فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷
صفحات ۵۱-۶۴
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

ارزیابی عملکرد مقاومت الیاف فورتا در مخلوط آسفالت گرم در برابر رویه های بتونی

سجاد کفاش زاده ۱، زهره خسروی بیژائم۲، مهدی ایمانی۳ و حسن معافی۴

استاد دانشگاه، گروه عمران، دانشگاه صنعتی بیرجند، واحد بیرجند، ایران
دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-سازه،مؤسسه آموزش عالی هرمزان بیرجند،واحد بیرجند،ایران
دانشجوی کارشناسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بیرجند، ایران
دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بیرجند، ایران

چکیده

امروزه در دنیا استفاده از رویه‌های بتنی الیافی به دلیل سرعت بالای اجرا و کاهش ضخامت روشی رایج برای بازسازی راه‌های بتنی و آسفالتی است. ازجمله این پروژه‌های عمرانی می‌توان به روسازی‌های بتنی مختلف شامل سطح جاده، عرشه پل‌ها، باند فرودگاه‌ها و پارکینگ‌ها، کف‌های صنعتی اشاره کرد. الیاف در روسازی‌های بتنی علاوه بر کاهش ضخامت دال و صرفه اقتصادی با کنترل ترک‌های ناشی از جمع شدگی و کاهش تعداد درزهای عرضی باعث کاهش نفوذ آب به بستر روسازی و منجر به کاهش هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری می‌شود. عوامل مهم و مؤثر بر این به رهم کنش شکل ظاهری و هندسه الیاف است که عامل مهم در مهار مکانیکی الیاف در بتن است.این مقاله در نظر دارد تا به ارزیابی مقاومت خمشی و مقاومت پس از ترک‌خوردگی بتن ساخته‌شده با انواع و اشکال مختلف الیاف پلیمری اختصاصی بتن)تولیدشده در داخل کشور توسط مجتمع دانش بنیان سیرجان (با نظر به قابلیت کاربرد بتن الیافی در رویه‌های بتنی بپردازد. بررسی و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از الیاف سبب افزایش طاقت خمشی و مقاومت پس از ترک‌خوردگی شده و شکل ظاهری الیاف می‌تواند منجر به بهبود این خواص شود. یکی از خرابی‌های اصلی که در روسازی‌های انعطاف‌پذیر اتفاق می‌افتد ترک‌خوردگی لایه‌های آسفالتی ازجمله می‌باشد. مهم‌ترین این ترک‌ترها، های خستگی هستند که بر ترافیک و را اثر تغییرات متوالی دمایی ایجادشده و گسترش می‌یابند. بهبود مقاومت خمشی و افزایش مقاومت لایه‌های آسفالتی در برابر خستگی از روش‌های مختلفی ازجمله استفاده از افزودنی‌های متنوع همچون فیلرها، الیاف و مواد، نانو پلیمرها در مخلوط آسفالتی امکان‌پذیر است. نتایج آزمایش‌ها نشان داده‌اند که رفتار و عملکرد خستگی مخلوط‌های مسلح شده با الیاف فورتا در مقایسه با مخلوط شاهد بهبود چشمگیری داشت. امروزه استفاده از اصلاح‌کننده‌های پلیمری ، الیافی و نانو مواد برای اصلاح خواص قیر و بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی می‌تواند بسیار کارامد باشد،اما با توجه به هزینه اجرای نسبتاً بالا به‌ندرت رواج پیداکرده است، بازیافت مواد و استفاده از آن‌ها به عنوان مواد ثانویه در مخلوط آسفالتی علاوه بر کمک در کاهش هزینه می‌تواند اثرات محیط زیستی سودمندی داشته باشد. تحقیقات آزمایشگاهی حاکی از آن دارند که الیاف فورتا در مخلوط‌های مسلح کننده نقش چشمگیری رادارند. همچنین مخلوط دارای بیش‌ترین مقدار افزودنی دارای بهترین رفتار خستگی می‌باشد. مهم ترین اثر مثبتی که با افزودن الیاف در بتن به وجود می آید انعطاف پذیر شدن بیشتر بتن و افزایش قابلیت جذب انرژی آن است. به‌طورکلی مسلح نمودن مخلوط‌های آسفالتی با حداقل مقدار ۱،۵ کیلوگرم الیاف در هر تن آسفالت،رفتار الاستیک را افزایش می‌دهد که منجر به افزایش عمر خستگی مخلوط آسفالتی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الیاف فورتا،ترک خستگی،اصلاح مخلوط آسفالت،آسفالت پلیمری Glass Fiber Ashpalt

