

ارزیابی اثر الیاف بر خصوصیات مکانیکی بتن حاوی تراشه آسفالت

مقاله علمی - پژوهشی

قاسم صمدی ویک، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

احمد منصوریان*، دانشیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a.mansourian@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۵

صفحه ۴۶-۳۳

چکیده

تحقیق و بررسی در خصوص امکان استفاده از تراشه آسفالت به عنوان تمام یا بخشی از مصالح لایه‌های روسازی به صورت روز افزون در حال انجام است؛ از جمله دلایل این موضوع را می‌توان ملاحظات اقتصادی و زیست محیطی برشمرد. در این فرآیند تراشه آسفالت جایگزین بخشی از سنگدانه‌های موجود در بتن یا آسفالت می‌شود. با توجه به اینکه مطالعات گذشته عمدتاً بر تأثیر منفی تراشه آسفالت روی مقاومت شکست و مقاومت فشاری بتن اذعان دارند و از طرفی مطالعات محققان اثر مثبت الیاف روی مقاومت بتن سیمانی را نشان می‌دهند، در تحقیق حاضر اثر الیاف پلی‌پروپیلن، پلی‌الفین و فولادی بر خصوصیات مکانیکی بتن حاوی تراشه آسفالت مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور سه درصد متفاوت (۲، ۵ و ۸ درصد وزنی عیار سیمان) از هر یک از انواع الیاف به بتن حاوی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد تراشه آسفالت اضافه شد و روی این نمونه‌ها، آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت شکست انجام گرفت. نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش مقاومت شکست، به شکل نیم‌دیسکی و دارای سه عمق شکاف ۲۵، ۳۲ و ۳۸ میلی‌متر بودند. بررسی نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که عمدتاً اضافه کردن الیاف به بتن حاوی تراشه آسفالت، به افزایش ناچیز (تا ۷ درصد) در مقاومت فشاری، افزایش نسبتاً کم (تا ۱۹ درصد) در مقاومت کششی و اثر قابل ملاحظه (تا ۳۰ درصد) بر مقاومت شکست منجر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الیاف، بتن، تراشه آسفالت، مقاومت، شکست

۱- مقدمه

به وجود می‌آورد و سیمای شهر را نامطلوب می‌سازد؛ از طرفی دیگر تحقیقات و بررسی‌ها در خصوص امکان استفاده از مصالح تراشه آسفالت به عنوان تمام یا بخشی از مصالح لایه‌های روسازی به صورت روزافزون در حال انجام است (Capson and Sorensen, 2013). مهمترین مزایایی که در ابتدا برای استفاده از تراشه آسفالت در عملیات روسازی به نظر می‌رسد عبارتند از: کمک به رفع مشکل نگهداری و دپو شدن تراشه آسفالت، کاهش آلودگی محیط زیست، نگهداری و حفاظت از منابع طبیعی، کاهش هزینه‌های ساخت و استفاده بهینه از منابع شن و ماسه (Settari et al., 2015). در تحقیقی که به منظور ارزیابی چقرمگی شکست بتن حاوی

در کشور ایران به دلایلی از جمله آشنایی بیشتر دست‌اندرکاران حوزه ساخت و نگهداری راه‌ها با روسازی آسفالتی و از طرفی فراوانی منابع نفتی، غالب روسازی راه‌ها از نوع آسفالتی است؛ با این وجود در سال‌های اخیر اجرای موفقیت‌آمیز تعدادی پروژه روسازی بتنی و تولید سیمان به میزان قابل ملاحظه و همچنین مزیت عمده روسازی بتنی که عمر طولانی‌تر آن است، باعث شده متولیان امر ساخت و نگهداری راه‌ها، گزینه روسازی بتنی را در فرآیند انتخاب گزینه‌های مناسب برای روسازی راه‌ها مد نظر قرار دهند. تراشه‌های آسفالت از یک طرف موجب آلودگی محیط زیست شده و توده‌های انباشته شده آن در اطراف شهرها و جاده‌ها مناظر ناخوشایندی را

تراشه آسفالت، خستگی خمشی نمونه‌ها کاهش می‌یابد؛ ولی اضافه شدن الیاف فولادی می‌تواند به بهبود ۵۰ تا ۶۰ درصد مقاومت خستگی خمشی نمونه‌های بتنی حاوی تراشه آسفالت منجر شود (Paluri et al., 2021). Andrew و همکارانش (۲۰۲۲) در پژوهش خود به منظور بررسی اثر هم‌زمان تراشه آسفالت و الیاف فولادی نتیجه گرفتند که اضافه کردن الیاف فولادی به بتن حاوی تراشه موجب افزایش مقاومت فشاری و مقاومت کششی می‌شود. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد به‌طور کلی مطالعات پیشین عمدتاً مبتنی بر تأثیر منفی تراشه آسفالت روی پارامترهای مقاومتی بتن بوده و از طرفی مطالعات محققان، اثر مثبت الیاف روی مقاومت بتن سیمانی را نشان می‌دهد، در تحقیق حاضر به این پرسش اساسی پاسخ داده می‌شود که آیا الیاف می‌تواند منجر به بهبود مقاومت فشاری، کششی و مقاومت شکست بتن حاوی تراشه آسفالت شود. برای این منظور روی نمونه‌های بتنی حاوی درصد‌های مختلف تراشه آسفالت و الیاف پلی پروپیلن، پلی الفین^۲ و فولادی^۳ آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت شکست انجام شد و اثر الیاف روی بتن حاوی تراشه آسفالت مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- مشخصات مصالح و آزمایش‌ها

