مقایسه فنی زیست محیطی کاربرد پودرلاستیک به عنوان فیلر در بتن های خودتراکم

محمدجواد باقری[۱]،فرناز امین صالحی[۲]، وحید قلی زاده[۳]،سید محمد سجادی عطار[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست دانشگاه مهرالبرز،کارشناس آزمایشگاه پروژه خط ۲ و ۳ قطار شهری مشهد، هلدینگ راه و شهرسازی موسسه رهاب و شرکت ایمن سازان تدبیر پارس

۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست دانشگاه مهرالبرز

۳- مدرس مدعو دپارتمان عمران، دانشگاه شهید منتظری، دانشگاه فنی و حرفه ای خراسان رضوی و دانشجوی دکترای سازه دانشگاه سمنان

۴- عضو هیئت علمی دپارتمان عمران، دانشگاه شهید منتظری، دانشگاه فنی و حرفه ای خراسان رضوی و مدیر آزمایشگاه پروژه خط ۲ و ۳ قطار شهری مشهد شرکت ایمن سازان تدبیر پارس

Mohammadjavad_b۶۰@yahoo.com

چکیده

یکی از بزرگترین چالش‌های محیط زیستی موجود در اطراف کلان شهرها در جهان بازیافت و حذف زوائد لاستیک‌های مستعمل از چرخه زیست محیطی می‌باشد. افزایش تولید لاستیک و به تبع آن افزایش لاستیک‌های مستعمل و روش دفع آنها یکی از معضلات مهم جهان امروز است. بنابراین صنعت بازیافت تایرهای فرسوده به سبب اینکه تایر یکی از ماندگارترین و پایاترین پسماندهای آلاینده محیط زیست شناخته می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و لزوم توجه بیشتری را می‌طلبد. بازیافت لاستیک می‌تواند در حل مشکلات محیط زیستی کمک شایانی نماید. طبق بررسی‌های انجام شده لاستیک در صنایع مختلفی همچون، صنعت تولید لاستیک، انواع کفپوش، در تولید تیوپ‌های لاستیکی، انواع ضربه‌گیر صنعتی و غیر صنعتی و موارد دیگری مانند تولید بتن قابلیت استفاده دارد. اضافه کردن پودر لاستیک در بتن باعث بهبود برخی از خصوصیات مکانیکی و دینامیکی بتن از قبیل جذب انرژی بیشتر بتن، امکان تغییر شکل بهتر و مقاومت در برابر ترک خوردگی می‌شود. در این تحقیق نقش پودر لاستیک در بتن خودتراکم(SCC) از منظر رئولوژی و تامین مقاومت بتن پرداخته شده است. تاثیر پودر لاستیک به عنوان اصلاح کننده مدول نرمی در ترکیب مصالح سنگی بتن خودتراکم به مانند ماسه بادی و پودر سنگ می‌باشد وحدود رواداری تمامی آزمایش‌های بتن تازه را تامین می‌کند ولی در مقایسه مقاومت‌ها، تاثیر کاهشی بر روی مقاومت‌های فشاری و کششی دارد.

One of the biggest environmental challenges around metropolises around the world is recycling and removing waste tires from the environmental cycle. Increasing the production of rubber and consequently increasing the use of tires and their disposal is one of the major problems in today's world. Therefore, the tire recycling industry is of particular importance because tire is recognized as one of the most durable and durable environmental pollutants and requires more attention. Recycling rubber can help solve environmental problems. Studies show that tires are used in a variety of industries, such as the rubber industry, flooring, rubber tube manufacturing, industrial and non-industrial bumpers, and others such as concrete production. In this study, the role of rubber powder in self-compacting concrete (SCC) has been investigated from the perspective of rheology and concrete strength. The effect of rubber powder as a modulator of softening modulus is on the combination of self-compacting concrete stone materials such as sand and stone powder and provides limited tolerance to all tests of fresh concrete but has a reduced impact on compressive strengths and compressive strengths. It has a stretch.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم،(SCC)، پودر لاستیک، رئولوژی

Self-compacting Concrete(SCC), Rubber Powder, Rheology

۱- مقدمه

امروزه گسترش صنایع، از جمله زباله‌های صنعتی، ساختمانی، معدنی و کشاورزی و همین طور هنجارهای زیست محیطی و رویکرد توسعه پایداری که در چند دهه اخیر شاهد آن هستیم موجب سوق دادن سرمایه‌گذاری‌های عظیم در زمینه فن‌آوری بازیافت پسماندها و ضایعات و استفاده از آن در صنایع مختلف شده است. در همین زمینه گسترش صنعت خودروسازی سبب شده تا وجود لاستیک‌های مستعمل به عنوان یکی از آلوده کننده‌های زیست محیطی در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار بگیرد. امکان دفع لاستیک‌های مستعمل در محیط زیست وجود ندارد زیرا مواد تشکیل دهنده آن با سرعت بسیار کمی تجزیه می‌شود و آلودگی‌های بسیار زیادی تولید می‌کند. جدای از مشکلات زیست محیطی، به علت عدم تجزیه، محیطی مناسب جهت رشد حشرات را فراهم می‌کنند. امروزه نتیجه تحقیقات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که امر بازیافت لاستیک‌های فرسوده نه تنها آثار مخرب بر محیط زیست ندارد و مشکلات مدیریتی این بخش را حل می‌کند بلکه منشأ توسعه صنعتی و سودآوری اقتصادی و فرآوری و تولید محصولات دیگری نیز می‌باشد. از پودر لاستیک حاصل از بازیافت تایرهای فرسوده در صنایعی مانند جاده‌سازی، ساختمانی، خودروسازی، صنایع‌دریایی، ورزشی، دامداری و کشاورزی و آبرسانی می‌توان استفاده کرد. از مزایای دیگر بازیافت تایرهای فرسوده کاهش ضایعات و کمک به چرخه مواد در طبیعت است. بنابراین استفاده بهینه از این ضایعات به یک ضرورت در جهت کاهش آلودگی‌های زیست محیطی تبدیل شده است. [۱]

افزایش روزافزون تولید پسماندهای لاستیک و ضرورت توسعه طرح های بازیافت آن می‌بایست با بررسی ارزیابی اقتصادی و سودآوری و ایجاد انگیزه کافی برای جلب و جذب سرمایه گذاران بخش خصوصی باعث بهبود وضعیت اجتماعی، بهداشتی، اشتغال‌زایی، رونق اقتصادی، رونق تولید و کاهش اثرات زیست محیطی شود و مورد توجه مسئولان شهری قرار گیرد.

در تهیه بتن در بسیاری موارد از پودر سنگ و پوزولان‌ها به منظور افزایش لزجت و پایداری مخلوط‌های بتنی استفاده می‌شود که در برخی موارد مقدار آن به ۱۷۰تا۱۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب در بتنهای نظیر خودتراکم و غلتکی نیز می‌رسد. تهیه و استخراج مواد به دلیل ماهیت معدنی بودن آنها نوعی زیان زیست محیطی محسوب می‌شود. بعضا از مصالح ریزدانه در بتن به عنوان یک مادۀ پودری با حداکثر اندازه اسمی ۱۵۰میکرون، در کنار مواد سیمانی استفاده می‌شود. و یا از طرفی برای اصلاح مشخصات مخلوط بتن و جبران کمبود ریزدانه‌های عبوری از الک نمره ۱۰۰ در ماسه مصرفی (کاهش ضریب نرمی) از مواد پودری غیر سیمانی می‌شود. در عمل این اصلاح در مصالح سنگی و مواد سیمانی افزایش مقاومت فشاری بتن را به همراه دارد. منحنی ترکیبی سنگدانه‌ها از مهمترین عوامل در نتایج فاز خمیری و سخت شده بتن است. ترکیب مناسب سنگدانه‌ها در مقدار عیارسیمان، آب و به تبع آن در مصرف بهینه افزودنی، کارایی بتن، اقتصاد طرح مخلوط، دوام و ... نقش اساسی ایفا می‌کند. اکثر ماسه‌های تولیدی در ایران دارای ذرات ریز کم (درصدهای عبوری از الک نمره۵۰ و ۱۰۰) و مدول نرمی زیاد (تا حدود ۳/۸ تا ۴) هستند و این امر منجر به خشن شدن ماسه، مخلوط سنگدانه و در نهایت بتن می‌گردد. لذا اصلاح بخشی از ریزدانه (ماسه) با فیلر موثر است.[۲]

