



کد مقاله: ۲-۱۴۶

بررسی وضعیت مقاومت فشاری و همکشیدگی ناشی از خشک شدن در فوم بتن تقویت شده با الیاف بازیافتی کارتن

محمد صالح حسینی فرد^۱، حسین رنگ‌آور^۲، مهدی رحمانی‌نیا^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ms.hoseniy@yahoo.com

۲- عضو هیأت علمی، دانشگاه تربیت مدرس، دبیر شهید رجایی

۳- عضو هیأت علمی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

فوم بتن (*Foamed Concrete*) یکی از مصالح نوین در جهت کاهش بار مرده در ساختمان‌های کنونی است که می‌توان با استفاده از ترکیبات مختلف و افزودن مواد تقویت‌کننده به آن، کارایی و عملکرد مناسب را در حالت سرویس ایجاد کرد. در این تحقیق امکان‌سنجی کاربرد الیاف حاصله از کارتن بازیافتی (*Recycled Old Corrugated Container*) در ساخت فوم بتن (*foamed Concrete*) با چگالی پایین مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور الیاف حاصله از بازیافت کارتن کهنه به میزان صفر، ۱/۵ و ۲ درصد جرم سیمان به‌عنوان عوامل متغیر در نظر گرفته شده است. در این تحقیق برای ساخت نمونه از نسبت پودر سنگ به سیمان و آب به سیمان به ترتیب ۰/۷ و ۰/۷۳ استفاده شد. سپس نمونه‌های آزمونی برای بررسی مقاومت فشاری و همکشیدگی ناشی از خشک شدن (*Drying shrinkage*) به ترتیب برابر استاندارد *EN 679* و *EN 680* تهیه شدند. نتایج نشان داد که با افزودن الیاف بازیافتی کارتن به فوم بتن مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. محیط فلیای که به‌واسطه واکنش هیدراتاسیون سیمان ایجاد می‌شود، سبب آزاد شدن مواد استخراجی و هیدرولیز فلیایی همی‌سلولز (ترکیبات قندی) الیاف لیگنوسلولزی (الیاف کارتن) می‌گردد که باعث تأخیر در فرآیند هیدراتاسیون سیمان، در نتیجه کاهش مقاومت فشاری فوم بتن الیافی می‌شوند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری همکشیدگی ناشی از خشک شدن نیز نشان داد که تقویت فوم بتن با الیاف کارتن سبب کاهش کرنش (تغییر طول نسبی) همکشیدگی ناشی از خشک شدن (*Drying shrinkage strain*) می‌شود. درگیری‌های مکانیکی که بین سطح فیبریله الیاف و ماتریس سیمان ایجاد می‌شود سبب کاهش کرنش همکشیدگی فوم بتن هنگام خشک شدن شده است. بنابراین در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان نمود که افزودن الیاف کارتن بازیافتی به فوم بتن برای کاربری‌های خاص می‌تواند منظور گردد.

کلمات کلیدی: فوم بتن، الیاف بازیافتی کارتن، مقاومت فشاری، همکشیدگی ناشی از خشک شدن

