

Experimental study of the effect of elevated temperature on compressive and tensile strength of concrete made with microsilica and polypropylene

Saeid Rashidian¹, Masoud Ziaei^{2*}, Reza Esmaeil Abadi³

1- Ph.D. Student, Roudehen Azad Univeristy, Roudehen, Iran

2 -Assistant Professor, Engineering Faculty, Garmsar University, Garmsar, Iran

3- Ph.D. Student, Roudehen Azad Univeristy, Roudehen, Iran

ABSTRACT

The occurrence of fire in structures is a possible phenomenon that can significantly affect the mechanical properties of the materials of structural members. Nowadays, the use of new materials and additives in concrete construction has been considered, and it is necessary to examine the strength of concrete made with these materials during and after fires and to ensure its proper behavior. In this research, microsilica, as a very effective pozzolanic material and polypropylene fibers as a material to improve cracking resistance were used to make concrete. The behavior of concrete specimens with different values of these additives after exposure to high heat was investigated in the form of tensile and compressive strength tests. The control concrete specimen was considered for comparison with other specimens where the compressive strength of this specimen was 30 MPa. In addition to the control specimen mixing design, 11 other mixing designs were made with propylene fibers in the amount of 0.05, 0.075 and 0.1% of the weight of concrete and microsilica in the amount of 5%, 10% and 15% of the weight of cement. The specimens were placed in an oven at 600 ° C for one hour. After cooling, compressive and tensile strength tests were performed on the specimens. The results showed that the combination of polypropylene and microsilica fibers increased the tensile strength, the maximum increase was 82% compared to the control specimen. The maximum increase in compressive strength compared to the control specimen was 63.4%. After exposure to heat, the tensile strength of the proposed sample increased by 44% compared to the control specimen.

ARTICLE INFO

Receive Date: 21 July 2022

Revise Date: 16 November 2022

Accept Date: 05 January 2023

Keywords:

Concrete
Elevated temperature,
Microsilica
Polypropylene fibers
Compressive strength
Tensile

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2023.343151.2818>

*Corresponding author: Masoud Ziaei
Email address: m.ziaei@fmgarmsar.ac.ir

بررسی آزمایشگاهی تاثیر حرارت بالا بر مقاومت فشاری و کششی بتن ساخته شده با میکروسیلیس و پلی پروپیلن

سعید رشیدیان^۱، مسعود ضیائی^{۲*}، رضا اسمعیل آبادی^۳

۱- دانشجوی دکتری عمران - سازه، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی گرمسار، گرمسار، ایران

۳- استادیار دانشکده فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران

چکیده

بروز آتش سوزی در سازه‌ها پدیده‌ای محتمل است که می‌تواند خصوصیات مکانیکی مصالح تشکیل دهنده اعضای سازه‌ای را به طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار دهد. امروزه استفاده از مصالح و افزودنی‌های نوین در ساخت بتن مورد توجه قرار گرفته است که لازم است مقاومت بتن ساخته شده با این مصالح در هنگام بروز آتش سوزی و بعد از آن مورد بررسی قرار گیرد و از رفتار مناسب آن اطمینان حاصل شود. در این تحقیق استفاده از میکروسیلیس به عنوان یک ماده پوزولانی بسیار موثر و الیاف پلی پروپیلن به عنوان ماده‌ای برای بهبود مقاومت در برابر ترک خوردگی برای ساخت بتن استفاده شد. رفتار نمونه‌های بتنی با مقادیر متفاوت این افزودنیها بعد از قرارگیری در معرض حرارت بالا در قالب آزمایشات مقاومت کششی و فشاری مورد بررسی قرار گرفت. نمونه بتن شاهد برای مقایسه با سایر نمونه‌ها در نظر گرفته شد که مقاومت فشاری این نمونه ۳۰ مگاپاسکال بوده است. علاوه بر طرح اختلاط نمونه شاهد، ۱۱ طرح اختلاط دیگر با الیاف پروپیلن به میزان ۰/۰۵ و ۰/۰۷۵ و ۰/۱ درصد از وزن بتن و میکروسیلیس به میزان ۱۰،۵ و ۱۵ درصد وزن سیمان ساخته شد. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در کوره در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سرد شدن، آزمایشات مقاومت فشاری و کششی بر روی نمونه‌ها انجام شد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که ترکیب الیاف پلی پروپیلن و میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت کششی شده که حداکثر این افزایش در مقایسه با نمونه شاهد ۸۲٪ بوده است. حداکثر افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد ۶۳/۴٪ بوده است. بعد از قرارگیری در معرض حرارت، مقاومت کششی نمونه پیشنهادی در مقایسه با نمونه شاهد، ۴۴٪ افزایش نشان داد.

کلمات کلیدی: بتن، حرارت بالا، میکروسیلیس، الیاف پلی پروپیلن، مقاومت فشاری، مقاومت کششی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2023.343151.2818	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2023.343151.2818	۱۴۰۲/۰۸/۳۰	۱۴۰۱/۰۴/۱۵	۱۴۰۱/۱۰/۱۵	۱۴۰۱/۰۸/۲۵	۱۴۰۱/۰۴/۳۰
				*نویسنده مسئول:		
				مسعود ضیائی		
				m.ziyaei@fmgarmsar.ac.ir		پست الکترونیکی:

۱- مقدمه

فناوری بتن در دهه گذشته پیشرفت‌های شگرفی داشته است. بتن اکنون دیگر ماده‌ای متشکل از سیمان، سنگدانه‌ها، آب و مواد افزودنی نیست، بلکه یک ماده مهندسی شده با چندین ترکیب جدید است. بتن امروز می‌تواند هر گونه نیاز خاص را تحت قرار گرفتن در معرض اکثر شرایط مختلف برآورده کند. بتن امروزی برای کاربردهای خاص ساخته شده است و حاوی چندین ماده مختلف مانند، میکروسیلیس، متاکائولین، سیلیس کلوئیدی و چندین ماده چسباننده، پرکننده و پوزولانی دیگر است. پیشرفت‌هایی در عملکرد بتن‌ها نسبت به ترکیبات و مصالح تشکیل دهنده آنها صورت گرفته است که باعث ایجاد فرصت‌های بسیاری برای تولید کننده و مصرف کننده در طراحی بتن بر اساس نیازهای خاص شده است [۱]. بتن به طور گسترده‌ای به عنوان یک مصالح ساختمانی در ساختمان سازی و سایر سازه‌های صنعتی به مدت طولانی استفاده گردیده است. وقتی بتن تحت عامل مخرب قرار گیرد، دچار افت مقاومت نامطلوب می‌شود. یکی از دلایل اصلی کاهش مقاومت بتن، قرار گرفتن در معرض حرارت بالا می‌باشد. تشکیل ترک بین خمیر سیمان و دانه‌های سنگی به علت ناسازگاری بین این دو ماده می‌باشد. جمع شدگی خمیر سیمان به دلیل کم آبی در دمای بالا می‌باشد که باعث کاهش قابلیت سیمان می‌گردد. قرار گرفتن در معرض حرارت بالا یکی از مهمترین دلایل خرابی فیزیکی بتن می‌باشد که به دلیل آسیب دائمی باعث کاهش دوام مورد انتظار از سازه می‌گردد [۲].

