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

محمد كربلايي[i] *؛ محمد رضا سهرابي[ii]

## چكيده

به طور كلي لاستيک‌هاي بسيار زيادي در جهان توليد مي‌شود و امكان دفع اين زباله‌ها در محيط زيست وجود ندارد؛ زيرا تاير با سرعت بسيار كمي تجزيه مي‌شود؛ و آلودگي‌هاي زيادي توليد مي‌نمايد؛ بنابراين استفاده بهينه از اين ضايعات به يك ضرورت تبديل شده است. از ضايعات مي‌توان براي بهبود برخي خواص مكانيكي بتن استفاده نمود. در همين راستا در تحقيق حاضر، خواص مقاومت فشاري ۷ روزه و ۲۸ روزه خرده لاستيک و پودر لاستيک به همراه نانوسيليس مورد بررسي قرار گرفته است. نسبت آب به سيمان در طرح‌ها ثابت بوده و از خرده لاستيک به ابعاد ۹/۵ - ۴/۷۵ ميلي‌متر و پودر لاستيک به ابعاد ۰/ ۶ ميلي‌متر استفاده شده است. در اين مقاله مقدار لاستيک به صورت درصد وزني سيمان ۵% ،۱۰% و ۱۵% استفاده شده و نانوسيليس به ميزان ۲% و۳% به مخلوط‌هاي داراي لاستيک اضافه شده است كه شاهد بهبود نحوه شكست و افزايش مقاومت فشاري در اين نوع بتن هستيم.

## كلمات كليدي

بتن، پودر لاستيك، خرده لاستيك، نانوسيليس، مقاومت فشاري

# *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

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۸۸/۹/۳

تاريخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۳

[i] *نويسنده مسئول و كارشناسي ارشد عمران سازه، دانشكده فنی و مهندسي نيک بخت، دانشگاه سيستان و بلوچستان m.k.21310@gmail.com

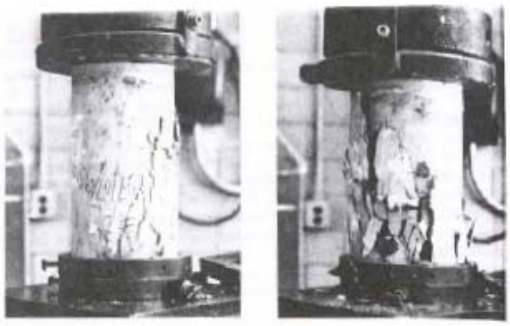
[ii] محمد رضا سهرابي استاديار و معاون پژوهشي دانشگاه سيستان و بلوچستانmrsohr@yahoo.com

## ۱- مقدمه

در عصر حاضر، وجود مواد زايد حاصل از فرايندهاي مختلف فيزيكي و شيميايي، يكي از معضلات مهم كشورهاي صنعتي و در حال توسعه است. به طوري كه تحقيقات وسيعي براي روش‌هاي بازيافت يا دفع آنها، براي به حداقل رساندن آسيب‌هاي وارده به محيط زيست در حال اجراست. در اين راستا محققان ساختمان نيز مانند ساير صنايع توليدي و بازيافت، در راستاي استفاده از اين مواد زايد به پيشرفت‌هايي دست يافته اند. يكي از مواردي كه به عنوان مواد غير قابل بازيافت وارد محيط زيست مي‌شود، لاستيک‌هاي مورد استفاده خودرو است. تحقيقات انجام شده نشان مي‌دهد، اين لاستيک‌ها از موادي تشكيل شده‌اند كه به دليل تجزيه نشدن در شرايط معمول، سبب ايجاد آلودگي‌هاي محيط زيست مي‌شوند. يكي از راه‌هاي تجزيه اين مواد، سوختن آن ها است. اما گاز حاصل از سوختن، آلودگي‌هاي زيادي به دنبال دارد. بر اساس تحقيقات انجام شده، يكي از راه‌هاي حذف آن‌ها، استفاده در بتن است. افزودن لاستيک در بتن باعث بهبود برخي از خصوصيات مكانيكي و ديناميكي بتن از قبيل جذب انرژي بيش‌تر بتن، امكان تغيير شكل بهتر و مقاومت در برابر ترک خوردگي مي‌شود. ولي افزودن لاستيك به بتن سبب كاهش در مقاومت فشاري بتن نيز مي‌شود. با افزودن نانوسيليس به بتن داراي لاستيك مي توان اين كاهش مقاومت را بهبود بخشيد [۱] و [۲].

