

## بررسی رفتار پس از حرارت بتن سبک خودتراکم حاوی فنر و الیاف

قاسم پاچیده

دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

مجید قلهکی\*

دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

### چکیده

در این مقاله، تأثیر افزودن الیاف به بتن سبک (حاوی سبکدانه ی لیکا) خودتراکم تحت شرایط پس از حرارت های بالا (۲۵-۱۰۰-۲۵۰-۵۰۰-۷۰۰ درجه ی سانتی گراد) در قالب آزمایشات مقاومت فشاری، کششی و خمشی بررسی شد. در آزمایشات، ۳ نوع الیاف شامل الیاف فولادی و پلی پروپیلن و فنر فولادی به میزان ۰/۴٪ حجمی بتن استفاده شد. بطور کلی نتایج حاکی از آنست که استفاده از الیاف فولادی و فنر تا ۲۰٪ مقاومت فشاری بتن را افزایش می دهد. می توان از الیاف پلی پروپیلن در بهبود مقاومت کششی بتن استفاده نمود چراکه تا ۷۰٪ مقاومت کششی را در شرایط پس از دماهای بالا افزایش می دهد. همچنین در دمای ۷۰۰ درجه مقاومت خمشی کلیه نمونه ها ناچیز بوده و در اثر وزن خود منهدم شدند. همچنین بعلت افت شدید مقاومت در شرایط پس از دمای ۵۰۰ درجه، پس از این دما بتن سبک خودتراکم قابلیت خدمت رسانی ندارد.

واژه های کلیدی: بتن سبک خودتراکم، مشخصات مکانیکی، فنر، الیاف فولادی و پلی پروپیلن، حرارت.

---

\* نویسنده مسئول: mgholhaki@semnan.ac.ir

## ۱- مقدمه

مظاهری پور و همکاران [۹] نشان دادند که استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن سبک خودتراکم تأثیر چندانی در رفتار مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته ی آن نداشته اما مقاومت کششی و خمشی افزایش می یابد. در مطالعه ی دیگر، Klein و همکاران [۱۰] بتن سبک خودتراکم کامپوزیتی حاوی الیاف فولادی و پلی استر ارائه کردند که در آن درصد بهینه ی الیاف را تعیین کردند بختیاری و همکاران مقاومت پس از آتش بتن های خودتراکم تحت دماهای ۱۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ درجه ی سانتی گراد را بررسی و نتایج آن را با بتن های معمولی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که افت مقاومت بتن های معمولی در شرایط پس از دماهای بالا بیشتر از بتن خودتراکم بوده، هرچند بتن های خودتراکم دچار پوسته شدن بیشتری شدند [۱۱]. پدیده پوسته شدن بتن های خودتراکم در شرایط پس از دماهای زیاد، می تواند به کمک الیاف های سنتتیک بهبود بخشیده شود [۱۵-۱۲].

Fares و همکاران به بررسی تأثیر دماهای بالا بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بتن های خودتراکم پرداختند. یافته های آزمایشگاهی آن ها نشان داد که نفوذپذیری بتن های خودتراکم ارتباط خوبی با مقاومت فشاری و خسارت بتن در شرایط پس از حرارت دارد [۱۶].

Hao و Hao در سال ۲۰۱۳ الیاف فولادی فبری ای به منظور بهبود رفتار دینامیکی بتن های مسلح پیشنهاد دادند. اما بعلا اینکه سائز نمونه ها در مقیاس کوچک آزمایشگاهی بوده لذا انجام آزمایشات در مقیاس های بزرگ تر نیز پیشنهاد شد [۱۷].

نتایج نشان داد که بتن حاوی الیاف فبری فولادی به مقدار ۱٪ حجمی، مقاومت و جذب انرژی بیشتری نسبت به سایر نمونه ها دارد [۱۸]. استفاده از فنر در بتن به علت عملکرد سه بعدی و محصور شدگی مناسب بین سنگدانه ها و خمیر سیمان، مقاومت و شکل پذیری بیشتری نسبت به سایر الیاف ها از خود نشان داد [۱۹]. طبق تحقیقات Lankard در سال ۱۹۷۲ اگر مقدار استفاده ی فنر در بتن از حدود ۱۰۰ کیلوگرم در مترمکعب بیشتر شود، کارایی و همگن بودن بتن زیر سوال می رود و باید تدابیر خاصی برای اختلاط آن در بتن فراهم نمود [۲۰].

قلھکی و همکاران در سال ۱۳۹۶ به بررسی اثر حرارت بر بتن های حاوی الیاف فولادی و پلی پروپیلن پرداختند. آن ها دو طرح اختلاط با عیارهای سیمان ۴۰۰ و ۷۰۰ و نسبت حجمی ۰/۶ درصد

تلاش هایی که برای ساختن بتن سبک در اروپا و آمریکا صورت گرفته است به حدود سال های ۱۹۶۰ بر میگردد. Malhotra به کمک با ساختن بتنی حاوی سنگدانه های رسی منبسط شونده به بتن سبکی با مقاومت فشاری ۷۰ مگاپاسکال و چگالی ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب دست یافت [۱]. در سال ۱۹۹۰ Shchenov و Withcomb به کمک سنگدانه های سیلیسی سبک بتنی با مقاومت حدود ۷۰ مگاپاسکال و چگالی ۱۸۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب ساختند [۲]. Rossignolo و همکارانش نیز به کمک دانه های سبک، به بتنی با مقاومت بالا دست یافتند [۳].

مطالعات پیرامون استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن سبکدانه ی خودتراکم نشان داده است که این الیاف تأثیر قابل توجهی بر مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن سبک نداشته اما مقاومت کششی و مدول گسیختگی بتن را بهبود می بخشد [۴].

از مزایای بکارگیری بتن سبک خودتراکم در سازه ها میتوان به کاهش قابل ملاحظه بارهای مرده اشاره نمود. این درحالی است که خصوصیات مقاومتی و دوام این نوع بتن قابل مقایسه با خصوصیات بتن خودتراکم ساخته شده با سنگدانه های معمولی می باشد [۵]. این کاهش بار مرده در سازه ها می تواند منجر به کاهش سطح مقطع اعضای سازه ای شده و بنابراین باعث کاهش هزینه های ساخت می گردد [۶].

نتایج تحقیقات اخیر نشان می دهد که بکارگیری میکروالیاف فولادی در بتن سبک خودتراکم می تواند منجر به افزایش مقاومت کششی و ایجاد رفتار سخت شوندگی کرنشی گردد [۵]. کاربرد الیاف پلی پروپیلن در بتن سبک خودتراکم می تواند باعث کاهش قابل ملاحظه کرائی و روانی بتن گردیده و از طرفی با افزایش میزان الیاف، خصوصیات مقاومتی بتن از قبیل مقاومت کششی و خمشی بهبود می یابد [۷].

Thiago و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی آزمایشگاهی خصوصیات مکانیکی بتن سبک خودتراکم حاوی الیاف فولادی پرداختند. با افزایش استفاده از الیاف در بتن، مقاومت کششی و خمشی افزایش یافت. همچنین با مقایسه ی بتن سبک خودتراکم با بتن معمولی، درصد عایق حرارتی آن ها نیز با یکدیگر مقایسه شد [۸].

حجمی جهت تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی ساخته و پس از قرار گرفتن در دماهای ۲۵، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ درجه ی سانتیگراد و سپس سرد شدن آن ها مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به اینکه استفاده ی بیش از مقدار ۰/۶ درصد از فنر در بتن را احتمال در هم پیچیدگی و ایجاد فاصله بین سنگدانه ها در بتن را افزایش خواهد داد، لذا بعنوان یک درصد بهینه و مناسب، الیاف و فنر به مقدار ۰/۴٪ به بتن اضافه شد.

