بررسی آزمایشگاهی و میدانی تاثیر چند نوع الیاف پلیمری ترکیبی بر رفتار مکانیکی و دوام رویه‌های بتنی

جعفر سبحانی[۱]، بابک احمدی[۲]، اویس افضلی ننیز[۳]، مهدی چینی[۴]
۱، ۲ و ۴- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
۳- دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران و مدیر تحقیق و توسعه شرکت نانو نخ و گرانول سیرجان

چکیده

بتن معمولی (NC) به‌عنوان یک ماده ترد شناخته می‌شود. ترد بودن بتن باعث می‌شود که بتن در ناحیه کششی، تحت بارهای وارده بسیار ضعیف عمل نموده و با نیروی اندکی گسسته گردد. لذا استفاده از ماده‌ای که بتواند این نقیصه را جبران نماید امری اجتناب‌ناپذیر است. بطور معمول برای مسلح کردن بتن از میلگردهای فولادی (RC) استفاده می‌شود. روش دیگر استفاده از انواع الیاف در مسلح کردن بتن و تولید بتن الیافی (FRC) می‌باشد. افزودن الیاف به بتن ساده باعث بهبود ویژگی‌های آن ازجمله طاقت، شکل‌پذیری و کنترل ترک‌ها می‌شود. از الیاف‌ها برای کاهش ضخامت دال‌ها و روسازی‌ها و افزایش فاصله‌ی مجاز بین درزها استفاده می‌شود و از دیرباز مهندسان برای بهبود خواص مکانیکی بتن‌ها ازجمله طاقت از این مواد استفاده می‌کردند. در این مقاله قصد بر آن است که نتایج بدست آمده از یک مطالعه آزمایشگاهی و میدانی در خصوص تاثیر چند نوع الیاف پلیمری ترکیبی تولید شده در داخل کشور بر روی خواص مهندسی بتن با اسلامپ در محدودهٔ مناسب برای روسازی‌های بتنی ارائه گردد. آزمون‌های بتن تازه شامل آزمایش اسلامپ، آزمایش تعیین درصد هوا، آزمایش تعیین وزن مخصوص و همچنین آزمون‌های بتن سخت شده شامل آزمایش جمع شدگی ناشی از خشک شدن، آزمایش تعیین مقاومت فشاری، آزمایش تعیین مدول گسیختگی، آزمایش تعیین مقاومت کششی غیر مستقیم (برزیلی)، آزمایش تعیین مقاوت سایشی، آزمایش تعیین مقاومت متوسط باقیمانده (طاقت)، آزمون افت وزنی ناشی از پدیده یخ زدن و آب شدن در حضور نمک‌های یخزدا انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد استفاده از الیاف تاثیر مناسبی بر بهبود رفتار جذب انرژی و مقاومت پسماند بتن داشته و همچنین قابلیت کاهش عرض ترک و افزایش فواصل ایجاد درز در رویه‌های بتنی را دارد. این تحقیق نشان داد استفاده از الیاف با مشخصات فنی مناسب دوام بتن را در محدودهٔ مصرف این مطالعه بهبود داده است. به ویژه نتایج آزمون افت وزنی ناشی از پدیده یخ زدن و آب شدن در حضور نمک‌های یخزدا نشان داد استفاده از الیاف تاثیر مثبتی در بهبود این شاخصه دوام می‌گردد و با افزایش مصرف الیاف تاثیرگذاری آن بیشتر خواهد بود.

کلمات کلیدی: بتن حاوی الیاف پلیمری ترکیبی، جذب انرژی، مشخصات دوام، ترک‌خوردگی بتن، روسازی بتنی.

۱- مقدمه

مصالح سیمانی بطور طبیعی شکننده هستند و مقاومت کششی و ظرفیت کرنش پایینی دارند. معمولا الیاف کوتاه و بطور پراکنده پخش شده جهت غلبه بر نگرانی مربوط به شکنندگی بتن و مقاومت ضعیف آن در آغاز ترک برداری و رشد ترک استفاده می‌شود [۱]. استفاده از الیاف در مواد سیمانی می‌تواند مصالحی تولید کند که از منظر مقاومت کششی، شکل پذیری، سختی و دوام بهبود یافته اند [۲و۳]. بهسازی با جلوگیری یا کنترل شروع، انتشار و یا ادغام ترک ها بدست می‌آید [۴]. بسیاری از الیاف از جمله فلزی، پلیمری و یا طبیعی به طور گسترده در مهندسی بتن استفاده می شوند [۵]. به همین ترتیب تلاش زیادی جهت بهبود انعطاف پذیری و سختی مصالح سیمانی با اختلاط انواع مختلف الیاف کوتاه شده است [۱]. در تمامی مصالح بتنی تسلیح شده با الیاف رایج از یک نوع الیاف استفاده می شود. استفاده از یک نوع الیاف تنها می تواند در حوزه ی محدودی بر کرنش و بازشدگی ترک تاثیر گذار باشد. بنابراین، استفاده از یک نوع الیاف فقط می تواند مقاومت و یا شکل پذیری ترکیب سیمانی را بهبود بخشد [۶].

برخی از الیاف با مدول یا مقاومت بالا شامل الیاف کربن، پلی وینیل الکل، فولاد، آزبست و شیشه می توانند بطور موثری مقاومت بتن را افزایش دهند، با این حال رفتار شکنندگی ذاتی اجازهٔ بهبودبخشی به شکل پذیری را نمیدهد. الیاف با مقاومت کم شامل پلی پروپیلن، نایلون و آکریلیک بیشتر در بهبود شکل پذیری و کاهش ترک ها موثرند [۹-۷]. بنابراین، برای بدست آوردن یک ترکیب سیمانی با مقاومت و شکل پذیری بهبود یافته ، ترکیب الیاف با خواص مختلف شیمیایی/مکانیکی ضرورت دارد. سه مرحلهٔ انتشار ترک را می توان در ترکیبات FRC ارزیابی کرد: تشکیل ترک میکرو قبل از به اوج رسیدن بار وارده، ادغام ترک های مویی با ترک های میکرو، و پس از آن انتشار یک ترک ماکرو [۱۰].