۱- مقدمه

بتن متخلخل (CLC^1)، یکی از انواع بتن‌های سبک می‌باشد که به عنوان فوم بتن شناخته شده است. در این نوع بتن، سبک‌سازی به کمک ایجاد حباب هوادر مخلوط سیمان به کمک یک عامل کف ساز صورت می‌گیرد که وزن مخصوص آن حتی تا ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش می‌یابد [۱]. بر این اساس می‌توان فوم بتن را با توجه به چگالی در سه دسته سازه‌ای، نیمه سازه‌ای و غیر سازه‌ای تقسیم کرد [۱]. از خصوصیات مهم بتن هواده‌ای شده می‌توان به هدایت حرارتی پایین، عایق حرارت و صدا، غیرقابل احتراق، مقاومت در برابر لرزش، قدرت نگه داشتن میخ و پیچ و کارایی آسان، اشاره نمود. اعمال فرآیند عمل‌آوری با اتوکلاو در فشار بخار بالای ۱ مگاپاسکال موجب بهبود خواص صوتی، حرارتی و مکانیکی بتن‌های تولیدی می‌شود [۲]. از طرف دیگر حضور نداشتن سنگدانه درشت در مخلوط فوم بتن باعث افزایش همکشی‌دگی ناشی از خشک شدن می‌شود. همچنین استفاده از ماسه به میزان بالا در مخلوط بتن کفی سبب کاهش میزان همکشی‌دگی می‌شود [۳]. در یک مطالعه مقایسه‌ای از نظر همکشی‌دگی بین بتن کفی با پرکننده ماسه‌ای و خاکستر بادی، بتن با پرکننده ماسه مقدار همکشی‌دگی کمتری دارد زیرا ذرات ماسه قدرت بیشتری برای جلوگیری از همکشی‌دگی نسبت به خاکستر بادی دارند [۳]. مطالعات دیگر نشان داده است که عمل‌آوری در اتوکلاو به علت تغییر در ترکیبات معدنی موجود سبب کاهش نسبتاً شدید در میزان همکشی‌دگی می‌شود و به ۱۲ تا ۵۰ درصد حالت عمل‌آوری مرطوب^۲ می‌رساند [۴]. در سوی دیگر با توجه به ضعف و شکنندگی مصالح بتنی سبک وزن، لزوم تقویت این نوع بتن در برابر نیروهای وارده ناشی از زلزله بیش از پیش احساس می‌شود [۵]. برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد که این نقطه ضعف را می‌توان با استفاده از مقدار مناسب الیاف بهبود داد [۵]. تقویت بتن متخلخل با الیاف (FRCC) می‌تواند خواص مطلوبی بدون فرآیند اتوکلاو ایجاد کند [۶]. به طور کلی الیاف برای اصلاح مقاومت کششی و خمشی، چقرمگی، مقاومت به ضربه، انرژی شکست، شکل‌گیری و انتشار ترک و در نتیجه بهبود مقاومت و انعطاف‌پذیری استفاده می‌شود [۶].

تا کنون مطالعات زیادی در مورد استفاده از الیاف در تقویت فوم بتن انجام گرفته و الیاف مختلف در درصدهای متفاوت به جهت تقویت این نوع بتن بکارگیری شده است. Kim و همکاران (۲۰۱۰) تاثیر الیاف کربن و پلی پروپیلین در ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد حجمی بر خواص مکانیکی فوم بتن بررسی کردند و بیان داشتند که الیاف سبب کاهش مقاومت فشاری می‌شود [۷]. در تحقیق دیگری توسط Mydin و Soleimanzadeh (۲۰۱۲) بیان شد که با افزایش الیاف پلی پروپیلین نسبت به حجم کل فوم بتن، مقاومت خمشی افزایش می‌یابد و نمونه‌هایی که در معرض دمای بالا (از ۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد) قرار گرفته‌اند از مقاومت خمشی کمتری برخوردار می‌باشند [۸]. اما تحقیق دیگری بیانگر این بود که افزودن الیاف پلی پروپیلین و استیل به فوم بتن سبب کاهش مقاومت خمشی و افزایش مقاومت فشاری می‌شود [۹]. از طرف دیگر استفاده از الیاف معدنی (شیشه) در فوم بتن سبب افزایش مقاومت خمشی و فشاری و کاهش کارایی شد [۱۰]. در مورد اثر اتوکلاو بر بتن هواده‌ای تقویت شده با الیاف تحقیقات نشان داد که فرآیند اتوکلاو سبب بهبود خواص مکانیکی می‌شود [۹، ۱۰]. به این صورت که بتن هواده‌ای تقویت شده با الیاف پلی پروپیلین و بدون فرآیند اتوکلاو ($FRAC^3$) نسبت به بتن هواده‌ای با فرآیند اتوکلاو (AAC^4) مقاومت فشاری کمتری داشته، با این حال FRAC نسبت به AAC دارای خواص خمشی، برشی و حرارتی بهتری می‌باشد ولی از مقاومت خمشی کمتری برخوردار است [۹]. از سوی دیگر حیدری گوجانی (۱۳۹۱) بیان داشت که الیاف شیشه سبب کاهش مقاومت فشاری و خمشی می‌شود؛ در حالی است که استفاده از الیاف کربن و پلی پروپیلین در بتن هواده‌ای اتوکلاو شده موجب افزایش این مقاومت‌ها در محصول گشته است [۱۱].

