بررسي و مقايسه مقاومت فشاري بتن داراي خرده لاستيک و پودر لاستيک به همراه نانوسيليس

محمد کربلايی[۱] *؛ محمد رضا سهرابی[۲]

چکيده

به طور کلی لاستیک‌های بسیار زیادی در جهان تولید می‌شود و امکان دفع این زباله‌ها در محیط زیست وجود ندارد؛ زیرا تایر با سرعت بسیار کمی تجزیه می‌شود؛ و آلودگی‌های زیادی تولید می‌نماید؛ بنابراین استفاده بهینه از این ضایعات به یک ضرورت تبدیل شده است. از ضایعات می‌توان برای بهبود برخی خواص مکانیکی بتن استفاده نمود. در همین راستا در تحقیق حاضر، خواص مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس مورد بررسی قرار گرفته 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 ۶ /۰ میلی‌متر استفاده شده است. در این مقاله مقدار لاستیک به صورت درصد وزنی سیمان ۵٪ ،۱۰٪ و ۱۵٪ استفاده شده و نانوسیلیس به میزان ۲٪ و۳٪ به مخلوط‌های دارای لاستیک اضافه شده است که شاهد بهبود نحوه شکست و افزایش مقاومت فشاری در این نوع بتن هستیم.

کلمات کليدي

بتن، پودر لاستیک، خرده لاستیک، نانوسیلیس، مقاومت فشاری

Study and Comparison of Compressive Strength Of Concrete Containing Crumb Rubber And Rubber Powder With Nano Silica

Mohammad karblaie.; mohammad reza sohrabi.

ABSTRACT

A large amount of rubbers are produced in the world, and the disposal of these waste materials is not feasible, as the rate of decomposition for tyre is very slow. These waste material produce big environmental pollution, therefore optimum use of them has become a necessity. These kinds of trashes can be used for improving some mechanical properties of concrete. In this regard compressive strength of concrete specimens containing crumb rubber, rubber powder, along with nanosilica have been discussed at the ages of 7 and 28 days in the current research. A fixed water – cement ratio has been considered in the mixes. Crumb rubber particles ranging in size from 4.75 to 9.50 mm, and rubber powder of size 0.6 mm have been used. In this paper 5%, 10%, 15% (by weight of cement) of rubber have been used, and also 2% and 3% nanosilica were added to the mixes containing rubber. The results showed an improvement in the failure behavior, and compressive strength growth of concrete containing rubber and nanosilica.

KEYWORDS

concrete, powder rubber, crumb rubber, nanosilica, compression resistance

تاریخ دریافت مقاله:۱۳۸۸/۹/۳

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۳

[۱] *نویسنده مسئول و کارشناسی ارشد عمران سازه، دانشکده فنی و مهندسی نیک بخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان m.k.21310@gmail.com

[۲] محمد رضا سهرابی استادیار و معاون پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستانmrsohr@yahoo.com

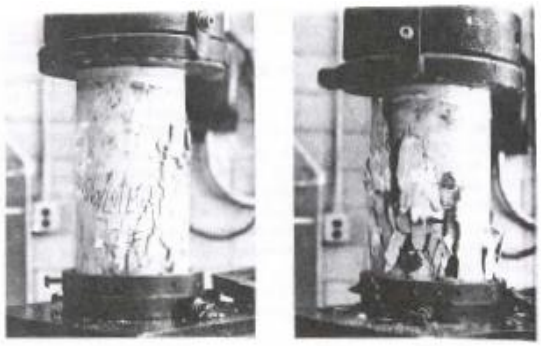
۱- مقدمه

در عصر حاضر، وجود مواد زاید حاصل از فرایندهای مختلف فیزیکی و شیمیایی، یکی از معضلات مهم کشورهای صنعتی و در حال توسعه است. 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 مانند سایر صنایع تولیدی و بازیافت، در راستای استفاده از این مواد زاید به پیشرفت‌هایی دست یافته اند. یکی از مواردی که به عنوان مواد غیر قابل بازیافت وارد محیط زیست می‌شود، لاستیک‌های مورد استفاده خودرو است. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد، این لاستیک‌ها از موادی تشکیل شده‌اند که به دلیل تجزیه نشدن در شرایط معمول، سبب ایجاد آلودگی‌های محیط زیست می‌شوند. یکی از راه‌های تجزیه این مواد، سوختن آن ها است. اما گاز حاصل از سوختن، آلودگی‌های زیادی به دنبال دارد. بر اساس تحقیقات انجام شده، یکی از راه‌های حذف آن‌ها، استفاده در بتن است. افزودن 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 می‌شود. با افزودن نانوسیلیس به بتن دارای لاستیک می توان این کاهش مقاومت را بهبود بخشید [۱] و [۲].

