

Improvement of rubber self-consolidating concrete by utilizing Penetron Code G

Mohammad Ebrahim Komaki^[1] Amir Reza Ghodrati Dolatshamloo^[1*], Mahdi Eslami^[1], Farhad Khamchin Moghaddam^[2], Mohammad Ali Zarif^[1]

- 1 – Student of Department of Civil Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
2 – Teaching in Department of civil engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

E-mail: ^[1] Ebrahimk1998@yahoo.com
^[1*] Ghodrati.amirreza@yahoo.com (Corresponding Author)
^[1] Islamimahdi8@gmail.com
^[1] F.khamchin@gmail.com
^[1] m.zarif1373@gmail.com

Abstract

Waste tires have presented a pressing global issue for the environment, as a result of growing usage of road transport vehicles. Stockpiling tires present many types of health, environmental and economic risks through air, water and soil pollution and burning it would release greenhouse gases like carbon dioxide. An effective approach to omit these materials from environmental cycles is to use them as a replacement for natural aggregates in concrete. According to experiments done by researchers, utilization of scrap rubber in concrete can improve dynamical and mechanical characteristics such as absorbing more energy, better deflection, improvement of cracking strength and reduction of specific weight. In this research, an attempt was made to improve rubber self-consolidating concrete properties by using a penetrating material (Penetron), which has crystallization property. Two samples were made and tests such as water penetration, water absorption, slump flow, V funnel, L box, compressive strength and abrasion resistance test were performed. Generally with the use of Penetron, penetration resistance, compressive strength and workability increased.

Key words: rubber self-consolidating concrete, Penetron, Crystallizations, self-healing concrete

بهبود بخشی بتن خودتراکم لاستیکی با بهره‌گیری از پنترون

محمد ابراهیم کمکی^[1]، امیررضا قدرتی دولت‌شاملو^[1*]، مهدی اسلامی^[1]، فرهاد
خامچین‌مقدم^[2]، محمدعلی ظریف^[1]

۱ - دانشجوی رشته عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

۲ - مدرس رشته عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

E-mail: ^[1] Ebrahimk1998@yahoo.com

^[1*] Ghodrati.amirreza@yahoo.com

^[1] Islamimahdi8@gmail.com

^[2] F.khamchin@gmail.com

^[1] m.zarif1373@gmail.com

چکیده

گسترش روزافزون صنعت خودروسازی سبب تولید لاستیک‌های مستهلک و مستعمل که یکی از آلاینده‌های محیط زیست هستند، شده است. انبار کردن این لاستیک‌ها مشکلات بهداشتی، زیست‌محیطی و اقتصادی را از طریق آلودگی هوا، آب و خاک سبب می‌شود. همچنین سوزاندن آن‌ها باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسیدکربن می‌شود. یکی از راهکارهای موثر در حذف این مصالح از چرخه محیط‌زیست، استفاده مجدد از آن‌ها به عنوان جایگزینی برای سنگدانه‌های طبیعی در بتن می‌باشد. براساس پژوهش‌های انجام شده توسط محققین، استفاده از لاستیک مستهلک در ساخت بتن باعث بهبود برخی از خواص مکانیکی و دینامیکی بتن از قبیل جذب انرژی، تغییرشکل، مقاومت در برابر ترک‌خوردگی و وزن مخصوص بتن می‌شود. در این تحقیق سعی بر این است که خواص بتن خودتراکم حاوی ذرات لاستیک را به کمک مواد نفوذگر دارای خاصیت کریستال‌سازی (پنترون) بهبود بخشیم. به این منظور دو نمونه مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌هایی از قبیل عمق نفوذ آب تحت فشار، جذب آب، اسلامپ فلو، قیف V، جعبه L، مقاومت فشاری، سایش و مقاومت در برابر یخبندان و آب‌شدگی در مجاورت نمک یخ‌زدا انجام شد. بطور کلی با بهره‌گیری از پنترون مقاومت فشاری، مقاومت در برابر نفوذپذیری و کارایی افزایش یافت.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم لاستیکی، پنترون، کریستال سازها، بتن خودترمیم‌شونده

