شده روی بتن تازه

۴. ۱. ۱. اسلامپ

اسلامپ بتن تازه مطابق با استاندارد ISIRI 3203-2 گرفته‌شد. اسلامپ هدف بین ۴۰ تا ۶۰ میلی‌متر در نظرگرفته شد که اسلامپ مورد نظر با استفاده از فوق روان کننده و حباب ساز حاصل شد و نتایج آن در جدول ۱۰ آمده‌است. باتوجه به ترکیب دانه بندی اتخاذ شده، بتن همگن بوده و هیچکدام از اسلامپ‌ها برشی نبودند.

۴. ۱. ۲. دما

دمای بتن تازه تمامی طرح مخلوط‌ها مطابق استاندارد ISIRI 11268 اندازه‌گیری شد و در جدول ۱۰ نشان داده شده‌است. حداکثر دمای مجاز بتن مطابق استاندارد ، ۳۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای تمامی طرح مخلوط‌ها در محدوده مجاز بوده‌است. عملکرد افزودنی‌های فوق روان کننده و حباب ساز با افزایش دما کاهش محسوسی‌یافت بطوری‌که برای دستیابی به اسلامپ یکسان در طرح‌ها با افزایش ۶ درجه‌ای دما و خارج شدن دمای بتن از محدوده استاندارد دوز مواد افزودنی ۵۰ درصد افزایش یافت.

۴. ۱. ۳. هوای بتن

درصد هوای بتن مطابق استاندارد ASTM C 231 با دستگاه تیپ B (شکل ۲) اندازه‌گیری شد و نتایج در جدول ۱۰ نشان داده شده‌است. محدوده هوای در نظرگرفته‌شده برای طرح‌ها ۷-۴ درصد بوده‌است. افزایش هوای بتن باعث خمیری‌تر شدن بتن و افزایش کارایی شد؛ کاهش هوای بتن با توجه به اسلامپ پایین طرح‌ها باعث خشن شدن بتن و عدم سهولت در نمونه گیری گشت.

شکل ۲- دستگاه اندازه‌گیری هوای بتن (تیپ B)

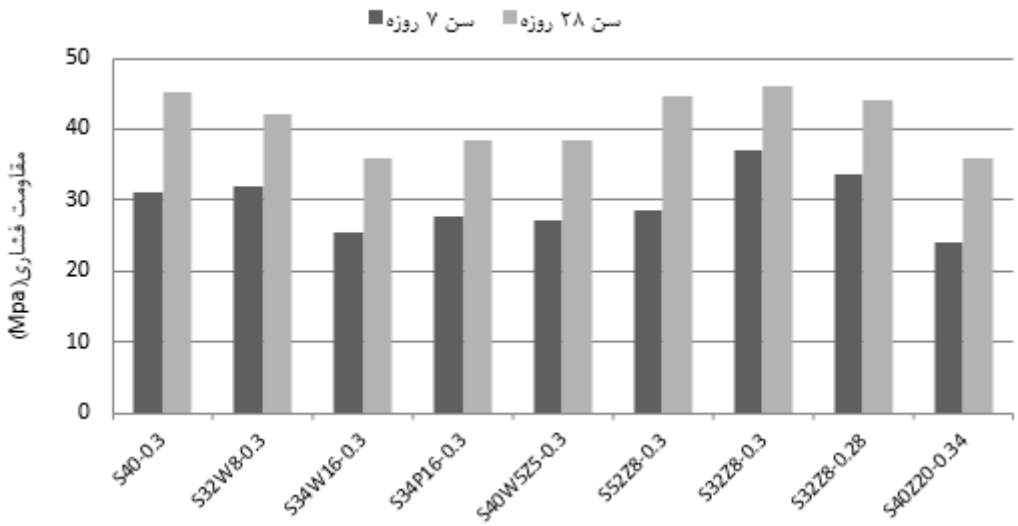
جدول ۹- نتایج آزمایش‌های بتن تازه

کد طرح مخلوط	اسلامپ (mm)	دما (°C)	هوای بتن (٪)
S40-0.3	۴۰	۲۸	۸/۷
S32W8-0.3	۴۰	۲۸	۵/۱
S34W16-0.3	۴۰	۲۸	۶/۹
S34P16-0.3	۴۰	۲۷	۷/۸
S40W5Z5-0.3	۵۰	۲۷/۴	۷/۲
S52Z8-0.3	۴۰	۲۹	۳/۵
S32Z8-0.3	۶۰	۲۹/۶	۳/۲
S32Z8-0.28	۵۰	۲۹	۶/۱
S40Z20-0.34	۵۰	۲۷	۵/۱