## ۲-۱- مشخصات مصالح طرح اختلاط

جدول ۱ مشخصات مصالح مورد استفاده در ساخت بتن های مورد آزمایش را نشان می دهد. سیمان بکار رفته از نوع پوزولانی تیپ ۲ تولید کارخانه سیمان شاهرود (با مقاومت فشاری ۳ روزه و ۲۸ روزه به ترتیب برابر ۳۱/۲ و ۴۸/۷ مگاپاسکال) بوده که آنالیز شیمیایی آن در جدول ۲ آورده شده است. مشخصات فیزیکی و مکانیکی فنر فولادی استفاده شده که توسط دستگاه کشش آزمایشگاه مهندسی مواد دانشگاه سمنان تعیین شد و همچنین الیاف فولادی و پلی پروپیلن، در جدول ۳ آورده شده است. شکل ۱ تصویر فنر فولادی و الیاف فولادی و پلی پروپیلن مصرفی در این مطالعه را نشان می دهد.

کل بتن از الیاف استفاده کردند. نتایج نشان داد که در شرایط پس از حرارت، مقاومت فشاری بتن های حاوی الیاف فولادی حدود ۴۰ درصد بیشتر از مقاومت فشاری بتن های حاوی الیاف پلی پروپیلن می باشد [۲۱].

در این مقاله با توجه به مطالعات انجام شده و همچنین عدم وجود تحقیقات جدی بر روی رفتار پس از حرارت بتن های سبک خودتراکم حاوی فنر، به مقدار ۰/۴ درصد حجمی الیاف فولادی و پلی پروپیلن و فنر فولادی به بتن اضافه و رفتار آن در شرایط دماهای بالا بررسی شده است. دماهای انتخابی و تست های مورد نظر عبارت است ۲۵، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ درجه و مقاومت فشاری، کششی و خمشی. در نهایت، نحوه ی ایجاد ترک در نمونه های فشاری در دماهای مختلف بررسی و روابط پیشنهادی برای تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن سبک خودتراکم نیز ارائه شد.

## ۲- برنامۀ آزمایشگاهی

در این مطالعه تعداد ۱۲۰ عدد نمونه ی استوانه ای به ابعاد ۱۰\*۲۰ سانتی متر و ۲۰ عدد تیر خمشی بتنی به ابعاد ۱۰\*۱۰\*۵۰ سانتی متر حاوی فنر فولادی و الیاف فولادی و پلی پروپیلن به مقدار ۰/۴٪

جدول ۱- مشخصات مصالح مصرفی در بتن

سیمان	شن	ماسه	آب	نوع روان کننده
تیپ ۲ (شاهرود)	ریزدانه (گوهر)	دوبار شور	آب شرب شهر تهران	ابر روان ساز کربوکسیلاتی

جدول ۲- آنالیز شیمیایی سیمان مصرفی

L.O.I	CaCO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO
2.4	-	2.1	1.15	63.33	3.3	4.86	21.9

جدول ۳- خواص فیزیکی و مکانیکی الیاف و فنر فولادی استفاده شده

نام الیاف	مقطع	طول (mm)	قطر (mm)	قطر/طول	مقاومت کششی (MPa)	چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	مدول الاستیسیته (GPa)
فنر فولادی (SP)	دایره	۲۵	۰/۸	۳۱/۲۵	>۱۲۰۰	۷۸۵۰	۱۶۰
الیاف فولادی (SF)	دایره	۵۰	۰/۸	۶۲/۵۰	>۱۲۰۰	۷۸۵۰	۱۶۰
الیاف پلی پروپیلن (PPF)	دایره	۱۲	ناچیز	-	۴۰۰	۹۱۰	۳/۵ - ۳/۹

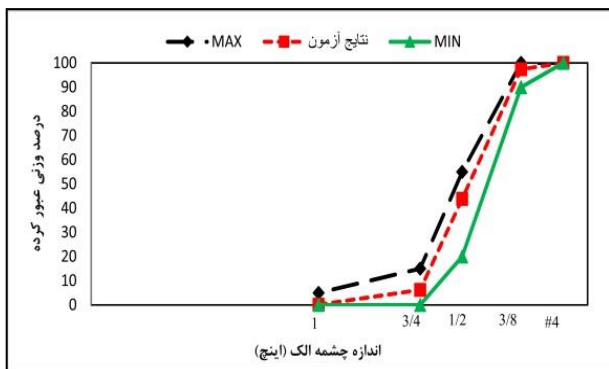
کہ در آن،  $D$  قطرہ ی حفرہ ی فتر ( در این پژوهش برابر ۱۲ میلی متر)،  $d$  قطر مفتول فتر کہ برابر ۸ دہم میلی متر و  $H$  طول فتر (۲/۵ سانتی متر) می باشد. پارامترہای  $A$ ،  $SF$ ،  $SP$  و  $PPF$  بہ ترتیب بیانگر نمونہ ہای شاهد (نمونہ فاقد فتر و الیاف)، نمونہ ہای حاوی الیاف فولادی، فتر و الیاف پلی پروپیلن می باشند.

ہمچنین بر روی مصالح سنگی مورد استفادہ در ساخت بتن، در آزمایشگاہ مکانیک خاک معدن شن و ماسہ ی تیغاب ورامین آزمایش دانہ بندی انجام شد. بر طبق این پژوهش، بہ ذرات کوچکتر از ۵ میلی متر ماسہ (مدول نرمی ۲/۷۸) و ذرات بین ۵ الی ۱۸ میلی متر شن ریزدانہ (نخودی) اطلاق می شود. بعلت اینکہ قطر حفرہ ی فتر استفادہ شدہ برابر ۱۲ میلی متر است، لذا از مصالح شن درشت دانہ (بادامی) کہ قطر سنگدانہ ہای آن بسیار بزرگ تر از قطر حفرہ ی فتر بکار رفتہ در این پژوهش می باشد و تقریباً در داخل فتر نفوذ نمی کند، استفادہ شدہ است. ہمچنین از لیکای مصنوعی بعنوان سبکدانہ در ساخت بتن استفادہ شدہ کہ محدودہ ی وسیعی از سایزہا را در بر می گیرد. شکل ۳ تصویر لیکای استفادہ شدہ در اندازہ ہای مختلف را نشان می دہد.



شکل ۳- لیکای استفادہ شدہ در ساخت بتن

در اشکال ۴ تا ۶ منحنی دانہ بندی شن، ماسہ و لیکای مصرفی نشان دادہ شدہ است.



شکل ۴- منحنی دانہ بندی شن



الف- الیاف فولادی



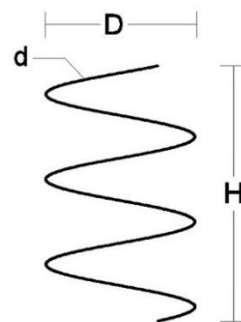
ب- الیاف پلی پروپیلن



ج- فتر فلزی

شکل ۱- الیاف و فتر فولادی بکار رفتہ در بتن

فتر بکار رفتہ در این پژوهش، از جنس گالوانیزہ بودہ و از بازیافت فترہای مورد استفادہ در صنعت لوازم التحریر استفادہ شدہ است. قابل ذکر است کہ خصوصیات گالوانیزہ از جملہ مقاومت حرارتی، مدول الاستیسیتہ، چگالی و... تقریباً با خصوصیات فولاد برابر بودہ و رفتار مشابهی دارند. جزئیات ہندسی نمای فتر فلزی در شکل ۲ نشان دادہ شدہ است.



شکل ۲- جزئیات ہندسی نمای فتر فلزی

بررسی رفتار پس از حرارت بتن سبک خودتراکم حاوی ...