مقدمه

در دهه اخیر مطالعات گسترده‌ای در مورد مصرف لاستیک در بتن صورت گرفته است. علت این پژوهش‌ها تعریف کاربردی برای لاستیک‌های مستهلک بوده است. تایلر خودرو پس از مستهلک شدن به کارخانه‌های بازیافت منتقل شده و سپس توسط تجهیزات و دستگاه‌های خردکن و جداساز به قطعات کوچکتر و در اندازه‌های مختلف تبدیل می‌شود. بدیهی است که با ریزتر کردن ذرات لاستیک، عمر دستگاه خردکن کمتر شده و در نتیجه قیمت محصول افزایش می‌یابد. در ایران سازمان‌های دولتی و خصوصی وجود دارند که با توجه به موارد فوق لاستیک‌های ضایعاتی را به چرخه تولید باز می‌گردانند.

مستوفی‌نژاد و همکارانش در سال ۱۳۸۴ با استفاده از ذرات لاستیک ضایعاتی در بتن و بررسی خواص آن دریافتند که حضور لاستیک در بتن باعث تغییری در مشخصات ظاهری بتن نمی‌شود، اما با بوییدن آن می‌توان به حضور یا عدم حضور لاستیک در بتن پی‌برد. کاهش وزن مخصوص، مقاومت فشاری و اسلامپ بتن‌های حاوی ذرات لاستیک از دیگر نتایج این تحقیق بوده است. در ادامه این تحقیق اشاره شده است که قسمت اعظم مقادیر افت، با افزودن مصالح لاستیکی به بتن رخ می‌دهد. به این دلیل مصرف ذرات لاستیکی پس از گذر از یک مقدار خاص دیگر تأثیر چندانی در مقاومت فشاری ندارند.^[۱] علی‌فرشچی و همکارانش در سال ۱۳۹۳ به بررسی خصوصیات مکانیکی جداول بتنی حاوی ذرات لاستیکی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که با ریزتر کردن ذرات لاستیک با درصد ثابت مصرف لاستیک، مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد. همچنین اشاره شده است که مقاومت در برابر یخبندان و سایش این بتن با مصرف لاستیک بهبود می‌یابد.^[۲] مرتضی‌خرمی و همکاران در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، کاربرد لاستیک مستهلک شده در بتن را مورد بررسی قرار داده‌اند. در تحقیق آن‌ها کاهش مقادیر مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و افزایش نفوذپذیری و جذب آب گزارش شده است.^[۳] مهدی‌دهستانی و همکارانش در سال ۱۳۸۶ در تحقیقی به بررسی آزمون مقاومت تک‌محوری آزمون‌های بتنی حاوی لاستیک پرداختند و نتایج حاصل نشان می‌دهند که استفاده لاستیک در آزمون‌های بتنی بیشتر از ۱۵٪ کل حجم سنگدانه مناسب نیست. همچنین برای محتوای لاستیک کمتر از ۲۵٪ استفاده از درشت‌دانه در مقایسه با ریزدانه‌های آن منجر به تغییر شکل کمتر و مقاومت حداکثر بیشتر می‌شود و در درصد‌های بیشتر از ۲۵٪ لاستیک دقیقاً به عکس است.^[۴]