مقدمه

یکی از انواع بتن‌های مدرن، بتن الیافی است. بتن الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که از الیاف رشته رشته و جدا از هم که نقش مسلح کنندگی را در ماتریس بتن ایفا می‌کنند تشکیل‌شده است. این ترکیب کامپوزیتی، یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به عنوان یک مادۀ شکل‌پذیر را فراهم می‌آورد امروزه کف‌های صنعتی و روسازی‌ها از کاربردهای اصلی بتن حاوی الیاف محسوب می‌شوند. از دیگر کاربردهای مهم بتن حاوی الیاف می‌توان به کف‌سازی‌های خارجی، شاتکریت، دالهای کامپوزیت روی عرشه فولادی و المانهای پیش‌ساخته اشاره نمود. تحقیقات محققین نشان می‌دهد که انواع الیاف می‌توانند مقاومت سایشی و مقاومت کششی بتن را افزایش دهند. همچنین الیاف می‌توانند برای جلوگیری از ترک‌های پلاستیک، کنترل عرض ترک‌خوردگی‌ها، افزایش طاقت و جذب انرژِی و افزایش ظرفیت باربری دال استفاده شوند. در رویه‌های بتنی فوق نازک الیافی ، عملکردهای طاقت خمشی، کنترل عرض ترک و افزایش باربری خمشی روسازی بتنی از پارامترهای کلیدی در طراحی و انتخاب مقدار مصرف الیاف می‌باشند. ازآنجاکه الیاف در جسم بتن، در همه‌ی جهات پراکنده می‌شوند، در صورت تشکیل یک ترک، الیاف در جهات مختلف اتصالاتی را به وجود آورده و از گسترش بیشتر جلوگیری می‌نماید. بنابراین رشته‌های الیاف به‌طور فعال در محدود کردن عرض ترک وارد عمل شده و قابلیت بهره‌برداری بتن را افزایش می‌دهند دو موضوع مهم در مورد کاربرد الیاف مسلح کننده در روسازی‌های بتنی مطرح است. یکی نوع الیاف مورداستفاده و دیگری مقدار مصرف آن برای افزودن به بتن معمولی. یک تحقیق از الیاف پروپیلین با درصدهای حجمی مختلف بر روی طاقت خمشی بتن بررسی‌شده است بدین منظور از تیرهایی به ابعاد ۱۰× ۱۰× ۵۰ سانتی‌متر جهت آزمایش طاقت خمشی استفاده گردید. متغیرهای آزمایش شامل چهار درصد حجمی مختلف الیاف (۰، ۰/ ۵، ۰/ ۱و ۱/ ۵ درصد و همچنین دو مقاومت زمینه با نسبت آب به سیمان ۰/ ۴و ۰/ ۵بوده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش مقدار الیاف پلی‌پروپیلن به بتن میزان جذب انرژی و به خصوص طاقت خمشی تن افزایش می‌یابد. در پژوهشی دیگر، تأثیر افزایش درصد الیاف پلی‌پروپیلن در بتن الیافی هیبریدی موردبررسی قرارگرفته است. سه درصد مختلف الیاف پلی‌پروپیلن در ۱٪ الیاف فولادی جایگزین شده است. نهایتاً خواص مکانیکی نمونه‌های بتن الیافی هیبریدی فولاد_پلی‌پروپیلن شامل طاقت و مقاومت خمشی و مقاومت ضربه با یکدیگر و بتن شاهد مقایسه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان‌دهنده آن است که الیاف پلی‌پروپیلن قابلیت پل زدن بر روی ریز ترک‌ها را داشته و تأثیر ناچیزی بر بهبود رفتار بتن بعد از ایجاد اولین ترک رادارند. هرچه الیاف فولادی با درصد بیشتر از الیاف پلی‌پروپیلن جایگزین شود، میزان مقاومت خمشی و جذب انرژی و مقاومت ضربه کاهش می‌یابد. در پژوهشی که الیاف فورتا را در بتن آزمایش کردند، دریافتند با افزایش مقدار الیاف فورتا در بتن، مقاومت خمشی نمونه‌ها تا ۴ درصد افزایش پیداکرده است.در تحقیقاتی که شرکت تولیدکننده الیاف فورتا انجام داد نتایج زیر حاصل شد؛ افزودن ۱,۵کیلوگرم الیاف فورتا در ۱ تن.

۲ - مصالح ساخت نمونه حاوی فورتا

۲-۱- مشخصات الیاف فورتا :

الیاف نوع HMA برای کار در دمای ۱۲۰تا ۱۹۰ درجه سانتی گراد طراحی‌شده‌اند.

- قابلیت استفاده در هر دو نوع میکسر Batch و Drum رادارند.
- قابلیت مخلوط و پخش شدن در تمامی بافت‌های آسفالت رادارند.

جدول ۱: ویژگی فیزیکی الیاف فورتا

ردیف	مواد	پلی‌الفین	آرامید
۱	شکل	رشته‌های تابیده‌ای و تک رشته‌ای	تک رشته‌ای
۲	وزن مخصوص	۰,۹۱	۱,۴۴
۳	مقاومت کششی (psi)	۷۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰
۴	طول (میلیمتر)	۱۹	۱۹
۵	رنگ	مشکی	زرد
۶	مقاومت اسیدی/بازی	بی اثر	بی اثر
۷	دمای ذوب(°C)	۱۰۰	۴۲۷

الیاف فورتا به میزان ۰,۵ کیلوگرم در آزمایشگاه و ۱,۵ کیلوگرم در کارخانه مورداستفاده قرار می‌گیرد.

۳- سابقه تحقیق

امروزه متخصصین راه در پی تکنیک جدید در ساخت‌وساز روسازی جاده‌ها هستند که سازگار با محیط‌زیست باشد. ترک‌ها در روسازی مشکلات بیشتری را نسبت به انواع دیگر سازه‌ها ایجاد می‌کنند، زیرا علاوه بر مشکلات سازهای در سطح خدمت دهی نیز مشکلات فراوان در پی خواهند داشت. ازجمله خرابی‌های مهم در روسازی، ترک خستگی میکه باشددر دماهای متوسط و پایین اتفاق میافتد.

گزارشات حاکی از این هستند که روسازیهای آسفالتی با سختی، ضخامت، درصد فضای خالی و درصدهای مختلف قیر میتوانند در برابر خستگی رفتار متفاوتی داشته باشند.

در دهه‌های اخیر طیف گسترده‌ای از مواد اصلاح افزودنی کننده و به منظور بهبود خواص و رفتار قیر و درنتیجه مخلوط آسفالتی بررسی‌شده.انداز جمله این مواد افزودنی پلیمرها هستند که بیش‌ترین پتانسیل را برای استفاده در طراحی روسازی انعطاف‌پذیر دارند. در بررسی که خصوصیات خستگی مخلوط آسفالتی اصلاح‌شده با سه نوع الیاف سلولزی، پلی‌استری و الیاف معدنی را مورد ارزیابی قرارداد، این نتیجه حاصل شد که مخلوط با الیاف پلی‌استری تأثیر بهتری نسبت به دو نوع دیگر روی خصوصیات خستگی دارد.

در تحقیق دیگری این نتیجه حاصل شد که مقاومت دوام مخلوط خمشی و کششی، های آسفالتی می‌تواند با افزودن الیاف ها بهبود یابد و این عملکرد تحت تأثیر نوع، میزان و قطر الیاف است. با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده روی بتن بر الیاف و مشاهده تأثیر الیاف پلی‌پروپیلن بر رفتار بتن تراورس، مشخص شد مقدار بهینه الیاف پروپیلن پلی انتخاب‌شده و متأثر از آن مقاومت‌های کششی و خمشی به ترتیب ۳۳ و ۱۱ درصد افزایش پیداکرده است.

در پژوهشی که الیاف فورتا را در بتن آزمایش کردند، دریافتند با افزایش مقدار الیاف فورتا در بتن، مقاومت خمشی نمونه‌ها تا ۴ درصد افزایش پیدا کرده است.

در تحقیقاتی که شرکت تولیدکننده الیاف فورتا انجام داد نتایج زیر حاصل شدن ۱الیاف فورتا در گرم کیلو ۵,۱افزودن ؛مخلوط آسفالتی:مدول آسفالت را ۹,۱تا ۳,۱ برابر افزایش داده که کاهش ضخامت لایه آسفالتی و لایه‌های زیرسازی را در پی داشته است.