تاها و همكاران درصدهاي مختلفي از لاستيک‌هاي ۵ تا ۲۰ ميلي‌متر را به بتن افزودند. در اين تحقيق با جايگزيني ۱۰۰ درصد حجمي درشت دانه‌هاي سنگي با لاستيک، مقاومت فشاري به ميزان ۷۵ درصد كاهش يافت. آنها اثر اساسي دانه‌هاي لاستيک بر روي مقاومت فشاري بتن را، مربوط به تغيير شكل و اندازه ناحيه انتقال از كنار دانه‌هاي سازه‌هاي سنگي به نزديک دانه‌هاي لاستيكي دانستند [ ۴ ]. اليوارس و همكاران در سال ۲۰۰۲ با جاي گزيني ۳/۵ و ۵ درصد حجمي لاستيک بازيافتي در يک ماتريس سيمان، ديدند كه افزودن اين ميزان لاستيک اثر چنداني بر روي مقاومت فشاري و هم‌چنين الاستيسيته ندارد [ ۵ ]. تاپكو، ريزدانه سنگي را با ريز دانه لاستيكي و درشت دانه سنگي را با درشت دانه لاستيكي جايگزين نمود. مقاومت فشاري استوانه‌اي ۶ ماهه بتن شاهد ۳۳/۶۷ مگا پاسكالي، با افزودن ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد ريز دانه لاستيكي به ترتيب به ۲۰/۲۳، ۱۱/۰۶و۷/۱۶ مگا پاسكال و با افزودن همين مقدار درشت دانه لاستيكي به ۷۵/ ۱۵، ۱۰/۸۲ و ۷/۷۲ مگا پاسكال كاهش يافت. اين مسأله نشان مي‌دهد كه درشت دانه لاستيكي، كاهش مقاومت بيش‌تري را نسبت به ريز دانه لاستيكي از خود نشان مي‌دهد. آنها هم‌چنين گزارش دادند كه نمونه‌ها بعد از گسيختگي، بار قابل توجهي را تحمل مي‌كنند و جابجايي هاي قابل توجهي را بدون از هم پاشيدن كامل متحمل مي‌نمايند؛ كه اين جابجايي‌ها و تغيير شكل‌ها، اغلب بعد از بار برداري، قابل بازگشت است[۶]. تحقيقات نشان مي‌دهند كه اگر دانه‌هاي لاستيكي سطح خشن‌تري داشته باشند يا پيش عمل‌آوري روي آن‌ها انجام شود؛ چسبندگي بهتري بين آن‌ها با مخلوط بتني ايجاد مي‌شود و بنابراين ممكن است منجر به ايجاد مقاومت فشاري بالاتري شود. پيش عمل‌آوري مي‌تواند از راه شستن دانه‌هاي لاستيكي با آب يا ا سيد يا غيره باشد [ ۷ ]. آلبانو و همكاران مقاومت فشاري بتن حاوي مقادير لاستيک با ابعاد مختلف و عمل‌آوري‌هاي متفاوت را مورد بررسي قرار دادند. آنها نتيجه گرفتند كه مقاومت فشاري بتن با خرده لاستيک در مقايسه با بتن معمولي كاهش شديدي دارد. به طوري كه در كامپوزيت‌هاي حاوي ۵ درصد لاستيک با ابعاد ۵۹/ . ميلي‌متر، حدود ۶۰ درصد كاهش مقاومت وجود دارد و با افزايش محتواي لاستيک به ۱۰ درصد وزني، مقاومت فشاري ۸۸ درصد كاهش يافت. آن‌ها عامل اين كاهش را سوراخ‌هاي ريز موجود در دانه‌هاي لاستيكي دانستند كه به طور معمول با آب پر شده و موجب ايجاد حفراتي در مخلوط مي‌شدند [ ۸ ]. الدين و سينوسي، نيز درشت دانه موجود در بتن را با خرده لاستيک و ماسه موجود در بتن را با پودر لاستيک جايگزين نمودند. در اين تحقيق لاستيک‌هاي فرسوده مورد استفاده، توسط آب پيش عمل‌آوري شده بودند. همان‌طور كه مشاهده مي‌شود بيش‌ترين مقاومت فشاري با ۱۰۰ درصد جايگزيني درشت دانه‌هاي سنگي با خرده‌هاي لاستيک، به ميزان ۸۵ درصد است. اما در اثر جاي گزيني ماسه با ريزدانه‌هاي لاستيكي، مقاومت فشاري حداكثر ۶۵ درصد كاهش مي يابد [ ۹]. هاي هيون در سال ۱۹۹۶ خرده‌هاي لاستيک با ابعاد ۴/۷۵ ميلي‌متر ۱ تا ۱۰ درصد وزني نسبت به سيمان به مخلوط بتن اضافه نمودند و تغيير چنداني در مقاومت فشاري ديده نشد [۱۰].