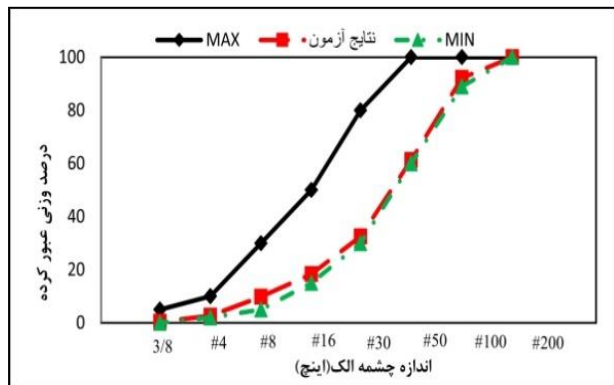
طبیعی، سبکدانه (لیکا)، سیمان و آب باقیمانده به میکسر اضافه شد. الیاف و فتر به تدریج در حدود ۲ الی ۳ دقیقه به بتن اضافه و به مدت ۳ دقیقه نیز میکسر در این حالت کار کرده تا بتن موردنظر ساخته شود.

### ۳-۲- روش آزمایش

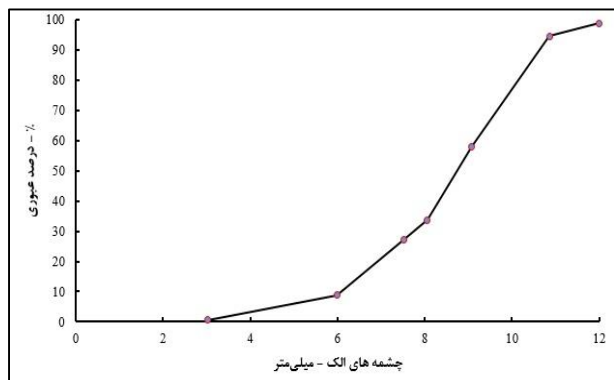
عمل آوری نمونه ها مطابق استاندارد ASTM C511 و بر روی بتن های ۲۸ روزه انجام شد. پس از اینکه به میزان مورد نظر (طبق طرح اختلاط) مخلوط بتن به همراه الیاف و فتر ساخته، سپس نمونه گیری بتن ها در نمونه های استوانه ای ۱۰\*۱۰\*۲۰ سانتی متر و نمونه های خمشی ۱۰\*۱۰\*۵۰ سانتی متر انجام شد.

هر قالب، در سه مرحله بتن ریزی و در هر بار ویریه گردید. پس از مدت ۲۴ ساعت قالب ها باز و داخل حوضچه ی آب با دمای حدود ۲۵ درجه ی سانتی گراد قرار گرفته و نمونه ها پس از مدت ۲۸ روز از داخل حوضچه ی آب خارج شده و سپس در کوره الکتریکی قرار داده شد. پس از عمل آوری نمونه ها، دماهای انتخابی برای انجام آزمایش در کوره ی الکتریکی به ترتیب ۲۵ - ۱۰۰ - ۲۵۰ - ۵۰۰ و ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد مورد بررسی قرار گرفت. نرخ افزایش درجه حرارت تا رسیدن به دمای مورد نظر برابر ۵ درجه سانتی گراد بر هر دقیقه انتخاب گردید. به منظور حصول اطمینان از رسیدن تمامی قسمت های بیرونی و داخلی نمونه ها به دمای موردنظر، برای هر دما به تعداد ۳ عدد نمونه ی آزمایشی ساخته و در مرکز آن ترموکوپل سری K با قابلیت رسیدن به حداکثر دمای ۱۰۰۰ درجه ی سانتی گراد، قرار داده شد. طبق نتایج بدست آمده بطور میانگین بسته به شدت دمای اعمالی به نمونه حدود ۶۰ دقیقه زمان صرف می شود تا مرکز بتن به دمای موردنظر برسد.

همچنین طبق تحقیقات Mohamedbhai در سال ۱۹۸۶ برای رسیدن کل حجم نمونه ی بتنی به دمای مورد نظر (بسته به قدرت کوره الکتریکی) حدود یک ساعت زمان احتیاج است [۲۲]. شکل ۷ نرخ تغییرات دمای داخل کوره و مرکز نمونه های بتنی را بر حسب ساعت نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود، حداقل زمان بین رسیدن دمای داخل کوره و مرکز بتن به دمای موردنظر، حدود یک ساعت بطول می انجامد.



شکل ۵- منحنی دانه بندی ماسه



شکل ۶- منحنی دانه بندی لیکا

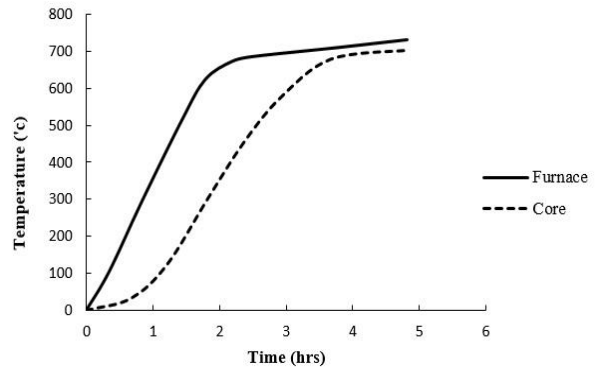
### ۲-۲- طرح اختلاط بتن مصرفی

نسبت آب به سیمان مورد استفاده در این پژوهش برابر با ۰/۴ در نظر گرفته شد. همچنین از مجموع کل سنگدانه ها (شن و ماسه)، ۳۵٪ شن (ریزدانه)، ۵۳٪ ماسه ی دوبار شور (طبیعی)، ۱۸٪ لیکا و به مقدار ۱۰٪ از ابر روانساز پرکربوکسیلاتی شرکت بتن شیمی خاتم به عنوان کاهنده ی آب و افزایش کارپذیری بتن استفاده شده و نحوه ی اختلاط الیاف و فتر به نسبت حجمی کل بتن صورت گرفت. کلیه ی مراحل اختلاط، ساخت و عمل آوری نمونه های استوانه ای، در آزمایشگاه تکنولوژی بتن دانشگاه سمنان انجام شد. با انجام آزمایش بر روی مصالح سنگی، مقدار چگالی شن، ماسه و لیکا بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب برابر ۱۸۴۸، ۱۵۰۰ و ۴۰۰ بدست آمد.

نحوه ی اختلاط مصالح برای ساخت بتن، طبق آیین نامه ASTM C192 انجام شد. ابتدا شن ریزدانه (نخودی) به میکسر اضافه شده، سپس حدود یک سوم آب به آن افزوده و میکسر روشن شد و شروع به چرخیدن کرد. در نهایت به تدریج ماسه



الف) نمای روبروی کوره الکتریکی



شکل ۷- نرخ تغییرات دمای داخل کوره و مرکز بتن نسبت به زمان



ب) فضای داخلی کوره الکتریکی



پ) طرز قرارگیری نمونه ها در داخل کوره الکتریکی

شکل ۸- تصاویر کوره الکتریکی مورد استفاده



ب)



الف)

شکل ۹- نحوه ی ایجاد ترک در نمونه ها پس از خارج شدن از

کوره در دمای ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد

بنابراین نمونه ها به مدت یک ساعت، پس از رسیدن دمای داخلی کوره به دمای مورد نظر، به منظور اینکه قسمت درونی بتن نیز به دمای مورد نظر برسد و تمام قسمت های نمونه هم‌دم شود، در همان دما باقی ماندند. بعلت اینکه کاهش دمای نمونه ها به آرامی صورت پذیرد، پس از رسیدن دمای داخلی کوره به دمای مورد نظر، به مدت یک ساعت نیز کوره در حالت خاموش قرار گرفته و سپس درب کوره به آرامی و به تدریج باز شده و پس از چند دقیقه نمونه ها خارج شدند. این فرآیند، مانع از ایجاد شوک دمایی به نمونه ها هنگام سرد شدن می گردد. اشکال ۸-الف تا ۸-پ تصاویر کوره ی الکتریکی مورد استفاده در این تحقیق به همراه نمونه های بتنی درون آن با مشخصات مدل A160 شرکت ATBIN که بصورت برق سه فاز کار می کند را نشان می دهد. لازم به ذکر است دهانه ورودی کوره الکتریکی به ابعاد ۴۵\*۴۵ و به عمق ۶۵ سانتی متر بوده که در محفظه داخلی کوره دما بصورت یکنواخت توزیع می شود.