1- Cellular Lightweight Concrete
2- moisture Curing
3 - Fiber-Reinforced Aerated Concrete
4 - Autoclaved Aerated Concrete

الیاف حاصله از مواد لیگنوسلولزی یکی از منابع مفید طبیعی می‌باشد که نزدیک به نیم قرن به طور گسترده در صنعت صفحات سیمانی یا چندسازه سیمان-الیاف (Natural Fiber Reinforced Cement Composite) استفاده می‌شود. اولین بار استفاده از الیاف خمیر کاغذ در چندسازه سیمانی تقریباً از سال ۱۹۶۰ شروع گردید و در یک تحقیق توسط Heath و Hackworthy، امکان استفاده از خمیر کاغذ برای جایگزینی کامل یا قسمتی از آزیست در ورق‌های سیمان-آزیست بررسی شد. نتایج نشان داد ورق‌های ساخته شده با الیاف کرافت بهترین عملکرد را دارا بودند. بعد از آن، شرکت بزرگ جیمز هاردی موفق شد ورق‌های سیمانی با جایگزینی ۵۰ درصد الیاف لیگنوسلولزی به جای الیاف آزیست تولید کند. در سال ۱۹۷۸ جیمز هاردی با مشارکت CSIRO^۹ تحقیقاتی را آغاز نمود تا اصلاح الیاف سلولزی را مطالعه کنند و بدین وسیله بر مشکلات چندسازه سیمانی تقویت شده با الیاف چوب غلبه نماید. در سال ۱۹۸۱ تلاش آنها به ثمر رسید و محصول جدیدی به نام Hardiflexll، به صورت تجاری تولید کردند. این چندسازه سیمانی به طور کلی توسط الیاف کرافت سوزنی برگان تقویت شده بود [۱۲].

کمبود چوب و کاهش منابع جنگلی در سراسر جهان از یک طرف و از سوی دیگر هزینه‌های بالای تولید الیاف کرافت و تولید سالانه ۱۰۲ میلیون تن کارتن بسته‌بندی و هزینه پائین بازیافت آن، پژوهشگران و صنعتگران را به سمت استفاده از الیاف حاصله از کاغذهای باطله سوق داده است [۱۳]. در بین الیاف بازیافتی حاصله از کاغذهای باطله، الیاف بازیافتی کارتن کهنه که متشکل از انواع کاغذهای بازیافتی (شیمیایی و مکانیکی) می‌باشد، از میزان درصد بالایی الیاف کرافت برخوردار است و در تقویت چندسازه سیمانی، خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب‌تری نسبت به سایر کاغذهای باطله دارد [۱۴]. در خصوص استفاده از الیاف کاغذهای باطله جهت بهبود ویژگی‌های چندسازه‌های الیاف سیمان تحقیقات زیادی صورت گرفته است.

Bentchikou و همکاران (۲۰۱۲) استفاده از ضایعات کاغذ بسته بندی (کارتن کهنه) بازیافت شده نسبت به وزن سیمان از ۰ تا ۱۶ درصد را در چندسازه سیمان-الیاف مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دادند که با افزایش مقدار الیاف اگر چه مقاومت فشاری بتن کاهش یافته، ولی خواص عایق حرارتی و مقاومت خمشی این چند سازه بهبود یافته است [۱۵]. همچنین در مطالعه دیگری نتایج افزودن سه نوع الیاف سلولزی (الیاف تخته فیبر، الیاف کارتن کهنه و الیاف بکر کرافت) بر مقاومت فشاری چندسازه سیمانی نشان داد که الیاف سلولزی سبب کاهش مقاومت فشاری می‌شود و چندسازه ساخته شده با الیاف کارتن کهنه از حداکثر مقاومت فشاری برخوردار است [۱۶]. از سوی دیگر الیاف حاصله از کاغذهای روزنامه نسبت به الیاف بکر کرافت کاج سخت، سبب افزایش مقاومت فشاری شده است [۱۷]. الیاف بازیافتی از میزان بالاتر الیاف نرمه بهره می‌برند و الیاف نرمه در ماتریس سیمان نقش پرکنندگی را ایفا می‌کنند؛ که سبب افزایش مقاومت فشاری نسبت به سایر الیاف بازیافتی کاغذهای باطله می‌شود [۱۶، ۱۷].

تا به امروز تحقیقات گوناگونی در زمینه استفاده از الیاف لیگنوسلولزی در ساخت چندسازه سیمانی به انجام رسیده است. ولی تا کنون تحقیقاتی از سوی پژوهشگران مبنی بر امکان استفاده از الیاف بازیافتی کارتن کهنه جهت ساخت فوم بتن با ویژگی‌های تقویت شده گزارش نشده است. از این رو در این تحقیق سعی شد که از الیاف بازیافتی کارتن کهنه جهت اثر بخشیدن به بعضی ویژگی‌ها فوم بتن لحاظ شود.