بر اساس این ارزیابی، ترکیبی از انواع الیاف تسلیح کنندهٔ مصالح سمانی پیشنهاد گردید. از انجا که دو یا تعداد بیشتری از الیاف ترکیبی در ترکیبات سیمانی استفاده می شوند، بازخوردهای مختلفی برای روند ترک خوردگی در طول مراحل مختلف بارگذاری ارائه می دهند. بتن تسلیح شده با الیاف شامل ترکیبی از دو یا چند نوع الیاف اغلب FRC هیبریدی نامیده می شود. بنابراین بتن تسلیح شده با الیاف هیبریدی شامل

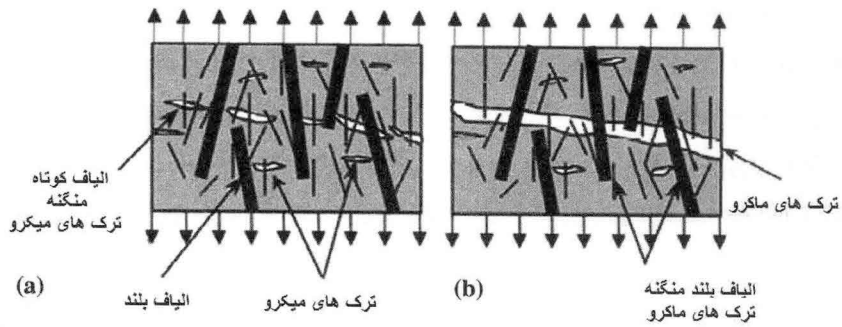
انواع مختلفی از الیاف است که کارایی آن حاصل مجموع کارایی هر یک از الیاف بطور منفرد است [۱۶]. ترکیبات هیبریدی مزایای هر یک از الیاف را در حالت منفرد بطور تجمعی دارد [۱۳-۱۱]. برخی از محققان نشان داده اند که هیبریداسیون حاصل از دو یا بیشتر از انواع مختلف الیاف در ترکیبات سیمانی مقاومت نهایی،ظرفیت کرنش و رفتار سخت شدگی کرنشی را بهبود می بخشد [۱۷-۱۴]. روش های مختلف هیبریداسیون شامل ترکیب طولها، قطرها، مدولها و مقاومت‌های کششی متفاوت است [۱۹-۱۸].

بنابراین، مزایای استفاده از روش های مختلف هیبریداسیون به شرح زیر است:

- ترکیب بر اساس اندازهٔ الیاف (طول و قطر) : اندازهٔ الیاف متفاوت است، فیبرهای با اندازهٔ کوچک، ترکهای میکرو را منگنه می‌کنند، بنابراین شروع تشکیل و انتشار ترکهای ماکرو را کنترل می کنند(شکل ۱).
- کنترل ترکهای میکرو و ترکهای ماکرو به ترتیب باعث افزایش مقاومت و بهبود قابل توجهی در سختی شکست می‌شود [۶]. به‌عنوان یک نتیجه از مکانیزم این تلفیق می‌توان به افزایش شکل پذیری که بطور اساسی به بلندی الیاف بستگی دارد اشاره کرد [۲۰].
- ابعاد الیاف اغلب با استفاده از سطح ویژه (SSA) که سطح بر واحد جرم است، تعریف می‌شود [۲۱]. هیبرید بر اساس مدول الیاف: زمانی که دو نوع الیاف با شکل پذیری متفاوت در ترکیبات سیمانی استفاده می‌شوند، الیافی مستحکم تر و سخت تر در مقابل ترک‌های اولیه ناشی از تنش ایجاد می‌شود و مقاومت نهایی زمانیکه الیاف نسبتا شکل پذیر باشند به سمت بهبود سختی و ظرفیت کرنش در نواحی بعد از ترک اولیه می‌رود.

در برخی از تحقیقات اخیر، هیبریداسیون الیاف در ترکیبات سیمانی برای بدست آوردن ظرفیت کرنشی بالاتر،افزایش دوام و تولید محصولات مقرون به صرفه در مقایسه با الیاف منفرد استفاده شده است. این مطالعه بر مرور و بررسی تاثیرات الیاف کوتاه بر خواص مکانیکی/فیزیکی مصالح سیمانی متمرکز است. برای این منظور، انواع مختلفی از سیستم‌های الیاف ترکیبی (ترکیبی از فلز و پلیمر و الیاف طبیعی) طبقه‌بندی و اجرا شده خلاصه شده است.

الیاف مختلفی در ترکیبات به عنوان تسلیح کنندهٔ مصالح سیمانی استفاده می‌شوند که خواص فیزیکی و مکانیکی آنها به طور خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است که الیاف ترکیبی با چگالی کم در مقایسه با الیاف فولادی با جرم نسبی بالاتر، حجم بیشتری از مصالح سیمانی را در برمی‌گیرند.



شکل ۱- رفتار الیاف با اندازه‌های مختلف در ماتریس سیمانی

جدول ۱- خواص فیزیکی و مکانیکی الیاف

نوع الیاف	چگالی	مدول الاستیسیته (GPa)	مقاومت کششی(MPa)	ازدیاد طول در شکست (٪)	قیمت تقریبی ($)
پلی پروپیلن[22–25]	0.91	1.5–4.2	240–550	50–80	1–2.5
نایلون[1,24]	1.14	2.5–5.17	750–1000	15–30	2.5–6
پلی آکریلونیتریل [1,26,27]	1.18	2–3	240–1000	20–45	1.3–3
پلی وینیل الکل [22,28]	1.29–1.3	20–42.8	1100–1600	6–7	1–15
فولاد[1,29]	7.84	200	500–2000	0.5–3.5	1–8
پلی اتیلن[1,27]	0.92–0.96	5–100	80–600	4–100	2–20
سلولز[1]	1.2	10	300–500	–	1–2.5
کنف[30]	1.34–1.46	13–26.5	400–800	1.8	0.5–1.4
سیسال[30]	1.33	9–22	600–700	2–3	0.5–1

۲- مطالعه آزمایشگاهی

مواد و مصالح بکار رفته در این بررسی‌ها شامل سیمان، سنگدانه، آب، مواد افزودنی شیمیایی و الیاف پلیمری می‌باشد که در ادامه جزئیات آن ارائه خواهد شد. سپس طرح مخلوط، روش‌های ساخت و تولید بتن

الیافی و روش‌های آزمون برای ارزیابی خواص بتن تازه و سخت شده ارائه خواهد شد. در ادامه، نتایج بدست آمده از آزمون‌ها و تحلیل و تفسیر آنها ارئه خواهد شد.

۱،۲. مواد و مصالح اولیه

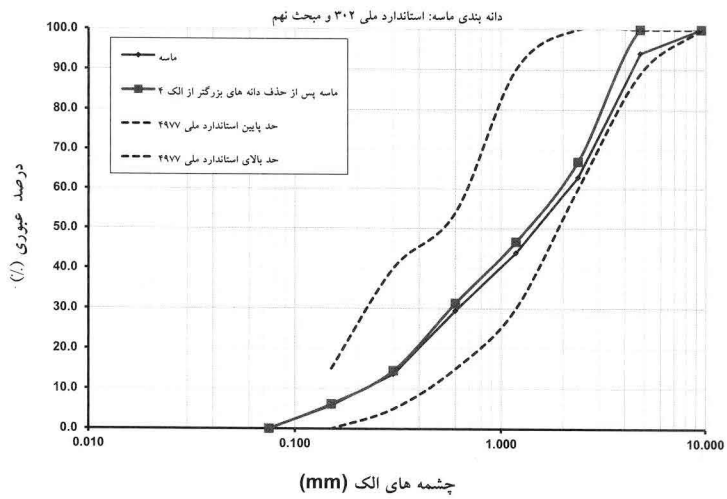
سیمان مورد استفاده در این پروژه، سیمان پرتلند نوع دو کارخانه سیمان تهران است (جدول ۲). همان‌طورکه مشخص است کلیه مشخصات شیمیایی، مکانیکی و فیزیکی این سیمان منطبق با الزامات استاندارد در خصوص سیمان نوع دو است.

جدول ۲- مشخصات شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی سیمان مصرفی

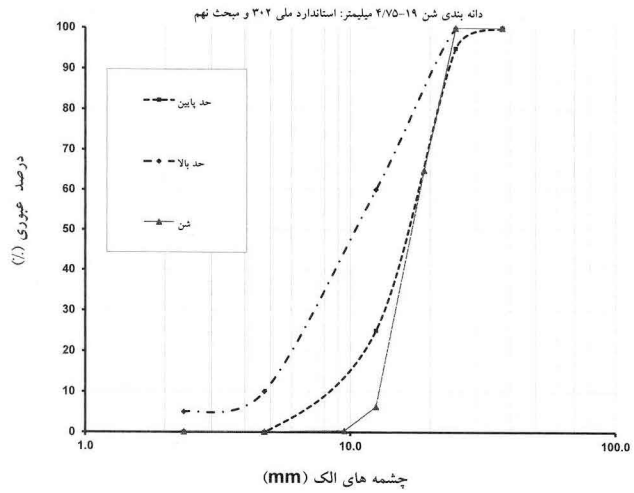
مشخصه شیمیایی/فیزیکی/مکانیکی	نتایج
SiO2	۲۱/۴۲
Al2O3	۴/۵۱
Fe2O3	۴/۳۸
MgO	۱/۴۰
CaO	۶۳/۲۵
کسر وزن در اثر سرخ شدن	۱/۱۸
باقی‌مانده نامحلول	۰/۶۷
C3S	۵۱/۰۱
C2S	۲۲/۹۳
C3A	۴/۵۴
C4AF+C2F یا C4AF+2C3A	۲۲/۴۱
*Na2O+.658K2O	۰/۵۸
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)	۳۵/۱
سطح مخصوص (بلین) (cm2/gr)	۲۸۱۰
انبساط به روش اتوکلاو (درصد)	۰/۷۸
زمان گیرش اولیه	۱۹۸ دقیقه
زمان گیرش نهایی	۴ ساعت و ۱۰ دقیقه

مصالح سنگی به‌کار رفته در این پروژه به‌صورت رودخانه‌ای و شامل ماسه، شن نخودی و شن بادامی است. این مصالح سنگی از معدن در منطقه شهریار تهیه شده است. مدول نرمی، چگالی و جذب آب ماسه به‌ترتیب برابر با ۳/۵۰، ۲/۴۴ و ۲/۸۲ درصد است. همچنین، شن نخودی دارای چگالی و جذب آب برابر با ۲/۵۰ و ۲/۵ درصد و شن بادامی دارای چگالی و جذب آب برابر با ۲/۵۵ و ۱/۹ درصد هستند. در شکل ۲ دانه‌بندی ماسه نشان داده شده است. با توجه به این شکل، دانه‌بندی ماسه مورد مصرف در محدوده مجاز استاندارد ملی ۴۹۷۷ است. همچنین در شکل ۳ دانه‌بندی شن‌های نخودی و بادامی نشان داده شده است.نسبت‌های این دو شن (بادامی: ۸۰ و نخودی: ۲۰) به‌گونه‌ای انتخاب شد که دانه‌بندی ترکیب آن دو شن در محدوده دانه‌بندی استاندارد ملی ۴۹۷۷ قرار گیرند. همان‌طورکه در شکل ۳ مشخص است دانه‌بندی شن ترکیبی در محدوده استاندارد قرار گرفته است.

در این مطالعه برای ساخت نمونه‌ها از آب شرب شهری تهران استفاده شد. فوق‌روان‌کننده مورد مصرف با پایه پلی‌کربوکسیلات و محصول شرکت شیمی ساختمان است.



شکل ۲- دانه‌بندی سنگدانه ریز (ماسه)



شکل ۳- دانه‌بندی سنگدانه درشت

در این مطالعه، پنج نوع الیاف پلیمری تولید شرک نانو نخ و گرانول سیرجان مورد استفاده قرار گرفت. اسامی تجاری این الیاف شامل Embass، Sinos، Suzan، Wave و Korta می‌باشند. در جدول ۴ مشخصات فیزیکی و شیمیایی این الیاف ارائه شده است. الیاف ماکرو پلی اُلفین مصرفی در این تحقیق و مشخصات آن به ترتیب در جدول ۳ نشان داده‌شده است.

جدول ۳- مشخصات الیاف ماکرو پلی اُلفین شرکت نانو نخ سیرجان

مشخصه	ویژگی مواد				
	Embass	Sinos	Suzan	Wave	Korta
ساختمان شیمیایی	اُلفین اصلاح‌شده	اُلفین اصلاح‌شده	اُلفین اصلاح‌شده	اُلفین اصلاح‌شده	اُلفین اصلاح‌شده
رنگ	خاکستری	خاکستری	خاکستری	خاکستری	خاکستری
حداکثر نیروی تک فیلامنت (N)	۱۲۸	۱۹۸	۱۱۸	۳۴	۳۱

۲،۲. طرح مخلوط

در جدول ۴ طرح مخلوط مورد استفاده در این مرحله از مطالعه برای بتن‌های حاوی الیاف با اسلامپ ارائه شده است. در طرح مخلوط، نسبت آب به سیمان ۰/۳۸، عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب، و به ترتیب ۹۸۹، ۱۳۸ و ۵۵۱ کیلوگرم در هر مترمکعب ماسه طبیعی، شن نخودی و شن بادامی استفاده شده است. علاوه بر بتن مرجع، ۵ نوع الیاف با مقادیر ۱۵۰۰ و ۲۵۰۰ گرم در هر متر مکعب در طرح مخلوط مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۴- طرح مخلوط بتن اسلامپ دار حاوی الیاف شرکت نانو نخ سیرجان

ردیف	شناسه	الیاف	ملاحظات
۱	Ref	--	بتن مرجع بدون الیاف
۲	SA1S	۱۵۰۰	بتن حاوی ۱/۵ کیلوگرم الیاف Embass در هر متر مکعب
۳	SA2S	۲۵۰۰	بتن حاوی ۲/۵ کیلوگرم الیاف Embass در هر متر مکعب
۴	SB1S	۱۵۰۰	بتن حاوی ۱/۵ کیلوگرم الیاف Sinos در هر متر مکعب
۵	SB2S	۲۵۰۰	بتن حاوی ۲/۵ کیلوگرم الیاف Sinos در هر متر مکعب
۶	SC1S	۱۵۰۰	بتن حاوی ۱/۵ کیلوگرم الیاف Suzani در هر متر مکعب
۷	SC2S	۲۵۰۰	بتن حاوی ۲/۵ کیلوگرم الیاف Suzani در هر متر مکعب
۸	SD1S	۱۵۰۰	بتن حاوی ۱/۵ کیلوگرم الیاف Wavw در هر متر مکعب
۹	SD2S	۲۵۰۰	بتن حاوی ۲/۵ کیلوگرم الیاف Wavw در هر متر مکعب
۱۰	SE1S	۱۵۰۰	بتن حاوی ۱/۵ کیلوگرم الیاف Korta در هر متر مکعب
۱۱	SE2S	۲۵۰۰	بتن حاوی ۱/۵ کیلوگرم الیاف Korta در هر متر مکعب

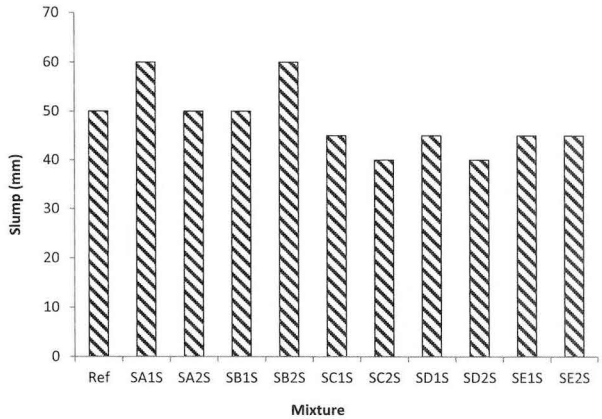
۳- روش‌های آزمون

در این مطالعه آزمون‌های بتن تازه شامل آزمایش اسلامپ (مطابق با استانداردASTM C143)، آزمایش تعیین درصد هوا (ASTM-C231)، آزمایش تعیین وزن مخصوص (ASTM-C138) و همچنین آزمون‌های بتن سخت شده شامل آزمایش جمع شدگی ناشی از خشک شدن (ASTM C426)، آزمایش تعیین مقاومت فشاری، آزمایش تعیین مدول گسیختگی (ASTM C78)، آزمایش تعیین افت وزنی ناشی از پدیده یخ زدن و آب شدن در حضور نمک‌های یخزدا (DIN EN 1340) آزمایش تعیین مقاومت کششی غیر مسقیم (برزیلی) (ASTM C496)، آزمایش تعیین مقاوت سایشی (EN 1338)، آزمایش تعیین مقاومت متوسط باقیمانده (طاقت) (ASTM C1609)، انجام گرفت که در ادامه روش‌های مربوطه ارائه می‌گردد.

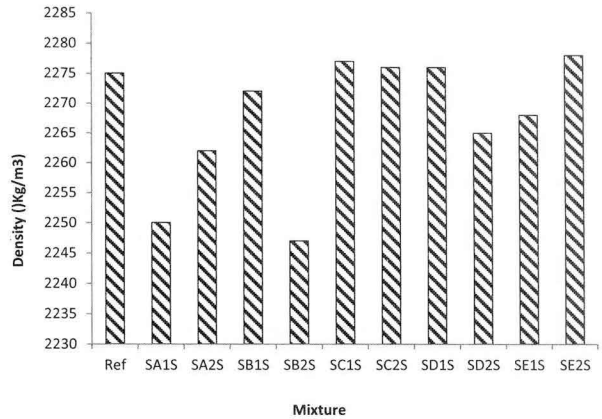
۴- نتایج و تحلیل

۱،۴. نتایج خواص بتن در حالت تازه

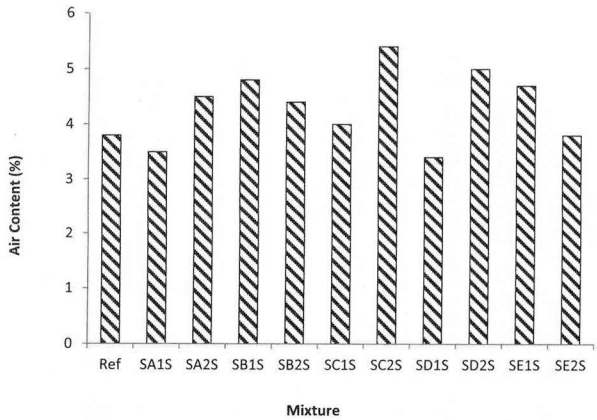
در شکل‌های ۴ تا ۶ نتایج مشخصات بتن تازه شامل میزان اسلامپ، وزن مخصوص و درصد هوا برای طرح‌های مختلف مورد مطالعه ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود اسلامپ کلیه طرح‌ها در محدودهٔ ۱۰±۵۰ میلی‌متر و درصد هوا در محدودهٔ ۱±۴/۴ میلی‌متر قرار دارد. وزن مخصوص کلیه طرح مخوط نیز با تلرانسی نزدیک به ۰/۵ درصد نسبت به طرح مخلوط مرجع با توجه به وزن مخصوص الیاف قرار دارد.



شکل ۴- نتایج اسلامپ طرح مخلوط‌های بتن الیافی در مقایسه با بتن شاهد



شکل ۵- نتایج وزن مخصوص طرح مخلوط‌های بتن الیافی در مقایسه با بتن شاهد

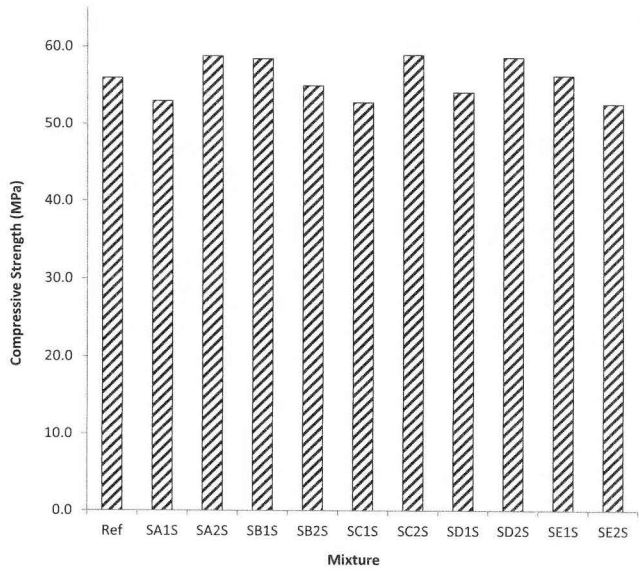


شکل ۶- نتایج درصد هوا مخلوط‌های بتن الیافی در مقایسه با بتن شاهد

۲,۴. نتایج خواص بتن در حالت سخت شده

- مقاومت فشاری

در شکل ۷، نتایج مقاومت فشاری طرح مخلوط‌های بتن الیافی با بتن شاهد مقایسه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، استفاده از الیاف تاثیر چندانی بر مقاومت فشاری نداشته است و تغییرات جزئی در محدودهٔ ۶درصد موجب کاهش مقاومت فشاری و در نمونه‌های حاوی ۲/۵ کیلوگرم الیاف Embos، Suzani و Wave تا حداکثر ۵٪ افزایش مقاومت قابل مشاهده است. بطور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از الیاف تاثیر منفی بر مقاومت فشاری بتن نداشته است و در محدودهٔ مقاومت فشاری بتن شاهد رفتار نموده است.

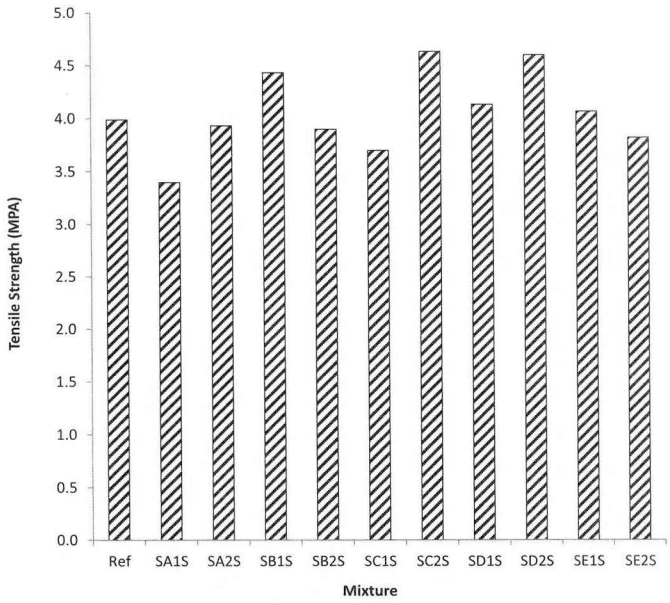


شکل ۷- نتایج مقاومت فشاری طرح مخلوط‌های بتن الیافی در مقایسه با بتن شاهد

- مقاومت خمشی (مدول گسیختگی)

در شکل ۸، نتایج مقاومت خمشی طرح مخلوط‌های بتن الیافی با بتن شاهد مقایسه شده است. در این شکل نتایج مدول گسیختگی بر روی دو ابعاد نمونه به ترتیب با کد B10_50 و B15_60 بر روری تیرهای منشوری ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰ میلیمتر و ۱۵۰×۱۵۰×۶۳۰ میلیمتر ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، در نمونه‌های با ابعاد بزرگ‌تر و با توجه به نرخ بارگذاری، مقاومت خمشی کمتری مشاهده می‌شود که مربوط به نحوهٔ و ابعاد نمونه می‌باشد. در هر دو روش، ملاحظه می‌گردد که الیاف Emboss، Sinos در هر دو مقدار استفاده از الیاف ۱/۵ و ۲/۵ کیلوگرم در هر مترمکعب، تاثیر افزایشی بر رفتار و مدول شکست نمونه‌های بتن الیافی نداشته است و حتی با مقداری کاهش جزئی در محدودهٔ ۶ تا ۹ درصدی نیز قابل مشاهده است. در نمونه‌های الیاف Suzani، با مقدار الیاف ۱/۵ کاهش مدول گسیختگی بین ۲ تا ۱۰ ملاحظه می‌شود، لیکن با افزایش مقدار مصرف در این نوع الیاف به میزان ۲/۵ کیلوگرم، افزایش مدول خمشی بین ۵ تا ۱۱ درصد مشاهده می‌شود. در نمونه‌های گروه آزمایش B10_50 رشدی در مدول گسیختگی (مقاومت خمشی) در محدودهٔ ۵ تا ۱۵ درصد ملاحظه شد که این روند در نمونه‌های گروه B15_60 بصورت کاهشی در محدودهٔ

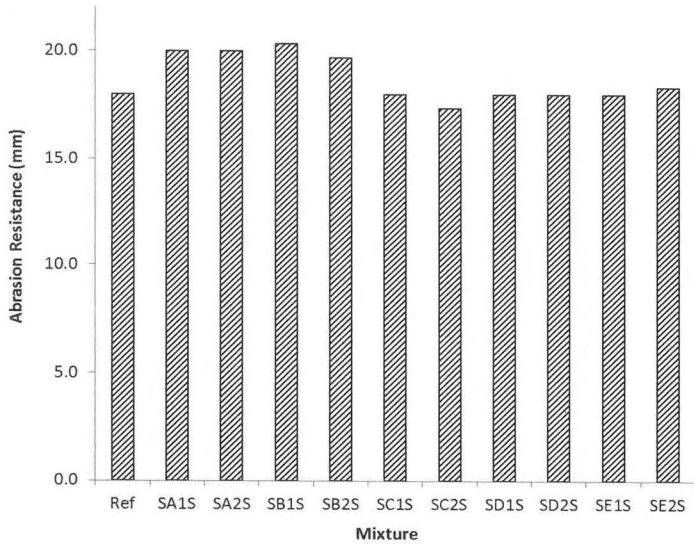
با افزایش مقدار مصرف تاثیر مثبت استفاده از الیاف در مقاومت کششی بیشتر بوده است ولی این تاثیرات بصورت جزئی کاهشی یا افزایشی بوده است.



شکل ۹- نتایج مقاومت کششی طرح مخلوط‌های بتن الیافی در مقایسه با بتن شاهد

- مقاومت سایشی

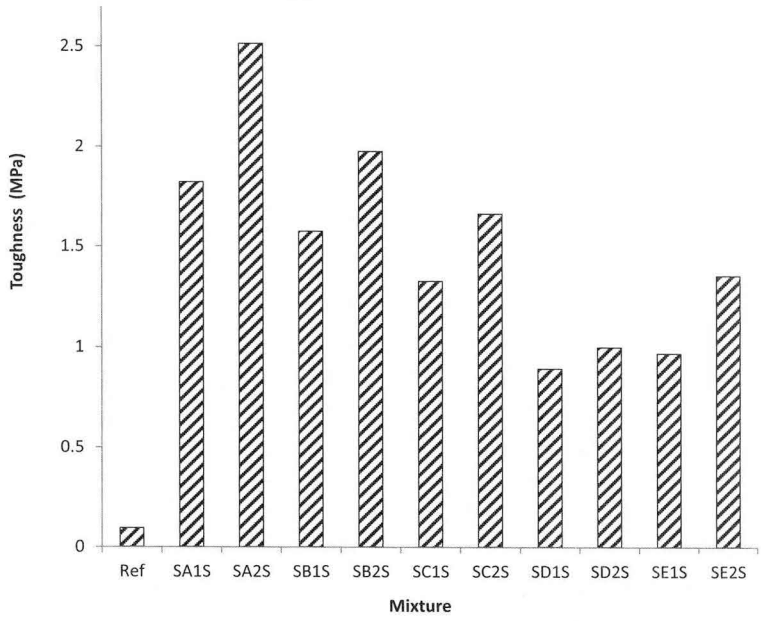
در شکل ۱۰، نتایج مقاومت سایشی طرح مخلوط‌های بتن الیافی با بتن شاهد مقایسه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، بطور کلی استفاده از الیاف تاثیر مقاومت سایشی تغییر چندانی نداده است و محدوده تغییرات کاهشی جزئی را در این مقاومت در نمونه‌های الیافی مشاهده گردیده است که خیلی قابل توجه نیست. بدین ترتب می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از الیاف تاثیر منفی بر رفتار سایشی بتن ندارد.



شکل ۱۰- نتایج مقاومت سایشی طرح مخلوط‌های بتن الیافی در مقایسه با بتن شاهد

- فاکتور طاقت

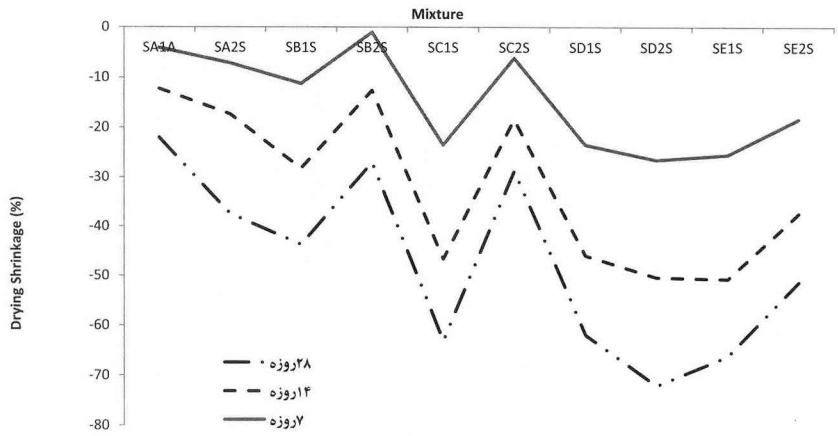
در شکل ۱۱، نتایج فاکتور طاقت طرح مخلوط‌های بتن الیافی با بتن شاهد مقایسه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد طرح SA2S و SB2S دارای بیشترین فاکتور طاقت می‌باشد. از سوی دیگر مقاومت طرح SB2S پایینتر می‌باشد و با توجه به مکانیزم شکست مشاهده شده می‌توان توصیه کرد با افزایش میزان مصرف الیاف Emboss و افزایش مدول این الیاف می‌توان رویکرد مناسبی از این نوع الیاف در توسعه روسازی‌های بتنی انتظار داشت.



شکل ۱۱- نتایج فاکتور طاقت طرح مخلوط‌های بتن الیافی در مقایسه با بتن شاهد

- جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن

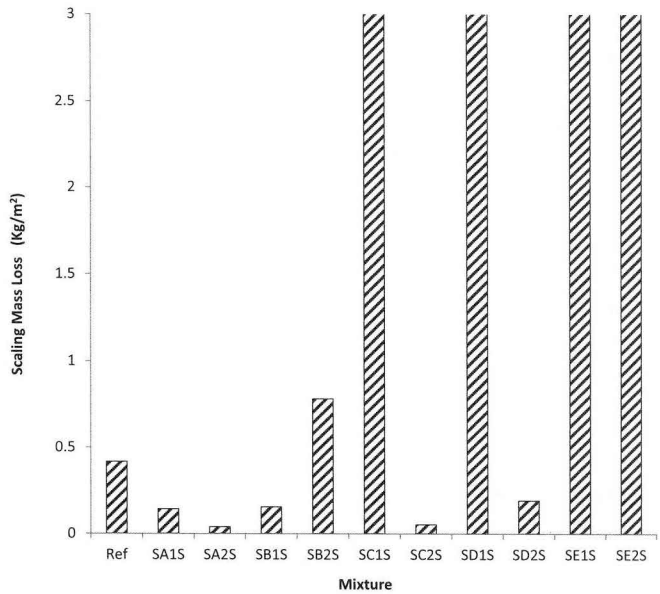
در شکل ۱۲، نتایج جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن طرح مخلوط‌های بتن الیافی با بتن شاهد در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز مقایسه شده است. با توجه به این نمودار مشخص می‌شود که کاربرد الیاف مورد استفاده منجر به کاهش جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن در بتن می‌گردد به ویژه همانگونه که ملاحظه می‌گردد طرح SC1S و SD2S دارای بیشترین تاثیر در کاهش جمع‌شدگی می‌باشد. از سویی میزان تاثیر با توجه به افزایش سن نیز حائز اهمیت می‌باشد.



