

تحقیقات بتن

سال پانزدهم، شماره سوم

پائیز ۱۴۰۱

ص ۱۹ - ۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۳

## ارزیابی مقایسه‌ای تأثیر نوع الیاف بر خواص مکانیکی بتن فوق توانمند تحت دماهای بالا و رژیم های مختلف خنک سازی

سید حسین قاسم زاده موسوی نژاد

دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گیلان.

آرش رادمان\*

استادیار، دانشکده فنی مهندسی شرق گیلان، دانشگاه گیلان.

سپهر قربانی گیل کلایه

کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گیلان.

### چکیده

بتن فوق توانمند نوعی بتن با خواص مکانیکی ارتقاء یافته است که در طرح اختلاط آن علاوه بر سیمان پرتلند و آب معمولاً از دوده سیلیس، پودر کوارتز، مواد کاهنده آب و الیاف طبیعی یا مصنوعی استفاده می‌شود. با وجود تحقیقات بسیاری که در زمینه بررسی خواص مکانیکی این نوع بتن انجام یافته است، مطالعات محدودی در زمینه تأثیر الیاف مختلف بر خصوصیات آن تحت دمای بالا به‌طور مقایسه‌ای وجود دارد. هدف از این مقاله ارائه داده‌های آزمایشگاهی در مورد تأثیر نوع الیاف بر خصوصیات مکانیکی بتن های فوق توانمندی میباشد که تحت درجه حرارت بالا قرار گرفته اند و سپس تحت رژیم های مختلف خنک شده اند. در این راستا بتن های فوق توانمند ساخته شده با شش نوع از الیاف بازیافت شده و یا تولید شده در کارخانه، پس از قرارگیری تحت دمای بالا، تحت آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی به شیوه خمشی و سرعت امواج فراصوت قرار گرفته‌اند و با بتن شاهد مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بتن های حاوی الیاف بازیافت شده پس از قرارگیری تحت تغییرات درجه حرارت، به‌طور مختصر، افت مقاومت کمتری را نسبت به بتن های حاوی الیاف صنعتی تجربه می‌کنند. همچنین ارتباط معنا داری بین، سرعت امواج فراصوت پیش از حرارت دهی، و افت مقاومت بتن در دمای ۸۰۰ درجه ملاحظه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بتن فوق توانمند، دمای بالا، خواص مکانیکی، الیاف فولادی، الیاف پلی پروپیلن.

\* نویسنده مسئول: a.radman@guilan.ac.ir

## ۱- مقدمه

توانمند هزینه بالاتری نسبت به بتن معمولی دارد [۳].

یکی از اشکالات بتن‌های فوق توانمند، افت مقاومت، و گاهی تخریب انفجارگونه آنها، پس از قرارگیری تحت دماهای بالا است [۴]. اگرچه بتن از جمله موادی محسوب می‌شود که حساسیت نسبتاً کمتری به حرارت بالا دارد، اما تغییرات درجه حرارت می‌تواند باعث دگرگونی در خواص فیزیکی و شیمیایی در آن شود. سازه ممکن است پس از حوادثی نظیر زلزله، آتش‌سوزی و برخورد وسایل نقلیه تحت دمای بالا قرار گیرد. در چنین شرایطی سازه بتنی می‌تواند ترکیبی از انبساط سنگ‌دانه‌ها، افت خمیر سیمان و طبله کردن بتن ناشی از افزایش فشار در منفذهای داخلی را تجربه نمایند و منهدم گردد [۵، ۶]. مطالعات متعدد نشان دهنده آن است که در بتن‌های فوق توانمند، این کاهش مقاومت در دماهای بالا بسیار بیشتر از بتن‌های معمولی می‌باشد [۷-۹]. مطالعات نشان می‌دهد که در ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد، افت مقاومت در بتن‌های فوق توانمند می‌تواند تا ۸۰٪ مقاومت اولیه آنها باشد [۱۰]. در یک مطالعه مقایسه‌ای که با بتن فوق توانمند مسلح به الیاف انجام یافته، مشخص شده است که تنش‌های پسماند در بتن‌های فوق توانمند که تحت دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته‌اند به ۴۱٪ مقاومت نهایی آنها در دمای معمولی می‌رسد، که حاکی از تأثیر مخرب دما بر روی بتن فوق توانمند مسلح به الیاف و قابلیت بالای خرابی حتی پس از اتمام آتش‌سوزی است [۱۱]. نتایجی که در مراجع [۸، ۱۲، ۱۳] ارائه شده است منعکس کننده افت مقاومت بزرگتری نسبت به تحقیقات مرجع [۱۱] است. نتایج تحقیقات در مرجع [۸] مشخص می‌نماید که در صورت قرار گرفتن بتن فوق توانمند در معرض دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت آن به ۲٪ مقاومت اولیه کاهش می‌یابد.

از دیگر مخاطراتی که در خصوص کاربرد بتن‌های فوق توانمند وجود دارد امکان طبله کردن انفجاری این گونه بتن‌ها پس از قرارگیری تحت حرارت‌های بالا می‌باشد [۱۴، ۱۵]. دلیل چنین رفتاری می‌تواند افزایش فشار در منفذهای نسبتاً مسدود در این نوع بتن‌ها باشد که باعث می‌گردد بخار آب محبوس در این منفذها، تولید کرنش‌های کششی بسیار بزرگ در جسم بتن نماید [۱۵، ۱۶]. از آنجا که منفذهای موجود در بتن‌های فوق توانمند نسبت به بتن‌های

بتن فوق توانمند<sup>۱</sup> نوعی نسبتاً جدید از بتن است که امکان رسیدن به مقاومت‌های بالا در فشار (۱۵۰ تا ۸۱۰ مگاپاسکال) و کشش (در حدود ۵۰ مگاپاسکال) را فراهم می‌نماید [۱]. اغلب این نوع از بتن‌ها به الیاف طبیعی یا مصنوعی مسلح<sup>۲</sup> می‌شوند. استفاده از الیاف باعث بهبود جذب انرژی تا بیش از ۳۰۰ برابر نسبت به بتن‌های معمولی می‌گردد. به علاوه بتن‌های فوق توانمند نسبت به نفوذ دی-اکسید کربن و یون‌های کلراید و سولفات بسیار مقاوم هستند که این موضوع باعث کاهش هزینه تعمیر و نگهداری این نوع بتن‌ها در طول عمر سازه می‌گردد [۲]. همچنین به واسطه وجود مقادیر زیاد سیمان هیدراته نشده در ساختار میکروسکوپی این نوع بتن، در صورت بروز ترک‌های سازه‌ای، تا حدی امکان خود ترمیم شونده‌گی در این نوع بتن ملاحظه می‌گردد. از دیگر مزایای بتن‌های فوق توانمند می‌توان به امکان اجرای تیرها و ستون‌های بلندتر و باریک‌تر اشاره کرد که سبب کاهش وزن سازه‌های ساخته شده با این نوع بتن (تا حدود ۷۰٪ کمتر از سازه‌های بتنی معمولی) می‌گردد، که در مناطق لرزه خیز مزیت مهمی محسوب می‌شود. به علاوه، عدم نیاز به تعبیه آرماتورهای فولادی در این نوع بتن می‌تواند به حذف بخشی از هزینه‌های ساخت و همچنین آزادی عمل بیشتر برای طرح معماری ساختمان منجر گردد [۱].

