بررسی و مقایسه بتن حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس

محمد کربلایی [۱] و محمدرضا سهرابی *[۲]

[۱] کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان
[۲] استادیار دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده

در ایران سالانه در حدود ۱۵۰ هزار تن تایر فرسوده تولید می‌شود. امکان دفع این زباله‌ها در محیط زیست وجود ندارد؛ زیرا تایر با سرعت بسیار کمی تجزیه می‌شود؛ و آلودگی‌های بسیار زیادی تولید می‌کند؛ بنابر این استفاده بهینه از این ضایعات به یک ضرورت تبدیل شده است. این ضایعات را می‌توان در جهت بهبود برخی از خواص مکانیکی بتن استفاده کرد. اضافه کردن خرده‌های لاستیک در بتن باعث بهبود برخی از خصوصیات مکانیکی بتن از قبیل جذب انرژی بیشتر بتن، امکان تغییر شکل بهتر و مقاومت در برابر ترک خوردگی می‌شود. در همین راستا در تحقیق حاضر، خواص مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه بتن حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه میکروسیلیس مورد بحث قرار گرفته است. بدین منظور آزمایشاتی با استفاده از ۲۱ طرح اختلاط انجام شده است. از میان مخلوط‌های بتنی ساخته شده، ۶ طرح حاوی پودر لاستیک و خرده لاستیک بوده و به بقیه طرح‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک، میکروسیلیس اضافه شده است. نسبت آب به سیمان در طرح‌ها ثابت بوده و از خرده لاستیک به ابعاد ۹/۵ -۴/۷۵ میلی‌متر و پودر لاستیک به ابعاد ۰/۶ میلی‌متر استفاده شده است. در این مقاله مقدار لاستیک به صورت درصد وزنی سیمان ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ استفاده شده و میکروسیلیس نیز در درصدهای ۱۰٪ و ۱۵٪ به مخلوط‌های حاوی لاستیک اضافه گردیده است که نتیجه آن بهبود نحوه شکست و افزایش مقاومت در بتن حاوی لاستیک و میکروسیلیس می‌باشد.

واژگان کلیدی: بتن، پودر لاستیک، خرده لاستیک، میکروسیلیس، مقاومت فشاری.

۱- مقدمه

در عصر حاضر، وجود مواد زاید حاصل از فرایندهای مختلف فیزیکی و شیمیایی، یکی از معضلات مهم کشورهای صنعتی و در حال توسعه می‌باشد. به طوری که تحقیقات وسیعی برای روش‌های بازیافت یا دفع آن‌ها برای به حداقل رساندن آسیب‌های وارده به محیط زیست در حال اجراست. در این راستا محققان ساختمان نیز همانند سایر صنایع تولیدی و بازیافت، در جهت استفاده این مواد زاید به پیشرفت‌هایی نائل شده‌اند. یکی از مواردی که به عنوان مواد غیر قابل بازیافت وارد محیط زیست می‌گردد، لاستیک‌های مستعمل خودرو می‌باشد. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد، لاستیک‌های مستعمل از موادی تشکیل شده‌اند که به دلیل عدم تجزیه آن‌ها در شرایط معمول، سبب ایجاد آلودگی‌های محیط‌زیست می‌گردند. یکی از راه‌های تجزیه آن‌ها سوختن می‌باشد. اما گاز حاصل از سوختن، آلودگی‌های زیادی به دنبال دارد. بر اساس تحقیقات صورت گرفته، یکی از راه‌های حذف این مواد، استفاده از آن‌ها در بتن است. اضافه کردن 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. ولی افزودن لاستیک به بتن سبب کاهش در مقاومت فشاری بتن نیز می‌گردد. با افزودن میکروسیلیس به بتن حاوی لاستیک می‌توان این کاهش مقاومت را بهبود بخشید.

۲- مروری بر مطالعات گذشته

Taha و همکاران [۱] درصدهای مختلفی از لاستیک‌های ۵ تا ۲۰ میلی‌متر را به بتن افزودند. در این تحقیق نیز با جایگزینی ۱۰۰ درصد حجمی درشت دانه‌های سنگی با لاستیک، مقاومت فشاری به میزان ۷۵ درصد کاهش یافت. آن‌ها تأثیر اساسی دانه‌های لاستیک بر روی مقاومت فشاری بتن را مربوط به تغییر شکل و اندازه ناحیه انتقال از مجاورت دانه‌های سنگی به مجاورت دانه‌های لاستیکی ذکر می‌کنند.

Oivares و همکاران [۲] با جایگزینی ۳/۵ و ۵ درصد حجمی لاستیک بازیافتی در یک ماتریس سیمان، مشاهده کردند که افزودن این میزان لاستیک تأثیر چندانی بر روی مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته ایجاد نمی‌کند.

Topcu [۳] ریزدانه سنگی را با ریزدانه لاستیکی و درشت دانه سنگی را با درشت‌دانه لاستیکی به صورت حجمی جایگزین کرد. مقاومت فشاری استوانه‌ای ۶ ماهه بتن شاهد ۳۳/۶۷

---

* نویسنده مسئول

دریافت ۹۱/۳/۱۱ پذیرش ۹۱/۹/۲۵

مگا پاسکالی؛ با افزودن ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد ریز دانه لاستیکی به ترتیب به ۲۰/۲۳، ۱۱/۰۶ و ۷/۱۶ مگا پاسکال و با افزودن همین مقدار درشت دانه لاستیکی به ۱۵/۷۵، ۱۰/۸۲ و ۷/۷۲ مگا پاسکال کاهش یافت. این مسأله نشان می‌دهد که درشت‌دانه لاستیکی کاهش مقاومت بیشتری را نسبت به ریز دانه لاستیکی از خود نشان می‌دهد. آن‌ها همچنین گزارش دادند که نمونه‌ها بعد از گسیختگی، بار قابل توجهی را تحمل می‌کنند و جابجایی‌های قابل توجهی را بدون از هم پاشیدن کامل متحمل می‌شوند؛ که این جابجایی‌ها و تغییر شکل‌ها، عمدتاً بعد از بار برداری، قابل بازگشت می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که اگر دانه‌های لاستیکی سطح خشن‌تری داشته باشند یا پیش عمل‌آوری روی آن‌ها انجام شود؛ چسبندگی بهتری بین آن‌ها با مخلوط بتنی ایجاد می‌شود و بنابر این ممکن است منجر به ایجاد مقاومت فشاری بالاتری شود. پیش عمل‌آوری می‌تواند از شستن دانه‌های لاستیکی با آب یا ا سید یا غیره باشد [۴].