۲-۱- مشخصات مصالح

مصالح مورد استفاده در این پژوهش شامل شن، ماسه، سیمان نوع دو، تراشه آسفالت، آب و افزودنی فوق روان کننده کاهنده آب و الیاف پلی پروپیلن، الیاف پلی الفین و الیاف فولادی است. شن و ماسه مورد نیاز از منطقه شهریار (تهران) تهیه شد که مشخصات این مصالح در جدول ۱ نشان داده شده است. دانه‌بندی مصالح سنگی مصرفی نیز در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. سیمان مورد استفاده از نوع ۲ کارخانه تهران است که مشخصات آن در جدول ۴ ارائه شده است. تراشه‌های آسفالت که داری ۵/۲ درصد قیر بودند از محل دپوی تراشه‌های آسفالت روسازی بزرگراه آزادگان حد فاصل بلوار خلیج فارس تا جاده فتح (تهران) تهیه شده است. دانه‌بندی تراشه‌های آسفالت مورد استفاده نیز مطابق با دانه‌بندی سنگ‌دانه درشت (شن) لحاظ گردید. مشخصات الیاف استفاده شده در این پژوهش در جدول ۵ ارائه شده است. شکل شماره ۱ وضعیت

تراشه آسفالت در مودهای خالص و ترکیبی (I و III) و بررسی امکان جایگزین کردن ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد مصالح مورد استفاده در بتن با تراشه آسفالت انجام شد، این نتیجه به دست آمد که مقاومت فشاری و مقاومت شکست نمونه‌های بتنی، با افزایش درصد تراشه آسفالت کاهش می‌یابد (Mansourian, Hashemi, and Aliha, 2018). در تحقیق دیگری به منظور ارزیابی مقاومت فشاری بتن حاوی تراشه آسفالت، مشاهده شد که مخلوط بتنی حاوی تا ۲۰ درصد تراشه آسفالت الزامات مندرج در ضوابط فنی را برآورده می‌کند (Han et al., 2018). با این وجود، در پژوهشی با موضوع جایگزینی مصالح درشت‌دانه بتن خودتراکم با تراشه آسفالت تا ۴۰ درصد، نشان داده شد که افزایش میزان تراشه آسفالت ظرفیت باربری تیرهای بتنی را کاهش می‌دهد (Abdel-Mohti, Shen and Khodair, 2016). در رابطه با ظرفیت خمشی دال‌های بتنی حاوی مصالح بازیافتی از جمله تراشه آسفالت و الیاف در سال ۲۰۱۴ تحقیقی صورت گرفت که نتایج آن نشان داد استفاده از الیاف‌های ضخیم، انرژی شکست بتن را بهبود می‌بخشد؛ ولی مقاومت خمشی بتن حاوی تراشه آسفالت را به میزان ۴۰ درصد کاهش می‌دهد (Brand, Amirhanian and Roesler, 2013). در تحقیقی دیگر که به منظور بررسی مقاومت فشاری بتن غلتکی حاوی تراشه آسفالت صورت گرفت، نشان داده شد که در مقایسه با بتن غلتکی ساخته شده با مصالح طبیعی، مقاومت فشاری نمونه‌های بتن غلتکی حاوی تراشه آسفالت، تقریباً ۲۷ درصد کاهش یافته است (Ferrebee et al., 2014). مطالعات LaHucik و همکارانش (۲۰۱۶) نیز نشان می‌دهد استفاده از الیاف مصنوعی در اساس تثبیت شده با سیمان که حاوی تراشه آسفالت است، می‌تواند منجر به بهبود مقاومت خمشی و مقاومت شکست شود. جایگزینی بخشی از ریزدانه بتن با تراشه آسفالت نشان می‌دهد، تراشه آسفالت منجر به کاهش پارامترهای مقاومتی بتن می‌شود؛ ولی افزودن الیاف فولادی به این نمونه‌ها، می‌تواند افزایش قابل ملاحظه مقاومت کششی آنها را به همراه داشته باشد (Paluri et al., 2020). در مطالعه دیگری Paluri و همکارانش (۲۰۲۱) به منظور بررسی رفتار خستگی خمشی بتن حاوی تراشه آسفالت، از درصد‌های مختلف تراشه آسفالت (۰ تا ۳۰ درصد) و دو درصد متفاوت الیاف فولادی (۰ و ۱ درصد) در بتن استفاده کردند. در این پژوهش نتیجه‌گیری شد که با افزایش درصد

کلی الیاف مورد استفاده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. در به صورت بی‌بو و رنگ قهوه‌ای روشن به میزان ۰/۳ درصد وزن این پژوهش از مواد کاهنده آب بر پایه پلی کربوکسیلات اتر سیمان استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در ساخت بتن

نوع سنگدانه	اندازه (میلی‌متر)	وزن مخصوص	جذب آب (درصد)	رطوبت (درصد)	مدول نرمی	درصد سایش لس آنجلس
شن	۴/۷۵-۱۹	۲/۳۴۴	۱/۷۸	۰/۵	—	۱۸/۵
ماسه	۰-۴/۷۵	۲/۳۰۳	۲/۷۶	۱/۱۸	۳/۰۱	—

جدول ۲. دانه‌بندی ماسه مورد استفاده در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

اندازه الک (میلی‌متر)	درصد رد شده از الک	درصد رد شده مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲	
		حد پایین	حد بالا
۹/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۴/۷۵	۹۷/۵	۸۹	۱۰۰
۲/۳۶	۷۷/۸	۶۰	۱۰۰
۱/۱۸	۵۷	۳۰	۸۵
۰/۶	۳۹/۱	۱۵	۶۰
۰/۳	۲۱/۴	۵	۳۰
۰/۱۵	۹	۲	۱۰
۰/۰۷۵	۱/۷	—	—

جدول ۳. دانه‌بندی شن مورد استفاده در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