هرچند ممکن است به نظر برسد افزایش ریزدانه به دلیل افزایش سطح ویژه موجب تقاضای بیشتر آب شود، اما در صورت تأمین بخش ریزدانه مخلوط سنگدانه، می‌توان سهم ماسه را کاهش و حتی بعضاً از حداکثر اندازه بالاتر استفاده نمود. همچنین استفاده از فیلر موجب بهبود نما، همگنی، کارایی و کاهش جداشدگی و آب انداختگی بتن می‌شود. در عمل نیز تجارب نگارنده (باقری و دیگران، ۱۳۹۶) در اصلاح مصالح سنگی با فیلر ثابت شده است که با تعیین بهینه سهم فیلر، مصرف سیمان افزایش نشان نمی‌دهد و بعضا کاهش مصرف سیمان در یک کارایی یکسان را به دنبال داشته است. این امر احتمالا به دلیل کاهش سطح ویژه ترکیب سنگدانه‌ها برخلاف افزایش سطح ویژه ماسه‌ها (فیلر + ماسه معمولی) بوده است.[۳]

آنچه که مسلم است، هیچ دستوری برای تعیین جذب آب ذرات ریز تر از الک ۱۵۰ میکرون در ASTM دیده نمی‌شود. در EN-۱۰۹۷۶ برای تعیین چگالی و جذب آب سنگدانه‌ریز، حذف ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون تصریح شده است اما برای تعیین جذب آب ذرات پودر سنگ (فیلر) در دستور ۱۰۹۷۷-EN مطلبی دیده نمی‌شود درحالی که این دستور برای تعیین چگالی ذرات فیلر تهیه شده است اما از وجود جذب آب در این ذرات حرفی به میان نیامده است. همچنین در استفاده از مصالح واکنش پذیر مانند میکروسیلیس نمی‌توان به طور دقیق مقدار نسبت آب به مواد سیمانی را تعیین نمود. در تولید بتن‌های ویژه و بتن‌های خودتراکم و غلتکی، نیاز به فیلر و اصلاح منحنی دانه‌بندی ترکیبی مصالح سنگی در ایران اجتناب ناپذیر است. تولید فیلرهای فوق همگی موجب آلایندگی در محیط زیست شده و هچنین بعضاً نتایج تحقیقاتی را با توجه به ابهام مقدار آب آزاد بتن مورد سوال قرار می‌دهد.

در این تحقیق سعی شده است تا علاوه بر مقایسه فنی و زیست محیطی کاربرد لاستیک‌های مستعمل در تولید مجدد لاستیک با بررسی روند تحقیقات گذشته در مورد جایگزینی شن و ماسه بترتیب با خورده لاستیک و پودر لاستیک، نسبت به استفاده از پودر لاستیک به عنوان جایگزین فیلر (پودر سنگ آهک، ماسه بادی) در بتن خودتراکم اقدام شود و نتایج به لحاظ فنی، اقتصادی و زیست محیطی بررسی شوند. همچنین نتایج فاز خمیری بتن خودتراکم در

طول زمان بسیار متأثر از مقدار و نوع فیلر و نرخ جذب آب آن است که می‌توان با جایگزینی آن با پودر لاستیک این مقوله را بررسی و نتایج را ارائه نمود.[۴]

بتن یکی از گسترده‌ترین مواد ساختمانی در سراسر جهان است. بسیاری از دانشمندان و محققان که محیط زیست را دوست دارند و به توسعه پایدار کمک می‌کنند، در جستجوی توسعه مواد ساختمانی جایگزین هستند. مقدار زیادی لاستیک مستعمل روزانه تولید می‌شود که با مشکل دفع و مسائل زیست محیطی بسیاری مواجه می‌شود. این ضایعات لاستیکی می‌توان به عنوان ماده جایگزین برای به دست آوردن بتن استفاده شود. امکان دفع لاستیک‌های مستعمل در محیط زیست وجود ندارد زیرا تایر با سرعت بسیار کمی تجزیه می‌شود و آلودگی‌های بسیار زیادی تولید می‌کند. بنابراین استفاده بهینه از این ضایعات به یک ضرورت در جهت کاهش آلودگی‌های زیست محیطی تبدیل شده است. بنابراین بازیافت تایرهای فرسوده جهت استفاده در بتن، راهکار مناسبی برای نیل به دو هدف، دفع مواد زاید و دستیابی به خواص مثبت در بتن است. آنسوفی و همکاران در سال ۲۰۱۶ درتحقیق خود به بررسی آزمایش برای تعیین مقاومت فشاری، کششی، خمشی، جذب آب و نفوذ آب با استفاده از خرده لاستیک فرسوده پرداختند. آنها به این مهم دست یافتند که اختلاط خرده لاستیک در بتن، زمانی نتایج بهتری برای بتن‌سازی مختلف را ارائه می‌دهد که آنها را با مخلوط بتن معمولی مقایسه کنند. همچنین آنها در تحقیقات خود نشان دادند که وقتی خرده لاستیک تا حدی جایگزین درشت دانه و ریزدانه شود نفوذ یون کلر کاهش می‌یابد. آنها دریافتند که با حضور خرده لاستیک در مقایسه با بتن بدون خرده لاستیک، به تدریج با کاهش مقاومت خمشی و فشاری و افزایش مقاومت در برابر سایش همراه است. همچنین آنها در این نوع بتن با نفوذ آب بیشتری رو به رو شدند و در نهایت پیشنهاد دادند که بهتر است ازاین نوع بتن در پیاده روها، کف‌ها، بزرگراه بتن و محیط های تهاجمی استفاده شود[۵]. آلن ریچاردسون و همکاران در سال ۲۰۱۶ به اثرحضورخرده لاستیک برای حفاظت انجماد و ذوب در بتن پرداختند و به این نتیجه رسیدندکه خرده‌های تایر فرسوده به اندازه بزرگتر از ۱/۵میلی متر مناسب برای موارد فوق می‌باشد[۶]. تاپکو و همکاران در سال ۲۰۱۶ در تحقیقات خود نشان دادند که استفاده از بتن با خرده لاستیک باعث کاهش عملکرد مکانیکی در بتن می‌شود. با این حال برخی از خواص دوام بتن مانند انجماد، ذوب و مقاومت در برابر سایش با استفاده از خرده لاستیک در بتن افزایش یافته و همچنین می‌تواند باعث بهبود خواص معینی از بتن برای کاربردهای خاص طراحی شود [۷].

۲- برنامه آزمایشگاهی و ساخت طرح های بتن خودتراکم

جهت طراحی، ساخت و مقایسه رفتار پودر لاستیک در مقایسه با پودر سنگ و ماسه بادی که بعنوان فیلر در بتن خودتراکم کاربرد دارند و بررسی پارامترهای، فنی و اجرایی، از ذرات پودر لاستیک به عنوان جایگزین با پودر سنگ و ماسه بادی که به عنوان فیلرهای مصرفی متداول در بتن خودتراکم استفاده شد و معیارهای بتن تازه مورد بررسی قرار گرفته شده است.