در کنار مزایای ذکر شده، استفاده از بتن فوق توانمند می‌تواند با اشکالاتی نیز همراه باشد. به عنوان مثال، مقدار سیمانی که در ساخت این نوع بتن مورد استفاده است معمولاً بسیار بالا و در بازه ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر است. این موضوع نه تنها می‌تواند باعث افزایش هزینه کلی تولید این نوع بتن گردد، بلکه می‌تواند به واسطه حرارت بالای تولید شده در مرحله هیدراسیون، باعث بروز اشکالاتی در ارتباط با جمع‌شدگی بتن گردد. به علاوه، برای تولید بتن‌های فوق توانمند اغلب نیاز به عمل‌آوری به کمک حرارت‌دهی است، که این موضوع می‌تواند کاربرد آنها را به عنوان بتن درجا محدود نماید. باید ذکر نمود که در تولید بتن‌های فوق توانمند، غالباً مواد مضافی نظیر دوده سیلیس و فوق روان کننده به کار می‌روند که در تولید بتن‌های معمولی استفاده از آنها ضروری نیست. به طور کلی می‌توان ذکر نمود که تولید بتن‌های فوق

<sup>2</sup> Ultra-high performance fiber reinforced concrete

<sup>1</sup> Ultra-high-performance concrete

است، در این مطالعه علاوه بر آزمون‌های مقاومت فشاری و کششی، اندازه‌گیری سرعت امواج فراصوت نیز مد نظر قرار گرفته است. این آزمایشات شاخصی از ارتباط بین میزان منفذها و مقاومت بتن به دست خواهند داد. نمونه‌های بتن ساخته شده از الیاف مختلف در سن ۲۸ روز در معرض دماهای ۲۵۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد، تحت آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی به شیوه خمشی و سرعت امواج فراصوت قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها با نتایج اخذ شده از آزمایش‌های مشابه بر روی بتن‌های شاهد مقایسه شده‌اند.

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

### ۲-۱- مصالح مصرفی در تهیه بتن

سیمان مصرفی در طرح اختلاط نمونه‌های بتنی از نوع ۵۲۵-۱ و در تطابق با استاندارد ASTM-C150 می‌باشد. در این مطالعه برای کاهش آب مصرفی از فوق روان‌کننده مطابق استاندارد ASTM C494-Type D تولیدی کارخانه بتن پاس، تحت نام تجاری R-561 استفاده شده است. ترکیب شیمیایی فوق روان‌کننده مصرفی بر پایه نفتالین لیگنو کربوکسیلات می‌باشد. به‌طور کلی باهدف دستیابی به مقاومت در بازه ۹۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال، در طرح اختلاط بتن‌های فوق توانمند مورد استفاده در این مطالعه، علاوه بر سیمان و آب، از ماسه سیلیسی به همراه میکروسیلیس تولید شرکت فرو آلیاژ ایران (با بیش از ۵.۹۹ درصد ذره آریخت) و فوق روان‌کننده بهره‌گیری شده است. ماسه مصرف شده از نوع سیلیسی با اندازه ذرات بین ۰.۱۵ تا ۰.۹۵ میلی‌متر بوده است و از شهر ملایر در استان همدان تامین شده است. وزن مخصوص و جذب آب ماسه مصرفی به ترتیب ۳۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ۰.۵٪ اندازه‌گیری شده است.

### ۲-۲- الیاف

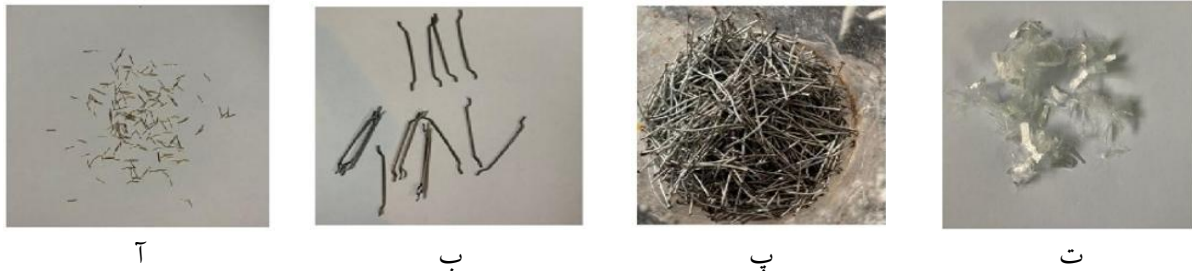
همان‌طور که در مقدمه ذکر گردید، در این پژوهش از ۶ نوع الیاف مختلف برای تولید بتن‌های فوق توانمند استفاده شده است که در ادامه به معرفی مشخصات این الیاف پرداخته می‌شود. علائم اختصاری برای بتن‌هایی که از این الیاف در ساخت آنها به کار رفته در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. شکل ۱، ظاهر برخی از الیاف به کار رفته در این مطالعه را نشان می‌دهد.

معمولی بسیار کوچکتر و نسبتاً مسدود هستند، این کرنش‌های کششی در بتن‌های فوق توانمند بیشتر و در نتیجه خرابی حاصل از این سازوکار بسیار مخاطره‌آمیزتر از بتن‌های معمولی می‌باشد [۱۵].