پس از انجام عملیات حرارتی و سرد شدن کامل نمونه ها، کلیه نمونه ها در زیر جک، تحت آزمایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی قرار گرفتند. سرعت بارگذاری دستگاه ۰/۵ مگاپاسکال بر ثانیه بر طبق استاندارد EN-12390-13 [۲۳] انتخاب گردید. در شکل ۹، تصاویر برخی از نمونه ها پس از انجام عملیات حرارتی در دمای ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد نشان داده شده است.

همانطور که از شکل ۹ مشاهده می شود، اعمال حرارت های بالا بر بتن، باعث ایجاد ترک هایی در سطح آن شده که بصورت شبکه ای به هم متصل اند. همچنین با توجه به اینکه در این دما، بخش عظیمی از آب و سیمان بتن تبخیر شده لذا درون بتن تقریباً پوک شده و اصطلاحاً حالت کریستالی یا شیشه ای پیدا می کند.



### ۳- انجام آزمایش و بررسی نمونه ها

سبک، مقاومت فشاری تا ۲۵٪ افزایش می یابد. الیاف فولادی و فنر عملکرد تقریباً مشابهی داشته اما الیاف پلی پروپیلن بعلت چسبندگی و همگنی مناسبتر با لیکا و خمیر سیمان، مقاومت فشاری را به مقدار بیشتری نسبت به سایر الیاف ها بهبود بخشید.

با توجه به شکل ۱۲ در دمای ۱۰۰ درجه ی سانتی گراد، با توجه به اینکه مقدار بسیار کمی از آب و سیمان درون بتن تبخیر شده و عملکرد بتن در برابر فشار تقریباً مشابه دمای ۲۵ درجه ی سانتی گراد بهبود بخشیده شد. اما مقاومت فشاری بتن سبک حاوی الیاف پلی پروپیلن نسبت به دمای ۲۵ درجه کاهش یافت. در این دما نیز عملکرد و مقاومت فشاری بتن حاوی الیاف فولادی و فنر تقریباً با یکدیگر برابر می باشد.

با توجه به شکل ۱۳ در دمای ۲۵۰ درجه ی سانتی گراد، شروع تبخیر آب و سیمان درون بتن بوده و مقاومت فشاری در همه ی نمونه ها نسبت به دمای ۱۰۰ درجه ی سانتی گراد کاهش یافت. در این دما همچنان عملکرد الیاف فولادی و فنر در بتن مشابه بوده و بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن کاهش مقاومت ناشی از تبخیر آب و سیمان را جبران کرده و مقاومت در این نمونه نسبت به نمونه ی شاهد افزایش یافت. با این حال، افزودن الیاف فولادی و فنر رشد بیشتری در بهبود مقاومت فشاری نسبت به الیاف پلی پروپیلن دارد. با توجه به شکل ۱۴ در دمای ۵۰۰ درجه ی سانتی گراد، مقاومت بتن حاوی فنر بیش از سایر نمونه ها بوده تا ۱۷٪ مقاومت فشاری را افزایش داد. در این دما تقریباً الیاف پلی پروپیلن عملکرد خود را درون بتن از دست داده و افزودن آن به بتن تنها باعث افزایش مقاومت فشاری نشده بلکه کاهش هم یافت.

با توجه به شکل ۱۵ در دمای ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد، در تمامی نمونه ها به یکباره مقاومت فشاری کاهش چشمگیری داشته و عملاً بتن مقاومت چندانی ندارد و با تقریب مناسبی می توان گفت حتی با افزودن الیاف یا فنر به بتن، در دمای ۸۰۰ درجه ی سانتی گراد بافت درونی مصالح و سنگدانه ها از بین رفته و بتن به حالت ناپایداری می رسد.

در مجموع با جمع بندی مطالب حاصل از اشکال ۱۱ تا ۱۵ می توان به این نکته اشاره نمود که تقریباً در همه ی دماها مقاومت فشاری بتن سبک حاوی الیاف فولادی و فنر نسبت به سایر نمونه ها بیشتر بوده، لذا توصیه می شود از الیاف پلی پروپیلن در بتن سبک خودتراکم استفاده نشود. البته وجود مقادیر کم الیاف پلی پروپیلن در بتن باعث کاهش ترک های عمیق در شرایط پس از حرارت های بالا شده و انهدام بتن آهسته تر رخ می دهد.

با توجه به اینکه در این مقاله رفتار پس از حرارت (دماهای بالا) نمونه ها بایستی بررسی شود، بنابراین هنگامی که نمونه ها از داخل کوره الکتریکی خارج شدند، حدود ۴۸ تا ۷۲ ساعت صبر کرده تا دمای بتن به حدود ۲۵ درجه سانتی گراد رسیده و سپس مقاومت فشاری، کششی و خمشی نمونه ها اندازه گیری می شود.

### ۳-۱- مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها (پس از سرد شدن) طبق آیین نامه ASTM C39 انجام شد. نمای کلی نحوه ی انجام آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های استوانه ای که توسط جک هیدرولیک با ظرفیت ۲۰۰۰ کیلونیوتن و سرعت بارگذاری ۰/۵ مگاپاسکال بر ثانیه انجام شد، در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



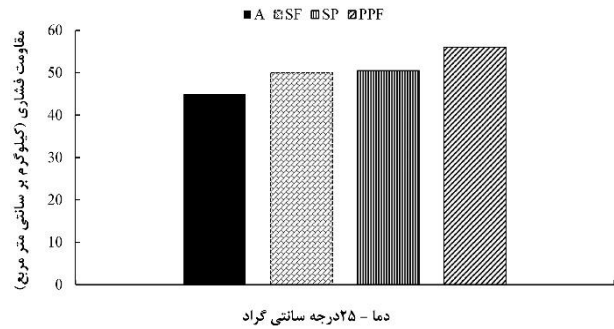
الف) نحوه ی قرارگیری نمونه (ب) نحوه ی شکست نمونه ها در زیر جک پس از آزمایش مقاومت فشاری  
شکل ۱۰- آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها

همانطور که از شکل ۱۰-الف مشخص است، برای انجام آزمایش مقاومت فشاری، نمونه ها بین دو فک که به فاصله ی ۲۰ سانتی متر از یکدیگر قرار دارند، قرار داده شده و با سرعت مناسب تحت فشار قرار می گیرند. شکل ۱۰-ب نحوه ی ایجاد ترک هنگام وقوع شکست نمونه ها در زیر جک را نشان می دهد. همانطور که پیداست نمونه ها بصورت ترک های عمیق قطری شکسته می شوند.