Ayman Moustafa در سال ۲۰۱۵ در تحقیقی از لاستیک‌های ضایعاتی در بتن پر مقاومت بهره برد. از انجام آزمایش‌های مربوط به زلزله و میراگرها به این نتیجه رسید که مصرف لاستیک در بتن باعث افزایش میرایی و جذب انرژی بتن می‌شود.^[۵] Ilker Bekir Topcu در تحقیق خود که در زمینه بتن خودتراکم لاستیکی انجام شده است، کاهش مقاومت فشاری را با افزایش لاستیک گزارش کرده است.^[۶] گنجیان در تحقیق خود به چهار دلیل کاهش مقاومت فشاری بتن لاستیکی اشاره کرده است: الف- خمیر سیمانی که سنگدانه را احاطه می‌کند، به دلیل پخش سریع ترک در آن مقاومت کمتری دارد. ب- عدم وجود چسبندگی مناسب بین خمیر سیمان و ذرات لاستیک ج- به دلیل چگالی کمتر لاستیک نسبت به سایر مواد تشکیل‌دهنده بتن امکان جداسازی افزایش می‌یابد. د- مقاومت فشاری بتن تحت تأثیر سنگدانه‌های آن است. با کمتر شدن مقاومت سنگدانه، مقاومت بتن نیز کاهش می‌یابد.^[۷] Neil N. Eldin در سال ۱۹۹۴ در مقاله خود با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی سعی بر پیش‌بینی مقاومت فشاری و کششی بتن حاوی ذرات لاستیک داشته است. در این مقاله کم شدن مقاومت بتن با اضافه کردن ذرات لاستیک گزارش شده است.^[۸]

برنامه آزمایشگاهی

در ساخت طرح‌های مخلوط بتن خودتراکم حاوی ذرات لاستیک از مصالحی به شرح زیر استفاده شده است.

۲ - مصالح سنگی آهکی با مشخصات زیر

الک	درصد مانده تجمعی	درصد عبوری
3/8	0	100
4	0	100
8	27	73
16	50	50
30	69	31
50	83	17
100	89	11
زیر الک	100	0

جدول ۱ - دانه بندی ماسه

الک	درصد مانده تجمعی	درصد عبوری
1/2	0	100
3/8	11	89
4	94	6
8	100	0
16	100	0
30	100	0
50	100	0
100	100	0
زیر الک	100.00	0

جدول ۲ - دانه بندی نخودی

۳ - لاستیک خرد شده با اندازه $4,75^{mm}$ - $12,5^{mm}$ که از سازمان مدیریت پسماند مشهد (مپ) تهیه شده است. لازم به ذکر است که در روند خرد کردن گرانول‌های لاستیکی اندازه فوق در کارخانه بازیافت این محصول و جدا نشدن الیاف آن‌ها، این مواد با اندکی الیاف در طرح‌های مخلوط به مصرف رسید.



شکل ۱ - لاستیک های خرد شده

۴ - فوق‌روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات با وزن مخصوص نسبی ۱,۱۵

۵ - ماده ژیکاترون که از شرکت صنایع شیمیایی ژیکاوا تهیه شده و دارای چگالی ۱,۴ می‌باشد.

ژیکاترون یک ماده آب‌بند کننده پایه سیمانی تک جزئی کریستال شونده می‌باشد که پس از اختلاط با آب و اجرا بر روی سطح بتن، با آهک آزاد شده موجود در بتن ترکیب شده و ترکیبات کریستالی رشدیابنده سوزنی شکل غیر محلول در آب شکل می‌دهد که با نفوذ به داخل خلل و فرج حفره‌های بتن باعث انسداد کامل و آب‌بندی آن می‌شود. در فرایند تولید این محصول می‌توان این ماده را به دو نوع عادی (که بصورت روکش بر روی سطح بتن اجرا می‌شود) و نوع پودری آن که در حین عمل اختلاط اضافه می‌شود، استفاده کرد. در این تحقیق به منظور برخورداری از بافت ریز این ماده و کسب خواصی همچون کارایی بهتر و مقاومت فشاری بالاتر، از این محصول به صورت پودری بهره جستیم.



