Civil and Project Journal, 2024, 6(9), 84-106
https://doi.org/10.22034/cpj.2024.463574.1301

Civil and Project Journal
http://www.cpjournals.com/

Research Article

Effect of rubber crumb and rubber powder performance on mechanical properties of concrete containing micro silica

Faezeh Nejati[1]*

1- Assistant. Professor., Department of Civil Engineering, Ayandegan institute of Higher Education, Tonkabon, Iran

Received: 18 June 2024; Revised: 21 June 2024; Accepted: 25 July 2024; Published: 25 July 2024

Abstract

With the increase in population, the problem of waste disposal is one of the concerns of human societies, which becomes more important every day, because with the increase in population, the waste produced increases and we need to consume energy to burn them. So recycling materials, as far as possible, is one of the best solutions for waste disposal and its circulation in the industry. Due to the increase in the number of cars, waste tires are one of the important wastes. Finally, if rubber can be used in concrete and the construction industry, its waste production will be reduced and the damage to the environment will be reduced and less resources will be extracted.

In this research, 5 different samples were tested, the control sample, the sample containing micro-silica powder, the sample containing 10% rubber powder less than 1 mm in size, the sample containing 10% rubber shards 3 to 5 mm in size, and the sample containing 5% powder Rubber and 5% rubber crumb were used to compare the 28-day compressive strength of concrete, the results show that the sample containing micro-silica has the highest compressive strength. Also, the use of rubber crumb will increase the 28-day compressive strength of concrete by 3% and the use of rubber powder will decrease the 28-day compressive strength of concrete by 11%. Also, the 28-day compressive strength of concrete with the simultaneous use of 5% rubber powder and 5% rubber crumb will be a witness.

Keywords: Concrete, rubber powder, environment, recycled, micro silica.

Cite this article as: nejati,F. (2024). Effect of rubber crumb and rubber powder performance on mechanical properties of concrete containing micro silica. (e198765). *Civil and Project*, *6*(9), e198765. https://doi.org/10.22034/cpj.2024.463574.1301

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2024 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: *Nejati@aihe.ac.ir*

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۳، ۶(۹)، ۱۰۶-۸۴
https://doi.org/10.22034/cpj.2024.463574.1301

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

تاثیر عملکرد خرده لاستیک و پودر لاستیک بر خواص مکانیکی بتن حاوی میکروسیلیس

فائزه نجاتی[1]*

*۱-استادیار، گروه عمران، موسسه آموزش عالی آیندگان، تنکابن، ایران

تاریخ دریافت: ۲۹ خرداد ۱۴۰۳؛ تاریخ بازنگری ۰۱ تیر ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش ۰۴ مرداد ۱۴۰۳؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۴ مرداد ۱۴۰۳

چکیده:

با افزایش جمعیت م شکل دفع زباله از دغدغه‌های جوامع ب شری می‌با شد، که هر روزه این م شکل قابل اهمیت‌تر می شود، زیرا با افزایش جمعیت، زباله تولید شده بیشتر می‌گردد و برای سوزاندن آن‌ها هم نیاز به مصرف انرژی داریم. پس بازیافت مواد، تا جایی‌که امکان دارد از بهترین راه‌حل ها برای دفع زباله و گردش آن به صنعت ا ست. لا ستیک ضایعاتی با توجه به افزاش خودرو از جمله ضایعاتی ا ست که قابل اهمیت ا ست. در نهایت اگر بتوان لا ستیک را در بتن و صنعت ساختمان به‌کار برد، از تولید زباله آن کا سته می شود و آ سیب به محیط زیست کمتر می‌گردد و منابع کمتری هم استخراج می‌گردند.

در این پژوهش ۵ نمونه مختلف مورد آزمایش قرار گرفت، نمونه شاهد، نمونه حاوی پودر میکرو سیلیس، نمونه حاوی ۱۰٪ پودر لا ستیک به ابعاد کمتر از ۱ میلی‌متر، نمونه حاوی ۱۰٪ خرده لاســـتیک به ابعاد ۳ تا ۵ میلی‌متر و نمونه حاوی ۵٪ پودر لاســـتیک و ۵٪ خرده لا ستیک بمنظور مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن و مقاومت کششی ا ستفاده گردید، نتایج نشان میدهد نمونه حاوی میکروسیلیس دارای بیشترین مقاومت فشاری می با شد. همچنین ا ستفاده از خرده لا ستیک سبب افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن به میزان ۳٪ و ا ستفاده از پودر لا ستیک سبب کاهش ۱۱ در صدی مقاومت ف شاری ۲۸ روزه بتن خواهد شد. همچنین مقاومت ف شاری ۲۸ روزه بتن با استفاده همزمان ۵٪ پودر لاستیک و ۵٪ خرده لاستیک مشابه نمونه شاهد خواهد بود.

کلمات کلیدی: *بتن، پودر لاستیک، محیط زیست، مواد بازیافتی، میکرو سیلیس.*

*پست الکترونیکی نویسنده مسوول:Nejati@aihe.ac.ir

۱- مقدمه

با افزایش جمعیت و نیاز بشر به خودرو همواره این صنعت درحال گسترش و پیشرفت می‌باشد. از لوازم اصلی خودرو می‌توان لاستیک را یاد کرد. لاستیک‌ها امروزه نقش بزرگی در چرخه‌ی صنعت خودرو دارند. که به‌دنبال این پیشرفت، انباشته‌شدن و تولید روزافزون لاستیک‌های ضایعاتی را شاهد هستیم. وجود لاستیک‌های ضایعاتی امروزه یکی از نگرانی‌های جوامع بشری است. چون به‌عنوان یکی از آلوده کننده‌های محیط‌زیست یاد می‌شود به‌دلیل اینکه تجزیه‌شدن آن‌ها در طبیعت و به‌دنبال آن آلودگی زیست‌محیطی که باعث رشد و پرورش حشرات می‌شود، امروزه یکی از دغدغه‌های کارشناسان محیط‌زیست می‌باشد. دراین‌صورت باید با پیشرفت این صنعت، برای بازیافت آن‌ها تدابیری صورت گیرد. ازجمله موارد بازیافت آن‌ها می‌توان به استفاده در سوخت کوره، تهیه‌ی دوده در رنگ‌سازی، تهیه در آسفالت و استفاده در بتن اشاره نمود (Oikonomou et al., 2004).

در پژوهشی آلبانو۱ و همکارانش (۲۰۰۵) ذرات لاستیک به ابعاد ۰/۵۹ میلی‌متر را جایگزین ریزدانه در بتن کردند. در یک حالت با جایگزینی ۵ درصدی لاستیک کاهش مقاومت فشاری۶۰ درصد و در جایگزینی۱۰ درصدی کاهش مقاومت ۸۸ درصدی را مشاهده نمودند. آن‌ها به ریز بودن ذرات لاستیک اشاره کردند که باعث ایجاد حفره‌هایی در بتن شده‌است و اسلامپ کم نمونه‌های حاوی لاستیک را ناشی از وجود حفره‌ها درون ذرات لاستیک دانسته که آب به داخل آن‌ها رفته و به همین دلیل اسلامپ کمی را دارند که این حفرات در بتن باقی‌مانده و باعث می‌شود تا بین خمیر سیمان و لاستیک پیوند و چسبندگی مناسبی ایجاد نشود، که همین عوامل باعث کاهش مقاومت فشاری در بتن حاوی لاستیک شده‌است(Albano et al., 2005) .

امروزه تامین مصالح ومواد موردنیاز برای ساخت بتن به‌دلیل کاهش سنگدانه‌های طبیعی و آسیب به محیط‌زیست از مسایلی است که مورد بررسی قرارمی‌گیرد(Khorami et al., 2006). با افزودن لاستیک در بتن باعث بهترشدن عملکرهایی مانند جذب انرژی بیشتر و امکان تغییرشکل بهتر و هم‌چنین باعث کنترل دربرابر ترک‌خوردگی می‌شود. ولی ازطرفی باعث کاهش مقاومت فشاری شده که این مشکل را با اضافه‌کردن پودرمیکروسیلیس به میزان ۱۰ درصد وزن سیمان مصرفی می‌توان برطرف نمود (کربلایی و همکاران، ۱۳۹۱). در طی سال‌های اخیر، اضافه‌کردن لاستیک به بتن مورد توجه محققان قرار گرفته‌است. محققان لاستیک را در بتن به صورت خرده لاستیک و پودرلاستیک استفاده کردند(Yousef et al., 2013).

