

## ارزیابی آزمایشگاهی خواص مکانیکی روسازی بتن قلیافعال تحت حرارت بالا

مقاله علمی - پژوهشی

محمدحسین منصورقناعی، دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران  
مرتضی بیگلریان\*، گروه مهندسی عمران، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران  
علیرضا مردوخپور، گروه مهندسی عمران، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: M.Biklaryan@iauc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

صفحه ۳۲۰-۳۰۷

### چکیده

مصرف بتن معمولی به دلیل آلودگی‌های محیط زیستی و دوام پایین در برابر محیط‌های شیمیایی خورنده همواره با چالش‌هایی مواجه بوده است. در این راستا بتن قلیافعال با خواص بالا و حداقل مضرات محیط زیستی نظر محققان را به خود جلب نموده است. در تحقیق آزمایشگاهی پیش‌رو، یک طرح مخلوط از بتن کنترل و سه طرح مخلوط از بتن قلیافعال سرباره‌ای حاوی ۰، ۴ و ۸ درصد نانوسیلیس ساخته شد. طرح بهینه پس از انجام آزمون‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول الاستیسیته، از بین سه طرح از بتن قلیافعال انتخاب و با افزودن ۱ و ۲ درصد الیاف پلی‌الفین به آن، دو طرح دیگر (طرح ۵ و ۶) ساخته شد. نمونه‌های بتنی در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه در دمای اتاق و تحت حرارت بالا، مورد آزمون قرار گرفتند. اعمال حرارت بالا موجب افت نتایج گردید به طوری که، در طرح‌های بتن قلیافعال، بیشترین افت تحت آزمون مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول الاستیسیته به ترتیب به میزان ۱۶، ۲۱ و ۴۲ درصد در طرح ۲ به دست آمد. تفسیر نتایج حاصل از آنالیز تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از ریزساختار بتن، در همپوشانی و هماهنگی با نتایج سایر آزمون‌ها قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: بتن قلیافعال، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته، حرارت بالا

### ۱- مقدمه

مصرف بتن سیمانی در روسازی راه به دلیل ضعف فراوان آن در برابر محیط‌های شیمیایی خورنده، پیشنهاد نمی‌گردد. از طرفی تولید گاز سمی دی‌اکسیدکربن ( $CO_2$ ) یکی از معایب محیط زیستی در فرایند تولید سیمان در کارخانه‌ها است. تحقیقات نشان می‌دهد که کارخانه‌های تولید کننده سیمان مسئول انتشار حدود ۵ درصد از کل گاز دی‌اکسیدکربن وارد شده به جو کره زمین است [Nosrati, et al. 2018]. بتن قلیافعال در راستای کاهش مضرات ناشی از بتن معمولی در ابتدا توسط محقق فرانسوی بنام ژوزف داویدویتس<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۲ میلادی مطرح شد [Davidovits. 2008]. میزان گاز دی‌اکسیدکربن تولید شده در فرآیند تولید مصالح قلیافعال بسیار کمتر از فرآیند تولید سیمان است [Neupane, Chalmers, and Kidd, 2018]. تولید بتن قلیافعال توسط روش‌های متداول تکنولوژی بتن انجام می‌گیرد [Vora, and Urmil, 2013]. از اهداف دیگر تولید بتن قلیافعال، ساخت بتن با خواص مکانیکی بالا است. روند کسب مقاومت در بتن قلیافعال بر پایه سرباره کوره آهن‌گدازی، در روزهای نخستین بسیار سریع بوده و این نوع از بتن مقاومتی در حدود ۷۰ درصد مقاومت فشاری نهایی خود را در ۷ روزه

گامی موثر در جلوگیری از انتشار ریزترک‌ها و ترک‌ها و جبران ضعف مقاومت کششی بتن محسوب می‌گردد. [Sadr, et al. 2016]. تحقیقات نشان داده است که اضافه نمودن الیاف پلی‌الفین به تیر بتنی، با افزایش مدول الاستیسیته کمک شایانی به بهبود مقاومت بعد از ترک خوردن می‌کند [Chellapandian, Mani, and Prakash, 2020]. اما حضور الیاف، گاهی چالش‌هایی را در بتن ایجاد می‌نماید. به‌طوری‌که برخی از محققین معتقدند که افزایش مقاومت فشاری بتن با افزایش الیاف قابل ملاحظه نیست [Rakhshani Mehr, and Bakhshi, 2015]. همچنین گفته شده است که افزودن الیاف فولادی و پلاستیکی نمی‌تواند تاثیر زیادی بر روی مقاومت فشاری بتن داشته باشد. [Omidinasab. 2019]. علل این ضعف را می‌تواند به خواص فیزیکی الیاف و نحوه پیوند با سایر اجزا بتن مرتبط دانست، در این راستا برخی از محققین معتقدند که کاهش میزان مقاومت فشاری بتن حاوی الیاف، به دلیل ورود نقص‌های داخلی کوچک<sup>۴</sup> در ماتریس بتن قلیافعال ناشی از اضافه الیاف است [Wang, Shah, and Phuaksuk, 2002]. البته این نقیصه در بتن قلیافعال سرباره‌ای حاوی نانوسیلیس و الیاف (در پژوهش آزمایشگاهی حاضر)، به دلیل حجم و چسبندگی بالای ژل‌های هیدراته به حداقل خود رسیده است. هنگامی‌که بتن در معرض آتش یا حرارت زیاد قرار می‌گیرد، ممکن است به دلیل کاهش مقاومت و سختی، ظرفیت باربری پس از آتش‌سوزی در بتن کاهش قابل توجهی یابد [Caetano, et al. 2019]. میزان خسارت ناشی از آتش ارتباط مستقیم با مدت و دمای ایجاد شده در بتن دارد [Bakhtiyari, et al. 2011]. تحقیقات نشان داده است که خروج آب از فضای پیوند شیمیایی در سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) منجر به خرابی بتن در دمای بیش از ۴۵۰ درجه سلسیوس می‌شود [Siddique, and Kaur, 2012]. از طرفی حرارت بین ۵۰۰ الی ۹۰۰ درجه سلسیوس می‌تواند موجب تغییرات کریستالی، تخریب ریزساختار ژل‌های هیدراته و تشکیل کانی‌های کربناتی در ماتریس بتن گردد [Provis, and Van Deventer, 2009; Brindley. 1975; Amiri,

