

ارزیابی آزمایشگاهی بهبود خستگی آسفالت با ترکیب افزودنی‌ها

به مخلوط آسفالتی

مقاله پژوهشی

محمد اکبری*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
محمد ابراهیم مهدیزاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، موسسه غیرانتفاعی هرمزان بیرجند،
بیرجند، ایران

داود اکبری، استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Moakbari@birjand.ac.ir

دریافت: ۹۸/۱۱/۰۸ - پذیرش: ۹۸/۰۴/۰۵

صفحه ۱۲-۱

چکیده

در این پژوهش به بررسی تأثیر واکس پلی اتیلن در بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی گرم از طریق تست آزمایشگاهی پرداخته شد. نمونه های آزمایش، از آسفالت متراکم شده در محل حاوی افزودنی های پلیمری بویژه واکس پلی اتیلن استفاده شد. برای بررسی نقش واکس پلی اتیلن در کاهش ترک های خستگی روسازی، نمونه ها با ابعاد ۳۰ سانتیمتر در ۵ سانتی متر در ۵ سانتی متر در دو حالت بدون و با مقدار واکس پلی اتیلن و مقدار ثابت نسبت قیر به مخلوط آسفالتی ۴٫۵ در تمام نمونه ها در دماها و فرکانس های بارگذاری مختلف تحت آزمایش خستگی قرار گرفتند. نتایج آزمایش خستگی نشان داد: در مورد هر سه مخلوط مسلح شده با واکس پلی اتیلن در تمام نمونه ها، ضخامت روسازی پس از انجام آزمایش برای ۰٫۰۹ درصد نسبت به مخلوط آسفالتی بیشینه است. یعنی افت ضخامت روسازی تحت آزمایش خستگی کمینه است و این نشان دهنده درصد وزنی بهینه واکس پلی اتیلن اجرا شده در لایه روسازی است. بطوری که با افزایش درصد تسلیح مخلوط آسفالتی با واکس پلی اتیلن از ۰٫۰۵ تا ۰٫۰۹ درصد، افت ضخامت روسازی تحت آزمایش خستگی کاهش می یابد اما از ۰٫۰۹ تا ۰٫۱۵ درصد، افت ضخامت روسازی افزایش می یابد. بنابراین برای مخلوط های مسلح شده با واکس پلی اتیلن ۰٫۰۹ درصد، افت ضخامت لایه روسازی آسفالتی تحت آزمایش خستگی کمتر است، می توان گفت میزان ترک خوردگی آسفالت مسلح شده با ۰٫۰۹ درصد واکس پلی اتیلن کمینه است.

واژه های کلیدی: روکش های آسفالتی، رشد ترک، واکس پلی اتیلن، مخلوط آسفالتی گرم، آزمایش خستگی

۱- مقدمه

سیرواردان و همکاران، (۲۰۱۰). برای اصلاح مناسب قیر، ابتدا باید برداشت صحیحی از خرابی های روسازی که مربوط به ضعف در خواص قیر هستند، به دست آورد. خرابی های روسازی های آسفالتی که ناشی از ضعف قیر هستند به طور کامل مشخص هستند (ژو و همکاران، ۲۰۱۴). شیار افتادگی، ترک های ناشی از خستگی و ترک خوردگی انقباضی ناشی از دمای پایین حالت های از خرابی روسازی هستند که محققان مهمترین عامل دخیل در این خرابی ها را ویژگی های قیر می دانند. تأثیر پدیده پیرشدگی بر

جزء مهم و تعیین کننده ساختمان یک راه آسفالتی قیر است و تنها با آگاهی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی قیر امکان شناخت رفتار درست و در صورت لزوم اصلاح آن به کمک افزودنی ها فراهم می شود. بخش مهمی از پژوهش های انجام شده در دنیا پیرامون راه بر روی قیر انجام می شود. زیرا قیر با وجود درصد وزنی کم در قوام و پایداری پوشش جاده در برابر عوامل فرسایشی نقش بسیار مهمی دارد و هر گونه بهبود خواص قیر در پایان به اصلاح پوشش راه خواهد انجامید (داسیلوا و کفر، ۲۰۱۵؛ خدایی و همکاران، ۲۰۰۹؛

مقاومت در برابر خرابی های ذکر شده در بالا بسیار مهم است (باتون و لیتون، ۲۰۰۷). پلیمرها مهم ترین خانواده اصلاح کننده های قیر هستند و بسته به نوع آنها آثار مثبتی روی خواص و عملکرد دمای بالا و پایین قیر مانند مقاومت در برابر شیارشدگی و ترک های گرمایی دارند (برون و همکاران، ۱۹۸۲). پلیمرها حساسیت گرمایی قیر را بویژه در دمای بالا که قیر جاری می شود کاهش می دهند تا قیر دیرتر روان شود. همچنین این مواد مقاومت مخلوط های آسفالتی را در برابر خستگی بالا برده و چسبندگی قیر به مصالح را افزایش می دهند (بارکدال و برون، ۲۰۱۴). تأثیر واکس پلی اتیلن بر قیر مخلوط آسفالتی گرم، هم یک تأثیر فیزیکی است و هم یک تأثیر شیمیایی. مکانیزم اختلاط واکس پلی اتیلن در قیر، معمولاً شامل توزیع یکنواخت ذرات حل شده پلی اتیلن در قیر و متعاقباً تورم و ماسیدگی این ذرات بر اثر جذب مالتن قیر می باشد. البته ابعاد ذرات پخش شده پلی اتیلن، لازم نیست که در حد کلوییدی باشد (چادوری و همکاران، ۲۰۰۵). اگر واکس پلی اتیلن در مقابل تورم مقاومت زیادی از خود نشان بدهد، برای اختلاط با قیر مناسب نبوده و بی اثر می باشد، با این حال افزودن مقادیر کافی از آن ممکن است باعث ایجاد خواص ارتجاعی در قیر شود ولی این امر به جهت خاصیت پرکنندگی خواهد بود و نه خاصیت تورم آن (دسای و کانت، ۲۰۱۶). همچنین اگر واکس پلی اتیلن در قیر قابل حل نباشد، برای اختلاط با قیر مناسب نخواهد بود و افزودن مقادیر کافی از آن، به جز بهبود نسبی خواص فیزیکی قیر، تأثیر چندانی بر جای نخواهد گذاشت. یکی از مشکلات واکس پلی اتیلن، تخریب یا دی پلیمریزه شدن آنها بر اثر حرارت های بالا و طولانی مدت است که گاه به لحاظ جرم مولکولی پایین تر اجزاء سبک (حاصل از تخریب پلیمر) ویسکوزیته قیر، کمتر نیز می شود. غالباً واکس های پلی اتیلنی به مخلوط آسفالتی گرم افزوده می شوند که به صورت ذرات معلق و نیمه محلول در قیر توزیع گردند. سه مکانیسم اساسی در روسازی برای بهبود استحکام و مقاومت خاک استفاده از واکس پلی اتیلن وجود دارد. اولی مهار جانبی اصطکاک داخلی سنگدانه ها است. دومی بهبود ظرفیت باربری روسازی است و سومین مکانیسم اثر غشای کششی برای بار چرخ می باشد. طی تحقیقات انجام یافته برای کاهش ترک های انعکاسی