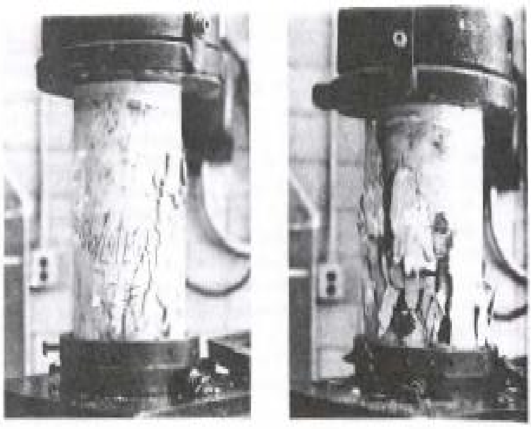
Albano و همکاران [۵] مقاومت فشاری بتن حاوی مقادیر لاستیک با بعدهای مختلف و عمل‌آوری‌های متفاوت را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که مقاومت فشاری بتن حاوی خرده لاستیک در مقایسه با بتن معمولی کاهش شدیدی دارد. به طوری که در کامپوزیت‌های حاوی ۵ درصد لاستیک با ابعاد ۰/۵۹ میلی‌متر، حدود ۶۰ درصد کاهش مقاومت مشاهده کردند؛ و با افزایش محتوای لاستیک به ۱۰ درصد وزنی، مقاومت فشاری ۸۸ درصد کاهش یافت. آن‌ها عامل این کاهش را سوراخ‌های ریز موجود در دانه‌های لاستیکی ذکر کردند که معمولاً با آب پر شده و موجب ایجاد حفراتی در مخلوط می‌شدند.

Eldin و Senouci [۶] نیز درشت‌دانه موجود در بتن را با خرده لاستیک و ماسه موجود در بتن را با پودر لاستیک جایگزین کردند. در این تحقیق لاستیک‌های فرسوده مورد استفاده، توسط آب پیش عمل‌آوری شده بودند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حداکثر مقاومت فشاری با ۱۰۰ درصد جایگزینی درشت‌دانه‌های سنگی با خرده‌های لاستیک، به میزان ۸۵ درصد می‌باشد. اما تأثیر جایگزینی ماسه با ریزدانه‌های لاستیکی، مقاومت فشاری حداکثر ۶۵ درصد کاهش می‌یابد.

Hai Huynh و همکاران [۷] خرده‌های لاستیک با ابعاد ۴/۷۵ میلی‌متر تا ۱۰ درصد وزنی نسبت به سیمان به مخلوط بتن اضافه نمودند و تغییر چندانی در مقاومت فشاری مشاهده نکردند. شکل (۱) حاوی تصاویری از نمونه‌های بتن حاوی درشت‌دانه لاستیک تحت فشار می‌باشد. این تصاویر نشان می‌دهند که نمونه‌ها بار فشاری زیادی را بعد از گسیختگی تحمل می‌کنند و تغییر مکان‌های زیادی را بدون متلاشی شدن از خود به نمایش می‌گذارند. این جابجایی‌ها و تغییر شکل‌های بزرگ، بعد از باربرداری قابل بازگشت هستند. این رفتار نشان دهنده جذب انرژی بالای بتن حاوی لاستیک می‌باشد [۶].

Ganjian و همکاران [۸]، ۵ درصد وزنی پودر لاستیک را جایگزین سیمان کردند و مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۵ درصد کاهش یافت و با افزودن ۷/۵ و ۱۰ درصد لاستیک، مقاومت فشاری ۲۸ روزه با ۱۰ و ۲۳ درصد کاهش مواجه شد.

Khaloo و همکاران [۹]، ۲۰ و ۳۰ درصد خرده لاستیک را جایگزین ماسه کردند. مقاومت فشاری ۳۸ مگا پاسکالی به ۱۶ و ۸ مگا پاسکال کاهش یافت.



شکل ۱- گسیختگی نمونه‌های حاوی درشت‌دانه لاستیکی تحت فشار [۶]

استفاده از میکروسیلیس در بتن در سال‌های اخیر به منظور افزایش مقاومت بتن بسیار مورد توجه بوده است. امروزه با به کار بردن میکروسیلیس و فوق روان‌کننده‌ها به دست آوردن مقاومت‌های فشاری بالای ۱۰۰ مگا پاسکال امکان‌پذیر شده است. مصرف میکروسیلیس در بتن بافت میکروسکوپی آن را اصلاح نموده و خواص پرکنندگی و پوزولانی میکروسیلیس سبب می‌شود که منافذ ژلی موئینه در خمیر سیمان با این مواد و ترکیبت آن با هیدروکسید کلسیم پر شود و مقاومت بتن را به طور محسوسی افزایش دهند. واکنش میکروسیلیس در بتن بستگی به میزان درصد استفاده از این ماده دارد. مطالعات به عمل آمده در مورد اثر درصد استفاده از میکروسیلیس بر مقاومت بتن نشان می‌دهد که مقدار جایگزینی میکروسیلیس در حدود ۱۰ درصد وزنی سیمان مصرفی جهت رسیدن به مقاومت مورد نیاز مناسب می‌باشد [۱۰]. اگر چه گزارش‌هایی نیز نشان می‌دهد که از نقطه نظر فرایند شیمیایی، بیشترین مقاومت