ابتدایی استحکام بتن کسب می‌نماید [Nofallah. 2018]. همچنین مقاومت فشاری ۹۱ روزه خمیر سیمان قلیافعال حدود ۷۴ درصد بیش از مقاومت فشاری بتن معمولی برآورد شده است [Ramezani pour, and Jafari Nadoushan, 2019]. تحقیقات سایر پژوهشگران نشان داده است که محصولات حاصل از فرایند ژئوپلیمریزاسیون (ژئوسپارس) مزایای ویژه‌ای از قبیل خواص مکانیکی عالی، مقاومت مناسب در برابر دمای بالا و حملات شیمیایی، جمع شدگی کم و دیگر موارد را دارند [Yunsheng, and Zongjin, 2010]. عمل‌آوری حرارتی بتن قلیافعال نقش مهمی در بهبود خواص بتن دارد، به‌طوری‌که نمونه‌های بتن قلیافعال تحت عمل‌آوری حرارتی در دمای ۵۰ الی ۷۰ درجه سلسیوس دارای مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه‌های تحت دمای ۲۰ درجه سلسیوس دارند [Mehta, and Monteiro. 2014]. از طرفی طبق مطالعه اولیویا<sup>۵</sup> و همکارانش، بتن قلیافعال بر پایه خاکستر بادی عمل‌آوری شده تحت حرارت، با مقاومت فشاری در حدود ۵۵ مگاپاسکال، مقدار مدول الاستیسیته را از ۱۴/۹ الی ۲۸/۸ درصد، کمتر از مدول الاستیسیته بتن نرمال در مقاومت فشاری معادل نشان داد [Olivia, and Nikraz, 2012]. در سال‌های اخیر کاربرد نانوذرات سیلیس برای بهبود خواص بتن، چشم‌انداز گسترده‌ای در برابر علم تکنولوژی بتن ایجاد کرده است [Scrivener, and James, 2008]. نانوذرات به‌علت اندازه ذرات بسیار کوچک و سطح ویژه بالای خود، خصوصیات ویژه‌ای را در طرح مخلوط بتن از خود نشان داده‌اند [Li, et al. 2004]. برخی از محققین معتقدند که مدول الاستیسیته بتن تحت تأثیر مدول الاستیسیته اجزای تشکیل دهنده آن از جمله خمیر سیمان قرار دارد، بنابراین افزایش مدول الاستیسیته با افزایش نانوسیلیس که با کاهش تخلخل خمیر سیمان و افزایش مقاومت فشاری همراه است، بدیهی است و به‌علت ایجاد بتن متراکم‌تر، سختی بتن و در نتیجه مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد [Dabbagh, and Akbarpour, 2017]. تحقیقات سایر محققان نشان داده است که استفاده از الیاف مختلف در مخلوط بتن و ساخت بتن الیافی<sup>۳</sup> به‌عنوان

## ۲- ساخت نمونه و برنامه آزمایشگاهی

### ۲-۱- مصالح مصرفی

در این تحقیق ابرروان کننده مصرفی، محصول شرکت دوروچم خاورمیانه با نام تجاری Flowcem R700 از نوع پلی کربوکسیلات نرمال، تحت استاندارد ASTM C494 مورد استفاده قرار گرفت، برخی از مشخصات این ماده در جدول ۱ به نمایش درآمده است. سرباره کوره آهنگدازی محصولی از شرکت ذوب آهن اصفهان تحت استاندارد ASTM C989/C989M مورد مصرف قرار گرفت، مشخصات شیمیایی آن در جدول ۲ و مشخصات فیزیکی و مکانیکی این ماده در جدول ۳ به نمایش درآمده است. نانوسیلیس مصرفی با خلوص ۹۹/۸ درصد تولید شده شرکت ایونیک اینداستریز<sup>۸</sup> آلمان است که مشخصات این ماده پیرو جداول ۴ و ۵ تعیین شده است. سیمان مصرفی از نوع پرتلند تیپ II محصول شرکت صنایع سیمان گیلان سبز (دیلمان)، تولید شده تحت استاندارد ISIRI 389 است و مشخصات آن در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است. محلول قلیافعال مصرفی در ساخت بتن قلیافعال، ترکیبی از هیدرواکسیدسدیم (NaOH) و سیلیکات سدیم ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) با نسبت سیلیکات به هیدرواکسید ۲/۵ و غلظت مولار ۱۲، وزن مخصوص ترکیبی ۱۴۸۳ کیلوگرم بر متر مکعب، است و سایر مشخصات آن در جدول ۸ نشان داده شده است. الیاف پلی الفین مصرفی در این تحقیق به صورت موج با نسبت طول به قطر ۳۷/۵، تحت استاندارد ASTM D7508/D7508M، محصولی از شرکت ایتالیایی دوروچم خاورمیانه<sup>۹</sup> است، مشخصات این ماده در جدول ۹ ارائه شده است. سنگدانه های مصرفی محصول کارخانه های شن و ماسه شهرستان لاهیجان که در محدوده استاندارد ASTM C33 قرار داشتند است و مشخصات آن در جدول ۱۰ ارائه شده است. آب مصرف شده در طرح های مخلوط تحقیق پیش رو (در بتن کنترل و ساخت محلول قلیافعال) از آب شرب شهر لاهیجان است، این آب دارای pH در محدوده ۶/۵ الی ۷/۵ و وزن مخصوص ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است.

[and Aryanpour, 2019]. در سال های اخیر ژئوپلیمرها به دلیل پایداری شیمیایی، مقاومت زیاد در برابر حرارت و انقباض کم، نسبت به سیمان پرتلند مورد توجه بیشتری قرار گرفته اند [Amiri, and Aryanpour, 2019]. البته حرارت بالا باعث نابودی ریزساختار ژل های هیدراته C-A-S-H و C-S-H در بتن قلیافعال می گردد، اعمال حرارت زیاد ساختار آلومینوسیلیکاتی آمورف قلیافعال را به ساختار سرامیک مانند تبدیل می کند [Amiri, and Aryanpour, 2019]. تحت تاثیر دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس در نمونه های بتن قلیافعال، OH گروه های هیدرواکسید نیز تبخیر می شود، در این سطح و لبه های هر مسیله<sup>۵</sup> از قلیافعال موجود است، در این مرحله OH گروه هیدرواکسید به دی هیدرواکسید<sup>۶</sup> و دی هیدرواکسیلاسیون<sup>۷</sup> تبدیل می شود [Abdulkareem, and Al Bakri, 2014]. با توجه به فشار زیاد بین حفره ای، خروج آب از فضای پیوند شیمیایی در سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) منجر به خرابی بتن در دمای بیش از ۴۵۰ درجه سلسیوس می شود، تغییرات قابل توجهی از خواص مکانیکی بتن تحت دمای بین ۲۷ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس مشاهده نمی گردد، اما کاهش تا ۴۰ درصد در مقادیر مقاومت فشاری، مقاومت کششی دو نیم شدن و مدول الاستیسیته، بعد از اعمال دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس در مراحل اولیه اتفاق می افتد [Siddique, and Kaur, 2012]

در پژوهش آزمایشگاهی حاضر، تولید بتن روسازی قلیافعال به واسطه کاهش گاز سمی دی اکسید کربن و کاهش مصرف سوخت های فسیلی، به عنوان شاخصه های حافظ محیط زیست شناخته می شود، از طرفی خواص مکانیکی برتر این نوع از بتن به واسطه به کارگیری از نانوسیلیس و الیاف پلی الفین در ترکیب طرح مخلوط این نوع از بتن نسبت به بتن معمولی و عملکرد مطلوب آن در برابر حرارت بالا، به عنوان نوآوری در این پژوهش آزمایشگاهی معرفی می گردد.