الیاف پلی پروپیلن نوعی ماده پلیمری با وزن سبک، استحکام بالا و مقاومت در برابر خوردگی است. مقاومت در برابر ترک بتن را می‌توان با افزودن الیاف پروپیلن بهبود بخشید. الیاف پروپیلن می‌تواند توزیع منافذ بتن را بهینه کند. در نتیجه، دوام بتن به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد، زیرا الیاف پلی پروپیلن می‌تواند نفوذ آب یا یون‌های مضر در بتن را مسدود کند [۳]. الیاف پلی پروپیلن با ویژگی وزن سبک، مقاومت در برابر خوردگی و هزینه نسبتاً کم در تولید بتن گنجانده شده است تا مقاومت مکانیکی، الگوهای ترک خوردگی، دوام و مقاومت در برابر آتش را افزایش دهد. در صورت بروز آتش سوزی، قرارگیری در معرض دماهای بالا معمولاً باعث از بین رفتن آب پرتلندیت و ژل هیدرات سیلیکات کلسیم می‌شود که بخار آب تولید می‌کند و در نتیجه فشار منافذ داخل بتن افزایش می‌یابد [۴]. استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن باعث کاهش وحتی مانع پوسته شدن بتن در حرارت بالا می‌گردد [۵]. به هر حال این افزودنی بر کارایی بتن تاثیر می‌گذارد [۶]. مطالعات نشان داده که پلی پروپیلن بر خواص مکانیکی بتن نیز تاثیر دارد [۷]. باور بر این است که عدم وجود الیاف پروپیلن فشار در داخل حباب باعث افزایش تنش کششی و پوسته شدن بتن می‌گردد [۸]. استفاده از الیاف در بتن باعث کاهش عرض ترک‌هایی که بعد از آزمایش کششی ایجاد می‌گردند می‌شود [۹]. الیاف در بتن باعث بهبود مقاومت و شکل پذیری در بتن می‌گردد [۱۰]. افزودن الیاف پلی پروپیلن به بتن باعث افزایش مقاومت خمشی نیز می‌شود [۱۱].

میکروسیلیکا در بسیاری از موارد با موفقیت در سازه‌های بتنی برای بهبود کیفیت بتن تازه و بتن سخت شده مورد استفاده قرار گرفته است [۱۲]. واکنش پوزولانی با هیدروکسید کلسیم برای ایجاد حجم جامد بالایی از کلسیم سیلیکات، منجر به کاهش تخلخل می‌شود و نقش پرکننده را در پیوستگی به سیمان و دانه‌های سنگی ایجاد می‌نماید [۱۳، ۱۴، ۱۵]. جایگزینی جزئی سیمان، به تقویت بین خمیر سیمان و سنگدانه کمک زیادی می‌کند [۱۶]. دوده سیلیس و مواد افزودنی حاوی سیلیس در بتن‌های با مقاومت بالا، برای اهداف سازه‌ای و برای کاربردهای سطحی و به عنوان مواد تعمیراتی در شرایطی که مقاومت در برابر سایش و نفوذپذیری کم است، استفاده شده است [۱۷]. دوده سیلیس که با نام میکروسیلیس نیز شناخته می‌شود، یک ماده پوزولانی بسیار موثر است. از دوده سیلیس در بتن برای بهبود خواص آن استفاده می‌شود و مشخص شده که دوده سیلیس استحکام فشاری، استحکام چسبندگی و مقاومت در برابر سایش را بهبود می‌بخشد و نفوذپذیری را کاهش می‌دهد و بنابراین به محافظت از فولاد تقویت کننده در برابر خوردگی کمک می‌کند [۱۸]. تحقیقات نشان داده که استفاده از سیلیکافوم (میکروسیلیس) به جای سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول الاستیسته بتن می‌گردد [۱۹]. به‌علاوه استفاده از ماده پوزولانی مثل سیلیکافوم باعث کاهش تولید زباله، ذخیره انرژی برای کارخانه سیمان و محافظت از محیط زیست می‌گردد [۲۰]. دلایل استفاده از این ماده بهبود مقاومت و مقاومت بالای زودرس، دستیابی به مقاومت نهایی بالا، به دست آوردن مقاومت سایشی و بهبود مقاومت پیوستگی بوده است. بتن‌های حاوی میکروسیلیس با مقداری بین ۵ و ۱۵ درصد، با موفقیت اجرا گردیده‌اند. یکی از

ویژگی های بتن حاوی میکروسیلیس که نیاز به توجه ویژه دارد، اهمیت آن برای جلوگیری از ترک خوردگی انقباضی پلاستیک است [۲۱]. خواص مکانیکی و شیمیایی بتن در معرض حرارت بالا مانند آتش سوزی، دچار تغییر می گردد [۲۲]. حرارت می تواند باعث خرابی ناشی از کاهش مقاومت، مدول الاستیسیته و دوام بتن شود [۲۳]. به علاوه احتمال ایجاد ترک، پوسته شدن، جداسازی دانه های سنگی از خمیر سیمان و خرابی تدریجی وجود دارد [۲۴].

هدف از این تحقیق بررسی اثر حرارت بر مقاومت فشاری و کششی بتن حاوی میکروسیلیس در مقادیر ۰،۵ و ۱۰ درصد به نسبت وزن سیمان و پلی پروپیلن به مقدار ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ درصد وزن بتن پس از قرار گرفتن در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت می باشد. این تحقیق، با استفاده از آزمایش و اعمال حرارت بر روی نمونه های مکعبی و استوانه ای در قالب ۱۲ طرح انجام گردیده و اثر استفاده همزمان میکروسیلیس و پلی پروپیلن با نسبت های مختلف در بتن که تحت حرارت بالا قرار گرفته بررسی گردیده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

در این تحقیق آزمایشگاهی از ۱۱ طرح اختلاط با ترکیبی از میکروسیلیس^۱ و پلی پروپیلن^۲ و ۱ طرح اختلاط بتن شاهد استفاده شده است. نمونه هایی از مصالح میکروسیلیس و پلی پروپیلن به ترتیب در شکل (۱) الف و ب نشان داده شده است.



شکل ۱: (الف) میکروسیلیس و (ب) پلی پروپیلن مورد استفاده در تحقیق

مشخصات فنی میکروسیلیس و پلی پروپیلن خریداری شده از شرکت سراپوش مطابق کاتالوگ مربوطه به ترتیب در جداول (۱) و (۲) و (۳) نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات فنی میکروسیلیس

خاکستری	رنگ
غیر کریستالی (آموف)	ساختار مولکولی
۶۰۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب	چگالی توده ها
۰/۰۵ تا ۰/۰۲ میکرون	اندازه ذرات
۲/۲	چگالی ویژه

جدول ۲: عناصر تشکیل دهنده میکروسیلیس

ماده شیمیایی	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
درصد وزنی	۰/۱-۰/۹	۲-۲/۳	۲-۲/۳	۰/۴-۲	۹۰-۹۵

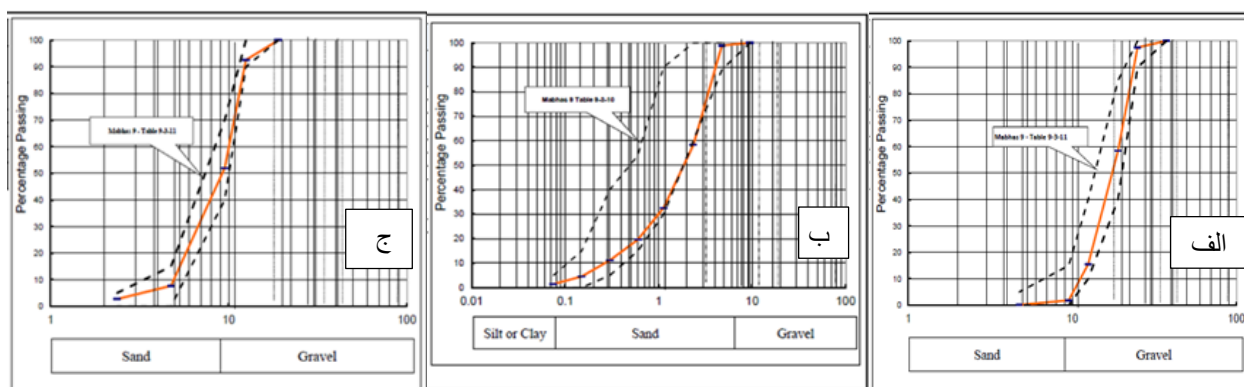
¹ Micro silica

² Polypropylene

جدول ۳: مشخصات پلی پروپیلن

الیاف پلی پروپیلن	ماده
صاف	شکل
۲۰۰	قطر (میکرون)
۱۲	طول (میکرون)
۰/۰۹	چگالی ویژه

بتن شاهد برای مقاومت ۳۰ مگاپاسکال [۲۵] طراحی شده است. از مصالح سنگی [۲۶ و ۲۷] در منطقه ایوانکی تهران شامل درشت دانه با اندازه اسمی ماکزیمم ۲۵ میلیمتر، وزن مخصوص اشباع سطح خشک ۲/۵۸ گرم بر سانتیمترمکعب، وزن مخصوص ظاهری ۲/۶۲ گرم بر سانتیمترمکعب و جذب آب ۱/۱۶۴ درصد استفاده شد. مصالح میان دانه با اندازه اسمی حداکثر ۱۲/۵ میلیمتر، وزن مخصوص اشباع سطح خشک ۲/۵۷ گرم بر سانتیمترمکعب، وزن مخصوص ظاهری ۲/۶۱ گرم بر سانتیمترمکعب و جذب آب ۱/۸۳ درصد و ماسه با اندازه حداکثر ۴/۷۵ میلیمتر با وزن مخصوص ۲/۵۸ گرم بر سانتیمترمکعب، جذب آب ۲/۸۳ و ضریب نرمی ۳/۷۵ درصد مطابق با (شکل ۲) استفاده شده است.