افزایش جهانی در انباشته‌شدن لاستیک‌های زائد و نگرانی‌های زیست‌محیطی و اجتماعی آتی در حال تبدیل شدن به نگرانی اصلی جامعه‌ی بشری است. لاستیک‌های زباله در سطح جهانی منبعی کم ارزش محسوب می‌شوند و حجم انبوه آن‌ها برای دفع در محل‌های دفن زباله مورد استفاده قرار می‌گیرد. آتش زدن لاستیک از جمله راه‌حل برای دفع آن است که مشکلات زیست محیطی، مانند تبدیل شدن به محل پرورش پشه ها و سایر آفت‌ها دارد و هم چنین خاموش کردن آن پر هزینه و سخت می‌باشد بر همین اساس بازیافت آن‌ها به جای دفع لاستیک تاثیر قابل توجهی در دفع زباله دارد. الیافی که از لاستیک بازیافتی به‌دست می‌آید برای استفاده مجدد آن بسیار ارزشمند است. مواد تشکیل‌دهنده بتن برای ایجاد استحکام هستند، اما اضافه‌کردن مواد بازیافتی و استفاده دوباره از آن به بتن به کاهش آلودگی محیط‌زیست کمک می‌کند و مشکل مربوط به دفع زباله‌های مرتبط با تخلیه زباله‌های مختلف تا حدی قابل حل است (صدر و همکاران، ۱۳۹۵)

ازطرفی با توسعه فناوری، این امکان برای ما فراهم شده‌است تا بتوانیم بتن‌های توانمند و متفاوت‌تری با مواد بازیافتی تولید کنیم. درنتیجه می‌توان از این دو مشکل برای حل آن کمک گرفت. به‌این صورت که می‌توان از خرده لاستیک و پودر لاستیک برای جایگزینی مصالح درشت‌دانه و ریزدانه بتن استفاده نمود(Gerges et al., 2018).

به منظور بهترشدن شکننده بودن بتن و کاهش ترک خوردن بعد از بارگزاری و هم چنین افزایش خواص بتن، از الیاف لاستیک به صورت افزودنی در طرح اختلاط بتن استفاده می‌گردد (صدر و همکاران، ۱۳۹۷)

صالحی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) به اثر جایگزین کردن خورده لاستیک به میزان ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ درصد به‌جای سنگ‌دانه‌های طبیعی در بتن متخلخل پرداختند. آن‌ها آزمایش مقاومت فشاری و مقاومت کششی و تعیین درصد تخلخل و تعیین ضریب نفوذ پذیری را بر روی نمونه های خود انجام دادند. آن‌ها مشاهده کردند که در نمونه‌ای که ۱۰٪ خورده لاستیک را جایگزین کرده‌بودند، مقاومت فشاری در محیط عادی و محیط سولفاتی افزایش پیدا کرده‌است ولی مقاومت کششی نمونه تغییر چشم‌گیری نداشته‌است. آن‌ها با افزایش میزان درصد خورده لاستیک و افزایش میزان جایگزین کردن آن در بتن دریافتند که چون ترک‌های بین خمیر سیمان و خورده لاستیک بیشتر می‌شود، پس برای نفوذ و خروج آب از ماتریس بتن مسیرهای مناسبی ایجاد می‌گردد که باعث می‌شود درصد تخلخل و نفوذپذیری افزایش پیدا کند. درنتیجه طبق پژوهش آن‌ها جایگزین کردن خورده لاستیک ضایعاتی به‌جای سنگدانه‌ها باعث بهبود خواص بتن متخلخل می‌شود (صالحی زاده و همکاران، ۱۳۹۸)

شربی نیازی (۱۳۹۸) در پژوهش خود به‌جای سنگدانه از ۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد وزنی از سنگدانه‌های بازیافتی و به میزان ۱۰ درصد وزنی سیمان، میکروسیلیس را به‌جای سیمان استفاده‌نمود. و دو نمونه بدون میکروسیلیس و با میکروسیلیس که هر دو حاوی ۵۰ درصد سنگدانه بازیافتی به‌همراه ۱۰ درصد وزنی ماسه، پودر لاستیک را بررسی کرد.نتایج بیان کردند که وجود سنگدانه‌های بازیافتی باعث کاهش ۶ تا ۵۰ درصدی اسلامپ شده که با وجود میکروسیلیس و پودر لاستیک ۲۷ درصد افزایش یافته‌است. هم‌چنین سنگدانه‌های بازیافتی مقاومت فشاری را از ۴ تا ۱۶ درصد کاهش داده که با افزودن پودر لاستیک تا ۷۰ درصد کاهش می‌یابد، در صورتی‌که افزودن میکروسیلیس باعث افزایش ۲ تا ۳۷ درصدی مقاومت فشاری می‌گردد. و در نمونه‌های بدون پودر لاستیک و با پودر لاستیک به ترتیب ۷۲ و ۱۴ درصد مقاومت کششی کمتر و هم‌چنین ۷۷ و ۵ درصد مقاومت خمشی کمتری مشاهده شد (شربی نیازی و همکاران، ۱۳۹۸).

کاشانی و همکاران (۲۰۲۱) برای تعییین خصوصیات استاتیکی و دینامیکی بتن شامل ذرات لاستیک در سه ابعاد ۰-۱، ۱-۳ و ۳-۵ میلی‌متر جایگزین ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد ریزدانه در بتن را بررسی کردند. که نتایج نشان داد ذرات بزرگتر لاستیک در جایگاه ریزدانه عملکرد مناسبی داشته و با افزایش میزان لاستیک، مقاومت فشاری و مدول الاسیسیته استاتیکی و دینامیکی و وزن مخصوص کاهش یافته ولی انعطاف‌پذیری بتن افزایش یافته‌است(Kashani et al., 2021) .

در پژوهش دیگری پودر لاستیک به ابعاد ۰/۶ میلی‌متر به میزان ۵ و ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی سیمان و خرده لاستیک به ابعاد ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی‌متر با همان درصدها به بتن اضافه نمودند. آن‌ها مشاهده کردند که در درصدهای پایین جایگزینی مقدار قابل توجهی در مقاومت ۷ و ۲۸ روزه اختلاف نداشته ولی با میزان افزایش لاستیک کاهش مقاومت بیشتر شده‌است که در مقادیر جایگزینی پودر لاستیک به دلیل ریزتر بودن این و سطح تماس بیشتر نسبت به خرده لاستیک، تعداد بیشتری پیوند ضعیف ایجاد می‌شود که این پیوندها باعث از هم گسیخته شدن زودتر بتن نسبت به نمونه حاوی خرده لاستیک می‌شود(Sharbi Niazi et al., 2022) .

با جایگزین کردن لاستیک به‌جای سنگ‌دانه‌های معدنی باعث کاهش مقاومت فشاری می‌گردد ولی باعث مقاومت کششی بیشتر و مدول الاستیسیته کمتر در مقایسه با بتن معمولی می‌شود و باعث شکل‌پذیری و دوام و مقاومت بهتر در مقابل ضربه می‌شود (Moasas et al., 2022).

در سال ۲۰۲۲، ژیانگ[2] و همکاران در خصوص خواص مکانیکی و مقاومت یخ-ذوب ملات پلیمری مبتنی بر پلی اورتان با پودر لاستیک خرد شده تحقیق و بررسی نمودن. نتایج نشان داد که افزودن پودر لاستیک خرد شده، چقرمگی خمشی و مقاومت یخ-ذوب را بهبود می بخشد (Jiang et al., 2022).

یعقوبی‌نژاد و جهانگیری (۲۰۲۳) در تحقیقی از لاستیک پودری با درصدهای مختلف به جای ماسه و سیمان در بتن استفاده کردند. افزودن لاستیک به بتن باعث کاهش یافتن خواصی از جمله مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و سایر خواص بتن می‌گردد، پس در این مطالعه لاستیک

[2] Jiang

را به وسیله‌ی دو روش فیزیکی (فوم سیلیس و پوشش سیمانی) و سه روش شیمیایی (هیدروکسید سدیم، اسید سولفوریک و پرمنگنات پتاسیم) تقویت کردند. نتایج نشان داد که جایگزین‌کردن لاستیک پودری به ماسه از نظر مقاومت فشاری نتایج بهتری نسبت به جایگزینی با سیمان دارد. به طور کلی، مقاومت فشاری بتن و مقدار لاستیک تقریباً معکوس است. با افزایش مقدار لاستیک، مقاومت فشاری بتن در تمام روش‌های تقویتی کاهش می‌یابد، به استثنای تقویت شده توسط دوده سیلیس و پوشش سیمانی. دلیل کاهش پیداکردن مقاومت فشاری هم، آبگریزی می‌باشد زیرا این ویژگی لاستیک باعث می‌شود که نتواند به خوبی با سایر اجزای بتن مخلوط شود (Yaghobi Nejad et al., 2023).

