

بررسی آزمایشگاهی عملکرد مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با الیاف

حامد معتمدی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران

حمیدرضا امیری*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Amiri@iauyazd.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۴/۰۶ - پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۵

صفحه ۳۶۸-۳۵۵

چکیده

راهسازی هم در بحث ساخت و هم در بحث تعمیر و نگهداری جز پرهزینه‌ترین بخش‌های عمرانی هر کشوری است. طی سال‌های اخیر میزان تردد وسایل نقلیه کشور به طور چشمگیری افزایش یافته است و بنابراین خرابی جاده‌ها نیز افزایش یافته است. یکی از متداول‌ترین شیوه‌های کاهش خرابی‌های جاده‌ها، افزایش مقاومت آسفالت است که با استفاده از مواد اصلاح کننده‌ی آسفالت صورت می‌گیرد. در این بین، مواد اصلاح کننده‌ای که اصلاح خصوصیات قیر و تسلیح آسفالت را همزمان انجام می‌دهند از اقبال بیشتری برخوردار هستند. در این پژوهش به بررسی آسفالت‌های اصلاح شده با دو نوع الیاف پر مصرف که یکی وارداتی و دیگر ساخت داخل است، پرداخته می‌شود. برای ممانعت از تبلیغ محصولات، نام تجاری آن‌ها بکار گرفته نشد و الیاف وارداتی با عنوان الیاف شماره یک و الیاف ساخت داخل با عنوان الیاف شماره دو نامگذاری شدند. آسفالت‌های اصلاح شده با این الیاف با استفاده از آزمایش‌های خزش دینامیکی، شیارشدگی، شکست در دمای معتدل و خستگی بارگذاری کشش غیرمستقیم مورد آزمایش قرار گرفتند. نمونه‌های آسفالتی اصلاح شده با الیاف شماره یک با مقادیر مصرف ۰/۰۵، ۰/۱۵ و ۰/۲۵ درصد و زنی مخلوط آسفالتی و نمونه‌های آسفالتی اصلاح شده با الیاف شماره دو نیز با مقادیر مصرف ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد و زنی مخلوط آسفالتی ساخته شدند و آزمایشات مورد اشاره بر روی آن‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که به جز آزمایش خزش دینامیکی، در تمامی آزمایشات دیگر عملکرد الیاف شماره یک بهتر از الیاف شماره دو بوده است. مطابق با نتایج مشخص شد که الیاف شماره یک عملکردی بهتر از الیاف شماره دو داشته است. هر چند هر دو الیاف باعث بهبود عملکرد آسفالت شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: اصلاح کننده‌های آسفالت، آزمایشات عملکردی، آسفالت الیافی، دماهای مختلف

۱- مقدمه

از جمله انواع خرابی‌های روسازی‌های آسفالتی می‌باشد (Fazaeli et al. 2016). بارهای تکراری در آسفالت باعث ایجاد دو خرابی عمده شامل ترک خوردگی و شیارشدگی می‌شوند که ترک در اثر کرنش کششی در زیر لایه‌ی آسفالتی و شیارشدگی در اثر تجمع تغییر شکل‌های ماندگار ایجاد می‌شود (Alsheyab and Khedaywi, 2017). خرابی‌های عمده و اصلی رویه‌های آسفالتی را با در نظر گرفتن سه محدوده‌ی دمایی آسفالت می‌توان به شرح پیوست طبقه‌بندی نمود (Behbahani et al. 2013).

آسفالت از سه بخش سنگدانه، قیر و هوا تشکیل شده است. قیر ماده‌ای ویسکوالاستیک است و از آنجا که در ساخت آسفالت به کار می‌رود این خاصیت را به آسفالت می‌دهد و آسفالت نیز ماده‌ای ویسکوالاستیک می‌باشد. ویسکوالاستیک به خاصیتی گفته می‌شود که میزان تغییر شکل مواد دارای این خاصیت به دمای بارگذاری، شدت و مدت زمان بارگذاری بستگی دارد (huang, 2013). رفتار ویسکوالاستیک مخلوط‌های آسفالتی که ناشی از وجود قیر در این مخلوط‌ها می‌باشد تعیین کننده‌ی بسیاری از ویژگی‌های عملکردی آن‌ها،