به دلیل مقاومت خوب الیاف فولادی و یا الیاف با پایه کربن در کشش، به‌طور معمول در تولید بتن‌های فوق توانمند از این نوع الیاف استفاده می‌گردد. در یک مطالعه مقایسه‌ای مشخص شده است که الیاف فولادی نسبت به الیاف پلی‌پروپیلن و شیشه، به دلیل مقاومت بالاتر می‌توانند تأثیر بیشتری بر افزایش مقاومت بتن فوق توانمند داشته باشند [۱۷]. همچنین دیده شده است که مقاومت کششی بتن‌های فوق توانمند به صورت خطی با نسبت حجمی الیاف در بازه ۰٪ تا ۵٪ متناسب است [۱۸]. در مطالعه دیگر، نشان داده شده است که در بتن‌های عمل‌آوری شده در حرارت، اضافه نمودن ۲٪ الیاف فولادی باعث کاهش ۴۲ درصدی افت بتن در سن ۱۴ روز می‌شود.

با وجود موارد فوق، باید ذکر نمود که تحقیقات انجام یافته در خصوص بتن‌های فوق توانمند مسلح به الیاف تحت دمای بالا بسیار محدود است و نتایج تحقیقات حاکی از تأثیر قابل توجه پارامترهای مختلف بر رفتار مکانیکی بتن‌های فوق توانمند می‌باشد. لذا در این تحقیق آزمایشگاهی، خواص مکانیکی بتن‌های فوق توانمند که در آن‌ها از الیاف مختلف استفاده شده است تحت تغییرات دمایی بالا به‌صورت مقایسه‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به منظور کمک به گسترش دانش بومی، ملاحظات مرتبط با توسعه پایدار و حفظ محیط زیست، در این پروژه تحقیقاتی ۶ نوع از الیافی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که یا در داخل کشور قابل تولید هستند و یا امکان تهیه آن به سادگی میسر است. این الیاف شامل یک نوع الیاف فولادی وارداتی که مطابق ASTM A820 تولید شده‌اند، الیاف صنعتی تولید شده در کارخانه کیمکس در داخل کشور، الیاف بازیافت شده از ضایعات کارگاه‌های تراشکاری، الیاف فولادی بازیافت شده از ضایعات لاستیک خودرو، الیاف فولادی مستخرج از کابل فولادی بکسل، و یک نوع الیاف غیر فولادی از جنس پلی‌پروپیلن می‌باشد. مشخصات کامل تر این الیاف در قسمت‌های بعد آورده شده است.

همان‌طور که گفته شد، از آنجا که زوال مقاومت بتن تحت دماهای بالا با حجم خلل و فرج و میزان بسته بودن منفذهای بتن مرتبط



شکل ۱- برخی از الیاف مورد استفاده در این مطالعه آ - الیاف فولادی وارداتی مطابق استاندارد ASTM A820 ب- الیاف فولادی تولید شده در کارخانه کیمکس در داخل کشور پ - الیاف فولادی بازیافت شده از لاستیک خودرو ت- الیاف پلی پروپیلن (PP)

### ۲-۲-۲- الیاف فولادی تولید شده در کارخانه داخل کشور (نام اختصاری F2)

این الیاف از کارخانه کیمکس و تحت نام تجاری KX-CSF خریداری شده اند. این الیاف دارای طول ۳ سانتی متر، سطح مقطع دایره ای و قطر متوسط ۰.۷ میلی متر می باشند. برای بهبود قفل و بست با خمیر سیمان، در دو سر این الیاف، دو قلاب به وسیله عمل خم کردن توسط کارخانه ایجاد شده است. مقاومت کششی این الیاف در حدود ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ مگاپاسکال متغیر است.

### ۲-۲-۳- الیاف فولادی بازیافت شده از صنایع تراشکاری (نام اختصاری R1)

این الیاف از بازیافت ضایعات صنایع تراشکاری بدست آمده اند. پس از غربال الیاف مورد استفاده به طور متوسط دارای طول ۲ سانتی متر و سطح مقطع دایروی با قطر معادل ۳ میلی متر بوده اند. شکل این الیاف به صورت خمیده می باشد. تنش جاری شدن این الیاف در کشش بین ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ و به طور متوسط ۹۵۰ مگاپاسکال اندازه گیری شده است.

### ۲-۲-۴- الیاف فولادی بازیافت شده از لاستیک خودرو (نام اختصاری R2)

این الیاف از مواد بازیافت شده تولید شده است. تولید این الیاف با حرارت دادن به لاستیک خودرو و جدا نمودن رشته سیم های داخلی آن انجام می شوند. سپس الیاف استخراج شده غربال می گردند، به طوری که به طور متوسط دارای طول ۲ سانتی متر و قطر ۱ میلی متر باشند. سطح مقطع این الیاف به صورت دایروی و قطر ۱.۵ میلی متر می باشد. تنش جاری شدن این الیاف در کشش بین

جدول ۱- علائم اختصاری بتن های ساخته شده با الیاف مختلف

نام اختصاری نمونه بتن	الیاف بکار رفته در بتن فوق توانمند
F1	الیاف فولادی وارداتی مطابق استاندارد ASTM-A820
F2	الیاف فولادی تولید شده در کارخانه داخل کشور
R1	الیاف فولادی بازیافت شده از صنایع تراشکاری
R2	الیاف فولادی بازیافت شده از لاستیک خودرو
R3	الیاف فولادی بازیافت شده از کابل بکسل
PP	الیاف پلی پروپیلن
NF	بتن فاقد الیاف

### ۲-۲-۱- الیاف فولادی وارداتی مطابق استاندارد ASTM-A820 (نام اختصاری F1)

این الیاف از کارخانه درامیکس<sup>۱</sup> تحت نام تجاری OL6/016 تهیه شده اند. جنس الیاف از فولاد با کربن بالا و در تطابق با استاندارد ASTM-A820 می باشد. این الیاف ضد زنگ بوده و با روکشی طلایی رنگ، از جنس چسب قابل حل در آب عرضه می گردد. وظیفه روکش جلوگیری از تجمع الیاف و پخش هموزن آنها در مخلوط بتن تازه است. این الیاف به طور متوسط دارای طول ۶ میلیمتر، با سطح مقطع دایروی به قطر ۰.۱۶ میلیمتر می باشند. مقاومت جاری شدن آن ۳۰۰۰ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته این الیاف ۲۰۰ گیگا پاسکال اندازه گیری شده است.

<sup>1</sup> Dramix

۶۰۰ تا ۱۱۰۰ به طور متوسط ۸۵۰ مگاپاسکال است.

