

Investigation of the Effect of Carboxylate Based Plasticizer on the Behavior of Concrete Made with Recycled Stone Materials from Self-consolidating concrete

Masoud Golshani¹, Hossein Nasiri², Kambiz Takin^{3*}

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Pooyesh Institute of Higher Education, Qom, Iran.

2-MSc Degree, Department of Civil Engineering, Shahre-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

In this paper, the effect of adding superplasticizers on the mechanical properties of concrete including compressive strength, slip, etc. has been investigated. Based on the results of changes in compressive strength against the percentage of polycarboxylate lubricant in concrete samples with different grades of cement, it has been observed that with increasing the percentage of polycarboxylate plasticizer, the amount of compressive strength has increased due to decreasing water to cement ratio. Also, increasing the grade of cement leads to increasing the compressive strength of the samples. Based on the results of changes in compressive strength against water to cement ratio in concrete samples with different grades of cement and polycarboxylate plasticizer has been observed that with increasing water to cement ratio, the amount of compressive strength has decreased. Also, based on the results of comparing the changes of slump against the percentage of polycarboxylate plasticizer in concretes with different grades of cement, it has been observed that with increasing the percentage of polycarboxylate plasticizer, the slump parameter has generally had an upward trend. Also, by increasing the grade of cement in concrete in the percentage of fixed polycarboxylate plasticizer, concrete with higher grade had less slump. Finally, based on the results of comparing the changes of slump against water to cement ratio in concretes with different grades of cement with polycarboxylate plasticizer, it has been observed that with increasing water to cement ratio, the slump parameter has generally decreased. Also, by increasing the grade of cement in concrete in the ratio of water to fixed cement, concrete with lower grade had more slump.

ARTICLE INFO

Receive Date: 15 March 2021

Revise Date: 22 July 2021

Accept Date: 03 August 2021

Keywords:

Concrete Superplasticizer
Polycarboxylate
Compressive Strength Slump
Concrete

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.277521.2388>

*Corresponding author: Kambiz Takin

Email address: omran@engineer.com

بررسی تأثیر روان کننده پایه کربوکسیلاتی بر رفتار بتن ساخته شده با مصالح سنگی بازیافتی از بتن خود تراکم

مسعود گلشنی^۱، حسین نصیری^۲، کامبیز تکین^{۳*}

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران موسسه آموزش عالی پویش، قم، ایران.

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد صفادشت، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله به بررسی تأثیر افزودن فوق روان کننده‌ها پایه کربوکسیلاتی بر مشخصات مکانیکی بتن ساخته از مصالح سنگی بازیافتی از بتن خود تراکم شامل مقاومت فشاری، اسلامپ و ... پرداخته شده است. بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری در برابر درصد روان کننده پلی کربوکسیلات در نمونه های بتنی با عیارهای مختلف سیمان مشاهده شده است که با افزایش درصد روان کننده پلی کربوکسیلات مقدار مقاومت فشاری افزایش یافته است که این امر به دلیل کاهش نسبت آب به سیمان روی می دهد. همچنین افزایش عیار سیمان منجر به افزایش مقاومت فشاری نمونه ها می شود. بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری در برابر نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیارهای مختلف سیمان و روان کننده پلی کربوکسیلات مشاهده شده است که با افزایش نسبت آب به سیمان مقدار مقاومت فشاری کاهش یافته است. همچنین، بر اساس نتایج مقایسه تغییرات اسلامپ در برابر درصد روان کننده پلی کربوکسیلات در بتن های با عیار مختلف سیمان مشاهده شده است که با افزایش درصد روان کننده پلی کربوکسیلات، پارامتر اسلامپ به صورت کلی روندی صعودی داشته است. همچنین با افزایش عیار سیمان در بتن در درصد روان کننده پلی کربوکسیلات ثابت، بتن با عیار بیشتر مقدار اسلامپ کمتری داشته است. در نهایت، بر اساس نتایج مقایسه تغییرات اسلامپ در برابر نسبت آب به سیمان در بتن های با عیار مختلف سیمان دارای روان کننده پلی کربوکسیلات مشاهده شده است که با افزایش نسبت آب به سیمان پارامتر اسلامپ به صورت کلی روندی نزولی داشته است. همچنین با افزایش عیار سیمان در بتن در نسبت آب به سیمان ثابت، بتن با عیار کمتر مقدار اسلامپ بیشتری داشته است.

کلمات کلیدی: فوق روان کننده بتن، پلی کربوکسیلات، مقاومت فشاری، اسلامپ، بتن

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.277521.2388	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
10.22065/jsce.2021.277521.2388		۱۴۰۰/۱۲/۲۹	۱۴۰۰/۰۵/۱۲	۱۴۰۰/۰۵/۱۲	۱۴۰۰/۰۴/۳۱	۱۳۹۹/۱۲/۲۵
				*نویسنده مسئول:		
				کامبیز تکین		
				omran@engineer.com		پست الکترونیکی:

۱- مقدمه

روان کننده های کاهنده آب ممتاز موادی هستند که قدرت کاهندگی آب آن‌ها در بهترین شرایط حداکثر ۲۵ درصد و معمولاً محدود به ۱۸ تا ۲۰ درصد می‌باشد. به هر حال حداقل قدرت کاهش آب در آن‌ها برای میزان ماده توصیه شده نباید از ۱۲ درصد کمتر باشد. این مواد در دهه ۷۰ میلادی ساخته شدند و به کار رفتند. مولکول‌های سنگین و زنجیره‌های طولانی پلیمری مانند فرم آلدئید نفتالین سولفوناته فشرده و فرم آلدئید ملامین سولفوناته فشرده از جمله معروف‌ترین و پرمصرف‌ترین این دسته از روان کننده‌ها می‌باشند. این مواد به ترتیب به صورت پودر قهوه‌ای تیره و سفید هستند که ۳۵ گرم آن‌ها در ۶۵ گرم آب حل می‌گردد. چگالی محلول نوع نفتالینی ۱/۱۷ تا ۱/۲۰ و نوع ملامینی ۱/۰۹ تا ۱/۱۲ می‌باشد. [۱۲ و ۱۳] روان کننده های کاهنده آب موادی هستند که قدرت کاهندگی آب در آن‌ها حداکثر ۱۵ درصد برای بتن روان تر و ۱۰ تا ۱۲ درصد بتن‌های نیمه شل می‌باشند. مواد حباب‌زا، اسیدهای کربوکسیلیک هیدروکسیلاتی و نمک‌های آن‌ها و مشتقات و مواد تغییر یافته آن‌ها، لیگنوسولفونات‌ها و اسیدهای آن‌ها و مشتقات و مواد تغییر یافته این مواد، هم‌چنین کربو هیدرات‌ها، پلی ساکاریدها و اسیدهای شکر و گلوکونات‌ها را می‌توان در این دسته قرار داد. به هر حال این قدرت کاهش آب برای میزان ماده توصیه شده نباید کمتر از ۵ درصد باشد. [۱۸] از آنجا که این مواد در ابتدا و در دهه ۵۰ میلادی ساخته و رایج شدند بعدها به عنوان نسل اول شناخته شدند. این مواد معمولاً میزان مصرف کاملاً متفاوت دارند. لیگنو سولفونات‌ها بسیار رایج هستند و به صورت پودر قهوه‌ای تیره است که ۴۰ گرم از آن‌ها در ۶۰ گرم آب حل می‌شود و چگالی مایع بین ۱/۱۶ تا ۱/۱۸ می‌باشد. [۲]

ابر روان کننده‌ها در بهترین شرایط دارای قدرت کاهندگی آب حداکثر ۳۵ تا ۴۰ درصد هستند و معمولاً در بتن‌های نیمه شل به ۳۰ درصد محدود می‌شود. این مواد باید چسبندگی مناسبی را به وجود آورند. اسیدهای پلی کربوکسیلیک هیدروکسیلاتی و مواد اتری، هم‌چنین آکریلات‌ها از جمله این دسته مواد هستند. در دهه ۸۰ میلادی به تدریج ساخته شدند و در دهه ۹۰ میلادی مصرف آن‌ها رایج گردید. تولید و مصرف آن‌ها نتیجه جذابیت به کارگیری فوق روان کننده‌های نسل اول و نتایج مصرف آن‌ها در افزایش کارایی، مقاومت و دوام بتن‌ها بود، زیرا سعی داشتند بتوانند کاهش آب بیشتری را داشته باشند. معمولاً این مواد به شکل مایع می‌باشد و چگالی آن‌ها به صورت معمول بین ۱/۰۵ تا ۱/۰۷ است. [۷ و ۴] با شکستن و خرد کردن نخاله‌های بتن می‌توان از آن به عنوان سنگدانه‌های جدید برای تولید بتن استفاده کرد. از دیگر موارد قابل استفاده سنگدانه‌های باز یافتی که نتایج بسیار خوبی نیز داده اند، استفاده از این سنگدانه‌های باز یافتی برای مصرف در لایه اساس زیرسازی‌های راه است. در فرآیند خرد کردن بتن، پودر و غباری حاصل می‌شود که می‌توان از آن به عنوان ماده اولیه سیمان، ترکیبی برای تولید ملات و پایدارکننده خاک استفاده کرد. استفاده از این پودر آلودگی ناشی از فرآیند تولید سیمان را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. این در حالیست که هزینه خرد کردن بتن بسیار کم است. [۲۰] باراک یکی از کاربری‌های ضایعات باز یافتی از برچیدن ساختمان‌های قدیمی تر، را تولید بلوک‌های کفپوش برای پیاده‌سازی دانست. در این نوع کاربرد، با عبور دادن ضایعات بتنی از سنگ شکن، مصالح سنگی باز یافتی تولید می‌شوند که متناسب با کیفیت بتن اولیه، پارامترهای مقاومتی مورد نیاز را در اختیار می‌گذارد. [۱۸]

محمود سلیم موفق و همکاران ۱۳۹۷ اثر فوق روان کننده پلی کربوکسیلات بر کارایی (اسلامپ) و مقاومت فشاری بتن را مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که با افزایش نسبت آب به سیمان پارامتر اسلامپ به صورت کلی روندی نزولی داشته است. همچنین با افزایش عیار سیمان در بتن نسبت آب به سیمان ثابت، بتن با عیار کمتر مقدار اسلامپ بیشتری داشته است. با افزایش درصد روان کننده پلی کربوکسیلات، پارامتر اسلامپ به صورت کلی روندی صعودی داشته است. همچنین با افزایش عیار سیمان در بتن در درصد روان کننده پلی کربوکسیلات ثابت، بتن با عیار بیشتر مقدار اسلامپ کمتری داشته است. با افزایش نسبت آب به سیمان مقدار مقاومت فشاری کاهش یافته است. بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری در برابر درصد روان کننده پلی کربوکسیلات در نمونه‌های بتنی با عیارهای مختلف سیمان مشاهده شده است که با افزایش درصد روان کننده پلی کربوکسیلات مقدار مقاومت فشاری افزایش یافته است که این امر به دلیل کاهش نسبت آب به سیمان روی داده است. همچنین افزایش عیار سیمان منجر به افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها شده است. بر اساس نتایج مقایسه اقتصادی درصد افزایش مقاومت فشاری در برابر درصد افزایش قیمت مشاهده شده است که بهترین عملکرد