در سال ۲۰۲۳، ویویانا[3] و همکاران در خصوص خواص ملات های حاوی خرده لاستیک و پودر شیشه تحقیق و بررسی نمودند. نتایج حاکی از آن است که لاستیک خرده‌دار استحکام فشاری و خمشی را کاهش می‌دهد اما رفتار حرارتی بیشتری داشت. ذرات پودر شیشه ریزتر باعث ایجاد اثر پرکننده بهتر و در نتیجه نتایج بهتر می شود. پودر شیشه توانست خواص مکانیکی و فیزیکی را بهبود بخشد و به مقادیر نزدیک به نمونه های شاهد برسد(Letelier et al., 2023).

با توجه به موارد گفته شده با به کار بردن لاستیک در بتن از یک طرف به حفظ محیط زیست کمک و از انباشته شدن یکی از آلوده کننده های محیط زیست جلوگیری خواهیم کرد و باعث بهتر شدن عملکرد بتن خواهد شد. حال سوال اصلی پژوهش این می باشد که استفاده از پودر لاستیک و خرده لاستیک کدام تاثیر بهتری در عملکرد بتن خواهد داشت؟ با توجه به اینکه تمامی مطالعات موجود تنها بر روی عملکرد پودر لاستیک و خرده لاستیک بصورت مجزا می باشد و مقایسه ای نسبت به تشریح عملکرد خرده لاستیک و پودر لاستیک با یکدیگر وجود ندارد، بر آن شدیم تا با مقایسه عملکرد هر کدام از آنها بتوان تصمیم مناسبتری در خصوص استفاده از این مواد بازیافتی با توجه به کارایی و عملکرد مقاومتی آنها داشته باشیم.

در این پژوهش به تاثیر اضافه کردن پودر لاستیک وخرده لاستیک در بتن حاوی میکروسیلیس بر خواص مکانیکی بتن پرداخته شد که از ۵ سری نمونه شامل نمونه‌ی شاهد، نمونه‌ی حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس، نمونه حاوی ۱۰ درصد پودر لاستیک و ۱۰ درصد میکروسیلیس، نمونه شامل ۱۰ درصد خرده لاستیک و ۱۰ درصد میکروسیلیس و نمونه‌ی ۵ درصد پودر لاستیک و ۵ درصد خرده لاستیک و ۱۰ درصد میکروسیلیس استفاده شده‌است.

این نمونه‌ها تحت آزمایش فشاری با استفاده از نمونه‌های ۱۵*۱۵*۱۵ سانتی‌متر و تحت آزمایش مقاومت کششی با استفاده از نمونه‌های استوانه ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر و طول ۲۰ سانتی‌متر استفاده شده‌است و نتایج آزمایش اسلامپ بر روی بتن تازه و آزمایش مقاومت کششی و مقاومت فشاری مورد بررسی قرارگرفت.

[3] Viviana Letelier

۲- مواد و روش ها

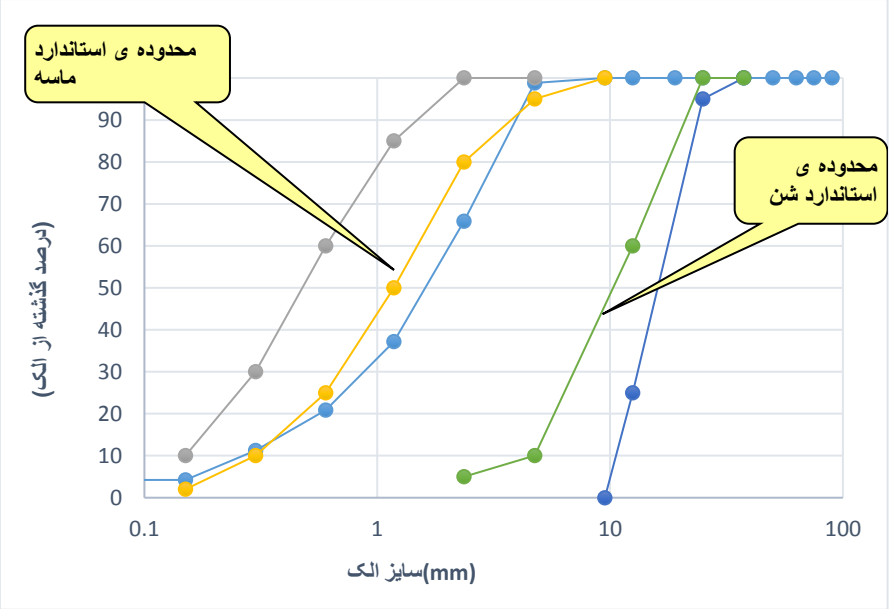
۲-۱- مواد مورد استفاده

۲-۱-۱- دانه بندی شن

دانه‌بندی شن در جدول۱ آمده‌است و هم‌چنین نمودار دانه‌بندی شن در نمودار بر اساس استاندار ASTMC33 در شکل ۱ آمده است.

جدول۱- مقادیر دانه‌بندی شن

شماره	سایز	مقدار	مقدار	درصد
۱/۲	۳۸/۱	۰	۰	۱۰۰
۱	۲۵/۴	۱۹۲	۱۹۲	۹۰/۴
۳/۴	۱۹	۳۲۴	۵۱۶	۷۴/۲
۱/۲	۱۲/۷	۵۶۴	۱۰۸۰	۴۶
۳/۸	۹/۵۱	۴۲۰	۱۵۰۰	۲۵
۴	۴/۷۵	۴۴۶	۱۹۴۶	۲/۷
۸	۲/۳۶	۱۱	۱۹۵۷	۲/۱۵
سینی	۰	۴۲	۱۹۹۹	۰/۰۵



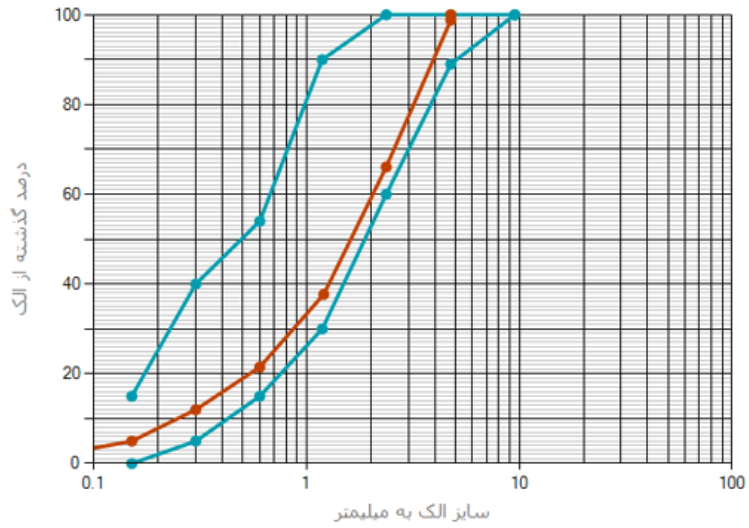
شکل۱- منحنی دانه‌بندی شن بر اساس استاندارد ASTM

۲-۱-۲- دانه‌بندی ماسه

دانه‌بندی ماسه در جدول۲ قابل مشاهده می‌باشد و هم‌چنین نمودار دانه‌بندی ماسه در نمودار بر اساس استاندار ASTMC33 در شکل ۲ آماده‌است.

جدول۲- دانه‌بندی ماسه

شماره الک	سایز الک به میلی‌متر	مقدار باقیمانده روی الک (گرم)	مقدار تجمعی باقیمانده روی الک	درصد گذشته از الک
۴	۴/۷۵	۱۲	۱۲	۹۸/۸
۸	۲,۳۶	۳۲۷	۳۳۹	۶۶/۱
۱۶	۱/۲	۲۸۴	۶۲۳	۳۷/۷
۳۰	۰/۶	۱۶۲	۷۸۵	۲۱/۵
۵۰	۰/۳	۹۵	۸۸۰	۱۲
۱۰۰	۰/۱۵	۷۰	۹۵۰	۵
۲۰۰	۰/۰۷۵	۲۶	۹۷۶	۲/۴
سینی	۰	۱۷	۹۹۳	۰/۷



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی ماسه

۳-۱-۲- شن

در این پژوهش از شن تیز گوشه با ووزن مخصوص ۱۷۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و درصد رطوبت نسبی ۰/۲ استفاده شده‌است. این شن از معدن شن و ماسه شایگان و از طریق کارخانه ای در مرزن‌آباد تهیه شده‌است.