که در آن  $D_i$  اندازه ذره مورد نظر به میکرومتر؛  $D_{min}$  و  $D_{max}$  حداکثر و حداقل اندازه ذرات تشکیل دهنده به میکرومتر؛  $q$  ضریب توزیع و  $P(D_i)$  کسری از ذرات است که اندازه آنها کوچکتر از  $D_i$  است. با استفاده از مقادیر متفاوت برای  $q$  می توان طرح های اختلاط متفاوتی برای بتن های فوق توانمند ارائه نمود. برای وضعیتی که در آن از مقادیر زیادی از مواد ریز دانه استفاده شده (وضعیتی که معمولاً در طرح اختلاط بتن های فوق توانمند وجود دارد)، استفاده از مقدار  $q=0.23$  پیشنهاد شده است [۲۰]. معمولاً در مرحله تعیین طرح اختلاط اولیه، برای تعیین نسبت هر کدام از اجزای تشکیل دهنده، از نوعی الگوریتم بهینه یابی استفاده می شود. همچنین در مرجع [۲۱] از روشی بر پایه نرم افزار Design Expert 8 برای تعیین نسبت اختلاط برای هر یک از اجزا استفاده شده است که پیش بینی مقاومت از این روش تطابق خوبی با داده های تجربی دارد.

با وجود مطالعات فوق که در آنها سعی بر ارائه روندی سامان مند برای طرح اختلاط بتن است، در بسیاری از مقالات تحقیقاتی طرح اختلاط بتن های فوق توانمند به صورت مستقیم با آزمون و خطا و بدون بهره گیری از روابطی که تأثیر اجزاء را در کارپذیری و خصوصیات بتن سخت شده نشان دهد، انجام شده است. در کاربرد های صنعتی اجزاء تشکیل دهنده بتن فوق توانمند همانند بتن های معمولی، مخلوط، ریخته و لرزانده می شوند. به این ترتیب که ابتدا اجزاء خشک به مدت ۱۰ دقیقه با هم مخلوط می شوند، سپس آب و فوق روان کننده افزوده میشود و به مدت ۵ الی ۱۰ دقیقه دیگر عمل اختلاط ادامه می یابد. پس از حصول کارپذیری و لزجت مناسب، در صورتی که لازم باشد الیاف اضافه می گردند. در صورتی که از الیاف با اندازه های مختلف استفاده شده باشد ابتدا الیاف با اندازه کوچک به مخلوط اضافه می گردد و بعد از آن الیاف با اندازه بزرگ در مخلوط پخش می گردد [۲۲]. در تولید بتن های این مطالعه از روش اخیر برای اختلاط اجزاء مختلف استفاده شده است. نسبت های وزنی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است.

#### ۲-۴- اعمال تغییرات حرارت

در این مطالعه از کوره (شکل ۱) برای حرارت دهی به نمونه های بتن استفاده شده است. پس از رسیدن نمونه ها به سن آزمایش، به

#### ۲-۲-۵- الیاف بازیافت شده از کابل فولادی بکسل (نام اختصاری R3)

این نوع الیاف از رشته سیم های ضایعات به هم پیچیده تهیه شده است که به قطعاتی به طول تقریبی طول ۲ سانتیمتر برش داده شده اند. الیاف کابل بکسل بازیافتی مورد استفاده در این پژوهش دارای قطر تقریبی ۱.۵ میلی متر و مقاومت کششی در حدود ۱۵۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشد.

#### ۲-۲-۶- الیاف پلی پروپیلن (نام اختصاری PP)

الیاف پلی پروپیلن نوعی الیاف ترموپلاستیک می باشد و دارای کاربرد های رو به رشدی در فناوری بتن است [۱۹]. پلی پروپیلن مانند اکثر پلیمر ها، در درجه حرارت خاص، منعطف می شود و افت مقاومت قابل توجهی در حرارت های بالا را تجربه می نماید. در این پروژه تحقیقاتی این ماده از شرکت NSG تهیه شده است لیکن این قابلیت وجود دارد که از مواد قابل بازیافت نیز تهیه شود. به دلایل ذکر شده (افت مقاومت در دماهای بالا و قابل بازیافت بودن) در این پروژه تحقیقاتی به طور مقایسه ای در کنار سایر الیاف فولادی مد نظر قرار گرفته است. الیاف مورد استفاده دارای وزن مخصوص ۰.۹۱ گرم بر سانتیمتر مکعب، مقاومت کششی ۴۰۰ نیوتن بر میلی مترمربع و مدول الاستیسیته ۲.۷ گیگاپاسکال می باشد.

#### ۲-۳- طرح اختلاط و مشخصات نمونه ها

نحوه اختلاط و شرایط نگهداری و عمل آوری در سنین اولیه تأثیر مهمی بر خصوصیات مکانیکی بتن های فوق توانمند دارد. روش های مختلفی برای اختلاط بتن های فوق توانمند توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است. همگی این روش ها سعی در ایجاد ماتریس سیمانی متراکم و فشرده ای دارند که در آن کارپذیری بتن تازه و مقاومت مکانیکی بالا در بتن سخت شده تامین شود. یکی از روش هایی که برای تعیین ترکیب ذرات جامد در مخلوط بتن مورد استفاده قرار می گیرد روش تصحیح شده اندرسن-اندرسن [۲۰] است که توسط رابطه (۱) بیان می شود.

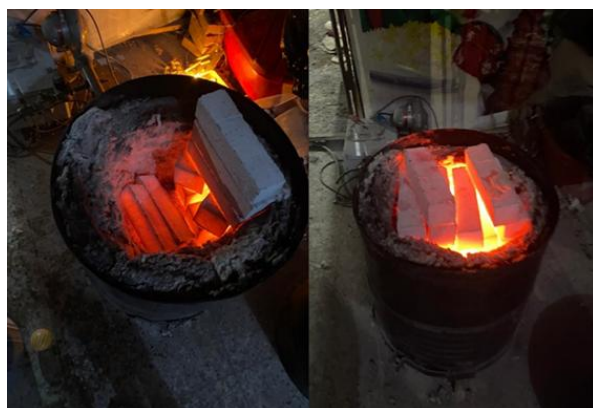
$$P(D_i) = \frac{D_i^q - D_{min}^q}{D_{max}^q - D_{min}^q} \quad (1)$$

مدت ۲۴ ساعت تحت حرارت  $105 \pm 5$  درجه سانتی گراد در کوره خشک شدند.

