

اثر چرخه‌های حرارتی روی خواص فیزیکی و مکانیکی بتن‌الیافی و مقایسه آن با بتن بدون الیاف

مهدی حسینی^{*}، شیما لطیفی^۲ و میترا حاتمی^۳

۱، ۲ و ۳- گروه مهندسی معدن، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

نویسنده مسئول: mahdi_hosseini@ikiu.ac.ir *

دریافت: ۹۸/۷/۲۶ پذیرش: ۹۸/۹/۱۷

چکیده

سنگ‌ها در مواردی از قبیل انفجار و آتش‌سوزی تحت حرارت قابل توجهی قرار می‌گیرند و بر اثر خاموش کردن آتش سرد می‌شوند و فرآیند گرمایش-سرمایش اتفاق می‌افتد. در این مقاله هدف بررسی اثر دما در یک سیکل گرمایش-سرمایش روی خواص فیزیکی و مکانیکی بتن‌الیافی است. در مرحله گرمایش در یک سیکل گرمایش-سرمایش، آزمایش روی نمونه‌هایی که در معرض دمای ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و سپس در دمای محیط به تدریج سرد شده‌اند انجام شد. یک سری آزمایش نیز روی نمونه‌هایی که سیکل گرمایش-سرمایش را تحمل نکرده‌اند اجرا شد. برای این منظور نمونه‌های بتن بدون الیاف، بتن با الیاف پلی‌پروپیلن و بتن با الیاف شیشه ساخته شد. این مقاله به بررسی اثر فرآیند گرمایش-سرمایش بر تخلخل موثر، سرعت امواج طولی، مقاومت فشاری تک‌محوره، مقاومت کششی بتن‌الیافی پلی‌پروپیلن و شیشه و مقایسه آن با بتن بدون الیاف می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که بتن‌الیافی دارای ۰/۵ درصد الیاف شیشه در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین مقدار مقاومت کششی و فشاری و بتن‌الیافی دارای ۰/۵ درصد الیاف پلی‌پروپیلن در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین مقاومت فشاری و در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین مقاومت کششی در بین انواع بتن‌های غیرالیافی و الیافی با درصدهای متفاوت از الیاف می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بتن‌الیافی، بتن بدون الیاف، آتش‌سوزی، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی

۱- پیشگفتار

بتن در مفهوم وسیع به هر ماده یا ترکیبی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد گفته می‌شود. بتن ممکن است از انواع مختلف سیمان و نیز پوزولان‌ها، سرباره کوره‌ها، مواد افزودنی، پلیمرها، الیاف و غیره تهیه شود. هم‌چنین در نحوه ساخت آن ممکن است حرارت، بخار آب، اتوکلاو، خلاء، فشارهای هیدرولیکی و متراکم‌کننده‌های مختلف استفاده شود (ولرون و استولهورست، ۲۰۰۸). گاهی اوقات برای عوض کردن بعضی از خواص بتن، هنگام مخلوط کردن مواد، مقداری مواد افزودنی به آن اضافه می‌شود. از جمله مواد جدیدی که جایگاه ویژه‌ای در ساخت و ساز به خود اختصاص داده، افزودنی‌های بتن و الیاف تقویت‌کننده می‌باشد. این مواد باعث بهبود خواص بتن، همچون مقاومت آن می‌شود و در بعضی موارد با کاهش وزن بتن، مصالح بسیار سبکی را در اختیار مهندسین عمران قرار می‌دهد. از سال ۱۹۶۰ میلادی به بعد نوع جدیدی از این بتن‌الیافی وارد عرصه صنعتی شد. مقاومت کششی و

برشی بتن‌الیافی نسبت به بتن بدون الیاف بیش‌تر می‌باشد (ولرون و استولهورست، ۲۰۰۸). علاوه بر این موارد، بتن‌های الیافی در برابر بارهای دینامیکی مانند زلزله و ضربه به دلیل خصوصیات جذب انرژی مناسب، عملکرد بسیار مناسب‌تری از خودشان نشان می‌دهند. انواع مختلف الیاف وجود دارد که در این تحقیق از دو نوع الیاف پلی‌پروپیلن و شیشه استفاده شده است. الیاف پلی‌پروپیلن از رزین همو پلیمر پلی‌پروپیلن در شکل‌ها و اندازه‌های مختلف با خصوصیات متفاوت تولید شده است. الیاف شیشه در سال ۱۹۳۸ توسط شرکت اونزکورنینگ تولید و عرضه شد. برای بالا بردن خواص مقاومتی بتن از الیاف شیشه استفاده می‌شود، هم‌چنین به عنوان عایق حرارتی رواج پیدا کرده است. تحقیقات زیادی در جهت پیشرفت فناوری در زمینه محافظت بتن در برابر آتش صورت گرفته که از بین آن‌ها استفاده الیاف پلی‌پروپیلن و شیشه موفقیت‌آمیز نشان داده شده است (سروانتا و همکاران، ۱۹۹۳؛ سروانتا و میککولا، ۱۹۹۴؛ دایدریچ، ۱۹۹۵؛ نیشیدا، ۱۹۹۵؛ بریتن بوکر، ۱۹۹۶؛ لنون و

کلیتون، ۱۹۹۹؛ کالیفا و همکاران، ۲۰۰۱). بتن یک ماده غیر قابل سوختن می‌باشد اما به این معنا نیست که افزایش دما و آتش‌سوزی بر روی آن تاثیر ندارد بلکه باعث تغییرات در خواص مقاومتی و فیزیکی می‌شود. مقاومت مصالح ساختمانی در برابر آتش به خواص آن‌ها در دمای بالا بستگی دارد (سچنیدر، ۱۹۷۶). در گذشته مطالعاتی بر روی تاثیر آتش‌سوزی بر روی بتن‌ها صورت گرفته که می‌توان به نتایج تحقیق درزیمالا^۱ و همکارانش (۲۰۱۷) که بر روی بتن متخلخل اسفنجی و بتن با الیاف پلی‌پروپیلن (اضافه کردن ۱/۱ کیلوگرم از الیاف در تهیه هر مترمکعب از بتن) صورت گرفته اشاره کرد. این تحقیق در دمای محیط (۲۰ درجه سانتی‌گراد) و همچنین بعد از قرار دادن نمونه‌ها در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و بعد از سرد شدن، نمونه‌ها در معرض آزمایش قرار گرفته است. نتایج نشان داده که در هر دو نوع بتن اسفنجی و الیافی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت فشاری بتن نسبت به مقاومت اولیه افزایش یافته است. در واقع، پس از کمی‌افزایش دما یعنی حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مقاومتی تقریباً برابر با مقدار مقاومت فشاری در شرایط محیط می‌رسد و در دماهای بالاتر از ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت فشاری در مقایسه با مقاومت اولیه کاهش یافته است. پس از قرار گرفتن در معرض دمای بالاتر از ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد چگالی هر دو نوع بتن کاهش و رنگ آن تغییر یافته است. از دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد ترک‌های ریز در سطح نمونه ظاهر و مشاهده شده است که بتن متخلخل در دماهای بالا مقاومت فشاری بیشتری نسبت به بتن الیافی پلی‌پروپیلن دارد. در کل می‌توان گفت که مقاومت فشاری بتن با افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابد. همچنین در محدوده دمایی بین ۲۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت کششی بتن با افزایش دما روند کاهشی داشته و زمانی‌که نمونه‌های بتن الیافی و اسفنجی در معرض دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته بطور قابل‌توجهی مقاومت کششی آن‌ها کاهش یافته است. هاجر و ترکز^۲ (۲۰۱۰) به بررسی نفوذپذیری بتن الیافی پلی‌پروپیلن در مقدار و اندازه‌های متفاوت در