۴-۱-۲- ماسه

ماسه مورد استفاده برای ساخت بتن دارای وزن مخصوص ۱۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و رطوبت نسبی ۲ با عنوان ماسه ۰۴ درجه‌ی ۱ آمل تهیه شده‌است.

۵-۱-۲- سیمان

از سیمان تیپ ۲ بجنورد برای ساخت تمام نمونه‌ها استفاده کرده ایم. بر طبق کاتالوگ کارخانه‌ی سیمان بجنورد نتایج آزمایش‌های فیزیکی (جدول ۳) و نتایج آزمایش‌های شیمیایی (جدول ۴) به صورت زیر است.

جدول ۳- مشخصات فیزیکی سیمان

آزمایش فیزیکی	**مقدار**
وزن مخصوص (ton/m3)	۳/۱۷۳
درصد آب غلظت طبیعی	۲۴/۲
زمان گیرش با سوزن ویکات گیرش اولیه (دقیقه)	۱۶۵
زمان گیرش با سوزن ویکات گیرش نهایی (ساعت)	۰۳:۰۵
درصد انبساط آزمایش اتوکلاو	۰/۰۲
انبساط آزمایش لوشاتلیه (mm)	۱
درصد انبساط سولفات ۱۴ روزه	۰/۰۴

جدول ۴- مشخصات شیمیایی سیمان

مشخصات شیمیایی سیمان تیپ ۲ بجنورد	
آزمایش شیمیایی	نتایج
دی‌اکسید سیلیسیم SiO2	۲۰/۸۱
اکسید آلومینیوم Al2O3	۴/۳۱
اکسید آهن Fe2O3	۳/۷۶
اکسید کلسیم CaO	۶۳/۵۲
اکسید منیزیم MgO	۲
اکسید سدیم Na2O	۰/۳۲
اکسید پتاسیم K2O	۰/۶۷
اکسید گوگرد SO3	۲/۳۸
درصد باقیمانده نامحلول IR	۰/۴۶
درصد کسر وزن در اثر حرارت L.O.I	۲/۷۵
درصدآهک آزاد (F.CaO)	۱/۲
درصد کلراید CI	۰/۰۱۴
درصد قلیایی اختیاری Na2O+0.658 K2O	۰/۷۶
درصد فاکتور اشباع آهک LSF	۹۴/۰۱

۲-۱-۶- آب

آب استفاده شده در آزمایش‌ها آب شهری موجود در آزمایشگاه دانشگاه آیندگان تنکابن است که دارای PH ۷/۵ می‌باشد.

۲-۱-۷- پودر میکروسیلیس

همان‌طور که قبلا بیان شد برای جبران ضعف لاستیک در کاهش مقاومت فشاری، از پودر میکروسیلیس استفاده خواهیم‌کرد. این پودر میکروسیلیس از کارخانه‌ی ازنا در لرستان بدست آمده است. پودر میکروسیلیس خاستری رنگو دارای بافت نرم و ذرات بسیار ریزی ۶ می‌باشد. وزن مخصوص پودر میکروسیلیس ۲۵۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب اعلام شده‌است. مشخصات این پودر در جدول ۵ آمده‌است.

جدول ۵- مشخصات پودر میکروسیلیس

مشخصات فنی	
حالت فیزیکی	پودر پوزولان
رنگ	خاکستری روشن
وزن مخصوص	۲۵۰ گرم در سانتی‌متر مکعب
شکل ذرات	کروی و غیر کریستاله (آمورف)
آنالیز	
H2O	۰/۰۸درصد
Sic	۰/۵
C	۰/۳
Sio2	۹۶/۴
Fe2O3	۰/۸۷
Al2O3	۱/۳۲
CaO	۰/۴۹
MgO	۰/۹۷
Na2O	۰/۳۱
K2O	۱/۰۱
P2O5	۰/۱۶
SO3	۰/۱
Cl	۰/۰۴

۲-۱-۸- خرده لاستیک

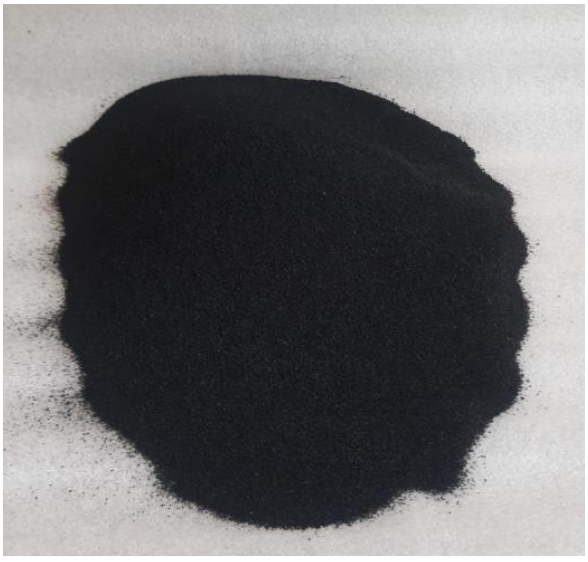
خرده لاستیک از بازیافت لاستیک های ضایعاتی تهیه شده‌است. لاستیک در واقع یک نوع لاستیک مصنوعی است که پلیمرهای تشکیل دهنده‌ی آن بوتادین و استایرن بوتادین هستند که دارای وزن مخصوص ۰/۹۰۸ تا ۱/۰۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند.

بازیافت لاستیک به صورت گرانول‌های لاستیک قابل استفاده در عرصه‌های مختلف هستند. گرانول‌های لاستیک در ابعاد مختلفی تولید می‌شوند که بیشترین موارد استفاده در آن‌ها در ابعاد زیر ۱ میلی‌متر، ۱ تا ۳ میلی‌متر و ۳ تا ۵ میلی‌متر می‌باشد. گرانول لاستیک در ابعاد ۳ تا ۵ میلی‌تر در پژوهش به عنوان خرده لاستیک استفاده شده‌است. این گرانول از طریق کارخانه‌ی احیاگستر در تهران تهیه شده‌است که در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳- خرده لاستیک به ابعاد ۳ تا۵ میلی‌متر

۹-۱-۲- پودر لاستیک

پودر لاستیک مانند خرده لاستیک گرانول لاستیک ضایعاتی می‌باشد که در این پژوهش از گرانول به ابعاد زیر ۱ میلی‌متر به عنوان پودر لاستیک استفاده شده‌است، هم‌چنین پودر لاستیک هم از کارخانه‌ی احیاگستر(بازیافت لاستیک) در تهران تهیه شده است که در شکل ۴ نمایش داده شده است. شکل ۵ بمنظور مقایسه خرده لاستیک و پودر لاستیک ارائه گردیده است.



شکل ۴- پودر لاستیک به ابعاد زیر ۱میلی‌متر

شکل۵- پودر لاستیک و خرده لاستیک

۱۰-۱-۲- فوق روان‌کننده

باتوجه به اینکه وجود پودر میکروسیلیس و لاستیک باعث کارایی پایین بتن می‌گردد، از فوق روان‌کننده برای ساخت بتن کمک گرفته‌شده‌است.این فوق روان‌کننده از کارخانه‌ی استرامیکس برپایه‌ی پلی نفتالین سولفانات تهیه گردیده‌است. فوق روان‌کننده بتن پلی نفتالین سولفونات دارای زنجیرهایی با طول کوتاه و متوسط و بار منفی بسیار زیاد می‌باشد. پس از افزودن فوق روان‌کننده به بتن تمامی زنجیرهای پلی نفتالین سولفونات به سرعت جذب ذرات سیمان می‌شوند. در نتیجه سطح ذرات سیمان دارای یک بار به شدت منفی شده و این پدیده سبب دفع الکترواستاتیکی ذرات از یکدیگر و فاصله گرفتن آنها از هم می‌گردد. پلی نفتالین سولفونات‌ها با استفاده از این مکانیزم روانی اولیه بسیار بالایی را در بتن ایجاد می‌کنند.

۲-۲- طرح اختلاط و آماده سازی نمونه

با توجه به اینکه با وجود لاستیک و پودر میکروسیلیس کارایی و روانی بتن کاهش پیدا می‌کرد، بنابراین پس از تلاش های متعدد طرح اختلاط متناسب با این نوع از بتن به صورت زیر که در جدول 6 ارایه شده‌است، درآمد. در ادامه با وجود طرح اختلاط بتن با توجه به نمونه ها ۱۰درصد وزنی سیمان پودر لاستیک و ۱۰ درصد وزنی سیمان خرده لاستیک و در نمونه‌ی آخر ۵ درصد وزنی سیمان پودر لاستیک و ۵ درصد وزنی سیمان خرده لاستیک اضافه شده و به همراه ۱۰ در صد وزنی سیمان جایگزینی پودر میکروسیلیس صورت گرفته‌است که در جدول7 قابل ملاحظه می‌باشد.