برای بتن‌های با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب روی داده است و نسبت افزایش مقاومت فشاری به افزایش قیمت در این حالت برابر با ۱,۶ می‌باشد. [۱۷]

دادار و همکاران، ۱۳۹۳، تحلیل فنی و اقتصادی بازیافت زباله های ساختمانی به منظور استفاده از ساخت بتن با هدف حفظ محیط زیست، مقاومت فشاری نمونه های مکعبی، افت بتن، درصد هوای بتن، نسبت آب به سیمان، وزن واحد حجم بتن تازه در نمونه ها تعیین شد. بتن ساخته شده با سنگدانه های بازیافتی مقاومت بهتر یا مشابه با مخلوط های بتنی ساخته شده با سنگدانه های طبیعی در برابر یخ زدن و ذوب شدن دارد. کمالی و همکاران، ۱۳۹۳، اثر استفاده از الیاف بازیافتی پلی اتیلن ترفتالات بر خواص مکانیکی و فیزیکی را مورد بررسی قرار داد. آنها به این نتیجه رسیدند که استفاده از الیاف بازیافتی پلی اتیلن ترفتالات به عنوان جایگزین ۵، ۱۰، ۱۵ درصد از حجم ماسه در ترکیبات بتن، پلی اتیلن ترفتالات می تواند به عنوان جانشین بخشی از ماسه در مخلوط های بتن قابل استفاده است. [۳۰] نظری مطلق، ۱۳۹۱، بررسی مقاومت ضربه ای بتن مسلح با الیاف تشکیل شده از مصالح بازیافتی، اندازه گیری مقاومت فشاری، مقاومت کششی، چگالی، مقاومت ضربه ای آزمون های بتن، الیاف فولادی به شدت باعث بالا رفتن مقاومت ضربه ای بتن معمولی و بتن بازیافتی را مورد بررسی قرار دادند. [۲۵] امیریانی، ۱۳۹۰، ارزیابی دوام بتن حاوی سنگدانه های حاصل از بتن های بازیافتی در مقابل سیکل های ذوب و انجماد را مورد بررسی قرار داد. وی به بررسی تأثیر کیفیت مصالح بر روی خصوصیات دو نوع بتن با مصالح بازیافتی تهیه شده از جداول بتنی قدیمی و تخریب شده با مقاومت و عمر نامشخص و مصالح تهیه شده از بتن های تولید شده پرداخت و به این نتیجه رسید که الیاف فولادی به شدت باعث بالا رفتن مقاومت ضربه ای بتن معمولی و بتن بازیافتی می شود. [۲۲] فریدی، ۱۳۹۲، بررسی خواص بتن خود متراکم با استفاده از سنگدانه های بازیافتی و پوزولان طبیعی (ژئولیت) را مورد بررسی قرار داد. وی با انجام آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، درصد تخلخل و درصد جذب آب، نایج قابل توجهی بدست آورد. نتایج آزمایشات نشان از تأثیر مثبت استفاده از بتن خود تراکم حاوی سنگدانه بازیافتی و پوزولان ژئولیت طبیعی در بتن خود تراکم بود. [۲۸] طهمورثی، ۱۳۹۲، به بررسی خواص مکانیکی بتن حاوی سنگدانه های بتنی بازیافتی پرداخت. وی با انجام آزمایش های مقاومت فشاری و انقباض و مقاومت کششی، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، جذب آب و سرعت امواج فراصوتی بر روی نمونه های موردنظر به این نتیجه رسید که با افزایش درصد حجمی الیاف پلی پروپیلن، افزایش قابل توجه در نتایج مقاومت کششی، مدول الاستیسیته و کاهش جذب آب نمونه ها و تأثیر منفی بر مقاومت های فشاری و خمشی ایجاد می شود. [۱۶ و ۱۹]

احمدی، ۱۳۹۲، بررسی نقش الیاف بر خواص مکانیکی بتن ساخته شده از نخاله های ساختمانی را مورد بررسی قرار داد. وی با بررسی خواص مکانیکی بتن ساخته از سنگ دانه های بازیافتی به همراه الیاف به این نتیجه رسید که با توجه به استفاده از الیاف در بتن مقاومت آن بهبود می یابد. نعمتی، میرزایی، ۱۳۹۲، استفاده از بتن ضایعاتی به عنوان بخشی از بتن جدید را بررسی نمودند. [۲۳] آنها مقایسه ای بین نتایج تجربی از خواص بتن معمولی سخت شده با بتن بازیافتی که سنگدانه های درشت آن با نسبت های مختلف سنگدانه های بازیافتی جایگزین شده را انجام دادند. نتیجه این بود که برای بالا بردن کیفیت دانه های درشت بازیافتی نیاز به پیروی از مقررات خواص برای طراحی و تولید این نوع بتن می باشد. [۲۵] سپهری، ۱۳۹۳، مطالعه آزمایشگاهی چقرمگی شکست بتن معمولی و بتن با سنگدانه بازیافتی را بررسی نمود. وی تیرهای منشوری با عمق ترک های مختلف و مقاومت های مختلف و نیز با روش آزمایش با بارگذاری سه نقطه ای و چهارنقطه ای ساخته شده و طبق استاندارد ASTM 1421-99 مورد آزمایش قرار داد. نتایج مطابقت خوبی را نشان داده و مقادیر چقرمگی شکست آزمایشگاهی بتن بازیافتی مقدار خیلی کمتری نسبت به بتن معمولی را نشان دادند. طاهرخانی، ۱۳۹۳، بررسی خصوصیات مکانیکی ترکیبات مختلف از آسفالت و بتن بازیافتی تثبیت شده با سیمان و مسلح شده با الیاف فولادی را بررسی نمود. وی مقاومت فشاری و خمشی ترکیبات مختلفی از خرده بتن و آسفالت بازیافتی که با سیمان تثبیت شده و با الیاف فولادی مسلح شده اند مورد مطالعه قرار داد و وی به این نتیجه رسید که مقاومت فشاری و خمشی با افزودن الیاف تا حد معینی افزایش و پس از آن کاهش می یابد. [۸] مارینکوویچ، ۲۰۱۴، سنجش چرخه زندگی بتن ها که با استفاده از بتن های بازیافتی تولید شده اند را بررسی نمود. وی به این نتیجه رسید که بتن های بازیافتی دارای مقاومت بسیار زیادی هستند که توانایی و ویژگی های مثبت این بتن ها را نسبت به بتن های دیگر بیشتر دارند. [۱۴]

۲- مزایای بازیافت بتن

یکی از مهمترین مزیت استفاده از بتن های بازیافتی بحث صرفه جویی می باشد که می تواند باعث میلیون ها دلار کاهش هزینه ها در ساخت و ساز گردد. تقریباً هر ساله ۲۵ میلیارد تن بتن در جهان تولید می شود که سهم هر نفر در سال برابر با ۳٫۸ تن بتن می باشد. با توجه به عمر پایین ساختمان ها در ایران و تخریب و بازسازی آنها در دوره های تقریبی ۲۵ الی ۳۰ ساله، استفاده از بتن های تخریب شده در ساخت بتن های جدید بسیار صرفه خواهد بود. در شهر تهران میزان نخاله های ساختمانی تولید شده در سال چیزی در حدود ۲۰ هزار تن می باشد. در نتیجه با توجه به میزان قابل توجه بتن دور ریخته شده، بازیافت بتن می تواند بسیار صرفه اقتصادی داشته باشد از آنجا که باعث کاهش مصرف سنگدانه های استخراج شده از معادن و همچنین کاهش مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست می شود.

بازیافت بتن و استفاده از آن در پروژه های ساختمانی دارای مزایای بسیاری است که شامل موارد زیر می شود:

- کاهش نخاله و زمین های مختص دفن نخاله های ساختمانی

- جایگزین مناسب برای سنگدانه های بکر و کاهش هزینه های استخراج سنگدانه های بکر

- کاهش تولید CO2 در اثر استفاده از پودر تولید شده در ساخت سیمان

- کاهش هزینه های حمل و نقل

- کاهش هزینه های دفع و دفن نخاله

- کاهش میزان سوخت فسیلی مصرفی جهت تولید سیمان

۳- طرح اختلاط بتن ها

عامل مخرب برای بتنی که در محیط سولفاتی قرار گرفته با بتنی که در ساحل دریا و در تماس با آب دریا قرار گرفته، متفاوت خواهد بود و عامل مخرب برای بتنی که در معرض یخ زدن و آب (ذوب) شدن متوالی قرار گرفته، با دو مورد قبلی (که مورد بحث ما نیز است) تفاوت خواهد داشت. بنابراین در یک طرح مخلوط مناسب، تأثیر هر یک از عوامل مخرب محیطی در جای مناسب در نظر گرفته شده و تدابیر مناسب جهت تأمین دوام کافی، اتخاذ خواهد گردید.

جزئیات طرح اختلاط موجود برای دو نمونه بتن دست اول و بازیافتی به صورت جداول ۱ و ۲ در ادامه آمده است که در نمونه بتن دست اول با محاسبات صورت گرفته به روش ACI-211-8 در تمامی طرح های آزمایشی بتن تنها پارامتر ثابت میزان آب مصرفی می باشد که براساس اسلامپ ۱۲-۱۰ و بزرگترین بعد دانه مصرفی ۲۵ میلی متر می باشد در نظر گرفته شده است. نکته دیگری که باید ذکر شود درصد اختلاط ریزدانه به درشت دانه در این آزمایش به صورت شصت درصد به چهل درصد می باشد.

جدول ۱- طرح اختلاط نمونه دست اول (NAC)

نام مخلوط	NC-6*	NC-5*	NC-4*	NC-3*	NC-2*	NC-1*
سیمان	۵۵۰	۵۰۰	۴۵۰	۳۵۰	۳۰۰	۲۵۰
ماسه (ریزدانه)	۶۶۶/۴	۶۹۳/۳	۷۱۳	۷۳۳/۲	۷۵۳/۲	۷۷۳/۲
شن (درشت دانه)	۱۰۰۹/۷	۱۰۲۹/۶	۱۰۶۹/۵	۱۰۹۹/۸	۱۱۲۹/۸	۱۱۵۹/۸
آب	۱۹۷	۱۹۷	۱۹۷	۱۹۷	۱۹۷	۱۹۷
آب/سیمان	۰/۳۶	۰/۴۰	۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۷۹

* نکته در این جدول منظور از NC-1 بتن C25، NC-2 بتن C30، NC-3 بتن C35، NC-4 بتن C45، NC-5 بتن C50 و در نهایت NC-6 بتن C55 می باشد.