در این تحقیق مجموعاً ۸ طرح اختلاط بتن خودتراکم ساخته شده است. دو نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ و ۰/۴۵ (نسبت های متداول برای بتن‌های ویژه و معمولی) با جریان اسلامپ در محدوده قطر جریان اسلامپ بتن ۷۵۰ – ۶۵۰ میلیمتر در حالات مختلف استفاده از پودر سنگ و ماسه بادی به میزان ۵% و پودر لاستیک در دو مقدار ۵ و ۱۰ درصد در ترکیب مصالح سنگی مقایسه می‌شود. آزمایش‌های فاز خمیری بتن خودتراکم مانند قطر جریان اسلامپ، زمان پهن شدگی T_{50}، حلقه J، جعبه L شکل، جعبه U شکل، قیف V شکل در ۱ دقیقه و ۵ دقیقه، وزن مخصوص بتن تازه انجام شده است تا بدین صورت از نظر فنی و خواص بتن تازه نمونه‌ها باهم مقایسه می‌شوند.

۳- اصول اولیه طرح اختلاط خودتراکم

در طرح‌های حاضر سعی شده است تا حدودی همه متغیرها از جمله مدول نرمی ترکیبی، عیار سیمان، نسبت آب سیمان یکسان باشد و فقط نوع فیلر مصرفی در طرح‌ها تعویض شوند، بدیهی است که سطح مقاومت در طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ بالاتر از۰/۴۵ باشد. در مرحله اولیه طراحی مخلوط‌ها، معیار اولیه پذیرش بتن نداشتن جداشدگی، در عین حال دارا بودن اسلامپ و جریان اسلامپ مورد نظر بوده است. ابتدا نسبت آب به سیمان را برای دو حالت مقاومتی مورد نظرتعیین کردیم. با توجه به بررسی بتن‌های با مقاومت بالا و بتن‌های معمولی دو نسبت آب به سیمان متداول در ساخت این نوع بتن‌ها ۰/۳۵ و ۰/۴۵ انتخاب گردید. لازم به ذکر است نسبت مورد نظر با استفاده از مرجع (روش ملی طرح مخلوط بتن، نشریه۴۷۹، ۱۳۸۸) قابل تعیین است، عیار سیمان برای طرح‌های خودتراکم۵۰۰ می‌باشد. افزایش نسبت آب به سیمان برای این طرح‌ها با کاهش سیمان همراه بوده است، به طوریکه نسبت‌های پیشنهادی فاز خمیری بتن خودتراکم در قسمت بعدی و همچنین بتن‌ها از نظر شاخص چشمی کاملاً قابل قبول واقع شوند (شکل۱).

شکل ۱: مراحل انجام طرح اختلاط های بتن خودتراکم

پودر لاستیک مصرفی در این تحقیق در اندازه ۸۰ تا ۱۰۰ میکرون می باشد، محصول شرکت صدرا پوشش می‌باشد.در این کارخانه لاستیک به روش مکانیکی خرد شده و با توجه به اندازه های مختلف تقسیم بندی و به فروش می رسد. رنگ این ماده مانند تایر وسایل نقله سیاه بوده و چگالی آن در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد برابر ۱/۲۲ کیلوگرم در هر لیتر می‌باشد. مقدار درصد عبوری از الک ۷۵ میکرون به میزان ۱۲/۶ و مدول نرمی آن ۱/۴می باشد. (شکل۲)

شکل۲: پودر لاستیک مصرفی در طرح ها

۴- نامگذاری مخلوط‌های بتن

مخلوط‌های بتن به این صورت زیر نامگذاری گردید.حروف اول از سمت چپ (SCC) نمایانگر کلمه Self Compacting Concrete یعنی بتن خودتراکم. عدد بعد از حروف (SCC) شماره طرح را مشخص می‌کند. عدد بعد مشخص کننده نسبت آب به سیمان در طرح اختلاط است. حرف L و P و M در طرح‌ها به ترتیب نمایانگر پودر لاستیک، پودر سنگ و ماسه بادی در طرح‌ها است. عدد بعد از هر حرف نیز، مقداردرصد جایگزین در حجم مصالح سنگی در طرح اختلاط ها است. به این صورت است که نام SCC۳-۰/۳۵-L۵ نمایانگر سومین طرح بتن خودتراکم با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ با ۵ درصد پودرلاستیک جایگزین مصالح سنگی در طرح مخلوط است.

۵- مقادیر و نسبت‌های مخلوط بتن

مقادیر و نسبت‌های مخلوط‌های دو نوع بتن در جدول ۱ نشان داده شده است. و نسبت‌های w/c طرح‌ها در ۰/۳۵ و ۰/۴۵می‌باشد.

جدول۱: مشخصات طرح اختلاط‌های بتن خودتراکم ($m^3$۱)

شماره	C	Geravel	Sand	M	P	L	A

طرح	عیار سیمان	بادامی	نخودی	ماسه	ماسه بادی	پودر سنگ	پودر لاستیک	افزودنی
	kg/m۳	kg/m۳ درصد وزنی	kg/m۳ درصد وزنی	kg/m۳ درصد وزنی	kg/m۳ درصد وزنی	kg/m۳ درصد وزنی	kg/m۳ درصد وزنی	kg/m۳
SCC۱-0/35-M5	۵۰۰	۱۷۲ ٪۱۰	۴۲۷ ٪۲۵	۹۴۳ ٪۵۵	۱۶۵ ٪۱۰	۰ ۰	۰ ۰	۴.۲
SCC۲-۰/۳۵-P۵	۵۰۰	۱۷۲ ٪۱۰	۴۲۸ ٪۲۵	۹۴۴ ٪۵۵	۰ ۰	۱۷۶ ٪۱۰	۰ ۰	۳.۴
SCC۳-۰/۳۵-L۵	۵۲۱	۱۷۹ ۱۱٪	۴۴۶ ٪۲۷	۹۸۳ ٪۵۸	۰ ۰	۰ ۰	٪۳۴ ٪۴	۲.۱
SCC۴-۰/۳۵-L۱۰	۵۰۰	۱۷۲ ٪۱۰	۴۲۸ ٪۲۵	۹۴۴ ٪۵۵	۰ ۰	۰ ۰	۷۹ ٪۱۰	۲.۸
SCC۵-۰/۴۵-M۵	۵۰۰	۱۵۹ ٪۱۰	۳۹۶ ٪۲۵	۸۷۳ ٪۵۵	۱۵۳ ٪۱۰	۰ ۰	۰ ۰	۱.۵
SCC۶-۰/۴۵-P۵	۵۰۰	۱۵۹ ٪۱۰	۳۹۶ ٪۲۵	۸۷۴ ٪۵۵	۰ ۰	۱۶۳ ٪۱۰	۰ ۰	۱.۰
SCCV-۰/۴۵-L۵	۵۰۰	۱۵۹ ٪۱۰	۳۹۶ ٪۲۵	۹۵۳ ٪۶۰	۰ ۰	۰ ۰	۳۷ ٪۵	۱.۰
SCC۸-۰/۴۵-L۱۰	۵۰۰	۱۵۹ ٪۱۰	۳۹۶ ٪۲۵	۸۷۴ ٪۵۵	۰ ۰	۰ ۰	۷۳ ٪۱۰	۱.۲

A:Admixture, L: Rubber powder, P:Lim Powder Stone, C: Cement, M: total volume of stone Materials

جدول۲: مشخصات طرح اختلاط‌های بتن خودتراکم (۱m۳)