روسازی آسفالتی روش های زیادی بکار برده شده است که هر کدام دارای شرایط و ابعاد خاص خود است. بطور کلی اقدامات صورت یافته را می توان به سه حالت بیان کرد (دوگان، ۲۰۰۷): تقویت و تسلیح روکش، استفاده از لایه های میانی مستهلک کننده تنش و بهسازی و تقویت روسازی ترک خورده (قدیمی) قبل از روکش. برای مقابله با هر مشکلی اغلب نسبت به تقویت قسمت ضعیف اقدام می گردد. تقویت و تسلیح روکش آسفالتی ساده ترین از نظر اجرا می باشد که به طرق مختلف بدین شرح امکان پذیر است (یوان، ۲۰۰۵): افزایش ضخامت لایه روکش مخلوط آسفالت گرم، روکش آسفالتی گرم مسلح شده با الیافی مانند پلی استر و پروپیلن، استفاده از قیرهای اصلاح شده (اصلاح شده با پلیمر و پودر لاستیک و مواد شیمیایی تثبیت کننده) در روکش آسفالتی گرم، مخلوط های آسفالتی انعطاف پذیر شامل لایه اصطکاکی متخلخل، پودر لاستیک و غیره و استفاده از واکس های پلیمری با مدول بالا مانند واکس پلی اتیلن یا پلی پروپیلن. از جمله تحقیقات انجام گرفته در این زمینه می توان به این موارد اشاره نمود: بهنیا و همکارانش (۱۳۹۴) با بررسی حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی حاوی پلی اتیلن و همچنین اثر مضاعف دمای اختلاط بر این پدیده به این نتیجه رسیدند که مخلوط های حاوی دو و سه درصد افزودنی پلی اتیلن نسبت به قیر، نتایج قابل قبولی به خصوص در دمای اختلاط پایین تر دارند (بهنیا و همکاران، ۱۳۹۴). مقدس نژاد و همکاران (۲۰۱۳)، اثر پلی اتیلن را بر روی مخلوط آسفالتی مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که حساسیت رطوبتی به مقدار قابل ملاحظه ای به خصوص برای سنگ گرانیت بهبود می یابد و این به دلیل تغییر از حالت آب دوست بودن به آب گریز شدن مخلوط می باشد (مقدس نژاد و همکاران، ۲۰۱۳). خدایی و همکاران (۲۰۱۲) اثر آهک شکفته را روی حساسیت رطوبتی مخلوط های نیمه گرم بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار آهک حساسیت رطوبتی مخلوط های نیمه گرم کم می شود (خدایی و همکاران، ۲۰۱۲). جودیکی و همکارانش (۲۰۱۴) در پژوهش خود به بررسی کیفیت قیر مخلوط آسفالتی اصلاح شده توسط لاستیک پلیمری پرداخت و به این نتیجه رسید که با افزودن خرده لاستیک های پلیمری به قیر عملکرد کندروانی و دوام

کاهش هزینه استفاده از آن در داخل کشور، می توان در پروژه های شهری نیز با هزینه ی مناسبی این نوع مصالح را بکار گرفت. در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر واکس پلی اتیلن در بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی گرم پرداخته می شود. برای این کار نمونه های مخلوط آسفالتی گرم را در دو حالت بدون و با وجود واکس پلی اتیلن در ترکیب آسفالت تحت آزمایش های سنجش عملکرد خستگی قرار داده می شود تا میزان تأثیر وجود واکس پلی اتیلن در بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی گرم با مقایسه خواص عملکردی خستگی مخلوط پیش و پس از افزودن واکس پلی اتیلن مشخص شود. برای تست این مساله در پروژه محور دوم بیرجند-قائن آزمایش ها انجام خواهد گرفت.

۲- روش تحقیق

این تحقیق برای پاسخ گویی به سوالات پژوهشی زیر انجام گرفته است:

- ۱- آیا افزودن واکس پلی اتیلن به آسفالت به عنوان افزودنی امکان پذیر است؟
 - ۲- آیا وجود واکس پلی اتیلن در مخلوط آسفالتی گرم، باعث بهبود عملکرد خستگی آسفالت می شود؟
 - ۳- آیا میزان بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی گرم با افزودن واکس پلی اتیلن قابل ملاحظه است؟
 - ۴- آیا استفاده از واکس پلی اتیلن به عنوان افزودنی در ترکیب آسفالت از نظر هزینه تهیه و اجرا به صرفه است؟
- این تحقیق در نظر دارد با توجه و تکیه بر تحقیقات قبلی در این زمینه بر اساس شرایط آزمایشگاهی، نقش و اثر افزودن واکس پلی اتیلن به مخلوط آسفالتی گرم را بررسی نماید. جدول ۱ مشخصات و ویژگی های واکس پلی اتیلن را ارایه می دهد.