۴- مقاومت در برابر ترک‌های حرارتی برابر شده است.

مقاومت در برابر گسترش و انعکاس ترک‌ها ۴۱ برابر بیشتر گشته است.

آسفالت الیافی

آسفالت الیافی مخلوطی از آسفالت معمولی و فیبرهای مصنوعی متشکل از الیاف آرامید و الفین و سایرپلی موادی است که دوام زیاد و به مقاومت، خاصیت چسبندگی خوب مشهود هستند. ر این آسفالت با کاهش و به تاخیرانداختن ترک،های حرارتی

شیار شدگی، خستگی و نیز انعکاسی، مزیت صرفه اقتصادی از طریق کاهش ضخامت لایه آسفالتی و افزایش عمر آن را به دنبال دارد.

۵-عملکرد الیاف‌ها در آسفالت:

عملکرد الیاف‌ها در آسفالت به این صورت می‌باشد که در هنگام عبور وسایل نقلیه سنگین و یا در ترافیک باری زیاد،رشته‌های الیاف موجود در آسفالت با پخش و تقسیم فشار چرخ‌ها در تمامی جهات و لایه‌ها از آسیب دیدن بخش اصلی رویه آسفالتی جلوگیری می‌کند.

شکل ۱: عملکرد الیاف ها در آسفالت

۶- مشخصات الیاف فورتا:

الیاف نوع HMA، برای کار در دمای ۱۲۱ تا ۱۸۱ درجه سانتی‌گراد طراحی‌شده‌اند.

قابلیت استفاده در هردو نوع میکسر Batch و Drum رادارند.

قابلیت مخلوط و پخش شدن در تمامی بافت‌های آسفالت رادارند

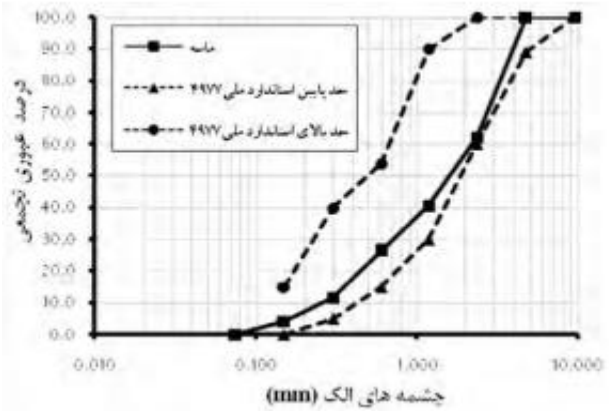
جدول۲ : ویژگی فیزیکی الیاف فورتا

ردیف	مواد	پلی‌الفین	آرامید
۱	شکل	رشته‌های تابیده‌ای و تک رشته‌ای	تک رشته‌ای
۲	وزن مخصوص	۰,۹۱	۱,۴۴
۳	مقاومت کششی (psi)	۷۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰
۴	طول (میلیمتر)	۱۹	۱۹
۵	رنگ	مشکی	زرد
۶	مقاومت اسیدی/بازی	بی اثر	بی اثر
۷	دمای ذوب(°C)	۱۰۰	۴۲۷

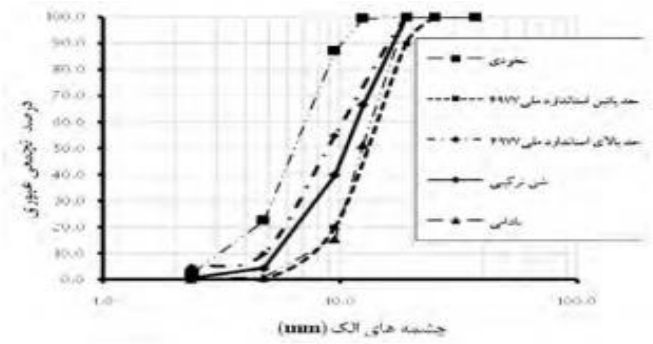
الیاف فورتادر آزمایشگاه به مقدار کیلوگرم و ۵,۱ در کارخانه به مقادیر ۵,۱ و ۱ کیلوگرم در هر تن آسفالت مورداستفاده قرار می‌گیرد

۷- معرفی مصالح:

خصوصیات مصالح مصرف‌شده در تحقیقی در ادامه آورده شده است. مصالح سنگی مورداستفاده از معدنی در غرب تهران تهیه‌شده است. شن مصرفی از نوع شن نخودی با چگالی و جذب آب به ترتیب برابر۲/۵ کیلوگرم در مترمکعب، و ۲/۵ درصد و نیز از نوع بادامی با چگالی و جذب آب به ترتیب برابر ۲/۶ کیلوگرم در مترمکعب، و ۲/۰ درصد بوده است. مدول نرمی ، چگالی و جذب آب ماسه مصرفی به ترتیب برابر ۳/۵، ۲/۶ کیلوگرم در مترمکعب و ۲/۹ درصد می‌باشد. دانه‌بندی ماسه و شن مصرفی به ترتیب در شکل‌های۲ و ۳ نشان داده‌شده است. نسبت‌های دو نوع شن) ۸۰ درصد بادامی و ۲۰ درصد نخودی(به‌گونه‌ای انتخاب شد که دانه‌بندی ترکیب آن دو نوع شن در محدوده استاندارد ملی ۴۹۷۷ قرار گیرد. همان‌طور که در شکل ۲مشخص است دانه‌بندی شن ترکیبی در محدوده استاندارد قرار دارد.



شکل۲: منحنی دانه بندی ماسه مصرفی



شکل۳: منحنی دانه بندی شن مصرفی

سیمان بکار گرفته‌شده در ساخت کلیه نمونه‌ها، سیمان نوع۲ تهران می‌باشد. آزمایش فلورسانس اشعهی ایکس (XRF) برای تعیین خواص شیمیایی سیمان، در محل آزمایشگاه تجزیه شیمیایی سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشورانجام شده است. خواص شیمیایی این مواد در جدول شماره ۳ آمده است.آب مصرفی در ساخت نمونه‌ها آب شرب شهری است.

جدول ۳: ترکیب شیمیایی مواد سیمانی مورد استفاده

نوع ترکیب شیمیایی	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O
درصد	۱۷/۷	٦٤/۲	۳/۵	٤/۱	۲/۷	۳/۷	۰/۹	۰/۲

به منظور بررسی و مقایسه تأثیر استفاده از انواع و هندسه الیاف پلیمری اختصاصی بتن و تولید داخل کشور، ۴ نمونه از انواع الیاف پلیمری تولیدی داخل کشور) مجتمع دانش بنیان نانو نخ و گرانول سیرجان(با نام‌های الیاف کورتا تویست، الیاف کورتا امباس، الیاف کورتا موج‌دار و الیاف کورتا سوزنی به میزان ۱ کیلوگرم بر مترمکعب در بتن استفاده شد. مشخصات ظاهری و ویژگی‌های این الیاف در جدول۴ آورده شده است.

