

بررسی تاثیر درجه حرارت بر مقاومت خمشی و چقرمگی بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی

(کد: E ۱۵۷)

ابراهیم خدابنده^{۱*}، حبیب اکبرزاده بنگر^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه مازندران بابلسر

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه مازندران بابلسر

Email¹: E.khodabandeh@stu.umz.ac.ir

Email²: h.akbarzadeh@umz.ac.ir

چکیده :

افزودن الیاف فولادی به بتن در رفتار آن قبل از رسیدن به تنش حداکثر تاثیر چندانی ندارد، اما رفتار پس از ترک خوردگی را به شدت تغییر می دهد. این روش در بهبود قابلیت های اعضای خمشی بتنی مانند مقاومت خمشی و شکل پذیری موثر واقع می شود. همچنین جهت سهولت در بتن ریزی و کاربرد الیاف فولادی، استفاده از بتن خودتراکم دارای مزیت های زیادی می باشد. امروزه ساخت دالهای بتنی حاوی الیاف فولادی بدون میلگرد مسلح کننده مرسوم شده است. نتایج تحقیقات گذشته نشان می دهد که آتش و حرارت باعث کاهش مقاومت خمشی اعضای ساخته شده با بتن معمولی می گردد. لذا در این تحقیق تاثیر دمای بالا بر مقاومت خمشی و چقرمگی بتن خودتراکم الیافی مورد بررسی قرار می گیرد. پس از انتخاب طرح و انجام آزمایش های کارایی بتن تازه طبق آیین نامه اروپا (EFNARC)، نمونه های منشوری با ابعاد ۱۰×۱۰×۹۰ سانتی متر ساخته شده و پس از عمل آوری، تحت دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه در کوره قرار داده شده و پس از سرد شدن در محیط، تحت آزمایش خمش طبق استاندارد C293 ASTM قرار گرفته است. جهت بررسی رفتار خمشی نمونه ها، نمودار بار تغییرمکان نمونه ها ترسیم شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که افزایش دما باعث کاهش مقاومت خمشی و همچنین چقرمگی بتن خودتراکم الیافی شده است؛ کاهش مقاومت خمشی و چقرمگی بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی نسبت به بتن خودتراکم فاقد الیاف به دلیل عملکرد مناسب الیاف فولادی در دماهای بالا، کمتر می باشد.

واژه های کلیدی: بتن خودتراکم، الیاف فولادی، درجه حرارت، مقاومت خمشی، چقرمگی.

۱- مقدمه

بتن خودتراکم^۱ به عنوان یک پیشرفت در ساخت بتن در دو دهه اخیر معرفی شده است [۱]. بتن خودتراکم به نحوی تعریف شده است که احتیاج به هیچ نوع ویبره داخلی و خارجی ندارد و توسط وزن خود متراکم شده و زمانی که در داخل قالب جاری می شود به طور کامل هواگیری می گردد و فقط با استفاده از نیروی جاذبه، قالب را پر نموده و آرماتورهای موجود را پوشانده و همزمان یکنواختی خود را نیز حفظ می نماید [۲].

به دلایل مختلف، مقدار قابل توجهی از بتن ترک می خورد؛ دلیل ترک خوردگی می تواند سازه ای یا غیر سازه ای باشد، لیکن عمده ترکها ناشی از ضعف ذاتی این ماده در کشش است. برای مثال، جمع شدگی در بتن دارای قید، ترک ایجاد می کند [۳]. این عیب اساسی بتن، در عمل با مسلح کردن آن با استقرار آرماتورهای فولادی در جهت نیروهای کششی برطرف می گردد. شایان ذکر است که در موارد متعددی جهت این نیروهای کششی به طور دقیق معلوم نیست. همچنین با عنایت به اینکه آرماتور، بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می دهد، تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع هموزن و ایزوتروپ باشد، صحیح نخواهد بود [۴]. به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپ و کاهش ضعف شکنندگی و تردی بتن تا حد امکان، در چند دهه اخیر استفاده از الیاف نازک و نسبتاً طویل که در تمام حجم بتن پراکنده می شود، متداول شده است [۵].

به طور کلی نقش اصلی الیاف افزوده شده به بتن ایجاد اتصال بین ترکهایی است که به هر علت به وجود می آیند. اگر الیاف به حد کافی محکم باشند و به طور کامل به ماتریس سیمان بچسبند و مقدارشان در واحد حجم کافی باشد، می توانند عرض ترکها را پایین نگهدارند و باعث شوند که بتن الیافی تنشهای بزرگتری را بعد از رسیدن بتن به حداکثر تنش کششی و در مرحله بعد از ترک خوردگی تحمل کند. بدین ترتیب الیافها بعد از ترک خوردگی بتن، نوعی شکل پذیری به بتن می دهند که اغلب با مفهوم چقرمگی بیان می شود.

عوامل محیطی متعددی بر کاهش عمر یک سازه مؤثر است. آتش یکی از مواردی است که همواره ساختمانها و سازهها را تهدید می کند. در میان سازههای مختلف، سازههای بتنی به علت طبیعت غیرقابل اشتعال خود دارای یک امتیاز مثبت در برابر افزایش دما می باشند [۶]. دماهای بالا باعث تغییرات شیمیایی و فیزیکی آشکار که منجر به تخریب بتن می شود، می گردد. مهم ترین اثر دماهای بالا شامل: کم شدن آب خمیر سیمان (دهیدراتاسیون^۲)، افزایش تخلخل، تغییر میزان رطوبت، تغییر فشار مرکزی، ترکهای حرارتی به علت ناهمسازی ترکیبات بتن، خزش گرمایی و... می باشد. با ترکیب این تغییرات در سنگدانهها و ماتریس بتن در اثر افزایش دما، ترک خوردگی و تورم در بتن رخ می دهد [۷ و ۸]. در میان انواع مختلف بتن، مخلوطهای بتنی با تراکم بالا مانند بتن خودتراکم به علت کاهش تخلخل و کاهش ارتباط حفرات همراه با افزایش فشار داخلی در برابر حملات افزایش دما آسیب پذیرتر می باشند [۷].

فارس^۳ و همکاران فرانسوی اش در سال ۲۰۱۰ به مطالعه تجربی بر روی خواص بتن خودتراکم در معرض درجه حرارت بالا پرداخته اند که شامل دو طرح اختلاط بتن خودتراکم و یک طرح اختلاط بتن ویبره شده می باشد. آنها کار خود را بر اساس پروژه ملی فرانسه انجام داده و نمونه های خود را با سرعت ۱ درجه سانتی گراد بر دقیقه مورد مطالعه قرار داده اند. نمونه ها را پس از ۹۰ روز در دماهای ۱۵۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه مورد آزمایش قرار داده اند. آنها بعد از حرارت دهی، با عکسهای میکروسکوپی به مطالعه اثرات حرارت بر روی خمیر سیمان و سنگدانهها پرداخته و به بیان رابطه بین درجه حرارت و ریزترکهای موجود در بتن پرداخته اند؛ که نتایج آنها شامل تشکیل ترکهای بسیار ریز در دمای بین ۲۰ تا ۱۵۰ درجه بوده که قابل چشم پوشی می باشد، در دمای بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه ریزترکها بیشتر شده و اثر خود را در خمیر سیمان نشان می دهد و در درجه حرارت بین ۳۰۰ تا ۴۵۰ درجه ریزترکها هم در سنگدانهها و هم در خمیر سیمان بسیار زیاد شده و درصد تخلخل بتن بالا می رود و در دمای بین ۴۵۰ تا ۶۰۰ درجه دیگر بتن کارایی خود را از دست داده و ترکها گسترده شده و خلل و فرج به اوج خود می رسد [۹].

¹ Self Compacting Concrete(SCC)

² Dehydration

³ Hanaa Fares

عملکرد خمشی (پس از نقطه اوج) تیرهای با بتن الیاف فولادی در دماهای بالا توسط آقای پوم چنگ پین^۱ و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت و به این نتیجه رسیدند که افزودن الیاف باعث افزایش ظرفیت باربری و جذب انرژی تیر پس از اولین ترک شده و همچنین تحت بار خمشی، حداکثر بار و ظرفیت جذب انرژی تا دمای ۴۰۰ درجه افزایش و سپس با افزایش دما مقادیر آنها کاهش می‌یابد. در حالت کلی بتن با الیاف فولادی دارای مقاومت حرارتی بیشتری در مقایسه با سایر بتن‌های الیافی می‌باشد [۱۰].

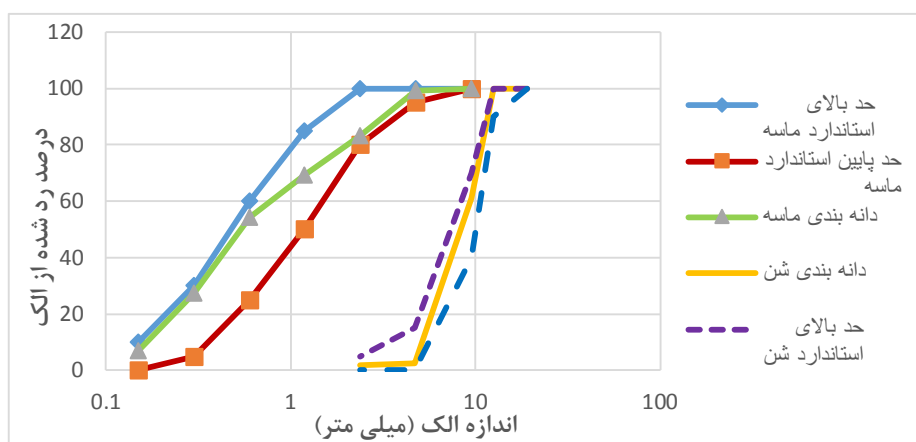
در این مطالعه، رفتار مکانیکی بتن خودتراکم معمولی و بتن خودتراکم تقویت شده با الیاف فولادی در دمای محیط و همچنین در دماهای بالا (۲۰۰ و ۴۰۰ و ۶۰۰) باهم مقایسه شده‌اند. آزمایش‌های انجام شده در شرایط دمای محیطی شامل: مقاومت فشاری، مقاومت کششی (روش دو نیم شدن) و مقاومت خمشی می‌باشد. از اهداف این پروژه می‌توان به کاربرد آن در عملکرد بتن در برابر آتش‌سوزی و نحوه رفتار بتن بعد از حرارت دهی پرداخت. همچنین می‌توان در مسائل نظامی و تحقیقاتی که نیاز به مقاومت دیوارهای بتنی در برابر حرارت بالا دارند پرداخت.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

برای جلوگیری از تغییر دانه‌بندی و رطوبت حین انجام کار، کلیه مصالح مورد نیاز طرح در ابتدا تهیه و به صورت یکجا دیو شدند. ماسه شکسته به‌عنوان ریزدانه با مدول نرمی ۲/۶، وزن مخصوص ۲/۶۳، جذب آب ۱/۷۷٪ و حداکثر اندازه ۴/۷۵ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. همچنین سنگ شکسته به‌عنوان درشت‌دانه با وزن مخصوص ۲/۶۹، جذب آب ۰/۴۹٪ و حداکثر اندازه اسمی ۱۲/۵ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. منحنی دانه‌بندی ریزدانه و درشت‌دانه به‌طور کامل با الزامات ASTM C33 [۱۱] در شکل (۱) نمایش داده شده است.

همچنین از سیمان پرتلند نوع ۱ (CEM-I 42.5 N) محصول کارخانه سیمان فیروزکوه تهران با وزن مخصوص ۳/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب مطابق با استاندارد ASTM C150 [۱۲] در ساخت نمونه‌ها استفاده شده است. همچنین از پودر سنگ‌آهک با وزن مخصوص ۲/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌عنوان عنصر فیلر (پرکننده) استفاده شده است. ترکیبات شیمیایی سیمان و پودر سنگ مصرفی مطابق جدول (۱) می‌باشد. آب مصرفی برای ساخت نمونه‌ها از شبکه لوله‌کشی آزمایشگاه دانشکده فنی مهندسی دانشگاه مازندران بابلسر می‌باشد.



شکل (۱): منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها

¹ Pomchiengpin

جدول (۱): خصوصیات شیمیایی سیمان و پودر سنگ (wt%)

نام مواد	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	CaCO ₃	L.O.I
سیمان	۲۰/۶	۴/۹	۳/۴	۶۳/۶	۲/۲	۲/۳	-	۲/۲
پودر سنگ	۰/۴	۰/۳	۰/۰۲	۵۲/۳	۰/۰۲	۵۲/۳	۹۹/۳	-

همچنین برای دستیابی به روانی موردنیاز برای بتن خودتراکم، در این تحقیق از فوق روان کننده (SP) نسل سوم بر پایه پلی کربوکسیلیک اتر با قابلیت حفظ اسلامپ بالا، با نام تجاری P10-3R، استفاده شده است.

الیاف مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها از جنس فولاد با انتهای قلاب‌دار که تولیدی شرکت صنایع مفتولی زنجان از دسته Crimped-End wire و نوع I مطابق استاندارد ASTM A820 می‌باشد. مشخصات این الیاف در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف فولادی مصرفی

قطر (mm)	طول (mm)	نسبت منظر	وزن مخصوص (kg/m ³)	مقاومت کششی (Mpa)
۰/۸	۵۱	۶۳/۷۵	۷۸۵۰	۱۲۲۰

۲-۲- طرح اختلاط

طرح اختلاط مورد استفاده در این تحقیق جهت دستیابی به بتن خودتراکم بر طبق دستورالعمل ACI 237R-07 بوده است. نکته قابل توجه آن است که انتظار می‌رود با افزایش الیاف کارایی بتن خودتراکم کاهش یابد [۱۳]، لذا در طرح اختلاط مربوط به بتن خودتراکم سعی بر آن شد تا بتن فاقد الیاف دارای حداکثر کارایی مجاز طبق دستورالعمل ACI 237R-07 باشد تا پس از اضافه نمودن الیاف همچنان پاسخگوی آزمایشات مربوط به کنترل کارایی بتن خودتراکم باشد. در این تحقیق یک طرح اختلاط شامل نمونه‌های حاوی الیاف فولادی (۰/۶۴ درصد حجمی) و یک طرح اختلاط فاقد الیاف، به‌عنوان نمونه شاهد (NSCC)، مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است. هر دو طرح اختلاط بررسی شده، در جدول (۳) ارائه شده است. نسبت آب به سیمان (W/C) برابر با ۰/۳۵ می‌باشد. (Vf) % موجود در جدول (۳) همان درصد حجمی الیاف بوده که برابر با نسبت حجم الیاف به حجم بتن می‌باشد.

جدول (۳): جزئیات طرح اختلاط بتن مصرفی (kg/m³)

نام طرح	شن (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	پودر سنگ (kg/m ³)	سیمان (kg/m ³)	آب (kg/m ³)	مقدار الیاف % (Vf)	فوق روان کننده (kg/m ³)
NSCC	۷۲۰	۸۳۵	۲۸۸	۴۱۳	۱۴۵	-	۶
SFRSCC	۷۲۰	۸۳۵	۲۸۸	۴۱۳	۱۴۵	۰/۶۴	۶

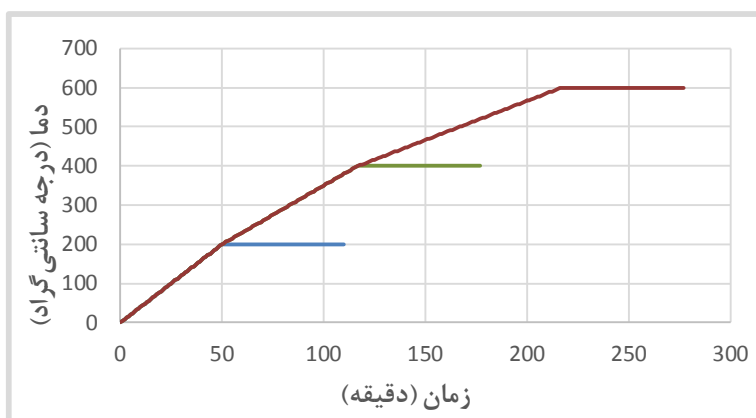
در نام‌گذاری طرح‌ها در جدول (۳)، NSCC و SFRSCC به ترتیب نشان‌دهنده بتن خودتراکم فاقد الیاف فولادی و بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی می‌باشند.

مقادیر الیاف فولادی در یک مترمکعب بتن خودتراکم و با توجه به ACI 544.4R برای بتن با حداکثر اندازه سنگدانه ۱۲/۵ میلی‌متر، با فرض وزن مخصوص ۷۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب فولاد، برابر ۵۰ کیلوگرم تعیین گردید.

۲-۳- منحنی استاندارد دما:

برای بررسی عملکرد عناصر بتنی تحت دمای بالا از منحنی‌های استاندارد زمان - دما استفاده شد. از جمله منحنی‌های استاندارد می‌توان منحنی دمای ISO 834 و منحنی BS 476 (بریتانیا) و ASTM E119 را نام برد. در این مطالعه با توجه به امکانات کوره گرمایی از منحنی زمان - دما شکل (۲) استفاده شد.

نمونه‌ها در معرض ۳ سطح گرمایی متفاوت تا دمای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از رسیدن به دمای هدف برای اینکه عمق نمونه‌های بتنی به دمای هدف برسد، دمای کوره به مدت یک ساعت در دمای هدف ثابت نگه‌داشته شد. بعد از حرارت دادن نمونه‌ها، تا رسیدن دمای کوره به دمای محیط، در همان شرایط در کوره خاموش باقی می‌مانند تا دچار شوک حرارتی ترک‌های ناگهانی نشوند. برای اینکه رطوبت درون بتن، روی مقاومت نمونه‌های حرارت داده‌شده تأثیر نداشته باشد، قبل از حرارت دهی، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه قرار گرفتند تا رطوبت خود را از دست بدهند؛ در این مدت رطوبت درون نمونه‌ها به‌طور کامل از بین رفت تا در دماهای بالا دچار انفجار و انهدام نشوند.



شکل (۲): منحنی زمان - دما

۳- بحث و نتایج

۳-۱- نتایج آزمایش‌های بتن تازه:

در این تحقیق از طرح اختلاطی استفاده شد که با وجود استفاده از الیاف در بتن، بتن خودتراکمی را داشته باشد، لذا برای سنجش کارایی بتن خودتراکم الیافی از پارامترهای سنجش بتن خودتراکم استفاده نمودیم. جهت بررسی خواص متفاوتی از قبیل قابلیت عبور و پایداری بتن خودتراکم در برابر جداسدگی از آزمایش جعبه‌ی L شکل (شکل ۳) و جهت ارزیابی روانی بتن خودتراکم از آزمایش جریان اسلامپ (شکل ۴) استفاده گردید. نتایج این آزمایش‌ها در جدول (۴) آورده شده است.



شکل (۳): آزمایش جعبه L شکل



شکل (۴): آزمایش جریان اسلامپ

جدول (۴): خواص تازه و مکانیکی بتن خودتراکم

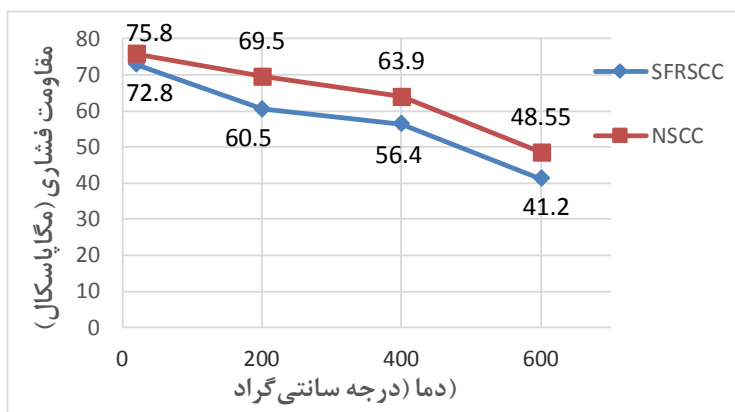
نوع بتن	آزمایش جریان اسلامپ		آزمایش جعبه L شکل			چگالی (kg/m ³)
	جریان اسلامپ (mm)	T50 (s)	H2/H1	T200 (S)	T400 (S)	
NSCC	۷۷۵	۴/۷	۰/۹۴	۳/۵	۶/۸	۲۴۰۶
SFRSCC	۷۵۰	۵/۸	۰/۸۹	۴/۹	۹/۲	۲۴۳۳

نتایج حاصل از این آزمایشات نشان می‌دهد که بتن‌های ساخته شده در محدوده استاندارد بتن خودتراکم بوده و استفاده از الیاف فولادی، اثرات منفی بر خواص رئولوژی بتن خودتراکم تازه دارد و افزودن الیاف فولادی به بتن کارایی آن را کاهش می‌دهد. مطابق آیین‌نامه اروپا (EFNARC) [۱۴] جریان اسلامپ بتن خودتراکم فاقد الیاف باید در محدوده ۶۵-۸۰ سانتی‌متر و زمان رسیدن به قطر ۵۰ سانتی‌متر باید حداقل ۲ و حداکثر ۵ ثانیه باشد. همچنین نسبت ارتفاع بتن در ابتدای جعبه به ارتفاع بتن در انتهای جعبه پس از ساکن شدن باید حداقل برابر ۰/۸ باشد.

۳-۲- نتایج آزمایش‌های بتن سخت شده:

۳-۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری (Compressive strength test)

مقاومت فشاری بتن یکی از اصلی‌ترین پارامترهای طراحی سازه، بی‌تردید به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خواص مکانیکی و مشخصه کیفیت بتن می‌باشد. آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی (شکل ۷) بر اساس استاندارد ASTM C39 انجام شد [۱۵]. نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری در دمای محیط و مقاومت فشاری باقیمانده ناشی از افزایش دمای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد برای هر دو مخلوط بتن خودتراکم معمولی (NSCC) و بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی (SFRSCC) در شکل (۵) نشان داده شده است.



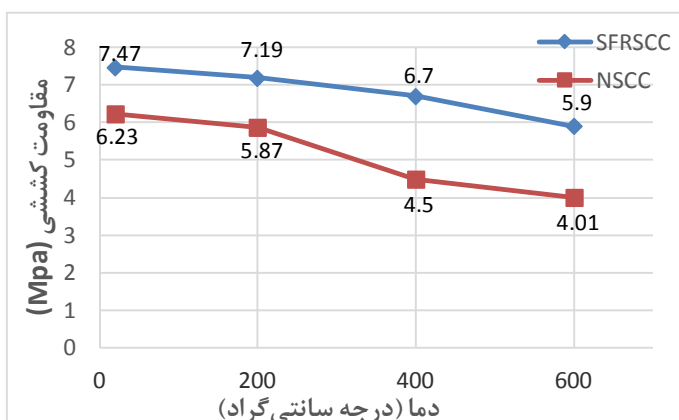
شکل (۵): مقاومت فشاری نمونه‌های بتن خودتراکم در دماهای مختلف

همانطور که از نتایج مشخص است مقاومت فشاری با افزایش دما کاهش می‌یابد. در هر دو مخلوط این کاهش از دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد محسوس خواهد بود. کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه‌های مشابه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱۷، ۲۲ و ۴۳ درصد می‌باشد. که این درصد کاهش برای بتن خودتراکم فاقد الیاف به ترتیب ۸، ۱۶ و ۳۶ درصد می‌باشد.

۳-۲-۲- آزمایش مقاومت کششی (Tensile strength test)

آزمایش مقاومت کششی (آزمایش برزلی) نمونه‌های بتنی پس از حداقل ۲۸ روز از مراقبت و نگهداری بر اساس استاندارد ASTM C496 انجام شد [۱۶].

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت کششی در دمای محیط و مقاومت کششی باقیمانده ناشی از افزایش دمای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد برای هر دو مخلوط بتن خودتراکم معمولی (NSCC) و بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی (SFRSCC) در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): مقاومت کششی نمونه‌های بتن خودتراکم در دماهای مختلف

همانطور که از نتایج مشخص است با افزایش دما مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حاوی الیاف فولادی و همچنین نمونه‌های بتنی فاقد الیاف فولادی، کاهش می‌یابد. کاهش مقاومت کششی نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه‌های مشابه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۰،۴ و ۱۰ و ۲۱ درصد می‌باشد. که این درصد کاهش برای بتن خودتراکم فاقد الیاف ۶، ۲۸ و ۳۶ درصد می‌باشد.

همچنین مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه نسبت به نمونه‌های مشابه فاقد الیاف فولادی به ترتیب ۲۰، ۲۲، ۴۹ و ۴۷ درصد افزایش یافته است.



شکل (۸): آزمایش مقاومت کششی



شکل (۷): آزمایش مقاومت فشاری

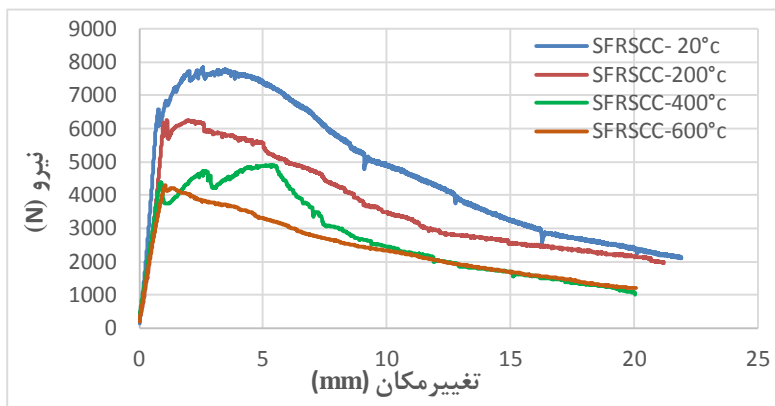
۳-۲-۳- آزمایش مقاومت خمشی (Flexural strength)

در این آزمایش هدف تعیین مقاومت خمشی بر اساس استاندارد ASTM C293 می‌باشد که بر روی نمونه‌های منشوری ۹۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر (فاصله تکیه‌گاه‌ها ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد) توسط دستگاه (Universal) که مکانیزم آن (Strain Control) بوده، با سرعت ۰/۵ mm/min انجام شد. مقاومت خمشی و یا مدول گسیختگی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

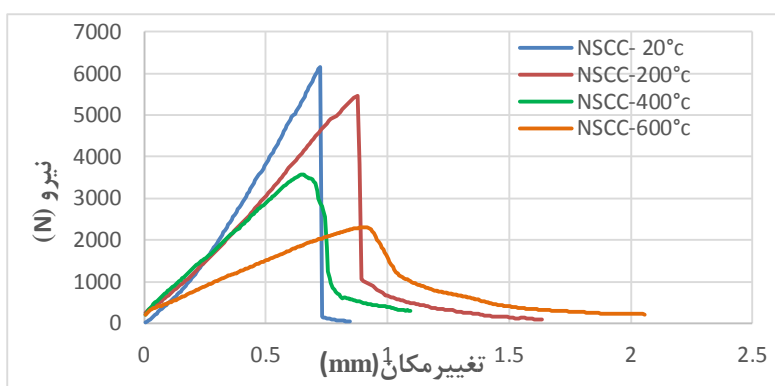
$$F_b = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (1)$$

که در آن F_b مقاومت خمشی برحسب مگاپاسکال، F بار شکست (حداکثر بار در نمودار بار-تغییر مکان)، L طول دهانه خالص، b عرض نمونه و d ارتفاع و یا ضخامت نمونه می‌باشد.

نتایج آزمایش مقاومت خمشی تمامی نمونه‌های آزمایش شده، توسط نمودارهای بار-تغییر مکان در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

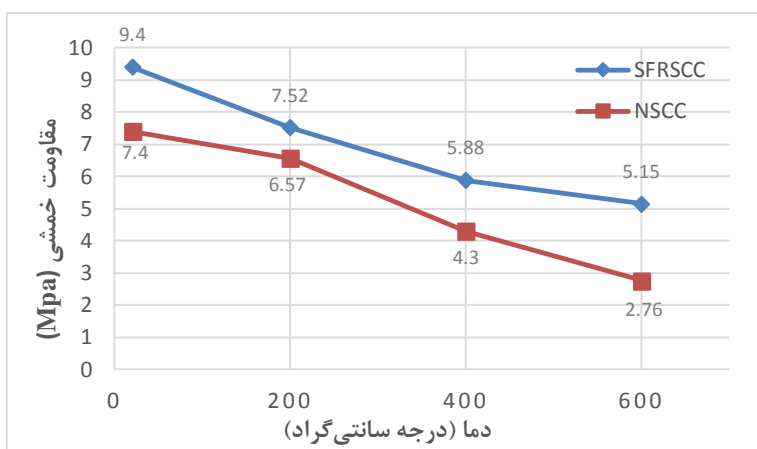


شکل (۹): منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی



شکل (۱۰): منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه‌های بتن خودتراکم فاقد الیاف فولادی

با افزایش دما، مقاومت خمشی نمونه‌های بتن خودتراکم کاهش می‌یابد (شکل ۱۱). کاهش مقاومت خمشی نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه‌های مشابه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۰، ۳۷ و ۴۵ درصد می‌باشد؛ که این درصد کاهش برای بتن خودتراکم فاقد الیاف ۱۱، ۴۲ و ۶۳ درصد می‌باشد.



شکل (۱۱): مقاومت خمشی نمونه‌های بتن خودتراکم در دماهای مختلف

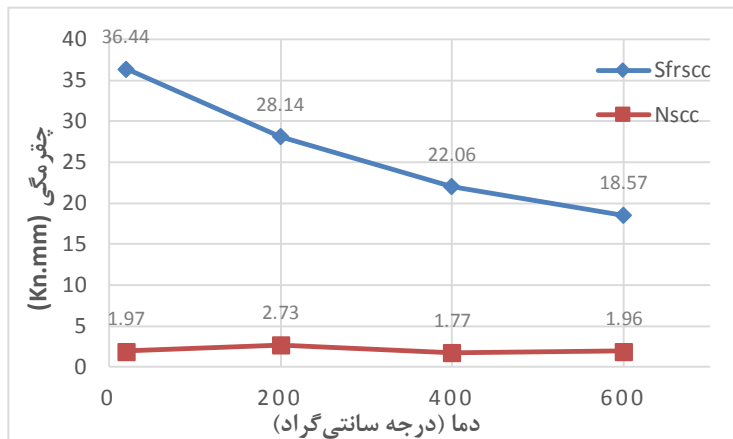
همچنین با بررسی نتایج مذکور مشاهده می‌شود که نمونه‌های حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۷، ۱۴، ۳۷ و ۸۷ درصد نسبت به نمونه‌های فاقد الیاف فولادی، مقاومت خمشی بتن را افزایش دادند. دلیل اصلی این افزایش، عملکرد الیاف (الیاف با توزیع غیریکنواخت) در پل زدن در میکرو ترک‌ها و جلوگیری از رشد آن‌ها می‌باشد.

۳-۲-۴- چقرمگی (Flexural toughness)

وجود الیاف در بتن نه تنها باعث بهبودی برخی از خواص مکانیکی آن نظیر مقاومت در برابر ایجاد و رشد ترک، مقاومت برشی و مقاومت ضربه‌ای می‌شود؛ بلکه باعث افزایش شکل‌پذیری و انرژی لازم برای شکست بتن نیز می‌گردد [۱۷]. افزایش چقرمگی مهم‌ترین اثر الیاف در بتن است. چقرمگی توانایی مواد برای مقاومت در برابر مقادیر زیاد کرنش و تغییر شکل‌های بعد از اوج، قبل از شکست است و ارائه مقاومت در برابر انتشار ترک‌ها یک مشخصه مهم جهت تمیز دادن FRC از بتن عادی است.

در این مقاله طبق آیین‌نامه ژاپن (JSCE SF-4) و همچنین ASTM C1609 سطح زیر منحنی (بار- تغییر مکان) تا $L/150$ (در این تحقیق 800/150) به‌عنوان چقرمگی بتن در نظر گرفته شده است.

نتایج مربوط به چقرمگی (ظرفیت جذب انرژی) طرح‌های مختلف در شکل (۱۲) آورده شده است. با بررسی نتایج شکل (۱۲) مشاهده می‌شود که با افزایش دما، چقرمگی نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی کاهش می‌یابد. کاهش چقرمگی نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه‌های مشابه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۳، ۳۹ و ۴۹ درصد می‌باشد. در صورتیکه با توجه به شکل (۱۲) می‌توان دریافت که افزایش دما تاثیر زیادی روی چقرمگی بتن خودتراکم بدون الیاف ندارد.



شکل (۱۲): چقرمگی نمونه‌های بتن خودتراکم در دماهای مختلف

همچنین نمونه‌های حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در حدود ۱۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۰ برابر نسبت به نمونه‌های فاقد الیاف فولادی، چقرمگی بتن را افزایش دادند.

۴- نتیجه گیری

- (۱) با توجه به نتایج آزمایش‌های کارایی بتن خودتراکم، مشاهده گردید که استفاده از الیاف فولادی، اثرات منفی بر خواص رئولوژی بتن خودتراکم تازه دارد.
- (۲) در روند افزایش دما، مقاومت فشاری برای هر دو مخلوط بتن خودتراکم معمولی و الیافی کاهش می‌یابد. روند کاهش مقاومت فشاری تا دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد کند بوده و از این دما به بعد محسوس خواهد بود. مقاومت فشاری باقیمانده برای بتن خودتراکم معمولی و الیافی در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به مقاومت در دمای محیط به ترتیب ۷۷ و ۸۴ درصد است.
- (۳) نتایج نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی نسبت به بتن خودتراکم فاقد الیاف نشان می‌دهد که استفاده از الیاف در درصد‌های حجمی بالا منجر به کاهش مقاومت فشاری می‌شود که این ناشی از تجمع الیاف‌ها و تشکیل حفره در بتن خودتراکم الیافی می‌باشد.
- (۴) نتایج حاصل نشان می‌دهد که طول بلند و مقاومت کششی بالای الیاف فولادی از انتشار ماکرو ترک‌ها پس از ترک‌خوردگی جلوگیری می‌کند و در نهایت مقاومت کششی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه نسبت به نمونه‌های مشابه فاقد الیاف فولادی به ترتیب ۲۰، ۲۲، ۴۹ و ۴۷ درصد افزایش یافته است. این نشان می‌دهد که تاثیر الیاف در دماهای بالاتر بخاطر ترک‌های اولیه که در اثر آتش اتفاق می‌افتد، بیشتر است.
- (۵) با افزایش دما، مقاومت خمشی نمونه‌های بتن خودتراکم کاهش می‌یابد. کاهش مقاومت خمشی نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه‌های مشابه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۰، ۳۷ و ۴۵ درصد می‌باشد. که این درصد کاهش برای بتن خودتراکم فاقد الیاف ۱۱، ۴۲ و ۶۳ درصد می‌باشد.
- (۶) با بررسی نتایج حاصل از آزمایش خمش، در طرح اختلاط‌های موجود، با افزودن الیاف فولادی در بتن خودتراکم، شاهد افزایش چشم‌گیر مقاومت خمشی هستیم بطوریکه نمونه‌های حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۷، ۱۴، ۳۷ و ۸۷ درصد نسبت به نمونه‌های فاقد الیاف فولادی، مقاومت خمشی بتن را افزایش دادند. همچنین نتایج آزمایش کششی، نتایج آزمایش خمش نشان می‌دهد که تاثیر الیاف در دماهای بالاتر بخاطر ترک‌های اولیه که در اثر آتش اتفاق می‌افتد، بیشتر است.
- (۷) مهم‌ترین اثر الیاف فولادی در بتن، افزایش سطح زیر نمودار و شکل‌پذیری آن می‌باشد. به‌طوری‌که نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی سطح زیر نمودار بزرگ‌تری در مقایسه با بتن فاقد الیاف داشتند.
- (۸) با افزایش دما، چقرمگی نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی کاهش می‌یابد. کاهش چقرمگی نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه‌های مشابه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۳، ۳۹ و ۴۹ درصد می‌باشد.
- (۹) نتایج مربوط به چقرمگی طرح‌های مختلف در این تحقیق نشان داد با افزودن الیاف فولادی به بتن خودتراکم، چقرمگی بتن به‌طور چشمگیری افزایش یافته است به‌طوری‌که نمونه‌های حاوی الیاف فولادی در دماهای ۲۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در حدود ۱۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۰ برابر نسبت به نمونه‌های فاقد الیاف فولادی، چقرمگی بتن را افزایش دادند. که نشان از عملکرد بهتر الیاف فلزی در جذب انرژی و چقرمگی بتن خودتراکم می‌باشد.

۵- مراجع

- [1] skarendahl , A ; petersson , O : self compacting concrete . state of the Arteport of RILEM Technical committee174. RILEM Report No 23 ,2000.
- [2] Frank Dehn " self compacting concrete (Scc) time development of the material properties and Bond Behavior " 2000.
- [۳] خالو، ع.ر، "خواص مکانیکی و کاربرد بتن مسلح به الیاف" قسمت های اول و دوم، مجله عمران شریف، شماره های ۷ و ۸، صفحات ۲۳-۲۸ و ۲۷-۲۹، ۱۳۷۱.
- [4] ACI committee 544 Report, "Design Consideration for SFRC", ACI structural journal, (reapproved 1994), pp 563-530, 1988.
- [5] Shah, S. P., and Batson, G. B. , "Fiber-Reinforced Concrete Properties and Applications", , SP105, ACI, p597, 1987.
- [6] Fletcher, I.A., Welch, S., Torero, J.L., Carvel, R.O., Usmani, A., The behavior of concrete structures in fire,BRE Centre for Safety Engineering,Thermal science journal,11:2,37-52,(2007).
- [7] Poon, C.S., Shui, Z.H., and Lam, L., Compressive behavior of fibre reinforced high-performance concrete subjected to elevated temperatures,Cement and Concrete Research,37,2215-2222,(2004).
- [8] Noumowe, A., Siddique,R., Ranc,G., Thermo-mechanical characteristics of concrete at elevated temperatures up to 310°C,Nuclear Engineering and Design 239,470-476,(2009).
- [9] Hanaa Fares , Sébastien Remond, Albert Noumowe, Annelise Cousture , High temperature behaviour of self-consolidating concrete Microstructure and physicochemical properties, Cement and Concrete Research 40 (2010) 488–496.
- [10] Pomchiengpin, W., Sukontasukkul, P., & Songpiriyakij, S. (2010). Post-crack (or post-peak) flexural response and toughness of fiber reinforced concrete after exposure to high temperature. *Construction and Building Materials*, 24(10), 1967-1974.
- [11] ASTM C33. Standard specification for concrete aggregates. Annual Book of ASTM Standards; 2004.
- [12] ASTM C150. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, PA: ASTM; 2012.
- [13] ACI Committee. (1988). Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.4 R-88). *American Concrete Institute, Farmington Hills, MI*.
- [14] EFNARC. Specifications and guidelines for self-compacting concrete. English ed. European Federation for Spec Constr Chem & Concr Syst; May 2005.
- [15] ASTM C39. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. Annual Book of ASTM Standards; 2004.
- [16] ASTM C496. Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens. Annual Book of ASTM Standards; 2004.
- [17] Shah, S. P., Swartz, S. E., and Ouyang, C., "Fracture Mechanics of Concrete," John Wiley and Sons, New York, USA, 1995.