اندازه الک (میلی‌متر)	درصد رد شده از الک	درصد رد شده مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲	
		حد پایین	حد بالا
۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹	۹۱/۳	۹۰	۱۰۰
۱۷	۳۸/۸	۲۰	۵۵
۹/۵	۶/۴	۰	۱۵
۴/۷۵	۰/۰	۰	۵

جدول ۴. مشخصات فیزیکی سیمان نوع ۲ طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹

مقدار در استاندارد ۳۸۹	سطح مخصوص (بلین) (گرم بر سانتی‌متر مربع)	انبساط اتوکلاو (درصد)	زمان گیرش (دقیقه)		مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)			حرارت هیدراسیون ۷ روزه (gr/cal)	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مربع)
			>۴۵	<۳۶۰	>۱۰۰	>۱۷۵	>۳۱۵		
۳۸۹	>۲۸۰۰	<۰/۸	>۴۵	<۳۶۰	>۱۰۰	>۱۷۵	>۳۱۵	<۷۰	۳/۱۵
مقادیر نمونه سیمان استفاده شده	۳۱۱۴	۰/۴	۷۵	۲۶۰	۲۸۹	۳۹۳	۵۳۴	—	۳/۱۵

جدول ۵. مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف استفاده شده در ساخت نمونه‌ها

نوع الیاف	شکل ظاهری	چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب)	مقاومت کششی (مگاپاسکال)	ابعاد (میلی‌متر)	
				طول	قطر-ضخامت
پلی پروپیلن	صاف	۹۰۰	۴۰۰	۱۸	۰/۲۳
پلی اولفین	صاف	۹۵۰	۶۵۰	۵۴	۰/۵
فولادی	دوسر قلاب	۸۹۰۰	۱۱۰۰	۳۵	۰/۷۵



الف



ب



پ

شکل ۱. نمایی از الیاف مورد استفاده در پژوهش (الف- الیاف پلی پروپیلن؛ ب- الیاف پلی اولفین؛ پ- الیاف فولادی دوسر قلاب)

۲-۲- آزمایش‌ها

در تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر الیاف بر پارامترهای مکانیکی مخلوط‌های بتنی حاوی تراشه آسفالت از آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت شکست استفاده شد که در ادامه به شرح مختصری از این آزمایش‌ها اشاره می‌شود. برای تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی مربوط به مقاومت فشاری و کششی، بتن تازه به ترتیب در قالب‌های مکعبی به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی‌متر و قالب‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و در سه لایه ریخته شده و توسط میله کوبه و میز ویبره متراکم گردید. آزمایش مقاومت

به منظور مقایسه خصوصیات مکانیکی نمونه‌های بتنی حاوی تراشه آسفالت، ۴ نوع مخلوط تهیه شد. مخلوط اول بدون تراشه آسفالت بوده و سه مخلوط دیگر حاوی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد تراشه آسفالت در فاز درشت‌دانه بودند که دانه‌بندی آنها مطابق دانه‌بندی شن و ماسه در نظر گرفته شد. ذکر این نکته لازم است که طرح مخلوط‌های بتنی بر اساس آیین‌نامه انجمن بتن آمریکا (ACI-211-09) انجام شده است. در این ارتباط نسبت آب به سیمان در تمامی مخلوط‌ها ثابت و برابر ۰/۴۷ بوده و به میزان ۰/۳ درصد وزنی عیار سیمان نیز افزودنی فوق روان کننده به مخلوط‌ها اضافه شد.

بودن نمونه‌های دارای شکاف، به‌جای برش و ایجاد شکاف بعد از ساخت نمونه، از قالب‌های دارای شکاف که شکاف آن با ورق فلزی ایجاد شده بود، استفاده شد (شکل ۲). در ادامه نمونه‌ها بعد از گذشت ۲۴ ساعت از قالب بیرون آورده شده و برای عمل‌آوری در حوضچه آب به مدت ۲۸ روز قرار گرفتند. شکل ۳ نمایی از نمونه‌های تهیه شده برای انجام آزمایش مقاومت شکست را نشان می‌دهد.

کششی به روش غیر مستقیم برزیلین بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۴۷ و با سرعت بارگذاری ثابت ۱۰۰۰ کیلو پاسکال در دقیقه تا هنگام گسیختگی نمونه انجام شد. برای تهیه نمونه‌های مربوط به آزمایش مقاومت شکست نیز، بتن تازه داخل قالب‌های به قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع (ضخامت) ۵/۷ سانتی‌متر و عمق شکاف‌های ۲۵، ۳۲ و ۳۸ میلی‌متر ریخته شد و توسط میز ویریه متراکم شدند. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر به منظور یکنواختی و واقعی‌تر



شکل ۲. قالب‌های مربوط به تهیه نمونه‌های نیم‌دیسکی با عمق شکاف مختلف



شکل ۳. نمایی از نمونه‌های تهیه شده برای آزمایش مقاومت شکست

آسفالتی در برابر ترک‌خوردگی در دمای متوسط است؛ با این وجود در پژوهش حاضر از مفاهیم مندرج در این استاندارد برای ارزیابی مقاومت شکست نمونه‌های بتنی حاوی تراشه آسفالت و الیاف استفاده شد. در این آزمایش سرعت بارگذاری نمونه‌ها برابر ۰/۵ میلی‌متر در دقیقه لحاظ گردید. شکل ۴ نمایی از وضعیت نمونه در فرآیند آزمایش مقاومت شکست را نشان می‌دهد.