۲- مواد و روشها

ترکیبات

مواد تشکیل دهنده فوم بتن الیافی مورد مطالعه، سیمان، پودر سنگ، آب، ژل میکرو سلیکا، الیاف بازیافتی، فوم ثابت و پایدار و مواد شیمیایی می باشد که در جدول ۱ ارائه شده اند سیمان مورد استفاده در این تحقیق، پرتلند نوع ۲ می باشد که مطابق استاندارد ... تولید و از شرکت سیمان مازندران تهیه شد. پودر سنگ با اندازه ذرات ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون و وزن مخصوص ۲/۶۷ بعنوان پرکننده (Filler) در نظر گرفته می شود. جهت بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی فوم بتن ساخته شده از ژل میکرو سلیکا با چگالی ۱/۳ استفاده گردید. فوم خامه ای شکل تولید شده توسط دستگاه فوم ژنراتور از عامل فومزا شیمیایی که با نسبت ۱ به ۳۳ با آب رقیق شد و با چگالی ۴۰ g/Lit بدست آمد. برای تقویت فوم بتن از الیاف بازیافتی کارتن کهنه با طول ۱/۲ - ۰/۶ میلیمتر که از کارخانه بازیافت کاغذ افرنک تهیه گردید، استفاده شد.

جدول ۱- ترکیبات مخلوط فوم بتن تقویت شده با الیاف کارتن کهنه

مواد افزودنی (درصد وزن سیمان)	حجم فوم (m ³)	پودر سنگ (Kg/m ³) (0.6 S/C)	ژل سلیکا (Kg/m ³) (۵ درصد وزن سیمان)	سیمان (Kg/m ³)	مقدار آب (Kg/m ³) (0.73 W/C+Silica)	الیاف بازیافتی کارتن کهنه		ترکیبات
						مقدار (Kg/m ³)	درصدوزنی نسبت به سیمان	
۳/۳	۰/۵۵	۲۰۰	۱۶/۵	۳۳۳/۵	۲۵۵/۵	۰	صفر	FRFC-A
						۵/۲۵	۱/۵	FRFC-B
						۷	۲	FRFC-C

ساخت و تولید

در این پژوهش برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد که جمعا ۹ بلوک در ابعاد ۴۵×۳۵×۱۳ سانتیمتر مکعب ساخته گردید. جهت ساخت بلوکها، ترکیبات مورد نیاز در مخلوط فوم بتن الیافی برای حجم تقریبی ۱۸/۵ لیتر برابر چگالی تازه ۸۰۵-۸۱۳ گرم بر لیتر در جدول ۲ آورده شده است. برای این منظور الیاف کارتن بازیافتی پس از تهیه از کارخانه تا رطوبت ۱۰ درصد خشک شدند. قبل از بکارگیری الیاف در ساخت فوم بتن الیافی قسمتی از آب مخلوط برای جداسازی الیاف در دستگاه پراکنده ساز (Disintegrator) استفاده شد و برای پراکنده سازی مناسب الیاف در ماتریس فوم بتن از مخلوط کن Hobart E302 مطابق شکل ۱ استفاده گردید. برای تنظیم کردن مقدار آب، ظرف دستگاه مخلوط کن قبل و بعد از مخلوط کردن ترکیبات توزین شد و مقدار آب موجود الیاف در رطوبت ۱۰ درصد از وزن آب کل مخلوط کم گردید. ترکیبات بعد از مخلوط شدن (به ترتیب الیاف، آب، سیمان، پودر سنگ و فوم) به مدت ۵ دقیقه (شکل ۱)، در یک قالب به اندازه ۴۵×۳۵×۱۷ سانتیمتر مکعب ریخته می شود. سپس قالب مورد نظر در گرمخانه ای با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. به منظور خارج نشدن سریع رطوبت، سطح قالب با یک پوشش پلاستیکی محافظت شد (شکل ۲). بلوکهای ساخته شده بعد از ۱۲ ساعت از قالب خارج شده و به مدت ۲۸ روز در رطوبت نسبی بالای ۶۵ درصد و دمای ۲۰ درجه سانتیگراد جهت تکمیل شدن فرآیند سخت شدن قرار می گیرد.

جدول ۲- ترکیبات و چگالی معین شده برای ساخت بلوک‌های فوم بت الیافی

چگالی تازه اندازه‌گیری شده (Kg/m ³)	چگالی خشک اندازه‌گیری شده (Kg/m ³)	چگالی تازه هدف (Kg/m ³)	موادافرونی (gr)	مقدار فوم (gr)	حجم فوم (Lit)	پودر سنگ (gr)	زل سیلیکا (gr)	سیمان (gr)	مقدار آب (gr)	الیاف بازیافتی کارتن کهنه		ترکیبات
										مقدار (gr)	درصدوزنی سیمان	
۸۰۵		۸۰۹								۰	صفر	FRFC-A
۸۱۰	۶۶۵-۶۴۰	۸۱۴	۶۲	۵۰۰	۱۰/۲	۳۷۱۵	۳۱۰	۶۱۹۰	۴۷۴۵	۹۸	۱/۵	FRFC-B
۸۱۳		۸۱۶								۱۳۰	۲	FRFC-C



شکل ۱- (الف) جداسازی الیاف با دستگاه پراکنده‌ساز، (ب) مخلوط کردن الیاف با دیگر ترکیبات، (پ) مخلوط کردن فوم با ماتریس سیمان و الیاف



شکل ۲- مخلوط فوم بتن الیافی در قالب و نحوه قرار گیری پوشش محافظ

آزمون‌ها

مقاومت فشاری

برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری بلوک‌های ساخته شده مطابق استاندارد EN 679، نمونه‌ها در ابعاد $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ توسط دستگاه آره نواری نجاری بریده شدند و سپس توسط دستگاه ELE ساخت کشور انگلستان با نرخ ثابت افزایش تنش به مقدار $0.1 \pm 0.05 \text{ N/mm}^2/\text{sec}$ تا رسیدن به مرز گسیختگی، بارگذاری گردیدند (شکل ۳).

همکشیدگی ناشی از خشک شدن

اندازه‌گیری همکشیدگی ناشی از خشک شدن مطابق استاندارد EN 680 انجام شد و نمونه‌های آزمون در ابعاد $4 \times 4 \times 20 \text{ cm}^3$ تهیه گردید. در این آزمون ابتدا باید رطوبت نسبی نمونه‌ها به بالای ۳۰ درصد برسد سپس جهت خشک شدن نمونه‌ها در معرض رطوبت نسبی بالای ۴۵ درصد و دمای ۲۰ درجه قرار می‌گیرد تا رطوبت نمونه به زیر ۶ درصد برسد. از رطوبت اولیه (بالای ۳۰ درصد) تا رطوبت زیر ۶ درصد حداقل ۵ بار باید رطوبت نسبت به جرم خشک و تغییرات طول نمونه‌ها اندازه‌گیری شود (شکل ۴) و مطابق با آن نمودار رطوبت و تغییر طول نسبی رسم شود. مقدار همکشیدگی در این آزمون از روی منحنی تعیین می‌شود که اختلاف تغییر طول نسبی بین مقادیر رطوبتی ۳۰ و ۶ درصد جرم به صورت میلیمتر بر متر ارائه می‌شود.



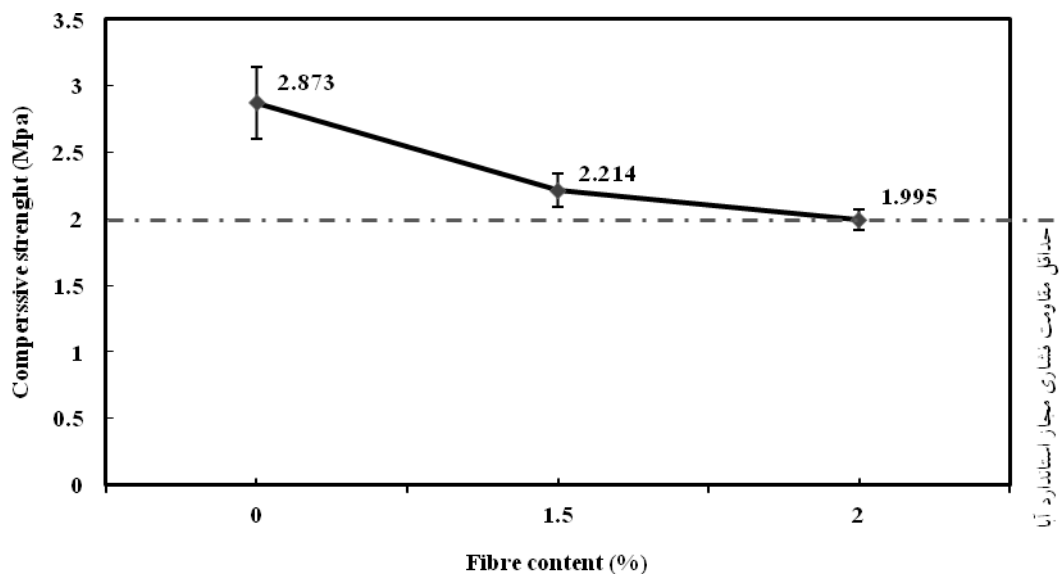
شکل ۳- (الف) نحوه بارگذاری فشاری تا گسیختگی، (ب) نحوه اندازه‌گیری کرنش همکشیدگی