سپس مبادرت به شکستن نمونه‌ها و نمونه‌گیری از تکه‌های شکسته شده با ابعاد بیشینه درشت‌دانه تا ۴۰ میلی‌متر ورزیده شد. در این قسمت با توجه به روش ACI-211-89 تنها پارامتر ثابت میزان آب مصرفی می باشد و براساس اسلامپ ۱۲-۱۰ و بزرگترین بعد دانه مصرفی ما که ۴۰ میلی‌متر می باشد با درون‌یابی صورت گرفته ۱۹۲ در نظر گرفته شده است. در این آزمایش نسبت اختلاط درشت‌دانه به ریزدانه همانند نمونه‌های NAC نسبت ریزدانه به درشت‌دانه ۴۰ به ۶۰ فرض گردیده است. اسلامپ ۱۲-۱۰ برای بتن با عیار ۵۵۰ با توجه به کاهش میزان سیمان، قطعاً در حالات دیگر این اسلامپ افزایش می‌یابد. نکته قابل ذکر در این طرح اختلاط به نسبت طرح اختلاط قبلی تنها تغییر در ابعاد و شن مصرفی می باشد که همان طور که بیان شد در این طرح استفاده از شن بازیافتی حاصله از نمونه اول با بیشینه بعد ۴۰ میلی‌متر لحاظ گردید.

جدول ۲- طرح اختلاط استفاده شده در ساخت بتن‌های بازیافتی (RAC)

نام مخلوط	RC-6*	RC-5*	RC-4*	RC-3*	RC-2*	RC-1*
سیمان	۵۵۰	۵۰۰	۴۵۰	۳۵۰	۳۰۰	۲۵۰
ماسه (ریزدانه)	۶۶۳/۸	۶۹۳/۸	۷۱۳/۸	۷۳۸/۸	۷۵۸/۸	۷۷۸/۲
شن (درشت دانه)	۱۰۲۸/۲	۱۰۴۸/۲	۱۰۷۸/۲	۱۱۰۸/۲	۱۱۳۸/۲	۱۱۶۸/۲
آب	۱۹۲	۱۹۲	۱۹۲	۱۹۲	۱۹۲	۱۹۲
آب/سیمان	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۵۵	۰/۶۴	۰/۷۷

* نکته در این جدول منظور از RC-1 بتن بازیافتی C25، RC-2 بتن بازیافتی C30، RC-3 بتن بازیافتی C35، RC-4 بتن بازیافتی C45، RC-5 بتن بازیافتی C50 و در نهایت RC-6 بتن بازیافتی C55 می باشد.

۴- نحوه ساخت و نمونه‌گیری

در تهیه نمونه‌ها، مصالح سنگی به صورت اشباع با سطح خشک مورد استفاده قرار گرفتند. ابتدا مصالح قبل از مخلوط شدن به دقت توزین و آماده شدند. ماسه و سیمان به طور همزمان در میکسر ریخته شده و به مدت ۱ دقیقه با یکدیگر مخلوط شدند. سپس در حدود نصف آب مصرفی به مصالح اضافه شد و عمل مخلوط کردن به مدت ۲ دقیقه ادامه پیدا کرد. سپس نصف دیگر آب اضافه شد تا باعث ترکیب مناسب‌تر مواد با یکدیگر شده و یک مخلوط همگن به دست آید. بعد از این مدت سنگدانه‌های درشت را به میکسر اضافه کرده و در حالی که باقی‌مانده آب را نیز به آرامی به مخلوط اضافه می‌شد، عمل مخلوط کردن تا ۳ دقیقه دیگر ادامه پیدا کرده تا یک بتن با کیفیت و کارایی مناسب به دست آید. لازم به ذکر است که این شیوه اختلاط به تمامی نمونه‌ها و بتن‌های معمولی و بازیافتی تعمیم داده شد تا هم تمامی وجوه سنگدانه‌ها به خوبی با چسب سنگدانه‌ها مخلوط شوند و هم بتن تولیدی با حداقل گرمایی و از دست ندادن آب مصرفی روبه‌رو شود مخصوصاً در بتن‌های بازیافتی چرا که با پیش زمینه قبلی و مطالعات گذشته می‌دانستیم که کارایی بتن بازیافتی پایین و جذب آب

بالایی دارد. قبل از انتقال به قالب‌های نمونه‌گیری جداره‌های قالب‌ها به وسیله روغن کاملاً چرب شد تا از چسبیدن بتن و خمیر موجود به جداره‌های قالب جلوگیری شود.

سپس توسط میز ویبره (ویبره) گردید تا به خوبی متراکم گردند. در هر بار مراجعه به آزمایشگاه دو عیار بتن ساخته می‌شد ضمن اینکه پیش از اولین نمونه‌گیری آزمایشات دانه‌بندی، غلظت نرمال، زمان گیرش اولیه، درصد رطوبت چگالی و جذب آب درشت‌دانه‌ها صورت پذیرفت (که شرح آزمایشات صورت گرفته، هدف، ابزار آزمایش و در نهایت محاسبات و نتایج ثبت شده بیان گردید) و پیش از هر آزمایش، آزمایش اسلامپ با طرح اختلاط مربوطه انجام پذیرفت که در ادامه شرح آزمایش به آن و نتایج حاصله پرداخته می‌شود.



شکل ۳- دانه‌بندی و مشخص کردن ترکیبات هر نمونه مورد نظر



شکل ۴- آماده‌سازی قالب‌ها قبل از قالب‌گیری شدن

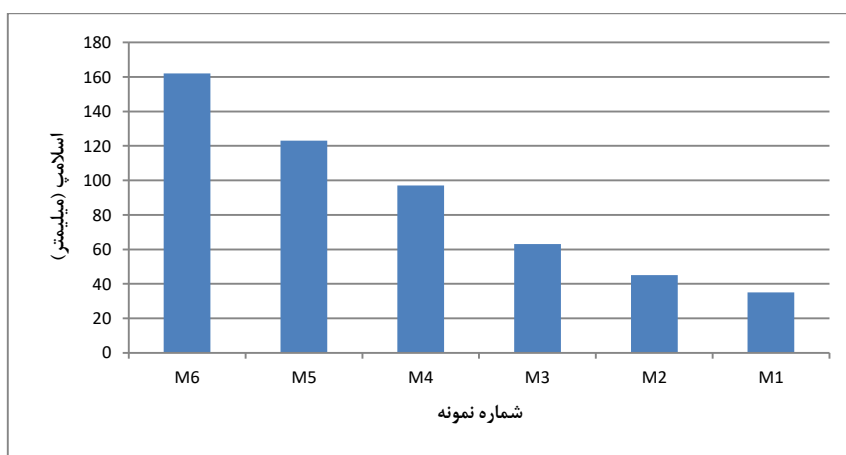
۵- بررسی اسلامپ نمونه ها

۵-۱ اسلامپ نمونه های با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

در جدول ۳ نتایج مربوط به میزان اسلامپ نمونه ها با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب آورده شده است و نتایج به دست آمده در قالب نمودارهای شکل ۵ مورد بررسی قرار گرفته است.

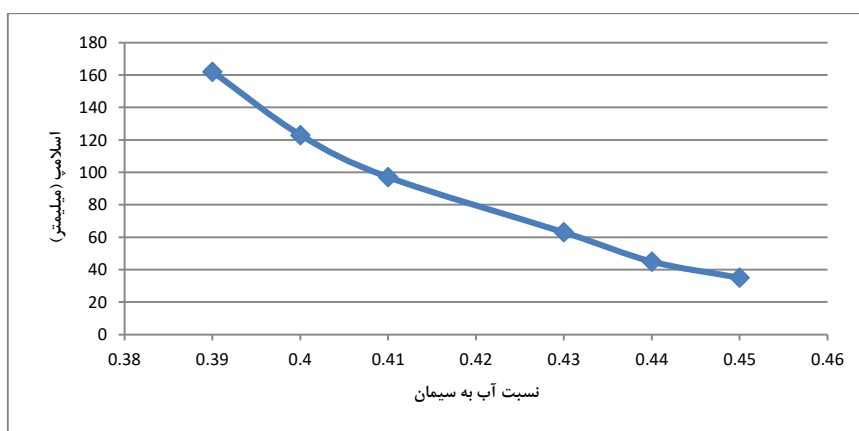
جدول ۳ میزان اسلامپ برای نمونه های با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

مخلوط بتن نمونه	مخلوط های بتنی (عیار ۴۰۰)					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
درصد کربنسیلات	۰,۳٪	۰,۵٪	۰,۷٪	۱٪	۱,۳٪	۱,۶٪
نسب آب به سیمان	۰,۴۵	۰,۴۴	۰,۴۳	۰,۴۱	۰,۴۰	۰,۳۹
اسلامپ (میلیمتر)	۳۵	۴۵	۶۳	۹۷	۱۲۳	۱۶۲



شکل ۵- مقایسه اسلامپ نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

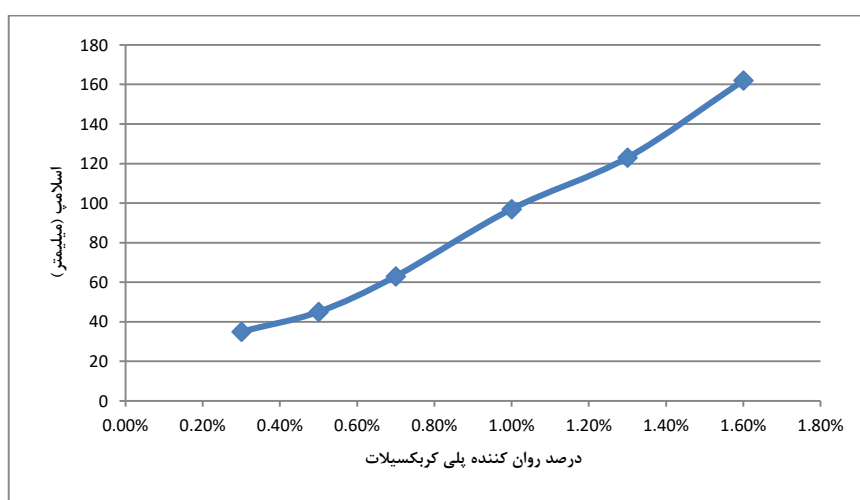
همچنین، تغییرات در میزان کسری در ازای تغییر نسبت آب به سیمان برای نمونه هایی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب در نمودار ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- تغییرات اسلامپ در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان برای نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

بر اساس نتایج تغییرات کسری در مقابل تغییرات نسبت آب به سیمان برای نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب ، مشاهده شده است که با کاهش نسبت آب به سیمان ، میزان کسری افزایش یافته است. بنابراین ، با کاهش نسبت آب به سیمان از ۰/۴۵ به ۰/۳۹ ، میزان رکود از ۳۵ میلی متر به ۱۶۲ میلی متر افزایش یافته که این رشدی برابر با ۶/۴ برابر است. سرانجام ، تغییرات در نرخ افت نرخ ارز در ازای تغییر درصد روانکار پلی کربوکسیلات برای نمونه هایی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب در نمودار ۷ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج تغییرات اسلامپ در مقابل تغییرات درصد روانکار پلی کربوکسیلات برای نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب ، مشاهده شده است که با افزایش درصد روانکار پلی کربوکسیلات ، میزان اسلامپ نمونه ها افزایش یافته است. طبق نتایج ، با افزایش درصد روان کننده از ۰,۳٪ به ۱,۶٪ ، میزان اسلامپ از ۳۵ میلی متر به ۱۶۲ میلی متر رسیده است که می توان گفت نسبت رشد کسادی به درصد روانکار برابر ۰,۸۶ است .



