

## تأثیر حرارت بالا بر مقاومت فشاری و کششی بتن‌های حاوی الیاف شیشه

امیرحمزه کیخا \*

استادیار گروه مهندسی عمران، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

### چکیده

تصور می‌شود که ساختمانهای بتنی در برابر آتش مقاوم هستند. تحقیقات گذشته نشان داده است که به هنگام حریق در این ساختمان مشکلات متعددی اتفاق می‌افتد. در آتش‌سوزی، یکی از روش‌های خاموش کردن، استفاده از آب توسط آتش‌نشان‌ها می‌باشد. در عضو حرارت دیده به محض رسیدن آب، اختلاف حرارت زیادی به وجود آمده و سبب تأثیر گذاشتن بر بسیاری از خصوصیات آن می‌گردد. بر اساس دانش نویسنده، تحقیق مستقل آزمایشگاهی جهت تأثیر افزایش مدت زمان حرارت بالا بر مقاومت فشاری و کششی بتن حاوی الیاف شیشه انجام نشده است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی مدت زمان حرارت بالا بر مقاومت فشاری و کششی بتن حاوی الیاف شیشه به مقدار ۱، ۲ و ۳٪ در معرض حرارت بالا ( $600^{\circ}\text{C}$ ) و به مدت زمان هدف نیم، یک و دو ساعت و خنک‌شدن نمونه‌های مذکور به صورت تدریجی (در معرض دمای هوا) و تسریعی (آب پاشی فوری بعد از مواجهه با حرارت) می‌باشد. نمونه مکعبی با ابعاد  $150 \times 150 \times 150$  mm و نمونه استوانه‌ای با ابعاد  $150 \times 300$  mm و به ترتیب برای بررسی مقاومت فشاری و کششی هر کدام به تعداد ۸۴ عدد ساخته شد. نمونه‌ها بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری و کسب مقاومت لازم، در کوره آبیل قرار گرفتند و سپس آزمایشات مورد نظر بر روی آن‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که حرارت سبب کاهش قابل ملاحظه مقاومت می‌گردد. نمونه‌هایی که به صورت تدریجی خنک شده بودند، در مقایسه با نمونه‌هایی که سریع خنک شده بودند، عملکرد بهتری از خود نشان دادند. همچنین حرارت سبب ایجاد ترک‌های زیادی در بتن گردید.

واژه‌های کلیدی: حرارت بالا، الیاف شیشه، مقاومت فشاری بتن، مقاومت کششی بتن.

## ۱- مقدمه

مقاومت فشاری در دمای اتاق افزایش داشته، ولی با افزایش دما از این مقدار، افت مقاومت فشاری مشاهده شد. همچنین نمونه‌های حاوی پومیس - میکروسیلیس در مقایسه با نمونه‌های حاوی پومیس، از افت بیشتری در مقاومت فشاری برخوردار بودند.

تحقیقات بهنود و قندهاری [۱۰] بر روی نمونه‌های بتنی حاوی الیاف پلی پروپیلن در معرض حرارت‌های زیاد نشان داد که مقاومت فشاری در دمای  $200^{\circ}\text{C}$  افزایش، ولی در سایر دماها دچار کاهش گردیده است. مقاومت کششی به دلیل ذوب الیاف پلی پروپیلن و ایجاد فضاهای خالی در تمامی دماها کاهش یافته است. همچنین مقایسه مقاومت کششی و فشاری در مواجهه با حرارت نشان داد که، مقاومت کششی حساس تر بوده و حضور الیاف پلی پروپیلن عملکرد بیشتری بر مقاومت فشاری دارد.

یانگ و همکارانش [۱۱] در تحقیقی بر روی نمونه‌های بتنی در معرض حرارت، مشاهده کردند که افزایش مدت زمان بعد از مواجهه با حرارت‌های زیاد (عمل آوری نمونه‌های حرارت دیده در هوا) کمک چندانی به بهبود مقاومت فشاری نمی‌کند.

بررسی‌های دو گنسی و همکاران [۱۲] بر مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی حاوی الیاف فولادی در معرض دماهای  $900^{\circ}\text{C}$ ،  $1000^{\circ}\text{C}$  و  $1100^{\circ}\text{C}$  که پس از مواجهه با حرارت به طور آهسته در معرض هوا خنک شده بودند، نشان داد که نمونه شاهد دارای بیشترین مقادیر درصد افت مقاومت فشاری در تمامی نمونه‌ها بوده و همچنین حضور الیاف فولادی در نمونه‌های بتنی در معرض دماهای بالای  $1000^{\circ}\text{C}$  در مقایسه با دمای  $900^{\circ}\text{C}$  و  $1000^{\circ}\text{C}$ ، تاثیر چندانی بر مقاومت فشاری باقی مانده نداشته است.

تحقیقات کیم و همکاران [۱۳] بر روی ویژگی‌های مکانیکی بتن‌های پر مقاومت در معرض حرارت نشان داد که در محدوده دمایی  $100^{\circ}\text{C}$  تا  $400^{\circ}\text{C}$ ، تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها جزئی بوده، ولی در محدوده دمایی  $400^{\circ}\text{C}$  تا  $700^{\circ}\text{C}$ ، مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌ها به‌طور قابل توجهی افت پیدا کرد. همچنین کاهش کمی در مقدار مدول الاستیسیته نمونه‌های در معرض دمای  $100^{\circ}\text{C}$  تا  $300^{\circ}\text{C}$  مشاهده شد. در دمای  $700^{\circ}\text{C}$ ، مقدار مدول الاستیسیته به نصف کاهش یافت.