برای آزمایش مقاومت فشاری ۳ نمونه برای هر طرح اختلاط، برای مقاومت کششی ۲ نمونه و به منظور بررسی مقاومت شکست نمونه‌های نیم‌دیسکی برای هر عمق شکاف ۴ عدد نمونه ساخته شد. در مجموع در این پژوهش از ۲۰۴ نمونه استفاده شد. نمونه‌های نیم‌دیسکی مربوط به آزمایش مقاومت شکست در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بر اساس استاندارد ASTM-D8044 مورد ارزیابی قرار گرفتند. ذکر این نکته لازم است که این استاندارد برای ارزیابی مقاومت مخلوط

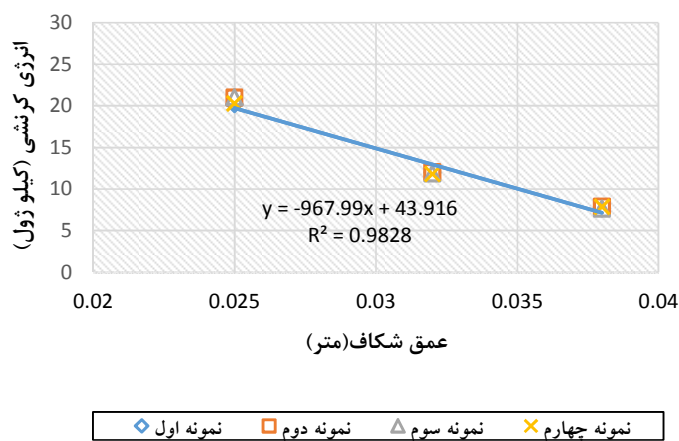


شکل ۴. نمایی از نمونه‌های نیم‌دیسکی در فرآیند آزمایش مقاومت شکست

که در آن J_c نرخ آزاد سازی انرژی کرنشی بحرانی ۵ (کیلو ژول بر متر مربع)، b ضخامت نمونه (۵۷ میلی‌متر)، a عمق شکاف (۲۵، ۳۲ یا ۳۸ میلی‌متر) و u انرژی کرنشی تا شکست نمونه (کیلو ژول) است. در این آزمایش هرچقدر مقدار J_c نمونه‌ای بزرگ‌تر باشد، مقاومت شکست آن نمونه نیز بیشتر خواهد بود. شکل ۵ نمونه‌ای از نمودار تغییرات انرژی کرنشی در برابر عمق شکاف نمونه بتنی حاوی ۱۵ درصد تراشه آسفالت و ۵ درصد وزنی الیاف پلی‌پروپیلن را نشان می‌دهد.

در این راستا به منظور تعیین انرژی کرنشی، مساحت زیر منحنی بار-جابجایی تا مقدار حداکثر بار به دست آمد و پس از محاسبه شیب منحنی انرژی-عمق شکاف (du/da) که نمونه‌ای از آن در شکل ۵ نشان داده شده است، مقاومت شکست نمونه‌ها با استفاده از رابطه شماره ۱ محاسبه شد.

$$J_c = \frac{-1}{b} \left(\frac{du}{da} \right) \quad (1)$$



شکل ۵. نمونه‌ای از نمودار انرژی کرنشی در برابر عمق شکاف نمونه بتنی حاوی ۱۵ درصد تراشه آسفالت و ۵ درصد وزنی الیاف پلی‌پروپیلن

۳- نتایج

۳-۱- نتایج مقاومت فشاری

اتفاق افتاده است و بیشترین کاهش مقاومت فشاری برابر ۴ درصد است که در نمونه حاوی ۸ درصد الیاف پلی‌پروپیلن و ۴۵ درصد تراشه آسفالت بروز کرده است. اگرچه در برخی تحقیقات (Andrew et al., 2022)، به اثر افزایش قابل ملاحظه (۲۰ تا ۳۰ درصد) الیاف فولادی بر مقاومت فشاری حاوی تراشه آسفالت اشاره شده و از جمله دلایل این موضوع در اتصال و قفل و بست شدن ملات بتن و تراشه آسفالت با الیاف فولادی دو سر قلاب ذکر شده است؛ ولی در مقاله حاضر، این پدیده در نمونه‌های بتنی حاوی تراشه آسفالت و الیاف بویژه الیاف فولادی دوسر قلاب مشاهده نگردید.

نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها با نرخ بارگذاری ۲ مگاپاسکال در ثانیه روی نمونه‌های مکعبی ۱۵ سانتی‌متری و تبدیل شده به نمونه استوانه‌ای با قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در جدول ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، اضافه کردن الیاف به بتن حاوی تراشه، علاوه بر آنکه منجر به بهبود قابل ملاحظه مقاومت فشاری نمونه‌ها نمی‌شود؛ بلکه در مواردی نیز کاهش جزئی مقاومت فشاری نمونه‌ها را نیز به همراه دارد. بر این اساس، بیشترین افزایش مقاومت فشاری برابر ۷ درصد است که در نمونه با ۸ درصد الیاف پلی‌الفین و ۳۰ درصد تراشه آسفالت

جدول ۶. تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی تراشه آسفالت و الیاف نسبت به نمونه‌های حاوی تراشه آسفالت (بدون الیاف)

الیاف فولادی			الیاف پلی‌الفین			الیاف پلی‌پروپیلن			نوع بتن
۸ درصد	۵ درصد	۲ درصد	۸ درصد	۵ درصد	۲ درصد	۸ درصد	۵ درصد	۲ درصد	
+۴	+۳	+۲	+۵	+۳	+۲	-۳	-۰/۵	+۱	حاوی ۱۵ درصد تراشه آسفالت
+۴	+۳/۵	+۳	+۷	+۵	+۳	-۳	+۰/۵	+۲	حاوی ۳۰ درصد تراشه آسفالت
+۵	+۴	+۳	+۲	-۴	-۰/۵	-۴	-۲	+۳	حاوی ۴۵ درصد تراشه آسفالت

۳-۲- نتایج مقاومت کششی

۷ مشاهده می‌شود، بیشترین افزایش مقاومت کششی برابر ۱۹ درصد است که در نمونه‌های بتنی حاوی ۸ درصد الیاف پلی‌الفین و ۱۵ درصد تراشه آسفالت اتفاق افتاده است. از جمله دلایل احتمالی مربوط به افزایش نسبی مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حاوی تراشه آسفالت و الیاف را می‌توان به ایجاد حالت پل‌شدگی الیاف در محل بروز ترک‌های ناشی از تنش یا کرنش کششی نسبت داد.