جدول ۱. مشخصات ابروان کننده

فرمول شیمیایی	پلی کربوکسیلات نرمال
حالت فیزیکی	مایع
رنگ	قهوه‌ای روشن
وزن مخصوص (کیلوگرم بر متر مکعب)	۱۱۰۰
استاندارد مصرف	ASTM C494
pH	حدود ۷
میزان یون کلر	ندارد
نقطه اشتعال	ندارد

جدول ۲. مشخصات شیمیایی سرپاره کوره آهنگدازی

ماده موجود	درصد
CaO	۳۶/۷۲
SiO <sub>2</sub>	۳۵/۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۹/۱۷
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷/۴۵
MgO	۶/۲۴
SO <sub>3</sub>	۰/۱۲
Na <sub>2</sub> O	۱/۲۱
K <sub>2</sub> O	۰/۹۲
TiO <sub>2</sub>	۲/۴۹
MnO	۰/۱۸
L.O.I	۰/۰۲

جدول ۳. مشخصات فیزیکی و مکانیکی سرپاره

وزن مخصوص (کیلوگرم بر متر مکعب)	۲۴۵۰
سطح مخصوص (سانتی‌متر مربع بر گرم)	۲۲۰۰
مدول الاستیسیته (پاسکال)	۱/۲
چگالی ظاهری (کیلوگرم بر متر مکعب)	۹۶۰
اندازه ذرات (μm)	۲/۱
رنگ	کرم

جدول ۴. مشخصات شیمیایی نانو سیلیس

نام مصالح	میزان مصالح
SiO <sub>2</sub>	>۹۹٪
Fe	ppm<۲۰
Na	ppm<۵۰
Ti	ppm<۱۲۰

جدول ۵. مشخصات نانو سیلیس

رنگ	سفید
حالت	جامد
وزن مخصوص (کیلوگرم بر متر مکعب)	۲۴۰۰

قطر ذرات (nm)	۷ الی ۱۴
اندازه ذرات (nm)	۲۰ الی ۶۰

جدول ۶. مشخصات سیمان پرتلند تیپ II

وزن مخصوص (کیلوگرم بر متر مکعب)	۲۳۵۰
سطح مخصوص (سانتی‌متر مربع بر گرم)	۳۲۰۰-۳۰۰۰
گیرش اولیه (ثانیه)	۱۳۰ < ۱۱۵
گیرش ثانویه (ثانیه)	۲۰۵ < ۱۹۰

جدول ۷. مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ II

ماده موجود	درصد
Cl	Max ۰/۰۰۳
SiO <sub>2</sub>	۲۲-۲۱
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴/۵ - ۴/۸
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳/۵ - ۳/۸
CaO	۴۲-۴۳
MgO	Max ۱/۴۵
SO <sub>3</sub>	۲ - ۲/۳
Na <sub>2</sub> O+0.658K <sub>2</sub> O	MAX 0.6
IR	MAX 0/7
C <sub>3</sub> A	۵/۵ - ۷/۵
L.O.I	MAX 1/5

سپس آب و محلول قلیافعال به فراخور نیاز هر طرح به مخلوط اضافه گردید و ترکیب مصالح ۳ دقیقه دیگر ادامه پیدا کرد. در ادامه، مخلوط بتن تهیه شده در قالب‌های از پیش روغن کاری شده در سه مرحله ریخته شد و در هر مرحله با ۲۵ ضربه میله متراکم گردید. پس از سپری شدن ۲۴ ساعت اولیه از زمان بتن‌ریزی، نمونه‌ها از قالب جداسازی شدند و نمونه‌های بتن کنترل (حاوی سیمان پرتلند) تا زمان انجام آزمون در داخل آب شرب در دمای اتاق (۲۰ الی ۲۵ درجه سلسیوس) نگهداری و عمل‌آوری شدند، نمونه‌های بتن قلیافعال پس از جداسازی از قالب، به‌منظور بهبود خواص استحکامی به‌مدت ۴۸ ساعت درون کوره الکتریکی تحت حرارت ۶۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. در راستای این مطلب گزارش شده است که مقاومت بتن قلیافعال با افزایش دمای عمل‌آوری افزایش می‌یابد [Ehsani, Nili, and Shaabani, 2017].

همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که مخلوط‌های بتن قلیافعال تحت عمل‌آوری حرارت ۶۰ درجه سلسیوس در ۲۴ ساعت اولیه، توانسته‌اند پس از سپری شدن مدت زمان ۳ روز بیش از ۷۵ درصد از مقاومت ۲۸ روزه بین ۶۰ الی ۸۵ مگاپاسکال را کسب نمایند [Venkatesan, and Pazhani, 2016]. در پایان زمان اعمال حرارت، نمونه‌های بتن قلیافعال تا هنگام آزمون در دمای اتاق و در محیط خشک نگهداری و عمل‌آوری گردیدند. در خصوص انجام آزمون‌های تحت حرارت بالا (۵۰۰ درجه سلسیوس)، قبل از انجام آزمون‌های حرارت در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه، بر اساس استاندارد ISO834 نمونه‌های بتنی به مدت ۱ ساعت در کوره تحت دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند، سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱ ساعت دیگر در کوره خاموش باقی ماندند تا تحت تاثیر شُک دمایی قرار نگیرند، پس از خروج نمونه‌ها از کوره، نمونه‌های بتنی به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند تا به تعادل دمایی برسند.

### ۳-۲- روش‌های آزمایش و استانداردها

آزمون مقاومت فشاری بتن بر روی نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه تحت

جدول ۸. مشخصات محلول قلیافعال

نوع محلول	هیدرواکسیدسدیم	سیلیکات سدیم
فرمول مولکولی	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
رنگ	سفید	سفید
چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۱۳۰	۲۴۰۰
مدول الاستیسیته (پاسکال)	۳/۳	-
دمای ذوب (C)	۳۱۸	۱۰۸۸
جرم مولی (گرم بر مول)	۳۹/۹۹	۱۲۲/۰۶

جدول ۹. مشخصات الیاف پلی‌الفین

وزن مخصوص	کیلوگرم بر مترمکعب
۹۲۰	
مقاومت کششی	(نیوتن بر میلی‌متر مربع)
۵۰۰	
طول (میلی‌متر)	۳۰
قطر (میلی‌متر)	۰/۸

جدول ۱۰. مشخصات سنگدانه

مصالح دانه‌ای بتن	شن	ماسه
حداقل قطر	۴/۷۵ (میلی‌متر)	۷۵ (μm)
حداکثر قطر (میلی‌متر)	۱۹	۴/۷۵
مدول نرمی (میلی‌متر)	۲/۸۵	۲/۸۵
وزن مخصوص	۲۷۵۰	۲۶۵۰
(کیلوگرم بر مترمکعب)		

### ۲-۲- طرح مخلوط، ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها

استاندارد مجزا برای ساخت طرح مخلوط بتن قلیافعال موجود نمی‌باشد، بنابراین به‌پیروی از سایر تحقیقات در حوزه بتن قلیافعال [Deb, Nath, and Sarker, 2015]، از استاندارد طرح مخلوط بتن معمولی تحت توصیه کمیته ACI 211.1-89، برای ساخت بتن قلیافعال در این پژوهش آزمایشگاهی استفاده گردید. در این راستا، طرح مخلوط نمونه‌های بتنی براساس جدول ۱۱ تهیه و تنظیم شد. به‌منظور ساخت نمونه‌های بتنی، در ابتدا مصالح خشک داخل دستگاه مخلوط‌کن در حال گردش ریخته شدند و فرایند ترکیب ۲ دقیقه به‌طول انجامید،

میکروسکوپ الکترونی روبشی با مدل FEI Quanta200 انجام پذیرفت، در این راستا، نمونه بتنی خرد شده در دستگاه قرار گرفت و تصاویر با بزرگ‌نمایی مورد نظر ضبط و در ادامه مورد بررسی ریزساختاری قرار گرفت.