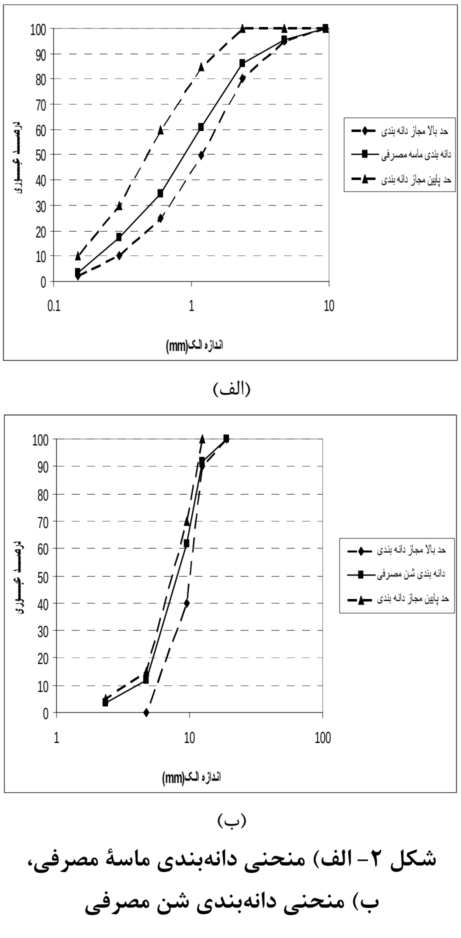
ممکن است با مقدار جایگزینی ۳۰ الی ۴۰ درصد وزن سیمان به دست آید [۱۱] و لیکن در عمل به دلیل مشکلات ناشی از افزایش تقاضای آب جهت دست‌یابی به مخلوط کارآ با موادی به نرمی میکروسیلیس، درصد مقادیر مصرفی میکروسیلیس بسیار کمتر از این محدوده می‌باشند. یکی از ویژگی‌های میکروسیلیس که باعث بهبود خواص بتن تازه و سخت شده می‌گردد، ریزی دانه‌های آن است. بر اساس اطلاعات موجود، اکثر دانه‌های میکروسیلیس به ریزی ۰/۰۱ تا ۰/۳ میکرومتر می‌باشند و اندازه متوسط آن‌ها بین ۰/۱ تا ۰/۲ میکرومتر است. ملاحظه می‌شود دانه‌های میکروسیلیس که حدوداً ۱۰۰ برابر از سیمان ریزتر هستند، منافذ بین سیمان را در بتن پر می‌کنند و باعث افزایش مقاومت بتن می‌شوند [۱۲].

Guneyisi و همکاران [۱۳] به نمونه‌های حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد لاستیک که دارای مقاومت فشاری ۴۱/۵، ۳۱/۸ و ۲۴/۳ مگا پاسکال بودند، ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس اضافه کردند؛ که مقاومت فشاری با اضافه کردن ۱۰ درصد میکروسیلیس به ۴۶/۱، ۳۷/۴ و ۳۱/۴ و با اضافه کردن ۱۵ درصد میکرو سیلیس به ۴۹/۳، ۴۱/۳ و ۳۲/۸ مگا پاسکال افزایش یافت.

۳- روش تحقیق

در این تحقیق، پودر و خرده لاستیک با درصدهای وزنی ۵ درصد، ۱۰ درصد و ۱۵ درصد وزنی سیمان به مخلوط بتن اضافه شد. میکروسیلیس نیز برابر ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی سیمان جایگزین سیمان گردید و به مخلوط‌های حاوی لاستیک اضافه شد. بدین منظور ۲۱ طرح مختلف بر اساس آیین‌نامه ACI 211 جهت ساخت نمونه‌ها تهیه شده و در مجموع ۱۲۶ نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر جهت تعیین مقاومت فشاری استفاده شده است. در این پژوهش برای به دست آورن نمودار تنش-کرنش نمونه‌ها، از ۱۴ نمونه استوانه‌ای ۳۰× ۱۵ سانتی‌متری استفاده شده است؛ به طوری که سطوح بارگذاری نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش توسط سوهان صاف شده، تا فاقد هر گونه برآمدگی و ناصافی باشد. سپس از گیج مخصوص اندازه‌گیری تغییر طول نمونه استفاده شده است. برای به دست آوردن کرنش، نمونه‌ها تحت بار قرار گرفته؛ و مقادیر نیرو و تغییر طول در بازه‌های مختلف زمانی یادداشت گردیده است و نمودار تنش و کرنش بر این اساس به دست آورده شد. مقدار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۵ برای طرح‌ها در نظر گرفته شد. با توجه به میزان نسبت آب به سیمان، مقدار ۰/۴ فوق روان کننده ام - ۶۳ بر حسب درصد وزنی سیمان استفاده شد. در ساخت نمونه‌ها از سیمان تیپ ۲ کارخانه سیمان قاین استفاده شد. مصالح ریزدانه دارای دانه‌بندی استاندارد ۴/۷۵ -۰ میلی‌متر (شکل (۲- الف) و جدول (۱)) و مدول نرمی ۳ بودند. مصالح درشت‌دانه نیز دارای دانه‌بندی استاندارد ۱۲/۵ - ۴/۷۵ میلی‌متر (شکل (۲-ب) و جدول (۲)) و از نوع شکسته شده بودند. پودر و دانه لاستیکی مصرفی (شکل (۳) و شکل (۳-ب)) از خرد شدن ضایعات لاستیک تایرهای کامیون توسط مجتمع صنایع لاستیک ایساتیس یزد با مدول الاستیسیته ۲۲ و مقاومت کششی ۲۸ مگا پاسکال می‌باشد.