طرح اختلاط	ترکیبی FM	آب آزاد	حجم پودر	حجم خمیر	حجم ملات	حجم درشدت دانه	نسبت آب به فیلر	w/c	وزن افزودنی نسبت به سیمان
		kg/m۳							
SCC۱-0/35-M5	۴.۲۶	۱۷۵	۱۹۰	۳۶۷	۶۳۲	۲۴۶	۰.۹۲	۰.۳۵	۰.۸۴
SCC۲-۰/۳۵-P۵	۴.۲۷	۱۷۵	۲۱۰	۳۸۷	۶۳۲	۲۴۶	۰.۸۳	۰.۳۵	۰.۶۸
SCC۳-۰/۳۵-L۵	۴.۴۷	۱۸۲	۲۰۰	۳۸۲	۶۱۷	۲۵۷	۰.۹۱	۰.۳۵	۰.۴۰
SCC۴-۰/35-L10	۴.۳۰	۱۷۵	۱۹۰	۳۶۷	۶۳۲	۲۴۶	۰.۹۲	۰.۳۵	۰.۵۶
SCC۵-۰/۴۵-M۵	۴.۲۶	۲۲۵	۱۸۷	۴۱۳	۶۵۸	۲۲۸	۱.۲۰	۰.۴۵	۰.۳۰
SCC۶-۰/۴۵-P۵	۴.۳۰	۲۲۵	۱۸۷	۴۱۳	۶۵۸	۲۲۸	۱.۲۰	۰.۴۵	۰.۲۰
SCCV-۰/۴۵- L۵	۴.۴۱	۲۲۵	۱۸۴	۴۰۹	۶۴۷	۲۳۱	۱.۲۲	۰.۴۵	۰.۲۰
SCC۸-۰/45- L10	۴.۳۰	۲۲۵	۱۸۷	۴۱۳	۶۵۸	۲۲۸	۱.۲۰	۰.۴۵	۰.۲۳

۶- روش نمونه‌گیری و نگهداری آزمونه‌ها در آزمایشگاه

آزمونه‌های آزمایش مقاومت فشاری مورد استفاده، طبق دستورالعمل ASTM C۱۹۲ عمل‌آوری شده‌اند. در روز اول به مدت ۲۴ ساعت در اتاق مرطوب در دمای $۲۲^{\circ}C$ و رطوبت نسبی ٪۸۶ قرار داده شدند و بعد از ۲۴ ساعت، کلیه آزمونه‌ها، به داخل آب در دمای $۲۲^{\circ}C$ منتقل شدند. آزمونه‌های مقاومت فشاری بتن، پس از ۲۷ روز که در داخل آب قرار داشتند، در بیست و هشتمین روز ساخت از آب خارج شده و بعد از قرار داشتن یک ساعت در محیط آزمایشگاه، به صورت مرطوب مورد آزمایش قرار گرفتند.

۷- شرح آزمایش‌های انجام‌شده

در جدول نیز آزمایش‌های انجام‌شده در فاز خمیری بتن‌های خودتراکم را با ذکر شمارهٔ استاندارد یا دستورالعمل پیشنهادی و تعداد مرتبه آزمایش آورده شده است. همچنین در جدول آزمایش‌ها و دستورالعمل‌های مرتبط با آزمایش‌های فاز سخت شده و خمیری آورده شده است.

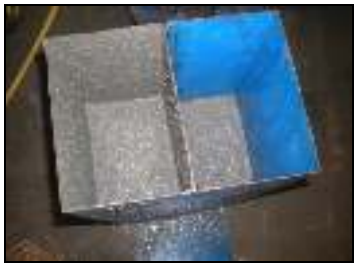
جدول۳: آزمایش‌های انجام‌شده در فاز خمیری بتن SCC

آزمایش‌های فاز خمیری	استاندارد یا دستورالعمل آزمایش	تعداد کل آزمایش
جریان اسلامپ	راهنمای اروپایی بتن خودتراکم۲۰۰۵- آیین نامه بتن ایران آبا-۱۳۹۷	۸
حلقهٔ J		۸
جعبهٔ L		۸
جعبهٔ U		۸
قیف V – ۱دقیقه		۸
قیف V - ۵ دقیقه		۸
وزن مخصوص	ASTM C۱۳۸	۸
تعیین دمای بتن تازه	ASTM C۱۰۶۴	۸

جدول ۴: آزمایش‌های مرتبط با آزمایش‌های فاز سخت شده و خمیری

آزمایش‌های مرتبط	استاندارد آزمایش
روش ساخت و عمل‌آوری آزمونه‌های بتنی در کارگاه	ASTM C۳۱
روش نمونه‌برداری بتن تازه	ASTM C۱۷۲
روش ساخت و عمل‌آوری آزمونه‌های بتنی در آزمایشگاه	ASTM C۱۹۲
تعیین ابعاد آزمونه‌ها	ISIRI۳۳۰۲

از استاندارد ASTM C۳۱ و ASTM C۱۷۲ برای تهیه آزمونه‌های کارگاهی طرح‌های اجرایی استفاده شده است. قالب‌های آزمونه‌های بتن خودتراکم در یک مرحله با سطل و بدون هیچ میله‌کوبی و تراکمی تهیه شده است. بعضاً برای تصحیح سطح فوقانی قالب‌ها و یا به دلیل گذشت زمان در اثر انجام آزمایش‌های فاز خمیری بتن خودتراکم، با استفاده از تکان دادن قالب قسمت فوقانی قالب مسطح شد.



شکل۳: مراحل انجام آزمایش ها

۸- نتایج آزمایش‌های فاز خمیری

پس از ساخت مخلوط‌های بتن، آزمایش‌های رئولوژی بتن تازه خودتراکم شامل جریان اسلامپ، زمان قطر پهن‌شدگی ۵۰۰ میلیمتر (T_{50})، شاخص پایداری چشمی (VSI)، حلقه J (J-Ring)، زمان تخلیه قیف V در ۱ و ۵ دقیقه، جعبه U و جعبه L انجام شد. سپس از طرح‌ها نمونه‌گیری شده و در سنین مشخص آزمایش‌های فاز سخت شده انجام شد. جدول۵: نتایج آزمایش‌های فاز خمیری بتن خودتراکم و محدوده مجاز پیشنهادی آیین نامه بتن خودتراکم اروپایی را نشان می‌دهد.

جدول۵: مقایسه نتایج آزمایش‌های فاز خمیری طرح اختلاط‌های بتن خودتراکم با مقادیر مجاز

شماره طرح اختلاط	Slump Flow	T_{50}	VSI	J-Ring		V - Funnel 1 min	V- Funnel 5 min	U Box	L-BOx
	(Cm)	Time (Sec.)	0-4	D (Cm)	H (Cm)	Time (Sec.)	Time (Sec.)	Cm	$\frac{h_2}{h_1}$
SCC۱-0/35-M5	۶۶	۳	۱	۵۴	۰.۶۵	۶	۱	۴	۰.۶۱
SCC۲-۰/۳۵-P۵	۷۶	۳	۱	۶۷	۰.۵	۱۰	۵	۱	۰.۹۴
SCC۳-۰/۳۵-L۵	۷۱	۳	۰	۶۷.۵	۱	۸	۳	۰	۰.۸۵
SCC۴-۰/۳۵-L۱۰	۶۹	۳	۰	۵۹.۵	۱	۷	۲	۱	۱.۰۰
SCC۵-۰/۴۵-M۵	۷۰	۱	۱	۶۵	۰.۵	۳	۱	۱	۱.۰۰
SCC۶-۰/۴۵-P۵	۶۰	۱	۰	۵۲	۲	۴	۲	۱	۰.۸۵
SCCV-۰/۴۵- L۵	۶۸	۱	۰	۶۵	۰.۳	۳	۱	۰	۱.۰۰
SCC۸-۰/۴۵- L۱۰	۷۵	۱	۰	۷۲	۰.۴	۱	۱	۱	۱.۰۰
محدوده مجاز	۶۵	۲	۰و۱	+۲/۵	۱	۸	+۳	۳-۰	۱-۰/۸

۹- تحلیل نتایج فاز خمیری بتن خودتراکم

با توجه به نتایج آزمایش‌ها (جدول۵:)، مقایسه و ارتباط آن‌ها با یکدیگر مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته و بصورت خلاصه در ذیل بیان می‌شود. محدوده پیشنهادی آزمایش‌ها جدول (۳) ارائه شد.