### ۳- نتایج آزمایشگاهی و تفسیر نتایج

#### ۳-۱- نتایج آزمون مقاومت فشاری

پیرو نتایج حاصل از آزمون مقاومت فشاری مطابق نمودار شکل ۱، حداقل و حداکثر مقاومت فشاری کسب شده از نمونه‌های بتن کنترل و بتن قلیافعال پس از در معرض قرار گرفتن تحت حرارت ۵۰۰ درجه سلسیوس، به ترتیب متعلق به طرح ۱ و ۴ به مقدار ۳۸/۸۹ و ۷۵/۹۹ مگاپاسکال به دست آمد، اختلاف مقاومت بتن طرح ۴ نسبت به بتن طرح ۱ تحت حرارت به میزان تقریبی ۹۵ درصد است. افزایش الیاف در طرح‌های مخلوط ۵ و ۶ نسبت به طرح ۴ از بتن قلیافعال، موجب افزایش در میزان مقاومت نمونه در معرض حرارت نگردیده است. حداکثر و حداقل میزان افت مقاومت فشاری کسب شده نمونه‌های بتنی ۹۰ روزه پس از اعمال حرارت نسبت به نمونه‌های بتنی ۹۰ روزه در دمای اتاق، متعلق به طرح ۱ و طرح ۴ به ترتیب به میزان ۳۷ درصد و ۸ درصد است. کاهش میزان مقاومت فشاری (تحت حرارت بالا)، میزان اثرات خواص مواد پایه (سرباره و نانوسیلیس) تشکیل دهنده بتن قلیافعال در نمونه‌های بتن قلیافعال در نتایج مشهود است. در این راستا بیشترین و کمترین مقدار کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی به ترتیب متعلق به طرح ۱ و ۶ به میزان ۳۷ و ۸ درصد است. برخی از محققان گزارش داده‌اند که این کاهش مقاومت تا حد زیادی به تجزیه هیدرواکسیدکلسیم مرتبط است، این پدیده معمولاً بین دماهای ۴۵۰ تا ۵۰۰ درجه سلسیوس اتفاق می‌افتد [Bentz, 2000; Zhang, and Bicanic, 2002]. از طرفی درجه حرارت بالا موجب بروز تغییرات فیزیکی و شیمیایی در ساختار بتن می‌گردد که در پی آن کاهش عملکرد مقاومتی و زوال و تخریب در بخش ریزساختار بتن را به همراه دارد [Mehta, and Monteiro. 2014].

استاندارد BS 12390-3 در دمای اتاق و تحت حرارت بالا (۵۰۰ درجه سلسیوس) توسط دستگاه جک بتن‌شکن انجام پذیرفت. در این راستا نمونه‌ها به نحوی در دستگاه جک بتن‌شکن قرار داده شدند که دو سطح مقابلی که در موقع بتن‌ریزی مجاور قالب بودند، در تماس با رکاب‌های فوقانی و تحتانی دستگاه باشند و پس از محکم شدن نمونه‌ها، بارگذاری نیرو در محدوده استاندارد با سرعت ۰/۹ مگاپاسکال بر ثانیه (۵۴ مگاپاسکال بر دقیقه) به صورت ثابت، یکنواخت، بدون تغییرات ناگهانی و عمود بر جهت بتن‌ریزی تا لحظه شکست نمونه بتنی انجام گرفت، میزان حداکثر بار وارده، تعیین کننده مقدار مقاومت نمونه بتنی در برابر فشار وارده است.

آزمون مقاومت کششی بتن با روش برزلی تحت استاندارد ASTM C496 بر روی نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد ۱۵×۳۰ سانتی‌متری در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه در دمای اتاق و تحت حرارت بالا (۵۰۰ درجه سلسیوس) توسط دستگاه جک بتن‌شکن انجام گرفت. در این راستا نمونه‌ها از وجه طولی در زیر دستگاه جک بتن‌شکن قرار داده شدند و نیرو مطابق استاندارد تا لحظه شکست نمونه بتنی اعمال گردید. میزان حداکثر بار وارده، تعیین کننده مقدار مقاومت نمونه بتنی در برابر فشار وارده است.

آزمون مدول الاستیسیته بتن تحت استاندارد ASTM C469 بر روی نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد ۱۵×۳۰ سانتی‌متری در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه در دمای اتاق و تحت حرارت بالا (۵۰۰ درجه سلسیوس) توسط دستگاه جک بتن‌شکن انجام گرفت. در این راستا، نمونه مورد نظر داخل دستگاه قاب آزمایش مدول الاستیسیته بتن جانمایی گردید، سپس نمونه بتنی از مقطع ۱۵ سانتی‌متری به‌طور عمود بین دو صفحه دستگاه جک بتن‌شکن قرار گرفت، در ادامه بار اعمالی با سرعت ۰/۹ مگاپاسکال بر دقیقه تا زمان تغییر شکل نمونه بر محور عمود آن وارد شد، تغییر شکل طولی نمونه با استفاده از گیج یا کرنش سنج متصل به دستگاه قاب اندازه‌گیری گردید.

آنالیز SEM در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه در دمای اتاق و تحت حرارت بالا (۵۰۰ درجه سلسیوس) توسط دستگاه

جدول ۱۱. مشخصات طرح مخلوط بتن

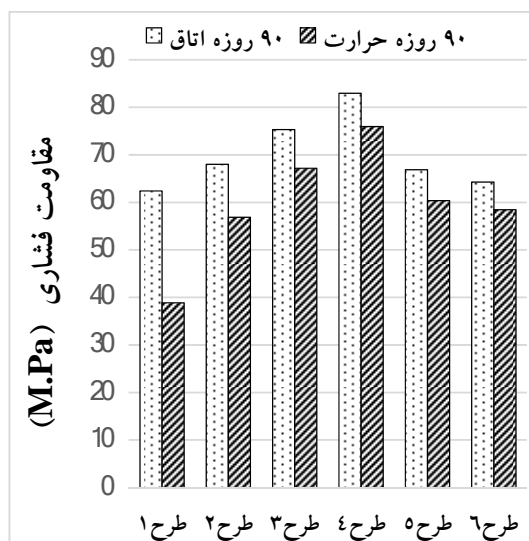
طرح	نوع بتن	کیلوگرم بر متر مکعب								
		سیمان	آب	محلون قلیافعال	سرباره	نانو سیلیس	الیاف	شن	ماسه	ایروان کننده
۱	پرتلند	۴۵۰	۲۰۲/۵	۰	۰	۰	۰	۱۰۰۰	۷۶۱/۱۳	۶/۷۵
۲	قلیافعال	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۵۰	۰	۰	۱۰۰۰	۸۱۶/۱۰	۶/۷۵
۳	قلیافعال	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۳۲	۱۸	۰	۱۰۰۰	۷۶۷/۴۲	۷/۸
۴	قلیافعال	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۱۴	۳۶	۰	۱۰۰۰	۷۱۸/۷۵	۸/۳
۵	قلیافعال	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۳۲	۳۶	۹/۲	۱۰۰۰	۶۷۲/۷۸	۸/۶
۶	قلیافعال	۰	۰	۲۰۲/۵	۴۳۲	۳۶	۱۸/۴	۱۰۰۰	۶۴۶/۲۸	۹

معرض حرارت قرار گرفتن نمونه‌ها گردیده است، حداکثر افزایش مقاومت کششی متعلق به طرح ۶ به میزان ۳۶ درصد نسبت به بتن طرح ۲ (حاوی بتن قلیافعال فاقد نانو سیلیس) است. حداکثر و حداقل میزان افت مقاومت کششی نمونه‌های بتنی ۹۰ روزه پس از اعمال حرارت نسبت به نمونه‌های بتنی ۹۰ روزه تحت دمای اتاق، متعلق به طرح ۱ و طرح ۵ به ترتیب به میزان ۵۱ و ۱۲ درصد به دست آمد.