بازه دمایی ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد پرداخته‌اند. در این آزمایش هفت نوع بتن اصلاح شده با الیاف پلی‌پروپیلن مورد آزمایش قرار گرفت که شامل سه طول ۶، ۱۲ و ۱۹ میلی‌متر و سه مقدار الیاف ۰، ۰/۹ و ۱/۸ کیلوگرم بر متر مکعب است. پس از قرارگیری در آن بازه دمایی مشخص، میزان نفوذپذیری تعیین شده و با هم مقایسه شده است همه انواع بتن در بازه دمایی ۱۰۰ تا ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد میزان تغییر چشم‌گیری نداشته و در بتن‌های الیافی هرچه مقدار و سائز الیاف پلی‌پروپیلن بیشتر بوده میزان نفوذپذیری نیز افزایش یافته است به صورتی که در الیاف به طول ۱۲ میلی‌متر و ۱۹ میلی‌متر تأثیر بسیار زیادی در افزایش نفوذپذیری بتن پس از گرم شدن داشته است. افزودن ۰/۹ کیلوگرم الیاف دارای طول ۱۲ میلی‌متر در هر متر مکعب بتن باعث افزایش ۱۲ برابری در میزان نفوذپذیری پس از اعمال حرارت در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و در نمونه‌هایی که مقدار این الیاف ۱/۸ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن باشد الیاف به طول ۱۲ میلی‌متر باعث افزایش ۴۵ برابری در نفوذپذیری نسبت به مقدار اولیه شده است. بهنود و قندهاری^۳ (۲۰۰۹) در پژوهش خود به تاثیر دما بر مقاومت کششی و فشاری بر روی بتن بدون الیاف و بتن الیافی پلی‌پروپیلن در سه مقدار ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن پرداخته‌اند. پس از قرار گرفتن بتن در بازه دمایی محیط تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش مقاومت همه انواع بتن‌ها در بازه دمایی ۳۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد را مشاهده کرد. در این تحقیق مشاهده شد که مقاومت فشاری همه بتن‌های الیافی از بتن بدون الیاف بالاتر می‌باشد و در همه بتن‌ها در دماهای بالاتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد درصد افت مقاومت کششی بیشتر از مقاومت فشاری می‌باشد. مشاهدات حاکی بر این بوده که در دماهای پایین یعنی ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بتن‌های حاوی ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم از الیاف پلی‌پروپیلن مقاومت کششی آن‌ها به ترتیب تقریباً ۷/۷٪، ۱۰/۵٪ و ۶/۲٪ بیشتر از بتن‌های غیرالیافی بوده، در حالی که هیچ اختلاف معنی‌داری در مقاومت فشاری در بین بتن‌های الیافی و غیر الیافی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشده است. همچنین نتایج نشان داده که اضافه کردن ۲ کیلوگرم از الیاف پلی‌پروپیلن در هر

³ Behmood & Ghandehari

¹ Drzymala

² Hager & Tracz

مکانیکی بتن الیافی بررسی می‌شود که در واقع شبیه‌سازی حالتی است که آتش خاموش می‌شود. در مرحله آتش‌سوزی گرمایش اتفاق می‌افتد و در مرحله خاموش کردن آتش سرمایش در بتن اتفاق می‌افتد. در این تحقیق بتن الیافی پلی‌پروپیلن و شیشه با درصد‌های اختلاط مختلف و بتن بدون الیاف ساخته شد. آزمایش روی نمونه‌هایی که در مرحله گرمایش تا دمای ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و سپس در محیط سرد شده‌اند انجام شد. یک سری آزمایش نیز روی نمونه‌هایی که سیکل گرمایش-سرمایش را تحمل نکرده‌اند اجرا شد. مقاله به بررسی اثر درجه حرارت در فرآیند گرمایش-سرمایش بر تخریب موثر، سرعت امواج طولی، مقاومت فشاری تک‌محوره و مقاومت کششی بتن الیافی پلی‌پروپیلن و شیشه و مقایسه آن با بتن بدون الیاف می‌پردازد.

۲- آماده‌سازی نمونه

نمونه‌های بتنی از سیمان پورتلند نوع ۲ با عیار ۳۵۰ ساخته شده است. ماده روان کننده مصرفی با نام *plasticizer A750* از شرکت نامیکاران و الیاف‌ها از شرکت کلینیک بتن تهیه شده است. نمونه‌ها به صورت استوانه‌ای با طرح‌های اختلاطی (برای تهیه ۱ مترمکعب بتن) که در جدول‌های ۱ تا ۳ آمده است ساخته شده‌اند. انواع مختلف بتن بدون الیاف و الیافی با درصد‌های اختلاط متفاوت آماده و در قالب‌هایی به شکل استوانه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود ریخته شده و در مدت ۲۸ روز بتن عمل‌آوری می‌شود. دو انتهای بتن‌های استوانه‌ای ۲۸ روزه برای آزمایش فشاری تک‌محوره ساب زده شده و دیسک‌هایی نیز برای آزمایش برزلی آماده می‌شوند.

لازم به ذکر است همانطور که در شکل (۲) نیز مشاهده می‌شود شن‌ها از الک شماره $\frac{3}{8}$ با اندازه چشمه‌های $\frac{9}{25}$ میلی‌متر و ماسه‌ها از الک شماره ۴ با اندازه چشمه $\frac{4}{75}$ میلی‌متر عبور داده شده است.

الیاف پلی‌پروپیلن و شیشه به کار برده شده در این طرح‌های اختلاط دارای جرم مخصوص به ترتیب ۹۱۰ و ۲۷۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب است.

مترمکعب بتن می‌تواند به طور قابل‌توجهی خصوصیات مکانیکی از جمله مقاومت کششی و فشاری را در هنگام گرمایش افزایش دهد، که مقادیر پایین و بالاتر الیاف به ترتیب به دلایلی از جمله ایجاد نکردن چسبندگی کافی در خمیره و ایجاد حجم بیش‌تر حفره‌ها عملکرد بدتری داشته‌اند. حبیبی و همکاران (۱۳۸۸) تحقیقی در زمینه تاثیر الیاف پلی‌پروپیلن در بتن بر مقاومت فشاری و مقاومت حرارتی پرداخته است. الیاف پلی‌پروپیلن به کار برده شده در این تحقیق الیاف پلی‌پروپیلن شامل طول‌های مختلف (۶، ۱۲ و ۱۹ میلی‌متر) و مقادیر مختلف (۰/۶، ۱/۳، ۲ و ۲/۷ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن) است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که مقاومت فشاری، کششی و حرارتی در بتن دارای الیاف پلی‌پروپیلن افزایش یافته و با توجه به مقاومت کششی بالای این دسته از الیاف ظرفیت مقاومتی بتن در برابر نیرو را می‌توان با گذشت زمان بهبود بخشید و از تغییرات حجمی جلوگیری کرد. همچنین الیاف از ایجاد پیش‌ترک‌ها و گسترش آن‌ها جلوگیری می‌کند. با افزودن الیاف به مخلوط بتن، روانی آن کم می‌شود و سطح مخصوص الیاف را بالا برده و باعث تقویت مکانیکی خمیره سیمان می‌شود و بتن را نکه می‌دارند. تحقیقات صورت گرفته توسط چن و لیو^۴ (۲۰۰۴) شامل بررسی و مقایسه مقاومت بتن‌های الیافی که شامل الیاف کربن، فولاد و پلی‌پروپیلن می‌باشد که بعد از قرار گرفتن در معرض دمای بالا به بررسی مقاومت آن‌ها پرداخته‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد در دمای بالای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، بتن‌ها مستعد پوسته پوسته شدن می‌شود که با افزودن الیاف با نقطه ذوب بالا، بتن‌ها تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در برابر ترک و پوسته پوسته شدن مقاومت نشان می‌دهد. همچنین با مقایسه سه نوع الیاف بکار برده شده مشاهده شد که اضافه کردن الیاف کربن و فولاد می‌تواند زمان وقوع ورقه شدن را به تاخیر بیندازد، در حالی که اضافه کردن الیاف پلی‌پروپیلن می‌تواند ورقه ورقه شدن را تا دمای ۸۰۰ از بین ببرد.