شکل ۱۲- نتایج جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن طرح مخلوط‌های بتن الیافی در مقایسه با بتن شاهد

افت وزنی ناشی از پدیده یخ زدن و آب شدن در حضور نمک‌های یخزدا

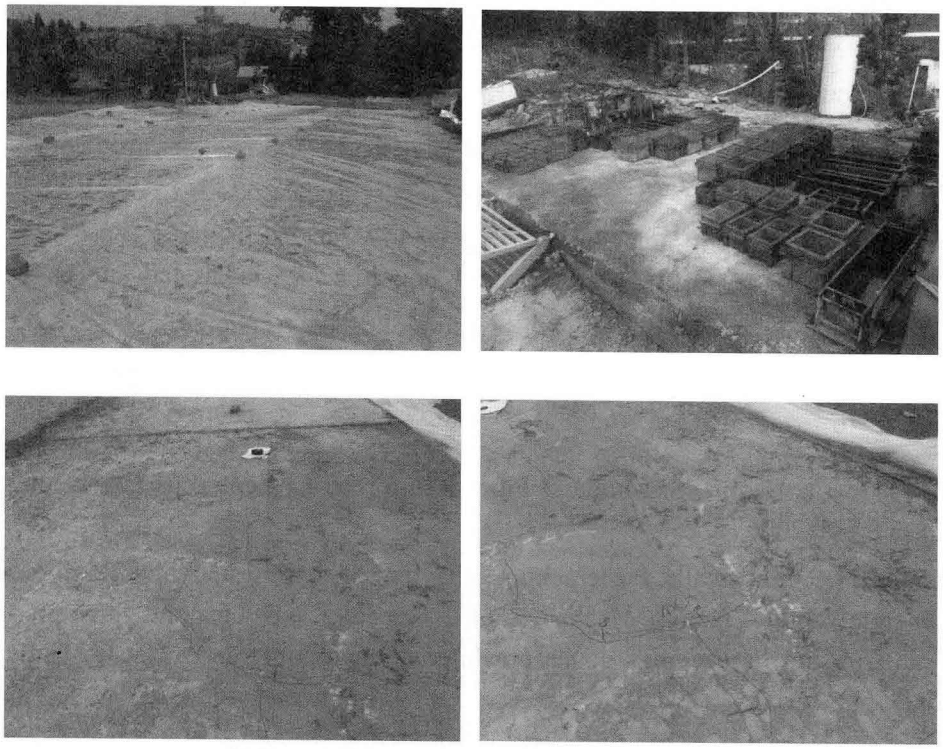
در شکل ۱۳، افت وزنی ناشی از پدیده یخ زدن و آب شدن در حضور نمک‌های یخزدا بتن مرجع در مقایسه با نمونه‌های حاوی الیاف نشان داده شده است. بر این اساس مشاهده می‌شود مخلوط‌های SC1S، SD1S، SE1S و SE2S دارای افت وزنی بیش از ۱ کیلوگرم در هر مترمربع بوده و ازاین لحاظ دوام لازم را در برابر پدیده یخبندان ندارند. سایر مخلوط‌ها از نظر افت وزنی ناشی از پدیده یخ زدن و آب شدن در حضور نمک‌های یخزدا قابل قبول بوده و برای مصرف توصیه می‌گردد.



شکل ۱۳- افت وزنی ناشی از پدیده یخ زدن و آب شدن در حضور نمک‌های یخ‌زدا

۵- مطالعه میدانی

در ادامه این مطالعه آزمایشگاهی و با توجه به نتایج بدست آمده، قصد بر این است که تاثیر الیاف در کاهش فواصل درز روسازی بصورت یک مطالعه میدانی مورد بررسی و پایش قرار گیرد که نتایج آن بعد از اجرا و پایش ارائه خواهد گردید. در این فاز تمام مشخصات فنی بتن مورد اسفتاده از قبیل خواص بتن تازه و سخت شده مورد ارزیابی آزمایشگاهی قرار گرفته و مقاومت درجای بتن اجرا شده نیز به روش مغزه‌گیری مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. ارزابی نحوه ترک خوردگی، عرض ترک و فواصل آن نیز به روش‌های میکروسکوپی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- اجرای رویه بتن مرجع و روسازی بتن الیافی

۶- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مطالعه تاثیر الیاف تولید داخل کشور که بصورت ترکیبی و از نوع پلیمری می‌باشد بر روی خواص مختلف بتن با کاربرد روسازی بتنی مورد بررسی قرار گرفت. آزمون‌های بتن تازه شامل آزمایش اسلامپ، آزمایش تعیین درصد هوا، آزمایش تعیین وزن مخصوص و همچنین آزمون‌های بتن سخت شده شامل آزمایش جمع شدگی ناشی از خشک شدن، آزمایش تعیین مقاومت فشاری، آزمایش تعیین مدول گسیختگی، آزمایش تعیین مقاومت کششی غیر مستقیم (برزیلی)، آزمایش تعیین مقاوت سایشی، آزمایش تعیین مقاومت متوسط باقیمانده (طاقت)، آزمون افت وزنی ناشی از پدیده یخ زدن و آب شدن در حضور نمک‌های یخ‌زدا انجام گرفت. همچنین یک مرحله مطالعه میدانی نیز بر روی تاثیر استفاده از این الیاف بر افزایش فواصل ایجاد درز و کنترل

ترک خوردگی نیز برنامه ریزی و نتایج آن ارائه خواهد شد. بطور کلی نتایج این مطالعه نشان داد اثر استفاده از الیاف تاثیر مسقیمی از مشخصات مکانیکی این نوع الیاف شامل مقاومت کششی و مدول الیاف دارد. حسب نوع و مقدار استفاده تاثیر این الیاف متفاوت می‌باشد لیکن نشان داده شد که استفاده از الیاف تاثیر به سزایی در افزایش جذب انرژی (طاقت) و همچنین جمع شدگی بتن ایفا می‌نماید که از این منظر قابل دفاع می‌باشد. به علاوه نتایج آزمون افت وزنی ناشی از پدیده یخ زدن و آب شدن در حضور نمک‌های یخزدا نشان داد با افزایش مصرف الیاف این شاخصه در برخی از الیاف باعث بهبود بتن حاوی الیاف خواهد شد.