تاها و همکاران درصدهای مختلفی از لاستیک‌های ۵ تا ۲۰ میلی‌متر را به بتن افزودند. در این تحقیق با جایگزینی ۱۰۰ درصد حجمی درشت دانه‌های سنگی با لاستیک، مقاومت فشاری به میزان ۷۵ درصد کاهش یافت. آنها اثر اساسی دانه‌های لاستیک بر روی مقاومت فشاری بتن را، مربوط به تغییر شکل و اندازه ناحیه انتقال از کنار دانه‌های سازه‌های سنگی به نزدیک دانه‌های لاستیکی دانستند [۴]. الیوارس و همکاران در سال ۲۰۰۲ با جای گزینی ۳/۵ و ۵ درصد حجمی لاستیک بازیافتی در یک ماتریس سیمان، دیدند که افزودن این میزان لاستیک اثر چندانی بر روی مقاومت فشاری و هم‌چنین الاستیسیته ندارد [۵]. تاپکو، ریزدانه سنگی را با ریز دانه لاستیکی و درشت دانه سنگی را با درشت دانه لاستیکی جایگزین نمود. مقاومت فشاری استوانه‌ای ۶ ماهه بتنِ شاهد ۳۳/۶۷ مگا پاسکالی، با افزودن ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد ریز دانه لاستیکی به ترتیب به ۲۰/۲۳، ۱۱/۰۶و۷/۱۶ مگا پاسکال و با افزودن همین مقدار درشت دانه لاستیکی به ۷۵/ ۱۵، ۱۰/۸۲ و ۷/۷۲ مگا پاسکال کاهش یافت. این مسأله نشان می‌دهد که درشت دانه 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 جابجایی های قابل توجهی را بدون از هم پاشیدن کامل متحمل می‌نمایند؛ که این جابجایی‌ها و تغییر شکل‌ها، اغلب بعد از بار برداری، قابل بازگشت است[۶]. تحقیقات نشان می‌دهند 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 بنابراین ممکن است منجر به ایجاد مقاومت فشاری بالاتری شود. پیش عمل‌آوری می‌تواند از راه شستن دانه‌های لاستیکی با آب یا ا سید یا غیره باشد [۷]. آلبانو و همکاران **مقاومت** فشاری بتن حاوی مقادیر لاستیک با ابعاد مختلف و عمل‌آوری‌های متفاوت را مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که مقاومت فشاری بتن با خرده لاستیک در مقایسه با بتن معمولی کاهش شدیدی دارد. به طوری که در کامپوزیت‌های حاوی ۵ درصد لاستیک با ابعاد ۵۹/ . میلی‌متر، حدود ۶۰ درصد کاهش مقاومت وجود دارد 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 دانستند که به طور معمول با آب پر شده و موجب ایجاد حفراتی در مخلوط می‌شدند [۸]. الدین و سینوسی، نیز درشت دانه موجود در بتن را با خرده لاستیک و ماسه موجود در بتن را با پودر لاستیک جایگزین نمودند. در این تحقیق لاستیک‌های فرسوده مورد استفاده، توسط آب پیش عمل‌آوری شده بودند. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقاومت فشاری با ۱۰۰ درصد جایگزینی درشت دانه‌های سنگی با خرده‌های لاستیک، به میزان ۸۵ درصد است. اما در اثر جای گزینی ماسه با ریزدانه‌های لاستیکی، مقاومت فشاری حداکثر ۶۵ درصد کاهش می یابد [۹]. های هیون در سال ۱۹۹۶ خرده‌های لاستیک با ابعاد ۴/۷۵ میلی‌متر ۱ تا ۱۰ درصد وزنی نسبت به سیمان به مخلوط بتن اضافه نمودند و تغییر چندانی در مقاومت فشاری دیده نشد [۱۰].

شکل (۱) نمونه‌های بتن حاوی درشت دانه لاستیک تحت فشار را نشان می‌دهد. این عکس‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌ها بار فشاری زیادی را بعد از گسیختگی تحمل می‌کنند و تغییر مکان‌های زیادی را بدون متلاشی شدن دارند. این جابجایی‌ها و



شکل (۱): گسیختگی نمونه‌های حاوی درشت دانه لاستیکی تحت فشار [۹]

تغییر شکل‌های بزرگ، پس از باربرداری قابل بازگشت هستند. این رفتار نشان‌دهنده جذب انرژی بالای بتن حاوی لاستیک است [۹].