### ۳-۳- نتایج آزمون مدول الاستیسیته

نتایج حاصل از آزمون مدول الاستیسیته بتن در دمای اتاق و تحت حرارت بالا (۵۰۰ درجه سلسیوس) در نمودار شکل ۳ به نمایش درآمده است.

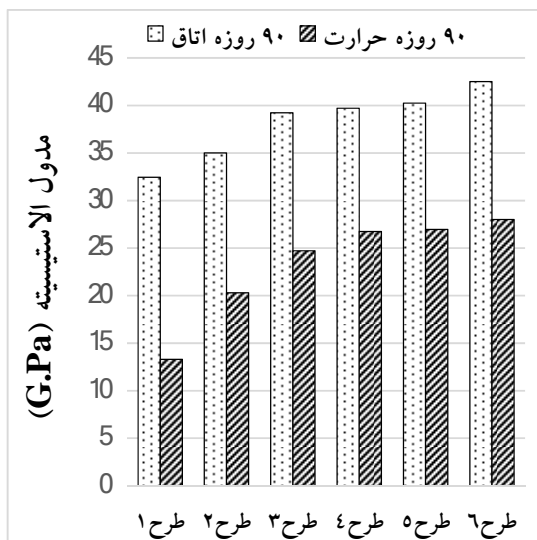
بر اساس این نتایج مشاهده می‌گردد که حداقل و حداکثر میزان مدول الاستیسیته کسب شده حاصل از نمونه‌های بتن کنترل و بتن قلیافعال تحت اعمال حرارت ۵۰۰ درجه سلسیوس، به ترتیب متعلق به بتن طرح ۱ و ۶ به مقدار ۱۳/۳ و ۲۸/۰۱ گیگاپاسکال است، این افزایش مقاومت به میزان تقریبی ۱۱۱ درصد برای طرح ۶ حاوی بتن قلیافعال نسبت به طرح بتن کنترل (طرح ۱) است. افزایش الیاف در طرح‌های مخلوط ۵ و ۶ (شامل بتن قلیافعال حاوی ۱ و ۲ درصد الیاف)، نسبت به طرح ۴ (بتن قلیافعال فاقد الیاف)، موجب افزایش میزان مدول الاستیسیته بتن در معرض حرارت شده است. حداکثر افزایش میزان مدول الاستیسیته متعلق



شکل ۱. نتایج آزمایش مقاومت فشاری

### ۳-۲- نتایج آزمون مقاومت کششی

بر اساس نتایج حاصل از آزمون مقاومت کششی مطابق نمودار شکل ۲، حداقل و حداکثر میزان مقاومت کششی حاصل از نمونه‌های بتن کنترل و بتن قلیافعال پس از اعمال حرارت ۵۰۰ درجه سلسیوس، به ترتیب متعلق به طرح ۱ و ۶ به مقدار ۲/۴۷ و ۴/۷۳ مگاپاسکال به دست آمد، این افزایش مقاومت به میزان تقریبی ۹۱ درصد برای طرح ۶ در مقایسه با طرح ۱ است. افزایش الیاف در طرح‌های مخلوط ۵ و ۶ حاوی بتن قلیافعال حاوی الیاف نسبت به بتن طرح ۴ (بتن قلیافعال فاقد الیاف)، موجب افزایش در میزان مقاومت کششی نمونه پس از در



شکل ۳. نتایج آزمایش مدول الاستیسیته

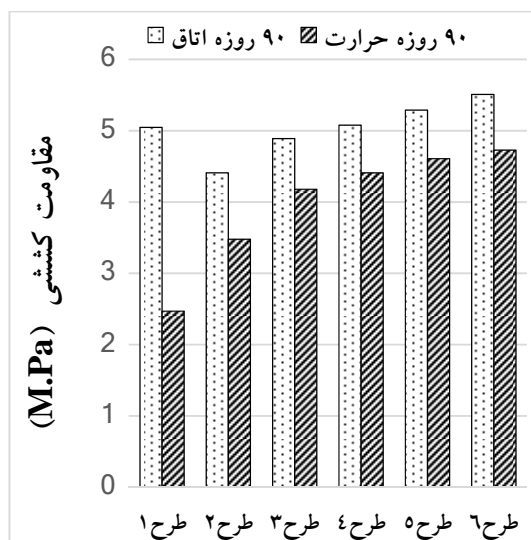
### ۴-۳- نتایج آنالیز SEM

تصاویر حاصل از آنالیز SEM در مقیاس ۵۰۰ نانومتر با بزرگ نمایی ۱۰۰۰۰۰ برابر، تحت دمای اتاق، در شکل ۴ به نمایش درآمده است.

در این تصاویر، میزان توده‌های سفیدرنگ ناشی از عدم مشارکت برخی از ذرات سیمانی در فرایند واکنش شیمیایی (موسوم به هیدراتاسیون) در طرح ۱ (شامل بتن کنترل حاوی سیمان پرتلند) نسبت به سایر طرح‌ها (حاوی نمونه‌های بتن قلیافعال) در حجم بیشتر مشاهده می‌گردد.

افزایش حجم توده‌های حاصل از تولید ژل‌های هیدراته شده در محصول ژئوپلیمریزاسیون با افزایش میزان مصرف نانوسیلیس در طرح‌های مخلوط بتن قلیافعال مشهود است. این فرایند با توجه به سطح ویژه بالای ذرات نانوسیلیس، نقش پرکنندگی این ذرات (با توجه به ریزی ذرات نانوسیلیس، این ذرات به راحتی منافذ و حفرات بسیار کوچک را در مخلوط بتن پر می‌نماید) و مشارکت بیشتر این ذرات در فرایند ژئوپلیمریزاسیون انجام پذیرفته است که منتج به همگنی ماتریس قلیافعال و کاهش تخلخل در ریزساختار بتن قلیافعال گردیده است. لازم به ذکر است که استفاده بیش از حد نانوذرات سیلیس در طرح‌های مخلوط بتن می‌تواند موجب تجمع بیش از حد، عدم پراکندگی مناسب در سطح مخلوط و بروز پدیده کلوخه

به بتن طرح ۶ (بتن قلیافعال حاوی ۶ درصد نانوسیلیس و ۲ درصد الیاف) است که به میزان ۳۸ درصد نسبت به بتن طرح ۲ (بتن قلیافعال فاقد نانوسیلیس) بیشتر است. حداکثر و حداقل میزان افت مدول الاستیسیته کسب شده نمونه بتن ۹۰ روز پس از حرارت نسبت به نمونه‌های بتنی ۹۰ روز در دمای اتاق، متعلق به طرح ۱ و طرح ۵ به ترتیب به میزان ۵۹ و ۳۲ درصد است. به‌طورکلی گزارش شده است که بتن‌های قلیافعالی که در دمای بالا عمل‌آوری می‌شوند دارای مدول الاستیسیته کمتری نسبت به بتن نرمال در همان دمای عمل‌آوری می‌باشند. طبق مطالعه اولیویا و نیکراز، بتن قلیافعال بر پایه خاکستر بادی عمل‌آوری شده تحت حرارت با مقاومت فشاری در حدود ۵۵ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته را از ۱۴/۹ الی ۲۸/۸ درصد کمتر نسبت مدول الاستیسیته بتن نرمال در مقاومت فشاری معادل نشان می‌دهد [Olivia, and Nikraz, 2012]. در این پژوهش آزمایشگاهی برای هر طرح از بتن قلیافعال، شاهد افزایش میزان مدول الاستیسیته کسب شده در بتن با افزایش مصرف نانوسیلیس و الیاف می‌باشیم، در این راستا بیشترین میزان مدول الاستیسیته کسب شده نمونه‌های بتنی تحت حرارت در طرح ۶ مشاهده می‌گردد. ذرات ریز نانوسیلیس به راحتی می‌توانند منافذ و حفرات بسیار کوچک را در ترکیب بتن پر نمایند و از این طریق بهبود تراکم بتن را به دنبال دارد.