شكل (۱) نمونه‌هاي بتن حاوي درشت دانه لاستيك تحت فشار را نشان مي‌دهد. اين عكس‌ها نشان مي‌دهد كه نمونه‌ها بار فشاري زيادي را بعد از گسيختگي تحمل مي‌كنند و تغيير مكان‌هاي زيادي را بدون متلاشي شدن دارند. اين جابجايي‌ها و



شكل (۱): گسيختگي نمونه‌هاي حاوي درشت دانه لاستيكي تحت فشار [ ۹ ]

تغيير شكل‌هاي بزرگ، پس از باربرداري قابل بازگشت هستند. اين رفتار نشان‌دهنده جذب انرژي بالاي بتن حاوي لاستيك است [۹].

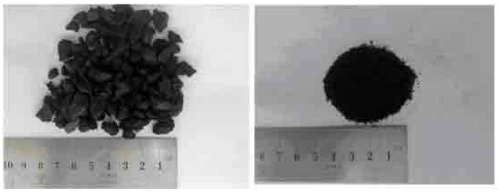
در سال ۲۰۰۶ جو و همكارانش نشان دادند كه افزودن مواد نانو مي‌تواند به بهبود مقاومت فشاري بتن كمك زيادي بنمايد. آن‌ها به مقايسه اثر افزودني‌هاي پوزلاني معمول مانند: دوده سيليس و نانو پرداختند. افزودني‌هاي نانو با وارد شدن به خمير سيمان به شدت وارد واكنش‌هاي هيدراسيون مي‌شوند، حال آنكه بيش‌تر افزودني‌هاي رايج پس از طي يک دوره انفعالي شروع به مشاركت در هيدراسيون مي‌نمايند [۱۱]. لي و همكاران به اين نتيجه رسيدند كه يكي از نقاط ضعف بتن، لايه خمير سيمان در مجاورت سنگدانه‌ها است و به طور معمول گسيختگي از اين لايه آغاز مي‌شود. وجود بلورهاي سوزني شكل به تعداد زياد در اين محدوده به تمركز تنش و گسيختگي بتن مي‌شود. با كاربرد مواد نانو، اين سطح ناهموار، هموارتر مي شود و مي‌تواند مسير مناسب‌تري براي انتقال نيرو فراهم آورد. به جز مواردي كه گفته شد، افزودن مواد نانو مي‌تواند به پر نمودن حفرات نانو متري در خمير سيمان كمك نمايد و به پديد آمدن بافتي متراكم‌تر منجر شود [ ۱۲ ] و [ ۳ ]. وان جو در سال ۲۰۰۷ تحقيقي در مورد بتن حاوي سيليكا فوم و بتن حاوي نانوسيليس ارائه نمود كه نتايج مقاومت فشاري ۷ و ۲۸ روزه نمونه‌ها در جدول (۱) آورده شده است. ديده مي‌شود كه در هر نمونه حاوي ذرات نانوسيليس، ميزان افزايش مقاومت فشاري نسبت به نمونه ديگر تغييرات زيادي دارد. مشهود است كه اثر نانو ذرات روي واكنش پوزولاني بيش‌تر از سيليكا فوم است. نانوسيليس بهتر از سيليكا فوم منافذ را براي افزايش مقاومت پر مي‌نمايد. بنابراين، مشخص است كه افزودن نانوسيليس به ملات سيمان، خواص مقاومتي را بهبود مي‌بخشد [۱۳].