شکل ۲: (الف) دانه‌های درشت دانه با اندازه اسمی ماکزیمم ۲۵ میلیمتر (ب) دانه‌های سنگی میان دانه با اندازه اسمی ماکزیمم ۱۲/۵ میلیمتر و (ج) ماسه (۴/۷۵ میلیمتر).

سیمان تیپ ۲ از کارخانه شاهرود با ضریب نرمی ۳۱۵۰ گرم بر سانتیمتر مربع و چگالی ۳/۱۴ و گیرش اولیه ۱۳۵ دقیقه و گیرش نهایی ۳/۳۵ ساعت، با ترکیبات شیمیایی آمده در جدول ۴ استفاده گردید [۲۸ و ۲۹].

جدول ۴: مشخصات شیمیایی سیمان تیپ ۲ کارخانه شاهرود^۳

ماده شیمیایی	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
درصد	۲۱/۱۱	۳/۹۱	۶۳/۳۸	۴/۴۸	۱/۴۸	۲/۵۸	۰/۴۳	۰/۴۸

^۳ کارخانه سیمان شاهرود مطابق با موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به شماره ۳۸۹

این تحقیق برای ارزیابی مقاومت فشاری و مقاومت کششی نمونه‌ها قبل و بعد از قرار گرفتن در معرض دمای ۶۰۰ سانتیگراد انجام شده است. نمونه‌های مکعبی با ابعاد $15 \times 15 \times 15$ سانتیمتر [۳۰] و استوانه‌ای 15×30 سانتیمتر با تعداد ۳ نمونه برای هر طرح جهت تعیین مقاومت‌های میانگین برای هر یک از طرح‌ها ساخته شدند [۳۱]. برای این تحقیق میزان میکروسیلیس به تناسب، جایگزین سیمان شد و پلی‌پروپیلن به جهت افزودنی استفاده گردید. نمونه‌ها پس از عمل آوری و خشک شدن در کوره الکتریکی، در معرض دمای مشخص شده قرار گرفتند. دمای مشخص شده ۶۰۰ درجه سانتیگراد در بازه زمانی ثابت یک ساعت می‌باشد. پس از خروج از کوره، نمونه‌ها در شرایط خشک و خنک برای انجام آزمایش فشاری و کششی به روش دو نیم شدگی نگهداری شدند. از آزمایشگاه موسسه تحقیقات بتن در شهر تهران جهت انجام آزمایشات مربوط به طرح اختلاط، ساخت بتن، عمل آوری، خشک کردن در آون، توزین نمونه‌ها و آزمایش مقاومت فشاری و دو نیم شدگی قبل و بعد از حرارت استفاده گردید و از آزمایشگاه پژوهشگاه وزارت نیرو در تهران جهت استفاده از کوره ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد جهت حرارت دادن نمونه‌های مکعبی و از آزمایشگاه پژوهشگاه مواد و انرژی در استان البرز جهت استفاده از کوره ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد برای حرارت دادن نمونه‌های استوانه‌ای استفاده گردید.

۳- طرح اختلاط

طرح‌های اختلاط در این مطالعه با نسبت آب به مواد سیمانی ثابت و برابر $0/45$ در نظر گرفته شده و به میزان ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از مواد سیمانی با میکروسیلیس جایگزین شده است [۳۲]. الیاف مورد استفاده در این تحقیق الیاف پلی‌پروپیلن با طول ۱۲ میلی‌متر (به میزان $0/05$ ، $0/075$ و $0/1$ درصد وزن بتن) می‌باشد. اختلاط بتن الیافی معمولاً به دو گونه متفاوت توسط محققین انجام می‌شود. در روش اول، ابتدا به اختلاط خشک الیاف با مصالح سنگی و سپس افزودن مواد سیمانی و آب پرداخته اند. اما در روش دیگر ابتدا به ساخت بتن بدون الیاف پرداخته و در پایان، الیاف را به مخلوط اضافه می‌کنند. طرح‌های اختلاط در جداول (۵ و ۶) و شکل (۲) آمده است.

جدول ۵: مصالح مصرفی در یک متر مکعب بتن طرح به کیلو گرم

بتن طرح	سیمان (kg)	درشت دانه بزرگ (kg)	درشت دانه متوسط (kg)	ماسه (kg)	نسبت آب به سیمان
شاهد	۴۲۵	۵۰۹	۲۵۳	۹۵۸	$0/45$

جدول ۶: مقدار سیمان و درصد میکروسیلیس و پلی‌پروپیلن و اسلامپ حاصل در طرح‌ها

طرح	شاهد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
سیمان	۴۲۵	۴۰۴	۳۸۳	۳۶۱	۴۰۴	۳۸۳	۳۶۱	۴۰۴	۳۸۳	۳۶۱	۳۸۳	۴۲۵
درصد میکروسیلیس	۰	۵	۱۰	۱۵	۵	۱۰	۱۵	۵	۱۰	۱۵	۱۰	۰
درصد پلی‌پروپیلن	۰	$0/05$	$0/05$	$0/05$	$0/075$	$0/075$	$0/075$	$0/075$	$0/1$	$0/1$	$0/1$	$0/075$
اسلامپ (cm)	۷	$3/5$	۳	$2/5$	$3/5$	۳	$2/5$	۳	$2/5$	$2/5$	$2/5$	۴

در این تحقیق ترتیب اختلاط مصالح طبق جداول (۵ و ۶) برای بتن این گونه بود که ابتدا سنگدانه‌ها با الیاف پلی‌پروپیلن مخلوط شده بود که انجام این مرحله تا ۵ دقیقه به طول انجامید. سپس آب و مواد سیمانی که شامل سیمان و میکروسیلیس می‌شود به مخلوط اضافه شد و در طرح‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلن، الیاف به آرامی در مخلوط در حال چرخش پاشیده شد تا پراکندگی و یکنواختی مطلوب الیاف در کل بتن به دست آید. عملیات اختلاط به مدت پنج دقیقه به طول انجامید. پس از ساخت بتن مطابق با الگوی فوق، عملیات نمونه برداری و تعیین روانی که طبق جدول (۶) بدست آمده توسط قالب‌های مکعبی و استوانه‌ای جهت بررسی مقاومت فشاری و دو نیم شدگی انجام و پس از پر کردن قالب‌ها، نمونه‌ها در در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت نگهداری و بعد از گذشت این زمان و باز کردن قالب‌ها نمونه‌ها تا زمان عمل تخلیه در آزمایشگاه نگهداری شدند. نمونه‌های مکعبی $15 \times 15 \times 15$ و نمونه‌های استوانه‌ای 15×30 ساخته شده بعد از ۲۴ ساعت از قالب خارج شده و به مدت ۲۸ روز در داخل حوضچه آب جهت عمل آوری نگهداری شدند.