۴. ۲. آزمایش‌های انجام شده روی بتن سخت شده

۴. ۲. ۱. مقاومت فشاری

برای تعیین مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر مطابق استاندارد ISIRI1608-3 تهیه‌شده‌است. آزمونه‌ها در دو سن ۷ روزه و ۲۸ روزه مطابق استاندارد مورد آزمون قرار گرفتند و نتایج آن‌ها در شکل ۳ نشان داده شده‌است . نتایج حاکی از آن است که مقاومت فشاری صرف نظر از طرح مخلوط با افزایش مقدار هوای بتن کاهش می‌یابد. با توجه به نمودار، مقاومت فشاری طرح S40-0.3 دارای رشد ۴۶ درصدی و طرح S52Z8-0.3 دارای رشد حدود ۵۵ درصدی از سن ۷ روزه به ۲۸ روزه می‌باشند و این امر را می‌توان جایگزینی بالای سرباره به جای سیمان در این دو طرح مخلوط دانست؛ سرباره به دلیل تقویت ناحیه انتقال سنگدانه و خمیره سیمان باعث رشد چشم‌گیر مقاومت فشاری شده‌است که بررسی انجام‌گرفته توسط محققین مختلف نیز این مورد را تایید می‌کند. افزودن زئولیت در طرح‌ها تا ۸ درصد باعث بهبود مقاومت فشاری‌ها شده؛ ولی کاهش مقدار سیمان و افزایش زئولیت باعث کاهش مقاومت فشاری شده‌است.