جدول (۱): مقايسه مقاومت فشاري بتن حاوي نانوسيليس

| 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 اين تحقيق از خرده لاستيک و پودر لاستيك با درصدهاي وزني ۵،۱۰ و ۱۵ درصد وزني سيمان استفاده نموده و به مخلوط بتن اضافه شده است. نانوسيليس نيز به ميزان ۲ و ۳ درصد وزني سيمان، جايگزين سيمان شده و به مخلوط‌هاي حاوي خرده لاستيک و پودر لاستيك اضافه شد. بدين منظور ۲۱ طرح مختلف بر اساس آيين نامه ACI براي ساخت نمونه‌ها تهيه شده و در مجموع ۱۲۶ نمونه مكعبي ۱۰×۱۰×۱۰ سانتي‌متري براي تعيين مقاومت فشاري ۷ و ۲۸ روزه بتن ساخته شد. مقدار سيمان ۴۰۰ كيلوگرم بر متر مكعب و نسبت آب به سيمان مقدار ۰/ ۵، در نظر گرفته شد. با توجه به كم بودن نسبت آب به سيمان مقدار ۲ تا ۲/۵ درصد فوق روان‌كننده M-63 بر حسب درصد وزني سيمان استفاده شد. در ساخت نمونه‌ها از سيمان تيپ ۲ كارخانه سيمان قاين استفاده شد. مصالح ريزدانه، با دانه‌بندي استاندارد ۴/۷۵ - ۰ ميلي‌متر و مدول نرمي ۳ بودند. مصالح درشت دانه داراي دانه‌بندي استاندارد ۱۲/۵ – ۴/۷۵ ميلي‌متر و از نوع شكسته شده بودند. دانه لاستيكي مصرفي از خرد شدن ضايعات لاستيک تايرهاي كاميون توسط مجتمع صنايع لاستيک ايساتيس يزد با مدول الاستيسيته ۲۲ و مقاومت كششي ۲۸ مگا پاسكال بوده است. در ابتدا خرده لاستيک با ابعاد ۴/۷۵ تا ۹/۵ ميلي‌متر و پودر لاستيك به ابعاد ۰/۶ ميلي‌متر (شكل۲)، با درصدهاي ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزني سيمان، به مخلوط اضافه شد. در مرحله بعد به مخلوط بتن حاوي خرده لاستيک و بتن حاوي پودر لاستيك، ۲ و ۳ درصد نانوسيليس (جدول ۲) جايگزين سيمان اضافه شد. نمونه‌ها در شرايط استاندارد در محيط مرطوب نگهداري شد؛ و مقاومت فشاري ۷ و ۲۸ روزه مورد بررسي قرار گرفت.



شكل (۲): خرده لاستيک و پودر لاستيک مصرفي

جدول (۲): خصوصيات شيميايي و فيزيكي نانوسيليس

| | |
|---|---|
| خلوص وزني سيليس در محلول (درصد) | %۴۰ |
| PH محلول | ۶/۵ |
| سايز ذرات | ۹ تا ۱۰ نانومتر |
| سطح مخصوص $m^2/gr$ | تا ۴۵۰ |

## ۳- نتايج

نتايج آزمايش‌هاي انجام شده بر روي نمونه‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول (۳): نتايج مقاومت فشاري ۷ و ۲۸ روزه

| نوع نمونه | مقاومت فشاري ۷ روزه (مگا پاسكال) | مقاومت فشاري ۲۸ روزه (مگا پاسكال) |
|---|---|---|
| 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 |

گفتني است (نام گذاري) طرح‌ها در جدول فوق عبارت است از:

C[1]: بتن معمولي.

CR[2]: خرده لاستيك.

PR[3] : پودر لاستيك.

SF NS[4] : نانوسيليس.

به عنوان مثال

C: بتن ساده.

CRC5: بتن حاوي ۵ درصد خرده لاستيك.

PRC10: بتن حاوي ۱۰ درصد پودر لاستيك.

NSC2: بتن حاوي۲ درصد نانوسيليس.

CRNSC15-3: بتن حاوي ۱۵ درصد خرده لاستيك به همراه ۳ درصد نانوسيليس.

PRNSC10-2: بتن حاوي ۱۰ درصد پودر لاستيك به همراه ۲ درصد نانوسيليس.

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

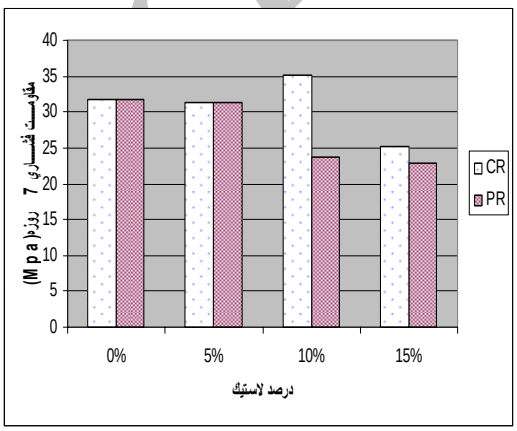
در شكل‌هاي (۳) و (۴) اين موضوع بررسي شده است.