قیر و بالطبع مخلوط آسفالتی گرم بهبود می یابد و عمر مفید آسفالت افزایش می یابد (جویدی و همکاران، ۲۰۱۴). پرستی (۲۰۱۳) به ارائه نتایج آزمایش مخلوط های آسفالتی در دمای پایین، که با استفاده از قیر اصلاح شده با خرده لاستیک و پلیمر SBS طراحی شده بود، پرداخت. نتایج پژوهش نشان از مقاومت بالای قیر اصلاح شده با خرده لاستیک و پلیمر در برابر ترک خوردگی در دمای پایین در همه آزمایش های انجام شده داشت. در برخی موارد حتی نتایج نشان از افزایش مقاومت در برابر ترک خوردگی در دمای پایین بیش از قیر اصلاح شده با پلیمر SBS استاندارد داشت (پرستی، ۲۰۱۳). لی و ماراستیانو (۲۰۱۰) در پژوهشی به ارائه نتایج آزمایش مخلوط های آسفالتی در دمای پایین، که با استفاده از قیر اصلاح شده با خرده لاستیک و پلیمر SBS طراحی شده بود، پرداختند. نتایج پژوهش نشان از مقاومت بالای قیر اصلاح شده با خرده لاستیک و پلیمر در برابر ترک خوردگی در دمای پایین در همه آزمایش های انجام شده داشت. در برخی موارد حتی نتایج نشان از افزایش مقاومت در برابر ترک خوردگی در دمای پایین بیش از قیر اصلاح شده با پلیمر SBS استاندارد داشت (لی و ماراستیانو، ۲۰۱۰). تحقیقات صورت گرفته تاکنون گواه این مطلب است که عملاً با بکارگیری واکس پلی اتیلن در روسازی راه، می توان شمار محور استاندارد قابل گذر از روی روکش را به ازای ضخامت مشخص افزایش داد و یا اینکه ضخامت روکش را با ثابت نگه داشتن تعداد محور استاندارد قابل تحمل توسط روسازی کاهش داد. در ایران مطالعاتی درباره نقش استفاده از واکس پلی اتیلن در افزایش عمر روسازی در قالب عملیات میدانی و تحقیقات آزمایشگاهی انجام گرفته و علاوه براین، تاکنون در برخی از پروژه های وزارت راه و شهرسازی به صورت پایلوت از این مصالح استفاده شده است. از این رو، با توجه به توضیحات فوق و همچنین، نظر به بومی شدن دانش تولید این مصالح و

جدول ۱. خصوصیات و ویژگیهای واکس پلی اتیلن

ویژگی	مقدار	واحد	استاندارد
نقطه نرم شونده	۹۰-۹۵	سانتی گراد	ASTM E28
نقطه ذوب	۹۷-۱۰۸	سانتی گراد	DSC
دانسیته	۰/۹۳ - ۰/۹۲	gr/ml	ASTM D611
شکل فیزیکی	میکروگرانول، پودر، بلوک		
رنگ	سفید		

کاهش عمر ضخامت لایه اساس دارد؟ استفاده از آسفالت اصلاح شده باعث طولانی تر شدن عمر خستگی می شود؟ در نمونه مسلح شده در نمونه با لایه اساس و رویه ضخیم و آسفالت اصلاح شده عمر خستگی طولانی تر است؟

۲-۱- ارزیابی آزمایشگاهی

برای بررسی نقش واکس پلی اتیلن در کاهش ترک های خستگی روسازی، نمونه های آسفالتی با ابعاد ۲۰ سانتیمتر در ۵ سانتی متر در ۵ سانتی متر (شکل ۱) در دو حالت بدون و با مقدار واکس پلی اتیلن بین ۰،۰۵ تا ۰،۱۵ درصد وزنی نسبت به کل نمونه و مقدار ثابت نسبت قیر به مخلوط آسفالتی ۴،۵ در تمام نمونه ها (شکل ۲) شامل ۰،۰۷، ۰،۰۹، ۰،۱۱، ۰،۱۳، ۰،۱۵ و ۰،۱۷ درصد (جدول ۲) در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ و فرکانس های بارگذاری ۰،۱، ۰،۵، ۱، ۵ و ۱۰ هرتز تحت آزمایش خستگی قرار گرفتند. میزان کاهش ضخامت نمونه ها تحت آزمایش خستگی، پتانسیل روسازی آسفالتی برای ایجاد ترک را نشان خواهد داد بطوری که نمونه ای که تحت آزمایش خستگی ضخامت بیشتری از دست می دهد، تحت بارگذاری چرخ های خودروها سریع تر و بیشتر ترک برمی دارد.

پس از گردآوری اطلاعات مربوط به واکس پلی اتیلن، روکش های آسفالتی، انواع و نحوه رشد ترک در آنها، آزمایش های لازم بر روی نمونه های مسلح شده و نشده روکش های آسفالتی با واکس پلی اتیلن در آزمایشگاه صورت می گیرد تا از آن طریق میزان تأثیر واکس پلی اتیلن در بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی گرم مشخص شود. اطلاعات مربوط به آسفالت و واکس پلی اتیلن از طریق مطالعات کتابخانه ای و نمونه گیری روکش آسفالت بطور میدانی گردآوری می شود. در این تحقیق، عملکرد مخلوط آسفالتی گرم در مقابل ترک های خستگی به علت وجود واکس پلی اتیلن در بین رویه و لایه اساس مورد بررسی قرار می گیرد. اثر وجود واکس پلی اتیلن در لایه رویه برای مقاومت در برابر ترک با فعالیت های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار می گیرد. نمونه های آزمایش، از آسفالت متراکم شده در محل حاوی واکس پلی اتیلن استفاده می گردد، بدین منظور نمونه های آزمایشگاهی مورد نیاز به ابعاد لازم برش داده می شوند. آزمایش خستگی سه نقطه ای در دمای ۵ درجه سانتیگراد تحت نیروی ۲۵۰ کیلوگرم با فرکانس ۱۰ هرتز انجام می شود. آزمایش تیر خمشی سه نقطه ای نشان خواهد داد که آیا در نمونه مسلح نشده، افزایش ضخامت لایه ها (لایه اساس و رویه) عمر خستگی را طولانی تر می کند؟ کاهش در ضخامت رویه کاهش زیادی در عمر خستگی نسبت به



شکل ۲. مخلوط های آسفالتی مختلف



شکل ۱. تعدادی از نمونه های ساخته شده

جدول ۲. تهیه قیر حاوی مقدارهای مورد نظر واکس پلی اتیلن

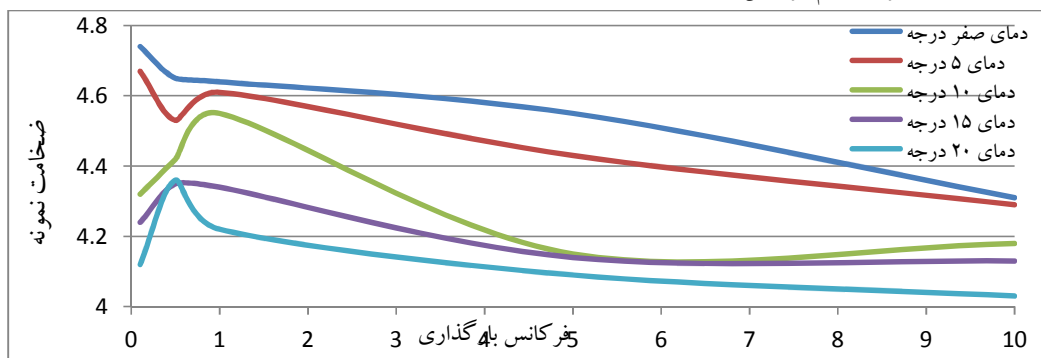
شماره نمونه	درصد واکس پلی اتیلن
۱	۰/۰۵
۲	۰/۰۷
۳	۰/۰۹
۴	۰/۱۱
۵	۰/۱۳
۶	۰/۱۵