تحقیقات ندیم و همکارانش [۱۴] بر روی مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در معرض حرارت‌های زیاد تحت دو تیپ خنک شدن سریع با استفاده از آب و خنک شدن آهسته با قرار گرفتن در معرض هوا، به

استفاده از الیاف فیبری به روش‌های مختلف جهت تقویت و مقاوم سازی سازه‌ها بتنی استفاده می‌شود. بسیاری از خواص بتن شامل: مقاومت فشاری، سهولت تهیه، فرم پذیری و غیره، سبب افزایش استفاده از این ماده شده است. تصور بر این است که بتن در مقابل حرارت‌های زیاد ناشی از آتش سوزی مقاوم است، ولی مطالعات انجام شده در این زمینه، نشان دهنده آسیب پذیری این ماده در برابر حرارت‌های زیاد می‌باشد.

کاهش رطوبت و افت وزنی، نابودی هیدروکسید کلسیم  $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ ، هیدرات سلیکات کلسیم (CSH) و تغییر رنگ در تحقیقات گذشته بر روی بتن‌های در معرض حرارت مشاهده شده است [۵-۱].

بررسی‌های حداد و آبانده [۶] بر روی مقاومت پیوستگی بتن‌های حاوی الیاف، تحت اثر سیکل‌های متوالی گرم و سرد شدن، نشان داد که اثر سیکل‌های مذکور بر نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه‌های بتنی الیافی بیشتر می‌باشد.

چان و همکارش [۷] بتن‌های توانمند حاوی میکروسیلیس و فلای‌اش، در معرض حرارت  $800^{\circ}\text{C}$  و به مدت زمان یک ساعت که به‌صورت تدریجی خنک شده بودند، را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افت مقاومت فشاری در نمونه‌های بتنی توانمند در مقایسه با نمونه‌های شاهد، زیادتر بوده، ولی همچنان مقاومت فشاری باقی مانده نمونه‌های بتنی توانمند در مقایسه با نمونه‌های شاهد بیشتر است.

مطالعات العادی و الزایدین [۸] بر روی مقاومت فشاری در نمونه‌های بتنی استوانه‌ای و مکعبی در معرض حرارت‌های  $200$ ،  $400$  و  $600^{\circ}\text{C}$  نشان داد که در نمونه‌های بتنی در معرض حرارت‌های  $200$  و  $400^{\circ}\text{C}$  تاثیر چندانی بر مقاومت فشاری باقی مانده نداشته، ولی دمای  $600^{\circ}\text{C}$ ، تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته است. همچنین بررسی اشکال نمونه‌های بتنی نشان داد که نمونه‌های مکعبی نسبت به نمونه‌های استوانه‌ای در هنگام مواجهه با حرارت‌های زیاد از عملکرد بهتری به دلیل توزیع نامناسب حرارت در داخل بافت بتن برخوردار می‌باشند.

بررسی‌های دمیرل و آگوچان [۹] بر روی نمونه‌های بتنی حاوی پومیس - میکروسیلیس و پومیس که در معرض دمای  $800^{\circ}\text{C}$  -  $400^{\circ}\text{C}$  قرار گرفته و به‌طور تدریجی خنک شده بودند، نشان داد که مقاومت فشاری تمامی نمونه‌ها در دمای  $400^{\circ}\text{C}$  در مقایسه با

همچنین خنک شدن در معرض هوا، نسبت به استفاده از آب و یا فوم برای خنک شدن، به افت کمتر مقاومت منجر می‌شود. امروزه آتش سوزی و اقدامات تروریستی مانند انفجار یکی از تهدیدات مهم تخریب سازه‌ها می‌باشند. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از افزودنی‌های مختلف بر خصوصیات مکانیکی بتن‌های در معرض حرارت تأثیر دارد. از این رو به منظور بررسی بیشتر، در تحقیق حاضر از الیاف شیشه به مقدار ۱، ۲ و ۳٪ وزن سیمان مصرفی، برای ساخت نمونه‌ها جهت بررسی اثرات حرارت بر بتن الیافی استفاده گردید. اثر افزایش مدت زمان رویارویی با حرارت  $600^{\circ}\text{C}$  بر مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی با ابعاد  $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$  و مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد  $150 \times 300 \text{ mm}$  که به صورت سریع با استفاده از آب پاشی و به صورت آهسته با قرار گرفتن در دمای آزمایشگاه، خنک شدند، از موارد مهم ارزیابی می‌باشند.

## ۲- مشخصات مصالح مصرفی

### ۲-۱- سیمان

جهت ساخت تمامی نمونه‌ها از سیمان پرتلند تپ ۲ با وزن مخصوص  $3/15 \text{ gr/cm}^3$  استفاده گردید. مشخصات شیمیایی این نوع سیمان در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان مصرفی

ماده شیمیایی	اکسید سیلیسیم	اکسید آلومینیوم	اکسید آهن	اکسید کلسیم	اکسید منیزیم	تری اکسید گوگرد	کاهش وزن در دمای سرخ	سه کلسیم سیلیکات	دو کلسیم سیلیکات	سه کلسیم آلومینات
فرمول	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	LOI	$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_3\text{A}$
مقدار(درصد)	۲۱/۵	۴/۹۲	۴/۳۱	۶۳/۴	۱/۳	۱/۸	۱/۷	۵۲/۱	۲۲/۱	۵/۸

### ۲-۲- شن و ماسه

وزن مخصوص و جذب آب درشت دانه‌ها بر اساس استاندارد ASTM C127 و ریزدانه‌ها بر اساس استاندارد ASTM C128 تعیین گردیدند. چگالی انبوهی سنگ-دانه‌ها بر اساس استاندارد ASTM C29 و ارزش ماسه‌ای آن‌ها بر اساس استاندارد ASTM D2419 انجام شد. در جدول ۲ نتایج آزمایشات انجام شده بر روی شن و ماسه مصرفی ارائه شده است.