شکل ۲ - ماده ژیکاترون

برای بهسازی بتن خودتراکم حاوی لاستیک ضایعاتی به کمک مواد نفوذناپذیر، ابتدا طرح مخلوط شاهد ساخته شد که مشخصات آن در جدول ۳ آمده است. پس از آن درصد‌های مختلف لاستیک دانه‌بندی شده که اندازه آن‌ها در محدوده $4,75^{mm} - 12,5^{mm}$ است، در دانه‌بندی طرح شاهد جایگزین شد. در حین ساخت، آزمون‌های T50، قیف V و جعبه L بر روی آن‌ها صورت گرفت. [۱۳] (جدول ۴) همه‌ی آزمون‌های ساخته شده دارای طرح مخلوط شبیه به هم هستند و فقط درصد لاستیک‌ها در هر طرح افزوده شد. با علم به اینکه با افزایش درصد لاستیک، مقاومت فشاری آزمون‌ها کاهش می‌یابد. [۵]

سپس از نتایج بدست آمده از این مرحله طرح RSCC2 (Rubber Self Consolidating Concrete) به دلیل بهتر بودن نتایج آزمون‌ها انتخاب شد. به دلیل افزایش دقت آزمایش‌ها طرح RSCC2 بار دیگر در حجم بیشتری ساخته شد. جهت افزودن ماده ژیکاترون درصد‌های متفاوتی را می‌توان مورد بررسی قرار داد که ما در این تحقیق با جایگزینی ۱,۵ درصد وزنی سیمان، آزمون ترکیبی این ماده را با بتن خودتراکم حاوی لاستیک را ساختیم. در طرح‌های مخلوط ساخته شده نسبت وزنی ترکیب آب و ژیکاترون یک به یک در نظر گرفته شد و پس از ده دقیقه اختلاط به بتن افزوده شد. شایان به ذکر است که آب اضافه شده به پودر ژیکاترون از آب اختلاط کم شده است. پس از آن بتن به مدت ۵ دقیقه دیگر مخلوط شد. در ادامه آزمون‌های T50، قیف V، جعبه L، سایش، جذب آب، مقاومت فشاری، عمق نفوذ آب تحت فشار و مقاومت در برابر یخبندان و آب‌شدگی در مجاورت نمک یخ‌زدا بر روی آزمون‌ها صورت گرفت.

نکته‌ی قابل توجه در استفاده از پودر ژیکاترون با بتن این است که ابتدا باید این ماده با آب مخلوط شود (با استفاده از مته با سرعت پایین) و سپس به مخلوط بتن اضافه گردد. در طرح آزمایشی که بدون مخلوط کردن این ماده با آب به مخلوط تازه بتن افزوده شد، کاهش شدید مقاومت بتن را شاهد بودیم. علت این پدیده عدم نفوذ آب به داخل آزمون‌های بتن است که نتیجه عدم عمل‌آوری آزمون‌ها بود.

فوق روان کننده (kg/m ³)	نسبت آب به سیمان	آب (kg/m ³)	سیمان (kg/m ³)	نخودی (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	پودرسنگ (kg/m ³)
۲,۸۴	۰,۳۳	۱۴۸,۴۳	۴۴۹	۵۳۶	۱۰۹۲	۱۸۵