جدول6- طرح اختلاط

طرح اختلاط	
ماده	مقدار
شن (کیلوگرم)	۹۰۰
ماسه(کیلوگرم)	۹۰۰
سیمان(کیلوگرم)	۴۰۰
آب(کیلوگرم)	۲۰۰
نسبت آب به سیمان($\frac{W}{C}$)	۰/۵
فوق روان‌کننده(کیلوگرم)	۱/۲

جدول7- طرح اختلاط نمونه‌ها

نام نمونه	A	B-M	C-10P	D-10KH	E-5KH&5P
شن (kg)	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰
ماسه(kg)	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰
آب(kg)	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
سیمان(kg)	۴۰۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰
آب به سیمان (ratio)	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
پودر میکروسیلیس(kg)	۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
فوق روان کننده(kg)	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲
خرده لاستیک(kg)	۰	۰	۰	۴۰	۲۰
پودر لاستیک(kg)	۰	۰	۴۰	۰	۲۰

نمونه‌ی A نمونه‌ی شاهد، نمونه‌ی B-M نمونه‌ی همراه با پودر میکروسیلیس، نمونه‌ی C-10P نمونه‌ی شامل ۱۰ درصد پودر لاستیک و پودر میکروسیلیس، نمونه‌ی D-10K نمونه‌ی شامل ۱۰ درصد خرده لاستیک و میکروسیلیس و نمونه‌ی E-5KH&5P شامل ۵ درصد خرده و ۵ درصد پودر لاستیک و ۱۰ درصد میکرو سیلیس می‌باشند.

۳- یافته ها و تفسیر نتایج

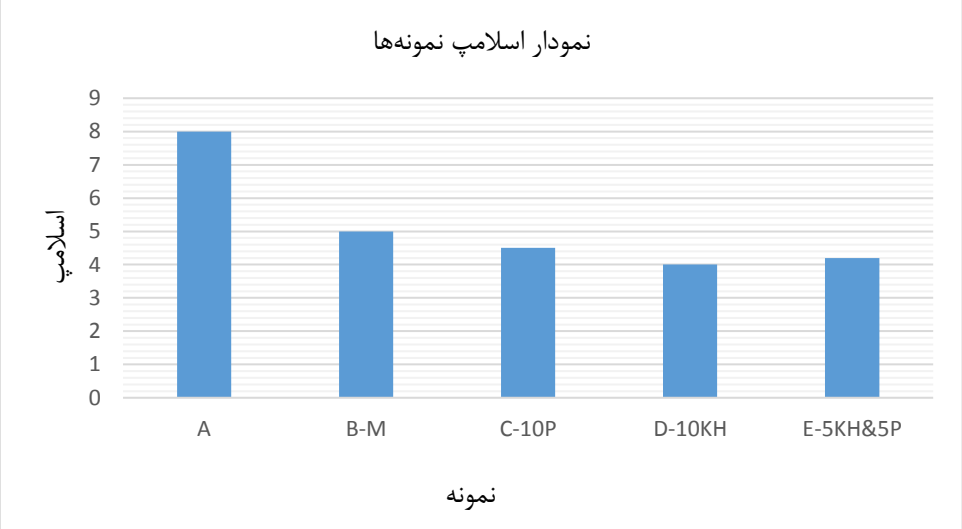
۳-۱- آزمایش اسلامپ بتن

در نمونه‌ی بتن با میکروسیلیس اسلامپ ۵ و در نمونه‌ی بتن شاهد (بدون میکروسیلیس) اسلامپ ۸ بدست‌آمد. با وجود میکروسیلیس در بتن اسلامپ کمتری نسبت به بتن بدون میکروسیلیس به‌دست خواهدآمد. در آزمایش داه‌بندی میکرو سیلیس مشاهده شده‌است که ذرات میکرو سیلیس ۹۹ برابر ریزتر از ذرات سیمان هستند، پس کاهش اسلامپ با وجود میکروسیلیس به دلیل ریزتر بودن ذرات میکروسیلیس و کم‌شدن فضای خالی در اجزای بتن می‌باشد(Ma et al., 2023). میکروسیلیس یک ماده‌ی پوزولانی قوی می‌باشد که در نتیجه باعث افزایش پیداکردن میزان چسبندگی سیمان به سنگ‌دانه‌ها می‌گردد (Bagheri et al., 2019).

نمونه های حاوی ۱۰درصد خرده لاستیک دارای اسلامپ ۴ و نمونه حاوی ۱۰ درصد پودر لاستیک دارای اسلامپ ۴/۵ و نمونه‌ی شامل ۵ درصد خرده لاستیک و ۵ درصد لاستیک اسلامپ ۴/۲ داشتند. با افزایش میزان جایگزینی لاستیک کارایی بتن کمتر شده زیرا اسلامپ کمتری را می‌دهد و از طرفی با جایگزین شدن خرده لاستیک به‌جای درشت‌دانه پایین آمدن کارایی بتن بیشتر مشاهده شده‌است (Qalanoi et al., 2018). با عدم چسبندگی و برقرار نشدن پیوند مناسب خرده لاستیک و سیمان باعث درست حرکت نکردن آن‌ها و ایجاد اصطکاک بین آن‌ها می‌گردد به همین ترتیب کاهش کارایی بتن ایجاد می‌شود(Gesoglu et al., 2015). مقادیر اسلامپ در جدول 8 و نمودار آن‌ها در شکل ۶ آمده‌است.

جدول 8- نمودار اسلامپ نمونه‌ها

نمونه	A	B-M	C-10P	D-10KH	E-5KH&5P
میزان اسلامپ	۸	۵	۴/۵	۴	۴/۲



شکل ۶- نمودار اسلامپ

همانطور که مشاهده شد، با توجه به وجود میکروسیلیس میزان افت کارایی بتن قابل حدس می‌باشد اما بین نمونه‌های حاوی لاستیک مشاهده شد که نمونه‌ی حاوی پودر لاستیک اسلامپ بهتری داشته است. در پژوهش‌های قبلی بیان شده‌بود که با افزایش میزان لاستیک کارایی بتن

کمتر می‌شود، به‌نظر می‌رسد در درصد برابر خرده لاستیک با توجه به ابعاد بزرگ‌تر جذب آب بیشتری داشته به همین دلیل نمونه‌ی حاوی ۵ درصد خرده لاستیک و ۵ درصد پودر لاستیک اسلامپ بهتری (با توجه به میزان حجم کمتر نسبت به خرده لاستیک) نسبت به نمونه‌ی حاوی ۱۰ درصد خرده لاستیک دارد.

۲-۳- آزمایش مقاومت فشاری

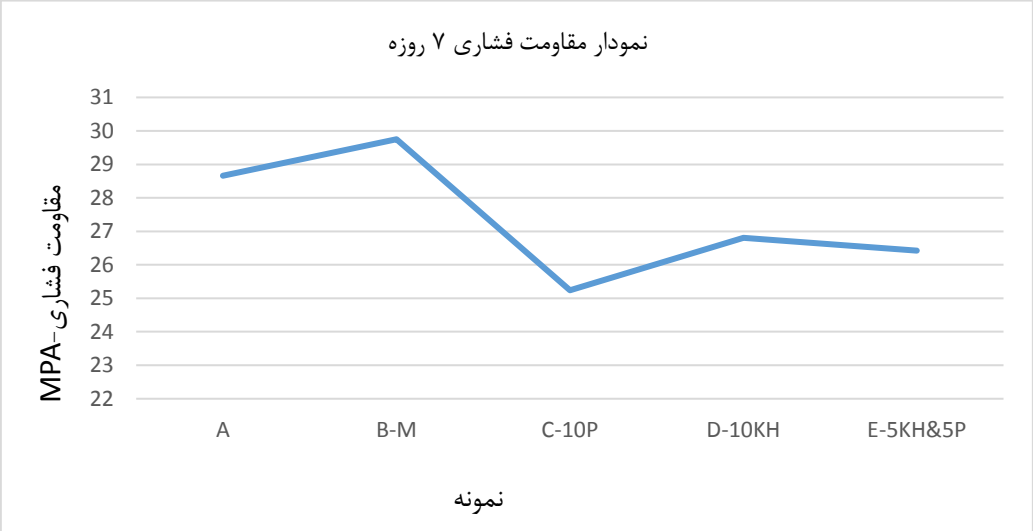
آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها در سنین ۷ و ۲۸ روزه انجام شده‌است که ابتدا به مقاومت ۷ روزه سپس مقاومت ۲۸ روزه پرداخته خواهدشد. شکل ۷ و ۸ نحوه قرارگیری نمونه در دستگاه مقاومت فشاری و همچنین دستگاه مورد استفاده جهت تست مقاومت فشاری نمایش داده شده است. نتایج مقاومت فشاری در سن ۷ روزه که از طریق میانگین ۳ نمونه به‌دست آمده‌است، در جدول ۹ و شکل ۹ ارائه شده‌است.