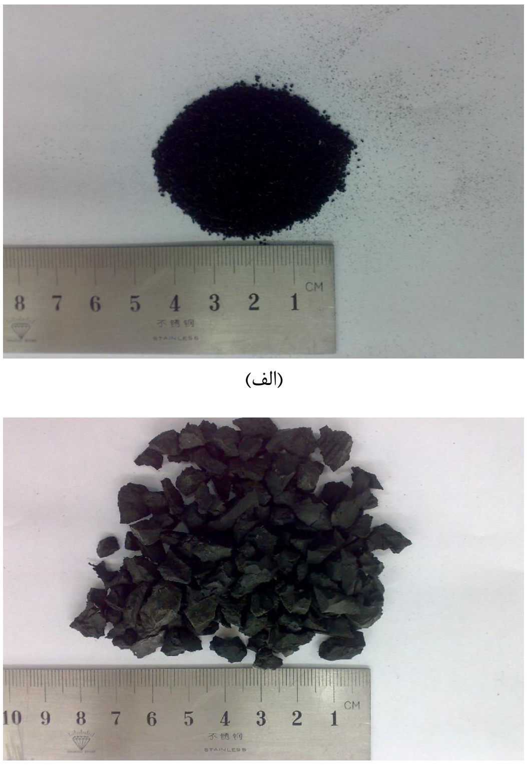
در ابتدا خرده لاستیک با ابعاد ۹/۵ -۴/۷۵ میلی‌متر و پودر لاستیک با ابعاد ۰/۶میلی‌متر با درصدهای ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ درصد وزنی سیمان به مخلوط اضافه شد. خرده‌های لاستیک را قبل از استفاده در ساخت بتن با آب آشامیدنی شسته تا مواد زائد از سطح لاستیک‌ها زدوده شود. سپس به مخلوط خرده‌های لاستیک اضافه گردید. در مرحله بعد به مخلوط بتن حاوی خرده و پودر لاستیک ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان شد. نمونه‌ها در شرایط استاندارد در محیط کاملاً مرطوب نگهداری گردید و مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.



(الف)

(ب)

شکل ۲- الف) منحنی دانه‌بندی ماسهٔ مصرفی، ب) منحنی دانه‌بندی شن مصرفی



(الف)

(ب)

شکل ۳- الف) پودر لاستیک مصرفی ب) خرده لاستیک مصرفی

جدول ۱- مشخصات ریزدانهٔ استفاده شده در تحقیق

استاندارد مربوطه	مشخصات ریزدانه	
ASTM C128	وزن مخصوص ظاهری در حالت خشک	۲/۵۳ gr/cm^3
ASTM C128	درصد جذب آب	۱/۳۸
ASTM C136	مدول نرمی	۳/۰۰
ASTM C117	درصد مصالح عبوری از الک شمارهٔ ۲۰۰	۱/۷
ASTM D4318	شاخص خمیری	NP

جدول ۲- مشخصات درشت‌دانهٔ استفاده شده در تحقیق

استاندارد مربوطه	مشخصات درشت دانه	
ASTM C136	حداکثر اندازهٔ درشت دانه	۱۲/۵ mm
ASTM C29	وزن مخصوص توده ای متراکم شده	۱/۷ gr/cm^3
ASTM C127	وزن مخصوص ظاهری در حالت خشک	۲/۷ gr/cm^3
ASTM C127	درصد جذب آب	۰/۳۲

۴- نتایج

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌ها در جدول (۳) نشان داده شده است. لازم به ذکر است طرح‌ها در جدول (۳) بر اساس زیر نام‌گذاری شده‌اند.

۱- C: (Concrete) بیانگر بتن معمولی می‌باشد.
۲- CR: (Crumb Rubber) بیانگر خرده لاستیک می‌باشد.
۳- PR: (Powder Rubber) بیانگر پودر لاستیک می‌باشد.
۴- SF: (Silica Fume) بیانگر میکروسیلیس می‌باشد.

به عنوان مثال:

C: نشانگر بتن ساده است.
CRC5: نشانگر بتن حاوی ۵ درصد خرده لاستیک است.
PRC10: نشانگر بتن حاوی ۱۰ درصد پودر لاستیک است.
SFC10: نشانگر بتن حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس است.
CRSFC5-10: نشانگر بتن حاوی ۵ درصد خرده لاستیک به همراه ۱۰ درصد میکروسیلیس است.
PRSFC10-15: نشانگر بتن حاوی ۱۰ درصد پودر لاستیک به همراه ۱۵ درصد میکروسیلیس است.

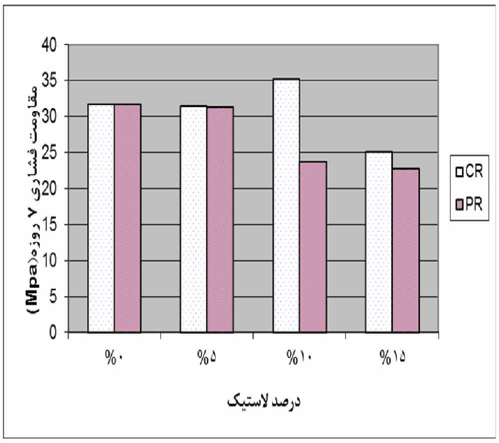
جدول ۳- نتایج مقاومت فشاری ۷ روزه، ۲۸ روزه

نوع نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگاپاسکال)
C	۳۱/۷۷	۳۹/۶۸
SFC10	۳۶	۵۶/۲۱
SFC15	۳۲/۱۸	۵۸/۸
CRC5	۳۱/۴۱	۳۵/۷۸
CRC10	۳۵/۱۹	۴۲/۱
CRC15	۲۵/۱۶	۳۰/۴۱
PRC5	۳۱/۳	۴۰/۳۹
PRC10	۲۳/۸	۳۱/۱۸
PRC15	۲۲/۸۵	۲۹/۲۲۹
CRSFC5-10	۳۶/۲۶	۵۰/۴۹
CRSFC10-10	۳۷/۲	۴۶/۴۱
CRSFC15-10	۳۲/۴۸	۴۳/۱۱
CRSFC5-15	۳۴	۴۹/۲۵
CRSFC10-15	۳۳/۶۶	۳۹/۸۶
CRSFC15-15	۳۲/۳	۴۰/۵۱
PRSFC5-10	۳۴/۴۳	۴۲/۹۳
PRSFC10-10	۲۵/۲۲	۳۶/۱۴
PRSFC15-10	۲۲/۲۷	۲۹/۸۲
PRSFC5-15	۳۳/۶	۴۵/۷۶
PRSFC10-15	۲۷/۹۹	۳۶
PRSFC15-15	۲۴/۶۸	۳۲/۶۵

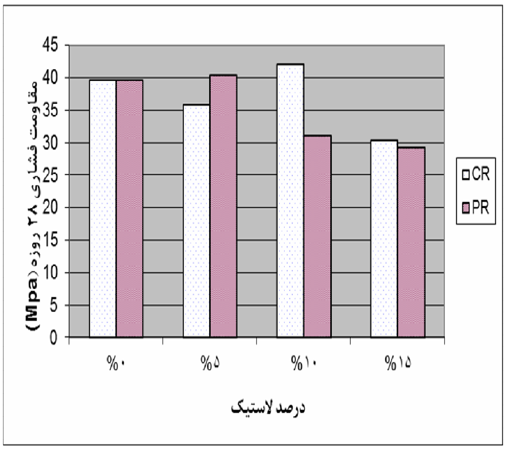
۴-۱- تأثیر افزودن خرده لاستیک و پودر لاستیک در مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه بتن

در شکل‌های (۴) و (۵) تأثیر افزودن خرده لاستیک و پودر لاستیک بر مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه بررسی شده است.

به منظور بررسی تأثیر خرده لاستیک و پودر لاستیک دربتن، خرده لاستیک با ابعاد ۹/۵ -۴/۷۵ میلی‌متر و پودر لاستیک با ابعاد ۰/۶ میلی‌متر با نسبت‌های ۵، ۱۰، و ۱۵ درصد وزنی سیمان به مخلوط اضافه شد. با توجّه به شکل‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود که در اثر افزودن خرده لاستیک به بتن، بیشترین مقاومت فشاری ۷ روزه را نمونه حاوی ۱۰ درصد خرده لاستیک (CRC10) دارد؛ که شاهد افزایش مقاومت ۱۱ درصدی نسبت به بتن شاهد هستیم و کمترین مقاومت فشاری ۷ روزه مربوط به نمونه حاوی ۱۵ درصد خرده لاستیک (CRC15) می‌باشد. تأثیر بهینه افزودن خرده لاستیک در مقاومت فشاری ۲۸ روزه، در نمونه حاوی ۱۰ درصد خرده لاستیک (CRC10) مشاهده می‌شود؛ که شاهد افزایش ۶ درصدی نسبت به بتن شاهد می‌باشیم. به نظر می‌رسد افزودن ۱۰ درصد خرده لاستیک به دلیل این که از گسترش ترک (ناشی از انبساط جانبی) در نمونه تحت فشار تا حدودی جلوگیری می‌کند، باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌گردد. کمترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه در نمونه حاوی ۱۵ درصد خرده لاستیک (CRC15) ایجاد می‌گردد که سبب کاهش مقاومت ۲۳ درصد نسبت به بتن شاهد شده است. علت آن نیز به این دلیل می‌باشد که افزودن مقادیر بیشتر لاستیک، فضای خالی بیشتری در بتن ایجاد می‌کندکه این اثر منجر به کاهش مقاومت فشاری می‌شود.



شکل ۴- مقایسه مقاومت فشاری ۷ روزه بتن‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک



شکل ۵- مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در اثر افزودن پودر لاستیک به بتن، مقاومت فشاری ۷ روزه کاهش می‌یابد، به طوری‌که با افزودن ۱۵ درصد پودر لاستیک (PRC15)، شاهد کاهش مقاومت ۲۸ درصدی نسبت به بتن شاهد هستیم. همچنین مقاومت فشاری ۲۸ روزه نیز با افزودن بیشتر پودر لاستیک کاهش می‌یابد، به طوری که با افزودن ۱۵ درصد پودر لاستیک (PRC15) شاهد ۲۶ درصد کاهش مقاومت نسبت به بتن شاهد می‌باشیم.

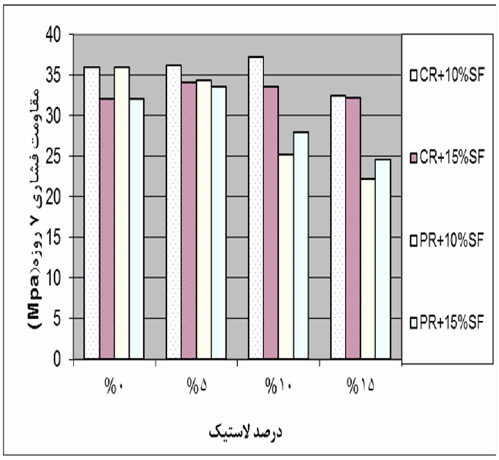
افزودن پودر لاستیک و خرده لاستیک در درصدهای پایین ۵ درصد، با توجه به کم بودن مقدار آن در بتن تأثیر آن چنانی در مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه ندارد. با افزودن ۱۰ درصد خرده لاستیک، دانه‌های لاستیک به صورت یک مانع در برابر گسترش ترک‌های ناشی از نمونه تحت فشار عمل کرده، بدین صورت که از رشد ترک‌ها در اثر برخورد با این مانع لاستیکی کاسته شده، این خاصیت مثبت جلوگیری از رشد ترک تا حدودی سبب افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه در اثر افزودن ۱۰ درصد خرده لاستیک در بتن می‌شود. با افزایش درصد خرده لاستیک و پودر لاستیک در بتن، شاهد کاهش مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه هستیم؛ که تأثیر کاهش مقاومت در پودر لاستیک بیشتر از خرده لاستیک می‌باشد. علّت کاهش مقاومت با افزایش درصد لاستیک در بتن این است که لاستیک در مخلوط بتن جایگزین سنگ‌دانه، ریزدانه و سیمان می‌شود؛ و از حجم این مواد در بتن می‌کاهد و سبب ایجاد حفره‌هایی در بتن شده، از طرفی مقاومت فشاری بتن به خواص فیزیکی و مکانیکی این مواد (که برتری قابل توجّهی نسبت به لاستیک جایگزین دارند)، بستگی دارد و افزایش این حفره‌های لاستیکی بر خاصیت مثبت دانه‌های

لاستیکی که سبب جلوگیری از ترک می‌شود غلبه کرده، در نتیجه کاهش مقاومت بتن با درصدهای بالای لاستیک قابل پیش‌بینی است. دلیل این که پودر لاستیک کاهش مقاومت بیشتری را نسبت به خرده لاستیک ایجاد می‌کند، این است که یک مقدار معین از پودر لاستیک در مخلوط بتن تعداد پیوندهای ضعیف بیشتری را به علّت بالا بودن سطح تماس ذرات پودر لاستیک، نسبت به خرده لاستیک، ایجاد می‌کند؛ و این پیوندهای ضعیف باعث گسیختگی زودتر نمونه حاوی پودر لاستیک نسبت به نمونه حاوی خرده لاستیک می‌شود.