جدول ۲- درصد وزنی اختلاط بتن های فوق توانمند در این مطالعه

نوع بتن فوق توانمند	سیمان	میکروسیلیس	ماسه	الیاف	آب	فوق روان کننده
حاوی الیاف فولادی (F1,F2,R1,R2,R3)	٪۳۵.۱	٪۷.۸۹	٪۴۲.۹	٪۳.۲۸	٪۱۰.۱۱	٪۰.۷۲
حاوی الیاف پلی پروپیلن (PP)	٪۳۶.۲۵	٪۸.۱۶	٪۴۴.۳۴	٪۰.۶۳	٪۱۰.۴۴	٪۰.۷۴
فاقد الیاف (بتن شاهد) (NF)	٪۳۶.۳	٪۸.۳	٪۴۴.۲	٪۰	٪۱۰.۴۵	٪۰.۷۵

شهری) انجام می شود. دمای خروجی مشعل و دمای محفظه داخل کوره توسط دو دماسنج مستقل قابل اندازه گیری و قرائت بوده است. دمای نشان داده شده در خروجی مشعل و دمای اندازه گیری شده در داخل محفظه دارای اختلافی در حدود ۱۰ درجه سانتی گراد بودند.



شکل ۲- کوره و نمونه ها پس از حرارت دهی

علاوه بر بتن های شاهد (بتن هایی که تحت تغییرات دما قرار نگرفته اند) از دو رژیم مختلف برای حرارت دهی به نمونه های بتنی استفاده شده است. در رژیم اول (با نام اختصاری ۲۵۰) دمای نمونه ها ظرف مدت ۲ ساعت از دمای محیط به دمای ۲۵۰ درجه سانتی گراد رسانده شده است و سپس این دما به مدت ۱ ساعت حفظ شده است. در رژیم دوم (با نام اختصاری ۸۰۰) که بر روی دسته ای دیگر از نمونه ها انجام شده است دمای نمونه ها ظرف مدت ۶ ساعت از دمای محیط به دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد رسانده شده است و سپس این دما به مدت ۱ ساعت حفظ شده است. برای کاهش دما در نمونه ها نیز از دو رژیم مختلف استفاده شده است. در رژیم اول (با علامت اختصاری -W) نمونه های حرارت دیده بلا فاصله در حوضچه ۱۰۰ لیتری آب با دمای ۲۰ درجه قرار گرفته اند. در رژیم دوم (با علامت اختصاری -A) نمونه های حرارت دیده در هوا خنک شده اند. به عنوان مثال علامت اختصاری -A-800 به این معنی است که نمونه تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد در کوره گرم شده و سپس در هوا خنک شده است.

### ۳- آزمایش های بتن

#### ۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری

برای تعیین مقاومت فشاری نمونه ها از استاندارد ASTM C39-04a بر روی نمونه های مکعبی  $100 \times 100 \times 100$  میلی متر استفاده شده است. دمای نگهداری نمونه ها  $20 \pm 2$  درجه سانتی گراد و آزمایشات در سن ۲۸ روز انجام یافت.

#### ۳-۲- آزمایش مقاومت کششی به شیوه خمشی

مدول گسیختگی نمونه ها به روش آزمایش سه نقطه ای تعیین شده است. ابعاد نمونه های مورد استفاده در این آزمایش  $150 \times 150 \times 500$  و فاصله نقاط تکیه گاهی ۵۰۰ میلی متر بوده است. سایر مشخصات آزمایش مطابق استاندارد ASTM C78-02

لازم به ذکر است که آزمایش های بتن تحت دمای بالا در بازه ۱۰۰ الی ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد توسط محققین مختلف انجام یافته است [۸، ۱۰، ۱۱]. به عنوان مثال در مرجع [۲۳] آزمایشات در دماهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد انجام شده است. در مطالعه حاضر اعمال حرارت بر مبنای دمای آستانه تخریب (که غالباً در مطالعات سایر محققین دیده شده است) و حداکثر دمای قابل تحمل (که با آزمایش بر روی نمونه های بتنی اولیه در این مطالعه حاصل شده است) انجام شده است. کوره مورد استفاده (شکل ۲) از جنس چدن با حجم ۲۲۰ لیتر و عمق ۹۶.۵ سانتی متر و ضخامت جداره ۲۰۰ میلی متر بوده است. تولید حرارت در این کوره با استفاده از مشعل های گاز سوز (گاز

بوده است. نحوه نگهداری نمونه‌ها مطابق ASTM C192 بوده است. سن نمونه‌ها هنگام آزمایش ۲۸ روز بوده است.

#### ۴- نتایج و بحث

##### ۴-۱- آزمایش‌های مقاومت فشاری

جدول ۳ مقایسه‌ای بین مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده با الیاف مختلف در سن ۲۸ روز می‌باشد. نتیجه هر آزمایش در جدول متوسط ۳ نمونه مکعبی است. لازم به ذکر است که در بسیاری از نمونه‌های W-800 (نمونه‌هایی که تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم، و سپس در آب خنک شده‌اند) خرابی از نوع طبله کردن مشاهده گردیده است.

##### ۳-۳- آزمایش سرعت امواج فراصوت

استاندارد مورد استفاده در این آزمایش ASTM C597-16 بوده است. اندازه‌گیری سرعت بر روی نمونه‌ها به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر انجام شده است.

جدول ۳- نتایج مقاومت فشاری بتن‌های فوق‌توانمند بالیاف مختلف تحت رژیم حرارتی متفاوت (مگا پاسکال)

بتن حاوی الیاف	نتایج آزمایش بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر					نتایج معادل بر اساس نمونه‌های مکعبی ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر				
	۲۵۰-A	۲۵۰-W	۸۰۰-A	۸۰۰-W	تحت حرارت نبوده	۲۵۰-A	۲۵۰-W	۸۰۰-A	۸۰۰-W	تحت حرارت نبوده
F1	۱۲۰	۸۴	۶۰	۱۷	۱۶	۱۱۴	۸۰	۵۷	۱۶	۱۵
F2	۹۸	۶۹	۴۱	۱۲	۱۰	۹۳	۶۶	۳۹	۱۱	۱۰
R1	۱۰۵	۵۹	۴۱	۱۴	۱۳	۱۰۰	۵۶	۳۹	۱۳	۱۲
R2	۱۰۴	۵۶	۳۹	۱۵	۱۳	۹۹	۵۳	۳۷	۱۴	۱۲
R3	۱۰۵	۶۸	۴۰	۱۶	۱۴	۱۰۰	۶۵	۳۸	۱۵	۱۳
PP	۱۰۶	۱۱۶	۱۰۸	۱۳	۹	۱۰۱	۱۱۰	۱۰۳	۱۲	۹
فاقد الیاف	۹۶	۶۳	۵۹	۱۰	۷	۹۱	۶۰	۵۶	۱۰	۷