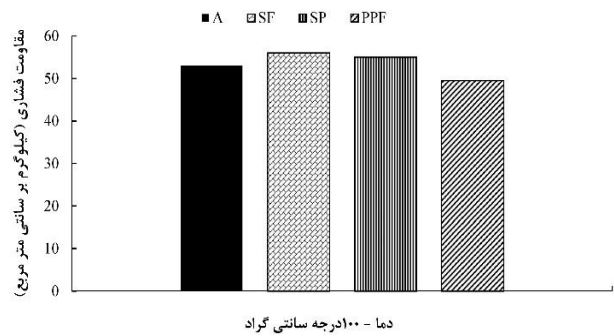
اشکال ۱۱ الی ۱۵ نمودارهای مقاومت فشاری نمونه ها با توجه به تغییرات دمایی پس از سرد شدن را نشان می دهد. با توجه به شکل ۱۱ در دمای ۲۵ درجه ی سانتی گراد، با افزودن الیاف و فنر به بتن



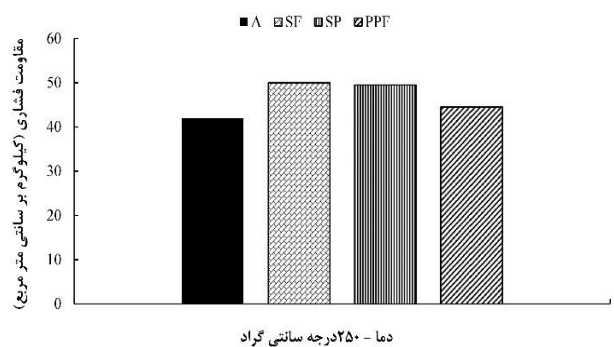
شکل ۱۵- نمودار مقاومت فشاری بر حسب دما - ۷۰۰ درجه سانتی گراد



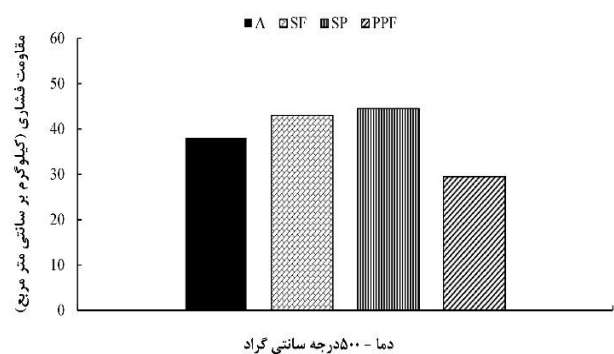
شکل ۱۱- نمودار مقاومت فشاری بر حسب دما - ۲۵۰ درجه سانتی گراد



شکل ۱۲- نمودار مقاومت فشاری بر حسب دما - ۱۰۰ درجه سانتی گراد



شکل ۱۳- نمودار مقاومت فشاری بر حسب دما - ۲۵۰ درجه سانتی گراد



شکل ۱۴- نمودار مقاومت فشاری بر حسب دما - ۵۰۰ درجه سانتی گراد

### ۲-۳- مقاومت کششی

برای انجام آزمایش مقاومت کششی نمونه ها، از روش کشش غیرمستقیم یا روش برزلی طبق آیین نامه ASTM C496 استفاده شد. روش انجام آزمایش بدین صورت است که نمونه بصورت افقی یا خوابیده در زیر جک قرار گرفته بطوری که هیچگونه انحرافی در راستای خود ندارد. سپس جک هیدرولیک مورد نظر با اعمال نیرو، منجر به شکست نمونه می شود. جک هیدرولیک مورد استفاده، دارای ظرفیت ۲۰۰۰ کیلونیوتن بوده و با سرعت ۰/۵ مگاپاسکال بر ثانیه بار را اعمال می کند. مقاومت کششی بتن بر حسب نیوتن بر میلی متر مربع طبق رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi DL} \quad (1)$$

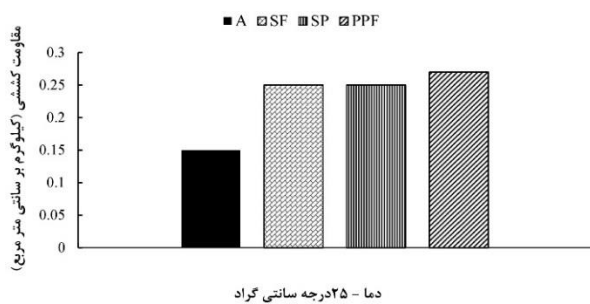
که در آن P برابر است با مقدار بار وارده بر حسب نیوتن، D قطر نمونه ی استوانه ای (۱۰۰ میلی متر) و L طول نمونه ی استوانه ای (۲۰۰ میلی متر) می باشد.

اشکال ۱۶ الی ۲۰ روند تغییرات مقاومت کششی نمونه ها با توجه به تغییرات دما پس از سرد شدن را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود با توجه به شکل ۱۶ در دمای ۲۵ درجه ی سانتی گراد با افزودن الیاف فولادی و پلی پروپیلن و فنر به بتن، مقاوم کششی آن تا حدود دو برابر افزایش می یابد. بعلت ارتباط و چسبندگی مناسب الیاف پلی پروپیلن با مصالح سنگی و خمیر سیمان، بخصوص لیکا، مقاومت آن نسبت به سایر نمونه ها افزایش بیشتری دارد. در این دما، عملکرد الیاف و فنر فولادی مشابه یکدیگر بوده و به یک میزان مقاومت را افزایش دادند.

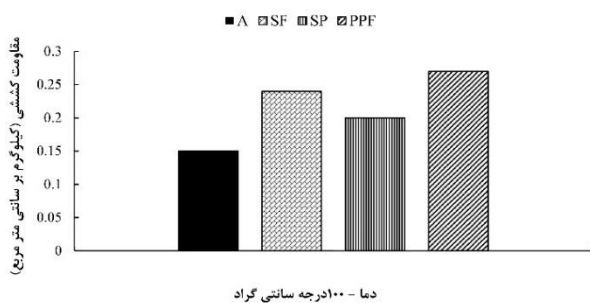
با توجه به شکل ۱۷ در دمای ۱۰۰ درجه ی سانتی گراد با افزودن الیاف و فنر بر مقاومت کششی بتن سبک خودتراکم افزوده شد.



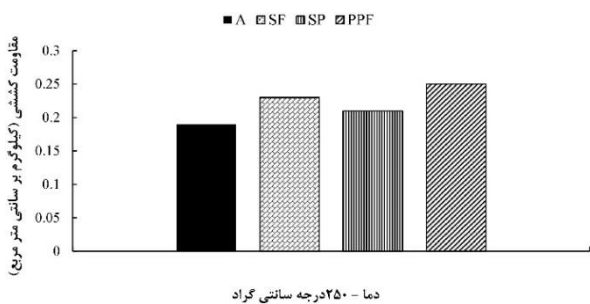
در مجموع با جمع بندی نتایج حاصل از اشکال ۱۶ تا ۲۰ می توان به این نکته دست یافت، با وجود اینکه استفاده از الیاف و فنر در بتن طی دماهای مختلف همواره مقاومت کششی را کاهش می دهد، اما استفاده از آن در بتن مقاومت کششی را نسبت به حالت بدون الیاف افزایش داده و مخصوصاً تا دمای ۲۵۰ درجه ی سانتی گراد این افزایش مقدار قابل توجهی می باشد. در مجموع استفاده از الیاف فولادی در بتن تحت شرایط پس از حرارت، مقاومت کششی را به مقدار مطلوبتر و بیشتری افزایش می دهد اما می توان با انتخاب و شناخت دقیق تر رفتار فنر در بتن، مقاومت های به مراتب بیشتری از بتن سبک حاوی فنر بدست آورد.



شکل ۱۶- نمودار مقاومت کششی بر حسب دما - ۲۵ درجه ی سانتی گراد



شکل ۱۷- نمودار مقاومت کششی بر حسب دما - ۱۰۰ درجه ی سانتی گراد



شکل ۱۸- نمودار مقاومت کششی بر حسب دما - ۲۵۰ درجه ی سانتی گراد

بعلت اینکه در این دما آنچنان فعل و انفعالات شیمیایی چندانی رخ نمی دهد، لذا مشابه دمای ۲۵ درجه، در این دما نیز چسبندگی و مقاومت بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن بیشتر از سایر نمونه ها می باشد. با توجه به اینکه افزایش دمای داخل بتن به مقدار ۱۰۰ درجه ی سانتی گراد بوده لذا به مقدار ناچیزی از آب و سیمان داخل آن تبخیر شده و در نقاط مرزی ای که فنر در داخل بتن درگیر بوده، تاحدودی فاصله افتاده و باعث شده است که برخلاف مقدار مقاومت کششی در دمای ۲۵ درجه در الیاف فولادی و فنر، مقاومت کششی بتن حاوی فنر کمتر از مقاومت کششی بتن حاوی الیاف فولادی باشد. لذا می توان با تغییر در خصوصیات فیزیکی و جنس فنر، این مسأله را بهبود بخشید.