پژوهش ارائه شده در این مقاله نسبت به پژوهش‌های قبلی دارای این مزیت است که در اکثر پژوهش‌های قبلی اثر درجه حرارت و در این پژوهش اثر درجه حرارت بعد از یک سیکل گرمایش-سرمایش روی خواص فیزیکی و

⁴ Chen & Liu

جدول ۱. طرح اختلاط بتن بدون الیاف		جدول ۲. الف: طرح اختلاط بتن الیافی پلی پروپیلین (میزان الیاف ۰/۲ درصد حجم بتن)	
نوع ماده	مقدار (کیلوگرم)	نوع ماده	مقدار (کیلوگرم)
سیمان	۳۵۰	سیمان	۳۵۰
ماسه	۱۱۵۰	ماسه	۱۱۵۰
شن	۷۰۰	شن	۷۰۰
آب	۲۹۰	آب	۲۹۰
افزودنی فوق روان کننده	۴	افزودنی فوق روان کننده	۴
الیاف	-	الیاف پلی پروپیلین	۱/۸۲

جدول ۲. ب: طرح اختلاط بتن الیافی پلی پروپیلین (میزان الیاف ۰/۳۵ درصد حجم بتن)		جدول ۳. الف: طرح اختلاط بتن الیافی شیشه (میزان الیاف ۰/۲ درصد حجم بتن)	
نوع ماده	مقدار (کیلوگرم)	نوع ماده	مقدار (کیلوگرم)
سیمان	۳۵۰	سیمان	۳۵۰
ماسه	۱۱۵۰	ماسه	۱۱۵۰
شن	۷۰۰	شن	۷۰۰
آب	۲۹۰	آب	۲۹۰
افزودنی فوق روان کننده	۴	افزودنی فوق روان کننده	۴
الیاف پلی پروپیلین	۳/۱۸	الیاف شیشه	۵/۵

جدول ۳. ج: طرح اختلاط بتن الیافی شیشه (میزان الیاف ۰/۳۵ درصد حجم بتن)		جدول ۴. ب: طرح اختلاط بتن الیافی شیشه (میزان الیاف ۰/۲۵ درصد حجم بتن)	
نوع ماده	مقدار (کیلوگرم)	نوع ماده	مقدار (کیلوگرم)
سیمان	۳۵۰	سیمان	۳۵۰
ماسه	۱۱۵۰	ماسه	۱۱۵۰
شن	۷۰۰	شن	۷۰۰
آب	۲۹۰	آب	۲۹۰
افزودنی فوق روان کننده	۴	افزودنی فوق روان کننده	۴
الیاف شیشه	۱۳/۷۵	الیاف شیشه	۹/۶۲



شکل ۱. قالب‌های پر شده از بتن



شکل ۲. شن و ماسه عبور داده شده از الک

۳- نتایج و تحلیل

بتن‌های ساخته شده با طرح اختلاط ذکر شده بعد از ۲۸ روز آماده آزمایش شدند. آزمایش‌های صورت گرفته در این تحقیق شامل آزمایش برزیلی برای محاسبه مقاومت کششی بتن، آزمایش تک‌محوره برای تعیین مقاومت فشاری تک‌محوری بتن، آزمایش‌هایی برای تعیین تخلخل موثر و تعیین سرعت امواج طولی بتن‌ها در دماهای مختلف می‌شود.

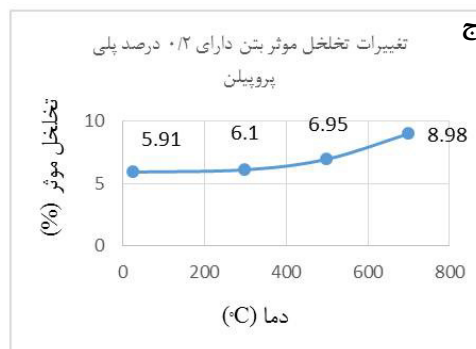
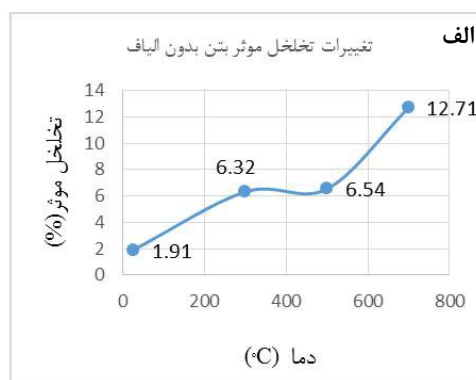
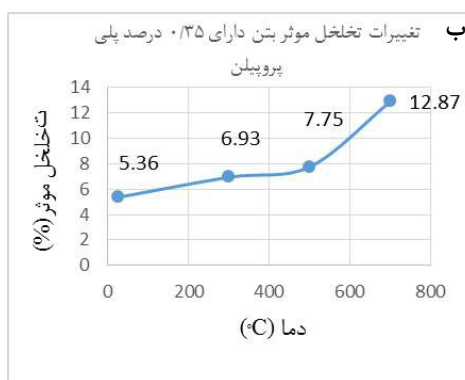
۳-۱- تخلخل موثر

تخلخل موثر شامل حفره‌های متصل به هم است که قادر است مایعات را از خود عبور دهد. تخلخل به دلایل مختلفی از جمله شرایط تشکیل (تخلخل اولیه) و فرآیندهای ثانوی مثل هوازدگی، دگرسانی و غیره (تخلخل ثانویه) به وجود می‌آید. در جدول‌های ۴ تا ۶ و شکل‌های ۳ و ۴ درصد تغییرات و مقایسه تخلخل موثر بتن‌های ییافی و معمولی آورده شده است.

پارامتر	مقدار
$n_{300^{\circ}C} / n_{25^{\circ}C}$	۳/۳۱
$n_{500^{\circ}C} / n_{25^{\circ}C}$	۳/۴۳
$n_{700^{\circ}C} / n_{25^{\circ}C}$	۶/۶۶

جدول ۵. نسبت تغییرات تخلخل موثر در بتن الیافی پلی‌پروپیلن بر اثر دما

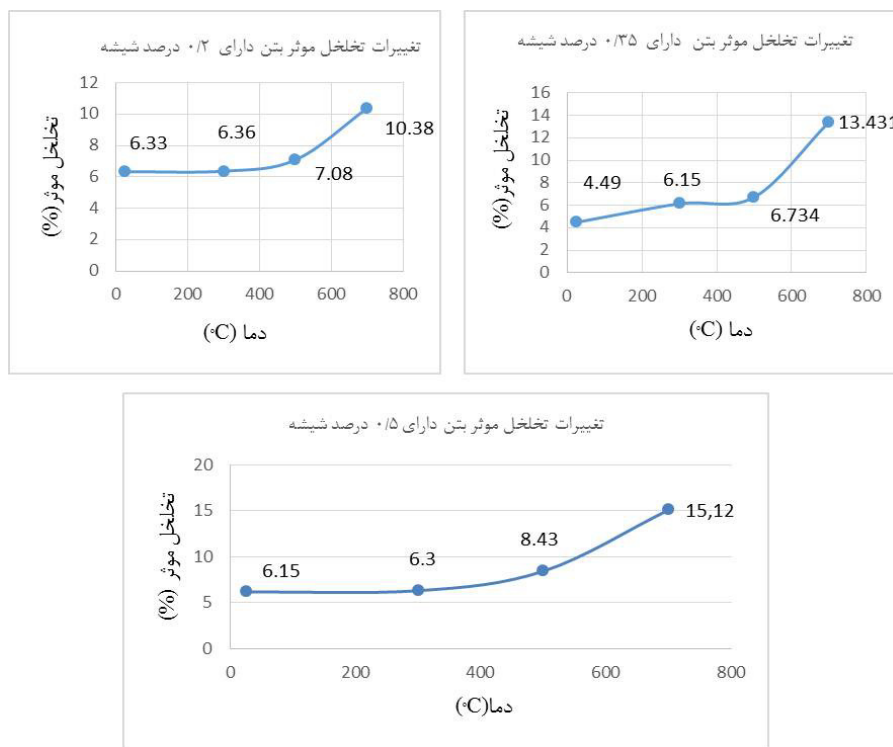
پارامتر	بتن الیافی دارای ۰/۵ درصد پلی‌پروپیلن	بتن الیافی دارای ۰/۳۵ درصد پلی‌پروپیلن	بتن الیافی دارای ۰/۲ درصد پلی‌پروپیلن
$n_{300^{\circ}C} / n_{25^{\circ}C}$	۱/۱۲	۱/۳۹	۰/۹۱
$n_{500^{\circ}C} / n_{25^{\circ}C}$	۱/۳۷	۱/۴۴	۱/۱۷
$n_{700^{\circ}C} / n_{25^{\circ}C}$	۲/۵۴	۲/۴۰	۱/۵۲



شکل ۳. الف) تغییرات تخلخل موثر در بتن بدون الیاف بر اثر دما، ب، ج و د). تغییرات تخلخل موثر در بتن الیافی پلی‌پروپیلن بر اثر دما