شکل ۲. نتایج آزمایش مقاومت کششی



ژل‌های هیدراته شده در تصاویر شکل ۴ و ۵ شامل نقاط تیره رنگ می‌باشند، شناخته‌شده‌ترین این نوع از ژل‌ها ژل سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H)<sup>۱۱</sup> است که بخش اعظمی از حجم ژل‌های تولید شده را در مخلوط بتن شامل می‌گردد، این ژل‌ها با ایجاد پیوند در نواحی انتقال بین‌سطحی (ITZ)<sup>۱۱</sup> در حدفاصل بین سنگدانه‌ها و ملات، موجب پیوند در ترکیب بتن سخت شده می‌گردد، از طرفی این ژل‌های با پر کردن ترک‌ها و حفرات مویینه، منجر به بهبود تراکم بتن خواهد شد.

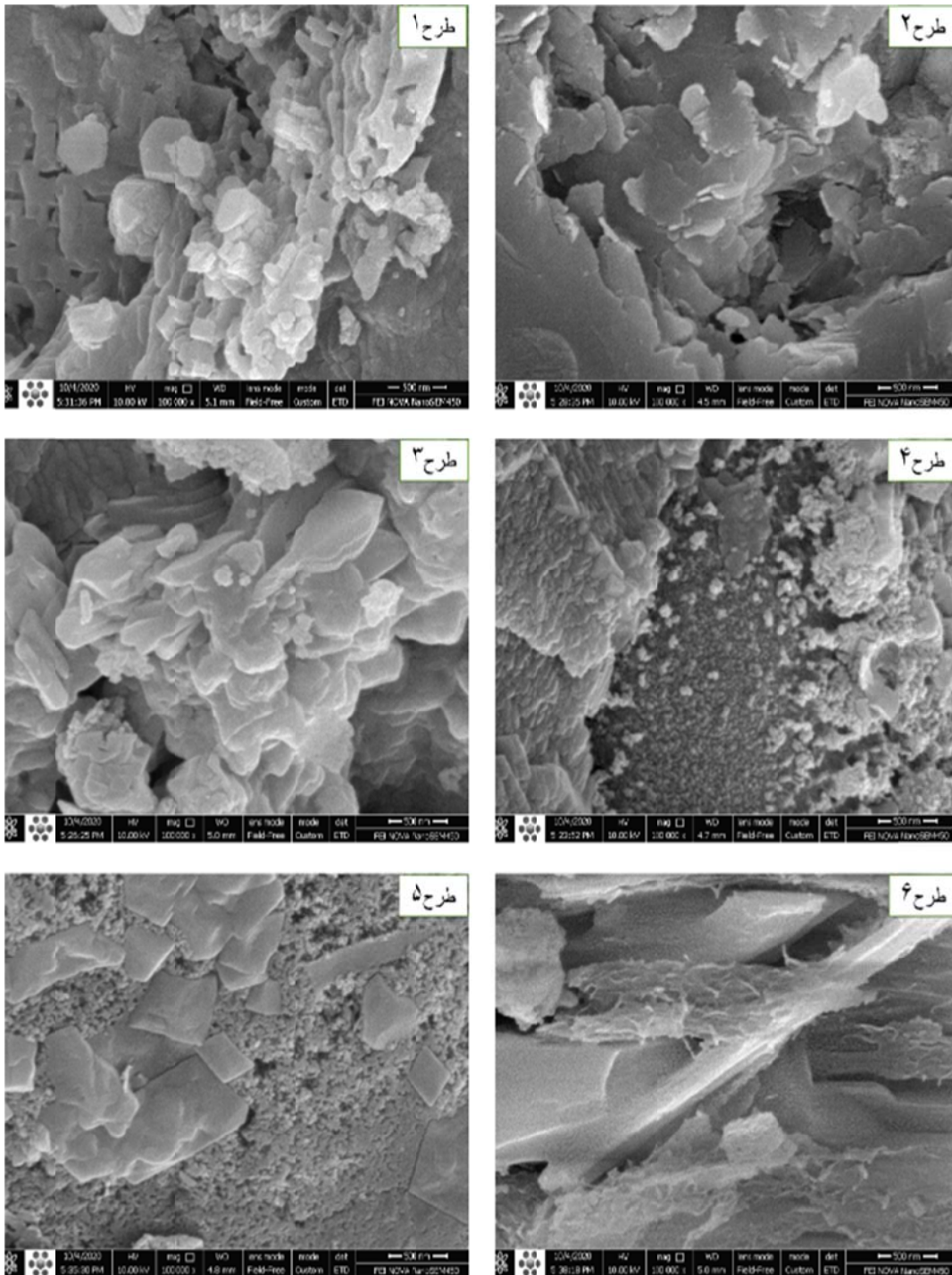
در تصاویر حاصل از نمونه‌های حرارت دیده (تحت حرارت ۵۰۰ درجه سلسیوس)، پکیدگی ناشی از تبخیر آب در نمونه‌های در معرض حرارت بالا در ریزساختار بتن برای تمامی طرح‌ها مشهود است. در نمونه‌های حاوی نانوسیلیس و الیاف پلی‌الفین با مقادیر بیشتر، که تحت حرارت بالا قرار گرفته‌اند، تضعیف ریزساختار ماتریس قلیافعال به نسبت میزان مواد مصرفی، کمتر مشاهده می‌گردد. این مطلب می‌تواند نشان از بهبود تراکم بخش ریزساختار بتن با حضور نانوسیلیس و الیاف پلی‌الفین باشد، افزایش این تراکم در نتایج و نمودارهای حاصل از سایر آزمایش‌های خواص مکانیکی بتن در این پژوهش آزمایشگاهی نیز به اثبات رسیده است.

شدن در ترکیب گردد که تحت این شرایط با ایجاد ناهمگنی در ریزساختار بتن، موجب کاهش خصوصیات مکانیکی در بتن می‌گردد.