براي بررسي اثر خرده لاستيك و پودر لاستيك در بتن، خرده لاستيک با ابعاد ۹/۵ - ۴/۷۵ ميلي‌متر و پودر لاستيک با ابعاد ۰/۶ ميلی‌متر با نسبت‌های ۵، ۱۰، و ۱۵ درصد وزنی سيمان به مخلوط اضافه شد. با توجّه به شكل؛ در اثر افزودن خرده لاستيك به بتن، بيش‌ترين مقاومت فشاري ۷ روزه را نمونه حاوي ۱۰ درصد خرده لاستيک ( CRC10 ) دارد؛ كه افزايش مقاومت ۱۱ درصدي نسبت به بتن را شاهد هستيم و كم‌ترين مقاومت فشاري ۷ روزه مربوط به نمونه حاوي ۱۵ درصد خرده لاستيک (CRC15 ) است. بيش‌ترين مقاومت فشاري ۲۸ روزه، در نمونه حاوي ۱۰ درصد خرده لاستيک (CRC10 ) ديده مي‌شود؛ كه شاهد افزايش ۶ درصدي نسبت به بتن هستيم. كم‌ترين مقاومت ۲۸ روزه در نمونه حاوي ۱۵ درصد خرده لاستيک ( CRC15 ) ايجاد مي‌شود كه سبب كاهش مقاومت ۲۳ درصدي نسبت به بتن شاهد هستيم.

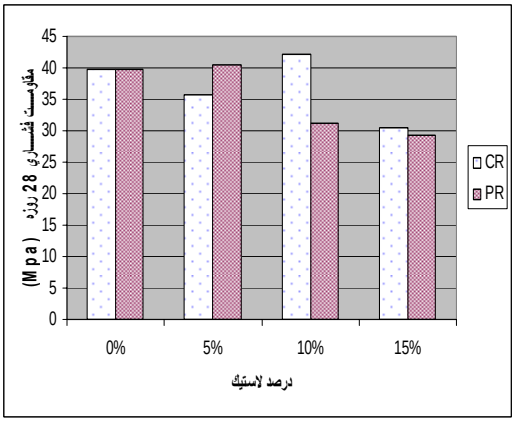
همان‌طور كه ديده مي‌شود؛ در اثر افزودن پودر لاستيك به بتن، مقاومت فشاري ۷ روزه كاهش مي‌يابد؛ بطوريكه با افزودن ۱۵ درصد پودر لاستيك (PRC15 )، كاهش مقاومت ۲۸ درصدي نسبت به بتن را شاهد هستيم. هم‌چنين مقاومت فشاري ۲۸ روزه نيز، با افزودن بيش‌تر پودر لاستيك كاهش مي‌يابد؛ به طوري كه با افزودن ۱۵ درصد پودر لاستيك (PRC15 ) كاهش مقاومت ۲۶ درصد نسبت به بتن را شاهد هستيم.

افزودن پودر لاستيک و خرده لاستيک در مقدارهاي پايين ۵ درصد، اثر زيادي در مقاومت ۷ و ۲۷ روزه ندارد. با افزايش درصد خرده لاستيک و پودر لاستيک در بتن، شاهد كاهش

مقاومت فشاري ۷ و ۲۸ روزه هستيم كه اثر كاهش مقاومت در پودر لاستيک بيش‌تر از خرده لاستيک است. علّت كاهش مقاومت با افزايش درصد لاستيک در بتن آن است كه لاستيک در مخلوط بتن جايگزين سنگدانه، ريزدانه و سيمان مي‌شود و از حجم اين مواد در بتن مي‌كاهد. از طرفي مقاومت فشاري بتن به خواص فيزيكي و مكانيكي اين مواد (كه برتري زيادي نسبت به لاستيک جايگزين دارند) بستگي دارد. در نتيجه كاهش مقاومت بتن با درصدهاي بالاي لاستيک قابل پيش‌بيني است. دليل اينكه پودر لاستيك، كاهش مقاومت بيش‌تري را نسبت به خرده لاستيك ايجاد مي‌نمايد؛ اين است كه يك مقدار معين از پودر لاستيك در مخلوط بتن، تعداد پيوندهاي ضعيف بيش‌تري را به علّت بالا بودن سطح تماس ذارات پودر لاستيك، نسبت به خرده لاستيك، ايجاد مي‌نمايد؛ و اين پيوندهاي ضعيف باعث گسيختگي زودتر نمونه حاوي پودر لاستيك نسبت به نمونه حاوي خرده لاستيك مي‌شود.




شكل (۳): مقايسه مقاومت فشاري ۷ روزه بتن حاوي خرده لاستيك و پودر لاستيك




شكل (۴): مقايسه مقاومت فشاري ۲۸ روزه بتن حاوي خرده لاستيك و پودر لاستيك

## ۳-۲- اثر افزودن نانوسيليس در بتن حاوي خرده لاستيك و پودرلاستيك

در شكل‌هاي(۵) و(۶) اين موضوع بررسي شده است.