جدول ۶. نسبت تغییرات تخلخل موثر در بتن الیافی شیشه بر اثر دما

پارامتر	بتن الیافی دارای ۰/۵ درصد شیشه	بتن الیافی دارای ۰/۳۵ درصد شیشه	بتن الیافی دارای ۰/۲ درصد شیشه
$n_{300\text{C}}/n_{25\text{C}}$	۰/۹۰	۱/۳۶	۱
$n_{500\text{C}}/n_{25\text{C}}$	۱/۳۴	۱/۵۰	۱/۱۲
$n_{700\text{C}}/n_{25\text{C}}$	۲/۳۹	۱/۹۹	۱/۶۴



شکل ۴. تغییرات تخلخل موثر در بتن الیافی شیشه بر اثر دما

آب‌های سطحی شده است از مقایسه جداول ۴ با ۵ و ۶ به این نتیجه می‌توان رسید که افزایش تغییرات تخلخل در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در بتن بدون الیاف نسبت به محیط در مقایسه با سایر نمونه‌های بتن الیافی بیش‌تر می‌باشد که می‌تواند به علت تبخیر آب موجود در فضاهای خالی نمونه‌ها باشد. در بتن‌های الیافی مقداری از این حجم فضای خالی را الیاف پر کرده است. در دمای ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل از بین رفتن آب‌های پیوندی (میان بافتی) تغییرات زیادی در تخلخل مشاهده نمی‌شود و در دماهای ۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل تبخیر آب‌های میان بافتی باعث افزایش چشمگیر تخلخل می‌شود و با افزایش درصد الیاف‌ها درزه و ترک‌های داخلی و چسبندگی سیمان کم شده و تخلخل افزایش یافته است (اینانلو و همکاران، ۱۳۹۵). هم‌چنین مشاهده می‌شود طبق مطالعات کالیفا و همکاران (۲۰۰۱) بتن بدون الیاف در دماهای پایین به

طبق گزارشانی که توسط محققین مختلف ارائه شده است می‌توان تغییرات بتن در دماهای مختلف را به شرح زیر مقایسه کرد (خوری، ۱۹۹۲؛ گراتان- بیلو، ۱۹۹۶؛ زئو و گلاسر، ۱۹۹۶):

دمای ۳۰-۱۲۰ درجه سانتی‌گراد فرار آب قابل تبخیر. دمای ۱۱۰-۱۷۰ درجه سانتی‌گراد تجزیه گچ و اترینگیت^۱ و حذف آب از قسمتی از هیدرات‌های کربوآلومینات. دمای ۴۵۰-۵۵۰ از دست رفتن آب پیوندی به علت تخریب C-S-H (سیلیکات کلسیم هیدراته) و هیدرات‌های کربوآلومینات و دی‌هیدروکسی شدن پرتلندیت و دمای ۷۰۰-۹۰۰ دکربناتی شدن کربنات کلسیم.

با توجه به جدول‌های ۴ تا ۶ و شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که افزایش دما تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در همه انواع نمونه‌های بتنی باعث افزایش تخلخل به دلیل تبخیر

¹ ettringite

طول آن می‌باشد، اعمال می‌شود (شکل ۵). بیش‌ترین بار اعمال شده در زمان گسیختگی که توسط دستگاه آزمایش نشان داده شده ثبت می‌شود. مقاومت کششی از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$T = 2P/\pi Ld \quad (1)$$

در این رابطه:

T : مقاومت کششی، P : حداکثر بار اعمال شده، L : طول نمونه و d : قطر نمونه می‌باشد. نتایج آزمایش‌های تعیین مقاومت کششی بتن‌ها در جدول‌های ۷ تا ۹ و شکل‌های ۶ و ۷ آورده شده است.

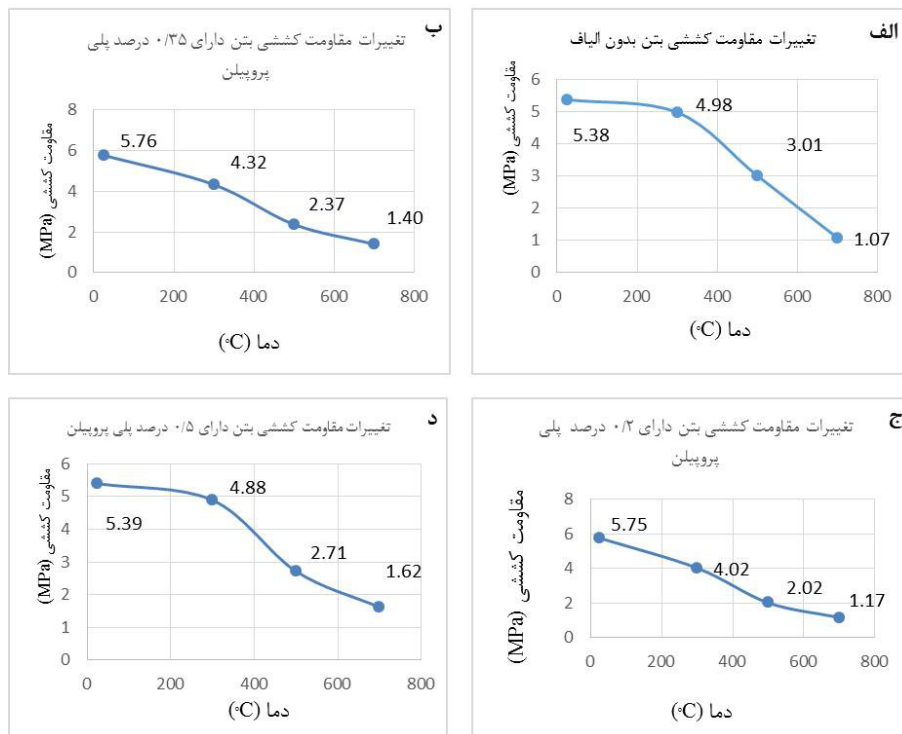
دلیل نداشتن الیاف جهت پر کردن فضا و تخلخل‌ها و پر شدن این فضاهای خالی با آب دارای مقدار تخلخل کمتری نسبت به بتن‌های الیافی می‌باشد و با افزایش دما و تبخیر آب‌های موجود در حفرات شاهد افزایش تخلخل بتن بدون‌الیاف نسبت به بتن‌های الیافی هستیم.

۲-۳- مقاومت کششی

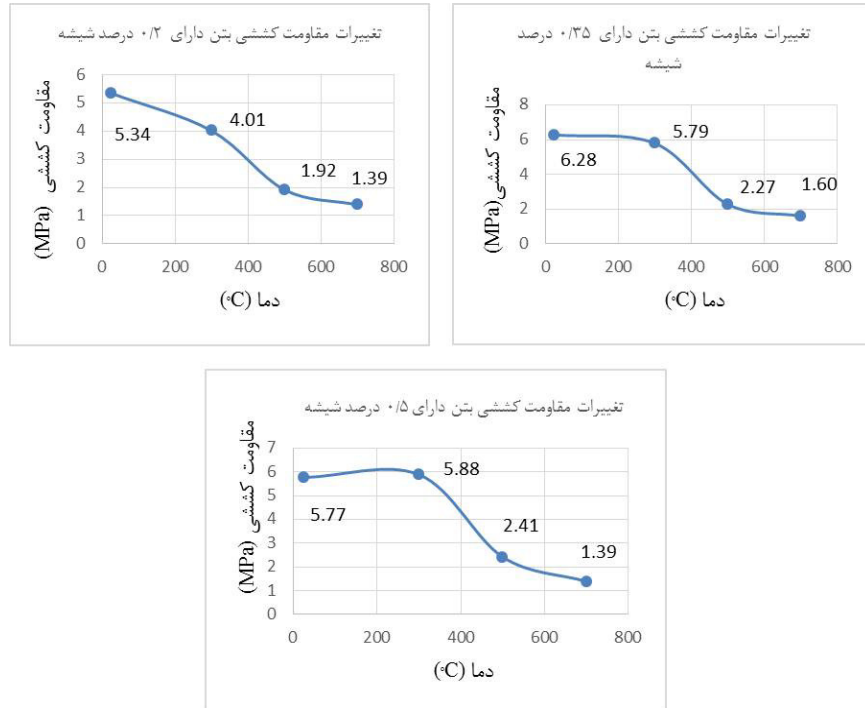
برای تعیین مقاومت کششی از آزمون برزیلی استفاده می‌شود در این آزمون یک نیروی فشاری قطری با سرعت مشخص به نمونه‌های دیسکی شکل که قطر آن دو برابر