۳- نتایج و بحث

مقاومت فشاری

نتایج مربوط به اثر میزان الیاف بر روی مقاومت فشاری فوم بتن الیافی در شکل ۴ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، افزودن الیاف بازیافتی به فوم بتن سبب کاهش مقاومت فشاری شده است. به طوری که نمونه‌های ساخته شده با $1/5$ و 2 درصد الیاف نسبت به جرم سیمان، به ترتیب مقاومت فشاری در حد ۷۷ و ۷۰ درصد نمونه شاهد داشتند. همچنین نمونه‌های FRFC-A و FRFC-B از مقاومت فشاری بالاتر از حد مجاز تعیین شده توسط استاندارد بتن ایران با شماره ۱۴۵۰۴ برخوردار بودند. ساختار الیاف لیگنوسلولزی از سلولز، همی سلولز، لیگنین و مواد استخراجی تشکیل شده که عمدتاً این ترکیبات از مواد قندی بوجود آمده و دارای pH اسیدی می‌باشند. به عبارت دیگر حضور الیاف لیگنوسلولزی در ماتریس سیمان باعث کاهش pH محیط سیمان شده و تغییراتی در پایداری و انحلال ترکیبات هیدراته (سیلیکاتهای کلسیم) بوجود می‌آید که سبب کاهش محصولات واکنش هیدراتاسیون سیمان و افزایش زمان گیرایی می‌شود. نتایج Sing و Aggarwal (۱۹۹۰) مؤید بررسی فوق می‌باشد [۱۸]. از طرف دیگر محیط قلیایی سیمان سبب هیدرولیز قلیایی همی سلولز می‌گردد. همچنین به نظر می‌رسد که همی سلولز با

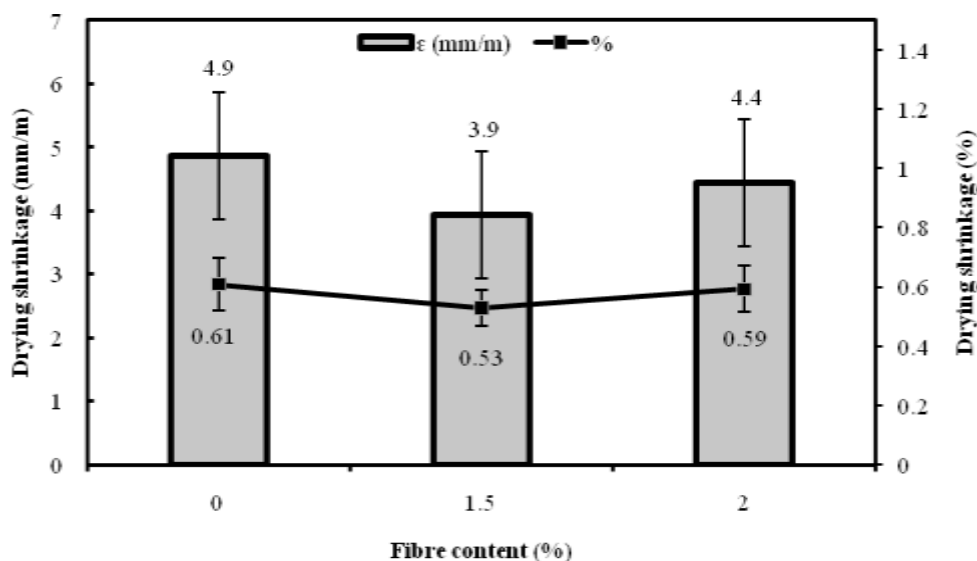
جذب کلسیم در اثر واکنش هیدرولیز قلیایی سبب کاهش محصولات هیدراتاسیون (کلسیم سیلیکات هیدراته) شده و همچنین با آزاد شدن قندها موجود در محیط سیمان و رسوب آنها بر سطح دانه‌های سیمان سبب تأخیر در واکنش هیدراتاسیون [۱۹ و ۲۰] و نهایتاً منجر به کاهش مقاومت فشاری می‌شود [۱۷].