در سال ۲۰۰۶ جو و همکارانش نشان دادند که افزودن مواد نانو می‌تواند به بهبود مقاومت فشاری بتن کمک زیادی بنماید. آن‌ها به مقایسه اثر افزودنی‌های پوزلانی معمول مانند: دوده سیلیس و نانو پرداختند. افزودنی‌های نانو با وارد شدن به خمیر سیمان به شدت وارد واکنش‌های هیدراسیون می‌شوند، حال آنکه بیش‌تر افزودنی‌های رایج پس از طی یک دوره انفعالی شروع به مشارکت در هیدراسیون می‌نمایند [۱۱]. لی و همکاران به این نتیجه رسیدند که یکی از نقاط ضعف بتن، لایه خمیر سیمان در مجاورت سنگدانه‌ها است و به طور معمول گسیختگی از این لایه آغاز می‌شود. وجود بلورهای سوزنی شکل به تعداد زیاد در این محدوده به تمرکز تنش و گسیختگی بتن می‌شود. با کاربرد مواد نانو، این سطح ناهموار، هموارتر می شود و می‌تواند مسیر مناسب‌تری برای انتقال نیرو فراهم آورد. به جز مواردی که گفته شد، افزودن مواد نانو می‌تواند به پر نمودن حفرات نانو متری در خمیر سیمان کمک نماید و به پدید آمدن بافتی متراکم‌تر منجر شود [۱۲] و [۳]. وان جو در سال ۲۰۰۷ تحقیقی در مورد بتن حاوی سیلیکا فوم و بتن حاوی نانوسیلیس ارائه نمود که نتایج مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه نمونه‌ها در جدول (۱) آورده شده است. دیده می‌شود که در هر نمونه حاوی ذرات نانوسیلیس، میزان افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه دیگر تغییرات زیادی دارد. مشهود است که اثر نانو ذرات روی واکنش پوزولانی بیش‌تر از سیلیکا فوم است. نانوسیلیس بهتر از سیلیکا فوم منافذ را برای افزایش مقاومت پر می‌نماید. بنابراین، مشخص است که افزودن نانوسیلیس به ملات سیمان، خواص مقاومتی را بهبود می‌بخشد [۱۳].

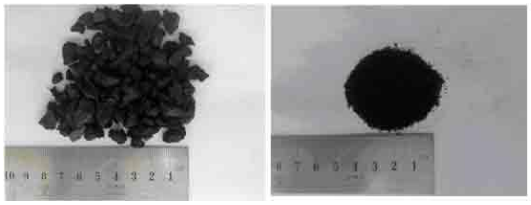
جدول (۱): مقایسه مقاومت فشاری بتن حاوی نانوسیلیس

Compressive strength (MPa)

	7 days	28 days
OPC	18.3	25.6
SF5	22.5	35.1
SF10	24.7	37.4
SF15	26.1	38.0
NS3	39.5	54.3
NS6	46.1	61.9
NS10	49.3	68.2
NS12	50.7	68.8

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از خرده لاستیک و پودر لاستیک با درصدهای وزنی ۵،۱۰ و ۱۵ درصد وزنی سیمان استفاده نموده و به مخلوط بتن اضافه شده است. نانوسیلیس نیز به میزان ۲ و ۳ درصد وزنی سیمان، جایگزین سیمان شده و به مخلوط‌های حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک اضافه شد. بدین منظور ۲۱ طرح مختلف بر اساس آیین نامه ACI برای ساخت نمونه‌ها تهیه شده و در مجموع ۱۲۶ نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری برای تعیین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن ساخته شد. مقدار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نسبت آب به سیمان مقدار ۰/ ۵، در نظر گرفته شد. با توجه به کم بودن نسبت آب به سیمان مقدار ۲ تا ۲/۵ درصد فوق روان‌کننده M-63 بر حسب درصد وزنی سیمان استفاده شد. در ساخت نمونه‌ها از سیمان تیپ ۲ کارخانه سیمان قاین استفاده شد. مصالح ریزدانه، با دانه‌بندی استاندارد ۴/۷۵ – ۰ میلی‌متر و مدول نرمی ۳ بودند. مصالح درشت دانه دارای دانه‌بندی استاندارد ۱۲/۵ – ۴/۷۵ میلی‌متر و از نوع شکسته شده بودند. دانه لاستیکی مصرفی از خرد شدن ضایعات لاستیک تایرهای کامیون توسط مجتمع صنایع لاستیک ایساتیس یزد با مدول الاستیسیته ۲۲ و مقاومت کششی ۲۸ مگا پاسکال بوده است. در ابتدا خرده لاستیک با ابعاد ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی‌متر و پودر لاستیک به ابعاد ۰/۶ میلی‌متر (شکل۲)، با درصدهای ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی سیمان، به مخلوط اضافه شد. در مرحله بعد به مخلوط بتن حاوی خرده لاستیک و بتن حاوی پودر لاستیک، ۲ و ۳ درصد نانوسیلیس (جدول ۲) جایگزین سیمان اضافه شد. نمونه‌ها در شرایط استاندارد در محیط مرطوب نگهداری شد؛ و مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه مورد بررسی قرار گرفت.