شکل ۵. بارگذاری دیسک برزیلی



شکل ۶. الف) تغییرات مقاومت کششی بتن بدون‌الیاف بر اثر دما، ب، ج و د) تغییرات مقاومت کششی بتن‌الیافی پلی‌پروپیلن بر اثر دما



شکل ۷. تغییرات مقاومت کششی بتن الیافی شیشه بر اثر دما

جدول ۷. نسبت تغییرات مقاومت کششی بتن بدون الیاف بر اثر دما

پارامتر	مقدار
$T_{300}^{\circ}C / T_{25}^{\circ}C$	۰/۹۲
$T_{500}^{\circ}C / T_{25}^{\circ}C$	۰/۳۷
$T_{700}^{\circ}C / T_{25}^{\circ}C$	۰/۲۰

جدول ۸. نسبت تغییرات مقاومت کششی بتن الیافی پلی پروپیلن بر اثر دما

پارامتر	بتن الیافی دارای ۰/۵ درصد پلی پروپیلن	بتن الیافی دارای ۰/۳۵ درصد پلی پروپیلن	بتن الیافی دارای ۰/۲ درصد پلی پروپیلن
$T_{300}^{\circ}C / T_{25}^{\circ}C$	۰/۹۰	۰/۷۵	۰/۶۹
$T_{500}^{\circ}C / T_{25}^{\circ}C$	۰/۵۰	۰/۴۱	۰/۳۵
$T_{700}^{\circ}C / T_{25}^{\circ}C$	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۲۰

جدول ۹. نسبت تغییرات مقاومت کششی بتن الیاف شیشه بر اثر دما

پارامتر	بتن الیافی دارای ۰/۵ درصد شیشه	بتن الیافی دارای ۰/۳۵ درصد شیشه	بتن الیافی دارای ۰/۲ درصد شیشه
$T_{300}^{\circ}C / T_{25}^{\circ}C$	۱/۰۲	۰/۹۲	۰/۷۵
$T_{500}^{\circ}C / T_{25}^{\circ}C$	۰/۴۱	۰/۳۶	۰/۳۵
$T_{700}^{\circ}C / T_{25}^{\circ}C$	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۶

کلسیم هیدراته) می‌باشد (اوزومن و وانگ، ۲۰۱۱). از طرفی مطابق تحقیقات صورت گرفته این کاهش مقاومت را می‌توان به دلیل تبخیر آب فیزیکی تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و خارج شدن آب پیوند شیمیایی در دمای ۱۸۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و در دمای بالاتر، در محدوده ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد سبب تجزیه

همانطور که مشاهده شد کمترین مقاومت مربوط به بتن بدون الیاف می‌باشد و با قطعیت می‌توان به این نتیجه رسید که الیاف باعث افزایش مقاومت کششی در همه بتن‌های الیافی شده است. افزایش دما باعث کاهش مقاومت بتن‌ها می‌شود که این کاهش مقاومت به دلیل کاهش نیروهای واندروال بین لایه‌های C-S-H (سیلیکات

بهترین نوع بتن است که در دماهای خیلی بالا یعنی ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین مقاومت کششی و از بازه دمایی محیط تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بتن یافی شیشه که میزان الیاف ۰/۵ درصد حجم بتن است دارای بیش‌ترین مقاومت کششی می‌باشد. هم‌چنین همانطور که از نتایج و نمودارها مشاهده می‌شود در ابتدا در بعضی از بتن‌ها از جمله بتن یافی شیشه که میزان الیاف ۰/۵ درصد حجم بتن است با افزایش دما تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد روند نمودار افزایشی می‌باشد که این ناهمخوانی در مطالعات صورت گرفته توسط سیدیک (۲۰۱۲) و هم‌چنین مسری (۲۰۱۲) دیده شده است در این مطالعات نیز افزایش مقاومت با افزایش دما نسبت به دمای محیط در بتن دیده می‌شود، دلیل افزایش مقاومت هیدراته شدن سیمان می‌باشد که تا قبل از رسیدن به آن دما این فرآیند اتفاق نیفتاده است.

۳-۳- مقاومت فشاری تک‌محوره

آزمایش فشاری تک‌محوره متداول‌ترین آزمون آزمایشگاهی است که برای تعیین مقاومت فشاری تک‌محوره و مدول الاستیسیته استفاده می‌شود در این آزمایش مطابق شکل ۸ نمونه در زیر یک جک تک‌محوری قرار داده شده و توسط جک به صورت پیوسته و با سرعت مشخص مطابق استاندارد *ASTM C39* (۲۰۱۲) تحت بارگذاری قرار می‌گیرد. نتایج آزمایش‌های فشاری تک‌محوره روی بتن‌ها در دماهای مختلف در جدول‌های ۱۰ تا ۱۲ و شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

محصولات هیدراتاسیون و تخریب *C-S-H* می‌شود و این دلیل کاهش مقاومت می‌شود به طوری که در محدوده دمای بالاتر از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد بتن‌ها مقاومت کششی خود را کاملاً از دست می‌دهند (ایودحیا و یسرانگورا، ۲۰۱۱؛ اوزومن و وانگ، ۲۰۱۱). مطابق نمودارها و جداول مشاهده می‌شود که با افزایش دما، مقاومت کششی همه انواع بتن‌های الیافی و بدون الیاف کاهش یافته است. روند کاهش در دماهای مختلف به این نحو می‌باشد که در بتن بدون الیاف به دلیل نبود الیاف، نسبت مقاومت کششی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به دمای محیط افت بیش‌تری در مقایسه با بتن‌های الیافی داشته که این نشان‌دهنده عملکرد مثبت الیاف در جهت بالا بردن مقاومت کششی بتن می‌باشد. و از دمای ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد شاهد افت شدید مقاومت به دلیل سوختن و از بین رفتن الیاف در این دماها می‌باشیم هم‌چنین از مشاهدات و نتایج جدول ۷ تا ۹ و شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان نتیجه گرفت که بتن الیافی شیشه در بازه دمایی محیط تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای مقاومت کششی بیش‌تر نسبت به بتن الیافی پلی‌پروپیلن می‌باشد. الیاف پلی‌پروپیلن دارای مقاومت حرارتی بیش‌تری در دماهای بالا است الیاف پلی‌پروپیلن دیرتر سوخته و خواص آن از بین می‌رود به طوری‌که الیاف شیشه از دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به بعد و الیاف پلی‌پروپیلن از دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و گاهی تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به بعد شاهد افت خواص الیاف‌ها و سوخته شدن آن‌ها می‌باشیم در نتیجه بتن الیافی پلی‌پروپیلن که میزان الیاف ۰/۵ درصد حجم بتن است

جدول ۱۰. نسبت تغییرات مقاومت فشاری تک‌محوره بتن بدون الیاف بر اثر دما

پارامتر	مقدار
$\sigma_{300^{\circ}C} / \sigma_{25^{\circ}C}$	۰/۷۶
$\sigma_{500^{\circ}C} / \sigma_{25^{\circ}C}$	۰/۶۹
$\sigma_{700^{\circ}C} / \sigma_{25^{\circ}C}$	۰/۴۹