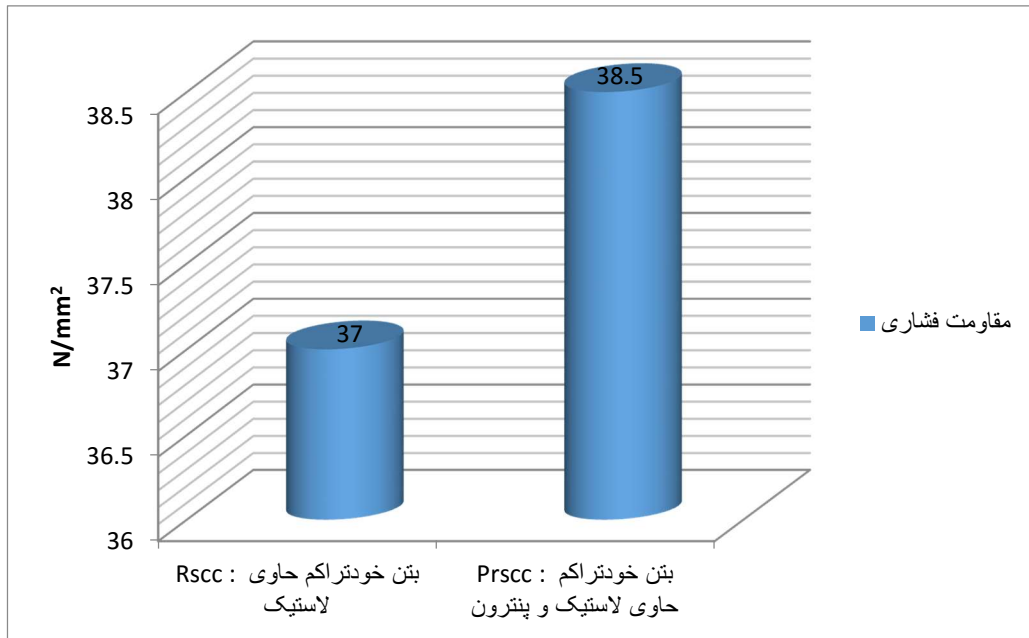
جدول ۳- طرح مخلوط شاهد

نتایج آزمون T50 (sec)	نتایج آزمون قیف V (sec)	نسبت انسداد جعبه L (h ₂ /h ₁)	درصد مصرف روان کننده	درصد جایگزینی لاستیک	نسبت آب به سیمان	طرح
3	7	.93	.63	5%	.33	RSCC 1
5	9	.86	.63	10%	.33	RSCC 2
5	10	.8	.63	15%	.33	RSCC 3
7	14	.75	.63	20%	.33	RSCC 4
8	16	.67	.63	25%	.33	RSCC 5

جدول ۴- طرح‌های مخلوط بتن های خودتراکم حاوی ذرات لاستیک

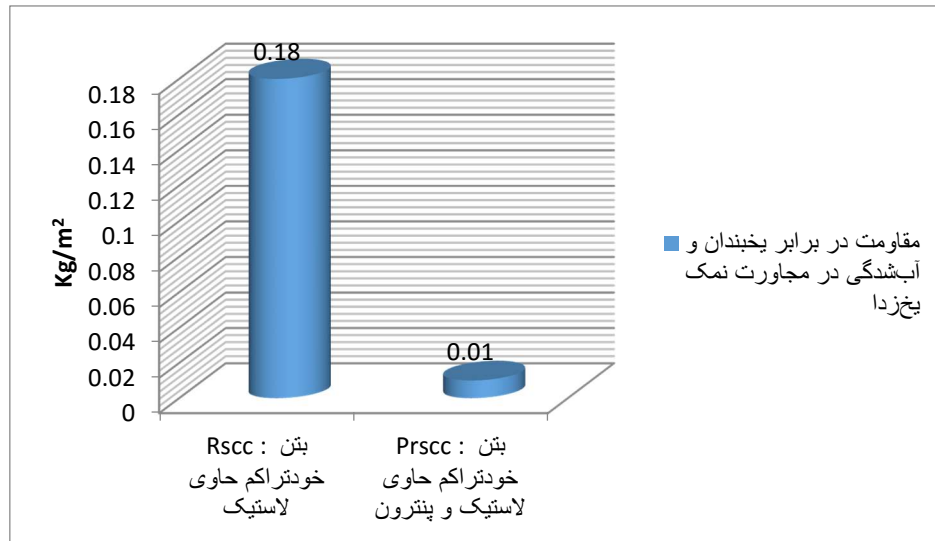
نتایج آزمایشگاهی و تفسیر آن‌ها

آزمون مقاومت فشاری بر روی آزمون‌های مکعبی ۱۵^{cm} در شرایط استاندارد عمل‌آوری شد و مقاومت آن‌ها در سن ۲۸ روزه اندازه گیری شد.^[۱۱] نمودار زیر مقایسه مقاومت فشاری بتن خودتراکم حاوی لاستیک خرد شده RSCC2 و بتن بهسازی شده حاوی ذرات لاستیک به کمک پنترون (PrSCC (Penetron Rubber SCC) که طرح اختلاطی مشابه RSCC2 دارند، می‌باشد. لازم به ذکر است که هر دو آزمون ترک‌های عمقی برداشتند و اندکی تغییر شکل در ابعاد آن‌ها رخ داد و شکل مکعبی خود را بطور کامل حفظ کردند.