براي افزايش مقاومت فشاري به نمونه‌هاي حاوي خرده لاستيك و حاوي پودر لاستيك ميزان ۲ و ۳ درصد، نانوسيليس اضافه شد. همان‌طور كه در شكلهاي ۵ و۶ ديده مي‌شود، افزودن نانوسيليس با مقادير كم خرده لاستيک، سبب بهبود مقاومت فشاري مي‌شود به‌طوري كه با افزودن ۳ درصد نانوسيليس به بتن حاوي خرده لاستيک بهبود مقاومت فشاري بيشتري را نسبت به ساير نمونه‌ها داريم. در اثر افزودن ۳ درصد نانوسيليس به بتن حاوي ۵ درصد خرده لاستيك (CRNSC5-3) مقاومت فشاري ۷ و ۲۸ روزه، ميزان ۱۴ و ۹ درصد نسبت به بتن شاهد افزايش يافت. اين افزايش به اين دليل است كه نانوسيليس به پر نمودن حفرات نانومتري در خمير سيمان كمک نموده و سبب ايجاد بافتي متراكم‌تر مي‌شود كه اين عامل سبب افزايش مقاومت فشاري در بتن مي‌شود. ولي با افزايش۱۰ و ۱۵ درصد خرده لاستيک در بتن، افزودن نانوسيليس اثر آن‌چناني در بهبود مقاومت فشاري نداشت. هم‌چنين با افزودن نانوسيليس به بتن حاوي پودر لاستيک اثر آن‌چناني در بهبود مقاومت فشاري ۷ و ۲۸ روزه ديده نشد.

نكته بسيار مهمي كه در مورد استفاده از نانو مواد و بخصوص نانوسيليس در بتن بايد اشاره شود آن است كه زماني كه از نانوسيليس در بتن استفاده مي‌شود به شدت با كمبود آب در بتن مواجه مي‌شويم. اين امر باعث كاهش شديد رواني بتن و سخت شدن آن مي‌شود كه درنتيجه باعث كاهش اسلامپ بتن شده و عمل تراكم در قالب ريزي به خوبي انجام نمي‌شود.

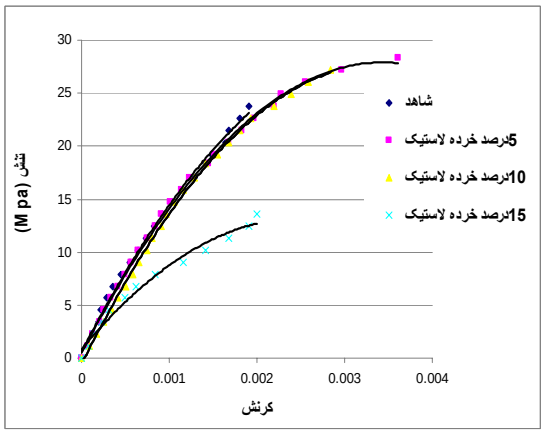
بنابراين براي حل مشكل فوق و جبران كمبود آب محسوس در بتن، استفاده از فوق روان‌كننده‌هاي بسيار قوي در اين نوع بتن الزامي است. هر چقدر مقدار نانوسيليس مصرفي در بتن بيش‌تر باشد به همان ميزان مقدار فوق روان‌كننده مورد نياز براي آن طرح نيز بيش‌تر خواهد شد. اما با توجه به محدوديت استفاده از فوق روان‌كننده‌ها تا سقفي معين، شاهد اين امر هستيم كه در طرح‌هاي با درصد بالاي نانو سيليس و ميزان آب به سيمان كمتر، هم‌چنان اين نقيصه موجود بوده و فوق روان-كننده مصرف شده نتوانسته به ميزان مطلوبي كمبود آب بتن را در اين طرح‌ها جبران نمايد، مگر اينكه از فوق روان‌كننده هاي قوي‌تري استفاده شود كه بنابر اطلاعات موجود در مقطع زماني حاضر، در بازار موجود نيست.