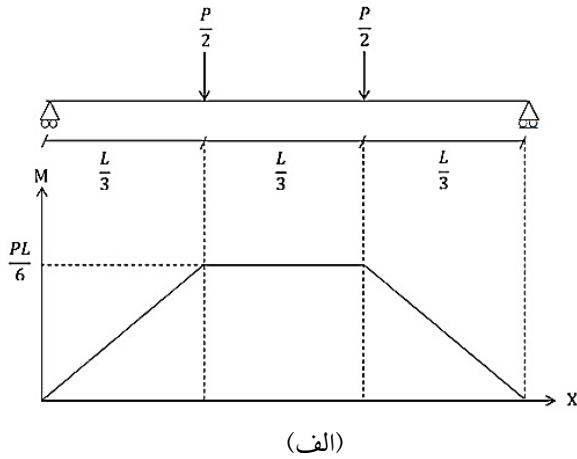
با توجه به شکل ۱۸ در دمای ۲۵۰ درجه ی سانتی گراد مقاومت کششی نیز با افزودن الیاف و فنر بر مقاومت بتن سبک خودتراکم افزوده شد. به تدریج با افزایش دما و از بین رفتن سیمان و آب موجود در بتن، وجود الیاف و فنر نقش اساسی تری در تعیین مقاومت کششی بتن ایفا خواهند کرد. با توجه به شکل ۱۶ الیاف یا فنر تا حدود ۳۰٪ مقاومت کششی را بهبود می بخشد.

با توجه به شکل ۱۹ در دمای ۵۰۰ درجه ی سانتی گراد، سیمان و آب به مقدار بیشتری تبخیر شده و فاصله ی بین حفرات فنر و سنگدانه ها بیشتر شده، لذا وجود فنر در بتن نتوانسته به میزان الیاف فولادی مقاومت کششی را افزایش دهد. همچنین در این دما مقاومت کششی بتن حاوی الیاف پلی پروپیلن و فنر فولادی مقاومت کمتری نسبت به نمونه ی شاهد از خود نشان داده است.

با توجه به شکل ۲۰ در دمای ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد، به یکباره در همه ی نمونه ها افت بسیار شدید در مقاومت نمونه ها مشاهده شد. سبکدانه ی لیکا برخلاف چگالی اندکی که دارد اما از مقاومت حرارتی مناسبی برخوردار بوده و عایق خوبی در برابر صوت و حرارت می باشد. اما از دمای ۷۰۰ درجه به بعد بافت های داخلی لیکا سوخته و مقاومت خود را تقریباً از دست می دهد. به همین علت در این دما کلیه ی نمونه ها مقاومت چندانی ندارند، با این وجود افزودن الیاف و فنر به بتن سبک، در دمای ۷۰۰ درجه نیز به بهبود مقاومت کششی آن کمک کرده است. بطوری که الیاف فولادی، پلی پروپیلن و فنر فولادی به ترتیب ۶۰٪، ۳۰٪ و ۳۰٪ مقاومت کششی را دمای ۷۰۰ درجه نسبت به نمونه ی شاهد بهبود بخشید.

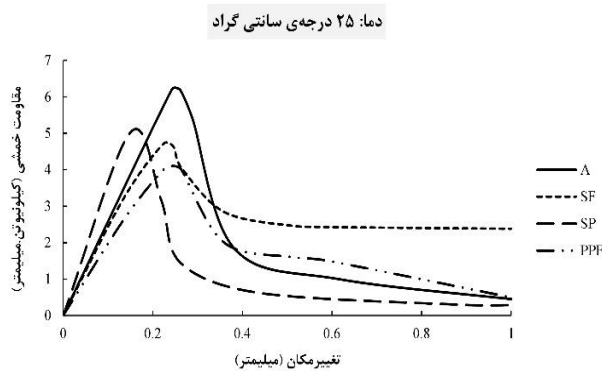
### ۳-۳- مقاومت خمشی (مدول گسیختگی)

برای انجام آزمایش مقاومت خمشی، به منظور ایجاد خمش خالص در تیر بتنی، از تست چهار نقطه ای استفاده شد. نحوه ی انجام آزمایش و بارگذاری در شکل ۲۲ نشان داده شده است.

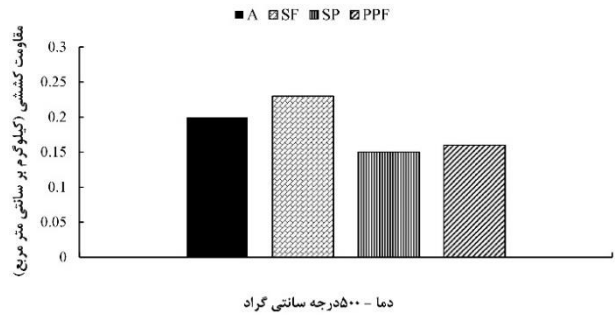


شکل ۲۲- نحوه ی انجام آزمایش خمش بر روی نمونه ها

همانطور که از شکل ۲۲-ب مشاهده می شود وقوع ترک در ناحیه ی یک سوم میانی تیر رخ می دهد. در اشکال ۲۳ تا ۲۶ نمودارهای مقاومت خمشی بر حسب تغییر مکان نمونه ها نشان داده شده است.

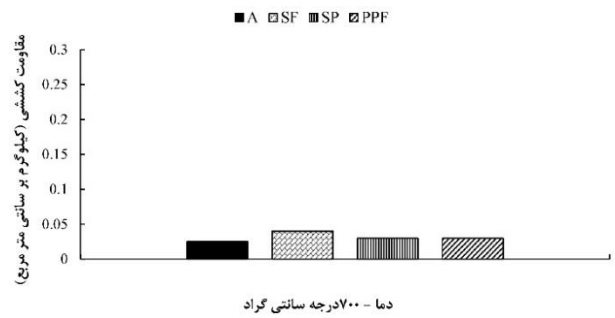


شکل ۲۳- نمودار مقاومت خمشی در دمای ۲۵ درجه ی سانتی گراد



شکل ۱۹- نمودار مقاومت کششی بر حسب دما - ۵۰۰ درجه ی

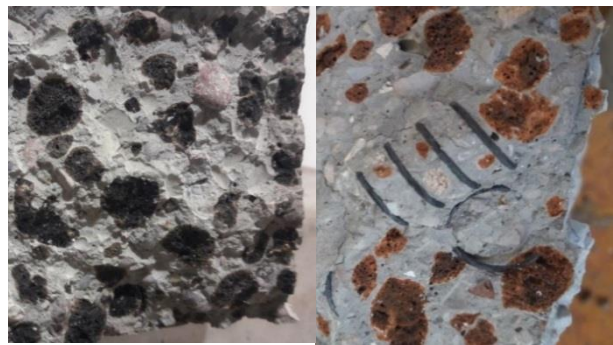
سانتی گراد



شکل ۲۰- نمودار مقاومت کششی بر حسب دما - ۷۰۰ درجه ی

سانتی گراد

شکل ۲۱ تصاویر مرکز بتن سبک خودتراکم در دمای ۲۵ و ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، در دمای ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد سبکدانه (لیکا) دچار سوختگی شده و حفراتی در داخل آن ایجاد شده است که باعث کاهش مقاومت بتن سبک در دماهای بالا می شود. لذا یکی از پیشنهادات جهت بهبود این وضعیت، افزودن الیاف و سایر موادی است که در بهبود خصوصیات مکانیکی بتن موثر می باشد.