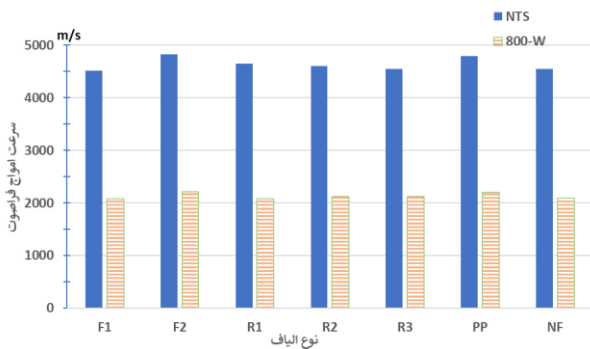
همان‌گونه که در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد، در دماهای پایین، نمونه‌های ساخته شده با الیاف پلی‌پروپیلین رفتار متفاوتی را نسبت به الیاف فولادی نشان می‌دهند. در حالی که با افزایش دما افت مقاومت در بتن‌های حاوی الیاف فولادی مشاهده می‌گردد، بتن‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلین پس از قرارگیری در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و خنک شدن در هوا، افزایش کوچکی، در حدود ۹ درصد، در مقاومت فشاری را نشان می‌دهند. نمونه مشابه چنین رفتاری در بتن‌هایی که با الیاف پلی‌پروپیلین مسلح شده‌اند در تحقیقات سایر محققین نیز مشاهده می‌گردد. به عنوان مثال در مرجع [۲۳]، افزایش مختصر در مقاومت فشاری در بتن‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلین که تا دمای ۲۰۰ درجه گرم شده‌اند، نسبت به بتن‌هایی که تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شده‌اند، گزارش شده است. علت این پدیده به کاهش میزان آب و افزایش نیروی واندر والس در سطوح تماس ژل سیمان و الیاف نسبت داده شده است [۲۳].

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد بتن‌های فوق‌توانمند حاوی الیاف فولادی F1 (که تحت استاندارد ASTM A820 ساخته شده‌اند) و تحت تغییرات حرارتی قرار نگرفته‌اند، با تنش‌هایی برابر ۱۲۰ مگاپاسکال دارای بیشترین مقاومت فشاری و بتن‌های ساخته شده با الیاف تولیدی در کارخانه داخل کشور، بازیافت شده از صنایع تراشکاری، بازیافت شده از لاستیک خودرو، بازیافت شده از ضایعات سیم بکسل والیاف پلی‌پروپیلین به ترتیب ۸۱، ۸۷، ۸۶، ۸۷، و ۸۸ درصد این مقاومت را دارا هستند. همچنین در نمونه‌هایی که تحت حرارت ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته‌اند و سپس در آب ۲۰ درجه سانتی‌گراد خنک شده‌اند بیشترین افت مقاومت نسبت به حالت اولیه ملاحظه می‌گردد. در این وضعیت اعمال تغییر حرارت مقاومت نمونه‌های حاوی الیاف فولادی تحت استاندارد ASTM A820، الیاف تولیدی در کارخانه داخل کشور، بازیافت شده از صنایع تراشکاری، بازیافت شده از لاستیک خودرو، بازیافت شده از ضایعات سیم بکسل والیاف پلی‌پروپیلین به ترتیب ۱۶، ۱۰، ۱۳، ۱۳، ۱۴، و ۹ مگاپاسکال می‌باشد که کاهش به ترتیب برابر ۸۶، ۸۹، ۸۷، ۸۷، ۸۶، و ۹۱ درصد، نسبت به مقاومت اولیه را نشان می‌دهد.

##### ۴-۲- آزمایشات مقاومت کششی

شکل ۳ مقایسه‌ای بین مقاومت کششی در خمش برای بتن‌های

الیاف مختلف ساخته شده اند در شکل ۴ نشان داده شده است. به طور کلی، حساسیت قابل توجهی در سرعت امواج فراصوت نسبت به نوع الیافی که در بتن به کار رفته است ملاحظه نمی گردد. نتایج مشابهی بعد از حرارت دهی تا ۸۰۰ درجه و سپس خنک شدن در آب ملاحظه می گردد که در همین شکل نشان داده شده اند.

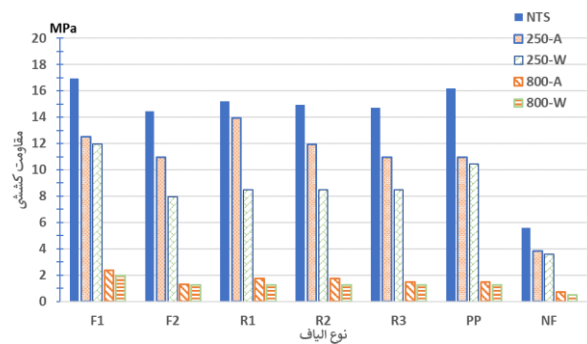


شکل ۴- سرعت امواج فراصوت در بتن فوق توانمند بالیاف مختلف

لیکن ارتباط معناداری بین، سرعت امواج فراصوت پیش از حرارت دهی، و افت مقاومت بتن در دمای ۸۰۰ درجه ملاحظه می گردد. این موضوع در شکل ۵ نشان داده شده است. در شکل ۵، محور افقی سرعت امواج فراصوت نمونه های ساخته شده با الیاف فولادی مختلف قبل از حرارت دهی را نشان می دهد. محور قائم نیز افت مقاومت فشاری هر نمونه در دمای ۸۰۰ درجه حرارت نسبت به مقاومت آن قبل از حرارت دهی را نشان می دهد.

این نمودار فقط بین داده های مربوط به بتن های حاوی الیاف فولادی رسم شده اند و داده های مربوط به بتن های فاقد الیاف یا حاوی الیاف پلی پروپیلن در آنها لحاظ نشده است. همچنین باید ذکر نمود که این روند کاهش مقاومت (نسبت به بتن های شاهد) فقط بین نمونه هایی که تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شده- اند مشاهده می گردد. هر نقطه بر روی این نمودارها از متوسط ۳ نتیجه آزمایشگاهی به دست آمده است. همانگونه که ملاحظه می- گردد نمونه هایی که در آنها سرعت امواج فراصوت بالاتر بوده است افت مقاومت بیشتری را پس از حرارت دهی تجربه می نمایند. سرعت امواج فراصوت شاخصی از میزان تراکم بتن و بسته بودن منفذهای بتن نیز می باشد. همچنین همان طور که در مقدمه ذکر گردید، مقاومت مکانیکی بتن های فوق توانمند تحت دماهای بالا با حجم خلل و فرج و میزان بسته بودن منفذهای بتن مرتبط است.