شکل (۲): خرده لاستیک و پودر لاستیک مصرفی

جدول (۲): خصوصیات شیمیایی و فیزیکی نانوسیلیس

خلوص وزنی سیلیس در محلول (درصد)	٪۴۰
PH محلول	۶/۵
سایز ذرات	۹ تا ۱۰ نانومتر
سطح مخصوص m^2/gr	تا ۴۵۰

۳- نتایج

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول (۳): نتایج مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه

نوع نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه (مگا پاسکال)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگا پاسکال)
C	۳۱/۷۷	۳۹/۶۸
NSC2	۳۰/۴۷	۴۹/۴۸
NSC3	۳۲/۸۹	۵۱/۳
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	۲۹/۸۵	۲۹/۲۹
CRNSC5-2	۳۲/۶	۳۹/۳۹
CRNSC10-2	۲۹/۶۴	۳۳/۱۳
CRNSC15-2	۲۶/۱	۳۳
CRNSC5-3	۳۶/۲	۴۳/۲۲
CRNSC10-3	۳۰/۱۷	۳۷/۷۹
CRNSC15-3	۲۶/۵۱	۳۵/۵۵
PRNSC5-2	۳۴/۷۸	۴۰
PRNSC10-2	۲۵	۳۲/۸۳
PRNSC15-2	۲۶/۱	۲۸/۶۴
PRNSC5-3	۲۸/۹۳	۳۵
PRNSC10-3	۲۵/۹۸	۳۴/۳۱
PRNSC15-3	۲۱/۵۵	۲۸/۶۴

گفتنی است (نام گذاری) طرح‌ها در جدول فوق عبارت است از:

C[۱]: بتن معمولی.

CR[۲]: خرده لاستیک.

PR[۳] : پودر لاستیک.

SF NS[۴] : نانوسیلیس.

به عنوان مثال

C: بتن ساده.

CRC5: بتن حاوی ۵ درصد خرده لاستیک.

PRC10: بتن حاوی ۱۰ درصد پودر لاستیک.

NSC2: بتن حاوی۲ درصد نانوسیلیس.

CRNSC15-3: بتن حاوی ۱۵ درصد خرده لاستیک به همراه ۳ درصد نانوسیلیس.

PRNSC10-2: بتن حاوی ۱۰ درصد پودر لاستیک به همراه ۲ درصد نانوسیلیس.

۳-۱- اثر افزودن خرده لاستیک و پودر لاستیک در مقاومت فشاري ۷ و ۲۸ روزه بتن

در شکل‌های (۳) و (۴) این موضوع بررسی شده است.

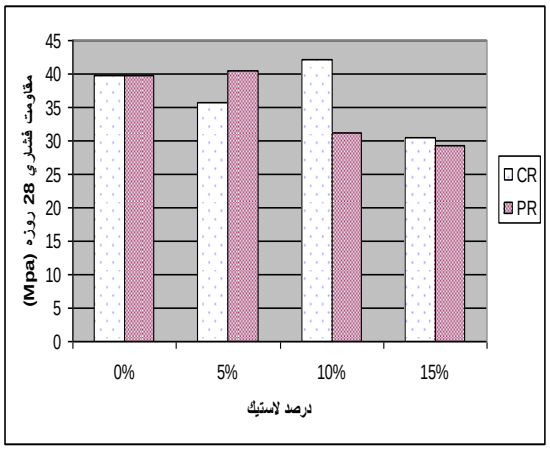
برای بررسی اثر خرده لاستیک و پودر لاستیک در بتن، خرده لاستیک با ابعاد ۹/۵ – ۴/۷۵ میلی‌متر و پودر لاستیک با ابعاد ۰/۶ میلی‌متر با نسبت‌های ۵، ۱۰، و ۱۵ درصد وزنی سیمان به مخلوط اضافه شد. با توجّه به شکل؛ در اثر افزودن خرده لاستیک به بتن، بیش‌ترین مقاومت فشاری ۷ روزه را نمونه حاوی ۱۰ درصد خرده لاستیک (CRC10) دارد؛ که افزایش مقاومت ۱۱ درصدی نسبت به بتن را شاهد هستیم و کم‌ترین مقاومت فشاری ۷ روزه مربوط به نمونه حاوی ۱۵ درصد خرده لاستیک (CRC15) است. بیش‌ترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه، در نمونه حاوی ۱۰ درصد خرده لاستیک (CRC10) دیده می‌شود؛ که شاهد افزایش ۶ درصدی نسبت به بتن هستیم. کم‌ترین مقاومت ۲۸ روزه در نمونه حاوی ۱۵ درصد خرده لاستیک (CRC15) ایجاد می‌شود که سبب کاهش مقاومت ۲۳ درصدی نسبت به بتن شاهد هستیم.

همان‌طور که دیده می‌شود؛ در اثر افزودن پودر لاستیک به بتن، مقاومت فشاری ۷ روزه کاهش می‌یابد؛ بطوریکه با افزودن ۱۵ درصد پودر لاستیک (PRC15)، کاهش مقاومت ۲۸ درصدی نسبت به بتن را 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) کاهش مقاومت ۲۶ درصد نسبت به بتن را شاهد هستیم.