جدول ۴: مشخصات الیاف مورد استفاده

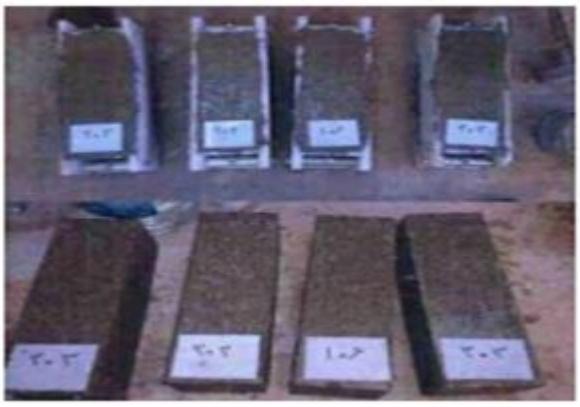
ردیف	کد الیاف	نوع الیاف	شکل	طول mm	چگالی gr/cm^3
۱	۱۰۶	**کورتا تویست** چندین فیلامنت تاب دار ماکرو و میکرو در هم پیچیده شده، با مدول و مقاومت بالا، از مواد اصلاح شده پلی الفین		۵۴	۰/۹۱
۲	۲۰۴	**کورتا امیاس** الیاف ضخیم کیربتی شکل با مقاومت و مدول بالا از جنس مواد اصلاح شده پلی الفین		۵۴	۰/۹۱
۳	۳۰۳	**کورتا موجدار** فیلامنت های ماکرو و میکرو موجدار، چندجزئی از مواد اصلاح شده پلی الفینی با مقاومت و مدول بالا		۵۴	۰/۹۱
۴	۴۰۳	**کورتا سوزنی** الیاف فیلامنت سوزنی شکل با مقاومت و مدول بالا از جنس پلی الفین اصلاح شده		۵۴	۰/۹۱

۸- طرح اختلاط و ساخت نمونه‌ها:

مخلوط‌های آزمایشی الیافی با مقادیر ۱ کیلوگرم الیاف بر مترمکعب ساخته‌شده است. طرح مخلوط بتن شاهد و الیافی برای نسبت آب به سیمان ۰/۵ و وزن مخصوص ۲۳۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب و بر طبق ACI211 در جدول ۳ ارائه گردیده است. همچنین تصویری از مراحل ساخت و نگه‌داری تعداد از نمونه‌های منشوری ساخته‌شده در شکل ۳ آورده شده است.

جدول ۵: مشخصات طرح اختلاط

ردیف	مصالح	مقدار(کیلو گرم بر متر مکعب)
۱	شن	۸۸۰
۲	ماسه	۸۳۵
۳	سیمان	۴۰۰
۴	آب	۲۰۰
۵	الیاف	۱



شکل ۴: تصویر تعدادی از نمونه های منشوری ساخته شده

۹- طاقت خمشی:

یکی از خواص مهم بتن الیافی قابلیت انتقال تنش در مقطع ترک‌خورده است، که عموماً با عنوان طاقت خمشی شناخته می‌شود. طاقت خمشی از محاسبه سطح زیر نمودار بار جابجایی به دست می‌آید. در این پژوهش بر اساس استاندارد ۱۲-C1609M/ASTMC1609 با عنوان عملکرد خمشی بتن الیافی تحت بارگذاری چهار نقطه‌ای و با طرح اختلاط طبق جدول شماره ۵ و با استفاده از محاسبه زیر منحنی بار جابجایی وسط دهانه مقادیر طاقت خمشی و نیز با کمک گیری از استاندارد C1018 ASTM در سن۲۸ روزبه دست آمده است.

شکل ۵: تصویر یکی از نمونه های منشوری ساخته شده در حال تست

۱۰- مقاومت پس از ترک‌خوردگی۱(ARS):

میانگین مقاومت باقی‌مانده یا مقاومت پس از ترک‌خوردگی به میزان باری گفته می‌شود که پس از ایجاد ترک و شکست در بتن، توسط الیاف تحمل می‌شود و الیاف مانع از گسیختگی کامل بتن تا شکست نهایی می‌شوند. در این پژوهش نتایج آزمایش مذکور طبق رابطه ۱ و بر اساس استاندارد ASTM1399 با عنوان میانگین مقاومت باقی‌مانده بتن الیافی محاسبه‌شده است.

ARS P P P P□□□□□((A B C D) / 4) K)1

که در آن داریم:

K=L/bd2 , mm-2

میانگین مقاومت باقی‌مانده)مگاپاسکال(=ARS

مجموع بارهای ثبت‌شده در تغییرمکان مشخص)نیوتون(=PD+PC+PB+PA

طول دهانه)میلی متر(=L

عرض تیر)میلی متر(=b

عمق تیر)میلی متر(=d

۱۱- نتایج آزمایش مقاومت و طاقت خمشی:

نتایج آزمایش‌های طاقت خمشی و مقاومت خمشی در جدول۶ آورده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار طاقت خمشی در نمونه حاوی الیاف موجدار (کد ۳۰۳) و بعدازآن در نمونه نویست(کد ۱۰۶) مشاهده‌شده است. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که با توجه به اینکه این دو نوع الیاف دارای تغییر کل‌های بیشتری)موج و پیچ(در امتداد طول خود هستند و این خصوصیات باعث چسبندگی و درگیر بهتر الیاف با ملات می‌شوند. همچنین نتایج مقاومت خمشی تمام نمونه‌های حاوی الیاف از مقاومت خمشی نمونه بدون الیاف بیشتر شده است. در بین نمونه‌های حاوی الیاف بیش‌ترین مقدار مقاومت خمشی نیز در نمونه حاوی الیاف موجدار مشاهده‌شده است. افزایش طاقت می‌تواند از ایجاد ترک جلوگیری کرده و یا اینکه حداقل رشد آن در اثر تغییرات حرارتی و دمایی را به تأخیر بیندازد. علاوه بر این می‌تواند مقاومت در برابر بارگذاری دینامیکی)ناشی از خستگی، ضربه، حوادث لرزهای و انفجار(افزایش دهد. نکته کلیدی در رابطه با افزایش طاقت خمشی مخلوط بتنی مسلح با الیاف جذب انرژی مخلوط و کاهش عرض ترک‌ها می‌باشد که می‌تواند برای بهبود عملکرد