۴- مقاومت فشاری قبل از حرارت دهی

مقاومت فشاری یکی از خواص مهم بتن است، مکعب بتنی $150 \times 150 \times 150$ میلی متر ساخته شده، پس از عمل آوری نمونه‌های مکعبی از هر طرح برداشت و بعد از توزین (جدول ۷)، در دستگاه آزمایش جهت تعیین مقاومت فشاری، مورد آزمایش قرار گرفت. مطابق شکل (۳)، آزمایش فشاری رایج‌ترین آزمایشی است که بر روی بتن سخت شده انجام می‌شود. متداول بودن استفاده از این آزمایش به دلیل سهولت انجام آن و امکان تعیین خصوصیات کیفی دیگر به دلیل مرتبط بودن با مقاومت فشاری است. برای انجام تحقیق، جک فشاری موسسه تحقیقات بتن مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۷: میانگین وزن نمونه‌های مکعبی قبل و بعد از حرارت دهی برحسب گرم

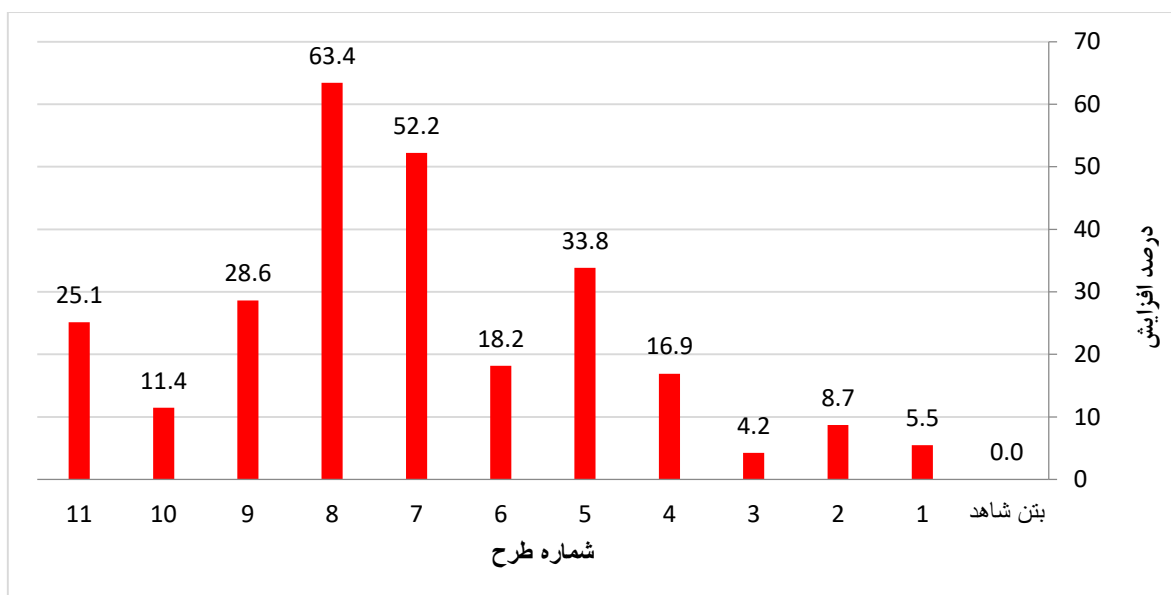
وزن	شاهد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
قبل از حرارت	۷۷۵۲	۷۸۴۴	۷۷۵۰	۷۸۳۰	۷۸۲۵	۷۷۹۸	۷۷۵۰	۷۷۸۲	۷۷۵۱	۷۷۰۴	۷۶۸۴	۷۶۴۷
بعد از حرارت	۷۲۸۲	۷۲۰۰	۶۹۷۴	۷۱۲۵	۷۱۰۵	۷۱۷۲	۷۰۴۱	۷۷۴۳	۷۲۰۶	۷۰۳۵	۷۰۸۶	۷۰۶۵
درصد کاهش وزن	۶/۱	۸/۳	۱۰	۹	۹/۳	۸	۹/۱	۶/۹	۷	۸/۶	۷/۷	۷/۷



شکل ۳: (الف) آزمایش تعیین مقاومت فشاری

(ب) جک تعیین مقاومت فشاری

میانگین مقاومت فشاری بتن برای نمونه‌های هر طرح، بتن شاهد با سیمان پرتلند نوع ۲ و نمونه‌های دیگر بتن حاوی پلی پروپیلن و میکروسیلیس بعد از ۲۸ روز عمل آوری با استفاده از جک هیدرو لیکی قبل از حرارت دهی مورد آزمایش قرار گرفت و مقاومت‌ها مشخص گردید. (شکل ۴).



شکل ۴: نمودار درصد افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد قبل از حرارت‌دهی

۵- آزمایش مقاومت کششی به روش دونیم‌شدگی قبل از حرارت‌دهی

آزمایش‌های مقاومت کششی به روش دونیم‌شدگی را می‌توان به طور کلی به روش‌های مستقیم و غیر مستقیم طبقه بندی کرد. روش اول از مشکلات مربوط به قرار دادن یا نگه داشتن نمونه در دستگاه آزمایش بدون افزایش تنش متمرکز و مشکلات در اعمال بار محوری بدون خروج از مرکز روی نمونه رنج می‌برد. به دلیل مشکلاتی که در انجام آزمایش کششی وجود دارد، از آزمایش غیر مستقیم مانند روش دو نیم‌شدگی استوانه‌ای استفاده شده است. آزمایش دو نیم‌شدگی استوانه‌ای برای نمونه‌های استوانه‌ای مختلف (قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر) در سن ۲۸ روزگی نیز با دستگاه آزمایش فشار به ظرفیت ۲۰۰ تن انجام شد [۳۳]. آزمایش دو نیم‌شدگی استوانه‌ای گاهی اوقات نیز با عنوان "آزمایش برزلی" نامیده می‌شود (شکل ۵). آزمایش با قرار دادن یک نمونه استوانه‌ای بعد از توزین (جدول ۸)، به صورت افقی بین سطوح بارگیری دستگاه آزمایش فشار انجام می‌شود و بار تا شکست استوانه در امتداد قطر عمودی اعمال می‌شود. مطابق شکل (۶)، هنگامی که بار در امتداد استوانه اعمال می‌شود، یک عنصر بر روی قطر عمودی استوانه تحت تنش فشاری عمودی قرار می‌گیرد. مزیت اصلی این روش این است که همان دستگاه آزمایشی که برای آزمایش فشاری استفاده می‌شود، می‌تواند برای این آزمون به کار گرفته شود.