الف) دمای ۲۵ درجه ی

سانتی گراد

ب) دمای ۷۰۰ درجه ی

سانتی گراد

شکل ۲۱- وضعیت ظاهری لیکا در درون بتن در دمای معمولی و

پس از اعمال حرارت

#### ۴- بررسی و تفسیر نتایج آزمایشات

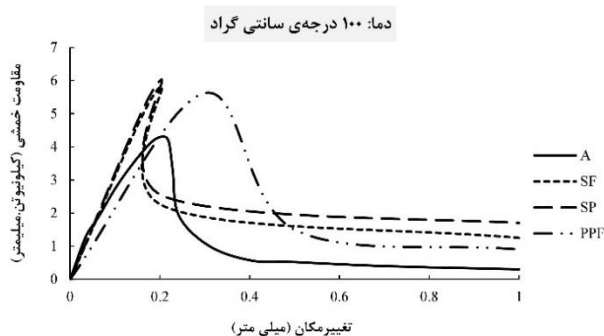
با توجه به انجام آزمایشات حرارتی، مقاومت فشاری، کششی و خمشی بر روی نمونه ها، نتایج بدست آمده بصورت زیر مقایسه می شود.

##### ۴-۱- مقایسه ی مقاومت ها در برابر دماهای مختلف

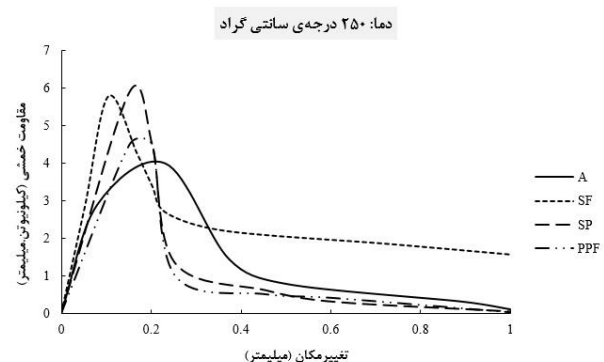
با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش حرارت، مقاومت فشاری، کششی و خمشی نمونه ها، خلاصه ای از نتایج مهم در جدول ۴ آورده شده است. لازم به ذکر است، از آنجایی که در برخی دماها، مقادیر مقاومت ها نزدیک به هم بوده لذا نمونه های با مقاومت مشابه نیز در جدول آورده شده است.

جدول ۴- مقاومت ماکزیمم در دماهای مختلف

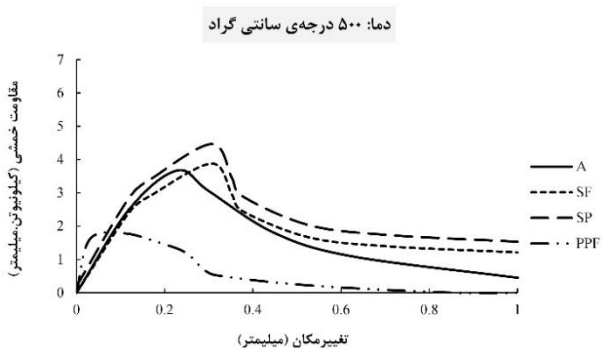
PPF	SP	SF	A	دما	نام نمونه
*				۲۵	
	*	*		۱۰۰	
	*	*		۲۵۰	بیشترین مقاومت فشاری
	*			۵۰۰	
		*		۷۰۰	
*				۲۵	
*				۱۰۰	
*				۲۵۰	بیشترین مقاومت کششی
	*			۵۰۰	
		*		۷۰۰	
			*	۲۵	
	*	*		۱۰۰	
		*		۲۵۰	بیشترین مقاومت خمشی
	*			۵۰۰	
			*	۷۰۰	عدم تحمل بار در زیر جک



شکل ۲۴- نمودار مقاومت خمشی در دمای ۱۰۰ درجه ی سانتی گراد



شکل ۲۵- نمودار مقاومت خمشی در دمای ۲۵۰ درجه ی سانتی گراد



شکل ۲۶- نمودار مقاومت خمشی در دمای ۵۰۰ درجه ی سانتی گراد

با توجه به نتایج بدست آمده از اشکال ۲۳ الی ۲۶، همانطور که ملاحظه می شود بطور کلی با افزایش دما از میزان مقاومت خمشی نمونه ها کاسته می شود. همچنین عملکرد نمونه های حاوی الیاف فولادی و فنر تقریباً مشابه یکدیگر بوده و هرچه افزایش دما بیشتر می شود، تأثیر نمونه های حاوی فنر در بهبود مقاومت خمشی افزایش می یابد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه بتن پس از دمای ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد مقاومت اندکی دارد، لذا هنگام انجام آزمایش مقاومت خمشی بر روی تیرهای ساخته شده، با کوچکترین باری و قرار گرفتن وزن اهرم بارگذاری بر روی تیر، منهدم شده و کامپیوتر نموداری را ثبت نکرد.

با توجه به نتایج جدول ۴ بطور کلی نمونه های حاوی الیاف پلی پروپیلن جهت بهبود مقاومت فشاری و خمشی مناسب نبوده و فقط برای بهبود عملکرد مقاومت کششی مطلوب بنظر می رسد. اما برای بهبود مقاومت فشاری و خمشی، الیاف فولادی و فنر بعلت خاصیت ارتجاعی و سختی بیشتر نقش بسزایی در افزایش مقاومت در شرایط پس از حرارت دارند.

۴-۲- روابط پیشنهادی جهت تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی  
با توجه به اینکه مقادیر بدست آمده از این پژوهش، از پیوستگی مناسبی برخوردار بوده، با برازش منحنی های درجه دوم برای هر نمودار، روابطی جهت تعیین مقاومت فشاری و کششی بتن های حاوی فنر در جدول ۵ پیشنهاد شده است.

جدول ۵- روابط پیشنهادی جهت پیش بینی مقاومت نمونه ها بر حسب دما و درصد فنر بکار رفته

نوع آزمایش	تابع رگرسیون	ضریب رگرسیون ( $R^2$ )
مقاومت فشاری	$F'_c = -0.0002T^2 + 0.054T + 44.74$	0.94
	$F'_c = -0.0002T^2 + 0.0062T + 48.91$	0.97
	$F'_c = -0.0002T^2 + 0.0698T + 48.19$	0.96
	$F'_c = -5E-05T^2 - 0.0277T + 54.98$	0.99
مقاومت کششی	$F_T = -2E-06T^2 + 0.001T + 0.11$	0.93
	$F_T = -9E-07T^2 + 0.0004T + 0.23$	0.90
	$F_T = -5E-07T^2 + 4E-05T + 0.23$	0.95
	$F_T = -6E-07T^2 + 8E-05T + 0.27$	0.99
مقاومت خمشی	$F_R = -4E-06T^2 - 0.002T + 5.63$	0.50
	$F_R = -3E-05T^2 + 0.012T + 4.56$	0.95
	$F_R = -2E-05T^2 + 0.001T + 4.94$	0.91
	$F_R = -3E-05T^2 + 0.001T + 4.25$	0.90

همانطور که مشاهده می شود، ضریب رگرسیون تمامی روابط نزدیک به ۱ بوده، لذا روابط پیشنهادی از دقت مناسبی برخوردارند. در این روابط  $F'_c$  و  $F_T$  و  $F_R$  مقاومت فشاری، کششی و خمشی نمونه ها و  $T$  پارامتر مربوط به دما بر حسب درجه ی سانتی گراد می باشد. روابط فوق برای طرح اختلاط موجود در این مقاله بوده، لذا جهت ارائه ی روابط بیشتر در آینده قابل ارائه است.

- استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن سبک خودتراکم، بعلت خاصیت همگنی بیشتر و پیوند مناسبتر بین سنگدانه ها و خمیر سیمان، مقاومت کششی را تا حدود ۷۰٪ در شرایط پس از حرارت افزایش بهبود می بخشد. اما کاربرد الیاف فولادی و فنر بعلت با وجود اینکه باعث افزایش مقاومت کششی شده اما پراکندگی کمتری نسبت به الیاف پلی پروپیلن در بتن داشته لذا به مقدار کمتری باعث بهبود مقاومت کششی شد.
- در آزمایش مقاومت خمشی تیرهای بتنی سبک خودتراکم در شرایط پس از دمای ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد، بعلت از بین رفتن خاصیت چسبندگی و همچنین سوختن سبکدانه ی لیکا، مقاومت تیر بسیار ناچیز شده و قابلیت بارگذاری نداشته و در اثر وزن خود منهدم شد. اما در دماهای دیگر (۲۵-۱۰۰-۲۵۰-۵۰۰) بطور کلی افزودن فنر باعث بهبود مقاومت خمشی شده که الیاف فولادی نقش موثرتری دارد.
- در تمامی نمونه ها دمای آستانه ی افت مقاومت شدید فشاری، کششی و خمشی، دمای ۵۰۰ درجه ی سانتی گراد بوده بطوری که در دمای ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد تا چندین برابر از مقاومت نمونه ها کاسته شد. بنابراین تا دمای حدود ۵۰۰ درجه ی سانتی گراد می توان از بتن سبک خودتراکم انتظار قابلیت خدمت رسانی مطلوب داشت.

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله، بررسی تأثیر افزایش دما از ۲۵ تا ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد (۲۵، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۰۰) بر روی بتن سبک خودتراکم بررسی شد. بنابراین خصوصیات مکانیکی از جمله مقاومت فشاری، کششی و خمشی نمونه ها آزمایش شده و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج بدست آمده بصورت زیر ارائه می شود:

- تأثیر افزودن الیاف فولادی و فنر در بهبود مقاومت فشاری بتن سبک خودتراکم نسبت به الیاف پلی پروپیلن بیشتر بوده و مقاومت فشاری را تا ۲۰٪ در شرایط پس از حرارت بهبود می بخشد.

- [12] Kalifa P, Chéné G, Gallé C. (2001). High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres: from spalling to microstructure. *Cem Concr Res*, 31:1487-99.
- [13] Serdar A, Yazici H. (2007). High temperature resistance of normal strength and autoclaved high strength mortars incorporated polypropylene and steel fibres. *Constr Build Mater*, 22:504-12.
- [14] Sahmaran M, Lachemi M, Li VC. (2010). Assessing mechanical properties and microstructure of fire-damaged engineered cementitious composites. *ACI Mater J*, 107:297-304.
- [15] Tao J, Yuan Y, Taerwe L. (2010). Compressive strength of self-compacting concrete during high-temperature exposure. *J Mater Civil Eng ASCE*, 22:1005-11.
- [16] Fares H, Noumowe A, Remond S. (2009). Self-consolidating concrete subjected to high temperature mechanical and physicochemical properties. *Cem Concr Res*, 39:1230-8.
- [17] Y. Hao, H. Hao. (2013). Dynamic compressive behaviour of spiral steel fibre reinforced concrete in split Hopkinson pressure bar tests. *Construction and Building Materials*. 48, 521-532.
- [18] Xu Z, Hao H, Li HN. (2012). Experimental study of dynamic compressive properties of fibre reinforced concrete material with different fibres. *Material and Design*. 33:42-55.
- [19] Xu Z, Hao H, Li HN. (2012). Dynamic tensile behaviour of fibre reinforced concrete with spiral fibres. *Material and Design* 42:72-88.
- [20] Lankard DR. (1972). Prediction of the flexural strength properties of steel fibrous concrete. In: *Proceedings of the CERL conference on fibrous concrete, construction engineering research laboratory, Champaign*. p. 101-23.
- [21] Gholhaki, M. Pachideh, GH. Rezaeefar, O. (2017). "Experimental Study on Mechanical Properties of Concrete Containing Steel Fibres, and Polypropylene in high temperatures", *Journal of Structural and Construction Engineering (JSCE)*. DOI: 10.22065/jsce.2017.77392.1072.
- [22] Mohamedbhai GTG. (1986). Effect of exposure time and rates of heating and cooling on residual strength of heated concrete. *Magezine of Concrete Research*. 38:151-8.
- [23] NF EN 12390-13 AFNOR, (2013). Testing hardened concrete, in: *Determination of Secant Modulus of Elasticity in Compression*, pages 18-455.
- [1] Malhotra M. (1990). Properties of High-Strength Lightweight Concrete Incorporating Fly Ash silica Fume, *ACI.SP121-31*, P.645.
- [2] Shchenov N. Withcomb, (1990) How to obtain Strength concrete using Density Aggregate, *ACI. SP 121-33*, P.683.
- [3] Rossignolo J.A., Agenesini M.V.C, Morais J.A. (2001). Properties of High-performance LWAC for precast structure with Brazilian light weight aggregates, *Cement and Concrete Composites*, V.1, P.4-46.
- [4] Mazaheripour H., Ghanbarpour S., Mirmoradi S.H., Hosseinpour I. (2011). The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete", *Construction and Building Materials* 25, 351-358.
- [5] Iqbal, S. Ali, A. Holschemacher, K. and Bier, TA. (2015). Effect of change in micro steel fiber content on properties of High strength Steel fiber reinforced Lightweight Self-Compacting Concrete (HSLSCC). *Procedia Engineering* 122 ( 2015 ) 88 - 94.
- [6] Madandoust, R. Ranjbar, M.M. and Mousavi, S.Y. (2011). An investigation on the fresh properties of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene. *Constr Build Mater*; 25: 3721-3731.
- [7] Mazaheripour, H. Ghanbarpour, S. Mirmoradi S.H. and Hosseinpour, I. (2011). The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete. *Construction and Building Materials* 25 (2011) 351-358.
- [8] Thiago Melo Grabois, Guilherme Chagas Cordeiro, Romildo Dias Toledo Filho. (2016). Fresh and hardened-state properties of self-compacting lightweight concrete reinforced with steel fibers. *Construction and Building Materials* 104, 284-292.
- [9] H. Mazaheripour, S. Ghanbarpour, S. Mirmoradi, I. Hosseinpour. (2011). The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight selfcompacting concrete, *Constr. Build. Mater.* 25, 351-358.
- [10] N.S. Klein, A. de la Fuente, A. Aguado, D. Maso. (2011). Lightweight self-compacting concrete reinforced with fibres for slab rehabilitation, *Mater. Construcc.* 61, 239-256.
- [11] Bakhtiyari S, Allahverdi A, Rais-Ghasemi M, Zarrabi BA, Parhizkar T. (2011). Self consolidating concrete containing different powders at elevated temperatures mechanical properties and changes in the phase composition of the paste. *Thermochim Acta*, 514:74-81.

## Investigating the Post-Heat Behavior of Self-Compacting Light Aggregate Concrete Containing Spring and Fiber

Ghasem Pachideh

Ph.D. Candidate, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

Majid Gholhaki \*

Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

### Abstract

In this paper, the effect of adding fiber to lightweight (containing Light Expanded Lica Aggregate) self-compacting concrete under high-temperature conditions (25-100, 250-500, 700 ° C) was investigated in the form of compressive, tensile and flexural strength tests. In these experiments, 3 types of fibers, including steel fiber, and polypropylene and steel springs, were used for 0.4% volumetric rate of concrete. In general, the results indicate that the use of steel fiber and spring increases the compressive strength of concrete by up to 20%. Polypropylene fiber can be used to improve the tensile strength of concrete, because it increases up to 70% tensile strength after high temperature conditions. Also, at a temperature of 700 °, the flexural strength of all samples was negligible and were destroyed due to their own weight. Also, due to the severe drop in resistance after a temperature of 500 ° C, after this temperature, self-compacting concrete is not serviceable.

**Keywords:** Self-Compacting Light Aggregate Concrete, Mechanical Properties, Spiral, Steel and Polypropylene Fiber, Heat.

---

\* Corresponding Author: mgholhaki@semnan.ac.ir