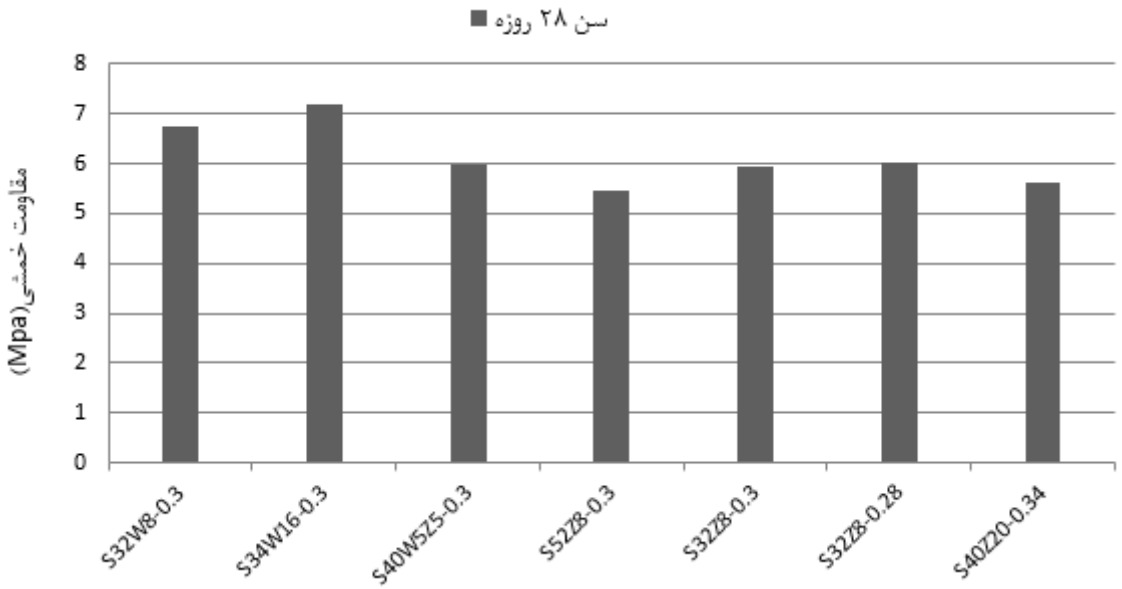


شکل ۳- مقاومت فشاری

۴. ۲. ۲. مقاومت خمشی

برای تعیین مقاومت خمشی آزمونه‌های منشوری به ابعاد ۴۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر در سن ۲۸ روزه طبق استاندارد ASTM C293 بارگذاری وسط دهانه انجام گرفت که در شکل ۴ نشان داده شده‌است و نتایج مقاومت خمشی در سن ۲۸ روزه در شکل، ۵ نشان داده شده‌است. دو طرح S40-0.3 و S34P16-0.3 فاقد آزمونه‌ی خمشی می‌باشند. جایگزینی زئولیت به جای سیمان باعث کمی کاهش در مقاومت خمشی شده‌است. جایگزینی ولاستونیت به جای سیمان در دو طرح S32W8-0.3 و S34W16-0.3 باعث افزایش مقاومت خمشی درمقایسه با پوزولان‌های دیگر شده‌است.