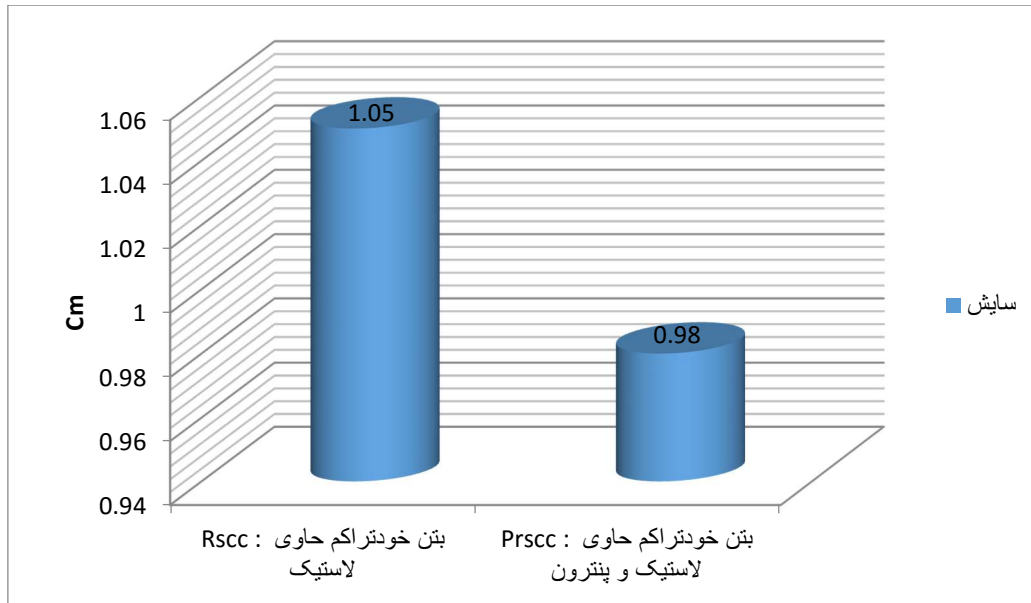
نمودار ۱ - مقایسه مقاومت فشاری آزمون‌ها

در آزمون مقاومت در برابر یخبندان و آب‌شدگی در مجاورت نمک یخ‌زدا که طبق استاندارد ۱۲۷۲۸ انجام شد، میزان فرسایش از سطح آزمون‌های RSCC2 و PrSCC به وسیله دو آزمون مکعبی ۱۵ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد که در نمودار زیر آمده است.^[۱۰] در این آزمون، آزمون‌ها پس از آماده‌سازی سطح آن‌ها با نمک طعام ۳٪ پوشانده شد و در معرض ۲۸ سیکل ذوب و یخبندان قرار می‌گیرد. پس از آن مواد جدا شده از سطح آزمون جمع‌آوری شده و توزین می‌گردد و نتیجه آن در واحد جرم بر سطح بیان می‌شود.