افزودن پودر لاستیک و خرده لاستیک در مقدارهای پایین ۵ درصد، اثر زیادی در مقاومت ۷ و ۲۷ روزه ندارد. با افزایش درصد خرده لاستیک و پودر لاستیک در بتن، شاهد کاهش

مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه هستیم که اثر کاهش مقاومت در پودر لاستیک بیش‌تر از خرده لاستیک است. علّت کاهش مقاومت با افزایش درصد لاستیک در بتن آن است که لاستیک در مخلوط بتن جایگزین سنگدانه، ریزدانه و سیمان می‌شود و از حجم این مواد در بتن می‌کاهد. از طرفی مقاومت فشاری بتن به خواص فیزیکی و مکانیکی این مواد (که برتری زیادی نسبت به لاستیک جایگزین دارند) بستگی دارد. در نتیجه کاهش مقاومت بتن با درصدهای بالای لاستیک قابل پیش‌بینی است. دلیل اینکه پودر لاستیک، کاهش مقاومت بیش‌تری را نسبت به خرده لاستیک ایجاد می‌نماید؛ این است که یک مقدار معین از پودر لاستیک در مخلوط بتن، تعداد پیوندهای ضعیف بیش‌تری را به علّت بالا بودن سطح تماس ذارات پودر لاستیک، نسبت به خرده لاستیک، ایجاد می‌نماید؛ و این پیوندهای ضعیف باعث گسیختگی زودتر نمونه حاوی پودر لاستیک نسبت به نمونه حاوی خرده لاستیک می‌شود.

شکل (۳): مقایسه مقاومت فشاری ۷ روزه بتن حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک



شکل (۴): مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک

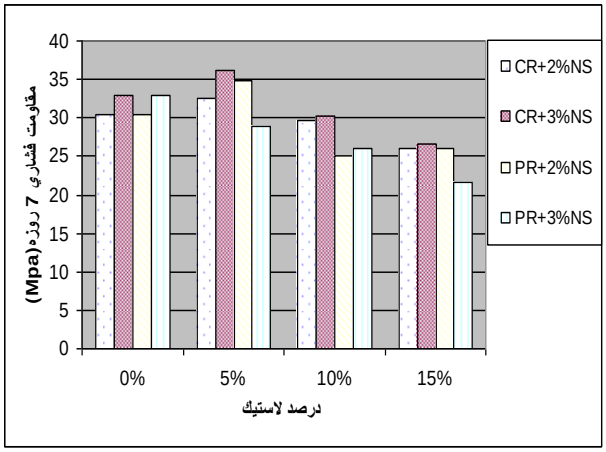
۳-۲- اثر افزودن نانوسیلیس در بتن حاوي خرده لاستیک و پودرلاستیک

در شکل‌های(۵) و(۶) این موضوع بررسی شده است.

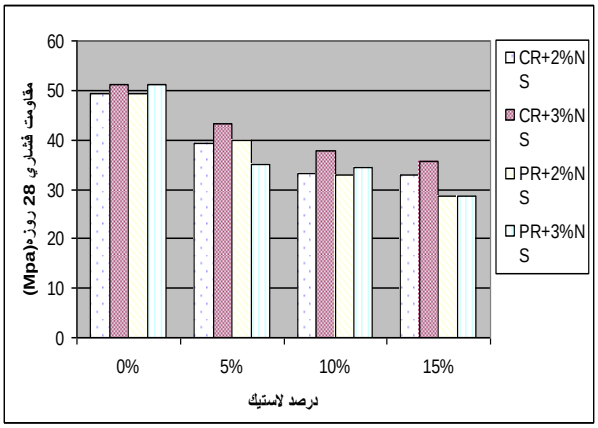
برای افزایش مقاومت فشاری به نمونه‌های حاوی خرده لاستیک و حاوی پودر لاستیک میزان ۲ و ۳ درصد، نانوسیلیس اضافه شد. همان‌طور که در شکلهای ۵ و۶ دیده می‌شود، افزودن نانوسیلیس با مقادیر کم خرده لاستیک، سبب بهبود مقاومت فشاری می‌شود به‌طوری که با افزودن ۳ درصد نانوسیلیس به بتن حاوی خرده لاستیک بهبود مقاومت فشاری بیشتری را نسبت به سایر نمونه‌ها داریم. در اثر افزودن ۳ درصد نانوسیلیس به بتن حاوی ۵ درصد خرده لاستیک (CRNSC5-3) مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه، میزان ۱۴ و ۹ درصد نسبت به بتن شاهد افزایش یافت. این افزایش به این دلیل است که نانوسیلیس به پر نمودن حفرات نانومتری در خمیر سیمان کمک نموده و سبب ایجاد بافتی متراکم‌تر می‌شود که این عامل سبب افزایش مقاومت فشاری در بتن می‌شود. ولی با افزایش۱۰ و ۱۵ درصد خرده لاستیک در بتن، افزودن نانوسیلیس اثر آن‌چنانی در بهبود مقاومت فشاری نداشت. هم‌چنین با افزودن نانوسیلیس به بتن حاوی پودر لاستیک اثر آن‌چنانی در بهبود مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه دیده نشد.