جدول ۶: معیارهای قبول بتن خودتراکم از نظر کارائی و عوامل پدید آورنده اختلال در نتایج (راهنمای اروپایی بتن خودتراکم،۲۰۰۵ وآیین نامه بتن ایران آبا-۱۳۹۷)

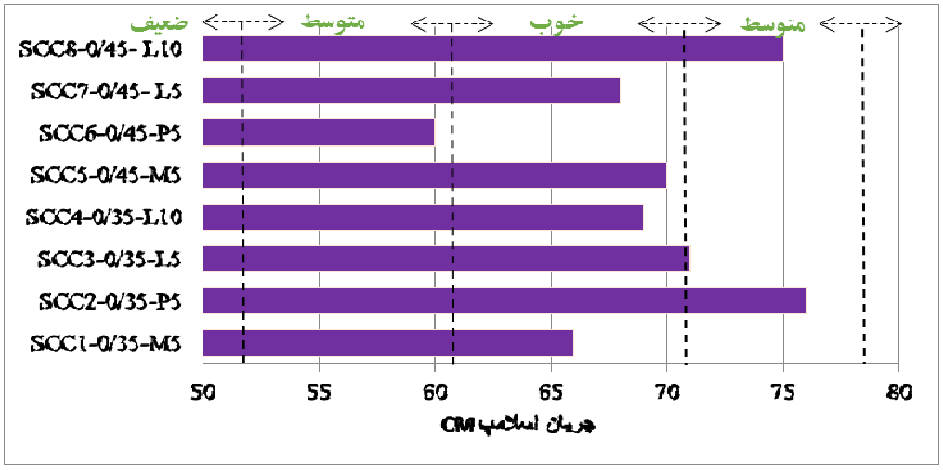
نام آزمایش		محدوده مقادیر قابل قبول		واحد	علت احتمالی نتیجه کمتر از محدوده	علت احتمالی نتیجه بیشتر از محدوده
		حداقل	حداکثر			
جریان اسلامپ		۵۵۰	۷۵۰	میلی متر	لزجت بسیار بالا حدتسلیم بسیار پایین	لزجت بسیار پایین جدا شدگی
T۵۰ اسلامپ	VS۱/ VF۱	≥ ۲		ثانیه	لزجت بسیار پایین	لزجت بسیار بالا حدتسلیم بسیاربالا
	VS۲/ VF۲	< ۲				
اختلاف ارتفاع حلقه J		۰	۲۵	میلی متر	–	لزجت بسیار پایین جدا شدگی
اختلاف قطر حلقه J		۲۵	۵۰	میلی متر	لزجت بسیار بالا	لزجت پایین و عدم پایداری بتن
قیف V(مرحلهٔ اول)	VS۱/ VF۱	≥ ۸		ثانیه	لزجت بسیار پایین	لزجت بسیار بالا حدتسلیم بسیاربالا انسداد
	VS۲/ VF۲	۹-۲۵				
قیف V (مرحلهٔ دوم)		۰	+۳	ثانیه	نتیجهٔ مشکوک	جدا شدگی انسداد افت سریع در کارائی
جعبه L		۰/۸	۱	$\frac{h_2}{h_1}$	لزجت بسیار بالا حدتسلیم بسیاربالا انسداد	جواب غلط

+ نسبت ارتفاع بتن در انتهای قالب به ارتفاع بتن در ابتدای بخش افقی قالب

برای آنکه یک طرح اختلاط در زمره بتن‌های خودتراکم قرار گیرد، باید خصوصیات خمیری آن دارای شرایط لازم باشد؛ به عبارت دیگر سه قابلیت جریان‌پذیری، توانایی عبور و مقاومت در برابر جدایی را داشته باشد. بدین منظور آزمایش‌های ذکر شده در بالا، در فاز خمیری برای بتن انجام شده و نتایج آن با مقادیر پیشنهادی آئین‌نامه‌ها، مقایسه می‌شود.

۱-۹ آزمایش جریان اسلامپ

معمولا مقدار جریان اسلامپ بین ۵۵۰ تا ۷۵۰میلیمتر است. مقدار بیشتر نشانه حرکت بهتر بتن خودتراکم تحت وزن خود میباشد و میتواند سریعتر قالب را پر کند. در موارد خاص، با حداکثر اندازه ۵ / ۱۲ میلیمتر یا کمتر و بافت دانه بندی فوق العاده ریز می توان به جریان اسلامپ تا ۸۵۰ میلیمتر نیز دست یافت از جمله پارامترهای حائز اهمیت در بتن خود تراکم تعیین زمان پهن‌شدگی ۵۰۰ میلیمتر است که همزمان با آزمایش جریان اسلامپ اندازه‌گیری می‌شود. بعضاً به دلیل لزجت بالا ممکن است طرح مخلوطی با جریان اسلامپ بیشتر، کارایی یا قابلیت پرکنندگی کمتری داشته باشد. پیشنهاد می‌شود به دلیل آسان بودن تعیین این پارامتر، بخصوص در بتن‌ریزی‌های کارگاهی این زمان حتماً اندازه‌گیری و گزارش شود. نتایج سایر آزمایش‌ها نیز اکثرا در محدوده مطلوب بوده و در محدوده پیشنهادی جدول۶ قرار می‌گیرد .

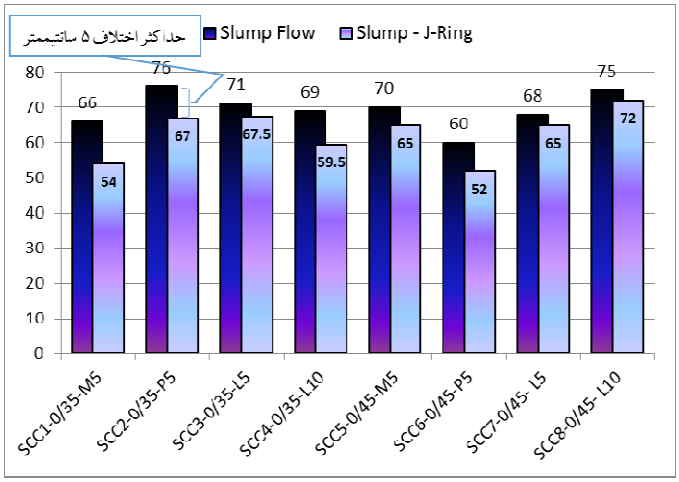


نمودار۱: بررسي نموداری جریان اسلامپ طرح‌های SCC – Self-Compacting Concrete

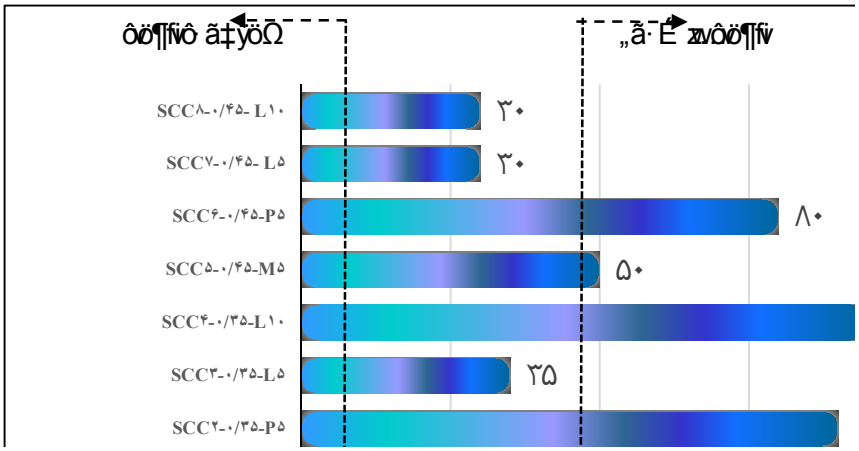
۲-۹ آزمایش حلقه J

میانگین H (اختلاف داخل و خارج حلقه J) برای مخلوط‌های ساخت شده (جدول۵: و ۶) اکثرا در محدوده مجاز یعنی ۱سانتیمتر بوده و و فقط طرح SCC۶-۰,۴۵P خارج از محدوده پیشنهادی است که احتمالاً به دلیل لزجت بالا طرح ایجاد شده است. البته لازم به ذکر است در هیچ استاندارد و پیشنهادی مقدار فاصله میلگردها در آزمایش‌های قابلیت عبور بر حسب اندازه بزرگترین دانه ارائه نشده است. همچنین در برخی استانداردها بویژه ایران اندازه‌گیری H پیشنهاد نشده است و فقط درصد اختلاف قطر پهن شدگی در حلقه J با قطر پهن شدگی در آزمایش جریان اسلامپ که در جدول۵: با D نشان داده شده است، به عنوان معیاری برای قابلیت پرکنندگی در نظر گرفته شده است. پیشنهاد استاندارد ملی ایران (ISIRI ۱۱۲۷۱) حداکثر اختلاف قطر جریان اسلامپ و قطر جریان حلقه J را به ۵ سانتیمتر محدود می‌کند. در مجموع اختلاف قطر پهن شدگی در آزمایش‌های جریان اسلامپ و حلقه J در مخلوط‌ها بویژه طرح-های بدون بادامی مناسب است (نمودار۲).