بررسی نتایج آزمایش مقاومت کششی نمونه‌ها نشان می‌دهد، با افزایش درصد تراشه آسفالت، مقاومت کششی نمونه‌های حاوی الیاف کاهش می‌یابد؛ به طوری که مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حاوی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد تراشه آسفالت در مقایسه با نمونه‌های بتنی فاقد تراشه آسفالت به ترتیب به میزان ۱۳، ۱۵ و ۱۷ درصد افت دارند؛ با این وجود، افزودن الیاف به بتن حاوی تراشه آسفالت، موجب بهبود مقاومت کششی آنها شده است. همان‌طور که در جدول

جدول ۷. تغییرات مقاومت کششی نمونه‌های حاوی تراشه آسفالت و الیاف نسبت به نمونه‌های حاوی تراشه آسفالت بدون الیاف

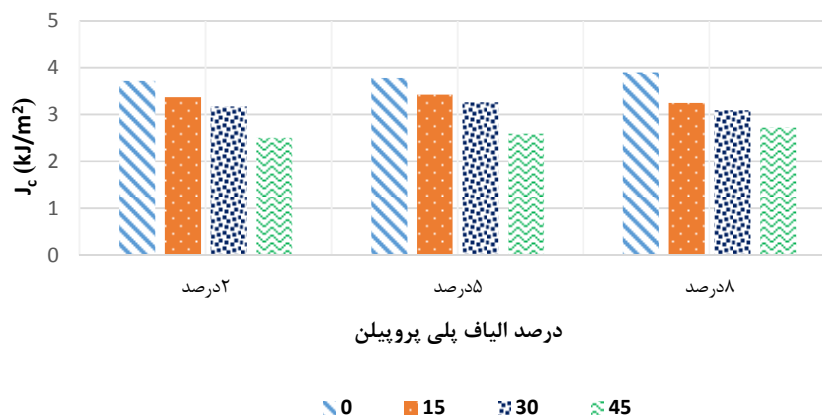
الیاف فولادی			الیاف پلی الفین			الیاف پلی پروپیلن			نوع بتن
۸ درصد	۵ درصد	۲ درصد	۸ درصد	۵ درصد	۲ درصد	۸ درصد	۵ درصد	۲ درصد	
+۱۴	+۱۲	+۱۰	+۱۹	+۱۷	+۱۴	+۱	+۱۴	+۱۱	حاوی ۱۵ درصد تراشه آسفالت
+۶	+۳	+۰/۵	+۶	+۷	+۲	-۰/۵	+۵	+۰/۵	حاوی ۳۰ درصد تراشه آسفالت
+۷	+۴	+۱	+۷	+۶	+۱	+۰/۵	+۶	+۱	حاوی ۴۵ درصد تراشه آسفالت

۳-۳- نتایج آزمایش مقاومت شکست (آزمایش خمش روی نمونه‌های نیم دیسکی)

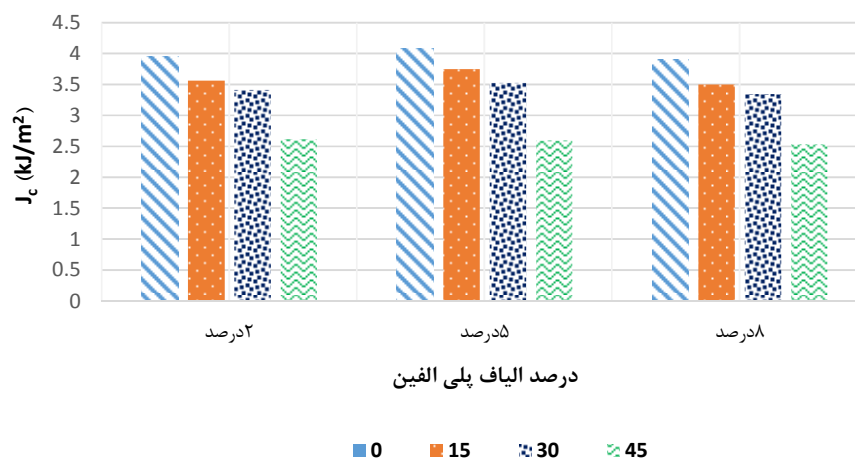
۳-۳-۱- بررسی اثر درصد تراشه آسفالت بر مقاومت شکست نمونه‌ها

همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، معمولاً با افزایش درصد تراشه، نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی که به نوعی مقاومت شکست نمونه‌ها را نشان می‌دهد، کاهش می‌یابد.

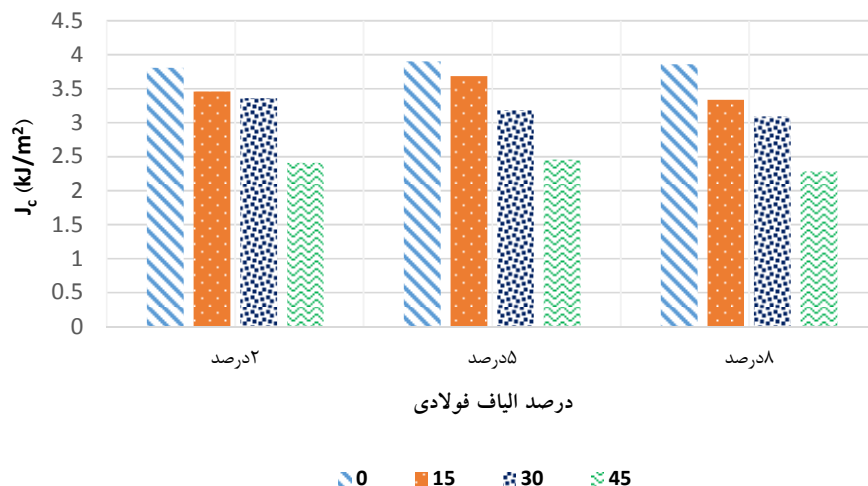
شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نمودار تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی (J_c) را برای نمونه‌های مختلف حاوی الیاف مختلف با درصد‌های متفاوت تراشه آسفالت نشان می‌دهد.