نکته بسیار مهمی که در مورد استفاده از نانو مواد و بخصوص نانوسیلیس در بتن باید اشاره شود آن است که زمانی که از نانوسیلیس در بتن استفاده می‌شود به شدت با کمبود آب در بتن مواجه می‌شویم. این امر باعث کاهش شدید روانی بتن و سخت شدن آن می‌شود که درنتیجه باعث کاهش اسلامپ بتن شده و عمل تراکم در قالب ریزی به خوبی انجام نمی‌شود.

بنابراین برای حل مشکل فوق و جبران کمبود آب محسوس در بتن، استفاده از فوق روان‌کننده‌های بسیار قوی در این نوع بتن الزامی است. هر چقدر مقدار نانوسیلیس مصرفی در بتن بیش‌تر باشد به همان میزان مقدار فوق روان‌کننده مورد نیاز برای آن طرح نیز بیش‌تر خواهد شد. اما با توجه به محدودیت استفاده از فوق روان‌کننده‌ها تا سقفی معین، شاهد این امر هستیم که در طرح‌های با درصد بالای نانو سیلیس و میزان آب به سیمان کمتر، هم‌چنان این نقیصه موجود بوده و فوق روان-کننده مصرف شده نتوانسته به میزان مطلوبی کمبود آب بتن را در این طرح‌ها جبران نماید، مگر اینکه از فوق روان‌کننده های قوی‌تری استفاده شود که بنابر اطلاعات موجود در مقطع زمانی حاضر، در بازار موجود نیست.



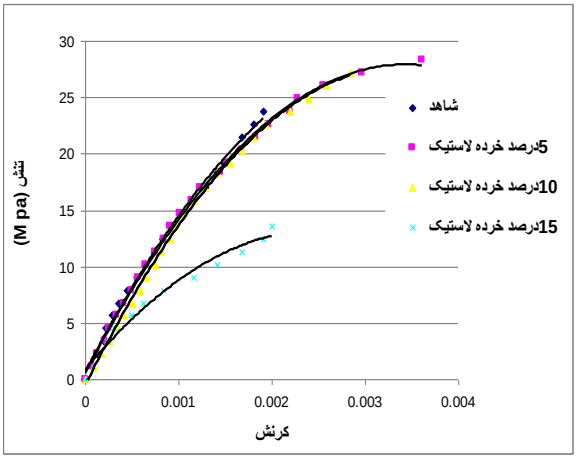
شکل (۵): مقایسه مقاومت فشاری ۷ روزه بتن حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه ۲ و۳ درصد نانوسیلیس



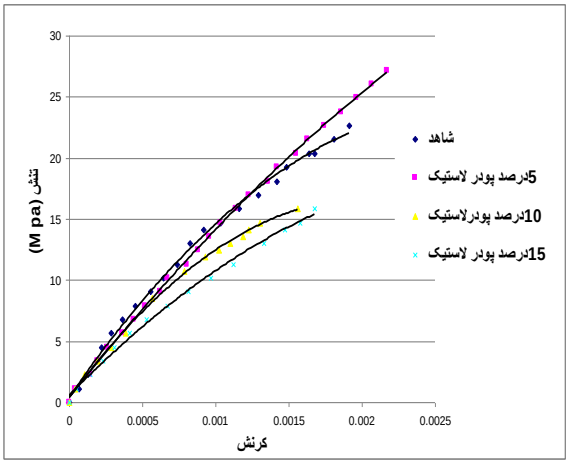
شکل (۶): مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه ۲ و۳ درصد نانوسیلیس

۳-۳- نمودار تنش - کرنش

نمودار تنش - کرنش بتن حاوی خرده لاستیک و پودر لاستیک در شکل (۷-الف) و (۷-ب) نشان داده شده است. اثر مثبت لاستیک در بتن را می‌توان در نحوه گسیختگی آن دید. با افزودن لاستیک در بتن، گسیختگی آرام‌تری را شاهد هستیم. بتن پس از رسیدن به بار نهایی و ترک‌خوردگی، گسیخته نشده و با تحمل بارهای کمتر به باربری ادامه می‌دهد. این رفتار نشان‌دهنده قابلیت جذب انرژی بالا و طاقت بالای بتن حاوی لاستیک تحت فشار است. همانطور که در نمودار تنش - کرنش شکل (۷-الف) دیده می‌شود؛ با افزودن ۵ و ۱۰ درصد خرده لاستیک، شاهد رفتار بهتری در جذب انرژی بتن نسبت به بتن هستیم؛ زیرا سطح زیر نمودار تنش - کرنش افزایش پیدا کرده است که نشان‌گر بهبود در جذب انرژی بتن است. ولی با افزایش لاستیک به ۱۵ درصد شاهد گسیختگی زود هنگام بتن هستیم. همچنین در اثر افزودن ۵ درصد پودر لاستیک نیز شاهد بهبود در جذب انرژی هستیم، ولی با افزودن ۱۰ و ۱۵ درصد پودر لاستیک بهبودی در منحنی تنش - کرنش دیده نمی‌شود.