شکل ۵: دستگاه آزمایش مقاومت دو نیم‌شدگی

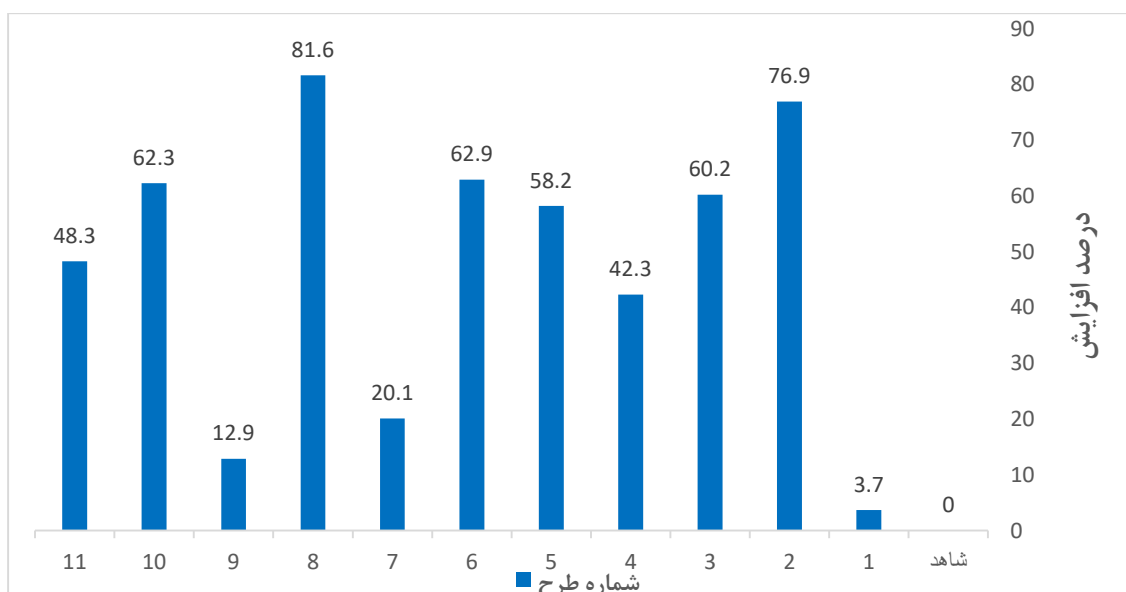


شکل ۶: نمونه استوانه ای بعد از انجام آزمایش

جدول ۸: میانگین وزن نمونه استوانه‌ای قبل و بعد از حرارت‌دهی به گرم

وزن	شاهد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
قبل از حرارت	۱۳۲۷۳	۱۳۴۶۸	۱۲۹۷۲	۱۳۱۴۱	۱۳۳۰۸	۱۲۶۹۱	۱۳۱۲۸	۱۲۹۸۵	۱۳۹۰۲	۱۳۱۲۱	۱۳۱۶۸	۱۳۰۷۹
بعد از حرارت	۱۲۲۱۴	۱۲۵۳۵	۱۱۹۰۷	۱۲۲۳۰	۱۲۳۲۳	۱۱۷۰۳	۱۲۶۷۹	۱۲۱۱۲	۱۲۰۹۲	۱۱۹۰۵	۱۲۲۵۷	۱۲۸۲۸
درصد کاهش	۷/۹	۷	۸	۶/۸	۷/۳	۷/۴	۳/۳	۶/۶	۱۳/۶	۹/۲	۶/۹	۱/۹

در تعیین مقاومت کششی به روش دو نیم شدگی از میانگین سه نمونه استوانه‌ای برای کلیه طرح‌ها مطابق با (شکل ۷) استفاده شده است.

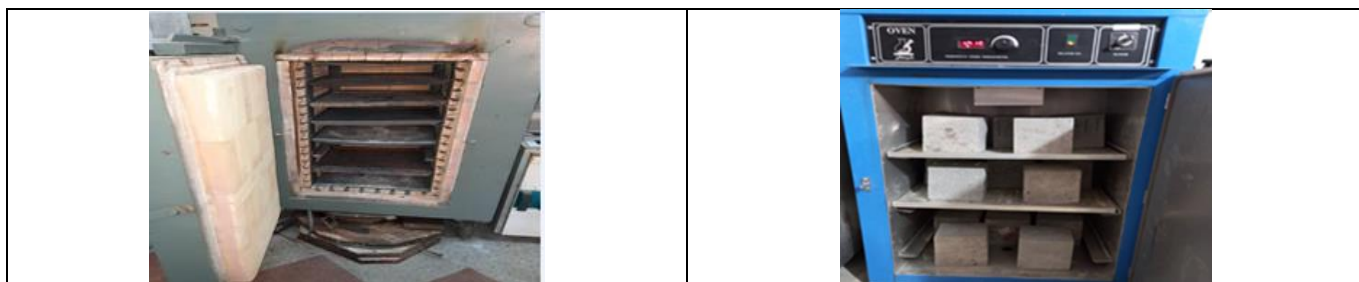


شکل ۷: درصد افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد قبل از حرارت دهی

۶- روش حرارت دهی

نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای مورد نظر بعد از عمل آوری، به مدت ۲۴ ساعت در حرارت ۱۰۵ درجه سانتیگراد به منظور خشک کردن و حذف آب سطحی در آن موسسه تحقیقات بتن (متب)، واقع در شهر تهران قرار داده شدند که در شکل (۸) قابل مشاهده است.

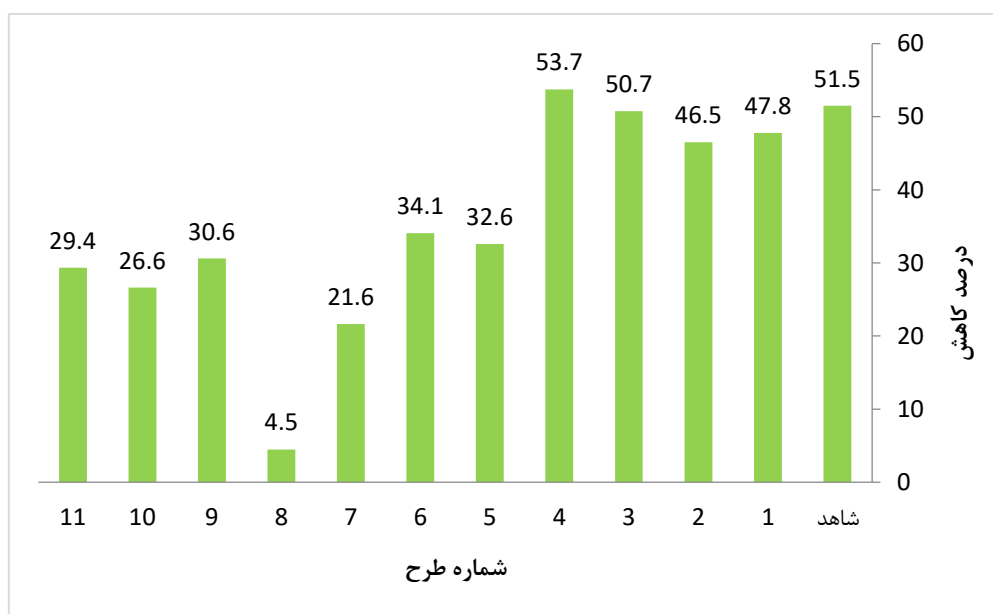
سپس بعد از انجام عمل آوری، از کوره الکتریکی واقع در آزمایشگاه پژوهشگاه وزارت نیرو واقع در شهر تهران و پژوهشگاه مواد و انرژی در استان البرز جهت انجام حرارت دهی نمونه‌ها استفاده شد.



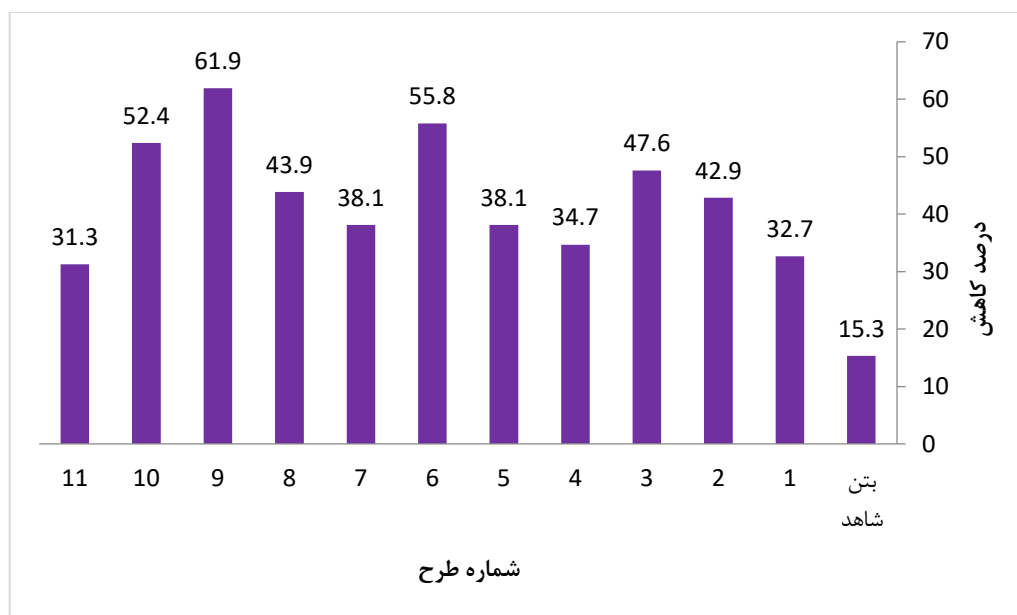
شکل ۸: (راست) آون مورد استفاده برای خشک کردن نمونه‌های بتن و (چپ) کوره الکتریکی پژوهشگاه مواد و انرژی و پژوهشگاه وزارت نیرو نمونه‌ها در محفظه کوره با دمای اتاق قرار داده شدند و دما با سرعت ۳ درجه سانتیگراد در دقیقه افزایش یافت تا به درجه مورد نظر برسد. بعد از یک ساعت قرار گرفتن در دمای ثابت ۶۰۰ درجه سانتی گراد کوره خاموش گردید و نمونه‌ها تا رسیدن دمای کوره به دمای محیط در کوره نگه داری شدند و سپس از کوره خارج و مراحل انجام آزمایشات تعیین مقاومت توسط جک هیدرولیکی انجام گردید (شکل ۹) و نمودار ۱۰ و ۱۱).