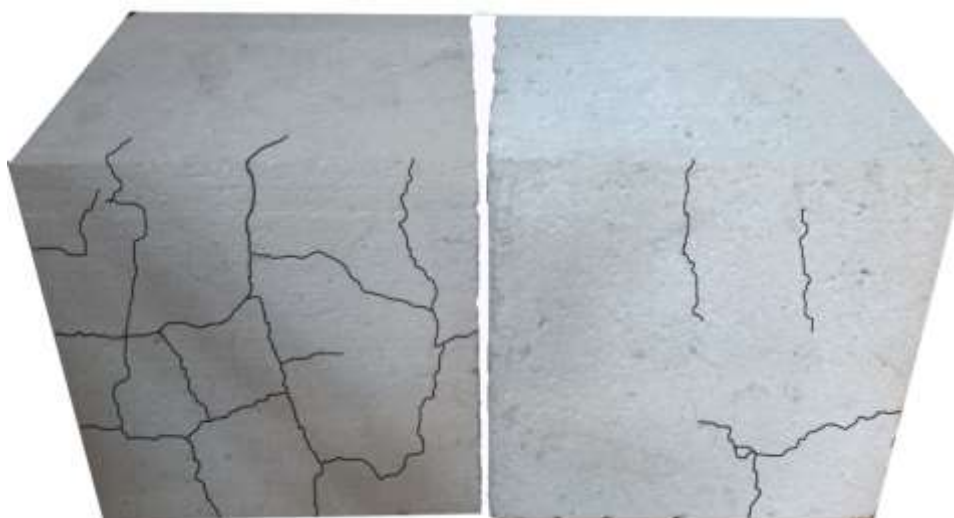
شکل ۴- تاثیر میزان الیاف بر مقاومت فشاری

هم‌کشیدگی ناشی از خشک شدن

مشاهدات برآمده از اثر الیاف بر هم‌کشیدگی ناشی از خشک شدن در شکل ۵ گزارش شده است. در محور عمودی راست و چپ، تغییر طول نسبی به طول اولیه به ترتیب با درصد و میلیمتر بر متر بر اساس استاندارد EN 680 بیان شده است. با توجه به شکل مزبور مشاهده می‌شود که افزودن الیاف بازیافتی کارتن به فوم بتن تأثیر مثبتی بر خواص هم‌کشیدگی داشته و سبب کاهش کرنش هم‌کشیدگی فوم بتن الیافی گردیده است. احتمال می‌رود الیاف بازیافتی کارتن به سبب فیبرلاسیون سطحی مناسب (سطح الیاف به شکل فیبرچه)، درگیرهای مکانیکی مستحکمی با ماتریس سیمان برقرار می‌کنند که هنگام ایجاد تنش‌های داخلی حاصل از کرنش هم‌کشیدگی به پایداری ماتریس کمک بسزایی می‌نماید. همچنین الیاف در فوم بتن باعث کاهش ترکهای ناشی از هم‌کشیدگی شده است (شکل ۶). در تحقیقات Jones و McCarthy (۲۰۰۵) به این نتایج دست یافتند که الیاف پلی‌پروپیلن سبب کاهش تغییر طولی نسبی ناشی از هم‌کشیدگی خشک شدن می‌شود و همچنین در کاهش ترکهای خشک شدن هم نقش موثری دارد [۱۷].



شکل ۵- تاثیر میزان الیاف بر همکشیدگی ناشی از خشک شدن



شکل ۶- ترکهای همکشیدگی ناشی از خشک شدن (شکل سمت راست نمونه با الیاف و شکل سمت چپ نمونه بدون الیاف)

۴- نتیجه گیری

بر اساس اطلاعات بدست آمده از این مطالعه، استفاده از الیاف بازیافتی کارتن کهنه در فوم بتن الیافی سبب کاهش مقاومت فشاری می شود. از سوی دیگر بلوک های ساخته شده با ۱/۵ درصد الیاف نسبت به جرم سیمان دارای مقاومت فشاری بالای حد مجاز استاندارد آبا می باشند. همچنین الیاف کارتن کهنه در کاهش کرنش همکشیدگی نقش موثری داشته و با اضافه کردن ۱/۵ درصد الیاف نسبت به جرم سیمان می توان از افزایش کرنش همکشیدگی هنگام خشک شدن به میزان بیشتری جلوگیری کرد. با توجه به نتایج این تحقیق می توان گفت فوم بتن تقویت شده با کارتن کهنه دارای خواص مطلوبی می باشد که استفاده از آن در موارد خاصی که کرنش همکشیدگی کمی مدنظر باشد، توصیه می شود.