در آزمایش خستگی انجام شده روی نمونه‌های آسفالتی، از سه مخلوط آسفالتی استفاده شد که تفاوت آنها در دانه بندی است. در جدول ۳ آمده است. است. ترکیب دانه بندی سه نوع مخلوط آسفالتی استفاده شده

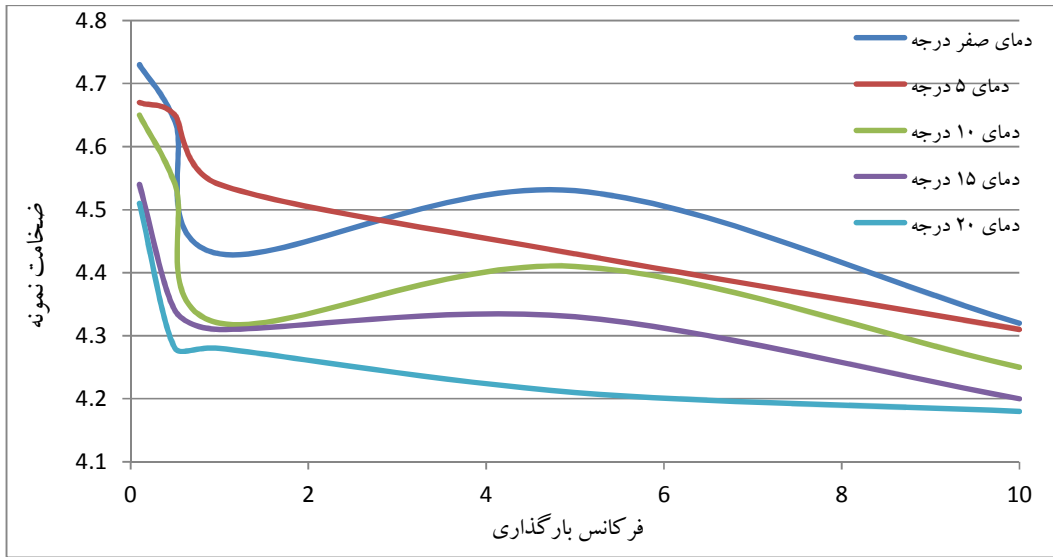
جدول ۳. ترکیب دانه بندی سه نوع مخلوط آسفالتی استفاده شده			
درصد مانده			
مخلوط سوم	مخلوط دوم	مخلوط اول	سایز الک
0.00%	0.00%	5.00%	1/2in
0.00%	5.00%	13.07%	3/8in
10.00%	25.00%	22.93%	4#
7.50%	20.50%	16.00%	8#
22.50%	21.31%	18.53%	16#
15.00%	6.72%	5.84%	30#
21.50%	6.47%	5.63%	50#
11.00%	6.45%	5.02%	100#
6.50%	2.55%	1.98%	200#
6.00%	6.00%	6.00%	Filler
2.547	2.522	2.502	G_{mm}

آزمایش خستگی انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها بر روی سه مخلوط برای هر نمونه با درصد‌های مختلف واکس پلی اتیلن، در دماها و فرکانس‌های مختلف تحت آزمایش خستگی ثبت گردید و نتایج آن به شرح شکل های ۳-۹ مقدار میانگین میزان کاهش ضخامت سه مخلوط برای هر نمونه تحت آزمایش خستگی نشان داده شده است.

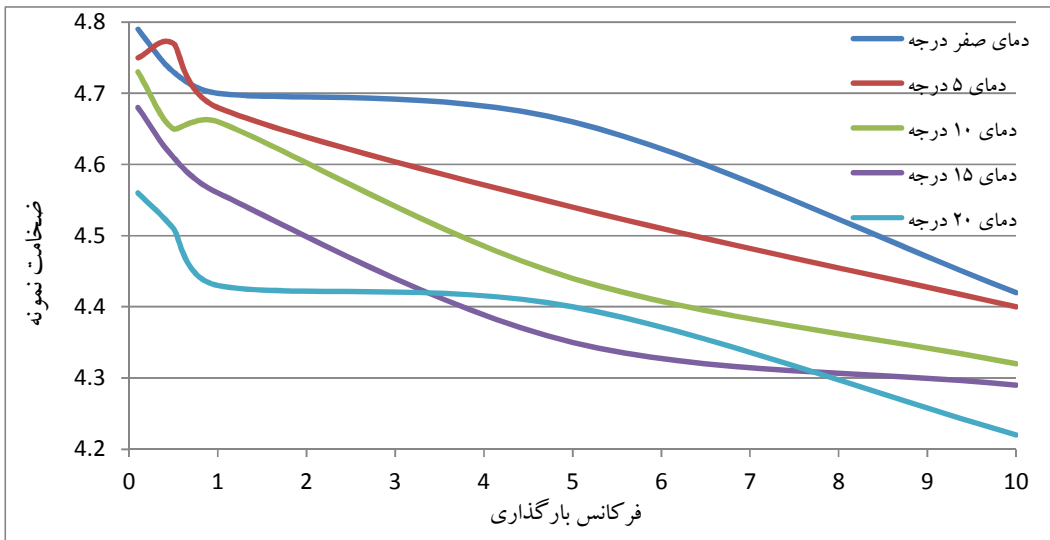
نخست مصالح سنگی مطابق با دانه بندی مورد نظر تهیه می شود، سپس قیر حاوی مقدارهای مورد نظر واکس پلی اتیلن آماده می شود، سپس مصالح سنگی دانه بندی شده با قیر حاوی درصد‌های مختلف واکس پلی اتیلن مخلوط می شود تا مخلوط های آسفالتی مورد نظر تهیه گردد. پس از آماده شدن نمونه‌ها، وارد دستگاه آزمایش خستگی گردید و در دماهای مورد نظر با تنظیم فرکانس‌های بارگذاری مختلف