شکل ۹: نمونه‌های حرارت دیده استوانه‌ای و مکعبی



شکل ۱۰: درصد کاهش مقاومت فشاری نسبت به مقاومت نمونه بعد از حرارت دهی



شکل ۱۱: درصد کاهش مقاومت کششی نمونه‌ها بعد از اعمال حرارت

۷- تفسیر یافته‌ها

نتایج آزمایش نمونه‌های مکعبی (فشاری) و استوانه‌ای (کششی به روش دونیم‌شدگی) برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل اثر دمای بالا بر روی بتن حاوی میکروسیلیس و پلی‌پروپیلن با بتن شاهد استفاده گردید.

استفاده از میکروسیلیس و پلی‌پروپیلن در ترکیب بتن بر روی مقاومت فشاری تاثیر افزایشی داشت، به طوری که در مقایسه با بتن شاهد، در طرح استفاده از ۵٪ میکروسیلیس با مقداری از پلی‌پروپیلن (۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ درصد)، روند افزایشی داشته است. در ترکیب طرح ۱۵ درصد میکروسیلیس، با افزایش مقدار پلی‌پروپیلن به ۰/۱ درصد، مقاومت فشاری نسبت به بتن شاهد افزایش داشت اما در مقایسه با طرح ۱۰ درصد میکروسیلیس، مقاومت فشاری کاهش یافت. لذا استفاده از میکروسیلیس و پلی‌پروپیلن باعث افزایش مقاومت فشاری شد. میکروسیلیس دارای خواص پوزولانی بسیار قوی بوده و نقش فیلر را در پیوستگی سیمان با دانه‌های سنگی ایجاد می‌نماید، با جایگزینی مقدار اندکی به جای سیمان، به تقویت خمیر سیمان و سنگ دانه‌ها کمک کرده است. از طرفی دیگر نیز استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن باعث به تاخیر افتادن رشد ریز ترک‌ها در بتن شد، به طوری که در سطوح بتن حرارت ندیده، ترکی مشاهده نگردید و بنابراین باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شد. با توجه به ثابت بودن نسبت مقدار آب به سیمان، افزودن میکروسیلیس و پلی‌پروپیلن باعث کاهش روانی بتن تا میزان ۲/۵ الی ۴ سانتیمتر شده است. بنابراین در نسبت‌های پایین تر آب به سیمان، استفاده از روان کننده توصیه می‌گردد.

نتایج مقاومت کششی به روش دو نیم‌شدگی نشان داد که مقاومت کششی نسبت به بتن شاهد روندی افزایشی داشته است، بطوریکه در طرح شماره ۸ با ترکیب مقدار ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۰/۰۷۵ درصد پلی‌پروپیلن، مقاومت کششی به میزان ۸۱/۹ درصد نسبت به بتن شاهد افزایش داشت که مقدار آن نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر بود. همانطور که در بالا نیز اشاره شد میکروسیلیس به دلیل خواص پوزولانی بسیار قوی به تقویت خمیر سیمان و سنگ دانه‌ها کمک کرد و باعث کاهش نفوذ پذیری در بتن می‌گردد. استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن نیز به دلیل به تاخیر انداختن رشد ریز ترک‌ها موجب افزایش مقاومت کششی در نمونه‌های بتن گردید. استفاده از طرح ۱۵ درصد میکروسیلیس، مقاومت کششی را نسبت به بتن شاهد افزایش داد اما در مقایسه با طرح ۱۰ درصد میکروسیلیس روند

مقاومت کاهش می‌یابد بنابراین طرح شماره ۸ یعنی طرح با ترکیب ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۰/۰۷۵ درصد پلی پروپیلن باعث افزایش مقاومت کششی شد.

بعد از بررسی نمونه‌ها در دمای اتاق، به بررسی تاثیر حرارت پرداخته شد. حرارت به مدت ۱ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد تاثیر قابل توجهی در مقاومت فشاری نمونه‌ها داشت. پس از اتمام قرار گرفتن بتن در معرض دمای بالا، ترک‌های مویی نامنظم در سطح خارجی بتن مشاهده گردید. رنگ سطح بتن خاکستری تیره شد. این تغییرات ممکن است مرتبط با تغییر ترکیب و بافت بتن که در حین گرمایش یا فرآیند شروع سرمایش باشد. که در مقایسه با بتن شاهد حرارت دیده به میزان ۴/۵ درصد کاهش مقاومت و نسبت به دیگر ترکیبات میکروسیلیس و پلی پروپیلن افزایش به دلیل روانی حجم ناهمگن مواد تشکیل دهنده و همچنین افزایش فشار بخار آب در منافذ، به ویژه در دمای حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد، تنش داخلی و ایجاد ترکهای خارجی در اندازه‌های مختلف ایجاد شد.

نتایج نشان داد که جایگزین نمودن تا ۱۰ درصد میکروسیلیس به جای سیمان و افزودن پلی پروپیلن به بتن در مقاومت فشاری موثر بوده است. در بتن طرح شماره ۸ که میزان ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۰/۰۷۵ درصد پلی پروپیلن استفاده شده بود مقاومت فشاری بعد از حرارت دهی ۳۸/۴ مگاپاسکال بود که مقاومت بالاتری از خود نشان داد. کاهش مقاومت در بتن بعد از حرارت به دلیل ذوب شدن پلی پروپیلن و ایجاد فضای خالی و همچنین فشردگی حباب های بخار آب و گاز ناشی از ذوب شدن پلی پروپیلن باعث تنش داخلی و ایجاد ترک در بتن گردید و در نتیجه منجر به کاهش مقاومت فشاری شد. بعد از حرارت، با افزایش میکروسیلیس به میزان ۱۵ درصد مقاومت فشاری کاهش یافت. میانگین مقاومت فشاری با انحراف از معیار ۷/۸۷۸۲ قبل از حرارت و بعد از اعمال حرارت با انحراف از معیار ۵/۹۳۴۱ در جدول شماره ۹ نشان داده شده است.

جدول شماره ۹ فشاری قبل و بعد از حرارت و درصد کاهش و افزایش مقاومت نسبت به بتن شاهد: میانگین مقاومت

شماره طرح	مقاومت فشاری قبل از حرارت	مقاومت فشاری بعد از حرارت	درصد مقاومت فشاری قبل از حرارت به بتن شاهد	درصد مقاومت فشاری بعد از حرارت به بتن شاهد	درصد افزایش قبل از حرارت به بتن شاهد	درصد کاهش بعد از حرارت به بتن شاهد
۱	شاهد	۴۰/۲۰	۱۰۰	۴۸/۵	۰	۵۱/۵
۲	۱	۴۲/۴	۲۱	۵۲/۲	۵/۵	۴۷/۸
۳	۲	۴۳/۷	۲۱/۵	۵۳/۵	۸/۷	۴۶/۵
۴	۳	۴۱/۹	۱۹/۸	۴۹/۲۵	۴/۲	۵۰/۷
۵	۴	۴۷	۱۱۷/۱	۴۶/۳	۱۷/۵	۵۳/۷
۶	۵	۵۳/۸	۲۷/۱	۶۷/۴	۳۳/۹	۳۲/۶
۷	۶	۴۷/۵	۲۶/۵	۶۵/۹	۱۸/۱	۳۴/۱
۸	۷	۶۱/۲	۳۱/۵	۷۰/۴	۵۲/۲	۲۹/۶
۹	۸	۶۵/۷	۳۸/۴	۹۵/۵	۶۳/۴	۴/۵
۱۰	۹	۵۱/۷	۲۷/۹	۶۹/۴	۲۸/۶	۳۰/۶
۱۱	۱۰	۴۴/۸	۲۹/۵	۷۳/۳	۱۱/۴	۲۶/۶
۱۲	۱۱	۵۰/۳	۲۸/۴	۷۰/۹	۲۵/۱	۲۹/۴