این نتایج منجر شد که خنک شدن سریع نمونه‌های حرارت دیده، سبب ایجاد یک شوک حرارتی در لایه‌های بتن گردید و در نهایت منجر به افت بیشتر مقاومت در مقایسه با نمونه‌های خنک شده در معرض هوا شد. همچنین عمده افت مقاومت برای هر دو سیستم خنک‌شدن، در دماهای بالای  $400^{\circ}\text{C}$  مشاهده شد.

مطالعه هاشم [۱۵] بر روی بتن‌های توانمند در معرض حرارت‌های  $200^{\circ}\text{C}$  تا  $1000^{\circ}\text{C}$ ، که با دو روش مختلف، یکی قرار گرفتن در معرض هوا و دیگری با استفاده از آب خنک شدند، نشان داد که استفاده از آب برای خنک کردن نمونه‌های بتنی حرارت دیده‌ای که از سنگ دانه-های آهکی در ساخت آن‌ها استفاده شده است، می‌تواند سبب افت بیشتر مقاومت گردد. همچنین مقاومت فشاری نمونه‌های بتن توانمند در معرض حرارت‌های بالای  $800^{\circ}\text{C}$  که توسط آب خنک شده بودند، به دلیل از هم پاشیدگی نمونه‌ها انجام نشد.

سکر و حکیم [۱۶] به بررسی بتن سنگین در معرض حرارت‌های زیاد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بتن‌های سنگین ساخته شده با سنگ دانه‌های المینت در مقایسه با سنگ دانه‌های شن و باریت، در هنگام مواجهه با حرارت‌های زیاد، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. استفاده از مواد محافظ در برابر آتش، نیز نشان داد که مواد مذکور تا حرارت  $500^{\circ}\text{C}$  می‌تواند نقش قابل ملاحظه‌ای را در کسب مقاومت فشاری باقی‌مانده ایفا کند.

جدول ۲- نتایج آزمایشات انجام گرفته بر روی شن و ماسه مصرفی

مصلح مصرفی	وزن مخصوص (Kg/m <sup>3</sup> )	جذب آب (درصد)	رطوبت نسبی (درصد)	ارزش ماسه‌ای	چگالی انبوهی (Kg/m <sup>3</sup> )
شن	۲۶۹۳	۰/۸	۰	-	۱۵۷۵
ماسه	۲۶۵۰	۲/۲	۹/۳	۷۸	-

**۳-۲- فوق روان کننده**

در این تحقیق از فوق روان کننده نوع E بر پایه ملامین فورمالدئید سولفونات مطابق با استاندارد ASTM C494 با وزن مخصوص ۱۷/۱ gr/cm<sup>3</sup>، PH = ۸-۹ و رنگ قهوه‌ای روشن استفاده گردید. الیاف شیشه مصرفی در این تحقیق را نشان می‌دهد.

**۴-۲- الیاف شیشه**

الیاف شیشه مصرفی در این تحقیق از نوع E-glass می‌باشد. ویژگی‌های فیزیکی آن در جدول ۳ ارائه گردیده است. همچنین شکل ۱، الیاف مصرفی در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مشخصات فیزیکی الیاف شیشه

طول (mm)	قطر (mm)	طول به قطر	وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )	مدول الاستیسیته (GPa)	مقاومت کششی (MPa)	کرنش شکست (درصد)
۱۲	۰/۰۱۳	۹۲۳	۲/۶	۸۰	۲۰۰۰	۲-۳/۵

تمامی نمونه‌ها از شرایط یکسانی در نسبت طرح اختلاط برخوردار بودند، برابر ۰/۰۶٪ وزن سیمان و به تمامی نمونه‌ها اضافه گردید.



شکل ۱- الیاف مصرفی

**۲-۳- قالب‌گیری و عمل‌آوری نمونه‌های بتنی**

قالب‌های مکعبی با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ mm جهت ساخت نمونه‌های بتنی برای آزمایش مقاومت فشاری استفاده شد. بتن ساخته شده مطابق با استاندارد BS 1881: part 108 در ۳ لایه در قالب ریخته شد و در هر لایه توسط ۳۵ ضربه متراکم گردید. برای ساخت نمونه‌های بتنی جهت بررسی مقاومت کششی از قالب‌های استوانه‌ای ۱۵۰×۳۰۰ mm استفاده گردید. بر اساس استاندارد ASTM C31 بتن ساخته شده در ۳ لایه در قالب ریخته و توسط ۲۵ ضربه در هر لایه متراکم گردید. بعد از قالب‌گیری بتن تازه، روی تمامی نمونه‌ها گونی مرطوب و روی گونی مرطوب، نایلون کشیده شد تا از خشک شدن نمونه‌ها جلوگیری شود. قالب‌های بتنی بعد از ۲۴ ساعت باز و با احتیاط کامل به حوضچه آب با دمای 25±2 °C برای ۲۸ روز جهت عمل‌آوری منتقل شدند. شکل ۲، عمل‌آوری نمونه‌های بتنی در حوضچه آب را نشان می‌دهد.

**۳- مطالعه آزمایشگاهی****۱-۳- ساخت و طرح اختلاط بتن**

اسلامپ بتن در محدوده ۸ الی ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. همچنین نسبت آب به سیمان برابر ۰/۴۵ انتخاب گردید. نسبت الیاف به سیمان برابر ۱، ۲، ۳٪ و نسبت شن به ماسه برابر ۰/۸۲ استفاده گردید. هنگام افزودن الیاف به بتن، کاهش شدید کارایی بتن مشاهده گردید که برای رفع این مشکل، از فوق روان کننده استفاده شد. مقدار افزودن فوق روان کننده به بتن، با توجه به دستور العمل کارخانه سازنده و با روش سعی و خطا و این که

تأثیر حرارت بالا بر مقاومت فشاری و کششی ...

مقاومت، به آزمایشگاه منتقل شدند. شکل ۳، تصویری از کوره و نمونه‌های مورد استفاده جهت انجام آزمایشات را نشان می‌دهد.



شکل ۳- کوره‌ی مورد استفاده برای اعمال حرارت



شکل ۲- نحوه عمل‌آوری نمونه‌ها

### ۳-۴- نحوه انجام آزمایش مقاومت فشاری و کششی

آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی بر اساس استاندارد BS 1983: 116-1881 انجام شد. بر اساس این استاندارد محدوده سرعت بارگذاری برابر  $0.2-0.4 \text{ MPa/S}$  می‌باشد. بارگذاری تست مقاومت فشاری با سرعت ثابت  $0.3 \text{ MPa/S}$  انجام شد. همچنین آزمایش مقاومت کششی دو نیم شدن بر روی نمونه‌های استوانه‌ای بر اساس استاندارد ASTM C496 انجام شد. در این استاندارد محدوده مجاز سرعت بارگذاری برابر  $0.7-1.4 \text{ MPa/min}$  می‌باشد. در این تحقیق بارگذاری تست مقاومت کششی دو نیم شدن با سرعت ثابت  $0.9 \text{ MPa/min}$  انجام شد. شکل ۴ دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایشات مذکور را نشان می‌دهد.

### ۳-۳- فرآیند حرارت دهی نمونه‌ها

نمونه‌ها پس از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب، برای اعمال حرارت به کوره منتقل گردیدند. نرخ افزایش حرارت کوره  $3/8 \text{ } ^\circ\text{C/min}$  بود. پس از روشن کردن کوره و رسیدن دمای آن به  $600 \text{ } ^\circ\text{C}$ ، دمای کوره در این حرارت توسط سیستم کنترل کوره ثابت گردید. سپس نمونه‌ها به مدت زمان هدف: نیم، یک و دو ساعت در معرض حرارت  $600 \text{ } ^\circ\text{C}$  قرار گرفتند. با پایان یافتن زمان‌های مذکور، کوره خاموش و درب آن باز گردید. برای نمونه‌هایی که خنک شدن تسریعی مدنظر بود، بلافاصله از کوره خارج و به مدت زمان ۲۰ دقیقه با آب خنک شدند. نمونه‌هایی که خنک شدن تدریجی آن‌ها مدنظر بود، در داخل کوره باقی ماندند. تمامی نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از حرارت دهی، جهت انجام آزمایشات



شکل ۴- دستگاه‌های تست مقاومت (الف- جک تعیین مقاومت فشاری ب- جک تعیین مقاومت کششی)

#### ۴- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی

##### ۴-۱- مقاومت فشاری نمونه های بتنی

##### ۴-۱-۱- مقاومت فشاری نمونه های بتنی در دمای آزمایشگاه

جدول ۴ نشان می دهد که افزودن الیاف به بتن کمک چندانی به بهبود مقاومت فشاری در دمای آزمایشگاه نمی کند. افزودن ۱٪ الیاف شیشه به بتن سبب افزایش مقاومت فشاری به میزان ۱/۰۶٪ نسبت به نمونه شاهد شد. همچنین افزودن بیشتر الیاف شیشه به مقادیر ۲ و ۳٪ مقاومت فشاری را به میزان ۹/۲۴ و ۱۳/۵۱٪ کاهش داد.

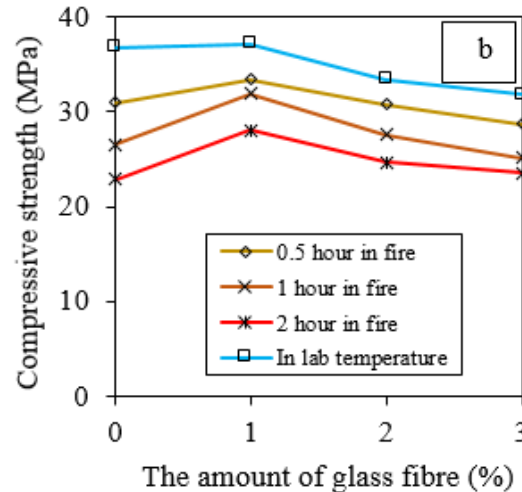
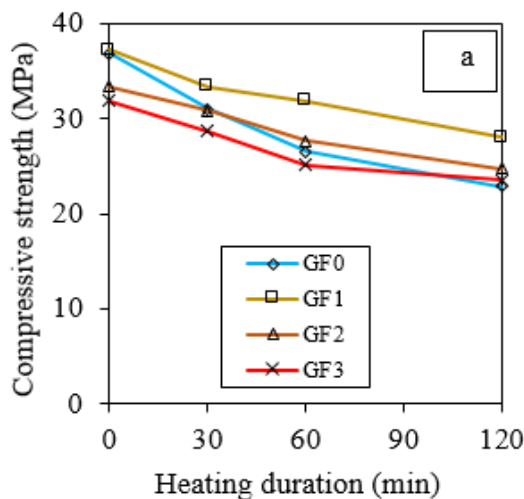
##### ۴-۱-۲- مقاومت فشاری نمونه های بتنی حرارت دیده با خنک شدن تدریجی

شکل ۵، نشان می دهد که افزایش مدت زمان مواجهه با حرارت  $^{\circ}\text{C}$  ۶۰۰، کاهش مقاومت نمونه های بتنی حرارت دیده با خنک شدن

تدریجی را در پی دارد. در مدت زمان های حرارت دهی نیم و یک ساعت در نمونه های حاوی ۳٪ الیاف و در مدت زمان حرارت دهی دو ساعت، در نمونه های شاهد، کمترین مقادیر مقاومت فشاری باقی مانده به دست آمد. همچنین نمونه های حاوی ۱٪ الیاف در تمامی مدت زمان های حرارت دهی، بیشترین مقادیر مقاومت فشاری باقی مانده را داشتند. بررسی های بیشتر نشان داد که افت مقاومت فشاری در نمونه های شاهد در تمامی مدت زمان های حرارت دهی بیشتر بوده، و نمونه حاوی ۲٪ الیاف در مدت زمان حرارت دهی نیم ساعت و نمونه های حاوی ۱٪ الیاف در مدت زمان مواجهه یک و دو ساعت، کمترین مقدار افت مقاومت فشاری را داشتند. مقادیر افت مقاومت فشاری برای نمونه های شاهد برابر ۱۵/۷۶، ۲۷/۹۹ و ۳۷/۷۷٪ در مدت زمان های نیم، یک و دو ساعت به ثبت رسید.