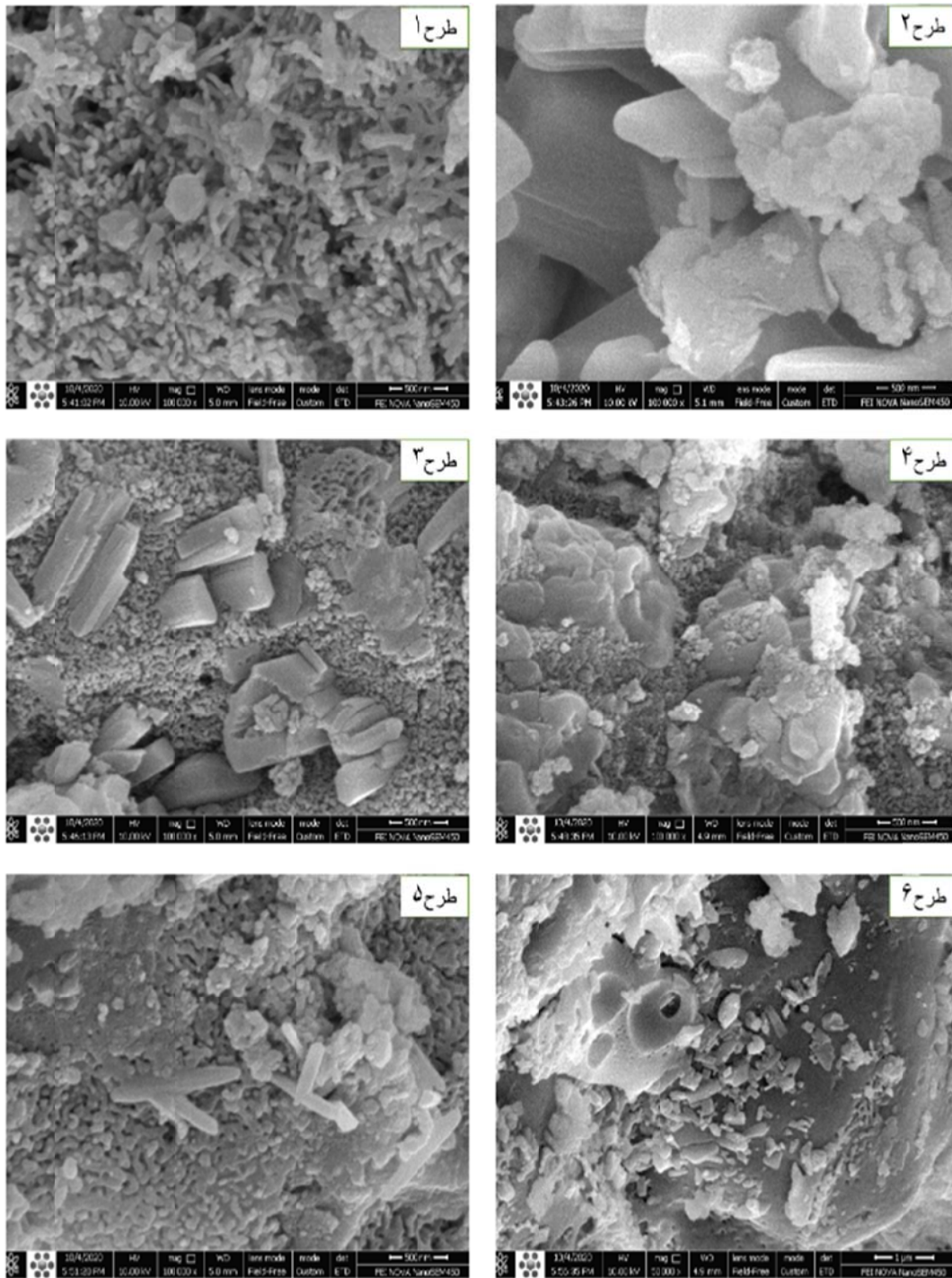
حضور ۱ و ۲ درصد الیاف پلی‌الفین به ترتیب در ترکیب مخلوط بتن قلیافعال طرح‌های ۵ و ۶ کمک شایانی به بهبود نتایج حاصل از آزمون‌های مقاومت کششی و مدول الاستیسیته در این تحقیق آزمایشگاهی نموده است، این موضوع بیشتر به دلیل نقش پل‌زندگی الیاف در ترکیب بتن و بهبود پیوند در بخش ریزساختار و کلان ساختار بتن قلیافعال است. تحت این شرایط، ریزترک‌های ایجاد شده در فرایند بارگذاری، با تاخیر بیشتری به یکدیگر می‌پیوندند و بتن حاصله مقاومت بیشتری را در برابر بارهای وارده از خود نشان خواهد داد.

در شکل ۵ شاهد تصاویر SEM اخذ شده از بتن بعد از اعمال حرارت بالا در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه می‌باشیم، این تصاویر برای بتن‌های طرح ۱ الی ۶ در مقیاس ۵۰۰ نانومتر با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰۰۰ برابر اخذ شده است.

در این راستا، با توجه به افزایش بزرگ‌نمایی در تصاویر SEM و ضبط تصاویر در مقیاس نانو، شاهد وجود حفرات ریز و درشت متعدد و سطوح شکست فراوان در نمونه‌های بتن هر طرح در دمای بالا، نسبت به طرح‌های متناظر در معرض دمای اتاق (با توجه به تصاویر SEM قبلی) می‌باشیم. این موضوع بیشتر به دلیل تبخیر آب موجود در بتن است، تبخیر آب بتن باعث می‌گردد تا ضمن بروز حفرات و ریزترک در بتن (که تخلخل بتن را بالا می‌برد)، فرایند هیدراتاسیون در بتن مختل گردد و در ادامه تولید ژل‌های هیدراته شده که عامل اصلی ایجاد پیوند و تراکم در بتن سخت شده است را به چالش بکشد.



شکل ۴. ریزساختار بتن در دمای اتاق



شکل ۵. ریزساختار بتن بعد از حرارت بالا

۵. توده‌های کروی هستند که قسمت درونی آنها هیدروکربنی است.

6. Dihydration
7. Dehydroxylation
8. Evonik Industries
9. Durocem Italy
10. Calcium-Silicate-Hydrate (C-S-H)
11. Interfacial Transition Zone (ITZ)

#### ۷- مراجع

-Abdulkareem, O. A., Al Bakri, A. M., Kamarudin, H., Nizar, I. K., & Ala'eddin, A. S. (2014). Effects of elevated temperatures on the thermal behavior and mechanical performance of fly ash geopolymer paste, mortar and lightweight concrete. *Construction and building materials*, 50, 377-387

- Amiri, M., & Aryanpoor, M. (2019). The Effects of High Temperatures on Concrete Performance based on Nanostructural Changes in Calcium Silicate Hydrate (CSH). *Concrete Research*, 12(4), 69-80.

- Bakhtiyari, S., Allahverdi, A., Rais-Ghasemi, M., Zarrabi, B., & Parhizkar, T. (2011). Self-compacting concrete containing different powders at elevated temperatures—Mechanical properties and changes in the phase composition of the paste. *Thermochimica acta*, 514(1-2), 74-81.

-Bentz, D. P. (2000). Fibers, percolation, and spalling of high-performance concrete. *Materials Journal*, 97(3), 351-359.

- Brindley, G. (1975). Thermal transformations of clays and layer silicates, in: Proceedings of International Clay Conference Applied Publishing Ltd. *Wilmette, Illinois, USA*.

-Caetano, H., Ferreira, G., Rodrigues, J., & Pimienta, P. (2019). Effect of the high temperatures on the microstructure and compressive strength of high strength fibre concretes. *Construction and Building Materials*, 199, 717-736.

-Chellapandian, M., Mani, A., & Prakash, S. S. (2020). Effect of macro-synthetic structural fibers on the flexural behavior of concrete beams reinforced with different ratios of GFRP bars. *Composite Structures*, 254, 112790.

-Dabbagh, H., & Akbarpour, S. (2017). Behavior of Structural Lightweight Concrete Containing Nano Silica and Steel Fibers under Compressive Monotonic Loading. *Concrete Research*, 10(1), 35-46.

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش آزمایشگاهی، به ارزیابی آزمایشگاهی میزان مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول الاستیسیته بتن قلیافعال تحت دمای اتاق و حرارت بالا (۵۰۰ درجه سلسیوس) در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه پرداخته شده است. در ادامه فرایند تحقیق، آنالیز SEM به منظور بررسی ریزساختاری نمونه‌ها در دمای اتاق و تحت حرارت بالا، بر روی نمونه‌های بتنی انجام گرفت، اهم نتایج حاصله به شرح ذیل ارایه می‌گردد.