ساخته شده با الیاف مختلف در سن ۲۸ روز می باشد. نتیجه هر آزمایش در شکل متوسط ۳ نمونه مشغوری به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۵۰ میلی متر است. همانگونه که ملاحظه می گردد بتن های فوق توانمند حاوی الیاف فولادی ساخته شده تحت استاندارد-ASTM A820 که تحت تغییرات حرارتی قرار نگرفته اند با بتن نهایی در کشش برابر 17 مگاپاسکال دارای بیشترین مقاومت کششی و فشاری و بتن های ساخته شده با الیاف تولیدی در کارخانه داخل کشور، بازیافت شده از صنایع تراشکاری، بازیافت شده از لاستیک خودرو، بازیافت شده از ضایعات سیم بکسل والیاف پلی پروپیلن به ترتیب ۸۵، ۸۹، ۸۸، ۸۶، و ۹۵ درصد این مقاومت را دارا هستند.



شکل ۳- مقایسه مقاومت کششی بین بتن فوق توانمند بالیاف مختلف تحت رژیم حرارتی متفاوت

همچنین در نمونه هایی که تحت حرارت ۲۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته اند و سپس در آب ۲۰ درجه سانتی گراد خنک شده اند مقاومت کششی به طور تقریبی به نصف کاهش یافته است. در این وضعیت اعمال تغییر حرارت مقاومت نمونه های حاوی الیاف فولادی تحت استاندارد ASTM-A820، الیاف تولیدی در کارخانه داخل کشور، بازیافت شده از صنایع تراشکاری، بازیافت شده از لاستیک خودرو، بازیافت شده از ضایعات سیم بکسل والیاف پلی پروپیلن به ترتیب کاهش در حدود ۲۹، ۴۴، ۴۴، ۴۳، ۴۲، و ۳۵ درصد نسبت به مقاومت اولیه را نشان می دهد. همانطور که نتایج نشان می دهد پس از قرار گیری در دمای ۸۰۰ درجه نحوه خنک شدن نمونه تأثیری بر مقاومت کششی باقی مانده آن ندارد و اساساً مقاومت کششی نمونه به مقدار قابل توجه زایل می گردد.

### ۳-۴- آزمایشات امواج فراصوت

مقایسه ای بین سرعت امواج فراصوت بین بتن های فراتوانمند که با



نسبت به الیاف فولادی نشان می‌دهند. بتن‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن پس از قرارگیری در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و خنک شدن در آب، افزایش کوچکی در مقاومت فشاری را نشان می‌دهند.

آزمایش مقاومت کششی نشان می‌دهد:

- پس از قرارگیری در دمای ۸۰۰ درجه نحوه خنک شدن نمونه تأثیری بر مقاومت کششی باقی‌مانده آن ندارد و اساساً مقاومت کششی عضو به مقدار قابل توجهی زایل می‌گردد.

نتایج آزمایش فراصوت نشان می‌دهد:

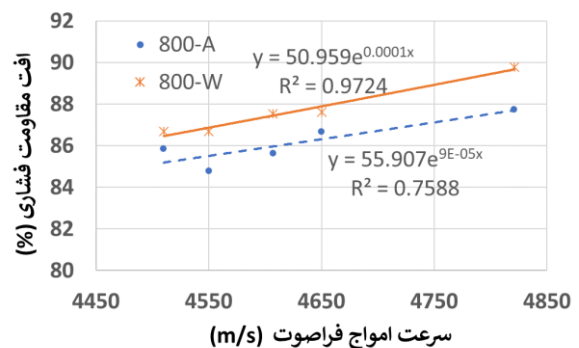
- ارتباط معناداری بین سرعت این امواج پیش از حرارت‌دهی، و افت مقاومت بتن در دمای ۸۰۰ درجه ملاحظه می‌گردد. نمونه‌هایی که در آنها سرعت امواج فراصوت بالا تر بوده است افت مقاومت بیشتری را پس از حرارت‌دهی تجربه می‌نمایند. لیکن با توجه به محدود بودن تعداد آزمایشاتی که توسط این محققان انجام شده است، برای نتیجه‌گیری قطعی، این موضوع می‌تواند در تحقیقات آتی به طور ویژه مورد توجه قرار گیرد.

## ۶- مراجع

- [1] P. Richard and M. Cheyrezy, "Composition of reactive powder concretes," *Cement and Concrete Research*, vol. 25, no. 7, pp. 1501-1511, 1995.
- [2] C. M. Tam, V. W. Y. Tam, and K. M. Ng, "Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong," *Construction and Building Materials*, vol. 26, no. 1, pp. 79-89, 2012.
- [3] H. Yazıcı, M. Y. Yardımcı, S. Aydın, and A. Ş. Karabulut, "Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes," *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 3, pp. 1223-1231, 2009.
- [4] J. Lyzwa and J. Zehfuss, "Experimental investigations of ultra-high performance concrete exposed to natural fires" *Fire Safety Journal*, vol. 125, p. 103399, 2021.
- [5] H. Qin, J. Yang, K. Yan, J.-H. Doh, K. Wang, and X. Zhang, "Experimental research on the spalling behaviour of ultra-high performance concrete under fire conditions," *Construction and Building Materials*, vol. 303, p. 124464, / 2021.
- [6] M.-X. Xiong and J. Y. R. Liew, "Fire resistance of high-strength steel tubes infilled with ultra-high-strength concrete under compression," *Journal of*

مطالعات محققان دیگر نیز نشان می‌دهد که بسته تر بودن منفذهای بتن، می‌تواند باعث افزایش بیشتر فشار بخار آب محبوس در این منفذها، در دماهای بالاتر گردد، که به نوبه خود باعث تولید کرنش‌های کششی بسیار بزرگ در جسم بتن می‌گردد [۱۵، ۱۶].