جدول ۴- نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها در دمای آزمایشگاه (MPa)

نمونه شاهد	نمونه حاوی ۱٪ الیاف	نمونه حاوی ۲٪ الیاف	نمونه حاوی ۳٪ الیاف
۳۶/۸	۳۷/۱۹	۳۳/۴	۳۱/۸۳



شکل ۵- نتایج مقاومت فشاری در روش سرد شدن تدریجی (a: منحنی مقاومت-زمان حرارت دهی b: منحنی مقاومت - مقدار الیاف)

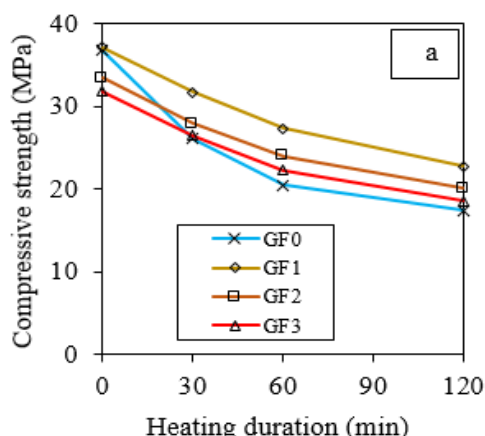
و بیشترین مقادیر افت مقاومت فشاری برای نمونه های شاهد در تمامی مدت زمان های مواجهه با حرارت اعمالی بدست آمد. این در حالی است که برای نمونه های حاوی ۱٪ الیاف شیشه، بیشترین مقاومت فشاری باقی مانده و کمترین مقدار افت مقاومت فشاری حاصل شد.

##### ۴-۱-۳- مقاومت فشاری نمونه های بتنی

##### حرارت دیده با خنک شدن تسریعی

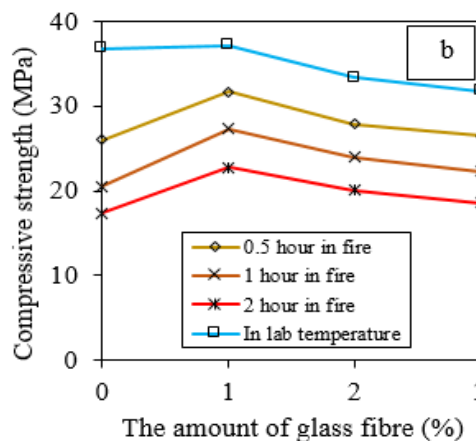
شکل ۶، نشان می دهد که افزایش مدت زمان مواجهه با حرارت  $^{\circ}\text{C}$  ۶۰۰، کاهش مقاومت نمونه های بتنی حرارت دیده با خنک شدن تسریعی را در پی دارد. کمترین مقدار کسب مقاومت فشاری

دارند. نمونه حاوی ۱٪ الیاف بهترین عملکرد را در مقاومت فشاری در میان سایر نمونه‌ها دارد، در حالی که برای نمونه‌هایی که به صورت تدریجی خنک شده‌اند، به ترتیب دارای ۱۰/۱۹، ۱۴/۲۲ و ۲۴/۷۱٪ افت مقاومت و در خنک شدن تسریعی به ترتیب دارای ۱۴/۷۶، ۲۶/۵۹ و ۳۸/۶۹٪ افت مقاومت مشاهده شد. تفاوت افت مقاومت‌ها به دلیل ایجاد اختلاف حرارتی میان لایه‌های داخلی و بیرونی و منبسط شدن آهک موجود در بتن حرارت دیده در هنگام سرد شدن می‌باشد.



مقادیر افت مقاومت فشاری برای نمونه‌های شاهد در مدت زمان‌های نیم، یک و دو ساعت به ترتیب برابر ۲۹/۱۶، ۴۴/۲۹ و ۵۲/۷۲٪ و برای نمونه‌های حاوی ۱٪ الیاف شیشه به ترتیب برابر ۱۴/۷۶، ۲۶/۵۹ و ۳۸/۶۹٪ به دست آمد.

اشکال ۵ و ۶، نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های حرارت دیده‌ای که به صورت تدریجی خنک شده بودند، در مقایسه با حالت خنک شدن تسریعی، مقاومت فشاری باقی‌مانده بیشتر و افت مقاومت فشاری کمتر



شکل ۶- نتایج مقاومت فشاری در روش سرد شدن سریع (a: منحنی مقاومت-زمان حرارت دهی b: منحنی مقاومت - مقدار الیاف)

به مقدار ۱۱/۵۵، ۶/۵۰ و ۳/۶۱٪ نسبت به نمونه شاهد افزایش داد. نکته قابل توجه دیگر این است که افزودن بیش از ۱٪ الیاف شیشه به بتن، مقاومت کششی را کاهش داد، هرچند که مقاومت کششی بدست آمده از مقاومت کششی نمونه شاهد بیش تر بود.