۷- مراجع

[1] A. Bentur, S. Mindess, Fibre Reinforced Cementitious Composites, CRC Press, 2006.

[2] L. Vandewalle, Postcracking behaviour of hybrid steel fiber reinforced concrete. In Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures–FraMCoS, in: Proceedings of the 6th International Conference, Catania, Italy, 2007, pp. 17–22.

[3] M. Jamshidi, M. Karimi, Characterization of polymeric fibers as reinforcements of cement-based composites, J. Appl. Polym. Sci. 115 (5) (2010) 2779–2785.

[4] W. Yao, J. Li, K. Wu, Mechanical properties of hybrid fiber-reinforced concrete at low fiber volume fraction, Cem. Concr. Res. 33 (1) (2003) 27–30.

[5] A.M. Brandt, Cement-based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance, CRC Press, 2009.

[6] N. Banthia, R. Gupta, Hybrid fiber reinforced concrete (HyFRC): fiber synergy in high strength matrices, Mater. Struct. 37 (10) (2004) 707–716.

[7] Khin T. Soe, Y.X. Zhang, L.C. Zhang, Material properties of a new hybrid fibre- reinforced engineered cementitious composite, Constr. Build. Mater. 43 (2013) 399–407.

[8] M. Halvaei, M. Jamshidi, M. Latifi, Investigation on pullout behavior of different polymeric fibers from fine aggregates concrete, J. Ind. Text. 45 (5) (2016) 995–1008.

[9] M. Halvaei, M. Jamshidi, H.R. Pakravan, M. Latifi, Interfacial bonding of fine aggregate concrete to low modulus fibers, Constr. Build. Mater. 95 (2015), 117–123.

[10] P. Rossi, P. Acker, Y. Malier, Effect of steel fibres at two different stages: the material and the structure, Mater. Struct. 20 (1987) 436–439.

[11] N. Banthia, S.M. Soleimani, Flexural response of hybrid fiber reinforced cementitious composites, ACI Mater. J. 102 (6) (2005) 382–389.

[12] N. Banthia, N. Nandakumar, Crack growth resistance of hybrid fiber reinforced cement composites, Cem. Concr. Compos. 25 (2003) 3–9.

[13] Xiang Shu, Ryan K. Graham, Baoshan Huang, Edwin G. Burdette, Hybrid effects of carbon fibers on mechanical properties of Portland cement mortar, Mater. Des. 65 (2015) 1222–1228.

[14] N. Banthia, M. Sappakittipakorn, Toughness enhancement in steel fiber reinforced concrete through fiber hybridization, Cem. Concr. Res. 37 (2007) 1366–1372.

[15] S.F.U. Ahmed, H. Mihashi, Strain hardening behavior of lightweight hybrid polyvinyl alcohol (PVA) fiber reinforced cement composites, Mater. Struct. 44 (2011) 1179–1191.

[16] D.L. Nguyen, D.J. Kim, G.S. Ryu, K.T. Koh, Size effect on flexural behavior of ultra-high-performance hybrid fiber-reinforced concrete, Compos. Part B- Eng. 45 (2013) 1104–1116.

[17] J.S. Lawler, D. Zampini, S.P. Shah, Micro-fiber and macro-fiber hybrid fiber reinforced concrete, J. Mater. Civ. Eng. 17 (5) (2005) 595–604.

[18] E.R. Silva, J.F.J. Coelho, J.C. Bordado, Strength improvement of mortar composites reinforced with newly hybrid-blended fibres: influence of fibres geometry and morphology, Constr. Build. Mater. 40 (2013) 473–480.

[19] S.F.U. Ahmed, M. Maalej, Tensile strain hardening behaviour of hybrid steel- polyethylene fibre reinforced cementitious composites, Constr. Build. Mater. 23 (2009) 96–106.

[20] I. Markovic, High-performance Hybrid-Fibre Concrete – Development and Utilisation, Ph.D.-thesis T.U.Delft, 2006.

[21] N. Banthia, A. Moncef, K. Chokri, J. Sheng, Uniaxial tensile response of microfibre reinforced cement composites, Mater. Struct. (RILEM) 28 (183) (1995) 507–517.

[22] H.R. Pakravan, M. Jamshidi, M. Latifi, The effect of hybridization and geometry of polypropylene fibers on engineered cementitious composites reinforced by polyvinyl alcohol fibers, J. Compos. Mater., 2015, 0021998315586078.

[23] M. Hsie, C. Tu, P.S. Song, Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber- reinforced concrete, Mater. Sci. Eng., A 494 (1) (2008) 153–157.

[24] P.S. Song, S. Hwang, B.C. Sheu, Strength properties of nylon-and polypropylene-fiber-reinforced concretes, Cem. Concr. Res. 35 (8) (2005) 1546–1550.

[25] A.M. Alhozaimy, P. Soroushian, F. Mirza, Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials, Cem. Concr. Compos. 18 (2) (1996) 85–92.

[26] H.R. Pakravan, M. Jamshidi, M. Latifi, Investigation on polymeric fibers as reinforcement in cementitious composites: flexural performance, J. Ind. Text. 42 (1) (2012) 3–18.

[27] R.F. Zollo, Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development, Cem. Concr. Compos. 19 (2) (1997) 107–122.

[28] A. Mazzoli, S. Monosi, E.S. Plescia, Evaluation of the early-age-shrinkage of Fiber Reinforced Concrete (FRC) using image analysis methods, Constr. Build. Mater. 101 (2015) 596–601.

[29] A. Sivakumar, M. Santhanam, Mechanical properties of high strength concrete reinforced with metallic and non-metallic fibres, Cem. Concr. Compos. 29 (8) (2007) 603–608.

[30] N. Kistaiah, C. Udaya Kiran, G. Ramachandra Reddy, M. Sreenivasa Rao, Mechanical characterization of hybrid composites: a review, J. Reinf. Plast. Compos. published online 8 April 2014. http://dx.doi.org/10.1177/ 0731684413513050.