شکل ۴- دستگاه مقاومت خمشی ۴ نقطه‌ای

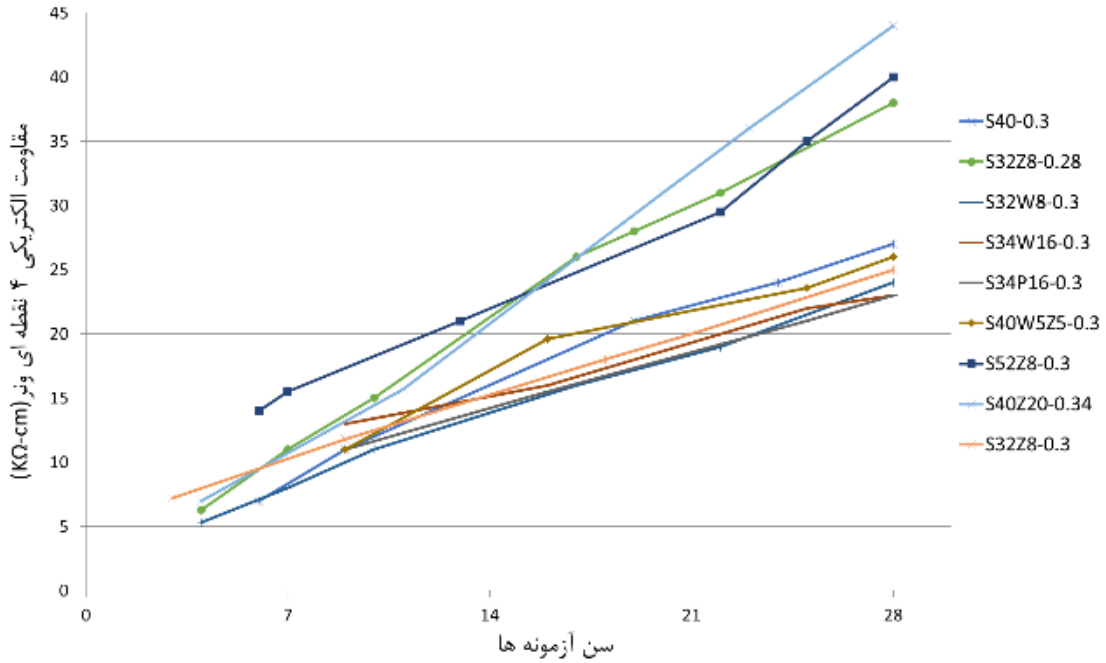


شکل ۵- مقاومت خمشی

۴. ۲. ۳. مقاومت الکتریکی

برای تعیین مقاومت الکتریکی بتن از روش چهار نقطه‌ای ونر استفاده‌شد؛ در شکل ۶ نمودار هریک از طرح مخلوط ها ترسیم شده‌است؛ آزمونه‌های ۱۰×۲۰ سانتی‌متری استوانه‌ای در سنین مختلف مورد آزمون قرارگرفته‌است، نتایج حاصله در شکل ۷ نشان داده‌شده‌است. آزمون مقاومت الکتریکی در این تحقیق به عنوان شاخصه‌ای از دوام مورد بررسی قرار گرفت. در طرح مخلوط‌هایی که حاوی زئولیت حتی با مقادیر پایین هستند نتایج قابل توجهی از افزایش مقاومت الکتریکی بدست‌آمده‌است. پوزولان‌های ولاستونیت و پومیس عملکرد مطلوبی در مقاومت الکتریکی نداشتند. طرح S40Z20-0.34 با جایگزینی ۲۰ درصد زئولیت و ۴۰ درصد سرباره به جای مواد سیمانی بهترین عملکرد را درمقاومت الکتریکی داشت؛ جالب توجه‌است که این طرح، آب به سیمان بالاتری نسبت به دیگر طرح‌ها داشته‌است.

شکل ۶- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای



شکل ۷- نتایج مقاومت الکتریکی

۵. تحلیل و ارزیابی نتایج آزمایش‌ها

۱) افزایش جایگزینی ولاستونیت تا ۱۶ درصد باعث افزایش مقاومت خمشی حدود ۲۰ درصد نسبت به جایگزینی پوزولان‌های دیگر شده‌است. نتایج دو طرح مخلوط S34W16-0. 3 و S34P16-0. 3 نشان دهنده‌ی بالاترین مقاومت خمشی است که ولاستونیت به ترتیب ۸ و ۱۶ درصد جایگزین مواد سیمانی شده‌است.

۲) نتایج نشان دهنده‌ی کاهش یا افزایش مقاومت فشاری حدود ۵ درصدی به ازای هر ۱ درصد کاهش یا افزایش هوای بتن می‌باشد

۳) نتایج برآمده از آزمون خمشی نشان می‌دهد که افزایش یا کاهش درصد هوای بتن تاثیر قابل توجهی بر روی نتایج مقاومت خمشی نداشته‌است؛ نتایج مقاومت خمشی بیشتر تابع مقدار سیمان، نوع پوزولان و نسبت آب به سیمان بوده‌است.

۴) کاهش مقدار سیمان و افزایش جایگزینی پوزولان، باعث افزایش قابل توجه مقاومت الکتریکی و درنتیجه افزایش دوام بتن میگردد.

۵) مقاومت الکتریکی در طرح مخلوطهایی که حاوی پوزوزلان طبیعی زئولیت بودند بالاتر از سایر طرحها بودهاست. بالاترین مقاومت الکتریکی مربوط به طرح S40Z20-0.34 میباشد که جایگزینی ۲۰ درصدی زئولیت به جای سیمان در آن صورت گرفته است. نتایج حاکی از آن است که زئولیت میتواند باعث افزایش قابل توجه دوام گردد.

۶) نتایج نشان میدهد که مقاومت الکتریکی تحت تاثیر نسبت آب به سیمان، نوع پوزولان و مقدار سیمان مصرفی میباشد؛ بیشترین تاثیر را کاهش مقدار سیمان مصرفی دارد.

۷) جایگزینی پوزولان طبیعی زئولیت به مقدار بیش از ۸ درصد باعث افت شدید اسلامپ و افزایش دوز مصرف مواد افزودنی میشود؛ این موضوع را می توان ناشی از ساختار ویژه مولکولی و بالا بودن جذب آب سطحی این ماده توجیه کرد.

۶. قدردانی

از مدیریت عامل شرکت فهاب بتن، مهندس فروتن مهر، بابت حمایت مالی و تجهیزاتی در پژوهش انجامگرفته کمال تشکر را داریم.

۷. مراجع

[1] Wathne, L. , Smith, T. (2005). “Green Highways: North American Concrete Paving's Perpective”. Journal of Infrastructures.

[۲] رمضانیانپور، ع. ا. ، ندوشن، م. ج، پیدایش، م. (۱۳۸۹). "مقایسه فني، اقتصادي و زيست محيطي روسازيهاي بتني و آسفالتي در ايران". مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملي بتن، ایران.

[3] Wongkeo, W. , Thongsanitgarn, P, Chaipanich, A. (2012). “Compressive strength and drying shrinkage of fly ash-bottom ash-silica fume multi-blended cement mortars”. Materials and Design, Vol. 36, pp 655-662.