#### ۲-۴- مقاومت کششی نمونه های بتنی

##### ۲-۴-۱- مقاومت کششی نمونه های بتنی در دمای آزمایشگاه

جدول ۵ نشان می‌دهد که افزودن الیاف به بتن سبب بهبود مقاومت کششی در دمای آزمایشگاه در مقایسه با نمونه شاهد افزودن ۱، ۲ و ۳٪ الیاف شیشه به بتن، مقاومت کششی را

جدول ۵- نتایج آزمایش مقاومت کششی نمونه ها در دمای آزمایشگاه (MPa)

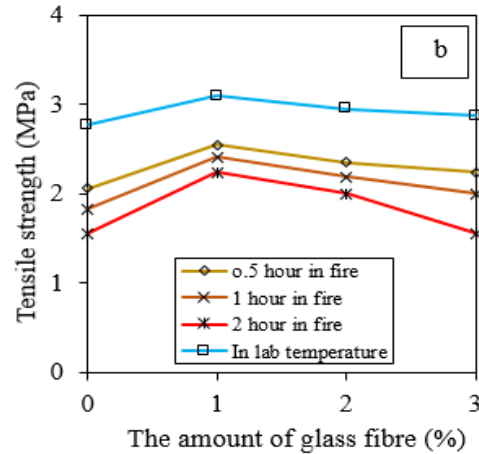
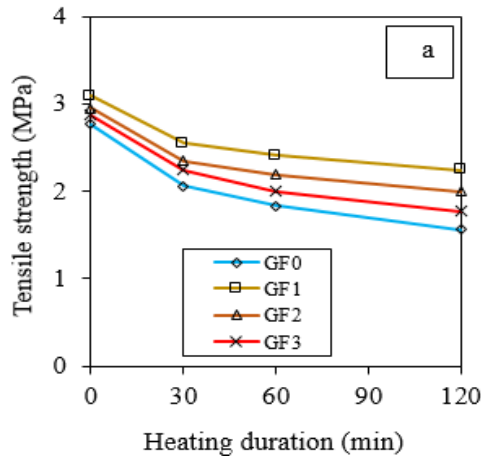
نمونه شاهد	نمونه حاوی ۱٪ الیاف	نمونه حاوی ۲٪ الیاف	نمونه حاوی ۳٪ الیاف
۲/۷۷	۳/۰۹	۲/۹۵	۲/۸۷

مقاومت کششی باقی‌مانده را داشتند. بررسی‌های بیشتر نشان داد که افت مقاومت کششی در نمونه‌های شاهد در تمامی مدت زمان‌های حرارت‌دهی بیشتر بوده، و نمونه‌های حاوی ۱٪ الیاف در تمامی مدت زمان‌های مواجهه با حرارت، کمترین مقدار افت مقاومت کششی را داشتند. مقادیر افت مقاومت کششی برای نمونه‌های شاهد به ترتیب برابر ۲۵/۶۳، ۳۳/۹۴ و ۴۳/۶۸٪ و برای نمونه‌های حاوی ۱٪ الیاف شیشه به ترتیب برابر ۱۷/۴۸، ۲۲/۰۱ و ۲۷/۵۱٪ در مدت زمان‌های نیم، یک و دو ساعت به دست آمد.

##### ۲-۲-۴- مقاومت کششی نمونه های بتنی حرارت دیده با خنک شدن تدریجی

شکل ۷، نشان می‌دهد که افزایش مدت زمان مواجهه با حرارت ۶۰۰ °C، کاهش مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حرارت دیده با خنک شدن تدریجی را در پی دارد. در مدت زمان‌های حرارت دهی نیم، یک و دو ساعت در نمونه‌های شاهد کمترین مقادیر مقاومت کششی باقی‌مانده بدست آمد. همچنین نمونه‌های حاوی ۱٪ الیاف در تمامی مدت زمان‌های حرارت دهی، بیشترین مقادیر



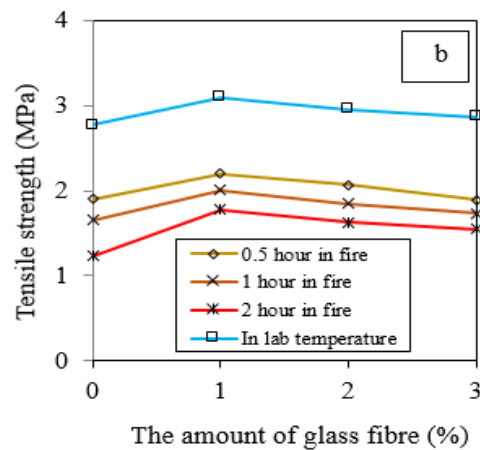
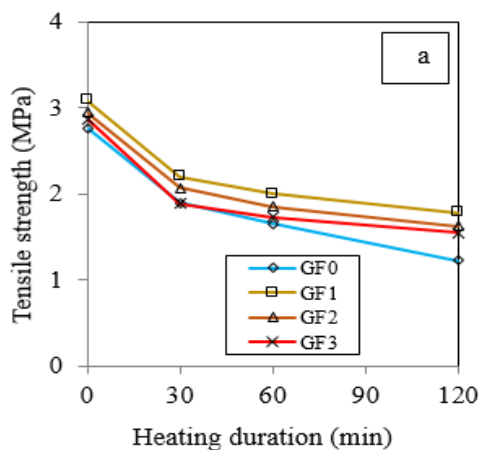


شکل ۷- نتایج مقاومت کششی در روش سرد شدن تدریجی (a: منحنی مقاومت-زمان حرارت دهی b: منحنی مقاومت - مقدار الیاف)

باقی مانده و کمترین مقدار افت مقاومت کششی حاصل شد. نمونه‌های شاهد در مدت زمان یک و دو ساعت و نمونه‌های حاوی ۳٪ الیاف شیشه در مدت زمان حرارت دهی نیم ساعت، بیشترین مقادیر افت مقاومت کششی را داشتند. مقادیر افت مقاومت کششی برای نمونه‌های شاهد در مدت زمان‌های نیم، یک و دو ساعت برابر به ترتیب ۳۱/۴۱، ۴۰/۴۳ و ۵۵/۶۰٪ و برای نمونه‌های حاوی ۱٪ الیاف شیشه به ترتیب برابر ۲۸/۸۰، ۳۵/۲۸ و ۴۲/۳۹٪ بدست آمد.