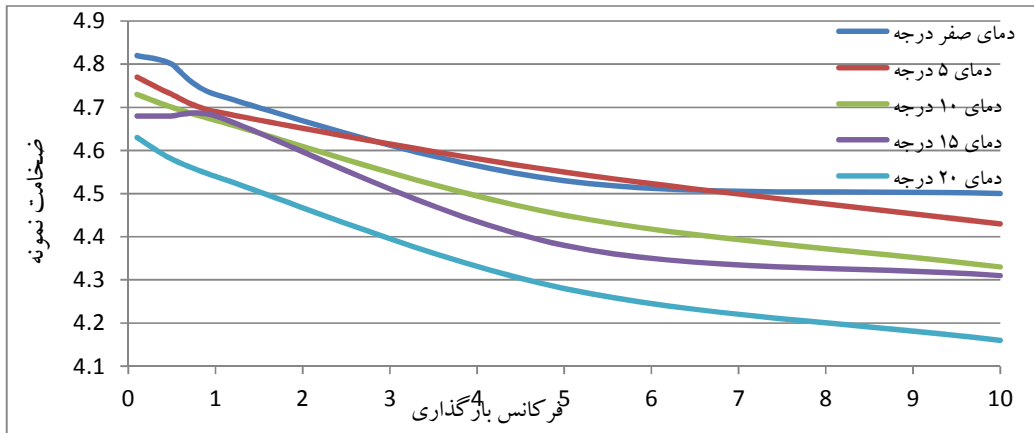
شکل ۳. مخلوط بدون واکس پلی اتیلن



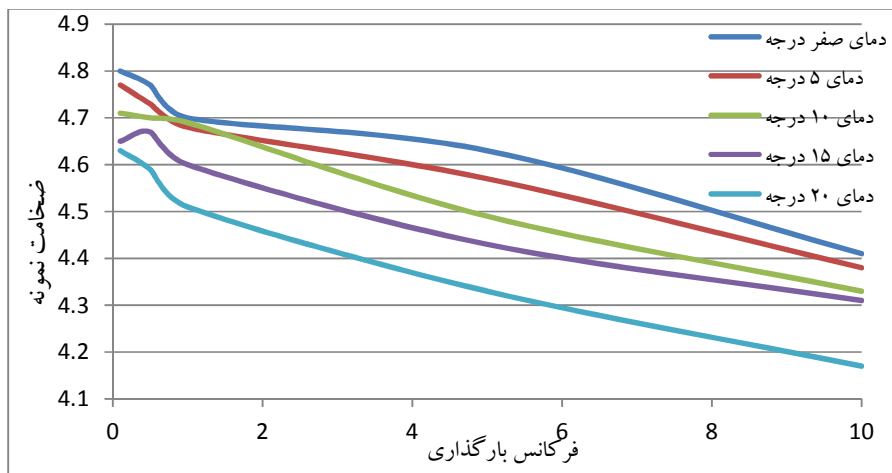
شکل ۴. مخلوط حاوی ۰,۰۵ درصد واکس پلی اتیلن



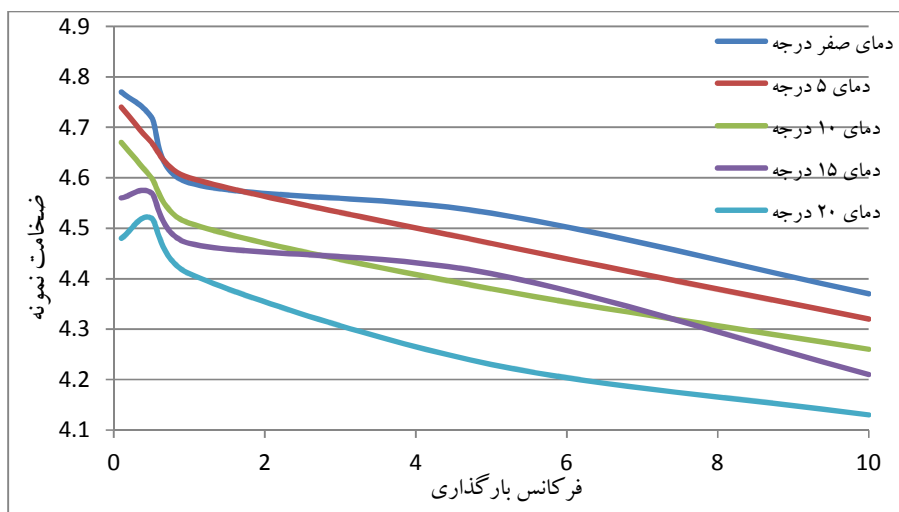
شکل ۵. مخلوط حاوی ۰,۰۷ درصد واکس پلی اتیلن



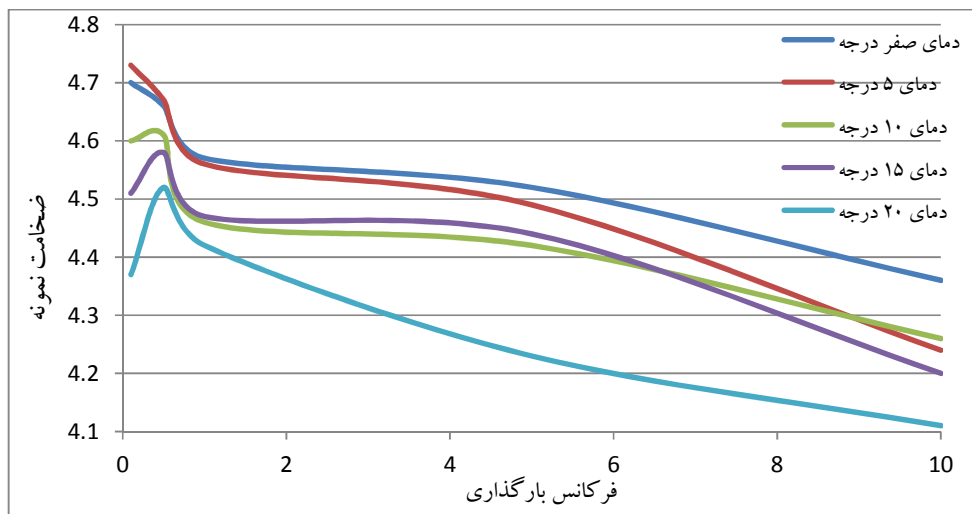
شکل ۶. مخلوط حاوی ۰,۰۹ درصد واکس پلی اتیلن