۱- حضور نانوسیلیس در ترکیب بتن قلیافعال موجب بهبود نتایج در تمامی آزمون‌ها گردید، در این راستا، افزودن ۸ درصد نانوسیلیس به بتن طرح ۴ موجب بهبود نتایج آزمون مقاومت فشاری، کششی و مدول الاستیسیته بتن به ترتیب به میزان ۲۲، ۱۵ و ۱۳/۴ درصد نسبت به طرح ۲ (بتن قلیافعال فاقد نانوسیلیس) در دمای اتاق گردید.

۲- افزودن ۲ درصد الیاف پلی‌الفین در ترکیب بتن قلیافعال در معرض دمای اتاق، موجب افت ۲۵ درصدی مقاومت فشاری (نسبت به طرح ۴ حاوی فاقد الیاف) و بهبود مقاومت کششی و مدول الاستیسیته بتن به ترتیب به میزان ۸/۵ و ۷ درصد گردید.

۳- اعمال حرارت بالا در بتن، موجب تضعیف نتایج حاصل از تمامی آزمون‌ها در این پژوهش آزمایشگاهی گردید، به طوری که بیشترین میزان افت مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول الاستیسیته بتن به ترتیب به میزان ۳۷، ۵۷ و ۵۹ درصد در طرح ۱ حاوی بتن کنترل به دست آمد. در این راستا، کمترین میزان افت نتایج به ترتیب آزمون‌های ذکر شده متعلق به طرح ۴، ۵ و ۵ به میزان ۸، ۱۲ و ۳۲ درصد بود.

۴- نتایج حاصل از آنالیز SEM بر روی نمونه‌های بتن در دمای اتاق و تحت حرارت بالا، ضمن تفسیر نتایج سایر آزمون‌ها، در هماهنگی و همپوشانی با آنها قرار داشت.

#### ۶- پی‌نوشت‌ها

1. Joseph Davidovits
2. Monita Olivia
3. Fiber Reinforced Concrete (Frp)
4. Micro Internal Defects

- Olivia, M., & Nikraz, H. (2012). Properties of fly ash geopolymer concrete designed by Taguchi method. *Materials & Design (1980-2015)*, 36, 191-198.
- Provis, J. L., & Van Deventer, J. S. (2009). Introduction to geopolymers. In *Geopolymers*, Woodhead Publishing. 1-11.
- Rakhshani Mehr, M., & Bakhshi, H. (2015). Effect of Steel Fibers and Concrete Strength on Mechanical specifications of Steel Fiber Reinforced Concrete. *Concrete Research*, 8(1), 101-112.
- Sadr Momtazi, A., & Kohani Khoshkbijari, R., & Lotfi Omran, O. (2016). Mechanical And Durability Properties Of Self Compacting Concrete Containing Nano Silica Particles Considering Optimum Percentages Of Fibers. *Journal of Concrete Research*, 8(2), 19-34.
- Scrivener, K., & R. James, K. (2008). Innovation in use and research on cementitious material. *Cement and concrete research*, 38(2), 128-136.
- Siddique, R., & Kaur, D. (2012). Properties of concrete containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS) at elevated temperatures. *Journal of Advanced Research*, 3(1), 45-51.
- Venkatesan, R. P., & Pazhani, K. C. (2016). Strength and durability properties of geopolymer concrete made with ground granulated blast furnace slag and black rice husk ash. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20 (6), 2384-2391.
- Vora, P., & Urmil V, D. (2013). Parametric studies on compressive strength of geopolymer concrete. *Procedia Engineering*, 51, 210-219.
- Wang, K., Shah, S. P., & Phuaksuk, P. (2002). Plastic shrinkage cracking in concrete Materials-Influence of fly ash and fibers. *ACI Materials Journal*, 99(5), 512-513.
- Yunsheng, Z., Wei, S., & Zongjin, L. (2010). Composition design and microstructural characterization of calcined kaolin-based geopolymer cement. *Applied Clay Science*, 47(3-4), 271-275.
- Zhang, B., & Bicanic, N. (2002). Residual fracture toughness of normal-and high-strength gravel concrete after heating to 600 C. *Materials Journal*, 99(3), 217-226.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer chemistry and applications*. Institut Géopolymère, Geopolymer Institute, Saint-Quentin, France. ISBN 2-951-14820-1-9.
- Deb, P., Nath, P., & Sarker, P. (2015). Drying shrinkage of slag blended fly ash geopolymer concrete cured at room temperature. *Procedia Engineering*, 125, 594-600.
- Ehsani, A., Nili, M., & Shaabani, K. (2017). Effect of nanosilica on the compressive strength development and water absorption properties of cement paste and concrete containing Fly Ash. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(5), 1854-1865.
- Li, H., Xiao, H., Yuan, J., & OU, J. (2004). Microstructure of cement mortar with nano-particles. *Composites Part B: Engineering*, 35(2), 185-189.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Education.
- M. Jafari Nadoushan and A. Ramezaniapour, (2019). Mechanical Properties of Alkali Activated Slag Pastes and Determination of Optimum Values of Effective Factors, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, Vol. 50, No. 6, 1043-1052.
- Neupane, N., Chalmers, D., & Kidd, (2018). High-strength geopolymer concrete—properties, advantages and challenges. *Advances in Materials*, 7(2), 15-25.
- Nosrati, A., Zandi, Y., Shariati, M., Khademi, K., Aliabad, M., Marto, A., & Khorami, M. (2018). Portland cement structure and its major oxides and fineness. *Smart structures and systems*, 22(2), 425-432.
- Nofallah, M. H. (2018). Effect of sodium Hydroxide solution concentration and sodium silicate to sodium hydroxide ratio on the compressive strength and water absorption of slag based alkali-activated concrete. *Concrete Research*, 11(2), 95-103.
- Omidinasab, F. (2019). Impact resistance of multi-layer slabs made with (HPSCC) reinforced by fiber under the projectile impact at high speed. *Modares Civil Engineering journal*, 18(5), 105-118.

# Experimental Evaluation of Mechanical Properties of Active Alkali Concrete Pavement under High Temperature

*Mohammadhossein Mansourghanaei, Ph.D. in Civil, Department of Civil Engineering, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.*  
*Morteza Biklaryan, Department of Civil Engineering, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.*  
*Alireza Mardokhpour, Department of Civil Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.*

*E-mail: M.Biklaryan@iauc.ac.ir*

Received: June 2023- Accepted: November 2023

## ABSTRACT

The use of conventional concrete has always faced challenges due to environmental pollution and low durability against corrosive chemical environments. In this regard, alkaline concrete with high properties and minimal environmental damage has attracted the attention of researchers. In the present laboratory research, a mixing design of control concrete and three mixing designs of reinforced slag concrete containing 0, 4 and 8% Nano Silica (NS) were constructed. Three designs were selected from reinforced concrete and by adding 1 and 2% of Polyolefin Fibers (POFs) to it; two more designs were made (designs 5 and 6). Concrete specimens were tested at 90 days of curing at room temperature and high temperature. The application of heat caused a decrease in the results so that, in high-strength concrete designs, the highest drop under the test of compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity was 16, 21 and 42%, respectively, in Figure 2. Scanning Electron Microscope (SEM) of concrete microstructure was interpreted in overlap and coordination in interpreting the results of all tests.

**Keywords:** Active Alkali Concrete, Compressive Strength, Tensile Strength, Modulus of Elasticity, High Heat