### ۳-۲-۴- مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حرارت دیده با خنک شدن تسریعی

شکل ۸، نشان می‌دهد که افزایش مدت زمان مواجهه با حرارت  $600^{\circ}\text{C}$ ، کاهش مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حرارت دیده با خنک شدن تسریعی را در پی دارد. کمترین مقدار کسب مقاومت کششی باقی مانده برای نمونه‌های شاهد، در تمامی مدت زمان‌های مواجهه با حرارت اعمالی بدست آمد. برای نمونه‌های حاوی ۱٪ الیاف شیشه، بیشترین مقاومت کششی



شکل ۸- نتایج مقاومت کششی در روش سرد شدن سریع (a: منحنی مقاومت-زمان حرارت دهی b: منحنی مقاومت - مقدار الیاف)

۳-۴- مقایسه افت مقاومت در نمونه‌های کششی و فشاری، نتایج نشان داد که افت قابل ملاحظه‌ای در مقاومت نمونه‌های کششی در مقایسه با نمونه‌های فشاری اتفاق افتاده است. یکی از دلایلی که می‌توان بیان نمود، این است که بعد از اعمال حرارت در مدت زمان‌های مذکور و خنک شدن نمونه‌های حرارت دیده، ترک‌های زیادی در تمامی نمونه‌ها اتفاق می‌افتد. این ترک‌ها در

شکل ۷ و ۸، نشان می‌دهد نمونه‌هایی که آهسته خنک شده بودند، مقاومت کششی باقی مانده بیشتر و افت کمتری در مقایسه با نمونه‌هایی که سریع خنک شده بودند، بدست آوردند. مقاومت کششی باقی مانده نمونه‌هایی که آهسته خنک شده بودند در حدود ۱/۱ تا ۱/۲۶ برابر مقاومت نمونه‌هایی که سریع خنک شده بودند، بدست آمد.



را به همراه دارد. نمونه حاوی ۱٪ الیاف در دمای آزمایشگاه، بهترین عملکرد را به همراه داشت.

مقاومت فشاری نمونه‌های در معرض حرارت با افزایش مدت زمان حرارت دهی، کاهش یافت. همچنین خنک شدن آهسته نمونه‌های حرارت دیده در مقایسه با خنک شدن سریع، افت کمتری را برای مقاومت فشاری را به همراه داشت.

در هر دو روش خنک شدن (دمای آزمایشگاه و تسریعی)، مقاومت فشاری باقی مانده در نمونه‌های شاهد در مقایسه با نمونه‌های الیافی کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان داد. همچنین نمونه حاوی ۱٪ الیاف بیشترین مقاومت فشاری باقی مانده و کمترین افت مقاومت را به دست آورد.

مشابه مقاومت فشاری، مقاومت کششی با افزایش مدت حرارت دهی کاهش یافت. خنک شدن آهسته بر روی مقاومت کششی، در مقایسه با خنک شدن سریع، تأثیر کمی به همراه داشت.

مقایسه مقاومت‌های فشاری، کششی باقی مانده نمونه‌های حرارت دیده، نشان می‌دهد که مقاومت‌های کششی در هر دو روش خنک شدن در مواجهه با حرارت (دمای آزمایشگاه و تسریعی) در مقایسه با مقاومت فشاری، حساستر هستند و ترک‌های به وجود آمده در بتن، تأثیر زیادی بر مقاومت‌های کششی دارد.

نمونه شاهد دارای کمترین میزان مقاومت باقی مانده کششی بوده و میزان افت مقاومت کششی در نمونه‌های شاهد در مقایسه با نمونه‌های الیافی بیشتر مشاهده شد.

الیاف شیشه در حرارت ۶۰۰ °C ذوب نشده و با وجود کاهش خصوصیات الیاف در هنگام مواجهه با این حرارت، باز هم الیاف شیشه در بهبود مقاومت کششی موثر هستند.

روش خنک شدن سریع به دلیل ایجاد شوک حرارتی و کاهش شدید مقاومت در مقایسه با خنک شدن آهسته، روش مناسبی برای خنک شدن بتن نمی‌باشد، لذا جهت رفع این مشکل باید چاره اندیشی شود.

نمونه‌هایی که با آب خنک شده بودند، بیشتر مشاهده شد. شروع و رشد هر ترک جدیدی، سبب کاهش تحمل بار می‌شود. همچنین ترک‌ها در فشار تمایل به بسته شدن و در کشش تمایل به باز شدن دارند. فشار بخار آب تولید شده و اختلاف دما در بتن، به طور قابل توجهی بر رشد ترک و تبدیل ریزترک‌ها به ترک‌های درشت اثر گذار است. در شکل ۹، ترک‌های ایجاد شده در نمونه‌های حرارت دیده نشان داده شده است.



شکل ۹- ترک‌های ایجاد شده در اثر اعمال حرارت

## ۵- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر تأثیر مدت زمان حرارت بالا بر مقاومت فشاری و کششی بتن حاوی الیاف شیشه مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور نمونه‌های بتنی حاوی الیاف شیشه (به مقدار ۱، ۲ و ۳٪) ساخته و در معرض حرارت بالا (۶۰۰ °C) و به مدت زمان هدف نیم، یک و دو ساعت و خنک شدن نمونه‌های مذکور به صورت تدریجی (در معرض دمای هوا) و تسریعی (آب پاشی فوری بعد از مواجهه با حرارت) قرار گرفتند. نمونه مکعبی با ابعاد ۱۵۰ × ۱۵۰ × ۱۵۰ mm و نمونه استوانه‌ای با ابعاد ۱۵۰ × ۳۰۰ mm و به ترتیب برای بررسی مقاومت فشاری و کششی هر کدام به تعداد ۸۴ عدد ساخته شد. نمونه‌ها بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری و کسب مقاومت لازم، در کوره آئیل قرار گرفتند و سپس آزمایشات مورد نظر بر روی آن‌ها انجام شد. نتایج زیر بر اساس انجام آزمایش بر روی نمونه‌ها بدست آمد:

- بررسی مقاومت فشاری در دمای آزمایشگاه، نشان دهنده تأثیر کم الیاف بر بهبود مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد است، ولی در مقامت کششی، حضور الیاف در بتن تأثیر قابل توجهی

strength concrete with and without polypropylene fibers heated to high temperatures”, *Fire Safety Journal*, 2009, 44(8), 1015-1022.