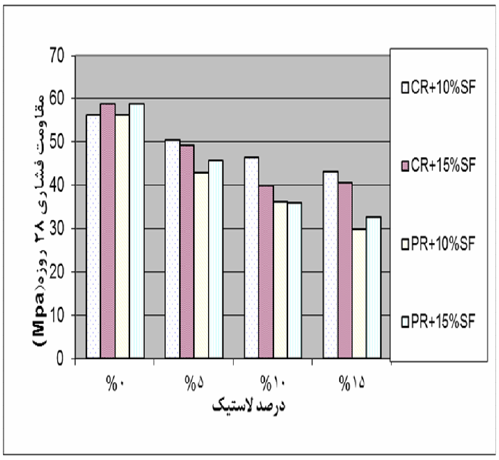
۴-۲- تأثیر افزودن میکروسیلیس در بتن حاوی خرده لاستیک و پودرلاستیک

به منظور بررسی تأثیر میکروسیلیس در مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه بتن، مقادیر ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی میکروسیلیس، به نمونه‌های حاوی ۵، ۱۰، و ۱۵ درصد خرده لاستیک، و همچنین به نمونه‌های حاوی ۵، ۱۰، و ۱۵ درصد پودر لاستیک اضافه شد.

در شکل‌های (۶) و (۷) تأثیر افزودن میکروسیلیس بر نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک نشان داده شده است؛ و مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۶- مقایسه مقاومت فشاری ۷ روزه بتن‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس



شکل ۷- مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه ۱۰ و ۱۵ درصد میکرو سیلیس

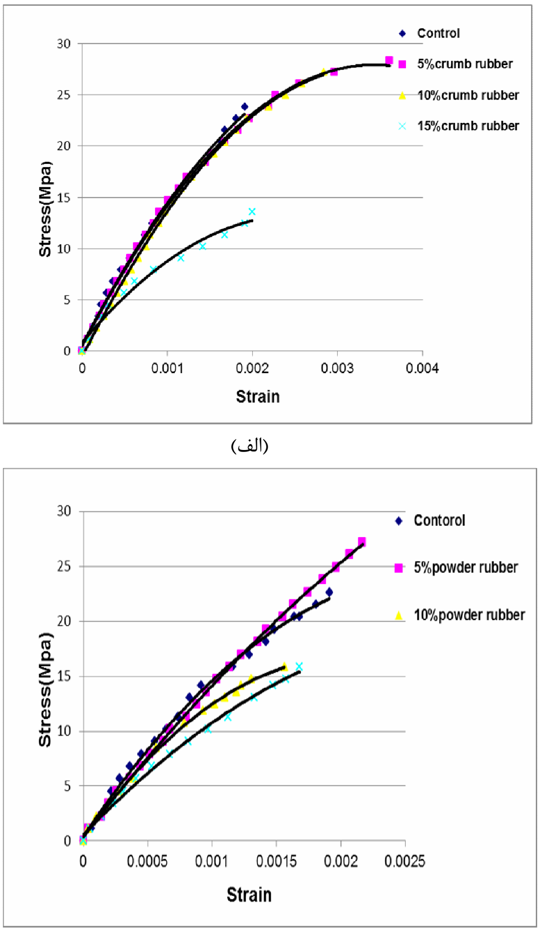
همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقاومت فشاری با افزودن میکروسیلیس افزایش می‌یابد. علّت این افزایش نیز به دلیل خاصیت پرکنندگی میکروسیلیس توسط دانه‌های ریز و همچنین ایجاد چسبندگی خوب بین لاستیک و خمیر سیمان می‌باشد. به طوری که بیشترین مقاومت فشاری ۷ روزه در اثر افزودن خرده لاستیک، با اضافه کردن ۱۰ درصد میکروسیلیس به نمونه حاوی ۱۰ درصد خرده لاستیک (CRSFC10-10) می‌باشد؛ که شاهد افزایش مقاومت ۱۷ درصدی نسبت به بتن شاهد هستیم. بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه در اثر افزودن ۱۰ درصد میکروسیلیس به بتن حاوی ۵ درصد خرده لاستیک (CRSFC5-15) ایجاد می‌شود؛ که شاهد افزایش مقاومت ۲۷ درصدی نسبت به بتن شاهد می‌باشیم. همچنین در اثر افزودن میکروسیلیس به بتن حاوی پودر لاستیک بیشترین مقاومت فشاری ۷ روزه در اثر افزودن ۱۰ درصد میکروسیلیس به بتن حاوی ۵ درصد پودر لاستیک (PRSFC5-10) ایجاد می‌شود که شاهد افزایش مقاومت فشاری ۸ درصدی نسبت به بتن شاهد هستیم. بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه نیز در اثر افزودن میکروسیلیس به بتن حاوی پودر لاستیک در نمونه حاوی ۵ درصد پودر لاستیک و ۱۵ درصد میکروسیلیس (PRSFC5-15) به دست می‌آید که شاهد افزایش مقاومت فشاری ۱۵درصدی نسبت به بتن شاهد می‌باشیم.

افزودن میکروسیلیس به بتن حاوی خرده لاستیک افزایش مقاومت بیشتری را نسبت به بتن حاوی پودر لاستیک ایجاد می‌کند. به طوری که در اثر افزودن ۱۵ درصد میکروسیلیس به بتن حاوی ۱۵ درصد خرده لاستیک (CRSFC15-15) تغییری در مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه مشاهده نمی‌کنیم. در

صورتی که افزودن ۱۵ درصد میکروسلیس به بتن حاوی ۱۵ درصد پودر لاستیک (PRSFC15-15) سبب کاهش مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه به مقدار ۳۲ و ۱۷ درصد نسبت به بتن شاهد می‌شود.