روسازی بتنی بسیار سودمند باشد. ضمن اینکه استفاده از بتن الیافی در روسازی‌ها از مزایای زیادی برخوردار است و می‌تواند برخی از مشکلات استفاده از آرماتور را برطرف نماید. ازجمله این موارد می‌توان به‌صرفه جویی‌های به وجود آمده مربوط به تأمین و نصب شبکه میل‌گرد، کاهش مشکلات حمل‌ونقل آرماتور، مشکلات ناشی از بهداشت و ایمنی کار، حذف مشکلات مربوط به عدم قرارگیری صحیح آرماتورها می‌باشد

جدول۶: نتایج آزمایشش طاقت خمشی و مقاومت خمشی در سن ۲۸ روز

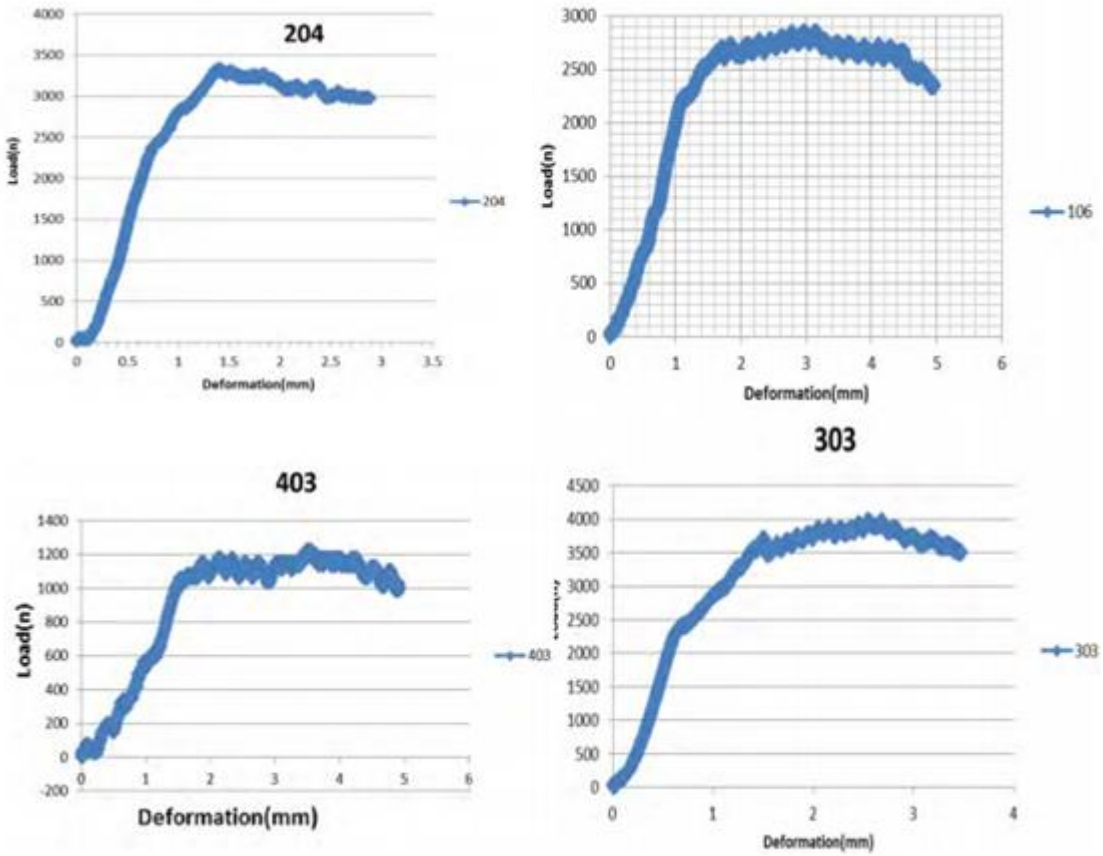
ردیف	کد الیاف	طاقت خمشی Jul	ماکزیمم نیرو Kn	مقاومت خمشی Mpa
۱	۱۰۶	۶/۱۸	۱۴/۹۷	۴/۴۸۵
۲	۲۰۴	۶/۱	۱۴/۸۹	۴/۴۶۵
۳	۳۰۳	۶/۷	۱۵/۸۹	۴/۷۷
۴	۴۰۳	۶/۱۵	۱۵/۷۵	۴/۵۳
۵	Cc1(شاهد)	-	۱۴/۴۲	۴/۰۵

۱۲- میانگین مقاومت باقی‌مانده:

نتایج حاصل از میانگین مقاومت باقی‌مانده بر روی نمونه‌های حاوی الیاف مختلف در جدول ۷ نشان داده‌شده است. همچنین نمودارهای مربوط به منحنی بار-جابجایی نمونه‌های حاوی الیاف پس از ترک‌خوردگی در شکل ۶ نشان داده‌شده است. همان‌طور که از این جدول قابل‌مشاهده است میانگین مقاومت باقی‌مانده در نمونه‌های تویست، امباس و موجدار به هم نزدیک بوده و به‌گونه‌ای که بیش‌ترین مقاومت پس از ترک‌خوردگی در نمونه حاوی الیاف موجدار مشاهده‌شده است. همچنین کمترین مقاومت پس از ترک‌خوردگی در نمونه حاوی الیاف سوزنی مشاهده شد. پس از بررسی سطح شکسته نمونه‌های مختلف مشاهده شد که در نمونه‌های حاوی الیاف سوزنی که دارای سطوح صاف و مستقیم هستند ازآنجاکه درگیری الیاف با ملات کمتر بوده لذا چسبندگی خوبی با ملات پیدا نکرده و گاها الیاف از ملات بیرون کشیده شده‌اند.