[11]. Yang, H., Lin, Y., Hsiao, C., & Liu, J. Y. (2009). Evaluating residual compressive strength of concrete at elevated temperatures using ultrasonic pulse velocity. *Fire Safety Journal*, 44(1), 121-130.

[12]. Düğenci, O., Haktanir, T., Altun, F. “Experimental research for the effect of high temperature on the mechanical properties of steel fiber-reinforced concrete”, *Construction and Building Materials*, 2015, 75, 82-88.

[13]. Gyu-Yong, K. I. M., Young-Sun, K. I. M., Tae-Gyu, L. E. E. “Mechanical properties of high-strength concrete subjected to high temperature by stressed test”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19, s128-s133, 2009.

[14]. Nadeem, A., Memon, S. A., Lo, T. Y. “The performance of Fly ash and Metakaolin concrete at elevated temperatures”, *Construction and Building Materials*, 2014, 62, 67-76.

[15]. Husem, M. “The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete” *Fire Safety Journal*, 2006, 41(2), 155-163.

[16]. Sakr, K., & El-Hakim, E. “Effect of high temperature or fire on heavy weight concrete properties”, *Cement and concrete research*, 2005, 35(3), 590-596

• به طور کلی در نمونه‌های حرارت دیده، نمونه‌های حاوی ۱٪

الیاف، عملکرد بهتری را در تمامی مقاومت‌های فشاری و کششی از خود نشان دادند.

## ۶- مراجع

[1]. Fletcher, I. A., Welch, S., Torero, J. L., Carvel, R. O., Usmani, A. “Behaviour of concrete structures in fire”, *Thermal science*, 2007, 11(2), 37-52.

[1]. Poon, C. S., Shui, Z. H., Lam, L. “Compressive behavior of fiber reinforced high-performance concrete subjected to elevated temperatures”, *Cement and Concrete Research*, 2004, 34(12), 2215-2222.

[3]. Noumowé, A., Siddique, R., Ranc, G. “Thermo-mechanical characteristics of concrete at elevated temperatures up to 310 C”, *Nuclear Engineering and Design*, 2009, 239(3), 470-476.

[4]. Naus, D. “A Compilation of Elevated Temperature Concrete Material Property Data and Information for Use in Assessments of Nuclear Power Plant Reinforced Concrete Structures: Prepared by DJ Naus”, *US Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research*, 2010.

[5]. Yüzer, N., Aköz, F., Öztürk, L. D. “Compressive strength–color change relation in mortars at high temperature”, *Cement and Concrete Research*, 2004, 34(10), 1803-1807.

[6]. Haddad, R. H., & Ra'ed, M. A. (2004). Effect of thermal cycling on bond between reinforcement and fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 26(6), 743-752.

[7]. Chan, Y. N., Luo, X., Sun, W. “Compressive strength and pore structure of high-performance concrete after exposure to high temperature up to 800 C”, *Cement and Concrete Research*, 2000, 30(2), 247-251.

[8]. Al Qadi, A. N., & Al-Zaidyeen, S. M. (2014). Effect of fibre content and specimen shape on residual strength of polypropylene fibre self-compacting concrete exposed to elevated temperatures. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 26(1), 33-39.

[9]. Demirel, B., Keleştemur, O. “Effect of elevated temperature on the mechanical properties of concrete produced with finely ground pumice and silica fume”, *Fire Safety Journal*, 2010, 45(6), 385-391.

[10]. Behnood, A., Ghandehari, M. “Comparison of compressive and splitting tensile strength of high-

## The Effect of High Temperature on Compressive and Flexural Strength of Concretes Containing Glass Fiber

Amir Hamzeh Keykha \*

Assistant Professor in Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

### Abstract

It is assumed that concrete structures are resistant to fire. Past research in this field has shown that in these structures, numerous problems occur during a fire. During the fire in concrete structures, fire fighters mainly use water to put out the fire. Upon contact with water, a great thermal difference occurs in the heated organ which affects most properties. No independent experimental study, to the researcher's knowledge, has been conducted in order to investigate the effect of increased duration of high temperature on compressive and tensile strength of concrete containing glass fiber exposed to fire. However, the present study aims to investigate the effect of increased duration of high temperature on compressive and tensile strength of concrete containing glass fiber at a rate of 1%, 2%, and 3% exposed to high temperature (600 °C) in three different target times including 30 minutes, one hour, and two hours. Samples were cooled in two ways: slow cooling (exposure to air) and fast cooling (water spray immediately after exposure to heat). A total of 84 cubic samples (size: 150×150×150 mm and cylindrical samples sized 150×300 mm) were prepared for studying compressive strength and tensile strength, respectively. After 28 days of processing and gaining the required strength, samples were put in annealing furnace and the experiments were conducted. The results showed that heat reduces the strength considerably. The slowly-cooled samples showed better performance compared to those cooled quickly. Also, heat caused many cracks in concrete samples.

**Keywords:** High Temperature; Glass fiber; Compressive Strength Concrete; Tensile Strength Concrete.

---

\* Corresponding Author: ah.keykha@iauzah.ac.ir