شكل (۵): مقايسه مقاومت فشاري ۷ روزه بتن حاوي خرده لاستيك و پودر لاستيك به همراه ۲ و۳ درصد نانوسيليس

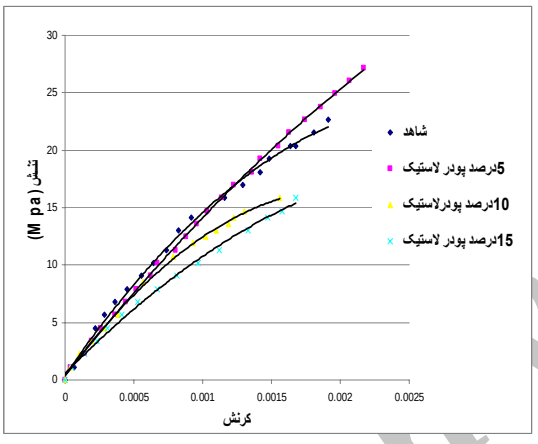

شكل (۶): مقايسه مقاومت فشاري ۲۸ روزه بتن حاوي خرده لاستيك و پودر لاستيك به همراه ۲ و۳ درصد نانوسيليس

## ۳-۳- نمودار تنش - كرنش

نمودار تنش - كرنش بتن حاوي خرده لاستيك و پودر لاستيك در شكل (۷-الف) و (۷-ب) نشان داده شده است. اثر مثبت لاستيک در بتن را مي‌توان در نحوه گسيختگي آن ديد. با افزودن لاستيك در بتن، گسيختگي آرام‌تري را شاهد هستيم. بتن پس از رسيدن به بار نهايي و ترک‌خوردگي، گسيخته نشده و با تحمل بارهاي كمتر به باربري ادامه مي‌دهد. اين رفتار نشان‌دهنده قابليت جذب انرژي بالا و طاقت بالاي بتن حاوي لاستيک تحت فشار است. همانطور كه در نمودار تنش - كرنش شكل (۷-الف) ديده مي‌شود؛ با افزودن ۵ و ۱۰ درصد خرده لاستيک، شاهد رفتار بهتري در جذب انرژي بتن نسبت به بتن هستيم؛ زيرا سطح زير نمودار تنش - كرنش افزايش پيدا كرده است كه نشان‌گر بهبود در جذب انرژي بتن است. ولي با افزايش لاستيک به ۱۵ درصد شاهد گسيختگي زود هنگام بتن هستيم. هم‌چنين در اثر افزودن ۵ درصد پودر لاستيک نيز شاهد بهبود در جذب انرژي هستيم، ولي با افزودن ۱۰ و ۱۵ درصد پودر لاستيک بهبودي در منحني تنش - كرنش ديده نمي‌شود.




شكل (۷-الف): نمودار تنش كرنش در اثر افزودن خرده لاستيک



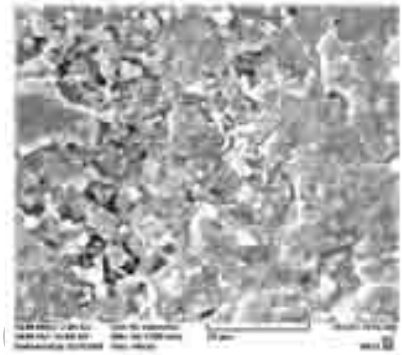

شكل (۷-ب): نمودار تنش كرنش در اثر افزودن پودر لاستيک

## ۳-۴- بررسي ريزساختاري

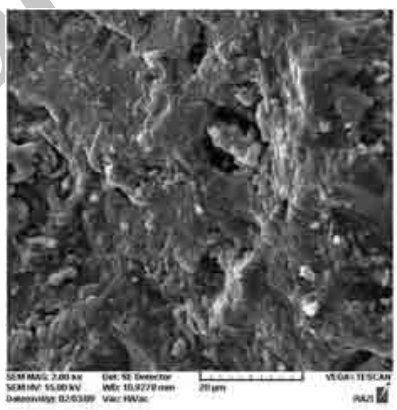
در شكل (۸)، عكس‌هاي SEM تهيه شده از نمونه شاهد، نمونه حاوي لاستيك و نمونه حاوي ميكروسيليس نشان داده شده است.

در شكل‌هاي (۸- ج) و (۸- د) نمونه حاوي لاستيك آورده شده است؛ لاستيك بين خمير سيمان به صورت يك حفره قرار گرفته و پيوند ضعيفي با ملات سيمان برقرار نموده است. با توجه به شكل لاستيك مي‌تواند در شروع ترك بتن به صورت يك مانع از رشد ترك جلوگيري كند و مانعي براي رشد ترك باشد. البته بايد توجّه نمود درصورتي كه مقدار لاستيك در بتن زياد باشد به دليل پيوندهاي ضعيفي كه با ملات سيمان برقرار مي‌نمايد؛ اين عامل باعث كاهش مقاومت فشاري بتن خواهد شد.