هرچند لازم به ذکر است، اغلب اختلاف‌های نتایج فاز خمیری (بعنوان مثال افزایش اختلاف قطر جریان اسلامپ و جریان حلقه J) به دلیل گذشت زمان و کثرت آزمایش‌های فاز خمیری، کاهش اثرات فوق روان‌کننده و یا لزجت زیاد (T_{50} زیاد) طرح‌ها بوده است.



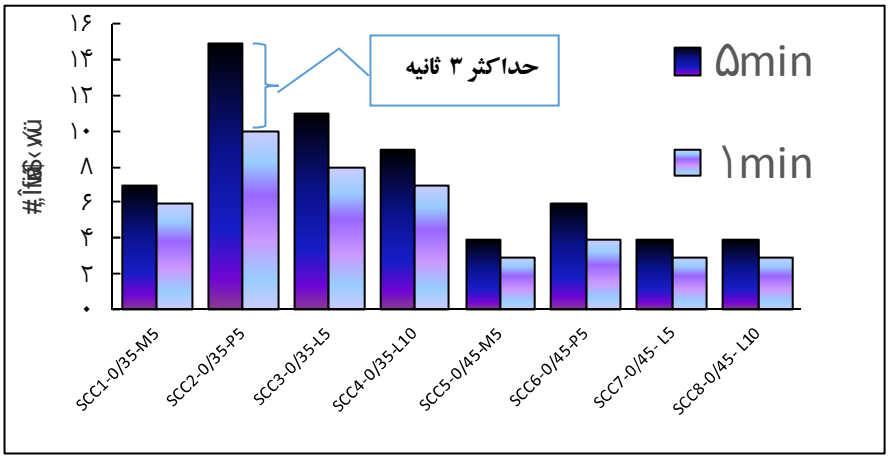
نمودار۲: مقایسه نموداری قطر جریان اسلامپ با قطر جریان حلقه J



نمودار۳: اختلاف قطر جریان اسلامپ با جریان حلقه ل بر حسب میلیمتر و مقایسه با ISIRI

۳-۹ آزمایش قیف V- شکل در ۱ و ۵ دقیقه

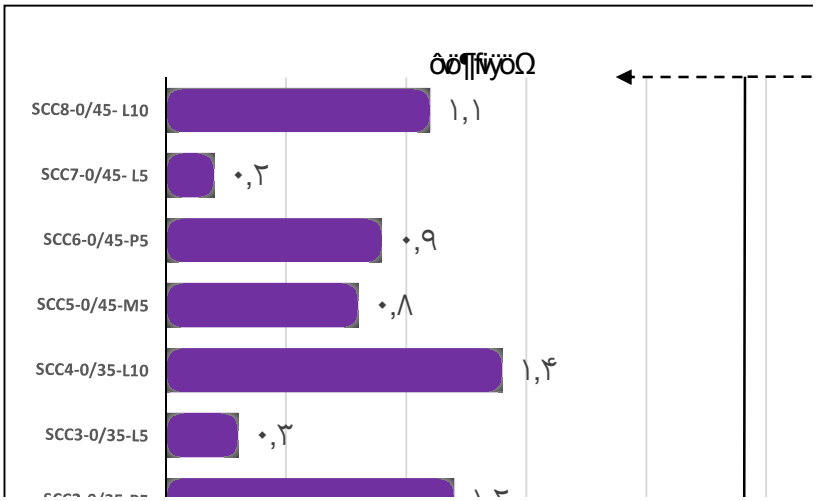
زمان تخلیه قیف V- شکل در ۵ دقیقه در تمامی طرح‌ها بیشتر از زمان تخلیه قیف V- شکل در ۱ دقیقه بوده است که این امری بدیهی است لیکن خلاف این موضوع بعید به نظر می‌رسد. با توجه به نتایج حاصله اختلاف زمان تخلیه در دو مرحله (۱ و ۵ دقیقه) در اکثر طرح‌های اختلاط کمتر از ۳ ثانیه و یا نزدیک به ۳ ثانیه می‌باشد. این موضوع بیانگر پایداری استاتیکی طرح‌ها است. لذا در صورت ناپایداری استاتیکی مخلوط، ته‌نشینی صورت گرفته و موجب انسداد یا افزایش اختلاف بین زمان‌های تخلیه در ۵ دقیقه و ۱ دقیقه می‌شود. با توجه به نتایج قیف V-شکل (جدول-۴) بتن خودتراکم با پودرسنگ به علت ایجاد لزجت زیاد به واسطه مقدار بالای عبوری از الک ۲۰۰ می‌باشد. در طرح‌هایی که با پودرلاستیک ساخته شدند اختلاف تخلیه زمان قیف V در پنج دقیقه زیر ۳ ثانیه است که نشان از مناسب بودن آن جهت استفاده بعنوان فیلر را دارد.



نمودار-۴: مقایسه نموداری قیف V-شکل در ۱ و ۵ دقیقه

۴-۹ آزمایش جعبه U-شکل

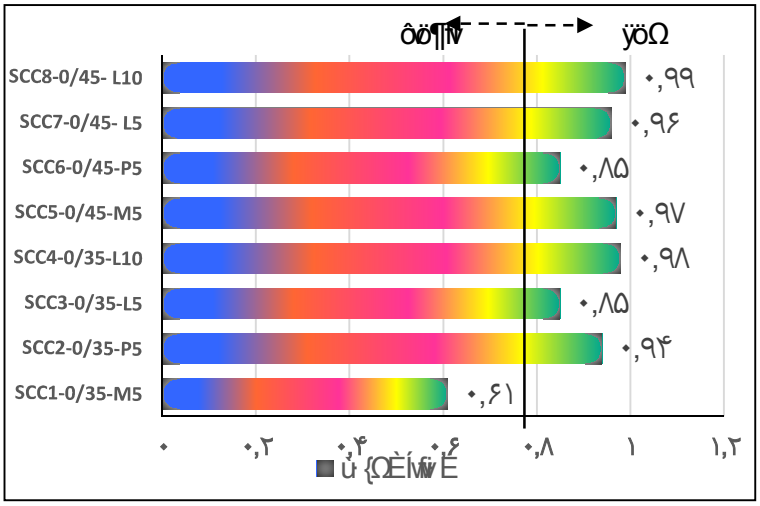
نتایج آزمایش‌های جعبه U-شکل بجز طرح SCC۱-۰/۳۵-M۵ همه طرح ها از قابلیت پُرکنندگی خوبی برخوردارند.



نمودار-۵: مقایسه نموداری نتایج جعبه U

۵-۹ آزمایش جعبه L- شکل

آنچه که در نتایج جعبه L- شکل مشهود است، قرارگیری اکثر نتایج در بازه ۰/۸ تا ۱ است، بخصوص طرح هایی که در آنها از پودر لاستیک استفاده شده است. نسبت بدست آمده در آزمایش جعبه L نباید کمتر از۰/۸ باشد و نسبت ۱ به معنی قابلیت پرکنندگی و عبور کردن کاملا مطلوب می باشد. به هر حال نتایج آزمایشL- شکل برای طرح‌های با پودر لاستیک می‌باشند (طرح‌های ۳، ۴، ۹ و ۱۲) مناسب‌تر از طرح‌های با پودر سنگ است.