شکل ۷. مخلوط حاوی ۰,۱۱ درصد واکس پلی اتیلن



شکل ۸. مخلوط حاوی ۰,۱۳ درصد واکس پلی اتیلن

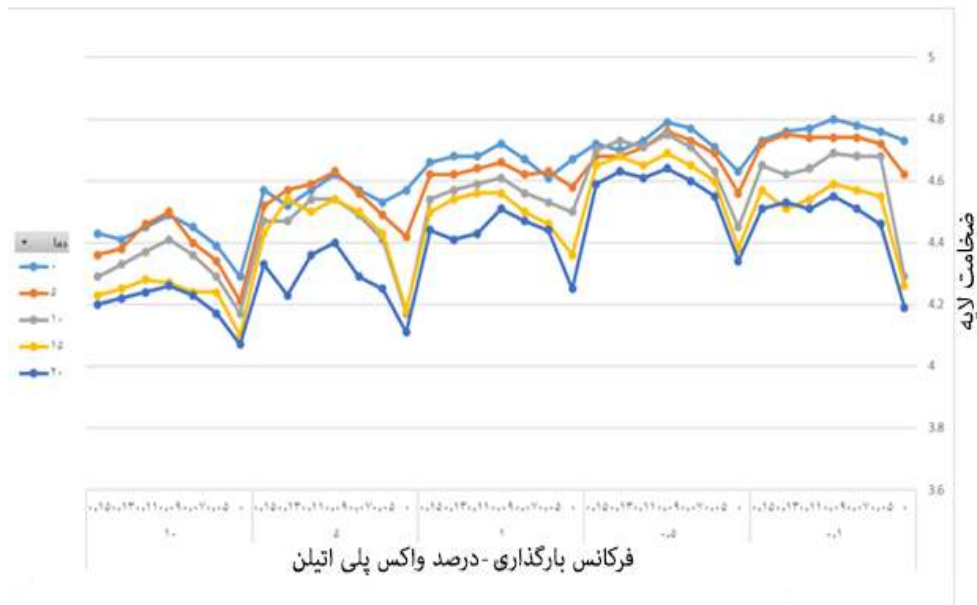


شکل ۹. مخلوط حاوی ۰,۱۵ درصد واکس پلی اتیلن

۳- تحلیل نتایج

نمودارها پیداست که با افزایش درصد تسلیح مخلوط آسفالتی با واکس پلی اتیلن از ۰,۰۵ تا ۰,۰۹ درصد، افت ضخامت روسازی تحت آزمایش خستگی کاهش می یابد اما از ۰,۰۹ تا ۰,۱۵ درصد، افت ضخامت روسازی افزایش می یابد. در مخلوط اول مسلح شده با واکس پلی اتیلن ۰,۰۹ درصد، افت ضخامت لایه روسازی آسفالتی تحت آزمایش خستگی کمتر است. در دو مخلوط دیگر هم میزان درصد بهینه روکش واکس پلی اتیلن همان ۰,۰۹ درصد است. در این پژوهش از مقدار واکس پلی اتیلن بین ۰,۰۵ تا ۰,۱۵ درصد وزنی نسبت به کل نمونه و مقدار ثابت نسبت قیر به مخلوط آسفالتی ۴,۵ در تمام نمونه ها شامل ۰,۰۵، ۰,۰۷، ۰,۰۹، ۰,۱۱، ۰,۱۳، ۰,۱۵ و ۰,۱۷ درصد استفاده شده است. آزمایش خستگی برای سه نوع مخلوط آسفالتی با دانه بندی مختلف در دماهای مختلف شامل ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی گراد و فرکانس های بارگذاری ۰,۱، ۰,۵، ۱، ۵ و ۱۰ هرتز انجام شده است. با افزایش دما و فرکانس بارگذاری میزان افت ضخامت روسازی تحت آزمایش افزایش می یابد از این رو ضخامت روسازی پس از انجام آزمایش کمتر می شود.

در آزمایش خستگی انجام شده روی نمونه های آسفالتی، از سه مخلوط آسفالتی استفاده شد که تفاوت آنها در دانه بندی است. ترکیب دانه بندی سه نوع مخلوط آسفالتی استفاده شده پیش تر اشاره شد. ضخامت لایه های آسفالتی مورد استفاده در آزمایش ها برابر ۵ سانتی متر است. تحت آزمایش خستگی ضخامت لایه های آسفالتی تحت آزمایش به مقادیر ارائه شده در شکل های فوق کاهش می یابد. از روی میزان کاهش ضخامت نمونه های آسفالتی می توان به مقاومت لایه های روسازی آسفالتی در برابر ترک خوردگی پی برد. منظور از درصد واکس پلی اتیلن (بین ۰,۰۵ تا ۰,۱۵ درصد) نسبت وزن واکس پلی اتیلن به وزن روسازی آسفالتی است که واکس پلی اتیلن روی آن اجرا می شود. هرچه میزان کاهش ضخامت روسازی تحت آزمایش خستگی بیشتر باشد، پتانسیل ایجاد ترک در روسازی بیشتر خواهد بود. از این رو نقش واکس پلی اتیلن در کاهش ترک های روسازی در آزمایش ها با کاهش افت ضخامت روسازی تحت آزمایش خستگی آشکار می شود. بنابراین هرچه ضخامت روسازی پس از انجام آزمایش بیشتر باشد، نقش واکس پلی اتیلن در کاهش ترک های روسازی آشکارتر و کارآمدتر است. از روی



شکل ۱۰. تعیین درصد بهینه واکس پلی اتیلن

روسازی آسفالتی در برابر ترک خوردگی و هزینه های سنگین بازسازی یا نوسازی روکش های آسفالتی، هزینه اجرای یک لایه واکس پلی اتیلن بر روی لایه آسفالتی در زمان اجرای روکش آسفالت هزینه گزافی نیست. هر چند می توان از نتایج این پژوهش بهره گرفت و با اجرای لایه واکس پلی اتیلن به ضخامت ۰,۰۹ درصد لایه روسازی می توان مقاومت روسازی را در برابر ترک خوردگی به حداکثر رساند و از این راه می توان مطمئن بود که هزینه ای که برای اجرای لایه واکس پلی اتیلن بر روی لایه آسفالتی می شود در برابر صرفه جویی اقتصادی که در هزینه های تعمیر و بازسازی روکش های آسفالتی مسلح نشده می شود ناچیز است. با توجه به درصد بهینه ۰,۰۹ درصد نسبت به مخلوط آسفالتی و نمودار ۱۱ در بدترین شرایط دمایی این پژوهش نتیجه گیری شد. در این تصویر رنگ آبی مربوط به مخلوط آسفالتی مسلح شده با واکس پلی اتیلن و رنگ قرمز مربوط به مخلوط آسفالتی معمولی است:

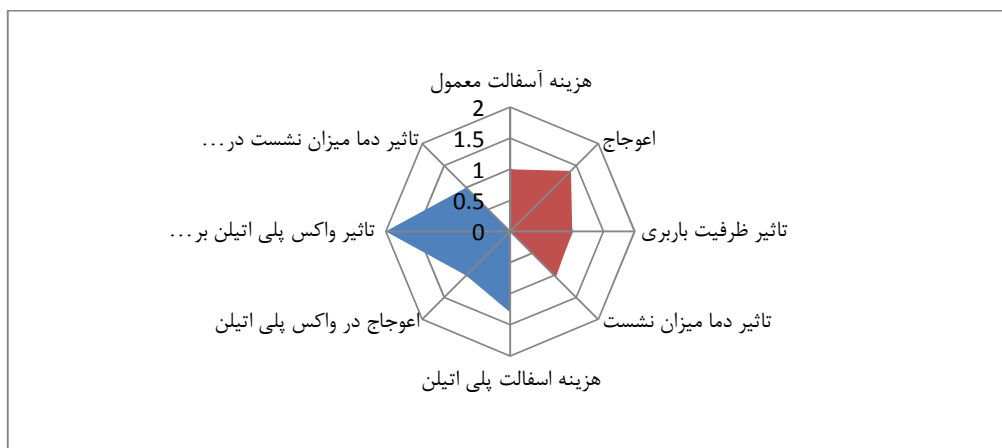
الف) فرکانس بارگزاری در بدترین حالت یعنی در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد دو برابر افزایش پیدا کرده است و همانطور که در نمودارهای فوق نشان داده شده است در دماهای پایین تر فرکانس بارگذاری به صورت تصاعدی افزایش می یابد.

ب) مشاهده می شود مقدار اعوجاج و شیارشدگی بازم در شرایط دمایی بالا نسبت ۵ به ۷ است.

ج) با وجود افزایش ۳۰ درصدی هزینه اجرایی در مقایسه با فرکانس بارگزاری ناچیز است.

د) همانطور که نمودار پایین نشان می دهد مقدار کاهش ضخامت به شدت متاثر از دما می باشد و این رابطه مستقیم هست که نسبت تسلیح شده به تسلیح نشده ۵ به ۶ می باشد.

شکل ۱۰ ترکیب نتایج آزمایش های مختلف را جهت تعیین درصد بهینه واکس پلی اتیلن نشان می دهد. در این نمودار در محور قائم تغییر ضخامت نمونه های آزمایشگاهی، در محور افقی فرکانس بارگذاری در ۵ حالت و برای درصدهای متفاوت واکس پلی اتیلن ارزیابی گردیده است و نتایج آزمایشات در دماهای مختلف با رنگ بندی انجام گرفته نمایش داده شده است. مطابق شکل ۱۰ نتایج آزمایش خستگی نشان می دهد در مورد هر سه مخلوط مسلح شده با واکس پلی اتیلن، ضخامت روسازی پس از انجام آزمایش برای ۰,۰۹ درصد بیشینه است. یعنی افت ضخامت روسازی تحت آزمایش خستگی کمینه است و این نشان دهنده درصد وزنی بهینه واکس پلی اتیلن افزوده شده به آسفالت در لایه روسازی است. بطوری که با افزایش درصد تسلیح مخلوط آسفالتی با واکس پلی اتیلن از ۰,۰۵ تا ۰,۰۹ درصد، افت ضخامت روسازی تحت آزمایش خستگی کاهش می یابد اما از ۰,۰۹ تا ۰,۱۵ درصد، افت ضخامت روسازی افزایش می یابد. بنابراین برای مخلوط های مسلح شده با واکس پلی اتیلن ۰,۰۹ درصد، افت ضخامت لایه روسازی آسفالتی تحت آزمایش خستگی کمتر است یعنی می توان گفت میزان ترک خوردگی آسفالت مسلح شده با ۰,۰۹ درصد واکس پلی اتیلن کمینه است. همچنین مقایسه میزان ضخامت روسازی پس از انجام آزمایش در دو حالت مسلح نشده و مسلح شده با واکس پلی اتیلن با درصدهای مختلف نشان می دهد تقویت لایه روسازی با واکس پلی اتیلن ها باعث افزایش مقاومت روسازی آسفالتی در برابر ترک خوردگی می شود. یکی از مباحث مهم در خصوص بکارگیری واکس پلی اتیلن در مقابل بحث بهبود کیفیتی آسفالت هزینه های اینکار و توجه اقتصادی می باشد. در این خصوص باید اشاره کرد که با در نظر گرفتن افزایش عمر روسازی با افزایش مقاومت



شکل ۱۱. مقایسه آسفالت با افزودنی واکس پلی اتیلن و آسفالت معمولی

۴- نتیجه گیری

افزایش یافته تا قیمت آن کاهش یابد و نظر به کاهش اعوجاج مخلوط آسفالتی مسلح شده مورد اشاره، در باندهای فرودگاه‌ها و شبکه راه‌های کشور استفاده گسترده‌تری داشته باشد.

۵-مراجع

-بهینیا، ک. نخعی، م. چراغزاده، ع. و شجاعیه، م.؛ (۱۳۹۴)، "ارزیابی اثر افزودن واکس پلی اتیلن بر حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی". دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران.

-Barksdale R.D, & Brown S.F., (2014)., "Potential Benefits of Geo-synthetics in flexible Pavements System". Transportation Research Board. Washington DC, USA.

-Brown, S. F., Jones, C. P. D., & Brodrick, B. V. (1982), "Use of non-woven fabrics in permanent road pavements". In Institution of Civil Engineers, Proceedings, Pt. 2 ,Vol. 73, No. PT2.

-Button, J., & Lytton, R. (2007), "Guidelines for using geosynthetics with hot-mix asphalt overlays to reduce reflective cracking". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, pp.111-119.

-Choudhury, P. K., Goswami, D. N., & Sanyal, T., (2005), "Application of Jute Geotextile in Rural Road Construction Under PMGSY-A Case Study in West Bengal". In Indian geotechnical conference, Vol. 2, pp. 303-306.

-Dasilva L.F, Cofre J.A., (2015), "Modeling of Geotextile and other Membrane in Prevention of Reflection Cracking in Asphalt Surfacing", Research report, U.S. Department of Transportation.

-Desai, A. N., & Kant, R., (2016), "Geotextiles made from natural fibres", In Geotextiles, pp. 61-87.