- [1] Narayanan, N. and Ramamurthy, K.; "Structure and Properties of Aerated Concrete: a review"; *Cement and Concrete Composites* **22**, No. 5 (2000) 321-329
- [2] Hu, W., Neufeld, R. D., Vallejo, L. E., Kelly, C. and Latona, M.; "Strength Properties of Autoclaved Cellular Concrete with High Volume Fly Ash"; *Journal of Energy Engineering* **123**, No. 2 (1997) 44-54
- [3] Jones, M. R. and McCarthy, A.; "Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material"; *Magazine of concrete research* **57**, No. 1 (2006) 21-31
- [4] Holt E. and Raivio P.; "Use of Gasification Residues in Aerated Autoclaved Concrete"; *Cement and Concrete Research* **35**, No. 4 (2005) 796-802
- [5] Libre, N. A., Shekarchi, M., Mahoutian, M. and Soroushian, P.; "Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice"; *Construction and Building Materials* **25**, No. 5 (2011) 2458-2464
- [6] Zollo, R. F. and Hays, C. D.; "Engineering Material Properties of a Fiber-reinforced Cellular Concrete"; *ACI Materials Journal* **95**, No. 5 (1998) 631-635
- [7] Kim, Y. J., Hu, J., Lee, S. J. and You, B. H.; "Mechanical properties of fiber reinforced lightweight concrete containing surfactant"; *Advances in Civil Engineering*, (2010) 1-8
- [8] Mydin, M. A. O. and Soleimanzadeh, S.; "Effect of polypropylene fiber content on flexural strength of lightweight foamed concrete at ambient and elevated temperatures"; *Advances in Applied Science Research* **3**, No. 5 (2012) 2837-2846
- [9] Lee, H. K. and Song, S. Y.; "Influence of fiber volume fraction and fiber type on mechanical properties of FRLACC"; *Journal of Reinforced Plastics and Composites* **29**, No. 7 (2009) 1089-1098
- [10] Dawood, L. D. E. T. and Hamad, A. J.; "High performance lightweight concrete reinforced with glass fibers"; *AL-Mansour Journal*, No. 20 (2013) 73-87
- [۱۱] حیدری گوجانی، م؛ «بررسی آزمایشگاهی تاثیر الیاف و میکروسیلیس بر خواص مکانیکی بتن هوادار اتوکلاو شده»؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، بهمن ۱۳۹۱، صفحه ۶۰ تا ۱۰۰
- [۱۲] خرمی، م؛ گنجیان، م؛ امین خلیلی، ا؛ پرهیزکار، ط؛ «کاربرد الیاف مصنوعی و طبیعی در تولید ورق‌های سیمانی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن»؛ ۱۰ تا ۵۵.
- [13] Coutts, R. S. P.; "Wastepaper fibres in cement products"; *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete* **11**, No. 3 (1989)143-147.
- [۱۴] حسینی فرد، م ص؛ رحمانی نیا، م؛ رنگ‌آور؛ «مروری بر استفاده از الیاف بازیافتی کاغذهای باطله در چندسازه‌های سیمانی»؛ دومین ملی فناوری‌های نوین در صنایع چوب و کاغذ؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس؛ ۳۰ مهر و اول آبان ۱۳۹۳.
- [15] Bonakdar A., Babbitt F. and Mobasher B.; "Physical and Mechanical Characterization of Fiber-Reinforced Aerated Concrete (FRAC)"; *Cement and Concrete Composites* **38**, (2013) 82-91
- [16] Hamzeh, Y., Ziabari, K. P., Torkaman, J., Ashori, A. and Jafari, M.; "Study on the effects of white rice husk ash and fibrous materials additions on some properties of fiber-cement composites"; *Journal of environmental management* **117**, (2013) 263-267
- [17] Pehanich, J. L., Blankenhorn, P. R. and Silsbee, M. R.; "Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber-cement composites"; *Cement and concrete research* **34**, No. 1(2004) 59-65
- [18] Aggarwal, L. K. and Singh, J.; "Effect of plant fibre extractives on properties of cement"; *Cement and Concrete Composites* **12**, No. 2 (1990) 103-108.
- [19] Sedan, D., Pagnoux, C., Smith, A. and Chotard, T.; "Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction"; *Journal of the European Ceramic Society* **28**, No. 1 (2008) 183-192
- [20] Vaickelionis, G. and Vaickelioniene, R.; "Cement hydration in the presence of wood extractives and pozzolan mineral additives"; *Ceramics Silikaty* **50**, No. 2 (2006) 115-122