نمودار۶: مقایسه نموداری نتایج جعبه L

با توجه به نتایج فاز خمیری، در مجموع چهار طرح اول طرح‌ها بتن خودتراکم با پیشنهادات با توجه به جدول ۰ تشخیص داده شده است.

جدول ۰: طرح‌های منتخب و خلاصه نتایج آزمایش‌های فاز خمیری

طرح اختلاط	قطر جریان اسلامپ (Flow)	جریان اسلامپ (T۵۰)	قیف - Vشکل	حلقه J	جعبه- Lشکل	جعبه- U شکل
SCC۱-0/35-M5	خوب	خوب	خوب	خوب	ضعیف	ضعیف
SCC۲-۰/۳۵-P۵	متوسط	خوب	ضعیف	خوب	خوب	خوب
SCC۳-۰/۳۵-L۵	خوب	خوب	خوب	خوب	متوسط	خوب
SCC۴-۰/۳۵-L۱۰	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب
SCC۵-۰/۴۵-M۵	خوب	متوسط	متوسط	خوب	خوب	خوب
SCC۶-۰/۴۵-P۵	متوسط	متوسط	متوسط	ضعیف	ضعیف	خوب
SCCV-۰/۴۵- L۵	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب
SCCΛ-۰/۴۵- L10	متوسط	متوسط	متوسط	خوب	خوب	خوب

۱۰– نتایج مقاومت فشاری

با توجه به موارد زیر تأیید مقاومتی صورت گرفته است.

در صورتی که بیشترین اختلاف مقاومت آزمونه ها کمتر از ۱۵ درصد میانگین آنها باشد، میانگین مزبور گزارش می‌گردد. در غیر اینصورت چنانچه فقط دو آزمونه موجود باشد نتیجه آن نوبت نمونه برداری از فهرست نتایج حذف می شود مگر اینکه بتوان نشان داد که نتیجه کمتر بدلیل وجود یک نقص در نمونه برداری یا قالب گیری و نگهداری و آزمایش آن آزمونه می باشد. در این حالت نتیجه کمتر حذف و نتیجه بیشتر بعنوان نتیجه نمونه برداری گزارش می-شود[۹].

نتایج مقاومت‌های فشاری ۲۸ روزه آزمونه های مکبی ۱۵*۱۵ درطرح‌های بتن خودتراکم در محدوده ۱۹۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تا ۵۴۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع قرار گرفت. کمترین نتایج مربوط به طرح‌ها با پودر لاستیک به مقدار ۱۰ درصد و بیشترین نتایج مربوط به طرح‌ها با پودر سنگ و ماسه بادی که در طرح‌ها به مقدار ۵ درصد سهم مصالح سنگی را به خود اختصاص داده بودند می‌باشد.

در مقایسه بتن‌های با ماسه بادی، پودر سنگ آهک و پودر لاستیک به میزان ۵ درصد، اختلافی در مقاومت فشاری بتنهای شامل ماسه بادی و پودر سنگ آهک مشاهده نمی‌شود. هرچند بتنهای شامل پودر لاستیک به میزان۵٪ و با نسبتهای آب به سیمان ۰/۳۵ و ۰/۴۵ به ترتیب حدود ۴۰ و ۲۵ درصد افت مقاومتی نسبت به بتنهای مشابه و با جایگزینی ماسه بادی و پودر سنگ آهک داشته است.

همچنین در طرح با ۵٪ پودر لاستیک با نسبت آب به سیمان ۰,۳۵ مقاومت فشاری نمونه ۲۸ روزه مکعبی استاندارد ۳۴۰ و در طرح آب به سیمان ۰,۴۵ مقاومت نمونه ۳۱۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بدست آمده است که نشان میدهد تأثیر افزایش ۰,۱ نسبت آب به سیمان ۱۵٪ کاهش مقاومت ۲۸ روزه در پی دارد. به طور کلی اختلاف مقاومت فشاری بتنهای با پودر لاستیک با سایر بتنها با افزایش رده مقاومتی نیز بیشتر افزایش‌میابد و در بتنهای با رده مقاومتی کمتر (کمتر از رده C۲۵) این اختلاف مقاومت فشاری در بتنهای حاوی پودر لاستیک با سایر بتنها به مقدار ناچیزی خواهد رسید.

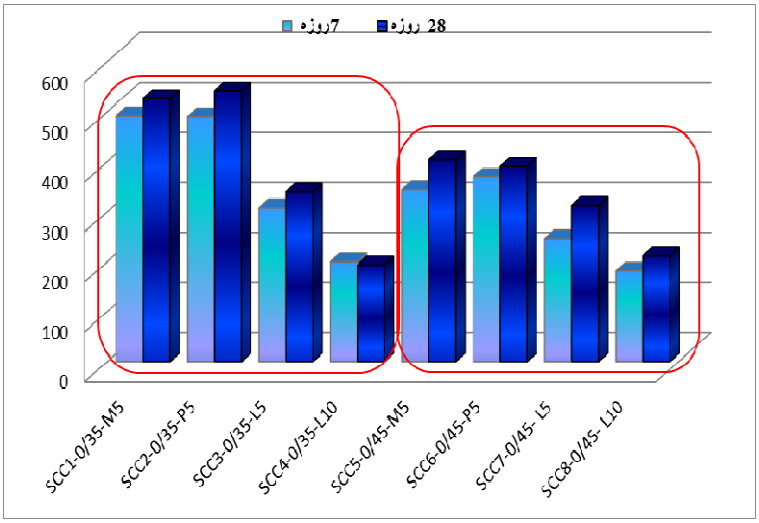
جدول ۸: بعضی مشخصات مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط بتن خودتراکم

شماره طرح	w/c	مقاومت مکعبی ۲۸ روزه-آزمونه ۱		اختلاف نسبت به میانگین	مقاومت مکعبی ۲۸ روزه-آزمونه ۲		اختلاف نسبت به میانگین	میانگین مقاومت مکعبی ۲۸ روزه		مقاومت استوانه ای ۲۸ روزه
	-	kg/cm۲	Mpa	%	kg/cm۲	Mpa	%	kg/cm۲	Mpa	Mpa

SCC۱-0/35-M5	۰.۳۵	۵۱۶	۵۱	-۰.۰۲	۵۳۷	۵۳	۰.۰۲	۵۲۶	۵۲	۴۷
SCC۲-۰/۳۵-P۵	۰.۳۵	۵۴۷	۵۴	۰.۰۱	۵۳۶	۵۳	-۰.۰۱	۵۴۲	۵۳	۴۸
SCC۳-۰/۳۵-L۵	۰.۳۵	۳۳۵	۳۳	-۰.۰۱	۳۴۴	۳۴	۰.۰۱	۳۴۰	۳۳	۲۸
SCC۴-۰/۳۵-L۱۰	۰.۳۵	۱۹۵	۱۹	۰.۰۱	۱۹۲	۱۹	-۰.۰۱	۱۹۴	۱۹	۱۵
SCC۵-۰/۴۵-M۵	۰.۴۵	۴۲۲	۴۱	۰.۰۴	۳۸۵	۳۸	-۰.۰۴	۴۰۳	۴۰	۳۵
SCC۶-۰/۴۵-P۵	۰.۴۵	۴۰۰	۳۹	۰.۰۳	۳۸۰	۳۷	-۰.۰۳	۳۹۰	۳۸	۳۳
SCC۷-۰/۴۵- L۵	۰.۴۵	۳۲۵	۳۲	۰.۰۴	۲۹۹	۲۹	-۰.۰۴	۳۱۲	۳۱	۲۶
SCC۸-۰/45- L10	۰.۴۵	۲۱۵	۲۱	۰.۰۲	۲۰۷	۲۰	-۰.۰۲	۲۱۱	۲۱	۱۷