جدول ۷: نتایج آزمایش میانگین مقاومت باقیمانده در سن ۲۸ روز

ردیف	کد الیاف	میانگین مقاومت باقی مانده MPa
۱	۱۰۶	۰/۶۷
۲	۲۰۴	۰/۷۳
۳	۳۰۳	۰/۷۷
۴	۴۰۳	۰/۱۳



شکل ۶: منحنی های بار – جابجایی نمونه های مختلف پس از ترک خوردگی

۱۳- آزمایش‌های مربوط به نمونه حاوی فورتا:

۱-۱۳- آزمایش کشش مستقیم :

یک نوع آزمایش خستگی است که بارگذاری به صورت تکراری بر یک نمونه سیلندری وارد میشود به طوری که بار فشاری بروجه های استوانهای و به صورت موازی و قائم اعمال میشود. این شکل بارگذاری سبب تنش کششی یکنواختی در نمونه شده که عمود برجهت بارگذاری و در طول نمونه استوانه خواهد بود. به‌طورمعمول پالس بارگذاری در این آزمایش نیمه سینوسی است. تغییر شکل افقی نمونه به صورت تابعی از سیکل بارگذاری ثبت می‌شود وعمرخستگی نمونه که متناظر با خرابی نمونه است، به دست می‌آید.

تعیین می‌شود ترک‌خوردگی ناشی از خستگی یک نوع خرابی روسازی است که عموماً در دماهای میانی سرویس‌دهی روی می‌دهد لذا دمای ۲۱ درجه برای انجام آزمایش پیشنهاد می‌شود.

دو نوع بارگذاری کنترل شده در این آزمایش می‌توان اعمال کرد: تنش کنترل شده و کرنش کنترل شده. درروش اول تنش ثابت مِهم‌اند و کرنش نمونه با افزایش تعداد تکرار بار افزایش می‌یابد. درروش کرنش کنترل شده، کرنش ثابت می‌ماند و با افزایش تعداد تکرار بار، مقدار تنش کاهش می‌یابد.

۲-۱۳- آزمایش کشش غیرمستقیم

یک نوع آزمایش خستگی است که بارگذاری به صورت تکراری بر یک نمونه سیلندری وارد می‌شود به طوری که بار فشاری بر وجه‌های استوانه‌های و به صورت موازی و قائم اعمال می‌شود. این شکل بارگذاری سبب تنش کششی یکنواختی در نمونه شده که عمود برجهت بارگذاری و در طول نمونه استوانه خواهد بود. به‌طورمعمول پالس بارگذاری در این آزمایش نیمه تغییر

.سینوسی است شکل افقی نمونه به صورت تابعی از سیکل بارگذاری ثبت می‌شود و عمرخستگی (Nf(نمونه که متناظر با خرابی نمونه است. به دست می‌آید. تعیین می‌شود ترک‌خوردگی ناشی از خستگی یک نوع خرابی روسازی است که عموماً در دماهای میانی سرویس‌دهی لذا دمای دهد روی می ۲۱ درجه برای انجام آزمایش پیشنهاد می‌شود.

دو نوع بارگذاری کنترل شده در این آزمایش می‌توان اعمال کرد: تنش کنترل شده و کرنش کنترل شده. درروش اول تنش ثابت می‌ماند و کرنش نمونه با افزایش تعداد تکرار بار افزایش مییابد. در روش کرنش کنترل شده کرنش ثابت می ماند و با افزایش تعداد تکرار بار، مقدار تنش کاهش می یابد

۱۴- عملکرد رویه های بتنی:

یکی از نگرانی هایی که در استفاده از روسازی بتن وجود دارد مقاومت لغزشی کم آن است مقاومت لغزشی به نیروی اصطکاک افقی گفته می شود که مانع از حرکت چرخ، زمانی که در مسیر مستقیم می قلتد، می شود. فقدان این اصطکاک باعث بروز تصادف می شود.

امروزه رویه های بتنی با نمایان ساختن فواید مطلوب در روسازی باند فرودگاهها، بار اندازی ها، ایستگاههای اتوبوس خواهان سهم رو به تزایدی از روسازی هستند، بهره گیری از این رویه ها عاری از عیوب نبوده نظیر: تأثیر مستقیم شرایط اب و هوایی بر طرح اختلاط اولیه و عملکرد بتن ترک خوردگی رویه ها، تاثیر لغزشی سطح رویه بتنی و اندر کنش آن با لاستیک خودرو.

عوامل موثر بر میزان جمع شدگی ناشی از خشک شدن رویه های بتنی، مقدار آب بتنی، شکل مقطع بتنی، شرایط محیط اطراف مقطع بتنی، مقدار فشار و نوع سیمان به ترتیب بیشترین اثر را در میزان جمع شدگی ناشی از خشک شدن دارد و اصلاح کردن طرح مخلوط بتن می تواند میزان جمع شدگی ناشی از خشک شدن را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.

علی رغم مزایای استفاده از رویه های بتنی سهم رویه های بتنی از کل راه های ایران حدودا ۴ درصد می باشد. استفاده از رویه های بتنی در مقایسه با رویه های آسفالتی تاثیر فراوانی در کاهش مصرف سوخت، کاهش تولید گازهای گلخانه ای و کاهش هزینه های مالی دارد و این موارد گام های اصلی در توسعه پایدار هر سیستمی است اما با این حال تولید سیمان اثرات سوء ی نیز بر محیط زیست دارد. استفاده از رویه های بتنی در سراسر جهان به دلیل اسیب کمی که به محیط زیست می رساند مورد استقبال قرارگرفته و با توجه کاربری انعطاف پذیر و هزینه های کم نسبت به رویه های اسفالتی استفاده از آن روزبه روز گسترش می یابد.

۱۵-استفاده از رویه های بتنی در اغلب مسیرها به جای قیر:

با توجه به قدمت چندین ساله رویه های بتنی میتوان آن را از با دوام ترین مصالح در ساخت و ساز دانست. رویه های بتنی گزینه مناسبی برای استفاده در مسیر ها محسوب می شوند.

استفاده از رویه های بتنی در اغلب مسیرها به جای قیر میتواند طبق گفته کارشناسان مربوطه و متخصص در این حیطه گزینه مناسب و ایده الی محسوب میشود. رویه های بتنی را میتوان از با دوام ترین نوع مصالح در اغلب سازه ها بیان نمود که امروزه استفاده از آنها جای خود را به مصالح ارزان و تقریبا کم دوامی مانند قیر داده است.

۱۶- رویه های بتنی و استفاده از آنها در ساخت و سازهای جاده ای:

رویه های بتنی کا اغلب از سیمان در ساختار و ترکیبشان استفاده می شود به عنوان مصالح سخت و با دوامی محسوب می شوند که میتوانند در اغلب راه ها و مسیر های جاده ای بین شهری و یا درون شهری مورد استفاده قرار گیرند. از ویژگی های بارز و همچنین مهم رویه های بتنی قدمت چندین ساله آنها است که میتوان دلیل محکمی برای استفاده در اغلب ساخت و سازها و مسیرهای موجود در کشور باشد. با گذشت زمان و افزایش علم و کشف مصالح کاربردی و به صرفه از جمله رویه های بتنی میتوان آنها را جایگزین بهتری در آسفالت مسیرهای عبور و مرور و جاده ای به جای مصالح ارزانی از جمله قیر دانست.

۱۷- مزایای استفاده از رویه های بتنی به جای آسفالت:

رویه های بتنی از قدمت ۸۰ ساله برخوردار هستند که تاریخچه استفاده از آنها به زمانهای دور هم چون دوران روم باستان باز میگردد. این گونه از مصالح به دلیل تولید مناسب و زیاد سیمان در کشور می تواند از گزینه های مناسب برای استفاده در

جاده ها و آزاد راهها محسوب شود البته با توجه به این که تولید سیمان در کشور دچار هیچ گونه رکودی نیست میتوان از این مورد برای استفاده از بتن در مسیرها یاد نمود. استفاده از رویه های بتنی در دنیای امروزی در اغلب آزاد راههای کشور های مختلف به حالت مرسوم تبدیل شده است. دوام و ماندگاری رویه های بتنی اغلب بسیار بیشتر از مصالحی نظیر قیر و اسفالت است.

۱۸- استفاده از لایه اساس:

در گذشته روسازی بتنی مستقیما بر روی بستر ساخته میشد. ولی با افزایش حجم، وزن ترافیک و به وجود آمدن پدیده پامپینگ استفاده از اساس دانه ای کاملا متداول شده است . زمانی که روسازی تحت تاثیر تعداد زیادی از بار چرخ بسیار سنگین قرار میگیرد و لایه اساس نیز در مجاورت سطح آب زیرزمینی باشد، امکان شسته شدن مصالح دانه ای از طریق عملکرد آب وجود دارد. استفاده از اساس آسفالتی یا سیمانی به عنوان یک روش متداول محسوب می شود. اگر چه استفاده از لایه اساس مقدار تنش بحرانی را در روسازی بتنی کاهش میدهد ولی به دلیل اینکه مقاومت بتن خیلی بیشتر از مقاومت لایه اساس است با کمی افزایش در ضخامت بتن میتوان تنش بحرانی را کاهش داد. لذا استفاده از لایه اساس، تنها به منظور کاهش تنش در لایه بتن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

۱۹- دلایل استفاده از اساس:

۱-۱۹: کنترل پدیده پامپینگ

۱۹-۲: کنترل یخزدگی

۱۹-۳: بهبود زهکشی

۱۹-۴: کنترل انقباض و تورم

۱۹-۵: سهولت و تسریع در عملیات ساخت

۲۰- انواع روسازی های بتنی:

۱-۲۰: روسازی بتنی غیر مسلح درز دارJPCP

۲-۲۰: روسازی بتنی مسلح پیوستهCRCP

۳-۲۰: روسازی بتنی مسلح درزدار JRCP

۴-۲۰: روسازی بتنی پیش تنیده PCP

۲۱- مزیت رویه های بتنی در مقایسه با آسفالتی :

رویه های بتنی در نواحی با مقاومت بستر کم و ترافیک سنگین نسبت به روسازی آسفالتی ارجحیت دارد.

هزینه های تعمیر و نگهداری روسازی بتنی در مقایسه با آسفالتی کمتر است.

عمر مفید رویه های بتنی بیشتر از روسازی های آسفالتی است (۴۰تا ۵۰ سال در مقایسه با ۱۵ تا ۲۰ سال).

به دلیل فراهمساختن دید بیشتر در شب برای استفاده کنندگان، رو سازی بتنی از نظر ایمنی نسبت به آسفالتی ارجحتر است.

ضخامت رو سازی بتنی در مقایسه با روسازی آسفالتی کمتر است. و در نتیجه در نواحی که محدودیت ضخامت وجود دارد ارجحیت داشته و در عین حال در مصرف مصالح نیز صرف جویی میشود.

به دلیل صرفه جویی در به کارگیری مصالح درلایه های بتنی تخریب منابع طبیعی و محیط زیست کمتر صورت میگیرد.

۲۲- معایب رویه های بتنی در مقایسه با لایه های آسفالتی:

هزینه اولیه ساخت روسازی بتنی در مقایسه با روسازی آسفالتی بیشتر است.

اجرای تعمیرات و عملیات ترمیم در روسازی بتنی مشکل تر است.

وجود درز های انبساط به عنوان یکی از نقاط ضعف رویه های بتنی محسوب میشود. که در تشدید خرابی ها و تخریب بتن نقش مهمی دارد به نحوی که مشکل نگهداری و مرمت محل درزهاب انبسط به لحاظ پوکیدن بتن وجود دارد.

به روز پدیده پامپینگ و خارج شدن مصالح ریز دانه از محل درزهای انبساط در صورت عدم استفاده از مصالح زهکش به عنوان یکی از ضعف های روسازی بتنی محسوب میشود.

۲۳- موارد کاربرد رویه های بتنی:

در جاده های واقع در مناطق گرمسیر با حجم ترافیک سنگین به خصوص در شیب های تند وگردنه ها که سرت وسایل نقلیه سنگین کم است.

در قسمت هایی از مسیر راه یا باند فرودگاه که مقاومت بستر آن ضعیف است.

در تقاطع ها و میادین که نیروهای شدید برشی ناشی از ترمز به روسازی راه وارد میشود.

در مناطقی که فاصله حمل و هزینه حمل مصالح سنگین به محل کار غیر اقتصادی است.

در ابتدا و انتهای باند های فرودگاه ، تاکس روها و اپرونها استفاده از رویه بتنی ارجحیت دارد.

نتیجه گیری

• مخلوط دارای بیش‌ترین مقدار الیاف بهترین رفتار خستگی می‌باشد و تعداد سیکل بیشتری را برای رسیدن به مرحله شکست تحمل می‌نماید.

• به دلیل عملکرد ضعیف اختلاط آزمایشگاهی الیاف فورتا در مخلوط آسفالتی، آزمایش خستگی مخلوط در کارخانه انجام گرفت.

• رفتار و عملکرد خستگی مخلوط‌های مسلح شده با الیاف فورتا در مقایسه با مخلوط شاهد بهبودی چشمگیر داشت

• عمر خستگی مخلوط مسلح شده با ۱,۵ و ۱ کیلوگرم الیاف در هر تن آسفالت، به ترتیب ۲ و ۳۴ برابر بیشتر از مقدار آن برای مخلوط شاهد است.