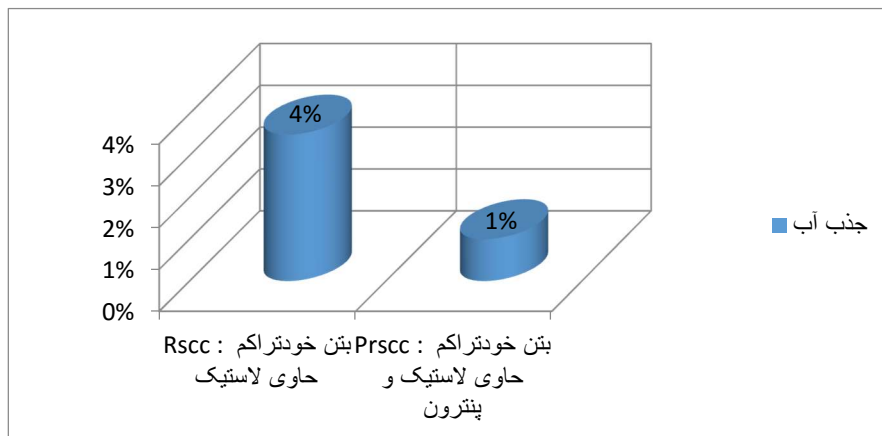
نمودار ۲ - مقایسه نتایج آزمون مقاومت در برابر یخبندان و آب‌شدگی در مجاورت نمک یخ‌زدا آزمون‌های بتنی

میزان سایش آزمون‌ها با توجه آزمایش استاندارد آن با آزمون‌های ۱۰ سانتی‌متری انجام گرفت و نتایج آن در نمودار زیر مشاهده می‌شود. [۱۰]



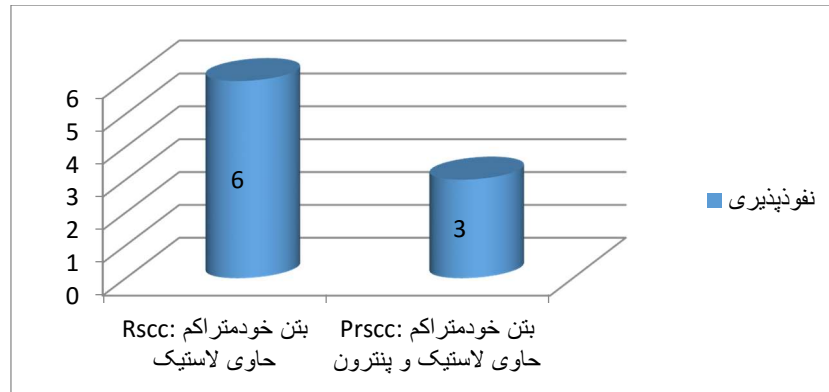
نمودار ۳ - نمودار مقایسه سایش آزمون‌ها

آزمایش جذب آب در شرایط استاندارد ۷۲ ساعت غوطه‌وری در آب و سپس ۲۴ ساعت خشک شدن در اون برای هر دو آزمون صورت گرفت و نتایج در نمودار زیر آمده است.



نمودار ۴ - مقایسه جذب آب آزمون‌های بتنی

تست عمق نفوذ آب تحت فشار، طبق شرایط استاندارد DIN 1048 پس از ۲۸ روز عمل‌آوری انجام شد و نتایج در نمودار مشاهده می‌شود.^[۹]



نمودار ۵ - مقایسه عمق نفوذ آب در آزمون‌های بتنی



شکل ۳ - دستگاه عمق نفوذ آب

در طرحی که بدون مخلوط کردن این ماده با آب به مخلوط تازه بتن افزوده شد، کاهش شدید مقاومت بتن را شاهد بودیم. علت این پدیده عدم نفوذ آب به داخل آزمون‌های بتنی است که نتیجه عدم عمل‌آوری آزمون‌ها بود.

نتایج آزمایش جعبه L، قیف V و آزمایش T50 بر روی آزمون‌های حاوی پنترون به ترتیب برابر با ۰,۸۹، ۶^{sec} و ۴^{sec} است. با توجه به ریز بودن بافت ژیکاترون‌های مصرفی در این بتن این نتایج محتمل بود. لازم به ذکر است در صورتی که نسبت یک به یک در اختلاط ژیکاترون با بتن در نظر گرفته نشود، ژیکاترون آب آزاد بتن را جذب می‌کند و اسلامپ بتن کاهش می‌یابد، از طرفی این ماده به طور کامل در بتن پخش نمی‌شود و ممکن است نتایج مطلوب کسب نشود.