در این پژوهش از لایه‌های واکس پلی اتیلن با درصدهای بین ۰,۰۵ تا ۰,۱۵ درصد نسبت به مخلوط آسفالتی نمونه گیری شده است. آزمایش خستگی برای سه نوع مخلوط آسفالتی با دانه بندی مختلف در دماهای مختلف شامل ۰, ۵, ۱۰, ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد و فرکانس‌های بارگذاری ۰,۱، ۰,۵، ۱، ۵ و ۱۰ هرتز انجام شده است. با افزایش دما و فرکانس بارگذاری میزان افت ضخامت روسازی تحت آزمایش افزایش می یابد از این رو ضخامت روسازی پس از انجام آزمایش کمتر می شود. مقایسه میزان ضخامت روسازی پس از انجام آزمایش در دو حالت مسلح نشده و مسلح شده با واکس پلی اتیلن با درصدهای مختلف نشان داد تقویت لایه روسازی با واکس پلی اتیلن ها باعث افزایش مقاومت روسازی آسفالتی در برابر ترک خوردگی می شود. مقایسه نتایج آزمایش برای دو نوع تقویت شده و نشده لایه روسازی آسفالتی با واکس پلی اتیلن نشان داد برای مخلوط های اول و سوم، میزان ضخامت روسازی پس از انجام آزمایش برای لایه آسفالتی مسلح شده بیشتر از نمونه آسفالتی مسلح نشده است. در حالی که برای مخلوط دوم این تفاوت کمتر است. از این رو می توان گفت کارایی واکس پلی اتیلن ها در کاهش ترک های روسازی آسفالتی قابل ملاحظه است. نتایج آزمایش خستگی نشان داد؛ در مورد مخلوط اول مسلح شده با واکس پلی اتیلن، ضخامت روسازی پس از انجام آزمایش برای ۰,۰۹ درصد بیشینه است. یعنی افت ضخامت روسازی تحت آزمایش خستگی کمینه است و این نشان دهنده درصد بهینه واکس پلی اتیلن اجرا شده روی لایه روسازی است. بطوری که با افزایش درصد تسلیح مخلوط آسفالتی با واکس پلی اتیلن از ۰,۰۵ تا ۰,۰۹ درصد، افت ضخامت روسازی تحت آزمایش خستگی کاهش می یابد اما از ۰,۰۹ تا ۰,۱۵ درصد، افت ضخامت روسازی افزایش می یابد. بنابراین برای مخلوط اول مسلح شده با واکس پلی اتیلن ۰,۰۹ درصد، افت ضخامت لایه روسازی آسفالتی تحت آزمایش خستگی کمتر است یعنی می توان گفت میزان ترک خوردگی آسفالت مسلح شده با ۰,۰۹ درصد واکس پلی اتیلن کمینه است. در مورد دو مخلوط دیگر هم میزان درصد بهینه روکش واکس پلی اتیلن همان ۰,۰۹ درصد است. در نهایت می توان گفت با توجه به نتایج این تحقیق بایستی تولید این ماده در کشور

- Moghadas Nejad, F., Arabani, M., Hamed, G. H., & Azarhoosh, A. R., (2013), "Influence of using polymeric aggregate treatment on moisture damage in hot mix asphalt". *Construction and Building Materials*, 47, pp.1523-1527.
- Presti, D. L., (2013), "Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: a literature review". *Construction and Building Materials*, 49, pp.863-881.
- Siriwardane, H., Gondle, R., & Kutuk, B., (2010), "Analysis of Flexible Pavements Reinforced with Geogrids". *Geotech Geol Eng* (2010) 28: 287. <https://doi.org/10.1007/s10706-008-9241-0>.
- Yuan, Z., (2005), "Theoretical analysis of bending stiffness test on geosynthetic-reinforced base layer", In *Proceedings of NAGS/GRI-19 Cooperative Conference*, pp. 14-16 .
- Zhou, F., Estakhri, C. K., & Scullion, T., (2014), "Literature review: Performance of RAP/RAS mixes and new direction" (No. FHWA/TX-13/0-6738-1). Texas A&M Transportation Institute.
- Dougan, C., (2007), "Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: project level pavement management". Lecture Session 1a: PMS to support New MEPDG Norfolk, VA.
- Judycki, B. Dołżycki, M. Pszczoła, M. Jaczewski, & C. Szydłowski, (2014), "Tests and analysis of application of polymer-rubber modified bitumen to asphalt mixtures (in Polish)", Final Report, Gdansk University of Technology, Highway Engineering Division. Gdansk, Poland.
- Khodaii, A., Fallah, S., & Nejad, F. M., (2009), "Effects of geosynthetics on reduction of reflection cracking in asphalt overlays". *Geotextiles and Geomembranes*, 27(1), pp.1-8.
- Khodaii, A., Kazemi Tehrani, H., & Haghshenas, H. F., (2012), "Hydrated lime effect on moisture susceptibility of warm mix asphalt". *Construction and Building Materials*, 36, pp.165-170.
- Li, X. J., & Marasteanu, M. O., (2010), "Using semi circular bending test to evaluate low temperature fracture resistance for asphalt concrete". *Experimental mechanics*, 50(7), pp.867-876.

Laboratory Evaluation Improvement of Asphalt Fatigue by Adding Additive to Asphalt Mix

Mohammad Akbari, Assistant Professor, Dept. of Civil Eng., Faculty of Eng., University of Birjand, Birjand, Iran.

Mohammad Ebrahim Mahdizadeh, M.Sc. Grad., Dept. of Civil Eng., Faculty of Eng., Non-Profit Institute of Hormozan, Birjand, Iran.

Davood Akbari, Assistant Professor, Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran.

E-mail: moakbari@birjand.ac.ir

Received: February 2020 -Accepted: June 2020

ABSTRACT

In this study, the effect of polyethylene wax on improving the performance of asphaltic mixtures was investigated through laboratory testing. Experimental samples were taken from asphalt compacting in place containing polymer additives, especially polyethylene waxes. To investigate the role of polyethylene wax in reducing pavement fatigue cracks, samples with dimensions of 20 cm* 5 cm * 5 cm in two conditions without and with the amount of polyethylene wax and constant amount Asphalt ratio of 4.5 in all samples at different temperatures and load frequencies for fatigue were tested. Fatigue test results showed that for all three mixtures arranged with polyethylene wax in all samples, the pavement thickness after the test, for 0.09% wax, it was higher than that of the other asphalt mixtures. That is, the drop in the thickness of the pavement under the fatigue test is minimal, indicating an optimal weight percentage of the polyethylene wax executed in the pavement layer. So that the increase in the percentage of asphalt mixing with polyethylene wax from 0.05 to 0.09 percent, the decrease in the thickness of the pavement under the fatigue test decreases, but from 0.09 to 0.15 percent, the thickness drop increases. Thus, for artillery mixes with 0.09% polyethylene wax, the drop in the thickness of the asphalt pavement layer is less under fatigue testing, that is, the rate of cracking of asphalt armed with 0.09% of the polyethylene wax is minimal.

Keywords: Asphalt tiles, Growth of Cracks, Polyethylene Wax, Hot Asphalt Mix, Fatigue Test