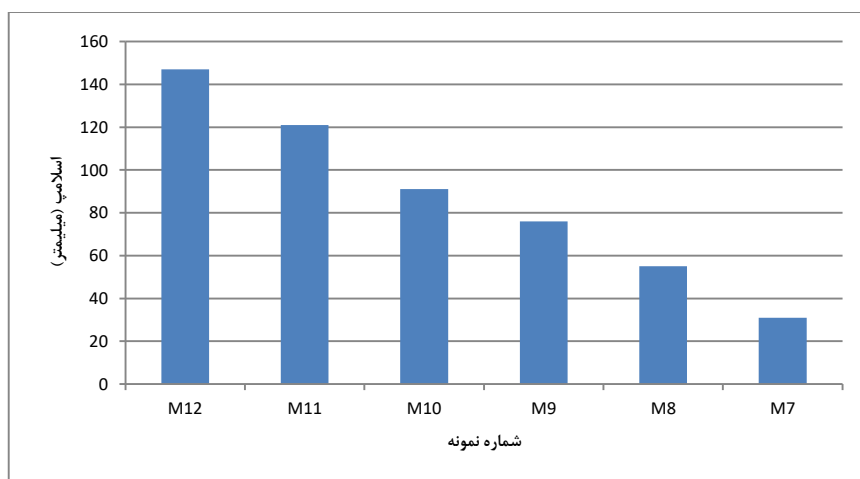
شکل ۷- تغییرات اسلامپ در برابر تغییرات درصد روان کننده پلی کربوکسیلاتی برای نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

۲-۵ اسلامپ نمونه های با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب:

در زیر جدول ۴ نتایج مربوط به میزان اسلامپ نمونه ها با عیار ۴۵۰ کیلوگرم در متر مکعب آورده شده است و نتایج به صورت نمودارهای شکل ۸ بررسی می شوند.

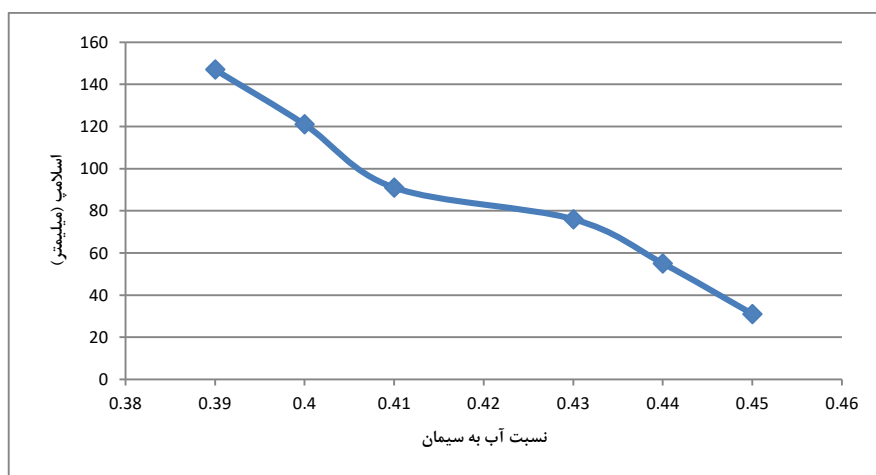
جدول ۴- میزان اسلامپ برای نمونه های با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب

مخلوط بتن	مخلوط های بتنی (عیار ۴۵۰)					
	M7	M8	M9	M10	M11	M12
نمونه						
درصد کربوکسیلات	۰,۳٪	۰,۵٪	۰,۷٪	۱٪	۱,۳٪	۱,۶٪
نسب آب به سیمان	۰,۳۹	۰,۳۸	۰,۳۷	۰,۳۶	۰,۳۵	۰,۳۴
اسلامپ (میلیمتر)	۳۱	۵۵	۷۶	۹۱	۱۲۱	۱۴۷



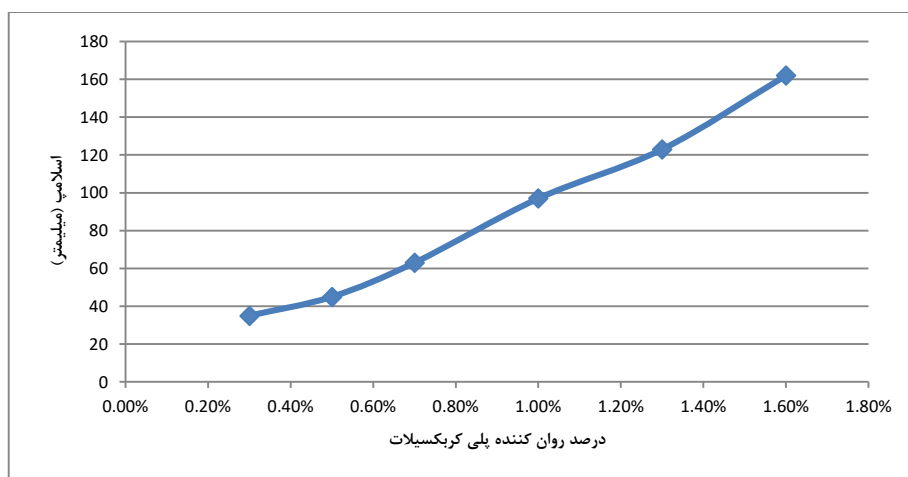
شکل ۸- مقایسه اسلامپ نمونه های بتنی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب

همچنین، تغییرات در میزان کسری برای تغییر در نسبت آب به سیمان برای نمونه هایی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم در متر مکعب در نمودار شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- تغییرات اسلامپ در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان برای نمونه های بتنی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب

بر اساس نتایج تغییرات کسری در مقابل تغییرات نسبت آب به سیمان برای نمونه های بتنی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم در متر مکعب، مشاهده شده است که با کاهش نسبت آب به سیمان، میزان کسری افزایش یافته است. بنابراین، با کاهش نسبت آب به سیمان از ۰,۳۹ به ۰,۳۴، میزان کسری از ۳۱ میلی متر به ۱۴۷ میلی متر افزایش یافته است که این رشدی برابر با ۴,۷ برابر است. سرانجام، تغییرات در نرخ افت نرخ ارز در ازای تغییر درصد روانکار پلی کربوکسیلات برای نمونه هایی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم در متر مکعب در نمودار شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- تغییرات اسلامپ در برابر تغییرات درصد روان کننده پلی کربکسیلاتی برای نمونه های بتنی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب

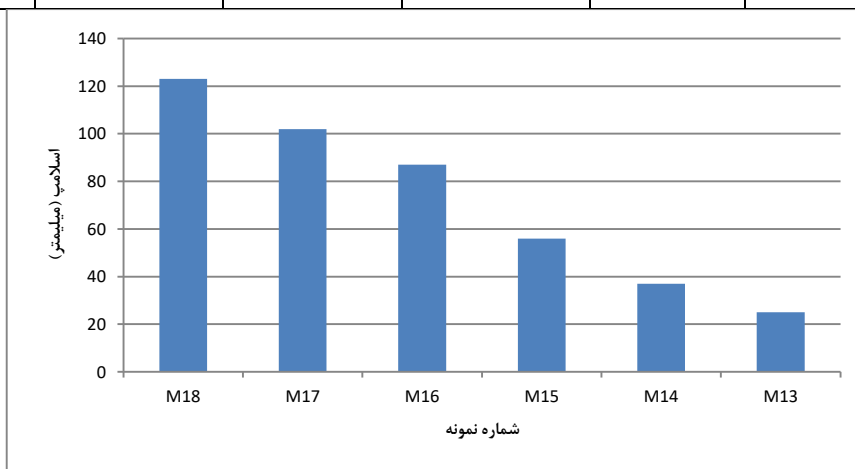
با توجه به نتایج تغییرات اسلامپ در مقابل تغییرات درصد روانکار پلی کربکسیلات برای نمونه های بتنی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم در متر مکعب، مشاهده شده است که با افزایش درصد روانکار پلی کربکسیلات، میزان اسلامپ نمونه ها افزایش یافته است. طبق نتایج، با افزایش درصد روان کننده از ۰٫۳٪ به ۱٫۶٪، میزان اسلامپ از ۳۱ میلی متر به ۱۴۷ میلی متر رسیده است که می توان گفت نسبت رشد کسادی به درصد روانکار برابر با ۰٫۸۸ است.

۳-۴ اسلامپ نمونه های با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

در جدول ۵ نتایج مربوط به میزان اسلامپ نمونه های با عیار ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب آورده شده است و نتایج به دست آمده در قالب نمودارهای در شکل ۱۱ مورد بررسی قرار گرفته است.

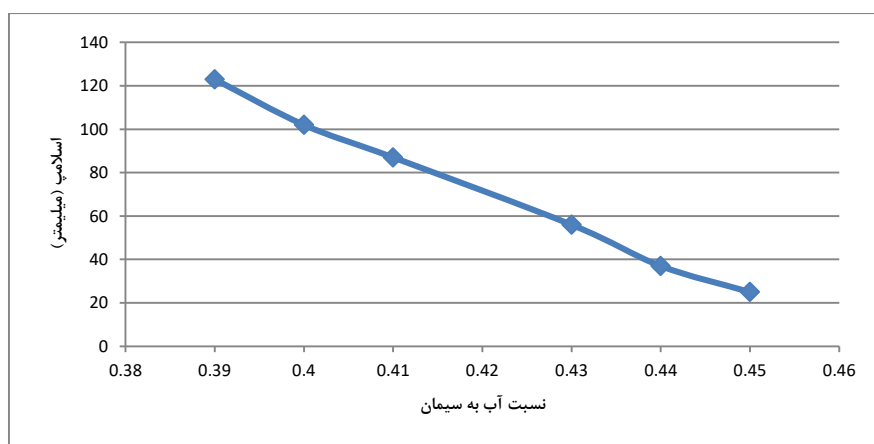
جدول ۵- میزان اسلامپ برای نمونه های با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

مخلوط بتن	مخلوط های بتنی (عیار ۵۰۰)						
	نمونه	M13	M14	M15	M16	M17	M18
درصد کربکسیلات		۰٫۳٪	۰٫۵٪	۰٫۷٪	۱٪	۱٫۳٪	۱٫۶٪
نسب آب به سیمان		۰٫۳۵	۰٫۳۴	۰٫۳۳	۰٫۳۲	۰٫۳۱	۰٫۳۰
اسلامپ (میلیمتر)		۲۵	۳۷	۵۶	۸۷	۱۰۲	۱۲۳