شکل۷-قرارگیری نمونه در دستگاه مقاومت فشاری

شکل ۸-دستگاه برای آزمایش مقاومت فشاری

جدول9- نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه

نمونه	A	B-M	C-10P	D-10KH	E-5KH&5P
مقاومت فشاری MPA	۲۸/۶۶	۲۹/۷۵	۲۵/۲۴	۲۶/۸۱	۲۶/۴۲

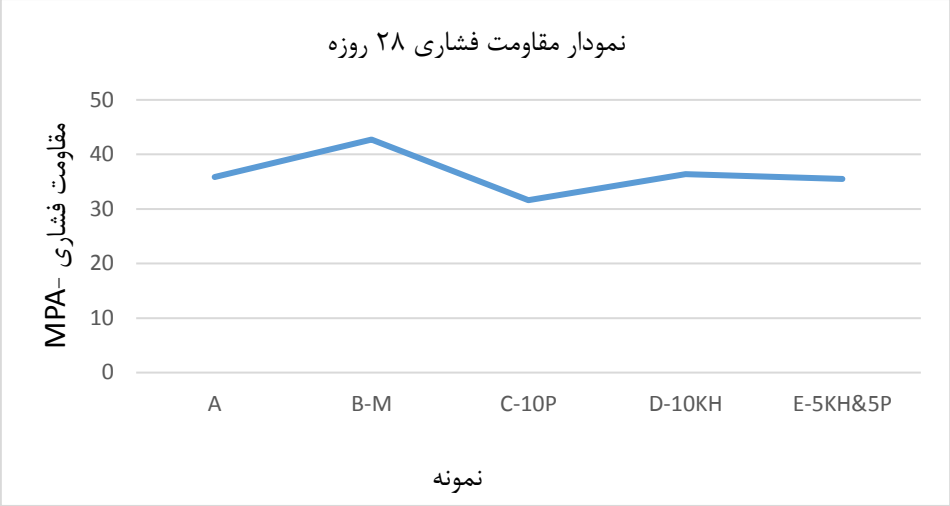


شکل ۹- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه

و نتایج آزمایش ۲۸ روزه که از طریق میانگین ۳ نمونه حاصل شده‌است را، در جدول 10 و شکل ۱۰ آمده‌است.

جدول 10-نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه

نمونه	A	B-M	C-10P	D-10KH	E-5KH&5P
مقاومت فشاری MPA	۳۵/۸۴	۴۲/۷۲	۳۱/۶۱	۳۶/۳۶	۳۵/۴۸



شکل ۱۰- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه

همان‌طور که در قبل‌تر هم اشاره شد، میکرو سیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری می‌گردد. در نمونه حاوی ۱۰ درصد میکرو سیلیس، مقاومت فشاری ۱۹,۲ درصد نسبت به بتن شاهد افزایش داشته‌است.

میکروسیلیس به دلیل پوزولانی بودن آن باعث ایجاد پیوندهای قوی‌تر بین سیمان و سنگدانه‌ها می‌گردد و چسبندگی بهتری را ایجاد می‌کند.

باتوجه به جداول مقاومت فشاری نمونه‌ی خرده لاستیک از دیگر نمونه‌ها بیشتر شده‌است. در سن ۲۸ روزه نمونه حاوی ۱۰ درصد خرده لاستیک ۱/۴۶٪ افزایش مقاومت نسبت به نمونه شاهد و نمونه حاوی ۱۰ درصد پودر لاستیک ۱۱/۸٪ کاهش مقاومت نسبت به نمونه شاهد و نمونه حاوی ۵ درصد پودر لاستیک و ۵ درصد خرده لاستیک ۱٪ کاهش مقاومت نسبت به نمونه شاهد را داشتند. با توجه به وجود میکروسیلیس در نمونه‌ی دوم ۲۰ درصد افزایش مقاومت نسبت به نمونه شاهد وجودداشت که قابل حدس بود. با کوچک‌تر شدن ذرات لاستیک به دلیل ویژگی مواد نرم و منعطف و با توجه به خاصیت این ماده از جمله عدم برقراری پیوند مناسب با اجزای بتن باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شود.

پس می‌توان گفت وجود لاستیک باعث کاهش مقاومت فشاری در بتن می‌گردد ولی هر چه ذرات آن ریزتر شوند؛ به دلیل سطح تماس بیشتر و عدم ایجاد چسبندگی مناسب اجزای بتن باعث افت مقاومت فشاری می‌شود. به همین دلیل پودر لاستیک مقاومت کمتری نسبت به نمونه حاوی پودر و خرده لاستیک و خرده لاستیک به تنهایی داشت.

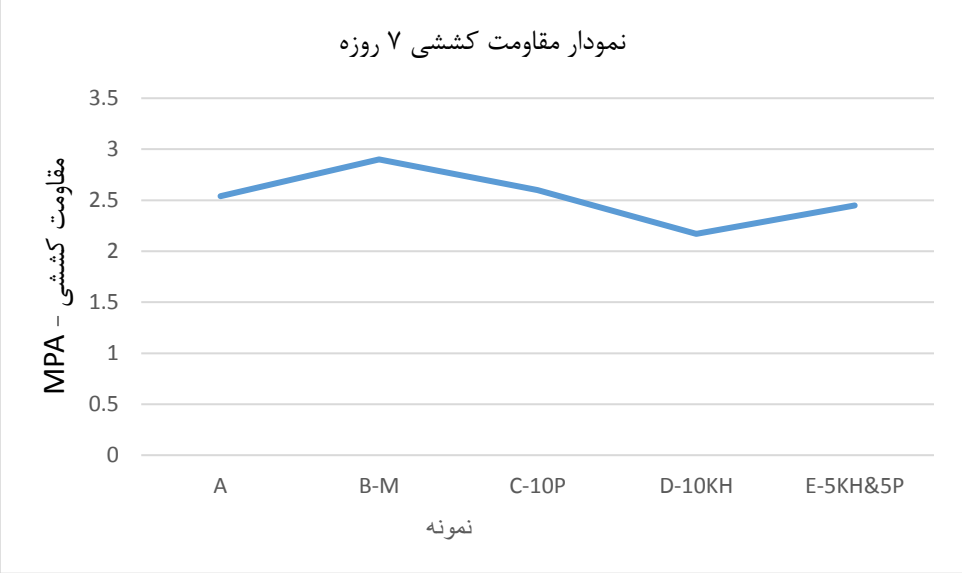
۲-۳- آزمایش مقاومت کششی

این آزمایش بر روی نمونه استوانه‌ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر وارتفاع ۲۰ سانتی متر انجام شده‌است. آزمایش مقاومت کششی هم بر روی نمونه‌ها در سنین ۷ و ۲۸ روزه انجام شده‌است که ابتدا به مقاومت ۷ روزه سپس مقاومت ۲۸ روزه پرداخته خواهدشد. شکل ۱۱ دستگاه آزمایش مقاومت کششی نمایش داده شده است. نتایج مقاومت کششی در سن ۷ روزه که از طریق میانگین ۳ نمونه به‌دست آمده‌است، در جدول ۱۱ و شکل ۱۲ ارایه شده‌است.

شکل ۱۱- دستگاه آزمایش مقاومت کششی

جدول ۱۱ – نتایج مقاومت کششی ۷ روزه

نمونه	A	B-M	C-10P	D-10KH	E-5KH&5P
مقاومت کششی MPA	2/54	2/9	2/6	2/17	2/45

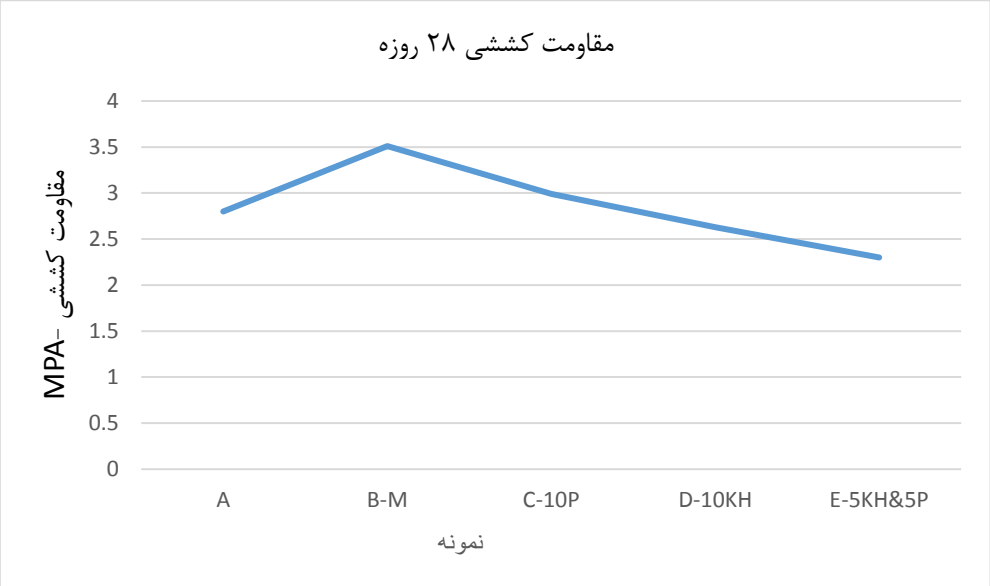


شکل ۱۲- نمودار مقاومت کششی ۷ روزه

و نتایج آزمایش ۲۸ روزه که از طریق میانگین ۳ نمونه حاصل شده‌است را، در جدول ۱۲ و شکل ۱۳ آمده‌است. نمونه‌ای از شکست ۲۸روزه را در شکل ۱۴ می‌توان مشاهده نمود.

جدول ۱۲ – نتایج مقاومت کششی ۲۸ روزه

نمونه	A	B-M	C-10P	D-10KH	E-5KH&5P
مقاومت کششی MPA	2/8	3/51	2/99	2/63	2/30



شکل۱۳-نمودار مقاومت کششی ۲۸ روزه

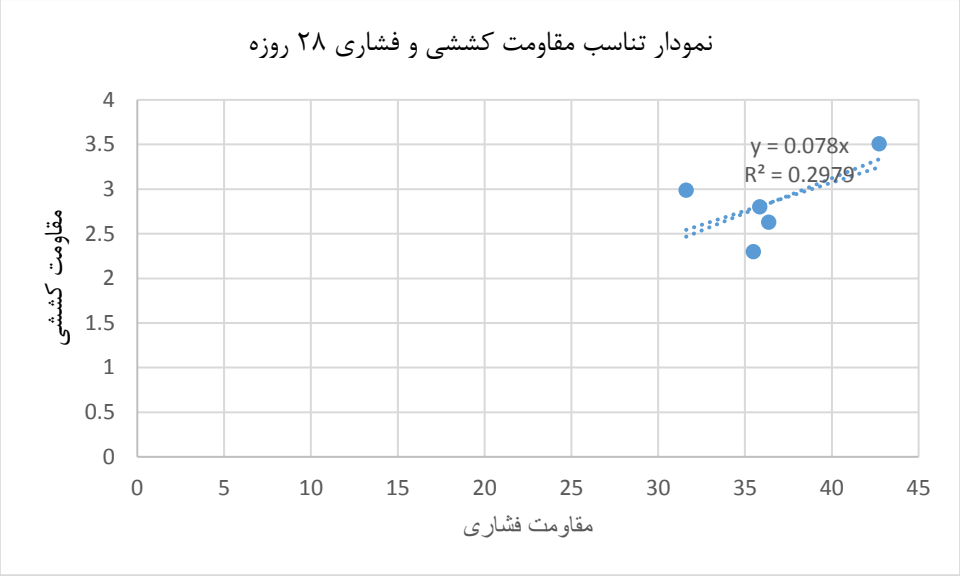
شکل۱۴-شکست بعد از ۲۸ روزه آزمایش مقاومت کششی

با توجه به نتایج در نمونه‌ی دوم حاوی میکروسیلیس ۲۵ درصد افزایش مقاومت نسبت به نمونه‌ی شاهد داشته‌است. با توجه به موارد گفته‌شده در این پژوهش نمونه حاوی پودر لاستیک 6/7 درصد افزایش مقاومت کششی نسبت به نمونه شاهد داشته‌است؛ که می‌توان دلیل آن را ریزتر بودن سطح آن و جلوگیری از ریز ترک‌ها دانست. در نمونه شامل ۱۰ درصد خرده لاستیک 6/1 درصد کاهش مقاومت نسبت به نمونه شاهد و در نمونه حاوی ۵ درصد خرده لاستیک و ۵ درصد پودر لاستیک ۱۷ درصد کاهش مقاومت نسبت به نمونه‌ی شاهد داشتند. در نمونه حاوی خرده لاستیک به دلیل ذرات بزرگتر نسبت به نمونه حاوی پودر لاستیک مقاومت کششی کاهش داشته‌است. اما در نمونه ی مخلوط از هر دو لاستیک کاهش مقاومت بسیار بیشتر بوده‌است که علت آن را می‌توان یکدست نبودن پیوند بتن و ایجاد ترک‌های گسترده‌تر دانست. در این نمونه به دلیل وجود خرده لاستیک ترک‌هایی با عمق بیشتر تشکیل شده است و از طرفی پودر لاستیک هم سبب افزایش و بر قراری و گسترش این ترک‌ها و کاهش چشمگیر مقاومت کششی شده است.

۳-۳- رابطه‌ی بین مقاومت کششی و مقاومت فشاری

با توجه به اینکه مقادیر مقاومت فشاری و مقاومت کششی برداشت شده‌است می‌توان نمودار و شیب بین آن‌ها را مشخص کرد (شکل۱۳) سپس با رابطه‌ی ۱ که آیین نامه ACI به صورت تخمینی آن را ارایه می‌کند، مقایسه نمود.

رابطه ۱ $Ft = 0.59* \sqrt{fc}$



شکل ۱۳- نمودار رابطه‌ی بین مقاومت کششی و فشاری ۲۸ روزه

برای پیدا کردن این رابطه از مقاومت فشاری و کششی ۲۸ روزه بتن استفاده شده‌است. همان‌طور که در شکل ۱۳ نشان داده شده‌است، رابطه‌ی آن‌ها از ضریب ACI کوچکتر می‌باشد. و با توجه به میزان ضریب همبستگی، یعنی مقدار R که به عدد ۱ بسیار نزدیک می‌باشد، حاکی از آن است که نتایج این رابطه دقیق‌تر می‌باشد. با افزایش مقاومت فشاری، مقاومت کششی هم افزایش پیدا می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به تاثیر اضافه کردن پودر لاستیک وخرده لاستیک در بتن حاوی میکروسیلیس بر خواص مکانیکی بتن پرداخته شد که از ۵ سری نمونه شامل نمونه‌ی شاهد، نمونه‌ی حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس، نمونه حاوی ۱۰ درصد پودر لاستیک و ۱۰ درصد میکروسیلیس، نمونه شامل ۱۰ درصد خرده لاستیک و ۱۰ درصد میکروسیلیس و نمونه‌ی ۵ درصد پودر لاستیک و ۵ درصد خرده لاستیک و ۱۰ درصد میکروسیلیس استفاده شده‌است.

این نمونه‌ها تحت آزمایش فشاری با استفاده از نمونه‌های ۱۵*۱۵*۱۵ سانتی‌متر و تحت آزمایش مقاومت کششی با استفاده از نمونه‌های استوانه ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر و طول ۲۰ سانتی‌متر استفاده شده‌است و نتایج آزمایش اسلامپ بر روی بتن تازه و آزمایش مقاومت کششی و مقاومت فشاری مورد بررسی قرارگرفت.

در آزمایش اسلامپ در نمونه ی با ۱۰ درصد میکروسیلیس ۳۷/۵٪ کاهش اسلامپ نسبت به نمونه‌ی شاهد، در نمونه شامل ۱۰ درصد پودر لاستیک ۴۳/۷۵٪ کاهش اسلامپ، در نمونه حاوی ۱۰٪ خرده لاستیک ۵۰٪ کاهش اسلامپ و در نمونه شامل خرده و پودر لاستیک ۴۷/۵٪ کاهش اسلامپ نسبت به نمونه‌ی شاهد مشاهده شده‌است. وجود میکرو باعث افت کارایی بتن میشود از طرفی لاستیک باعث جذب آب بیشتری شده و از بین خرده لاستیک و پودر لاستیک، به دلیل بزرگتر بودن ابعاد خرده لاستیک اسلامپ کمتری نسبت به بقیه داشته‌است.

در آزمایش مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه مشاهده شد که در نمونه حاوی میکروسیلیس ۱۹۱۹,۲۰/۲۰٪ افزایش مقاومت و در نمونه‌ی حاوی ۱۰ درصد پودر لاستیک ۱۱/۸٪ کاهش مقاومت و در نمونه‌ی شامل ۱۰ درصد خرده لاستیک ۱/۴۵٪ افزایش مقاومت و در نمونه

شامل پودر و خرده لاستیک مقاومت مشابه ای نسبت به نمونه‌ی شاهد داشتند. به دلیل چسبدگی کم بین خمیر سیمان و لاستیک پیوند محکی بین آن‌ها بر قرار نمی‌گردد که باعث افت مقاومت فشاری می‌شود که هر چه ذرات لاستیک ریزتر باشد به دلیل پیوند کمتر و جدا شدگی این افت مقاومت بیشتر می‌شود ولی در نمونه شامل خرده لاستیک با وجود پودر میکرو سیلیس افزایش مقامت فشاری نسبت به نمونه شاهد وجود داشت که نسبت به بقیه‌ی نمونه‌ها قابل اهمیت است.
در آزمایش مقاومت کششی در سن ۲۸ روزه نمونه با ۱۰٪ میکروسیلیس ۲۵,۳۵٪ افزایش مقاومت و نمونه با ۱۰٪ پودر لاستیک ۶/۷۸٪ افزایش مقاومت و نمونه با ۱۰٪ خرده لاستیک ۶/۰۷٪ کاهش مقاومت و در نمونه حاوی پودر و خرده لاستیک ۱۷/۸۵٪ کاهش مقاومت کششی نسب به نمونه‌ی شاهد وجود داشت. در نمونه حاوی پودر لاستیک به دلیل بسیار ریز بودن ذرات آن از ایجاد ترک جلوگیری شده که باعث افزایش مقاومت کششی و انعطاف پذیری آن شده‌است ولی در نمونه حاوی خرده لاستیک به دلیل بزرگ‌تر بودن ذرات آن و ایجاد خلل و فرج بیشتر باعث ایجاد ترک و کاهش مقاومت کششی شده‌است.

۵- دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل (civilinj1998@gmail.com) قابل ارسال می‌باشد.

۶- تضاد منافع نویسندگان

(نویسندگان) این مقاله اعلام می دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با نوشتن و یا انتشار این مقاله ندارند.

۷- تشکر و قدردانی

مقاله مورد نظر بصورت آزمایشگاهی، در آزمایشگاه موسسه آموزش عالی آیندگان به نشانی مازندران تنکابن، خیابان فردوسی غربی، کوچه شهدای دانشجو، موسسه آموزش عالی آیندگان تنکابن صورت گرفته است.

مراجع

Agha Bagheri, Mohammadreza, Arzoomandi, Mehdi, Amohosseini, Amirhossein, Karimai Tabarestani, Mojtabi, Alizadeh, Hadi (2019). Mechanical characteristics of concrete containing recycled concrete coarse aggregate and microsilica. Scientific-research journal of structural and construction engineering.

Albano, C., Camacho, N., Reyes, J., Feliu, J. L., & Hernández, M. (2005). Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing. Composite structures, 71(3-4), 439-446.

Gesoglu, M., Güneyisi, E., Hansu, O., Ipek, S., Asaad., & D. S. (2015). Influence of waste rubber utilization on the fracture and steel–concrete bond strength properties of concrete. Construction and Building Materials, 101, 1131.

Gerges, N .N., Issa, C. A., & Fawaz, S. A. (2018). Rubber concrete: Mechanical and dynamical properties. Case Studies in Construction Materials, 9.

Jiang, W., Zhu, H., Haruna, S. I., Shao, J., Yu, Y., & Wu, K. (2022). Mechanical properties and freeze–thaw resistance of polyurethane-based polymer mortar with crumb rubber powder. Construction and Building Materials, 352, 129040.

Kashani, A., Liu, X., & Ngo, T. (2021). Effect of recycled rubber aggregate size on fracture and other mechanical properties of structural concrete. Journal of cleaner production, 314.

Khorrami, Morteza, Hajti, Atala, Dehghanian, Cengiz (2006). The effect of replacing cement and aggregate with rubber on the compressive strength and durability of conventional concrete, Sharif Scientific and Research Quarterly, 1, (40), 51-59.

Letelier, V., Bustamante, M., Olave, B., Martínez, C., & Ortega, J. M. (2023). Properties of mortars containing crumb rubber and glass powder. *Developments in the Built Environment*, *14*, 100131.

Ma, Q., Mao, Z., Lei, M., Zhang, J., Luo, Z., Li, S., Du, G., & Li, Y. (2023). Experimental investigation of concrete prepared with waste rubber and waste glass. Ceramics International, 49(11), 16951-16970.

Mohamad Moasas, A., Nasir Amin, M., Ahmad., k. k. w., Ahmad Al-Hashem, M. N., Deifalla, A. F., & Ahmad, A. (2022). A worldwide development in the accumulation of waste tires and its utilization in concrete as a sustainable construction material. Case Studies in Construction Materials, 17.

Oikonomou, N. D. (2004). Recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Composites, 27(2), 315-318.

Qalanoi, Mansour, Khodabakhshian, Ali, Asadi Shamsabadi, Elias. (2018) The effect of waste marble powder and microsilica as a partial replacement of cement on the durability of concrete. Concrete research.Karunarathna, S., Linforth, S.

Sharbi Niazi, Hossein, Khalilzadeh Vahidi, Ibrahim. (2022). Investigating the properties of concrete containing recycled aggregates and waste rubber with microsilica. Amirkabir Civil Engineering Journal, 54(3), 1151-1164.

Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Chong, L., & Xie, Z. (2016). Performance enhancement of recycled concrete aggregate.

yaghoobi Nejad, A., & Jahangiri, A. (2023). Investigation of the effect of powdered rubber reinforced by different materials on the performance of concrete. *Construction and Building Materials*, *377*, 131067.

Youssf, O., ElGawady, M. A., Mills, J. E., & Ma, X. (2013). An experimental investigation of crumb rubber concrete confined by fibre reinforced polymer tubes. Construction and Building Materials, 53(28), 522-532.

منابع فارسی

صالحی زاده، محسن، دیزنگیان، بابک (۱۳۹۸). ارزیابی مقاومت بتن متخلخل و ساخته‌شده با استفاده از خرده لاستیک ضایعات. *تحقیقات بتن*، ۱۳، (۱)، ۱۱۳- ۱۲۸.

کربلایی، محمد، سهرابی، محمد رضا. (۱۳۹۱). بررسی و مقایسه مقاومت فشاری بتن دارای خرده لاستیک و پودر لاستیک به همراه نانوسیلیس. *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*, ۴۳(۲), ۷۰-۶۳.شربی نیازی، حسین، خلیل زاده وحیدی، ابراهیم. (۱۳۹۸). بررسی خواص بتن حاوی سنگدانه‌های بازیافتی و لاستیک ضایعاتی به همراه میکروسیلیس. *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*, ۵۴(۳), ۱۱۶۴-۱۱۵۱.

صدرممتازی، علی، ذرشین زنوش، رومینا، بابایی، هاشم (۱۳۹۷). خصوصیات استاتیکی و دینامیکی بتن حاوی ذرات لاستیک تایر ضایعاتی، *مجله مهندسی مکانیک*، ۴۸، (۴) (پیاپی ۸۵)، ۱۷۹- ۱۸۸.

صدرممتازی، علی، ذرشین زنوش، رومینا، بابایی، هاشم (۱۳۹۵). بررسی تجربی رفتار بتن‌های حاوی ذرات لاستیک تایر ضایعاتی، دوده سیلیس و الیاف پلی‌پروپیلن تحت بارگذاری ضربه‌ای، مجله مهندسی مکانیک مدرس، ۱۶، (۱۰)، ۱۷۳- ۱۸۰.

شربی نیازی، حسین، خلیل زاده وحیدی، ابراهیم. (۱۳۹۸). بررسی خواص بتن حاوی سنگدانه‌های بازیافتی و لاستیک ضایعاتی به همراه میکروسیلیس. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر, ۵۴(۳), ۱۱۶۴-۱۱۵۱.