• افزایش مقدار الیاف از ۱,۵ به ۱ کیلوگرم باعث بهبود قابل‌ملاحظه عمر خستگی گردید.

• به‌طورکلی مسلح نمودن مخلوط‌های آسفالتی با حداقل مقدار ۱,۵ کیلوگرم الیاف در هر تن آسفالت،رفتار الاستیک را افزایش می‌دهد که منجر به افزایش عمر خستگی مخلوط آسفالتی می‌شود.

• به دلیل عملکرد ضعیف اختلاط آزمایشگاهی الیاف فورتا در مخلوط آسفالتی، آزمایش خستگی مخلوط در کارخانه انجام گرفت.

•رفتار و عملکرد خستگی مخلوط‌های مسلح شده با الیاف فورتا در مقایسه با مخلوط شاهد بهبودی چشمگیر داشت.

•عمرخستگی مخلوط مسلح شده با ۱/۵ و ۱کیلوگرم الیاف در هر تن آسفالت به ترتیب ، ۲و ۳۴ برابر بیشتر از مقدار آن برای مخلوط شاهد است.

•افزایش مقدار الیاف۱/۵ به ۱کیلوگرم باعث بهبود قابل‌ملاحظه عمر دید.خستگی گر به‌طورکلی مسلح نمودن مخلوط‌های آسفالتی با حداقل مقدار الیاف کیلوگرم ۱/۵ در هر تن آسفالت، رفتار الاستیک را افزایش می‌دهد که منجر به افزایش عمر خستگی مخلوط آسفالتی می‌شود.

مراجع

[1] میرزایی، ا. نصرالهی، م. بررسی خواص روسازی های آسفالتی تقویت شده با الیاف پلی استر، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز، ۱۳۸۸.

[2] اسماعیلی، م. قهاری، ع. بررسی آزمایشگاهی تأثیر الیاف پلی پروپیلن بر رفتار بتن تراورس، مجله علمی- پژوهشی عمران. مدرس، تهران، ۱۳۸۱.

[3] لطفی، ع. عامری، م. حسامی، ا. بررسی آزمایشگاهی استفاده از الیاف پلیپروپیلن در مخلوطهای آسفالتی اولین کنفرانس بین المللی انسان، عمران، معماری، شهرسازی، تبریز، ۱۳۹۴.

[4] رنجبر، م. مدندوست، م. فدایی، ر. تاثیر الیاف فورتا بر خواص مکانیکی بتن تازه، ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۳

[5]شکرچی زاده، م و رحمانی، (۱۳۹۳)." راهنمای کاربردی بتن حاوی الیاف فولادی" چاپ اول، انتشارات علم و ادب.

[6]تکلو, محمدرضا و رضا مرشد، ۱۳۸۷، تاثیر الیاف پلی پروپیلن روی میزان جذب انرژی بتن الیافی،چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تهران.

[7]رشیدداداش, پانته آ و منصور پیدایش، ۱۳۹۱، بررسی مقاومت و طاقت خمشی و مقاومت ضربه بتن الیافی هیبریدی فولاد_پلی پروپیلن،نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی .اصفهان

[8]Cleven, M.A. Investigation of the Properties of Carbon Fiber Modified Asphalt Mixtures. Master. Thesis, Michigan Technological University, 0222.

[9]Aravind, K and Das, A. Dynamics of structures: Pavement design with central plant hot mix recycled asphalt mixes, Constr Build Mater, 0222.

[10]Moghadas Nejad, F. Aflaki, E and Mohammadi, M.A. Dynamics of structures: Fatigue behavior of SMA and HMA mixtures, Construction and Building Materials, 0212.

[11]NCHRP APPENDIX II-1, Calibration of fatigue cracking models for flexible pavements, 0222.

[12]Qunshan, Ye. Aksoy, A. Tayfur, S and Celik, F. Laboratory performance comparison of the elastomer-modified asphalt mixtures, Build Environ, 0222.

[13]Aravind, K. Shaopeng, Wi and Ning, Le. Dynamics of structures: Investigation of the dynamic andfatigue properties of fiber-modified asphalt mixtures, International Journal of Fatigue, 0222

[14]Ferrotti, G and Canestrari, F. Dynamics of structures: Experimental characterization of highperformance fiber-reinforced cold mix asphalt mixtures, Construction and Building Materials, 0212.

[15]Matthews JM, Monismith CL. The effect of aggregate gradation on the creep response of asphalt mixtures and pavement rutting estimates. ASTM STP 1992;1147

[16]Balghunaim F, Al-Dhubaib I, Khan S, Fatani M, Al-Abdulwahhab H, Babshait A.Pavement rutting in the Kingdom of Saudi Arabia: adiagnostic approach to the problem. In: Proceedings of 3rd IRF middle east regional meeting, vol. 6,Riyadh, Saudi Arabia, February; 1988. p. 210–32

[17]Abdulshafi A. Rutting-review of existing models and some application to Saudi Arabia. In: Proceedings of 3rd IRF middle east regional meeting, vol. 6, Riyadh,Saudi Arabia; February 1988. p. 244–56.

[18]Zahw MAA. Development of testing framework for evaluation of rutting resistance of asphalt mixes. A Thesis submitted to the Faculty of Engineering,Al-Azhar University in fulfilment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in Civil Engineering; 1996

[19]Tayfur S, Ozen H, Aksoy A. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. Constr Build Mater 2007;21:328–37

[20]Tortum A, Celik C, Aydin AC. Determination of the optimum conditions for tire rubber in asphalt concrete. Build Environ 2005;40:1492–504.

[21]Siddique R. Recycled/waste plastic. Waste materials and by-products in,concrete. @Springer 2008. [chapter 3.[

[22] Li Y, White DJ, Lee Peyton R. Composite material from fly ash and postconsumer PET. Resour Conserv Recycl 1998;24:87–93.

[23]Bhikshma,V., Ravande,K., Nitturkar,K.,(2005).”Mechanical properties of fiber reinforced high

[24]strength concrete",Recent advances in concrete and construction, Chennai,pp 23-33
[25]Roesler J., Bordelon A., Ioannides A., Beyer M., Wang D. (2008). "Design and Concrete MaterialRequirements For Ultra-Thin Whitetopping". Illionoise Center for Transportaion.
[26]Permalatha, J., Govindraj, V., (2003). "Experimental studies on fiber reinforced concrete"proceedimg of the INCONTEST 2003, Coimbatore, 10-12 sept 2003, pp 462-468
[27]ArNON,B and Sidney M, (1990). "Fibre Reinforced Cementitious Composites",Second edition.