حرارت به مدت ۱ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد تاثیر قابل توجهی در مقاومت کششی نمونه‌ها داشت. پس از اتمام قرار گرفتن بتن در معرض دمای بالا، ترک‌های مویی نامنظم در سطح خارجی بتن مشاهده گردید. رنگ سطح بتن خاکستری تیره شد. این تغییرات ممکن است مرتبط با تغییر ترکیب و بافت بتن که در حین گرمایش یا فرآیند شروع سرمایش باشد. بالاترین مقاومت کششی مربوط به طرح شماره ۴ با ترکیب ۱۵ درصد میکروسیلیس و ۰/۰۵ درصد پلی پروپیلن با مقدار ۱/۹۲ مگاپاسکال بدست آمده که مقاومت

کششی به مقدار ۳۵ درصد نسبت به بتن شاهد کاهش یافت. در طرح شماره ۸ که میکروسیلیس به مقدار ۱۰ درصد و پلی پروپیلن به مقدار ۰/۰۷۵ درصد بود. بعد از اعمال حرارت مقاومت کششی به اندازه ۱/۶۵ مگاپاسکال نسبت به بتن شاهد حرارت دیده به مقدار ۴۴ درصد تنزل داشت که در مقایسه با طرح شماره ۴، مقاومت کششی کاهش یافت. لذا با افزایش پلی پروپیلن از مقاومت کششی کاسته شده است. کاهش مقاومت در بتن بعد از اعمال حرارت به دلیل ذوب شدن پلی پروپیلن و بخار آب ایجاد شده که باعث ایجاد تنش در داخل بتن گردیده و منجر به ایجاد ترک در بتن شد و در نتیجه باعث کاهش مقاومت کششی گردید. با توجه به اینکه یکی از خواص تعیین کننده بتن، مقاومت فشاری آن می باشد لذا بعد از اعمال حرارت مقایسه طرح شماره ۸ با طرح شماره ۴ که مقدار مقاومت فشاری آن به ترتیب برابر با ۳۸/۴ مگاپاسکال و ۱۸/۶ بود، طرح شماره ۸ با ترکیب ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۰/۰۷۵ درصد پلی پروپیلن به عنوان طرح بهینه انتخاب گردید.

در طرح فاقد پلی پروپیلن طرح شماره ۱۰، با استفاده از میکروسیلیس به میزان ۱۰ درصد مقاومت فشاری ۱۱/۴ درصد؛ مقاومت کششی ۶۲/۳ درصد افزایش و بعد از حرارت مقاومت فشاری به ۲۶/۷ درصد و کششی ۵۲/۴ درصد کاهش نسبت به بتن شاهد حرارت ندیده داشت و در طرح شماره ۱۱ با پلی پروپیلن به میزان ۰/۰۷۵ درصد، مقاومت فشاری ۲۵/۱ درصد؛ کششی ۴۸/۳ درصد افزایش و بعد از حرارت فشاری به ۲۹/۴ درصد و کششی ۳۱/۳ درصد کاهش نسبت به بتن شاهد حرارت ندیده داشت. مقاومت فشاری با میکروسیلیس ۱۰ درصد دارای مقاومت فشاری ۴۴/۸ مگاپاسکال قبل از حرارت از طرح با پلی پروپیلن ۰/۰۷۵ درصد با مقاومت ۵۰/۳ مگاپاسکال کمتر است، ولی مقاومت کششی طرح شماره ۱۱ به میزان ۴/۳۶ مگاپاسکال کمتر از مقاومت کششی طرح شماره ۱۰ به مقدار ۴/۸۰ مگاپاسکال است. مقاومت فشاری طرح شماره ۱۰ به میزان ۲۹/۵ مگاپاسکال و کششی ۱/۴۰ مگاپاسکال بیشتر از طرح شماره ۱۱ به میزان ۲۸/۴ مگاپاسکال و کششی ۲/۰۲ بعد از حرارت بود (جدول ۱۰).

جدول شماره ۱۰: میانگین مقاومت کششی قبل و بعد از حرارت و درصد کاهش و افزایش نسبت به بتن شاهد

ردیف	شماره طرح	مقاومت کششی قبل از حرارت	مقاومت کششی بعد از حرارت	درصد مقاومت کششی قبل از حرارت	درصد مقاومت کششی بعد از حرارت	درصد افزایش مقاومت کششی قبل از حرارت	درصد کاهش بعد از حرارت
۱	بتن شاهد	۲/۹۴	۲/۴۹	۱۰۰	۸۴/۷	۰	۱۵/۳
۲	۱	۳/۰۵	۱/۹۸	۱۰۳/۷	۶۷/۳	۳/۷	۳۲/۷
۳	۲	۵/۲	۱/۶۸	۱۷۶/۹	۵۷/۱	۷۶/۹	۴۲/۹
۴	۳	۴/۷۱	۱/۵۴	۱۶۰/۲	۵۲/۴	۶۰/۳	۴۷/۶
۵	۴	۴/۱۸	۱/۹۲	۱۴۲/۲	۶۵/۳	۴۲/۲	۳۴/۷
۶	۵	۴/۶۵	۱/۸۲	۱۵۸/۲	۶۱/۹	۵۸/۲	۳۸/۱
۷	۶	۴/۷۹	۱/۳۰	۱۶۲/۹	۴۴/۲	۶۲/۹	۵۵/۸
۸	۷	۳/۵۳	۱/۸۲	۱۲۰/۱	۶۱/۹	۲۰/۱	۳۸/۱
۹	۸	۵/۳۴	۱/۶۵	۱۸۱/۶	۵۶/۱	۸۱/۶	۴۳/۹
۱۰	۹	۳/۳۲	۱/۱۲	۱۱۲/۹	۳۸/۱	۱۲/۹	۶۱/۹
۱۱	۱۰	۴/۸۰	۱/۴۰	۱۶۳/۳	۴۷/۶	۶۳/۳	۵۲/۴
۱۲	۱۱	۴/۳۶	۲/۰۲	۱۴۸/۳	۶۸/۷	۴۸/۳	۳۱/۳

افزایش مقاومت کششی تحت تاثیر الیاف را می توان بدین صورت توجیه نمود که وجود الیاف باعث به تاخیر افتادن رشد ریز ترکها در بتن می گردد که در نتیجه باعث افزایش مقاومت و کاهش کرنش تحت بار حداکثر بود.

۸- نتیجه گیری

در این تحقیق آزمایشگاهی به بررسی تاثیر حرارت بالا بر بتن حاوی میکروسیلیس و الیاف پلی پروپیلن بر مقاومت فشاری و کششی در دمای محیط و پس از قرار گرفتن در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت پرداخته شد. میزان میکروسیلیس مصرفی به مقدار ۵ و ۱۰ و ۱۵ درصد وزن سیمان می باشد که با هر یک از مقدار پلی پروپیلن به میزان ۰/۰۵ و ۰/۰۷۵ و ۰/۱ درصد وزن بتن ساخته شد. نتایج زیر از بررسی و مقایسه مقادیر اندازه گیری شده، نتیجه گیری شد.

۱- به طور کلی مقدار روانی بتن طرح ها از بتن مرجع (۷ سانتیمتر) کمتر بود. با افزایش درصد میکروسیلیس و پلی پروپیلن مقدار روانی هم کاهش یافت. در طرح شماره ۹ میزان حداقل روانی ۲ سانتیمتر با میکروسیلیس به مقدار ۱۵ درصد و بیشترین مقدار روانی ۴ سانتیمتر در طرح شماره ۱۱ با پلی پروپیلن به میزان ۰/۰۷۵ بود.

۲- بیشترین افزایش مقاومت فشاری مربوط به طرح شماره ۸ با ترکیب ۱۰ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان با ۰/۰۷۵ درصد پلی پروپیلن نسبت به بتن شاهد رخ داد. با افزایش مقدار میکروسیلیس به میزان ۱۵ درصد، کاهش مقاومت فشاری نسبت به سایر طرح ها با ترکیب ۵ و ۱۰ درصد مشاهده شد.