شکل (۷-الف): نمودار تنش کرنش در اثر افزودن خرده لاستیک



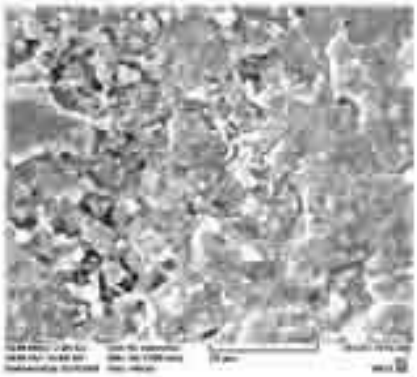
شکل (۷-ب): نمودار تنش کرنش در اثر افزودن پودر لاستیک

۳-٤- بررسي ريزساختاري

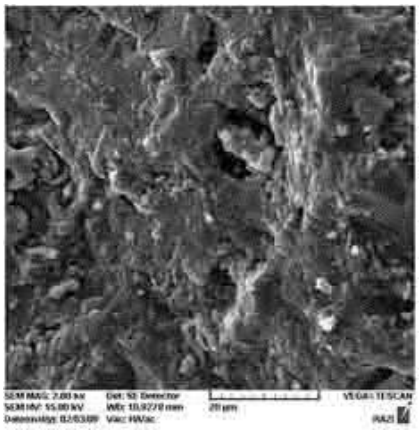
در شکل (۸)، عکس‌های SEM تهیه شده از نمونه شاهد، نمونه حاوی لاستیک و نمونه حاوی میکروسیلیس نشان داده شده است.

در شکل‌های (۸- ج) و (۸- د) نمونه حاوی لاستیک آورده شده است؛ لاستیک بین خمیر سیمان به صورت یک حفره قرار گرفته و پیوند ضعیفی با ملات سیمان برقرار نموده است. با توجه به شکل لاستیک می‌تواند در شروع ترک بتن به صورت یک مانع از رشد ترک جلوگیری کند و مانعی برای رشد ترک باشد. البته باید توجّه نمود درصورتی که مقدار لاستیک در بتن زیاد باشد به دلیل پیوندهای ضعیفی که با ملات سیمان برقرار می‌نماید؛ این عامل باعث کاهش مقاومت فشاری بتن خواهد شد.

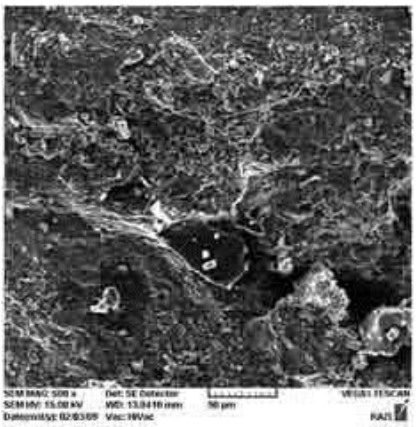
در عکس‌های گرفته شده از نمونه‌های حاوی نانو سیلیس شکل (۸-ب) دیده می‌شود که بافت ریزساختاری بتن همگونی و تراکم بیش‌تری نسبت به بتن شاهد شکل (۸- الف) دارد. اندازه و تعداد حفرات در نمونه‌های حاوی نانوسیلیس نسبت به نمونه شاهد به مراتب کمتر بوده و انسجام و یکپارچگی بافت خمیر بتن در این نمونه‌ها، نشان‌گر اثر مثبت این پوزولان بر بتن است 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.



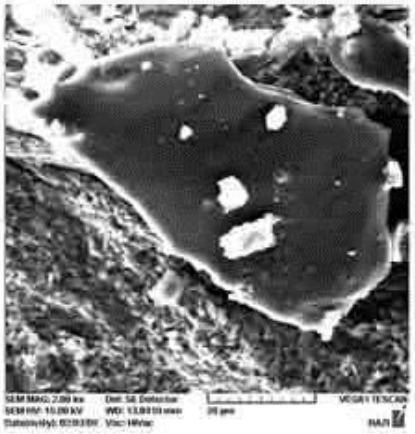
شکل (۸-الف): تصویر SEM نمونه شاهد



شکل(۸-ب): تصویر SEM نمونه حاوی نانوسیلیس



شکل(۸-ج): تصویر SEM نمونه حاوی لاستیک



شکل(۸-د): تصویر SEM نمونه حاوی لاستیک

٤- تیجه‌گیري

نتایج حاصل نشان می‌دهند که با افزایش درصد خرده لاستیک در بتن مقاومت فشاری کاهش می‌یابد و با افزودن نانوسیلیس می‌توان این کاهش مقاومت را بهبود بخشید.