جدول ۱۱. نسبت تغییرات مقاومت فشاری تک‌محوره بتن الیافی پلی‌پروپیلن بر اثر دما

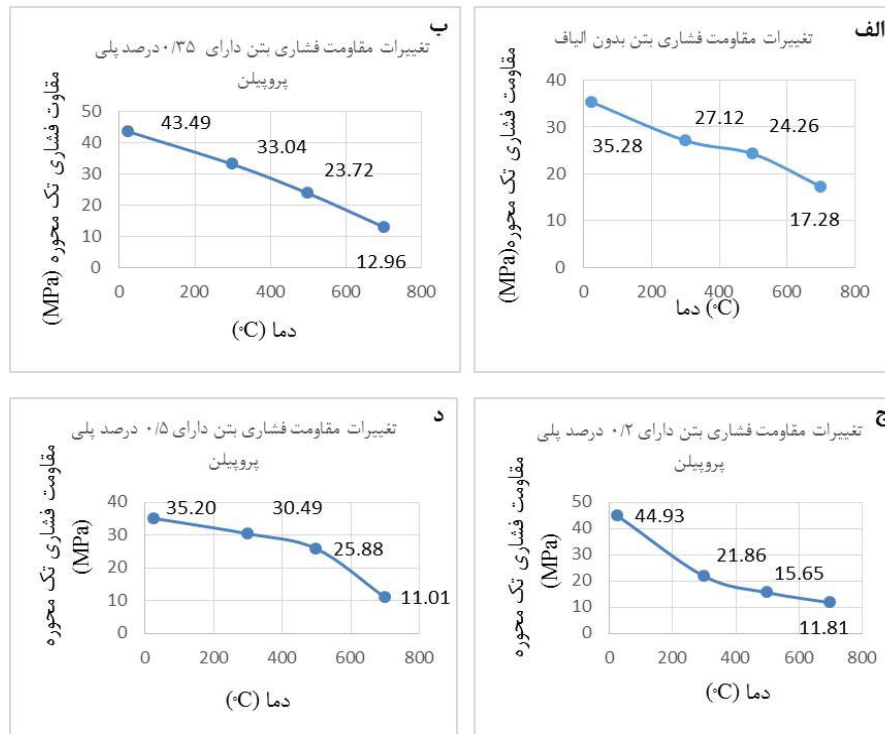
پارامتر	بتن الیافی دارای ۰/۵ درصد پلی‌پروپیلن	بتن الیافی دارای ۰/۳۵ درصد پلی‌پروپیلن	بتن الیافی دارای ۰/۲ درصد پلی‌پروپیلن
$\sigma_{300^{\circ}C} / \sigma_{25^{\circ}C}$	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۴۹
$\sigma_{500^{\circ}C} / \sigma_{25^{\circ}C}$	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۳۵
$\sigma_{700^{\circ}C} / \sigma_{25^{\circ}C}$	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۲۶

جدول ۱۲. نسبت تغییرات مقاومت فشاری تک‌محوره بتن الیافی شیشه بر اثر دما

پارامتر	بتن الیافی دارای ۰/۵ درصد شیشه	بتن الیافی دارای ۰/۳۵ درصد شیشه	بتن الیافی دارای ۰/۲ درصد شیشه
$\sigma_{300^\circ C} / \sigma_{25^\circ C}$	۰/۹۷	۰/۶۳	۰/۶۶
$\sigma_{500^\circ C} / \sigma_{25^\circ C}$	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۵۳
$\sigma_{700^\circ C} / \sigma_{25^\circ C}$	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۳۳



شکل ۸. بارگذاری فشاری تک محوره



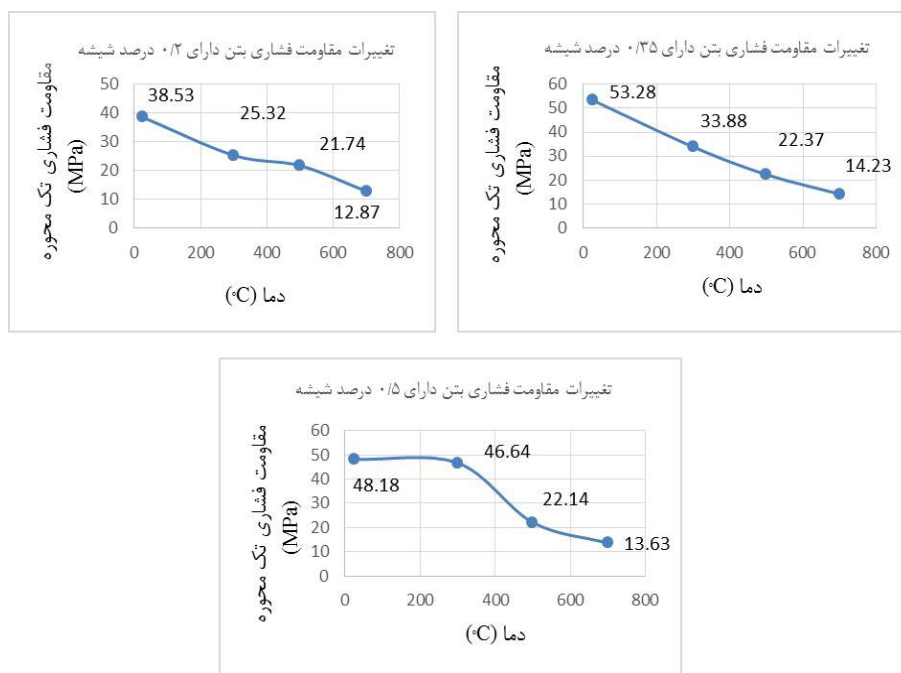
شکل ۹. الف) تغییرات مقاومت فشاری تک‌محوره بتن بدون الیاف بر اثر دما، ب، ج و د) تغییرات مقاومت فشاری تک‌محوره بتن الیافی پلی پروپیلن بر اثر دما

می‌شود اتفاق می‌افتد. در اکثر مطالعات صورت گرفته در خصوص اثر دما بر روی خواص بتن این کاهش مقاومت مشاهده شده است (هوسم، ۲۰۰۶؛ ایکسایو و فلاکتر، ۲۰۰۶؛ بهنود و زیاری، ۲۰۰۸). مقایسه نمودارها و نتایج با دست آمده در این تحقیق و تحقیقات دیگر نشان فشاری در بتن می‌شود (باغندرانی و همکاران، ۱۳۹۰). با

نتایج نشان می‌دهد در اثر افزایش دما مقاومت فشاری تک‌محوره کاهش می‌یابد که به دلیل تبخیر آب‌های سطحی و پیوندی و فشار منفذی ایجاد شده ناشی از تبخیر شدن آب و انبساط و انقباض نمونه‌ها که به دلیل گرم شدن و سرد شدن آن‌ها که باعث افزایش تخلخل می‌دهد که افزودن الیاف به بتن باعث افزایش مقاومت

بیش‌تر نسبت سایر بتن‌ها است. پس می‌توان نتیجه گرفت که الیاف پلی‌پروپیلن از دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به بعد و الیاف شیشه از دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به بعد کم‌کم سوخته و خواص خود را از دست می‌دهند. پس در شرایط آتش‌سوزی استفاده از این نوع بتن‌های الیافی با توجه به شرایط دمایی پیشنهاد می‌شود.

توجه به نتایج به دست آمده از بتن‌های الیافی با درصد و نوع‌های متفاوت شاهد این می‌باشیم که بتن الیافی پلی‌پروپیلن که میزان الیاف ۰/۵ درصد حجم بتن است بهترین نوع بتن است که در دمای بالا یعنی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین مقاومت فشاری است و در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بتن الیافی شیشه که میزان الیاف ۰/۵ درصد حجم بتن است دارای مقاومت فشاری



شکل ۱۰. تغییرات مقاومت فشاری بتن الیافی شیشه بر اثر دما

کاهش سرعت امواج طولی را به دنبال دارد (حجازی و همکاران، ۱۳۹۲؛ صدری و همکاران، ۱۳۹۲).

نتیجه‌گیری

در این مقاله انواع مختلف بتن‌الیافی با درصدهای متفاوت از الیاف و بتن بدون الیاف در دماهای مختلف بعد از یک سیکل گرمایش- سرمایش مورد آزمایش قرار گرفت و اثر دما بر روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بررسی شد که نتایج این پژوهش عبارت است از:

- ۱- با افزایش دما افزایش تخلخل موثر نسبت به دمای محیط در بتن غیرالیافی نسبت به بتن الیافی بیش‌تر است.
- ۲- افزودن الیاف شیشه و پلی‌پروپیلن به بتن باعث افزایش مقاومت کششی نسبت به بتن بدون الیاف در برابر حرارت گردیده است.