نتایج

- مصرف ۱,۵ درصد پنترون در بتن خودتراکم حاوی ذرات لاستیک، افزایش ۴ درصدی مقاومت فشاری را به همراه داشت. افزایش تا ۸ درصد با استفاده به میزان بیشتر از این ماده محتمل است.
- بطور کلی مصرف لاستیک در بتن سبب افزایش دوام بتن در برابر یخبندان می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مصرف لاستیک همراه با پنترون این مشخصه را بشدت بهبود می‌بخشد.

- از نتایج حاصل از آزمایش سایش مشاهده می‌شود که مصرف پنترون می‌تواند تا ۷ درصد مقاومت در برابر سایش بتن‌های خودتراکم لاستیکی را افزایش دهد.
- همچنین مشاهده می‌شود جذب آب و نفوذپذیری این بتن‌های لاستیکی که عموماً درصدهای بالایی و مقادیر زیادی را دارد، پس از مصرف ژیکاترون به صورت پودر کاهش زیادی یافته است.
- بطور کلی بر خلاف نظر برخی از محققین در خصوص استفاده از بتن‌های حاوی لاستیک در المان‌های با کاربرد غیر سازه‌ای، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با اصلاح طرح مخلوط این بتن به کمک افزودنی‌های مناسب می‌توان خواص این بتن را بهبود زیادی بخشید.

برای تحقیقات بعدی، بررسی مصرف پوزولان‌های طبیعی کشورمان در بتن‌های حاوی لاستیک توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

در پایان از دکتر ناصر ظریف‌مقدم مدیر شرکت ابرکاوش، مهندس جمال حیدری و خانم زیبا اتحادی، که ما را در این تحقیق یاری نمودند نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

- ۱ - مستوفی نژاد داوود، نجار محمد، بررسی مقاومت فشاری بتن حاوی دانه و پودر لاستیک تایر بازیافتی، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، سال ۱۳۸۴
- ۲ - فرشچی سیدعلی، کمکی محمدابراهیم، صدیقی امیر، نجفی علی، تولید قطعات بتنی پیش ساخته حاوی ذرات لاستیک ضایعاتی، ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، سال ۱۳۹۳
- ۳ - خرمی مرتضی، دهقانیان چنگیز، امین خلیلی احمد، امکان سنجی کاربرد لاستیک مستهلک شده در ساخت بتن، نشریه شماره ۴۴۷، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
- ۴ - دهستانی کلاگر مهدی، خالو علیرضا، رحمت آبادی پیمان، بررسی رفتار بتن های حاوی لاستیک تحت بارگذاری فشار تک محوری، استقلال، شماره ۲، سال ۱۳۸۶
- 5 - Moustafa A., ElGawady M. A., Mechanical properties of high strength concrete with scrap tire rubber, Journal of Construction and Building Materials, 93, 2015, 249-56.
- 6 - Topcu I. B., Bilir T., Experimental investigation of some fresh and hardened properties of rubberized self-compacting concrete, Journal of Materials and Design, 30, 2009, 3056-65.
- 7 - Ganjian E., Khorami M., Maghsoudi A. A., Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete, Journal of Construction and Building Materials, 23, 2009, 1828-36.
- 8 - Neil N. Eldin, Ahmad B. Senouci, Measurement and Prediction of the strength of Rubberized Concrete, Journal of Cement & Concrete Composites, 16, 1994, 287-98.
- 9 - DIN 1048 Testing Methods for Concrete
- ۱۰ - استاندارد ۱۲۷۲۸ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
- ۱۱ - استاندارد ۳۲۰۶ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
- ۱۲ - استاندارد ۶۰۴۷ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
- ۱۳ - استاندارد ۳۲۰۳ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران