بررسی مقاومت برشی و مدول گسیختگی بتن مسلح شده با الیاف پلی الفین در دماهای مختلف

مسلم یوسفوند[1]، مختار هواسی[2]، علی‌اکبر امیری[3]، سعید یوسفوند[4]

۱- کارشناس ارشد عمران- سازه، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۲- کارشناس ارشد عمران – شرکت مهندسی و توسعه سروک آذر

۳- کارشناس ارشد عمران- سازه، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۴- کارشناس ارشد عمران- سازه، دانشگاه ملایر

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (M.yousefvand.vru@gmail.com)

چکیده

تلاش‌های بسیاری طی سال‌های اخیر جهت جبران ضعف کششی بتن انجام شده‌است. به‌منظور اصلاح رفتار بتن در کشش، مسلح سازی آن با الیاف می‌تواند گزینه مناسبی باشد. از اهداف پژوهش بررسی عملکرد کششی بتن مسلح شده با الیاف پلی‌الفین تحت اثر درجه حرات‌های مختلف و مقایسه با طرح اولیه است. با افزودن الیاف (۱/۵ درصد حجمی) رشد ۲۹ درصد، مقاومت کششی و ۵۶ درصدی مدول گسیختگی (تنش متناظر با کاهش چشمگیر این دو پارامتر در بتن نسبت به نمونه‌های موجود باهمان درصدهای حجمی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد مواجه شدیم. بتن الیافی در شراط آزمایشگاهی می‌تواند عملکرد مقاومتی مناسبی را از خود به نمایش بگذارد اما تحت اثر حرات‌های بالا خود الیاف به یک عامل مخرب در بتن تبدیل می‌شود که دلیل آن برهم خوردن هموژنی بتن و اکسایش الیاف موجود در بتن تحت اثر حرارت بالا است.

کلمات کلیدی: بتن مسلح شده با الیاف، عملکرد کششی، مدول گسیختگی، حرارت

۱. مقدمه

الیاف‌ها به صورت طبیعی و مصنوعی وجود دارند از انواع الیاف‌های پر کاربرد در FRC[1]می توان به فولاد، شیشه، کربن، الیاف های پلیمری و سلولزی اشاره کرد. در حالت کلی الیاف مسلح کننده نمی‌تواند جایگزین میلگرد در قطعات سازه‌ای شود بلکه نقش متفاوتی را در بتن بازی می‌نماید. مهم‌ترین نقش الیاف کنترل ترک در FRC و تغییر رفتار بتن هنگامی که خمیر آن دچار ترک می‌شود است. محققان ثابت کردند که نتیجه افزودن الیاف پلیمری به بتن، بهبود انعطاف‌پذیری و طاقت آن است. آن‌ها ثابت کردند که درصدحجمی بحرانی الیاف برای تأمین مقاومت بتن به عوامل متعددی وابسته است. مهم‌ترین عامل پیوستگی الیاف با ملات سیمان است[3-1].

زولو و همکاران [4] آزمایش‌هایی جهت تعیین مقاومت فشاری، مقاومت کششی دونیم شدن و مقاومت خمشی بتن غیرمسلح و مسلح به الیاف پلیمری انجام داده‌اند؛ که نمونه‌ها حاوی ۰ الی ۰/۳ درصد الیاف بودند. نشان دادند که استفاده از این مقدار حجمی الیاف در بتن تأثیر کمی بر مقاومت فشاری داشته اما مقاومت کششی و خمشی با استفاده ۰/۱ درصد الیاف از ۰ تا ۲/۷ درصد افزایش یافت.

کونزالسکی [5] به ارزیابی اثرات مختلف مقادیر الیاف پلیمری آرامید بر مقاومت کششی بتن پرداخت. مقادیر الیاف بین ۰ و ۲ درصد حجمی قرار داشت و جهت‌گیری الیاف در ترکیبات آزمایشی، تک راستا بود. نتایج آزمایش نشان داد که نقطه غیرخطی شدن برای مقادیر الیاف بیشتر از ۱/۴۵ درصد کاهش‌یافته و همچنین مدول یانگ و طاقت با افزاش مقدار الیاف کاهش می‌یابد.

اندرسون و دانیل، ترکیبات مختلف بتن مسلح شده با الیاف پلیمری آکریلیک، مطالعاتی را انجام دادند. میزان استفاده بین ۱ الی ۳ درصد وزنی خمیر بود. نتایج نشان دادند که با افزایش مقدار اولیه الیاف مدول گسیختگی تمایل به افزایش دارد[6].

مایی و همکاران گزارش داده‌اند که تحت اثر حرارت کوره، الیاف پلی‌پروپیلن موجود در بتن مسلح الیافی، اکسایش یافته و انعطاف‌پذیری خود را به‌طور چشمگیری از دست می‌دهد[7].

بر اساس تحقیقات رفتار بتن الیافی تحت اثر حرارت کوره و حرارت ناشی از آتش‌سوزی، متفاوت است. محققان نشان دادند در مواقع آتش‌سوزی با افزایش مقاومت فشاری [9-8]، و لاو و اندرسون گزارش دادند که درزمانی بتن الیافی تحت اثر حرارت کوره قرار می‌گیرد، کاهش مقاومت فشاری را شاهد هستیم[10].

۲. مواد مصرفی

سنگ‌دانه‌های بتن در حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد حجم بتن را به خود اختصاص می‌دهند و بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی بتن با ویژگی‌های سنگ‌دانه‌ها ارتباط مستقیم دارد. سنگ‌دانه‌ها تقریباً ارزان هستند و با آب واکنش پیچیده‌ای برقرار نمی‌کنند، بنابراین معمولاً از سنگ‌دانه‌ها به‌عنوان پرکننده‌های خنثی در بتن نام برده می شود. برخی از مشخصات سنگ‌دانه‌ها که در بتن اهمیت دارند عبارت‌اند از: تخلخل، دانه‌بندی جذب رطوبت، شکل و بافت سطحی، مقاومت در برابر خردشدگی، مدول الاستیسیته و نوع مواد زیان‌آور موجود در آن‌ها. در (جدول۱) برخی از ویژگی‌های مهم سنگدانه‌های مصرفی آمده‌است. نمودار دانه‌بندی (نمودار۱) نیز در ادامه قابل مشاهده است. در این پژوهش سیمان تیپ ۲ کرمان استفاده‌شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن، در (جدول۲) ، قابل مشاهده است. این مشخصات با استاندارد ASTM C۱۵۰ – ۰۷ [11] مطابقت دارد. در روش استاندارد ملی بتن شاره شده است که آبی که قابل آشامیدن است را می‌توان در بتن به کاربرد. تنها استثنا آن است که سوابق قبلی، نشان‌دهنده نامناسب بودن این آب برای بتن باشد که در این صورت نباید در بتن به‌کاربرده شود. آب به سه صورت در بتن به کار می‌رود: برای شستشوی سنگ‌دانه‌ها، به‌عنوان یکی از اجزای تشکیل‌دهنده

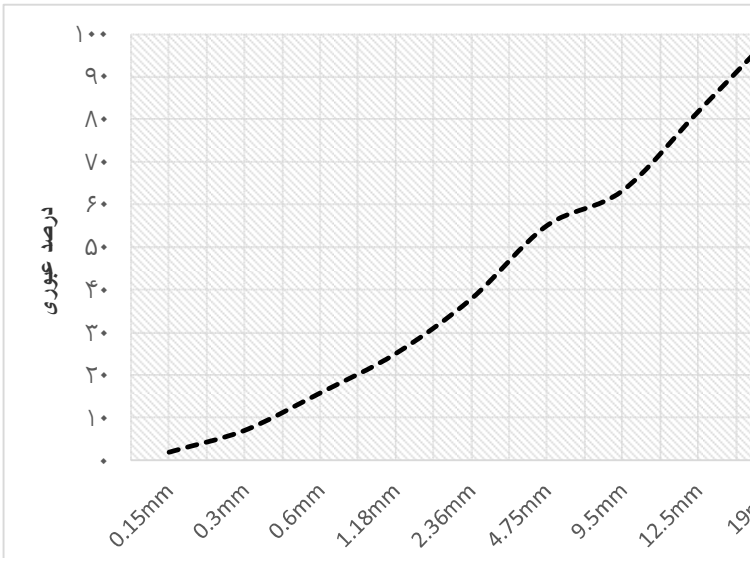
[1] Fiber reinforced concrete

بتن و به‌منظور عمل‌آوری بتن، آب مصرفی در این پژوهش آب شرب شهر رفسنجان استان کرمان است. فوق روان کننده کاهش آب بتن باعث صرفه‌جویی در مصرف سیمان و سادگی عمل تراکم و اختلاط بتن می‌شود. فوق روان کننده‌ها در مقایسه با روان کننده‌ها دارای اثر قوی‌تری هستند. این مواد ضمن حفظ انسجام بتن و بدون کاهش مقاومت آن باعث افزایش کارایی آن می‌شوند. علاوه بر این، این مواد قادراند آب مورد نیاز بتن را به میزان ۲۵ تا ۳۵ درصد کاهش دهند و مانع آب انداختن آن شوند. توسعه‌ی آینده بتن وابسته به افزودنی‌های آن مخصوصاً فوق روان کننده بتن است. در این پژوهش از فوق روان‌کننده بتن با خاصیت حفظ کارایی به مدت زیاد بر پایه پلی کربوکسیلات اتر شرکت البرز شیمی استفاده شده است که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در (جدول۳) آمده‌است.

الیاف مورداستفاده در این پژوهش الیاف الیاف پلی‌الفین (شکل۱)، است که مشخصات فنی آن در (جدول۴) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سنگدانه ها (شن و ماسه)

	شن	ماسه
چگالی ذرات SSD	۲/۵۶	۲/۴۸
درصد ظرفیت جذب آب	۲/۴	۳/۳
شکل	نیمه شکسته	گرد و تیز گوشه



نمودار ۱- منحنی دانه بندی مخلوط سنگدانه ها

جدول ۲- مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۲ کرمان

Component	Loss on Ignition	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Cl	Free CaO	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Result (%)	۱/۱۹	۲۱/۵۰	۴/۹۵	۳/۹۷	۶۳/۵۲	۱/۷۵	۲/۲۰	-	۱/۴	۵۰	۲۴	۶/۴	**۱۲/۱**

جدول ۳- مشخصات فنی فوق روان کننده کربوکسیلاتی

مشخصه	شرح
شکل ظاهری	مایع ویسکوز
رنگ	شفاف یا شیری
غلظت	٪۴۰
pH	۶ – ۸
چگالی	۱/۰۸ g/cm^3
میزان مصرف	۰/۳ الی ۱/۵ درصد وزن سیمان

شکل ۱- الیاف پلی‌الفین

جدول ۴- مشخصات الیاف پلی الفین

مواد سازنده	پلی الفین اصلاح شده
شکل	تارهای شبکه‌ای تابیده
طول	۱۸ میلی‌متر
مقاومت کششی	۸۰۰ مگاپاسکال
وزن مخصوص	۰/۹۱ -۰/۹۴
جذب آب	ندارد

۳ . روش‌ها و نتایج‌کلی

۳ . ۱. طرح مخلوط بتن

پس از بهینه‌سازی مخلوط سنگ‌دانه و تعیین نسبت‌های اختلاط بر اساس روش ملی اختلاط روند ساخت و تولید نمونه‌های بتنی طبق استاندارد انجام شد. در پروژه جاری، طرح‌های اختلاط برای تمامی آزمایش‌های بتن به شرح (جدول ۵) و (جدول۶)، ارائه‌شده است. نحوه اختلاط مواد به این صورت بود که پس از اختلاط مواد اصلی بتن بدون افزودنی به مدت ۲ دقیقه با یکدیگر در مخلوط‌کن مواد افزودنی ابتدا الیاف و سپس فوق روان کننده به مخلوط اضافه شدند و پس از اختلاط کامل عملیات نمونه‌گیری انجام شد.

جدول ۵- نام گذاری طرح‌های اختلاط

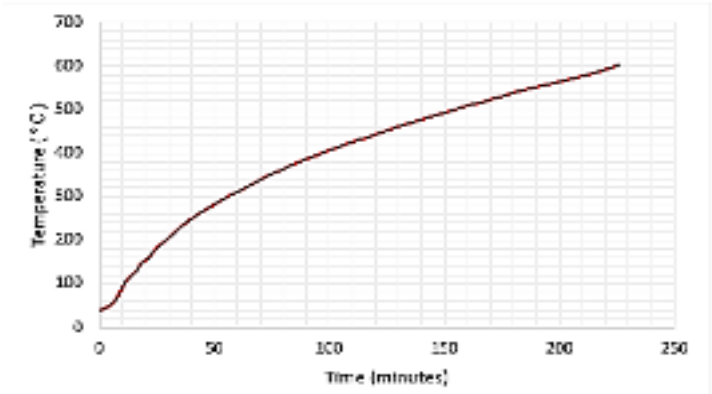
نام طرح اختلاط	شرح
CN , N (Normal)	شاهد
CP, P (polyelfin)	بتن مسلح شده با الیاف **پلی‌الفین**

جدول ۶- طرح اختلاط

طرح اختلاط (Mix)	درصد حجمی الیاف	فوق روان کننده (درصدوزنی سیمان) (kg/m³)	سیمان (kg/m³)	شن (kg/m³)	ماسه (kg/m³)	آب (kg/m³)
CN	-	۰/۶	۴۱۰	۸۵۰	۹۴۰	۲۰۰
CP ۰,۵٪	۰/۵	۰/۶	۴۱۰	۸۵۰	۹۴۰	۲۰۰
CP ۱٪	۱	۰/۶	۴۱۰	۸۵۰	۹۴۰	۲۰۰
CP ۱,۵٪	۱/۵	۰/۶	۴۱۰	۸۵۰	۹۴۰	۲۰۰

۳ . ۲. آزمون‌های مقاومت کششی و خمشی

آزمون‌های مقاومت کششی (دونیم شدن) مطابق ASTM C۴۹۶/C۴۹۶M-۰۴ [12] (نمونه های استوانه‌ای ۲۰*۱۰) و مقاومت خمشی مطابق ASTM C۷۸-۰۸ [13] (نمونه های ۱۵*۱۵*۴۵ سانتی‌متر با دهانه ۳۰ سانتی-متری) با درصدهای حجمی مختلف تحت حرارت کوره (نمودار ۲ و شکل ۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند. تمامی نمونه‌ها قبل از آزمایش به مدت ۲۸ روز در شرایط آزمایشگاهی در آب غوطه‌ور و عمل‌آوری شدند. نتایج مربوط به نمونه‌های تحت حرارت در دماهای ۶۰۰،۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به تفکیک در (جدول ۷) و (جدول ۸) به همراه نمودار هرکدام از آزمون‌ها وهمچنین گزارش تصویری از نوع شکست نمونه‌ها و نیز آورده شده است.

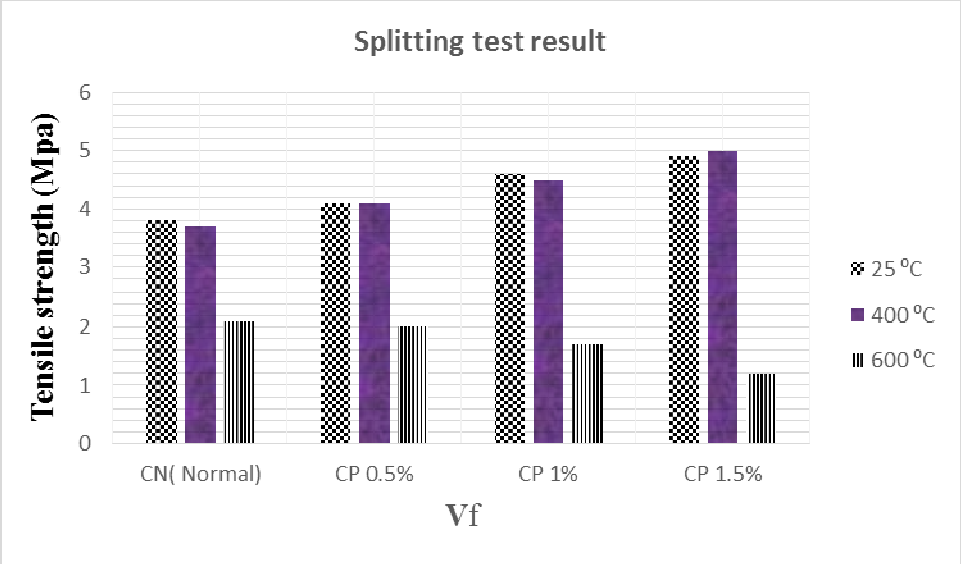


نمودار۲- منحنی حرارت– زمان کوره

شکل ۲- کوره و نمونه‌ها

جدول ۷- نتایج مربوط به آزمون مقاومت کششی تحت اثر دماهای مختلف

طرح اختلاط	مقاومت کششی (Mpa)		
	۲۵^{0}C	۴۰۰^{0}C	۶۰۰^{0}C
CN(Normal)	۳/۸	۳/۷	۲/۱
CP ۰,۵٪	۴/۱	۴/۱	۲
CP ۱٪	۴/۶	۴/۵	۱/۷
CP ۱,۵٪	۴/۹	۵	۱/۲

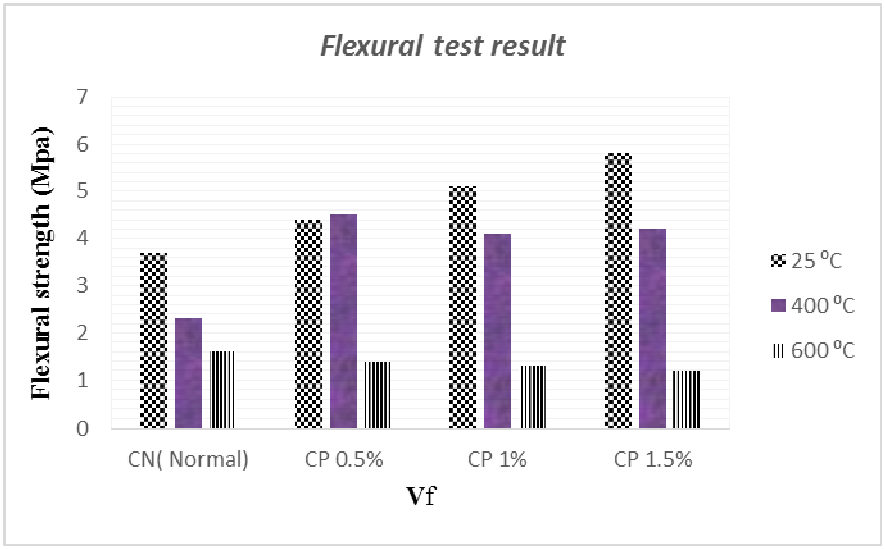


نمودار ۳- نتایج مربوط به تست کشش برزیلی (دو نیم شدن)

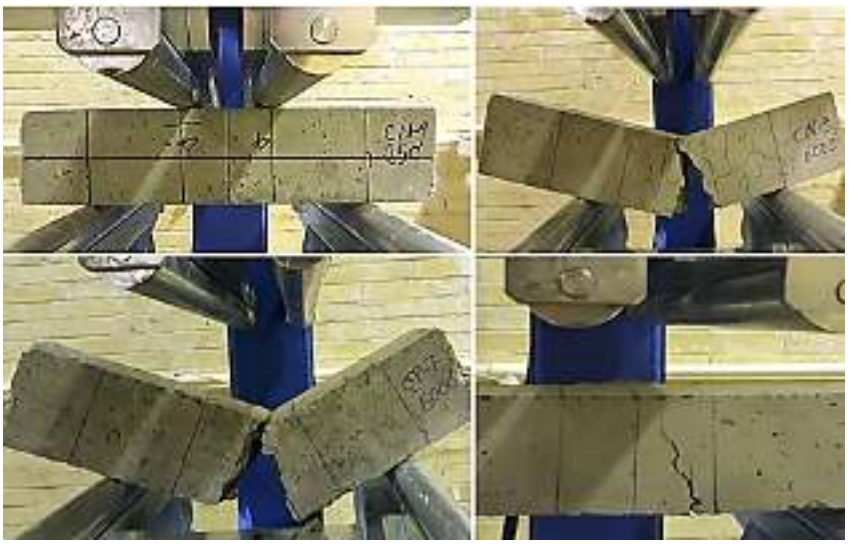
شکل ۳- تصاویری از روند انجام آزمون مقاومت کششی

جدول ۸- نتایج مربوط به آزمون مقاومت خمشی تحت اثر دماهای مختلف

طرح اختلاط	مقاومت خمشی (Mpa)		
	۲۵°C	۴۰۰°C	۶۰۰°C
CN(Normal)	۳/۷	۲/۳	۱/۶
CP ۰,۵٪	۴/۴	۳/۵	۱/۴
CP ۱٪	۵/۱	۴/۱	۱/۳
CP ۱,۵٪	۵/۸	۴/۲	۱/۲



نمودار ۴- نتایج مربوط به تست مقاومت خمشی (چهار نقطه ای)



شکل ۴- تصاویری از روند انجام آزمون مقاومت خمشی

۴. نتیجه گیری کلی:

تحقیقات انجام‌گرفته نشان می‌دهند که وجود الیاف با مقدار بهینه مقاومت فشاری بتن را چندان تحت تأثیر قرار نمی‌دهد، اما به دلیل نقش الیاف در دوختن ترک‌ها، از گسیختگی ترد و خرد شدن نمونه جلوگیری می‌کند. درواقع گسیختگی بتن الیافی در این حالت با شکل‌پذیری همراه بوده و نمونه یکپارچگی خود را تا حدود زیادی حفظ می‌کند[14]. افزودن الیاف پیوستگی منافذ و ارتباط کانال‌های جریان را در بتن از بین می‌برد[15]. اکسایش الیاف و از بین رفتن مدول آن در الیاف تحت حرارت بالا نه تنها به این ارتباط را از بین نمی‌برد بلکه باعث تشدید در ایجاد منافذ شده و خود عامل مخربی در بتن مسلح الیافی است که در این پژوهش زمانی که بتن تحت اثر حرارت‌های بالا ($۶۰۰^{o}c$) در کوره قرار می‌گیرد تشدید پیدا می‌کند.

افزودن الیاف ۱/۵ درصد حجمی تقریبا ۲۹ درصد، افزایش مقاومت کششی در دمای ۲۵ درجه نسبت به نمونه شاهد خود را سبب می‌شود. در دماهای بالاتر شاهد کاهش مقاومت کششی بتن حاوی درصدهای مختلف الیافی نسبت به نمونه‌های موجود باهمان درصدهای حجمی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد هستیم که دلیل آن با توجه به پژوهش‌های گذشته که در مقدمه اشاره شد می تواند برهم خوردن هموژنی بتن و اکسایش الیاف موجود در بتن تحت اثر حرارت بالا باشد.

افزودن ۱/۵ درصد حجمی الیاف به بتن سبب افزایش ۵۶ درصدی مقاومت خمشی بتن (تنش متناظر با پیدایش اولین ترک) در دمای ۲۵ درجه شده که عامل آن را می‌توان پل زدن الیاف مابین نانو ترک‌های بتن دانست. افزودن الیاف به تیرهای بتنی می‌تواند در بهبود مدول گسیختگی و تغییر نوع شکست بتن از حالت ترد به شکل‌پذیر تر کمک کننده باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اینگونه استنباط کرد که الیاف نقش خود را تا دمای ۴۰۰ درجه در بهبود مقاومت کششی و خمشی حفظ کرده؛ سپس با بالا رفتن حرارت کوره رفته رفته الیاف نه تنها نقش خود را از دست می‌دهد بلکه خود می‌تواند در بتن تخلخل ایجاد کرده و باعث کاهش مقاومت خمشی بتن شود. به وضوح می‌توان مشاهده کرد که نمونه‌های مربوط به طرح شاهد در دمای ۶۰۰ درجه نسبت به نمونه‌های حاوی الیاف دچار افت مقاومت کمتری شده‌است و رفته رفته با افزایش حجم الیاف در دمای مذکور کاهش مقاومت شدیدی را شاهدیم.

مراجع

[۱] Dave, N. J., and D. G. Ellis. "Polypropylene fiber reinforced cement." International Journal of Cement Composites ۱,۱ (۱۹۷۹): ۱۹-۲۸.

[۲] Hanna, A. N., 'Preliminary Evaluation of Forta Fiber Reinforced Concrete, Report to Forta fiber, Inc., by Construction Technology Laboratories, Portland Cement Association, ۱۹۸۱.

[۳] Swamy, R. N., and H. Stavrides. "Influence of fiber reinforcement on restrained shrinkage and cracking." Journal Proceedings. Vol. ۷۶. No. ۳. ۱۹۷۹.

[۴] Zollo, R. F., J. A. Ilter, and G. B. Bouchacourt. "Plastic and drying shrinkage in concrete containing collated fibrillated polypropylene fibers." Development in fibre reinforced cement and concrete. Proceedings, RILEM Symposium, Sheffield. ۱۹۸۶.

[۵] Konczalski, P., and K. Piekarski. "Tensile properties of Portland cement reinforced with Kevlar fibers." Journal of Reinforced Plastics and Composites ۱,۴ (۱۹۸۲): ۳۷۸-۳84.

[۶] Daniel, J. I., and E. D. Anderson. "Acrylic fiber reinforced cement composites." Proceedings of the Third International Symposium on Development in Fibre Reinforced Cement and Concrete; Sheffield, England. ۱۹۸۶.

[۷] Mai, y. W.; Andonian, R.; and Cotterell, B., "Thermal degration of polypropylene fibers in cement composites," International Jornal of Composiets, vol. ۳, No. ۳, August ۱۹۸۰, pages ۱۴۹-۱55.

[۸] Serrano, Rubén, et al. "Analysis of fire resistance of concrete with polypropylene or steel fibers." Construction and building materials ۱۲۲ (۲۰۱۶): ۳۰۲-۳09.

[۹] Horiguchi, T., T. Sugawara, and N. Saeki. "۵۷. Fire resistance of hybrid fiber reinforced high strength concrete." ۶th International RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concretes. RILEM Publications SARL, ۲۰۰۴.

[۱۰] Lau, A., and M. Anson. "Effect of high temperatures on high performance steel fibre reinforced concrete." Cement and Concrete Research ۳۶,۹ (۲۰۰۶): ۱۶۹۸-1707.

[۱۱] ASTM C۱۵۰ / C۱۵۰M-19a, Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۹, www.astm.org.

[۱۲] ASTM C۴۹۶ / C۴۹۶M-17, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۷, www.astm.org.

[۱۳] ASTM C۷۸ / C۷۸M-۱۸, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۸, www.astm.org.

[۱۴] Katz, Amnon, and Arnon Bentur. "Mechanisms and processes leading to changes in time in the properties of CFRC." Advanced Cement Based Materials ۳,۱ (۱۹۹۶): ۱-۱3.

[۱۵] Singh, A. P., and Dhirendra Singhal. "Permeability of steel fibre reinforced concrete influence of fibre parameters." Procedia Engineering ۱۴ (۲۰۱۱): ۲۸۲۳-۲۸۲۹.