[4] Tsitsishvili, G. V. (1992). “Natural zeolites”. Ellis Horwood, New York.

[5] Uzal, B. , Turanlı, L. , Yücel, H. , Göncüoğlu, M. C. , Çulfaz, A. (2010). “Pozzolanic activity of clinoptilolite: a comparative study with silica fume, fly ash and a non-zeolitic”. Cement and Concrete Research, Vol. 40(3), pp 398-404.

[6] Najimi, M. , Sobhani, J. , Ahmadi, B. and Shekarchi, M. (2012). “An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan”. Construction and Building Materials, Vol. 35, pp. 1023-1033.

[7] Feng, N. Q. , Peng, G. F. (2012). “Applications of natural zeolite to construction and building materials in China”. Construction and Building Materials, Vol. 19(8), pp 579-584.

[8] Ahmadi, B. and Shekarchi, M. (2010). “Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material”. Cement and Concrete Composites, Vol. 32(2), pp 134-141.

[9] Gao, J. M. , Qian, C. X. , Liu, H. F. , Wang, B. , Li, L. (2005). “ITZ microstructure of concrete containing GGBS”. Cement and Concrete Research, Vol. 35, pp 1299-1304.

[10] Central Road Research Institute. (2004). “Evaluation of wollastonite in concrete”. New Delhi.

[11] Ransinchung, G. D. , Kumar, B. (2010). “Investigations on pastes and mortars of ordinary Portland cement admixed with wollastonite and micro silica”. Journal of Materials in Civil Engineering, pp 300-310.

[۱۲] شکرچي زاده، م. ، فرزانه پور، م. ، علي لیبر، ن. ، ناصري، ع. (۱۳۸۷). "بررسي کاربرد سبکدانه طبیعي اسکریا در بتن سبك سازهاي". نشریه داخلي انجمن بتن ایران، سال ۷، شماره ۳۱ پاییز، صفحات ۱۵-۱۹.

[۱۳] رضایي دوگاهه، م. (۱۳۹۱). "بررسي خواص مهندسي بتن سبك حاوي سبك دانههاي متفاوت". پایان نامه کارشناسي ارشد عمران، پردیس دانشگاهي، دانشگاه گیلان.

[14] Dadul, D. W. , Stanley, A. M. , Gora, K. S. N. , Ehoche, P. E. (2012). "Evaluation of the pozzolanic activity of kajuru pumice tuff as sustainable cementitious materials for cement blending". West Africa Built Environment Research(Waber) Conference, pp 441.

Laboratory investigation of sustainable concrete pavements

Babak Ahmadi[1], Ali Zolghadri[2], Zeinab Deris[3], Sina Alizade[4]

1 -Road, Housing & Urban Development Research Centre, Department Of Concrete Technology
2 -Department Of Civil Engineering, University Of Zanjan, Zanjan, Iran
3 -Department Of Environmental & Civil Engineering, University Of Environment, Karaj, Iran
4 -Department Of Civil Engineering, University Of Science And Technology, Tehran, Iran

bamadi@aut.ac.ir

Abstract

Concrete is known as the most used material in construction in the last century. Mechanical and durability properties of concrete had always been a concern. Pavement concrete is a kind of rigid pavements which can be use as an option; Lower costs, longer life time and acceleration in construction in comparison with flexible pavements is its benefits. Concrete pavement has a low slump (0-5mm); Low paste volume and more fine aggregates is one of its characteristics. Consolidation pressure causes closer distances between aggregates in paste to make a dense graded pavement.

For sustainable development and preserve nonrenewable resources, supplementary cementitious materials such as: Ground granulated blast furnace slag, Zeolite, Pumice and wollastonite were used in high replacement. Seven mixtures were made with 0.3 water to cementitious ratio, two other mixtures were also made for investigate the optimum mechanical and electrical resistivity results; Air entraining agent is used to attain (4-7%) air in concrete mixtures. The results indicate significant increase in electrical resistivity in the mixtures that used zeolite and GGBS simultaneously. Increase in bending strengths were observed using GGBS and wollastonite.

Keywords: Concrete pavement, Mechanical properties, Electrical resistance, Natural pozzolans, GGBS