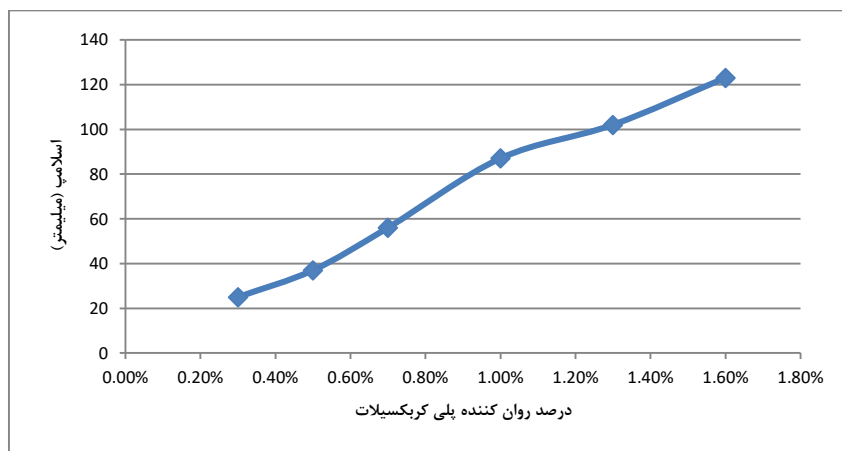
شکل ۱۱- مقایسه اسلامپ نمونه های بتنی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

همچنین، تغییرات در میزان اسلامپ برای تغییرات نسبت آب به سیمان برای نمونه های با عیار ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب در نمودار شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- تغییرات اسلامپ در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان برای نمونه های بتنی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

بر اساس نتایج تغییرات کسری در مقابل تغییرات نسبت آب به سیمان برای نمونه های بتنی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب، مشاهده شده است که با کاهش نسبت آب به سیمان، میزان کسری افزایش مییابد. بنابراین، با کاهش نسبت آب به سیمان از ۰,۳۵ به ۰,۳۰، میزان کسری از ۲۵ میلی متر به ۱۲۳ میلی متر رسیده است که این رشدی برابر با ۴,۹ برابر است. سرانجام، تغییرات در نرخ افت نرخ ارز در ازای تغییر درصد روانکار پلی کربوکسیلات برای نمونه هایی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب در نمودار شکل ۱۳ نشان داده شده است.

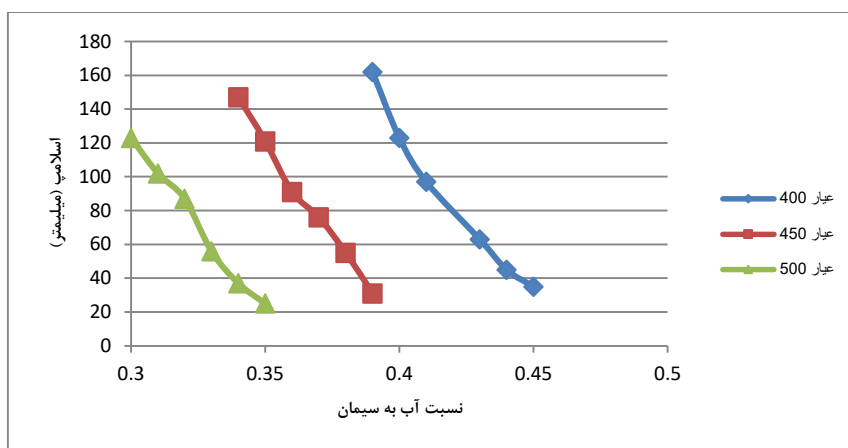


شکل ۱۳- تغییرات اسلامپ در برابر تغییرات درصد روان کننده پلی کربوکسیلاتی برای نمونه های بتنی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

با توجه به نتایج تغییرات اسلامپ در مقابل تغییرات درصد روانکار پلی کربوکسیلات برای نمونه های بتنی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب، مشاهده شده است که با افزایش درصد روانکار پلی کربوکسیلات، میزان اسلامپ نمونه ها افزایش یافته است. طبق نتایج، با افزایش درصد روان کننده از ۰,۳٪ به ۱,۶٪، میزان کسادی از ۲۵ میلی متر به ۱۲۳ میلی متر افزایش یافته است که می توان گفت نسبت رشد اسلامپ به درصد رشد روان کننده برابر است با ۰,۹۲.

۴-۵ جمع بندی تغییرات اسلامپ نمونه ها

در شکل ۱۴ و ۱۵ مقایسه بین نتایج حاصل از تست اسلامپ برای سه نمونه بتن با عیار ۴۵۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ آورده شده است.



شکل ۱۴- مقایسه تغییرات اسلامپ در برابر نسبت آب به سیمان در بتن های با عیار مختلف سیمان دارای روان کننده پلی کربوسیلیات

بر اساس نتایج مقایسه تغییرات کسری نسبت آب به سیمان در بتن های دارای درجه های مختلف سیمان با روان کننده پلی کربوسیلیات، مشاهده شده است که با افزایش نسبت آب به سیمان، پارامتر کسری به طور کلی روند نزولی داشته است. همچنین، با افزایش عیار سیمان در بتن نسبت آب به سیمان ثابت، بتن با درجه پایین تر رکود بیشتری داشت.



شکل ۱۵- مقایسه تغییرات اسلامپ در برابر درصد روان کننده پلی کربوسیلیات در بتن های با عیار مختلف سیمان

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه تغییرات کسری در برابر درصد روانکار پلی کربوسیلیات در بتن با درجه های مختلف سیمان، مشاهده شده است که با افزایش درصد روانکار پلی کربوسیلیات، پارامتر کسری به طور کلی روند صعودی داشته است. همچنین، با افزایش عیار سیمان در بتن در درصد روانکار ثابت پلی کربوسیلیات، بتن با عیار بالاتر از رکود کمتری برخوردار بود.

۶- مقاومت فشاری

در این بخش، مقاومت فشاری بتن های حاوی درصد های مختلف روان کننده های پلی کربوسیلیات مورد بحث قرار گرفته است. سنین مورد نظر ۷، ۱۴، ۲۸ روز است. جدول زیر نتایج مقاومت فشاری نمونه ها را در سنین مختلف نشان می دهد. نمونه ها قبل از قرار دادن در زیر جک در آب نگهداری می شدند.

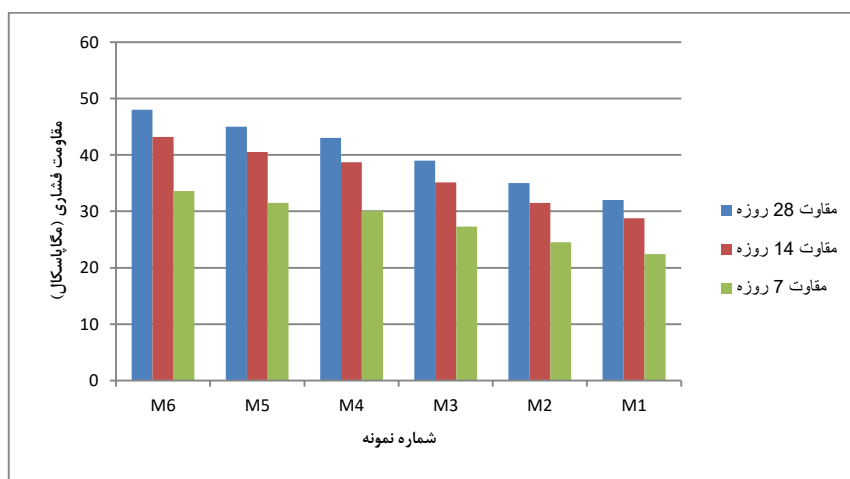
۶-۱ نمونه های با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

در جدول ۶ نتایج مربوط به مقاومت فشاری برای نمونه هایی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب ارائه شده است.

جدول ۶- مقاومت فشاری برای نمونه های با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

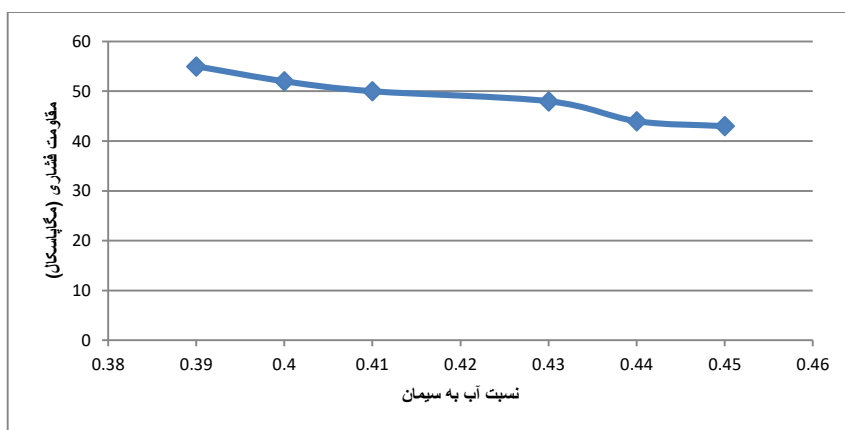
مخلوط بتن		مخلوط های بتنی (عیار ۴۰۰)					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
نمونه							
درصد کربکسیلات		٪۰,۳	٪۰,۵	٪۰,۷	٪۱	٪۱,۳	٪۱,۶
نسب آب به سیمان		۰,۴۵	۰,۴۴	۰,۴۳	۰,۴۱	۰,۴۰	۰,۳۹
مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	روز ۲۸	۳۲	۳۵	۳۹	۴۳	۴۵	۴۸
	روز ۱۴	۲۸,۸	۳۱,۵	۳۵,۱	۳۸,۷	۴۰,۵	۴۳,۲
	روز ۷	۲۲,۴	۲۴,۵	۲۷,۳	۳۰,۱	۳۱,۵	۳۳,۶

در ادامه در شکل ۱۶ نمودار مقایسه بین نتایج مقاومت فشاری نمونه های ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه نمونه ها برای عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب سیمان آورده شده است.