شکل ۶. تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی (J_c) نمونه‌های بتنی حاوی الیاف پلی پروپیلن و درصد‌های متفاوت تراشه آسفالت



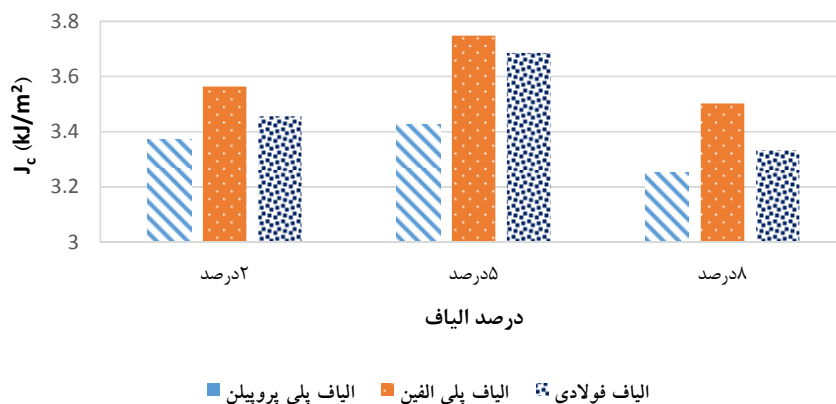
شکل ۷. تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی (J_c) نمونه‌های بتنی حاوی الیاف پلی الفین و درصد‌های متفاوت تراشه آسفالت



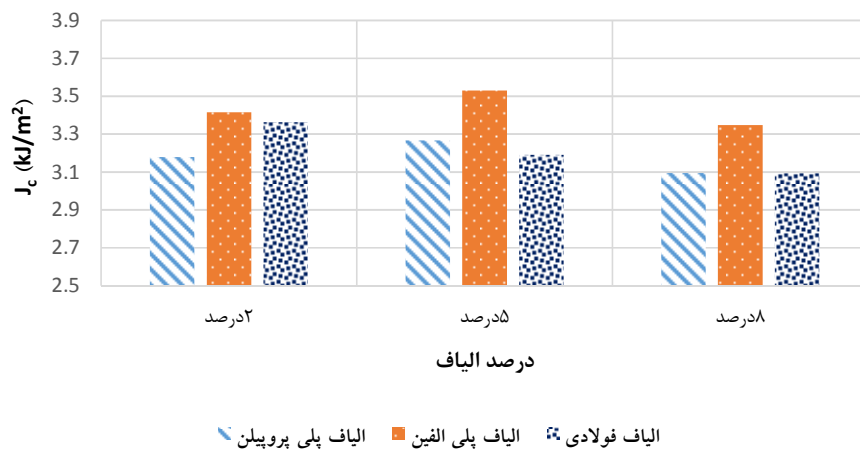
شکل ۸. تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی (J_c) نمونه‌های بتنی حاوی الیاف فولادی و درصد‌های متفاوت تراشه آسفالت

۳-۳-۳- بررسی اثر درصد الیاف بر مقاومت شکست نمونه‌ها
 شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ نمودار تغییرات نرخ انرژی کرنشی بحرانی را برای نمونه‌های مختلف حاوی تراشه آسفالت و درصد‌های متفاوت الیاف نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، به‌طور کلی اضافه‌کردن هر یک از انواع الیاف به نمونه‌های بتنی حاوی تراشه آسفالت، منجر به بهبود نرخ انرژی کرنشی بحرانی و به عبارتی منجر به بهبود مقاومت شکست آنها از ۱۰ تا ۳۰ درصد می‌شود؛ به‌طوری‌که با افزایش درصد تراشه آسفالت اثر این بهبود کاهش می‌یابد. از جمله دلایل احتمالی مربوط به افزایش نسبی مقاومت شکست نمونه‌های بتنی حاوی تراشه آسفالت با اضافه کردن الیاف را می‌توان به ایجاد حالت پل‌شدگی الیاف در محل بروز ترک‌های ناشی از تنش یا کرنش کششی نسبت داد.

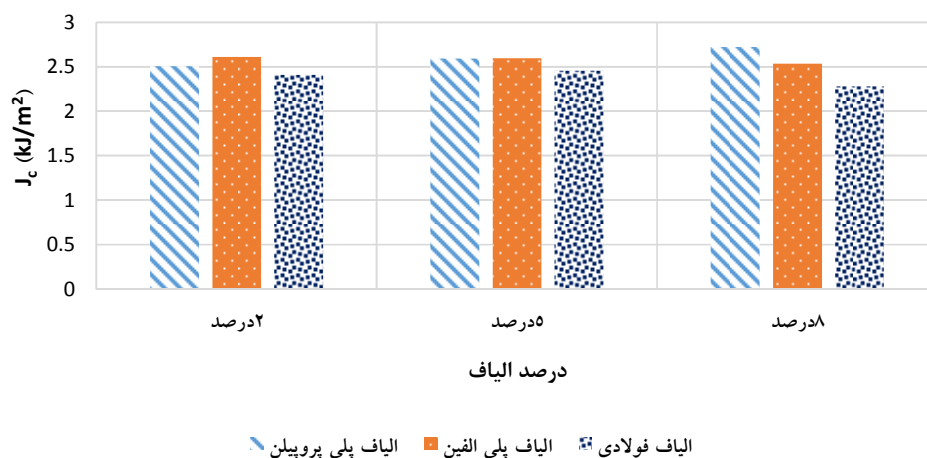
۳-۳-۲- بررسی اثر نوع الیاف بر مقاومت شکست نمونه‌ها
 شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ نمودار تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی را برای نمونه‌های مختلف حاوی تراشه آسفالت و الیاف نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، الیاف پلی‌الفین عملکرد بهتری نسبت به الیاف پلی‌پروپیلن و فولادی در نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی و در نتیجه مقاومت شکست داشته است.