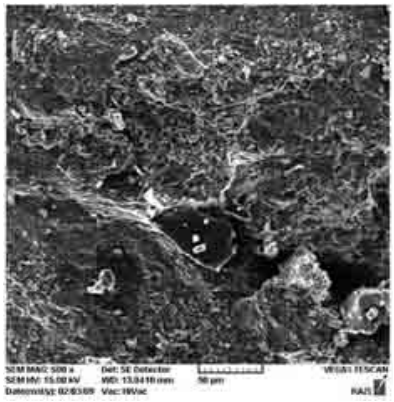
در عكس‌هاي گرفته شده از نمونه‌هاي حاوي نانو سيليس شكل ( ٨-ب) ديده مي‌شود كه بافت ريزساختاري بتن هم‌گوني و تراكم بيش‌تري نسبت به بتن شاهد شكل (٨- الف) دارد. اندازه و تعداد حفرات در نمونه‌هاي حاوي نانوسيليس نسبت به نمونه شاهد به مراتب كمتر بوده و انسجام و يكپارچگي بافت خمير بتن در اين نمونه‌ها، نشان‌گر اثر مثبت اين پوزولان بر بتن است و مي‌توان با افزودن اين پوزولان‌ها در بتن مقاومت فشاري بتن حاوي لاستيك را بهبود بخشيده و به بتني با خواص مكانيكي بهتر دست يافت.



شكل (٨-الف): تصوير SEM نمونه شاهد



شكل(٨-ب): تصوير SEM نمونه حاوي نانوسيليس



شكل(٨-ج): تصوير SEM نمونه حاوي لاستيک

شكل(٨-د): تصوير SEM نمونه حاوي لاستيک

## ٤- تيجه‌گيري

نتايج حاصل نشان مي‌دهند كه با افزايش درصد خرده لاستيک در بتن مقاومت فشاري كاهش مي‌يابد و با افزودن نانوسيليس مي‌توان اين كاهش مقاومت را بهبود بخشيد.

با افزودن ٢ و ٣ درصد نانو سيليس به نمونه‌هاي حاوي خرده لاستيک شاهد افزايش مقاومت فشاري نسبت به نمونه‌هاي حاوي خرده لاستيك هستيم و علت اين افزايش مقاومت اين است كه افزودن مواد نانو مي‌تواند به پر نمودن حفرات نانومتري در خمير سيمان كمک نمايد و به پديد آمدن بافتي متراكم‌تر منجر شود و به اين صورت كاهش مقاومت در اثر افزودن خرده لاستيك را بهبود مي‌دهد.

با افزودن نانو سيليس به بتن حاوي پودر لاستيک، اثر آن-چناني در بهبود مقاومت فشاري ٧ و ٢٨ روزه ديده نشد.

با افزايش درصد لاستيک و نانو سيليس شاهد كاهش اسلامپ و كارايي در بتن هستيم.

با افزايش درصد لاستيک در بتن، شاهد گسيختگي آرام‌تري هستيم. كه اين رفتار نشان‌دهنده قابليت جذب انرژي بالا و طاقت بالاي بتن حاوي لاستيک در فشار است؛ هم‌چنين با افزودن ٥% و ١٠% خرده لاستيک و پودر لاستيک در بتن شاهد افزايش جذب انرژي در بتن هستيم و اثر بهبود جذب انرژي با افزودن خرده لاستيک در بتن بهتر از پودر لاستيک است.

با توجه به نتايج اين مقاله در كل مي‌توان با افزودن لاستيک سبب بهبود شكست ترد بتن شده و با افزودن پوزولان نانوسيليس نيز مقاومت فشاري بتن حاوي لاستيک را بالا برد.

## ۵- مراجع


[۱] ابراهيمي، س.، "بتن با قابليت جذب انرزي بالا با استفاده از لاستيك و پلي استايرن،" پايان نامه كارشناسي ارشد، صنعتي اصفهان، اصفهان.۱۳۸۵.

[۲] خرمي ،م.، "(امكان سنجي كاربرد لاستيك مستهلك شده در ساخت بتن) مركز تحقيقات ساختمان و مسكن، نشريه شماره:گ – ٤٤٧و۱۳۸۵.

[۳] خسته بند، حامد، "بررسي اثر نانو سيليس بر خواص مكانيكي بتن سبك، پايان‌نامه كارشناسي ارشد مهندسي عمران (سازه)، دانشكده فني و مهندسي نيكبخت، دانشگاه سيستان 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- زير نويس

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