۴-۳- نمودار تنش - کرنش

نمودار تنش-کرنش بتن حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک با سن ۲۸ روز در شکل (۸-الف) و (۸-ب) نشان داده شده است. با توجه به نمودارها، تأثیر مثبت لاستیک در بتن را می‌توان در نحوه گسیختگی آن مشاهده کرد. با افزودن لاستیک در بتن، گسیختگی آرام‌تری را شاهد هستیم. بتن بعد از رسیدن به بار نهایی و ترک خوردگی، گسیخته نشده و با تحمل بارهای کمتر به باربری ادامه می‌دهد. این رفتار نشان دهنده قابلیت جذب انرژی بالا و طاقت بالای بتن حاوی لاستیک تحت فشار می‌باشد.



(الف)

(ب)

شکل ۸- الف) نمودار تنش کرنش در اثر افزودن خرده لاستیک، ب) نمودار تنش کرنش در اثر افزودن پودر لاستیک

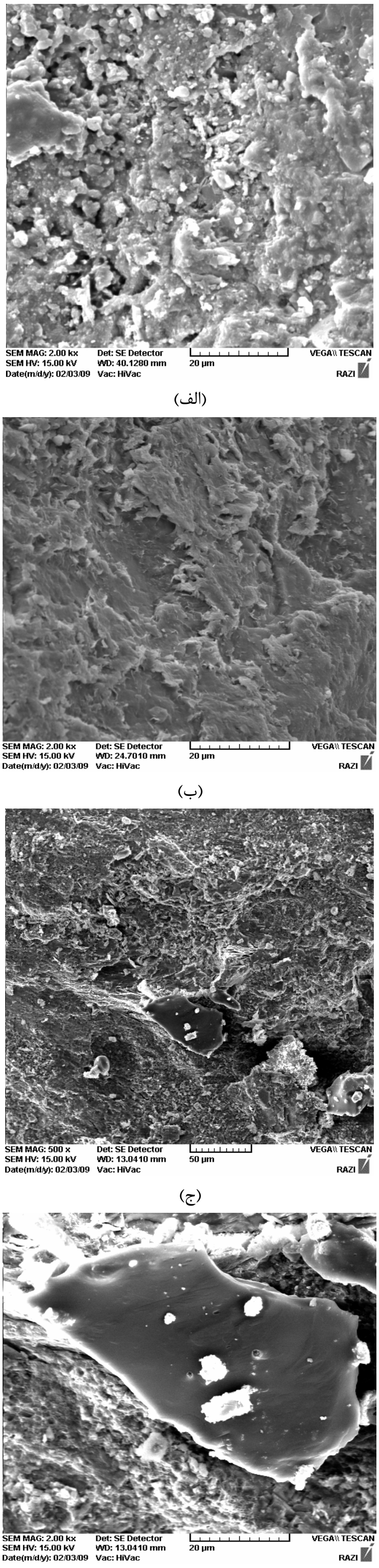
همان طور که از نمودار تنش-کرنش شکل (۸- الف) مشاهده می‌شود، با افزودن ۵ و ۱۰ درصد خرده لاستیک، شاهد رفتار بهتری در جذب انرژی بتن نسبت به بتن شاهد هستیم؛ چون سطح زیر نمودار تنش کرنش افزایش پیدا کرده است، که نشانگر بهبود در جذب انرژی بتن می‌باشد. ولی با افزایش لاستیک به ۱۵ درصد شاهد گسیختگی زود هنگام بتن هستیم. همچنین با توجه به شکل (۸-ب) در اثر افزودن ۵ درصد پودر لاستیک نیز شاهد بهبود در جذب انرژی می‌باشیم، ولی با افزودن ۱۰ و ۱۵ درصد پودر لاستیک بهبودی در منحنی تنش-کرنش مشاهده نمی‌شود.

۴-۴- بررسی ریزساختاری

در شکل‌های (۹- الف)، (۹- ب)، (۹- ج) و (۹- د) عکس‌های SEM تهیه شده از خمیر سیمان نمونه شاهد، نمونه حاوی لاستیک و نمونه حاوی میکروسیلیس نشان داده شده است.

شکل (۹-ج) و (۹-د)، تصویر SEM نمونه‌های حاوی لاستیک را نشان می‌دهد. لاستیک بین خمیر سیمان به صورت یک حفره قرار گرفته و پیوند ضعیفی با ملات سیمان برقرار کرده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، لاستیک در خمیر سیمان می‌تواند مانعی برای رشد ترک باشد. در شروع ترک، ترک‌ها به دانه‌های لاستیکی برخورد کرده و سبب بهبود در نحوه گسیختگی بتن شود. البته باید توجّه کرد در صورتی که مقدار لاستیک در بتن زیاد باشد؛ به جهت پیوندهای ضعیفی که با ملات سیمان برقرار می‌کند، این عامل باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد.

در عکس‌های گرفته شده از نمونه‌های حاوی میکروسیلیس شکل (۹-ب) مشاهده می‌شود که بافت ریزساختاری بتن از همگونی و تراکم بیشتری نسبت به بتن شاهد شکل (۹- الف) برخوردار می‌باشد. اندازه و تعداد حفرات میکروساختاری در نمونه‌های حاوی میکروسیلیس نسبت به نمونه شاهد به مراتب کمتر و انسجام و یک‌پارچگی بافت خمیر بتن در این نمونه‌ها، نشانگر تأثیر مثبت این پوزولان بر بتن، می‌باشد و می‌توان با افزودن این پوزولان‌ها در بتن مقاومت فشاری بتن حاوی لاستیک را بهبود بخشیده و به بتنی با خواص مکانیکی بهتر دست یافت.