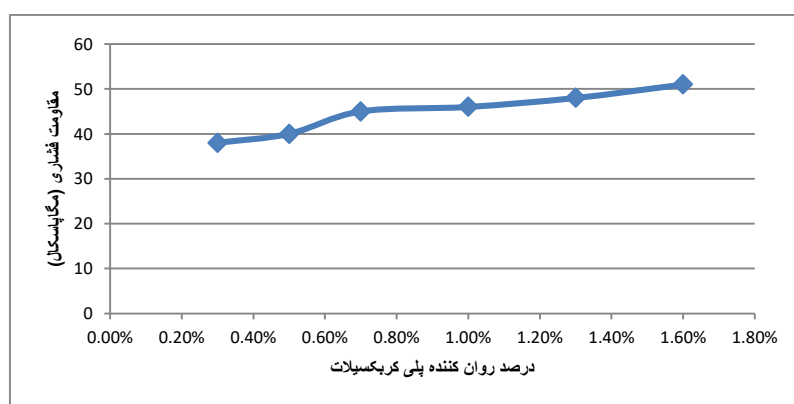
شکل ۱۶- تغییرات مقاومت فشاری در سنین مختلف برای بتن با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نمونه های بتنی دارای روان کننده پلی کربکسیلات

همچنین نمودار تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب و با روانکار پلی کربوکسیلات در شکل ۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۷- تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و دارای روان کننده پلی کربکسیلات

بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب و روان کننده پلی کربکسیلات مشاهده شده است که با افزایش نسبت آب به سیمان، میزان مقاومت فشاری کاهش یافته است. با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰,۳۹ به ۰,۴۵، مقدار مقاومت نهایی ۲۸ روزه از ۴۸ مگاپاسکال به ۳۲ مگاپاسکال رسیده است که این کاهش ۳۳ درصدی است. همچنین نمودار زیر در تغییرات مقاومت فشاری در برابر درصد روانکار پلی کربکسیلات در نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب در شکل ۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۸- تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات درصد روان کننده پلی کربکسیلات در نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

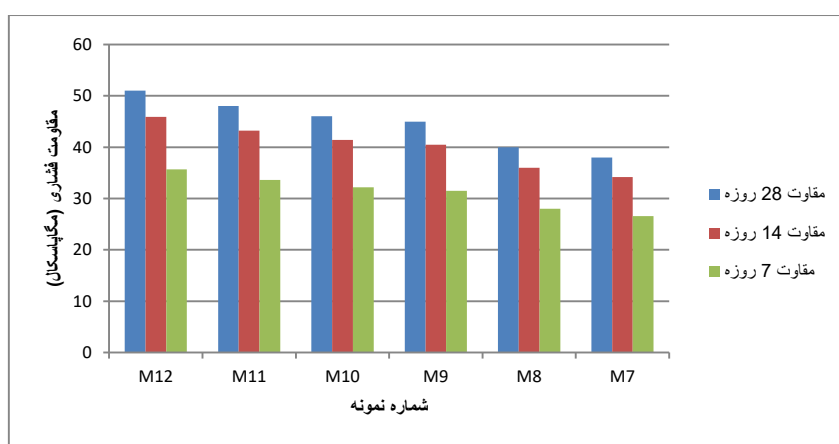
۲-۶ نمونه های با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب

جدول ۷ نتایج مربوط به مقاومت فشاری برای نمونه هایی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم در متر مکعب ارائه شده است.

جدول ۷- مقاومت فشاری برای نمونه های با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب

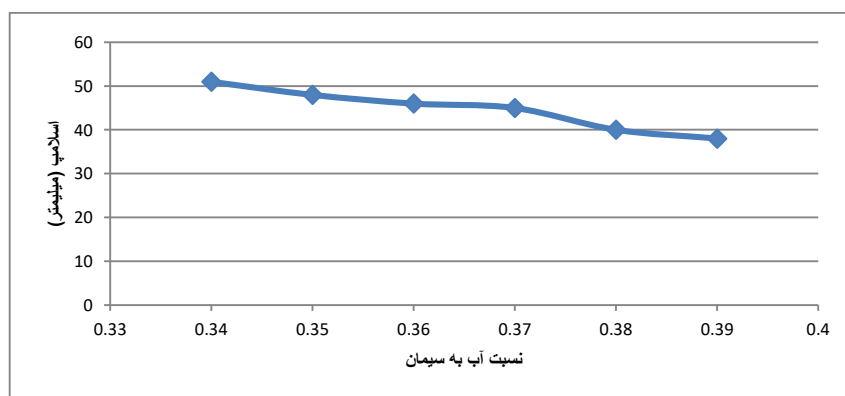
مخلوط بتن		مخلوط های بتنی (عیار ۴۵۰)					
نمونه		M7	M8	M9	M10	M11	M12
درصد کربکسیلات		۰,۳٪	۰,۵٪	۰,۷٪	۱٪	۱,۳٪	۱,۶٪
نسب آب به سیمان		۰,۳۹	۰,۳۸	۰,۳۷	۰,۳۶	۰,۳۵	۰,۳۴
مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	روز ۲۸	۳۸	۴۰	۴۵	۴۶	۴۸	۵۱
	روز ۱۴	۳۴,۲	۳۶	۴۰,۵	۴۱,۴	۴۳,۲	۴۵,۹
	روز ۷	۲۶,۶	۲۸	۳۱,۵	۳۲,۲	۳۳,۶	۳۵,۷

در ادامه در شکل ۱۹ نمودار مقایسه بین نتایج مقاومت فشاری نمونه های ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه نمونه ها برای عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب سیمان آورده شده است.



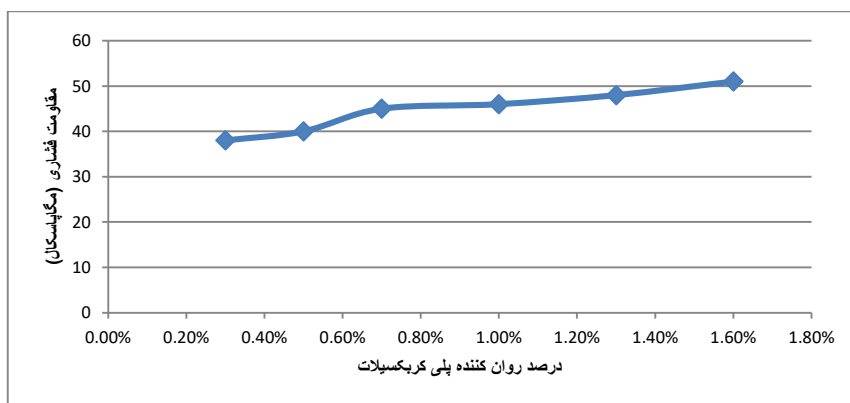
شکل ۱۹- تغییرات مقاومت فشاری در سنین مختلف برای بتن با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نمونه های بتنی دارای روان کننده پلی کربکسیلات

همچنین نمودار تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و با روانکار پلی کربکسیلات در شکل ۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲۰- تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و دارای روان کننده پلی کربکسیلات

بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم در متر مکعب و با روان کننده پلی کربوکسیلات مشاهده شده است که با افزایش نسبت آب به سیمان، میزان مقاومت فشاری کاهش یافته. با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰,۳۴ به ۰,۳۹، مقدار مقاومت نهایی ۲۸ روزه از ۵۱ MPa به ۳۸ MPa افزایش یافته است که ۲۵٪ کاهش است. همچنین نمودار زیر از تغییرات مقاومت فشاری در برابر درصد روانکار پلی کربوکسیلات در نمونه های بتنی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم در متر مکعب در شکل ۲۱ نشان داده شده است.



شکل ۲۱- تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات درصد روان کننده پلی کربوکسیلات در نمونه های بتنی با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب

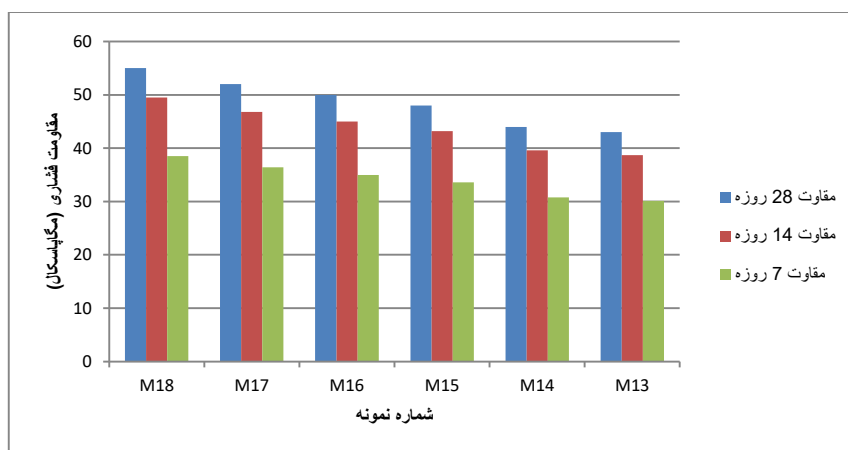
۳-۶ نمونه های با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب:

جدول ۸ نتایج مربوط به مقاومت فشاری برای نمونه هایی با درجه ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب ارائه شده است.

جدول ۸- مقاومت فشاری برای نمونه های با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

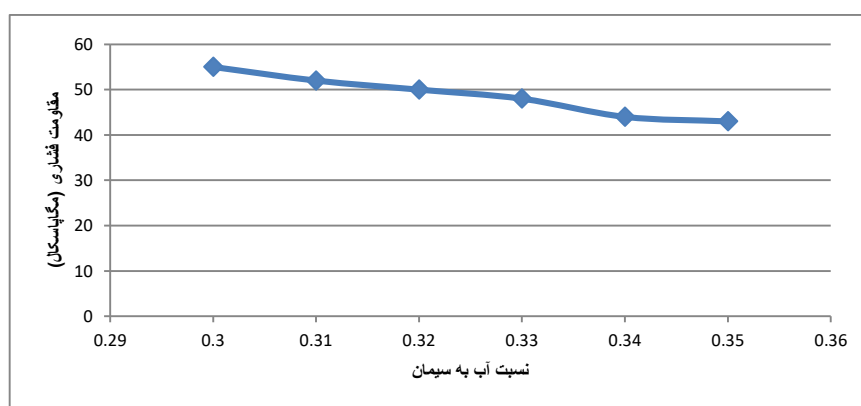
مخلوط بتن		مخلوط های بتنی (عیار ۴۰۰)					
		M13	M14	M15	M16	M17	M18
نمونه		M13	M14	M15	M16	M17	M18
درصد کربوکسیلات		۰,۳	۰,۵	۰,۷	۱	۱,۳	۱,۶
نسب آب به سیمان		۰,۳۵	۰,۳۴	۰,۳۳	۰,۳۲	۰,۳۱	۰,۳۰
مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	۲۸ روز	۴۳	۴۴	۴۸	۵۰	۵۲	۵۵
	۱۴ روز	۳۸,۷	۳۹,۶	۴۳,۲	۴۵	۴۶,۸	۴۹,۵
	۷ روز	۳۰,۱	۳۰,۸	۳۳,۶	۳۵	۳۶,۴	۳۸,۵

در ادامه در شکل ۲۲ نمودار مقایسه بین نتایج مقاومت فشاری نمونه های ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه نمونه ها برای عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب سیمان آورده شده است.