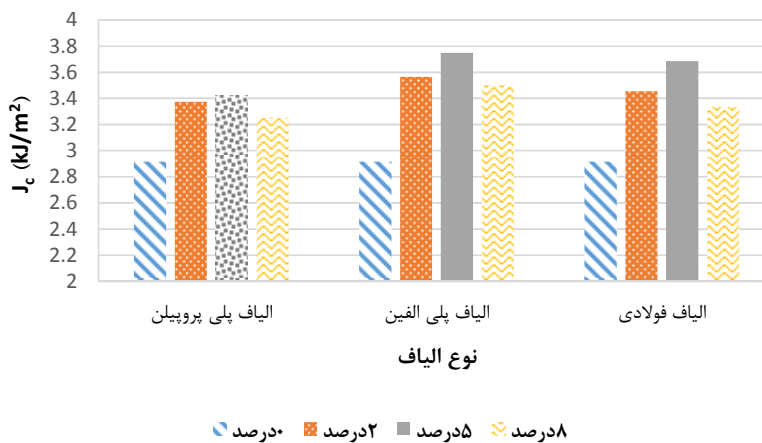
شکل ۹. تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی (J_c) نمونه‌های بتنی حاوی ۱۵درصد تراشه آسفالت و الیاف



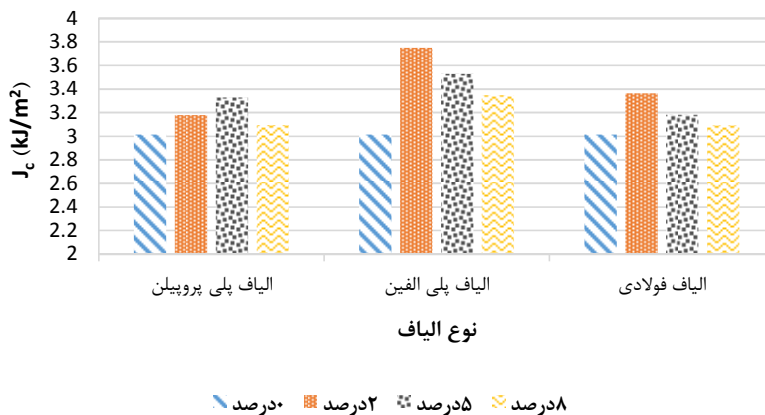
شکل ۱۰. تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی (J_c) نمونه های بتنی حاوی ۳۰ درصد تراشه آسفالت و الیاف



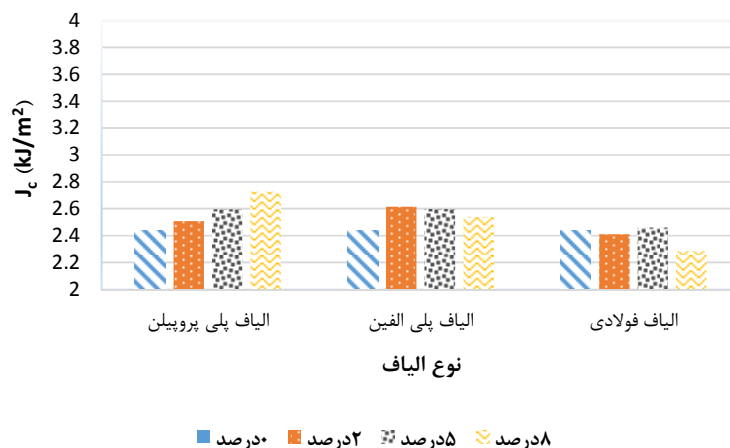
شکل ۱۱. تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی (J_c) نمونه های بتنی حاوی ۴۵ درصد تراشه آسفالت و الیاف



شکل ۱۲. تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی (J_c) نمونه های بتنی حاوی ۱۵ درصد تراشه آسفالت



شکل ۱۳. تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی (Jc) نمونه‌های بتنی حاوی ۳۰ درصد تراشه آسفالت



شکل ۱۴. تغییرات نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی (Jc) نمونه‌های بتنی حاوی ۴۵ درصد تراشه آسفالت

۴- نتیجه‌گیری

با افزایش درصد تراشه آسفالت، مقاومت کششی نمونه‌های حاوی الیاف کاهش می‌یابد؛ با این وجود، افزودن الیاف به بتن حاوی تراشه آسفالت، تا حدودی موجب بهبود مقاومت کششی آنها می‌شود.

معمولاً با افزایش درصد تراشه، نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی که به نوعی مقاومت شکست نمونه‌ها را نشان می‌دهد، کاهش می‌یابد.

اضافه کردن الیاف به بتن حاوی تراشه آسفالت، به بهبود نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی و در نتیجه به بهبود مقاومت شکست نمونه‌ها منجر می‌شود.