با افزودن ۲ و ۳ درصد نانو سیلیس به نمونه‌های حاوی خرده لاستیک شاهد افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌های حاوی خرده لاستیک هستیم و علت این افزایش مقاومت این است که افزودن مواد نانو می‌تواند به پر نمودن حفرات نانومتری در خمیر سیمان کمک نماید و به پدید آمدن بافتی متراکم‌تر منجر شود و به این صورت کاهش مقاومت در اثر افزودن خرده لاستیک را بهبود می‌دهد.

با افزودن نانو سیلیس به بتن حاوی پودر لاستیک، اثر آن-چنانی در بهبود مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه دیده نشد.

با افزایش درصد لاستیک و نانو سیلیس شاهد کاهش اسلامپ و کارایی در بتن هستیم.

با افزایش درصد لاستیک در بتن، شاهد گسیختگی آرام‌تری هستیم. که این رفتار نشان‌دهنده قابلیت جذب انرژی بالا و طاقت بالای بتن حاوی لاستیک در فشار است؛ هم‌چنین با افزودن ۵٪ و ۱۰٪ خرده لاستیک و پودر لاستیک در بتن شاهد افزایش جذب انرژی در بتن هستیم و اثر بهبود جذب انرژی با افزودن خرده لاستیک در بتن بهتر از پودر لاستیک است.

با توجه به نتایج این مقاله در کل می‌توان با افزودن لاستیک سبب بهبود شکست ترد بتن شده و با افزودن پوزولان نانوسیلیس نیز مقاومت فشاری بتن حاوی لاستیک را بالا برد.

۵- مراجع

[۱] ابراهیمی، س.، "بتن با قابلیت جذب انرزی بالا با استفاده از لاستیک و پلی استایرن،" پایان نامه کارشناسی ارشد، صنعتی اصفهان، اصفهان.۱۳۸۵.

[۲] خرمی ،م.، "(امکان سنجی کاربرد لاستیک مستهلک شده در ساخت بتن) مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره:گ – ٤٤٧و١٣٨٥.

[۳] خسته بند، حامد، "بررسی اثر نانو سیلیس بر خواص مکانیکی بتن سبک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران (سازه)، دانشکده فنی و مهندسی نیکبخت، دانشگاه سیستان وبلوچستان، ۱۳۸۷.

[۴] Reda Taha,l, Abdel-Wahab, (2003), "Fracture toughness of concrete incorporating rubber tire particles", Icpm, a new era of building, cairo , egypt, feb. 18-20,.

[۵] Oivares,f.h., Barluenga, g., Bollati, M., And witoszek, b., (2002)., ''Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete,'' Cement and concrete research vol. 32, pp. 1587-1596

[۶]] Topcu, B, (1995), "the properties of rubberized concrete", cement and concrete research, vol. 25, no. 2, pp. 304-310,.

[۷] Rostami, H., Llepore, J., Silverstraim, T., Zundi,I., (1993)., "Use of recycled rubber tires in concrete", Proceedings of the international conference on concrete 2000, University of d undee, scotland, uk, pp. 391-399,

[۸] Raghvan, D., Huynh, H., Ferraris, c.f., (1998), "Workability, Mechanical properties and chemical stability of a recycled tire rubber-filled cementitious composite", Journal of m aterials science, vol. 33, no. 7, pp.1745-1752

[۹] Eldin, N.N., Senouci, a. b., (1993), "Rubber-tire particles as concrete aggregate,"Asce journal of materials in civil engineering, vol. 4, pp. 478-496, 1993.

[۱۰] Hai Huynh, Dharmaraj Raghavan, Chiara f . Ferraris, (1996), " Rubber particles from recycled tires in cementitious composite materials ",Department of chemistry , Howard University , washington dc 20 0 59,may.

[۱۱] Jo, B.W. et al., 2006, Characteristics of cement mortar withnano-SiO2 particles, Construction and Building Materials,Article inpress, doi: 9.1016/j.conbuildmat.2005.12.020

[۱۲] Hui Li , Hui-gang Xiao, Jie Yuan, Jinping Ou " Microstructure of cement mortar with nano-particles" 10 August 2002.

[۱۳] Byung-Wan Jo a, Chang-Hyun Kim a,*, Ghi-ho Tae b, Jong-Bin Park a," Characteristics of cement mortar with nano-SiO2 particles", Construction and Building Materials 21 (2007)

۶- زیر نویس

[1] concrete
[2] Crumb Rubber
[3] Powder Rubber
[4] Nano Silica