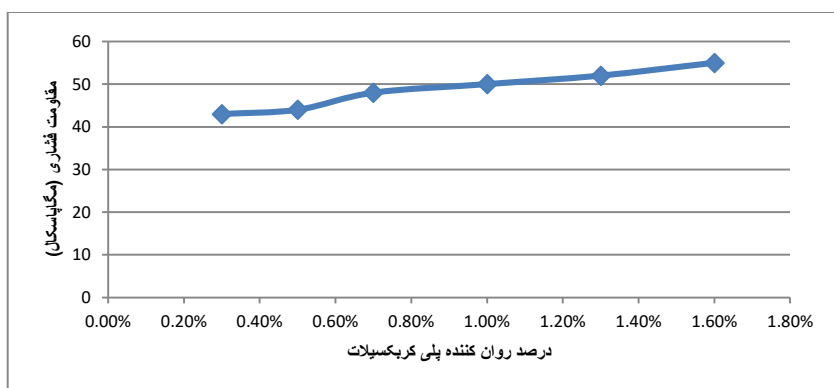
شکل ۲۲- تغییرات مقاومت فشاری در سنین مختلف برای بتن با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نمونه های بتنی دارای روان کننده پلی کربکسیلات

همچنین نمودار تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب و روان کننده پلی کربوکسیلات در شکل ۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۲۳- تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و دارای روان کننده پلی کربکسیلات

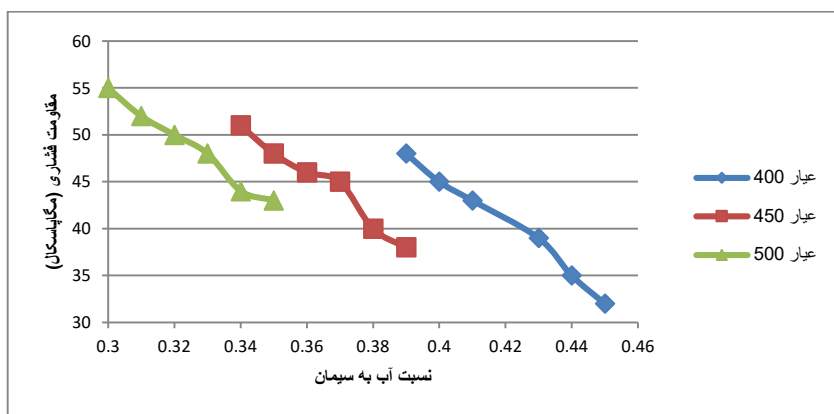
بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب و پلی کربوکسیلات روان کننده مشاهده شده است که با افزایش نسبت آب به سیمان، میزان مقاومت فشاری کاهش یافته است با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰,۳ به ۰,۳۵، مقدار مقاومت نهایی ۲۸ روزه از ۴۳ مگاپاسکال به ۵۵ مگاپاسکال رسیده است که ۲۲٪ کاهش است. همچنین نمودار زیر در تغییرات مقاومت فشاری در برابر روانکار پلی کربوکسیلات در نمونه های بتنی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب در شکل ۲۴ نشان داده شده است.



شکل ۲۴- تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات درصد روان کننده پلی کریکسیلات در نمونه های بتنی با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

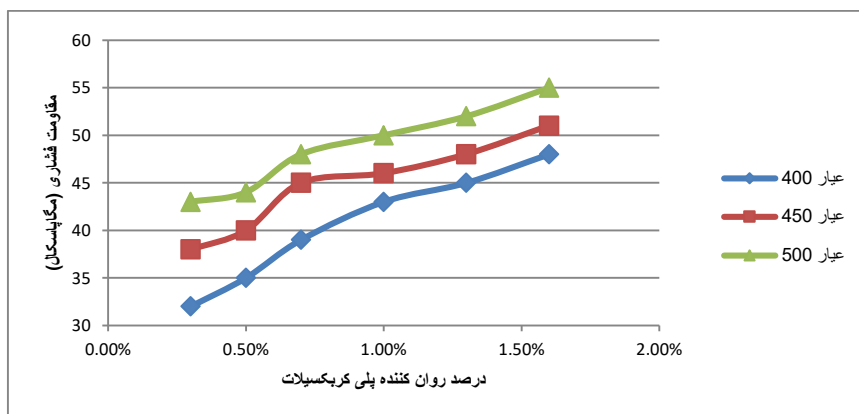
۴-۶ جمع بندی تغییرات مقاومت فشاری:

نمودار شکل ۲۵ مقایسه بین نتایج مقاومت فشاری نمونه های نسبت به مقدار آب به سیمان را برای عیار های مختلف سیمان در بتن نمایش می دهد.



شکل ۲۵- تغییرات مقاومت فشاری در برابر نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیارهای مختلف سیمان و روان کننده پلی کریکسیلات

بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری در برابر نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با درجه های مختلف روان کننده سیمان و پلی کریکسیلات، مشاهده شده است که با افزایش نسبت آب به سیمان، میزان مقاومت فشاری کاهش یافته است.



شکل ۲۶- تغییرات مقاومت فشاری در برابر درصد روان کننده پلی کریکسیلات در نمونه های بتنی با عیارهای مختلف سیمان

بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری در برابر درصد روانکار پلی کربوکسیلات در نمونه های بتنی با درجه های مختلف سیمان ، مشاهده شده است که با افزایش درصد روانکار پلی کربوکسیلات ، به دلیل کاهش آب به سیمان ، میزان مقاومت فشاری افزایش یافته است نسبت است. همچنین افزایش عیار سیمان منجر به افزایش مقاومت فشاری نمونه ها شده است. این موضوع با توجه به شکل ۲۶ قابل مشاهده است.

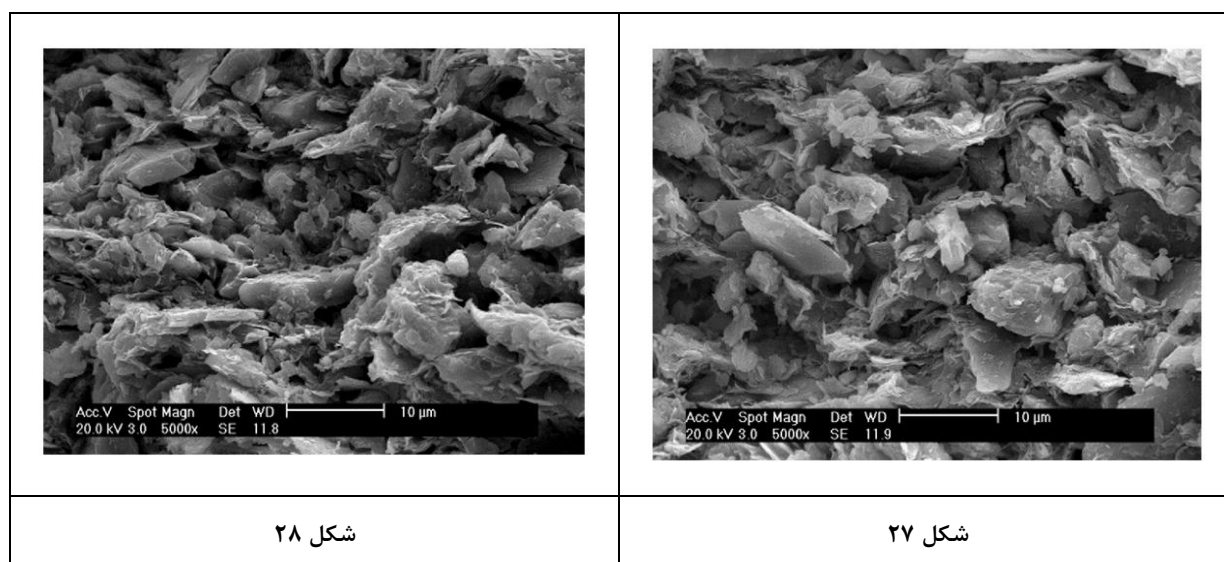
۷-میزان جذب آب مصالح بازیافتی:

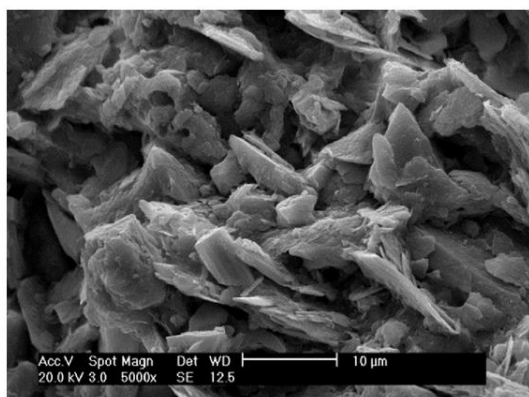
میزان درصد جذب آب مصالح بازیافتی بتن بعد از ۲۴ و ۷۲ ساعت برای سه نمونه مصالح بازیافتی بتن در جدول ۹ آمده است. مطابق با این جدول میزان جذب نمونه ها در حدود ۲۴ ساعت تقریباً میانگین ۱,۳ درصد و برای ۷۲ ساعت بصورت میانگین حدود ۱,۴۵ درصد می باشد.

جدول ۹- درصد افزایش جذب آب نهایی نمونه ها

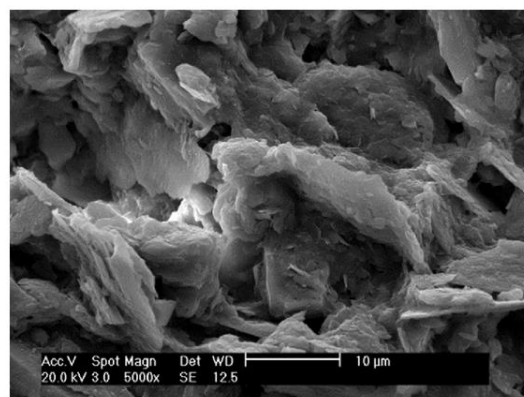
زمان	۲۴ ساعت	۲۴ ساعت	۲۴ ساعت	۷۲ ساعت	۷۲ ساعت	۷۲ ساعت
شماره نمونه	اول	دوم	سوم	اول	دوم	سوم
درصد جذب آب	۱,۲۰	۱,۳۰	۱,۳۵	۱,۴۰	۱,۵۲	۱,۴۳

نتایج SEM سنگدانه ها نشان دهنده ساختار سنگدانه های بازیافتی در ابعاد میکروسکوپی است. معمولاً در این نمونه ها می توان تخلخل، ترکهای ریز، هیدروکسید کلسیم، ژل منسجم کننده و مواد عمل نشده را بخوبی مشاهده نمود که قسمت عمل نشده مربوط به وجود مقدار زیاد آهک در سیمان می باشد. معمولاً شکل هیدروکسید کلسیم به صورت قطعات شش ضلعی می باشد که درون تصاویر میکروسکوپی قابل مشاهده است. هیدروکسید کلسیم نقش بسیار مهمی را دوام بتن در برابر اسید ها بازی می کند و موجب افزایش مقاومت فشاری بتن و بهبود ساختار ریز دانه آن می شود. به عنوان نمونه در اشکال ۲۷ الی ۳۰ نمونه هایی از نتایج میکروسکوپی سنگدانه های بازیافتی بتن آمده است. [۳۱]





شکل ۳۰



شکل ۲۹

۸- نتیجه گیری

مهم ترین نتایج و یافته های تحقیق به شرح زیر می باشد:

۱. بر اساس نتایج حاصل از تغییرات شیب در مقابل تغییرات نسبت آب به سیمان برای نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب، مشاهده شده است که با کاهش نسبت آب به سیمان، میزان اسلامپ دارای افزایش یافت. بنابراین، با کاهش نسبت آب به سیمان از ۰,۴۵ به ۰,۳۹، میزان اسلامپ از ۳۵ میلی متر به ۱۶۲ میلی متر رسیده است که این رشدی برابر با ۴,۶ برابر است. برای سیمان با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب با کاهش نسبت آب به سیمان از ۰,۳۹ به ۰,۳۴، میزان اسلامپ از ۳۱ میلی متر به ۱۴۷ میلی متر افزایش یافته است که این رشدی برابر با ۴,۷ برابر است. برای نمونه با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع با کاهش نسبت آب به سیمان از ۰/۳۵ به ۰/۳۰، مقدار اسلامپ از ۲۵ میلی متر به ۱۲۳ میلی متر افزایش یافته که این رشدی برابر با ۴/۹ برابر است.
۲. با توجه به نتایج تغییرات اسلامپ در مقابل تغییرات درصد روانکار پلی کربوکسیلات برای نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب، مشاهده شده است که با افزایش درصد مواد روان کننده پلی کربوکسیلات، میزان اسلامپ نمونه ها افزایش یافته است. طبق نتایج، با افزایش درصد روان کننده از ۰,۳٪ به ۱,۶٪، میزان اسلامپ از ۳۵ میلی متر به ۱۶۲ میلی متر رسیده است که می توان گفت نسبت رشد اسلامپ به درصد روانکار برابر ۰,۸۶ است. برای عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب با افزایش درصد روان کننده از ۰,۳٪ به ۱,۶٪، میزان اسلامپ از ۳۱ میلی متر به ۱۴۷ میلی متر رسیده است که می توان گفت نسبت رشد اسلامپ به درصد روانکار برابر با ۰,۸۸ است. در نمونه با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع با افزایش درصد روان کننده از ۰,۳٪ به ۱,۶٪، میزان اسلامپ از ۲۵ میلی متر به ۱۲۳ میلی متر رسیده است که می توان گفت نسبت رشد اسلامپ به درصد روان کننده ۰,۹۲ است.
۳. بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری در برابر تغییرات نسبت آب به سیمان در نمونه های بتنی با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب و روان کننده پلی کربوکسیلات مشاهده شده است که با افزایش نسبت آب به سیمان، میزان مقاومت فشاری کاهش یافته است با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰,۳۹ به ۰,۴۵، مقدار مقاومت نهایی ۲۸ روزه از ۴۸ مگاپاسکال به ۳۲ مگاپاسکال رسیده است که این کاهش ۳۳ درصدی است. برای بتن با عیار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰,۳۴ به ۰,۳۹، مقدار مقاومت نهایی ۲۸ روزه از ۵۱ MPa به ۳۸ MPa افزایش یافته است که ۲۵٪ کاهش است. برای بتن با عیار ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰,۳ به ۰,۳۵، مقدار مقاومت نهایی ۲۸ روزه از ۴۳ مگاپاسکال به ۵۵ مگاپاسکال رسیده است که ۲۲٪ کاهش است.

۴. بر اساس نتایج تغییرات مقاومت فشاری در برابر درصد روانکار پلی کربوکسیلات در نمونه های بتنی با درجه های مختلف سیمان ، مشاهده شده است که با افزایش درصد روانکار پلی کربوکسیلات ، مقدار مقاومت فشاری به دلیل کاهش آب افزایش یافته است. نسبت سیمان. اتفاق افتاده همچنین افزایش عبار سیمان منجر به افزایش مقاومت فشاری نمونه ها شده است.

مراجع

- [1] Karimi Nia. M., Peyrovi. M., (2017), "Comparison of the effect of using lubricant with polycarboxylate and naphthalate bases on mechanical properties of lightweight concretes produced with Scoria aggregate". Fourth Annual Iran-Tehran Concrete Conference.
- [2] Pirsaeheb. H., Afshin. H., Farhoudi. F., (2018), "Investigation of structure and performance of concrete superplasticizer based on polycarboxylate ether", 5th National Concrete Conference of Iran, Tehran, Iranian Concrete Association.
- [4] Ghafari. M., Riahi. M., (2019), "Laboratory study of the effect of superplasticizers on the rheological properties of self-compacting concretes containing recycled aggregates (car tire and glass waste)", First National Conference on New Approaches in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, Khorramabad, Islamic Azad University, Khorram Abad.
- [5] Movafagh. S., et al. (2019), "Technical and economic evaluation of the role of polycarboxylate based lubricant additives in the mechanical properties of concrete", Thesis, Azad University, Safadasht Branch.
- [6] Haoliang Huang, Chunxiang Qian, Fei Zhao, Jun Qu, Jingqiang Guo, Michael Danzinger, Improvement on microstructure of concrete by polycarboxylate super plasticizer (PCE) and its influence on durability of concrete, Construction and Building Materials, Volume 110, 1 May 2016, Pages 293-299
- [7] British Standard (1986), BS 1881-125:1986, "Testing concrete, Methods for mixing and sampling fresh concrete in the laboratory", London, British Standard Institution.
- [8] Subhan Ahmad, Arshad Umar, Rheological and mechanical properties of self-compacting concrete with glass and polyvinyl alcohol fibres, Journal of Building Engineering, Volume 17, May 2018, Pages 65-74.
- [9] Subhan Ahmad, Arshad Umar, Amjad Masood, Properties of Normal Concrete, Self-compacting Concrete and Glass Fibre-reinforced Self-compacting Concrete: An Experimental Study, Procedia Engineering, Volume 173, 2017, Pages 807-813.
- [10] Mounir M. Kamal, Mohamed A. Safan, Zeinab A. Etman, Bsma M. Kasem, Mechanical properties of self-compacted fiber concrete mixes, HBRC Journal, Volume 10, Issue 1, April 2014, Pages 25-34.
- [11] Xinxin Li, Qing Xu, Shenghong Chen, An experimental and numerical study on water permeability of concrete, Construction and Building Materials, Volume 105, 15 February 2016, Pages 503-510.
- [12] Kai Li, Martijn Stroeven, Piet Stroeven, Lambertus J. Sluys, Effects of technological parameters on permeability estimation of partially saturated cement paste by a DEM approach, Cement and Concrete Composites, Volume 84, November 2017, Pages 222-231.
- [13] Seyed Alireza Zareei, Farshad Ameri, Farzan Dorostkar, Mojtaba Ahmadi, Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: Evaluating durability and mechanical properties, Case Studies in Construction Materials, Volume 7, December 2017, Pages 73-81.
- [14] Thomas P. Hills, Fabiana Gordon, Nicholas H. Florin, d, Paul S. Fennell, Statistical analysis of the carbonation rate of concrete, Cement and Concrete Research, Volume 72, June 2015, Pages 98-107.
- [15] Van-Loc Ta, Stéphanie Bonnet, Tristan Senga Kiese, Anne Ventura, A new meta-model to calculate carbonation front depth within concrete structures, Construction and Building Materials, Volume 129, 30 December 2016, Pages 172-181.
- [16] F. Bouchaala, C. Payan, V. Garnier, J.P. Balayssac, Carbonation assessment in concrete by nonlinear ultrasound, Cement and Concrete Research, Volume 41, Issue 5, May 2011, Pages 557-559.
- [17] Zengqi Zhang a, Qiang Wang a, Honghui Chen a, Yuqi Zhou, Influence of the initial moist curing time on the sulfate attack resistance of concretes with different binders, Construction and Building Materials, Volume 144, 30 July 2017, Pages 541-551.
- [18] Jan Małolepszy, Ewelina Grabowska, Sulphate Attack Resistance of Cement with Zeolite Additive, Procedia Engineering, Volume 108, 2015, Pages 170-176.
- [19] Ahcene Merida a, Fattoum Kharchi, Pozzolan Concrete Durability on Sulphate Attack, Procedia Engineering, Volume 114, 2015, Pages 832-837.
- [20] Jordi Massana, Encarnación Reyes, Jesús Bernal, Influence of nano- and micro-silica additions on the durability of a high-performance self-compacting concrete, Construction and Building Materials, Volume 165, 20 March 2018, Pages

- 93-103.
- [21] L.G. Li, J.Y. Zheng, J. Zhu a, A.K.H. Kwan, Combined usage of micro-silica and nano-silica in concrete: SP demand, cementing efficiencies and synergistic effect, *Construction and Building Materials*, Volume 168, 20 April 2018, Pages 622-632.
- [22] Lei Lang, Haijuan Duan b, Bing Chen, Properties of pervious concrete made from steel slag and magnesium phosphate cement, *Construction and Building Materials*, Volume 209, 10 June 2019, Pages 95-104.
- [23] A.A. Mohammed, Mechanical strength of concrete with PVC aggregates, *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete*, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2019, Pages 115-135.
- [24] Ghasan Fahim Huseien, Kwok Wei Shah b, Abdul Rahman Mohd Sam, Sustainability of nanomaterials based self-healing concrete: An all-inclusive insight, *Journal of Building Engineering*, Volume 23, May 2019, Pages 155-171.
- [25] Farnoosh Jokar, Mohammad Khorram a, Gholamreza Karimi a, Nader Hataf, Experimental investigation of mechanical properties of crumbed rubber concrete containing natural zeolite, *Construction and Building Materials*, Volume 208, 30 May 2019, Pages 651-658.
- [26] E.R. Teixeira a, A. Camões a, F.G. Branco, Valorisation of wood fly ash on concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 145, June 2019, Pages 292-310.
- [27] Mahdi Koushkbaghi a, Pedram Alipour b, Behzad Tahmouresi c, Ehsan Mohseni d, Ashkan Saradar c, Prabir Kumar Sarker, Influence of different monomer ratios and recycled concrete aggregate on mechanical properties and durability of geopolymer concretes, *Construction and Building Materials*, Volume 205, 30 April 2019, Pages 519-528.
- [28] Wafaa Mohamed Shaban, Jian Yang, Haolin Su, Qing-feng Liu, Daniel C.W. Tsang, Lei Wang, Jianhe Xie, Lijuan Li, Properties of recycled concrete aggregates strengthened by different types of pozzolan slurry, *Construction and Building Materials*, Volume 216, 20 August 2019, Pages 632-647.
- [29] Meysam Najimi a, Nader Ghafoori, Engineering properties of natural pozzolan/slag based alkali-activated concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 208, 30 May 2019, Pages 46-62.
- [30] Gonzalo Martínez-Barrera a, Juan José del Coz-Díaz b, Elisa Martínez-Cruz a, Miguel Martínez-López a, Maria C.S. Ribeiro c, Carlos Velasco-Santos d, Haley E. Hagg Lobland e, Witold Brostow, Modified recycled tire fibers by gamma radiation and their use on the improvement of polymer concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 204, 20 April 2019, Pages 327-334.
- [31] Yue P., Tan Zh., Guo Zh., "Microstructure and Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete in Seawater Environment", *The Scientific World Journal*, 2013, <https://doi.org/10.1155/2013/306714>.