۳- ترکیب پلی پروپیلن و میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت کششی شد. بیشترین مقدار افزایش مربوط به طرح شماره ۸ با مقدار ۱۰ درصد میکروسیلیس و ۰/۰۷۵ درصد پلی پروپیلن به میزان ۸۱/۶٪ نسبت به مقاومت بتن شاهد حرارت ندیده بدست آمد که نشانگر نقش الیاف پلی پروپیلن و میکروسیلیس در بهبود مقاومت کششی است. در طرح اختلاط با میکروسیلیس به میزان ۱۰٪ و پلی پروپیلن به میزان ۰/۰۷۵ درصد، مقاومت کششی افزایش یافت و با افزایش درصد میکروسیلیس به ۱۵ درصد، روند کاهشی مشاهده شد. لذا درصد مناسب بهینه در ترکیب با میزان میکروسیلیس ۱۰ درصد و پلی پروپیلن ۰/۰۷۵ درصد مربوط به طرح شماره ۸ بود.

۴- بعد از حرارت دهی، بیشترین مقاومت فشاری ۳۸/۴ مگاپاسکال مربوط به طرح شماره ۸ بوده است که میزان افزایش میکروسیلیس جایگزین ۱۰ درصد و پلی پروپیلن به میزان ۰/۰۷۵ درصد بود، و با افزایش میکروسیلیس به میزان ۱۵ درصد مقاومت فشاری کاهش یافت.

۵- رنگ سطح بتن پس از قرار گرفتن در معرض حرارت ۶۰۰ درجه سانتی گراد به خاکستری تیره تغییر کرد.

۶- در ترکیب بدون استفاده از پلی پروپیلن، طرح شماره ۱۰، که با میکروسیلیس به میزان ۱۰ درصد ساخته شده است، مقاومت فشاری ۴۴/۸ مگاپاسکال و مقاومت کششی ۴/۸۰ مگاپاسکال بوده که کمتر از مقادیر مربوط به طرح شماره ۱۱ شامل پلی پروپیلن به میزان ۰/۰۷۵ درصد یعنی مقاومت فشاری ۵۰/۳ مگاپاسکال و کششی با مقاومت ۴/۲۶ مگاپاسکال بود. لذا بتن با ترکیب ۰/۰۷۵ درصد پلی پروپیلن از مقاومت فشاری و کششی بیشتری نسبت به ترکیب با میکروسیلیس به میزان ۱۰ درصد برخوردار بود.

۷- بعد از حرارت، بتن ساخته شده با میکروسیلیس به میزان ۱۰ درصد، دارای مقاومت فشاری ۲۹/۵ مگاپاسکال و مقاومت کششی ۱/۴۰ مگاپاسکال و طرح با پلی پروپیلن به میزان ۰/۰۷۵ درصد با مقاومت فشاری ۲۸/۴ مگاپاسکال و مقاومت کششی ۲/۰۲ مگاپاسکال بود. لذا بتن با ترکیب ۰/۰۷۵ درصد پلی پروپیلن، مقاومت فشاری بیشتر و کششی کمتری نسبت به ترکیب با میکروسیلیس به میزان ۱۰ درصد داشته است و میکروسیلیس نسبت به پلی پروپیلن مقاومت کششی بیشتری در معرض حرارت ایجاد کرده است.

منابع

- [1] Rameh J., (2017), *Experimental Investigation on Partial Replacement of Cement by Using Micro-Silica Fume*, IJARIE, Vol. 3, Issue 4.
- [2] Anand N, Daniel T, Prince A., (2018), *Flexural Behavior of Concrete Exposed To Elevated Temperature By ISO Rate Of Heating*, *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, Volume-5, Issue-1.
- [3] Yanzhu L., Liang Wang K. and Lei S., (2021), *Review on the Durability of Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete*, *Advances in Civil Engineering*.
- [4] Irshidat M., Al-Nuaimi N., and Rabie M., (2020), *The Role of Polypropylene Microfibers in Thermal Properties and Post-Heating Behavior of Cementitious Composites*, *Materials (Basel)*, 13(12): 2676.
- [5] Jansson, R., Boström, L., (2010), *The influence of pressure in the pore system on fire spalling of concrete*, *Fire Technology*, 46 (1), pp. 217-230.
- [6] Karahan, O., Atis, C. D., (2011), *The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete*, *Materials & Design*, 32 (2), 1044-9.
- [7] Behnood, A., Ghandehari, M., (2009), *Comparison of compressive and splitting tensile strength of high-strength concrete without polypropylene fibers heated to high temperatures*, *Fire Safety Journal* 44, 1015-1022.
- [8] Amancio A., Carvalho Rafael M., Rodrigues A., Eduardo A., (2018), *Behavior of concrete reinforced with polypropylene fiber exposed to high temperature*, *International conference on building pathology and construction repair-Cinpar*
- [9] Pachideh G, Gholhaki M Moshtagh A, (2018), *performance of concrete containing recycled springs in post-fire condition*, *Structures and Buildings Journal*
- [10] Gholhaki M, Pachideh G, Rezaifar O, (2017) *Experimental study on mechanical properties of concrete containing steel fibers and poly propylene in high temperature* *Journal of Structures and construction engineering*. Page 167-179
- [11] Pachideh G, Gholhaki M, (2020) *An experimental into effect of temperature rise on mechanical and visual characteristics of concrete containing recycled metal spring*. *Structural concrete journal of the fib*
- [12] Tawaza E, Yonekura A., (1991), *Drying shrinkage and creep of concrete with condensed silica fume*. *American Concrete Institute, SP91-43, Farmington Hills, pp 903-921*.
- [13] Al-Mutairi N., Al-Rukaibi F., Bufarsan A., (2009), *Effect of micro silica addition on compressive strength of rubberized concrete at elevated temperatures*, *Kuwait Received: June 10, 2008 / Accepted: September 18*.
- [14] Houssam A., Toutanji T., El-Korchi T., (1997), *The influence of silica fume on the compressive strength of cement paste*, *Cement and Concrete Research Volume 25, Issue 7*.
- [15]. ACI 363R-92 State –of-Art Report on High-Strength Concrete reported
- [16] Amudhavalli N.K., Mathew J., (2012), *Effect of Silica fume on Strength and Durability Parameters of Concrete*, Volume 3, Issue 1, ISSN: 2231-6604.
- [17] Ajileye F., (2012), *Investigations on Micro Silica as Partial Cement Replacement in Concrete*, Volume 12 Issue 1.0, ISSN: 2249-4596.
- [18] Singh L., Kumar A., Singh A., (2016), *Study of Partial Replacement of Cement by Silica 480 Fume*, *International Journal of Advanced Research*, 4(7) 104-120.
- [19] Ghutke V.S., Bhandari P.S., (2014), *Influence of silica fume on concrete*, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 44-47.
- [20] Haddad R. H, Shannis, L.G., (2004), *Post-fire behavior of bond between high strength pozzolanic concrete and reinforcing steel*, *Construction and Building Materials*.
- [21] LUTHER M., (1988), *Silica-Fume (Micro silica) Concrete in Bridges in the United States*, *Transportation Research*.
- [22] Husem M., (2006), *The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete*, *Fire Safety Journal* 41, 155-163.
- [23] Georgali B., Tsakiridis P. E., (2005), *Microstructure of fire-damaged concrete, A case study*, *Cement & concrete composites* 27, 255-259.
- [24] Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)
- [25] ASTM C33/C33M-18, Standard Specification for Concrete Aggregates.
- [26] Designation: C128 – 15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.
- [27] Designation: C 127 – 88 (Reapproved 2001) Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate.

- [28] INSO 389 Institute of Standard and Industrial Research of Iran Specification for Portland cement. 4th edition 2021
- [29] ASTM C150 CM-2021 Standard Specification of 4th Portland cement/ASTM International, 21.
- [30] BS 1881-116 Testing concrete. Method for determination of compressive strength of concrete cubes 1983.
- [31] Designation: C192/C192M – 15 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- [32] ACI 363R-92(Reapproved 1997) State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete.
- [33] Designation: C 496/C 496M – 04 Standard Test Method for splitting Tensile strength of cylindrical concrete strength.