الیاف پلی‌الفین عملکرد بهتری نسبت به الیاف پلی‌پروپیلن و فولادی در نرخ آزادسازی انرژی کرنشی بحرانی و در نتیجه مقاومت شکست دارد.

در تحقیق حاضر اثر الیاف پلی‌پروپیلن، پلی‌الفین و فولادی بر خواص مکانیکی (مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت شکست) بتن حاوی تراشه آسفالت مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور از نمونه‌های بتنی حاوی سه درصد متفاوت الیاف پلی‌پروپیلن، پلی‌الفین و فولادی و درصدهای مختلف تراشه آسفالت استفاده شد. براساس نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت شکست روی نمونه‌های تهیه شده، می‌توان موارد زیر را به عنوان نتیجه‌گیری پژوهش حاضر برشمرد:

اضافه کردن الیاف به بتن حاوی تراشه، علاوه بر آنکه منجر به بهبود قابل ملاحظه مقاومت فشاری نمونه‌ها نمی‌شود؛ بلکه در مواردی نیز کاهش جزئی مقاومت فشاری نمونه‌ها را نیز به همراه دارد.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Reclaimed Asphalt Pavement
- 2- Polypropylene Fibers
- 3- Polyolefin Fibers
- 4- Steel Fibers
- 5- Critical Strain Energy Release Rate

۶- مراجع

- LaHucik, J.R., Schmidt, S.R., Tutumluer, E. and Roesler, J.R., (2016), "Characterization of cement treated base course using reclaimed asphalt pavement, aggregate by-products, and macro-synthetic fibers", In *Geo-Chicago*, pp. 523-533.
- Mansourian, A., Hashemi, S. and Aliha, M.R. (2018), "Evaluation of pure and mixed modes (I/III) fracture toughness of Portland cement concrete mixtures containing reclaimed asphalt pavement", *Construction and Building Materials*, No. 178, pp. 110-18.
- Paluri, Y., Mogili, S., Mudavath, H. and Pancharathi, R.K., (2020), "A study on the influence of steel fibers on the performance of Fine Reclaimed Asphalt Pavement (FRAP) in pavement quality concrete", *Materials Today: Proceedings*, 32, pp.657-662.
- Paluri, Y., Noolu, V., Mudavath, H. and Kumar Pancharathi, R. (2021) "Flexural fatigue behavior of steel fiber-reinforced reclaimed asphalt pavement-based concrete: an experimental study", *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 26(1), No. 04020053, pp.1-10.
- Settari, C., Debieb, F., Kadri, E. and Boukendakdji, O., (2015), "Assessing the effect of recycled asphalt pavement materials on the performance of roller compacted concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 101, pp. 617-621.
- Abdel-Mohti, A., Shen, H. and Khodair, Y. (2016), "Characteristics of self-consolidating concrete with RAP and SCM", *Construction and Building Materials*, Vol. 102, pp. 564-573.
- Andrew, B., Buyondo, K.A., Kasedde, H., Kirabira, J.B., Olupot, P.W. and Yusuf, A.A. (2022), "Investigation on the use of reclaimed asphalt pavement along with steel fibers in concrete", *Case Studies in Construction Materials*, No. e01356 pp.1-13.
- Brand, A., Amirkhanian, A. and Roesler, J. (2013), "Load capacity of concrete slabs with recycled aggregates", *Airfield and Highway Pavement*, Vol. 1, pp. 307-320.
- Capso, N.T. and Sorensen, A., (2013), "Recycled asphalt pavement as coarse aggregate replacement in high strength concrete mixes", *Proceedings of the 2013 Architectural Engineering Conference*, No. 208, pp. 652-661.
- Ferrebee, E., Brand, A.S., Kachawalla, S., Roesler, J.R., Gancarz, J. and Pforr, J.H. (2014), "Fracture properties of roller compacted concrete with virgin and recycled aggregates", *Transportation Research Record*, Vol. 2441, pp. 128-134.
- Han, S., Chung, H.W., Subgranon, T. and Tia, M., (2018), "Development of mix designs for minimally refined reclaimed asphalt pavement (RAP) concrete for Florida concrete test road", *Sustainability*, 10(8), pp.2598.

Evaluation of the Effect of Fibers on Mechanical Properties of Concrete Containing Reclaimed Asphalt Pavement

Ghasem Samadi Vik, M.Sc., Student, Department of Transportation, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Ahmad Mansourian, Associate Professor, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

Email: a.mansourian@bhrc.ac.ir

Received: July 2022- Accepted: November2022

ABSTARCT

Research on the possibility of using Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) as a part of pavement materials is increasingly carried out. Economic and environmental considerations are the most reasons in this regard. In this process, the reclaimed asphalt pavement replaces some of the aggregates in the concrete or asphalt mixtures. Since the previous studies mainly showed the negative effect of reclaimed asphalt pavement on fracture and compressive strength of concrete and on the other hand some studies indicated the positive effect of fibers on the strength of cement concrete, in the present research study the effect of Polypropylene, Polyolefin and steel fibers on mechanical properties (compressive strength, tensile strength and fracture resistance) of concrete containing reclaimed asphalt pavement was evaluated. For this, three different percentages (2, 5 and 8% by weight of cement) of each type of fiber were added to the concrete containing 15, 30 and 45% reclaimed asphalt pavement, and compressive strength, tensile strength and fracture resistance tests were carried out. The specimens used in the fracture resistance test were semi-circular and had three notch depths of 25, 32 and 38 mm. investigation of the tests results indicated that the addition of the fibers to concrete containing RAP may lead to slight increase in compressive strength (up to 7%), small increase in tensile strength (up to 19%) and considerable effect on fracture resistance (up to 30%).

Keywords: Fiber, Concrete, Reclaimed Asphalt Pavement, Resistance, Fracture