۳-۴- سرعت امواج طولی

این آزمایش برای تعیین سرعت گذر امواج از داخل بتن طراحی شده است که یکی از غیرمخرب‌ترین آزمایش‌ها جهت ارزیابی سازه‌های بتنی می‌باشد که آزمایش بر اساس استاندارد *ASTM C597* (۲۰۰۳) پیشنهاد شده است. این آزمایش دارای مزیت قابل‌توجهی برای فراهم نمودن اطلاعات داخل بتن از جمله یکنواختی بتن می‌باشد (اینانو و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج سرعت امواج طولی در بتن‌های مختلف در دماهای مختلف در جدول‌های ۱۳ تا ۱۵ و شکل‌های ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است. طبق مشاهدات صورت گرفته و نتایج به دست آمده کاهش سرعت امواج طولی با افزایش دما اتفاق می‌افتد که می‌توان این کاهش سرعت امواج طولی را به دلیل افزایش تخلخل و ایجاد خلل و فرج و ریز ترک‌ها و ایجاد فاصله بین ذرات سازنده و کاهش چسبندگی سیمان دانست که

مقاومت کششی در بین انواع بتن‌های غیرالیافی و الیافی با درصدهای متفاوت از الیاف می‌باشد.
 ۴- با افزایش دما سرعت امواج طولی کاهش می‌یابد. با افزایش دما کاهش سرعت امواج طولی نسبت به دمای محیط در بتن الیافی در مقایسه با بتن غیرالیافی کمتر است.

۳- بتن الیافی دارای ۰/۵ درصد الیاف شیشه در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین مقدار مقاومت کششی و فشاری و بتن‌الیافی دارای ۰/۵ درصد الیاف پلی‌پروپیلن در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین مقاومت فشاری و در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین

جدول ۱۳. نسبت تغییرات سرعت امواج طولی در بتن بدون الیاف بر اثر تغییرات دما

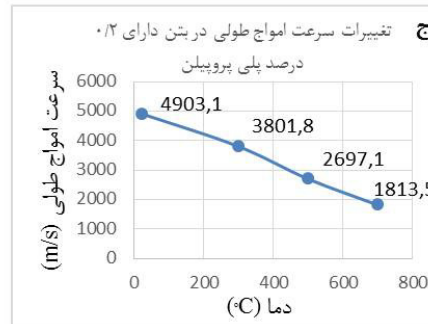
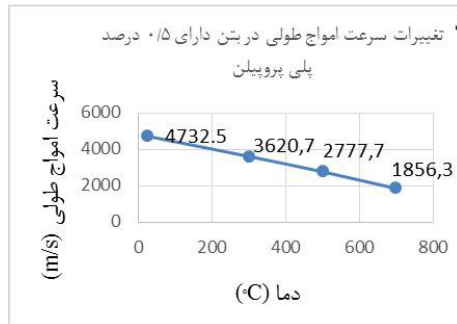
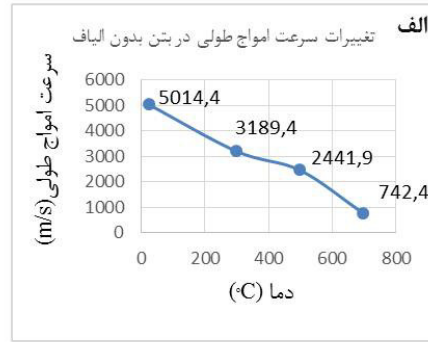
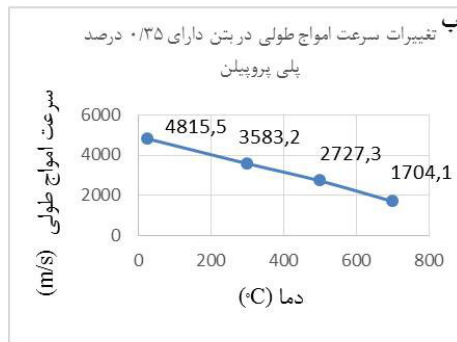
مقدار	پارامتر
۰/۶۳	$v_{p300^{\circ}C} / v_{p25^{\circ}C}$
۰/۴۹	$v_{p500^{\circ}C} / v_{p25^{\circ}C}$
۰/۱۵	$v_{p700^{\circ}C} / v_{p25^{\circ}C}$

جدول ۱۴. نسبت تغییرات سرعت امواج طولی در بتن‌الیافی پلی‌پروپیلن بر اثر دما

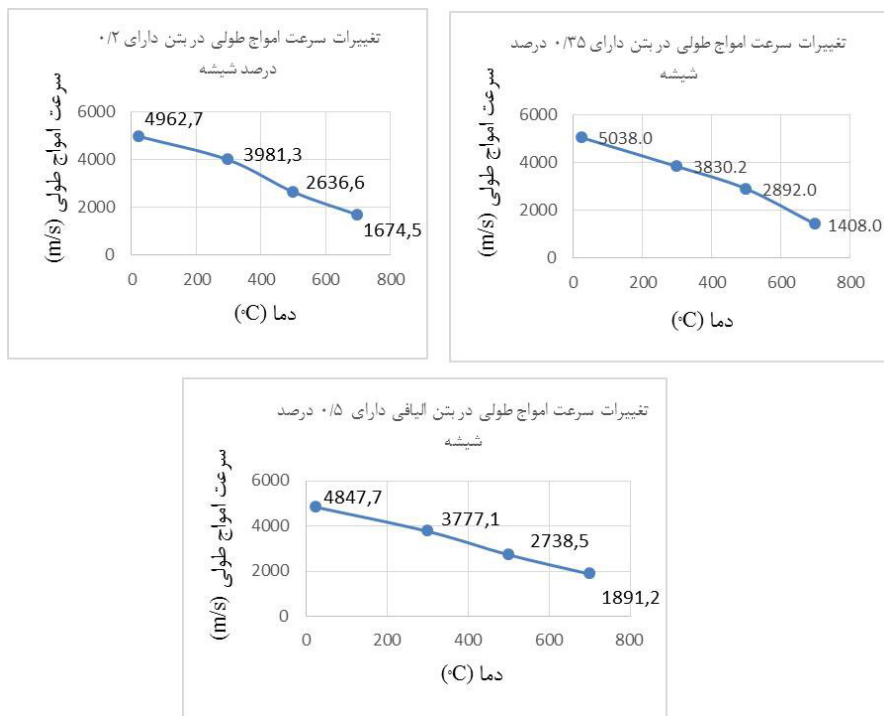
پارامتر	بتن الیافی دارای ۰/۵ درصد پلی‌پروپیلن	بتن الیافی دارای ۰/۳۵ درصد پلی‌پروپیلن	بتن الیافی دارای ۰/۲ درصد پلی‌پروپیلن
$v_{p300^{\circ}C} / v_{p25^{\circ}C}$	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۷۷
$v_{p500^{\circ}C} / v_{p25^{\circ}C}$	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۵
$v_{p700^{\circ}C} / v_{p25^{\circ}C}$	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۳۷

جدول ۱۵. نسبت تغییرات سرعت امواج طولی در بتن‌الیافی شیشه بر اثر دما

پارامتر	بتن الیافی دارای ۰/۵ درصد شیشه	بتن الیافی دارای ۰/۳۵ درصد شیشه	بتن الیافی دارای ۰/۲ درصد شیشه
$v_{p300^{\circ}C} / v_{p25^{\circ}C}$	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۸۰
$v_{p500^{\circ}C} / v_{p25^{\circ}C}$	۰/۵۶	۰/۷۵	۰/۵۳
$v_{p700^{\circ}C} / v_{p25^{\circ}C}$	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۳۴



شکل (۱). الف) تغییرات سرعت امواج طولی در بتن بدون الیاف بر اثر دما، ب، ج و د) تغییرات سرعت امواج طولی در بتن الیافی پلی‌پروپیلن بر اثر دما



شکل ۱۲. تغییرات سرعت امواج طولی در بتن الیافی شیشه بر اثر دما

باغبردرانی، م. و کردی، م. و چابکی خیابانی، ع. و بسطامی، م. (۱۳۹۰) مطالعه آسیب‌پذیری بتن مقاومت بالا در برابر حرارت‌های بالا و تاثیر کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن، ششمین گنگره مهندسی عمران دانشگاه سمنان.

حجازی، م. و هاشمی، م. و باتوانی، م. (۱۳۹۲) تاثیر الیاف فولادی بر خصوصیات مکانیکی و عملکرد در مقابل حرارت و یخ‌زدگی بتن سبک خودتراکم، تحقیقات بتن، سال ششم، شماره اول، ص ۴۷-۶۳.

ASTM, C (2012) Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.

ASTM, E "648" (2003) Standard Test Method for Critical Radiant Flux of Floor-Covering Systems Using a Radiant Heat Energy Source.