جدول ۹: نتایج مقاومت فشاری طرح‌های SCC

شماره طرح	مقاومت فشاری مکعبی ۱۵*۱۵-kg/cm۲				مقاومت فشاری استوانه ای ۳۰*۱۵-kg/cm۲	
	۲۸ روزه		۷ روزه		۲۸ روزه	
	میانگین		میانگین		تکی	میانگین
SCC۱-0/35-M5	۵۲۶	۵۱۶	۴۹۲	۴۸۱	۵۰۲	۵۲۳
		۵۳۷		۵۰۲	۵۴۴	
SCC۲-۰/۳۵-P۵	۵۴۲	۵۴۷	۴۹۰	۴۹۵	۴۹۲	۴۸۶
		۵۳۶		۴۸۵	۴۸۰	
SCC۳-۰/۳۵-L۵	۳۴۰	۳۳۵	۳۰۷	۳۰۸	-	۳۶۸
		۳۴۴		۳۰۷	۳۶۸	
SCC۴-۰/35-L10	۱۹۴	۱۹۵	۲۰۰	۲۰۰	۲۱۲	۲۰۹
		۱۹۲		۱۹۹	۲۰۶	
SCC۵-۰/۴۵-M۵	۴۰۳	۴۲۲	۳۴۴	۳۲۰	۳۶۲	۳۸۳
		۳۸۵		۳۶۸	۴۰۴	
SCC۶-۰/۴۵-P۵	۳۹۰	۴۰۰	۳۶۹	۳۸۴	۴۶۵	۴۷۰
		۳۸۰		۳۵۴	۴۷۵	
SCC۷-۰/۴۵-L۵	۳۱۲	۳۲۵	۲۴۶	۲۴۲	۳۵۷	۳۰۷
		۲۹۹		۲۵۰	۲۵۷	
SCC۸-۰/45-L10	۲۱۱	۲۱۵	۱۸۱	۱۸۵	۲۵۴	۲۵۶
		۲۰۷		۱۷۸	۲۵۸	



نمودار۷: منحنی مقاومت فشاری طرح‌های SCC در سنین ، ۷ و ۲۸ روز

۱۱– نتیجه‌گیری:

- با توجه به جمیع نتایج در صورت عدم وجود بخش ریزدانه (فیلر) در مصالح سنگی می توان با انجام آزمایش های لازم، مناسب بودن پودر لاستیک را بررسی نموده و از آن در اصلاح ماسه استفاده کرد. نتایج نشان می دهد در طرح های حاوی پودر لاستیک مقاومت فشاری بتن بصورت محسوس کاهش می یابد.
- در مقایسه طرح ها، به لحاظ شرایط بتن تازه طرح های حاوی پودر لاستیک کارایی مناسب، را دارد آنچه که قابل توجه است، نتایج بدست آمده حاکی از آن است که برای قیف V شکل، ۱دقیقه و ۵ دقیقه کاملاً نزدیک به هم بوده وکمترین اختلاف را نسبت به سایر فیلر ها(پودر سنگ و ماسه بادی) دارند و این نشان می دهد علاوه بر تأمین روانی از جداشدگی شدیداً کاسته می شود و پایداری بسیاربالایی در مخلوط بتن ایجاد می کند.
- طرح های با پودر سنگ کارایی کمتر و لزجت بسیار بالایی (T۵۰ زیاد) داشته اند. همچنین ماسه بادی که حاصل تولید مصالح سنگی می باشد و خود یکی از آلاینده های محیط زیست محسوب می شود، بعنوان یک فیلر که کمتر از آن در مراکز تولید بتن استفاده می شود.
- پودر لاستیک در بتن، به دلیل خاصیت عدم جذب آب، تاثیر بسزایی در کاهش آب اضافی در طرح اختلاط بتن را به همراه دارد،که منجر به افزایش خواص رئولوژی بتن خودتراکم خواهد گردید.
- افزایش مقاومت فشاری حدود ۱۵٪ در طرح مخلوط های بتنی حاوی ماسه بادی و پودر سنگ آهک (بتن های فاقد پودر لاسیتک) با کاهش ۰/۱ نسبت آب به سیمان مشهود است. افزایش مقاومت فشاری ناچیزی در طرح مخلوط های بتنی حاوی پودر لاسیتک با کاهش ۰/۱ نسبت آب به سیمان وجود دارد. این مورد احتمالا به سبب ضعف ناحیه انتقال سنگدانه های پودر لاستیک و خمیر سیمان، حتی با وجود تأمین خمیر سیمان بسیار مقاوم سبب شده است. لذا استفاده از پودر لاستیک در نسبت های آب به سیمان پایین و یا رده های مقاومتی بالاتر از C۳۰ نمی تواند مناسب و نتیجه بخش باشد. هرچند می توان از پودر لاستیک در بتن هایی با رده مقاومتی کمتر بدون افت مقاومتی شدید استفاده نمود
- .همانطور که در آیین‌نامه‌ها ذکر شده است به دلایل شکل و ابعاد آزمونه‌ها، نتیجه آزمایش یک نوع بتن در قالب‌های با شکل و ابعاد مختلف متفاوت بوده و ضرایب تبدیل آن نیز در منابع آمده است. به طور کلی آزمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای با ابعاد بزرگتر نسبت به ابعاد کوچکتر

خود، مقاومت فشاری کمتری را برای بتن نتیجه می‌دهد. همچنین در مقایسه با دو آزمونه مکعبی(۱۵سانتیمتری) و استوانه ای ۱۵*۳۰ سانتیمتری که آزمونه‌های مبنا محسوب می شود، نتایج آزمونه استوانه‌ای کمتر از آزمونه مکعبی خواهد بود. در مورد بتن‌های حاوی پودر لاستیک آزمونه‌های استوانه‌ای نتایج بالاتری نسبت به آزمونه‌های مکعبی را به همراه داشته است.

۱۲- مراجع:

[۱].The European Tyre Recycling Association (ETRA), Brussels, Belgium Valerie L. ShulmanT Tire Recycling-۲019).

[2] قلی زاده وحید، باقری محمدجواد. ۱۳۹۲ ارزیابی رئولوژی و فاز سخت شده طرح های اختلاط بتن خودتراکم مقاومت بالا کاربردی در سگمنت های خط ۲ قطار شهری مشهد. پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، ۱۵ مهرماه ۱۳۹۲.

[3]باقری،سیدمحمدسجادی،محمودتقدیس،حسین عفتی،و وحید قلی زاده ۱۳۹۶ بررسی و ارائه طرح اختلاط بهینه روسازی بتن غلتکی اجرا شده در پروژه خط ۳ قطار شهری مشهد تحت شرایط ترافیکی سنگین. تهران: دومین کنفرانس ملی رویه های بتنی. ۶ و ۷ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

[4](خرمی و مرتضی، ۱۳۸۶،۲۱) خرمی، مرتضی. ۱۳۸۶. تأثیر جایگزینی سیمان و سنگدانه با لاستیک در مقاومت فشاری و دوام بتنهای متداول. فصلنامه علمی و پژوهشی شریف، شماره چهلم، ۵۱-۵۹

[۵]Asofi "Sustainable Concrete with Waste Tyre Rubber-An Overview "Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences.April - June ۲۰۱۶

[6]Richardson۲ A.,Coventry۲ K.,Edmondson۲ V.,Dias۲ E "Crumb rubber used in concrete to provide freeze–thaw protection (optimal particle size)" ۲ Journal of Cleaner Production, Volume ۱۱۲, part ۱, ۲۰ January ۲۰۱۶.

[۵]Priyanka Asutkar. "Study on the behaviour of rubber aggregates concrete beams using analytical approach Engineering Science and Technology, an International Journal, (February ۲۰۱۷)

[۹] Self-Compacting Concrete (SCC) for Prestressed Bridge Girders, Published by: Minnesota Department of Transportation Research Services Section ۳۹۵ John Ireland Boulevard, Mail Stop ۳۳۰ St. Paul, MN ۵۵۱۱۸