نتایج حاصل از تحقیق حاضر می‌تواند به این معنی باشد که سرعت امواج فراصوت پیش از حرارت‌دهی (که معیاری از تراکم بتن است)، معیاری برای پیش‌بینی مقاومت بتن پس از شوک حرارتی نیز می‌باشد. لیکن با توجه به محدود بودن تعداد آزمایشاتی که توسط این محققان انجام شده است، برای نتیجه‌گیری قطعی، این موضوع می‌تواند در تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۵- افت مقاومت فشاری بتن در دمای ۸۰۰ درجه و سرعت امواج فراصوت (پیش از حرارت‌دهی)

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر الیاف مختلف بر مقاومت فشاری، مقاومت کششی، سرعت امواج فراصوت و بتن‌های فوق‌توانمند قبل و بعد از اعمال تغییرات شدید حرارتی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. علاوه بر بتن‌های شاهد که در دمای محیط قرار داشتند، نمونه‌های بتنی حاوی ۶ نوع الیاف مختلف، تحت ۴ رژیم حرارتی متفاوت قرار گرفتند.

نتایج آزمایش مقاومت فشاری نشان می‌دهد:

- بتن‌هایی که با الیاف تحت استاندارد ASTM A820 ساخته شده بودند دارای بیشترین مقاومت فشاری بودند لیکن نمونه‌های ساخته شده با الیاف بازیافت شده پس از قرارگیری تحت تغییرات درجه حرارت به طور مختصر افت مقاومتی کمتری را تجربه می‌کنند.

- نمونه‌های ساخته شده با الیاف پلی پروپیلن رفتار متفاوتی را

- [19] Z. Onur Pehlivanlı and İ. Uzun, "Effect of polypropylene fiber length on mechanical and thermal properties of autoclaved aerated concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 322, p. 126506, 2022.
- [20] R. Yu, P. Spiesz, and H. J. H. Brouwers, "Mix design and properties assessment of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC)," *Cement and Concrete Research*, vol. 56, pp. 29-39, 2014.
- [21] V. T. A. Van and H. M. Ludwig, "Proportioning optimization of UHPC containing rice husk ash and ground granulated blast-furnace slag," in *3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials*, Kassel, Germany, 2012.
- [22] D. J. Kim, S. H. Park, G. S. Ryu, and K. T. Koh, "Comparative flexural behavior of Hybrid Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete with different macro fibers," *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 11, pp. 4144-4155, 2011.
- [23] A. Behnood and M. Ghandehari, "Comparison of compressive and splitting tensile strength of high-strength concrete with and without polypropylene fibers heated to high temperatures," *Fire Safety Journal*, vol. 44, no. 8, pp. 1015-1022, 2009.
- Constructional Steel Research*, vol. 176, p. 1064, 2021, 10.
- [7] Y. N. Chan, X. Luo, and W. Sun, "Compressive strength and pore structure of high-performance concrete after exposure to high temperature up to 800°C," *Cement and Concrete Research*, vol. 30, no. 2, pp. 247-251, 2000.
- [8] G. Choe, G. Kim, N. Gucunski, and S. Lee, "Evaluation of the mechanical properties of 200MPa ultra-high-strength concrete at elevated temperatures and residual strength of column," *Construction and Building Materials*, vol. 86, pp. 159-168, 2015.
- [9] Y. W. Lee, G. Y. Kim, N. Gucunski, G. C. Choe, and M. H. Yoon, "Thermal strain behavior and strength degradation of ultra-high-strength-concrete," *Materials and Structures*, vol. 49, no. 8, pp. 3411-3421, 2016.
- [10] X. Liang, C. Wu, Y. Su, Z. Chen, and Z. Li, "Development of ultra-high performance concrete with high fire resistance," *Construction and Building Materials*, vol. 179, pp. 400-412, 2018.
- [11] A. Q. Sobia, M. S. Hamidah, I. Azmi, and S. F. A. Rafeeqi, "Elevated temperature resistance of ultra-high-performance fibre-reinforced cementitious composites," *Magazine of Concrete Research*, vol. 67, no. 17, pp. 923-937, 2015.
- [12] M.-X. Xiong and J. Y. R. Liew, "Mechanical behaviour of ultra-high strength concrete at elevated temperatures and fire resistance of ultra-high strength concrete filled steel tubes," *Materials & Design*, vol. 104, pp. 414-427, 2016.
- [13] M.-X. Xiong and J. Y. R. Liew, "Spalling behavior and residual resistance of fibre reinforced Ultra-High performance concrete after exposure to high temperatures," *Materials de Construcción*, vol. 65, 2015.
- [14] C. Kahanji, F. Ali, and A. Nadjai, "Explosive Spalling of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete Beams Under Fire," 2016.
- [15] W. M. Lin, T. D. Lin, and L. J. Powers-Couche, "Microstructures of Fire-Damaged Concrete," *ACI Materials Journal*, vol. 93, no. 3, pp. 199-205, 1996.
- [16] A. H. Akca and N. Özyurt Zihnioğlu, "High performance concrete under elevated temperatures," *Construction and Building Materials*, vol. 44, pp. 317-328, 2013.
- [17] Z. Yang, "Study on mechanical properties of reactive powder concrete " Ph.D. thesis, DaLian JiaoTong University, China, 2008.
- [18] S.-T. Kang, Y. Lee, Y.-D. Park, and J.-K. Kim, "Tensile fracture properties of an Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) with steel fiber," *Composite Structures*, vol. 92, no. 1, pp. 61-71, 2010.

## Comparative assessment of fiber type effect on ultra-high-performance concrete after high-temperature heating and cooling

Seyed Hosein Ghasemzadeh Mousavinejad

Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

Arash Radman \*

Assistant Professor, East Guilan Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

Sepehr Ghorbani Gil Kelayeh

University of Guilan, Rasht, Iran.

### Abstract

Ultra-high-performance concrete (UHPC) is a type of concrete with high mechanical strengths, in which silica fume, quartz powder, superplasticizer and fibers, in addition to cement and water are usually used in its mixture design. In spite of vast studies on the mechanical properties of UHPC, very few comparative studies have been made on the effects of fiber types on the mechanical characteristics of this type of concrete, subjected to high thermal changes. This study aims at providing test results for the effects of temperature changes on the mechanical properties of UHPC that are reinforced with different types of fibers. Six types of fibers, either recycled or industrially manufactured, are utilized in the mixture design. After exposure to high temperature changes, compressive strength, tensile strength in bending and ultrasonic pulse velocity were evaluated and compared. Results of this study can be used in other research studies and can be used in decision making in industrial projects.

**Keywords:** Ultra High-Performance Concrete, Fire behavior, Mechanical Strength, Steel Fiber, Polypropylene fiber.

---

\* Corresponding Author: a.radman@guilan.ac.ir