SEM MAG: 2.00 kx
Det: SE Detector
SEM HV: 15.00 kV
WD: 40.1280 mm
20 µm
Date(m/d/y): 02/03/09
Vac: HiVac
VEGA\\ TESCAN
RAZI
SEM MAG: 2.00 kx
Det: SE Detector
SEM HV: 15.00 kV
WD: 24.7010 mm
20 µm
Date(m/d/y): 02/03/09
Vac: HiVac
VEGA\\ TESCAN
RAZI
SEM MAG: 500 x
Det: SE Detector
SEM HV: 15.00 kV
WD: 13.0410 mm
50 µm
Date(m/d/y): 02/03/09
Vac: HiVac
VEGA\\ TESCAN
RAZI
SEM MAG: 2.00 kx
Det: SE Detector
SEM HV: 15.00 kV
WD: 13.0410 mm
20 µm
Date(m/d/y): 02/03/09
Vac: HiVac
VEGA\\ TESCAN
RAZI

(الف)

(ب)

(ج)

(د)

شکل ۹- الف) تصویر SEM از خمیر سیمان نمونه حاوی شاهد با بزرگنمایی ۲۰۰۰، ب) تصویر SEM از خمیر سیمان نمونه حاوی میکروسیلیس با بزرگنمایی، ۲۰۰۰ ج) تصویر SEM از خمیر سیمان نمونه حاوی نمونه حاوی لاستیک با بزرگنمایی ۵۰۰، د) تصویر SEM از خمیر سیمان نمونه حاوی نمونه حاوی لاستیک با بزرگنمایی ۱۰۰۰

۵- نتیجه‌گیری

- نتایج حاصل نشان می‌دهد که با افزایش درصد لاستیک در بتن، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد.
- حضور خرده لاستیک در بتن، کاهش مقاومت کمتری را نسبت به پودر لاستیک ایجاد می‌کند.
- تأثیر بهینه افزودن خرده لاستیک در مقاومت فشاری ۲۸ روزه در نمونه حاوی ۱۰ درصد خرده لاستیک مشاهده می‌شود که شاهد افزایش ۶ درصدی نسبت به بتن شاهد می‌باشیم. به نظر می‌رسد افزودن ۱۰ درصد خرده لاستیک به دلیل این که از گسترش ترک در نمونه تحت فشار تا حدودی جلوگیری می‌کند، باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌گردد.
- با افزایش درصد لاستیک به مقدار ۱۵ درصد در بتن، شاهد کاهش مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه هستیم و تأثیر کاهش مقاومت پودر لاستیک بیشتر از خرده لاستیک می‌باشد.
- با افزودن ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس به نمونه‌های حاوی خرده لاستیک، شاهد افزایش خوبی در مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه بتن هستیم (افزایش ۹ و ۲۳ درصدی بتن حاوی ۵ درصد خرده لاستیک و ۱۰ درصد میکروسیلیس، و ۵ درصد خرده لاستیک و ۱۵ درصد میکروسیلیس) و علت این افزایش مقاومت نیز به دلیل خاصیت پرکنندگی میکروسیلیس توسط دانه‌های بسیار ریز و ایجاد چسبندگی خوب بین لاستیک و خمیر سیمان می‌باشد.
- با افزودن میکروسیلیس به بتن حاوی پودر لاستیک، شاهد کاهش مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه در بیشتر نمونه‌ها هستیم.
- با افزودن درصدهای بیشتر لاستیک در بتن، شاهد بهبود در نحوه شکست و گسیختگی بتن هستیم که نشان دهنده جذب انرژی بالای بتن حاوی لاستیک می‌باشد.
- با افزودن ۵ و ۱۰ درصد خرده لاستیک و پودر لاستیک با توجه به شکل‌های (۸- الف) و (۸- ب)، شاهد افزایش جذب انرژی به دلیل افزایش سطح زیر نمودار تنش-کرنش در بتن می‌باشیم که اثر بهبود جذب انرژی با اضافه کردن خرده لاستیک در بتن بهتر از پودر لاستیک می‌باشد.

۶- مراجع

[1] Reda Taha, L, Abdel-Wahab, M. M., "Fracture Toughness of Concrete Incorporating Rubber Tire Particles", Icpm, a new era of building, Cairo, Egypt, 18-20, February, 2003.

[2] Oivares, F. H., Barluenga, G., Bollati, M., witoszek, B., "Static and Dynamic Behaviour of Recycled Tyre Rubber-Filled Concrete", Cement and concrete research, 2002, 32, 1587-1596.

[3] Topcu, B., "The Properties of Rubberized Concrete", Cement and Concrete Research, 1995, 25 (2), 304-310.

[4] Rostami, H., Llepore, J., Silverstraim, T., Zundi, I., "Use of Recycled Rubber Tires in Concrete", The International Conference on Concrete 2000, University of Dundee, Scotland, UK, 1993, pp 391-399.

[5] Albano, C., Camacho, N., Reyes, J., Feliu, J., Hernandez, M., "Influence of Scrap Rubber Addition to Portland I Concrete Composites: Destructive and Non Destructive Testing", Composite Structures, 2005, 71, 439-446.

[6] Eldin, N., Senouci, A. B., "Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregate", ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, 1993, 4, 478-496.

[7] Hai Huynh, Dharmaraj Raghavan, Chiara F., Ferraris, "Rubber Particles from Recycled Tires in Cementitious Composite Materials", Department of Chemistry, Howard University, Washington DC 200 59, May Fume", Cement and Concrete Research, 1996, 34, 2309-2317.

[8] Ganjian, E., Khorami, M., Maghsoudiet, A. A., "Scrap-Tyre-Rubber Replacement for Aggregate and Fller in Concrete", Construction and Building Materials 2009, 23, 1828-1836.

[9] Khaloo, A. R., Dehestani, M., Rahmatabadi, P., "Mechanical Properties of Concrete Containing a High Volume of Tire-Rubber Particles", Waste Management 2008, 28 (12), 2472-2482.

[10] Sellevold, E. J., Nilsen T., "Supplementory Cementing Materials", Ed. by Malhotra. CANMET. sp. 86-8-E, 1987, pp167-246.

[11] Cohen, M. D., "A Look at Siliaca Fume and Its Actions Importland Cement Concrete", The Indian COMNCRETE Journal, Vol. 64, No. 9, 1990, pp 429-438.

[12] Sellevold, E. J., Bager, D. H., Jensen, E. K. Knudsen, T., "Silica Fume–Cement Pastes: Hydration and Pore Structure", Trondheim. Norwegian Institute of Technology, Report BML 82-610, 1982, pp 19-50.

[13] Guneyisi, E., Gesoglu, M., Ozturan, T., "Properties of Rubberized Concrete Silica Containing Silica Fume", Cement and Concrete Research, 2004, 34, 2309-2317.