Ayudhya, N and Israngkura, B (2011) Compressive and splitting tensile strength of autoclaved aerated concrete (AAC) containing perlite aggregate and polypropylene fiber subjected to high temperatures, Songklanakarinn Journal of Science & Technology, 33.

Behnood, A. and Ghandehari M (2009) Comparison of compressive and splitting tensile strength of high-strength concrete with and without polypropylene fibers heated to high temperatures, Fire Safety Journal, 44(8): 1015-1022.

Behnood, A. and Ziari, H (2008) Effects of silica fume addition and water to cement ratio on the

تقدیر و تشکر

این اثر با حمایت مالی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) انجام گرفته است لذا از مسئولین دانشگاه تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

اینانلو عربی شاد، ح. سرشکی، ف. عطایی، م. بزرگمهر، س. اکبری نسب، ل (۱۳۹۵) بررسی تاثیر پودر مگنتیت (اکسید آهن) بر خواص مکانیکی بتن خودتراکم، نشریه علمی و ترویجی مصالح و سازه‌های بتنی، انجمن علمی بتنی ایران، سال اول، شماره دوم، ص ۸۳-۱۰۲.

حبیبی، س. نیل فروشزاده حسین، ن. و قربانی شبستری، س (۱۳۸۸) بررسی الیاف پلی‌پروپیلن بر روی استحکام و مقاومت حرارتی بتن، مجله علمی پژوهشی علوم و تکنولوژی نساجی، سال چهارم، شماره دوم، ص ۵۳-۶۱.

هاشمی، ح. و نوروزی ارکونی، ع (۱۳۹۴) بررسی اثرات افزایش دما بر عملکرد بتن سبک سازه‌ای حاوی درصدهایی از نانوسیلیس، تحقیقات بتن، سال هشتم، شماره اول، ص ۵۵-۶۹.

صدری ممتازی، ع طهورتی، م. نصرتی، ح (۱۳۹۲) ارزیابی خصوصیات بتن‌الیافی حاوی سنگدانه‌های بازیافتی با استفاده از روش‌های غیرمخرب، مجله تحقیقات بتن، سال ششم، شماره اول، ص ۷۳-۷۶.

- fiber for spalling resistance, *Int. Conf. on Concrete under Severe Conditions, Sapporo*.
- Nonnet, E., Lequeux N., Boch, P (1999) Elastic properties of high alumina cement castables from room temperature to 1600C, *Journal of the European Ceramic Society*, 19(8): 1575-1583.
- Othuman, M. A. and Wang, Y (2011) Elevated-temperature thermal properties of lightweight foamed concrete, *Construction and Building Materials*, 25(2): 705-716.
- Sarvaranta, L., Elomaa M., Järvelä, E (1993) A study of spalling behaviour of PAN fibre-reinforced concrete by thermal analysis, *Fire and materials*, 17(5): 225-230.
- Sarvaranta, L. and Mikkola, E (1994) Fibre mortar composites in fire conditions, *Fire and materials*, 18(1): 45-50.
- Sarvaranta, L. and Mikkola, E (1994) Fibre mortar composites under fire conditions: effects of ageing and moisture content of specimens, *Materials and Structures*, 27(9): 532-538.
- Schneider, U (1976) Behaviour of concrete under thermal steady state and non-steady state conditions, *Fire and Materials*, 1(3): 103-115.
- Siddique, R. and Kaur, D (2012) Properties of concrete containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS) at elevated temperatures, *Journal of Advanced Research*, 3(1): 45-51.
- Tanyildizi, H. and Coskun A (2008) The effect of high temperature on compressive strength and splitting tensile strength of structural lightweight concrete containing fly ash, *Construction and building materials*, 22(11): 2269-2275.
- Walraven, J. C. and Stoelhorst, D (2008) *Taylor Made Concrete Structures: New Solutions for our Society*, (Abstracts Book 314 pages+ CD-ROM full papers 1196 pages).
- Xiao, J. and Falkner, H (2006) On residual strength of high-performance concrete with and without polypropylene fibres at elevated temperatures, *Fire safety journal*, 41(2): 115-121.
- Zhou, Q. and Glasser, F. P (2001) Thermal stability and decomposition mechanisms of ettringite at < 120 C, *Cement and Concrete Research*, 31(9): 1333-1339.
- properties of high-strength concrete after exposure to high temperatures, *Cement and Concrete Composites*, 30(2): 106-112.
- Breitenbucker, R. (1996) *High Strength Concrete C105 with Increased Fire-Resistance due to Polypropylene Fibers, Utilization of High Strength/High Performance Concrete 29-31 May_1996, Paris, France*, 571-577.
- Chen, B. and Liu, J (2004) Residual strength of hybrid-fiber-reinforced high-strength concrete after exposure to high temperatures, *Cement and Concrete Research* 34(6): 1065-1069.
- Diederichs, U (1995) *High Temperature Properties and Spalling Behavior of High Strength Concrete, Proceedings of the Fourth Weimar Workshop on High Performance Concrete: Material Properties and Design*, 10: 219-235.
- Drzymała, T., Jackiewicz-Rek, W., Tomaszewski, M., Kuś, A., Gałaj, J., Śukys, R (2017) Effects of high temperature on the properties of high performance concrete (HPC), *Procedia Engineering*, 172: 256-263.
- Grattan-Bellew, P (1996) Microstructural investigation of deteriorated Portland cement concretes, *Construction and building materials*, 10(1): 16-30.
- Hager, I. and Tracz, T (2010) *The Impact of the Amount and Length of Fibrillated Polypropylene Fibres on the Properties of HPC Exposed to High Temperature/Wpływ Ilości I Długości Fibrylowanych Włókien Polipropylenowych Na Właściwości Hpc Poddanego Działaniu Wysokiej Temperatury*, *Archives of Civil Engineering*, 56(1): 57-68.
- Husem, M (2006) *The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete*, *Fire Safety Journal*, 41(2): 155-163.
- Kalifa, P., Chene, G. and Galle, C (2001) *High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres: From spalling to microstructure*, *Cement and concrete research*, 31(10): 1487-1499.
- Khoury, G (1992) *Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment*, *Magazine of concrete Research*, 44(161): 291-309.
- Lennon, T. and Clayton, N (1999) *Fire tests on high grade concrete with polypropylene fibres, 5th International Symposium on the Utilisation of High Strength/High Performance Concrete, Savdejord, Norway*.
- Morsy, M., Al-Salloum, Y., Abbas, H., Alsayed, S (2012) *Behavior of blended cement mortars containing nano-metakaolin at elevated temperatures*, *Construction and Building materials*, 35: 900-905.
- Nishida, A (1995) *Study on the properties of high strength concrete with short polypropylene*

Effects of thermal cycles on physical and mechanical properties of fiber concrete as compared with non-fiber concrete

M. Hosseini^{1*} Sh. Latifi² and M. Hatami³

1, 2, 3- Dept., of Mining Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin

**mahdi_hosseini@ikiu.ac.ir*

Recieved: 2019/10/18 Accepted: 2019/12/8

Abstract

In the case of explosions and fires, the rocks undergo cycles of heating and cooling, that is, they are exposed to considerable heat first and then cooled after extinguishing the fire. The purpose of this paper is to study how the temperature in a heating-cooling cycle can affect the physical and mechanical properties of fiber concrete (FC). During the heating phase in a heating-cooling cycle, experiments were performed on samples that were initially exposed to temperatures of 300, 500 and 700 °C and then cooled gradually to ambient temperature. At the same time, a series of experiments were performed on samples that were not exposed to a heating-cooling cycle. For this purpose, non-fiber concrete (NFC), polypropylene fiber concrete (PFC) and glass fiber concrete (GFC) samples were fabricated. The effect of the heating-cooling process on effective porosity, longitudinal waves velocity, uniaxial compressive strength, and tensile strength of PFC and GFC samples were investigated and compared with the NFC samples. The results show that fiber concrete containing 0.5% glass fiber has the highest tensile and compressive strength at 300 °C. Fiber concrete containing 0.5% polypropylene fiber at 500 °C has the highest compressive strength and at 700 °C has the highest tensile strength among all types of non-fiber and fiber concrete with different percentages of fibers.

Keywords: *Fiber concrete (FC), non-fiber concrete (NFC), fire, physical properties, mechanical properties*