پیدایش بیشتری دارند، از سطح روسازی شروع شده و به سمت پایین گسترش می‌یابند. این دسته از ترک‌ها، نسبت به دسته اول تاکنون کمتر مورد توجه و مطالعه قرار گرفته‌اند (Fakhri and Fakhri, 2010). زمانی که باری از روی روسازی آسفالتی عبور می‌کند، رویه‌ی آسفالتی دچار تغییر شکل می‌شود که با اتمام بارگذاری، رویه‌ی آسفالتی به حالت اولیه برمی‌گردد. در هنگام برگشت، بسته به دمای محیط و اینکه آسفالت تا چه اندازه به حالت الاستیک نزدیک است یا به حالت پلاستیک، مقداری از تغییر شکل باقی می‌ماند که به آن تغییر شکل ماندگار و به کرنش حاصل از آن کرنش پسماند می‌گویند. وقتی در رویه‌ی آسفالتی کرنش پسماند وجود داشته باشد، مقداری تنش را نیز با خود به همراه دارد که اصطلاحاً به آن تنش پسماند گفته می‌شود. با گذشت زمان و عبور تعداد بیشتر بار و افزایش تعداد بارگذاری، مقادیر کرنش‌های پسماند و تنش‌های پسماند رو به افزایش می‌رود. حال اگر این کرنش‌ها و تنش‌ها از نوع کشش در آسفالت باشد، بنابراین با رسیدن کرنش و تنش پسماند به مقاومت کششی آسفالت، ترک در آن ایجاد می‌شود که به آن ترک خستگی می‌گویند. دلیل نامگذاری خستگی آن است که این ترک‌ها در اثر تعدد بارگذاری و به تبع آن تجمع تنش‌ها و کرنش‌های پسماند که اصطلاحاً خستگی نامیده می‌شوند، بوجود می‌آید. ترک‌های خستگی در آسفالت عموماً بصورت ترک‌های پوست سوسماری یا موزاییکی ظاهر می‌شوند. این ترک‌ها می‌توانند قسمتی از آسفالت یا همه‌ی آن را فرا بگیرند (huang, 2013).

گسترش

ترک (شکست)

پدیده‌ی شکست در اجسام یکی از عمده‌ترین مسائلی است که انسان از زمان ساختن ساده‌ترین ابزارها با آن مواجه بوده است. به دلیل پیشرفت تکنولوژی در عصر حاضر، این مسئله از اهمیت بیشتری نسبت به گذشته برخوردار شده است. یکی از شاخه‌های علم مقاومت مصالح، با کاربرد زیاد و تحلیل علمی نسبتاً مشکل، مکانیک شکست است. پیشرفت سریع تکنولوژی در قرن پیش و حاضر در بسیاری از علوم، منجر به بکارگیری مواد و مصالح جدید و گوناگون در صنایع مختلف شده است.

● محدودی دمایی بالا یا گرم که در آن محدوده به دلیل نرم شدن قیر و نزدیک شدن آن به حالت مایع و روان شدن، آسفالت نیز نرم‌تر و روان تر می‌شود. خرابی عمده در این حالت، شیارشدهگی است.

● محدودی دمایی متوسط یا معتدل که در این محدوده‌ی دمایی، قیر حالتی بین مایع و جامد دارد که این حالت را در آسفالت نیز پدیدار می‌کند. خرابی عمده‌ی آسفالت در این محدوده‌ی دمایی، ترک‌های خستگی است.

● محدودی دمایی پایین یا سرد که در آن قیر بیشتر به حالت جامد نزدیک است و سفت و سخت می‌شود، به همین دلیل این خاصیت در آسفالت هم به چشم می‌خورد. خرابی عمده‌ی آسفالت در این محدوده‌ی دمایی، ترک‌های دمای پایین و شکست ترد است.

عوامل موثر در ایجاد خرابی‌های مختلف در آسفالت شامل علل گوناگونی چون نیروی کار ضعیف، ساخت بد، اجرای بد، زیرسازی ضعیف، مصالح نامناسب، قیر نامناسب، تردد وسایل نقلیه در گذر عمر روسازی، گرمای هوا، سرمای شدید و بسیاری عوامل دیگر است.

خستگی

خستگی در آسفالت یکی از خرابی‌های اصلی می‌باشد که عمدتاً ناشی از بارهای تکراری ترافیک است. خستگی در ابتدا به صورت ترک‌های ریز در محل‌های با تمرکز تنش بالا شروع می‌شود (Sharma and Swamy, 2016). خستگی عبارت است از پدیده‌ی شکست بر اثر تکرار بار، که تنش ایجاد شده توسط این بار ممکن است حتی به مراتب کوچکتر از مقاومت نهایی مصالح باشد. با افزایش تعداد بارگذاری‌های انجام شده بر روی آسفالت، مقاومت مخلوط آسفالتی کاهش یافته و در اثر آن خرابی‌ها بطور پیوسته افزایش یافته و ترک خستگی ایجاد می‌شود تا در نهایت به شکست آسفالت می‌انجامد (Jiang et al. 2018). ترک‌های ناشی از خستگی در مقاطع آسفالتی، با توجه به مکان پیدایش و نحوه‌ی گسترش آن‌ها دو دسته است. دسته‌ی اول ترک‌هایی است که در بخش پایینی مقطع آسفالتی پدید می‌آیند و سپس با تکرار بار به سمت بالا گسترش می‌یابند. پیدایش این نوع ترک‌ها در مقاطع آسفالتی با ضخامت کم، رایج است. دسته دوم که در روسازی‌های ضخیم امکان

مودهای غیر از مود I خیلی کمتر و قابل اغماض است لذا اکثرا بر روی مود I آزمایشات گسترش ترک انجام می‌شود. در این پژوهش نیز گسترش ترک با مود I اندازه‌گیری شده است. از آنجا که دمای اکثر روسازی‌های در حدود دمای معتدل است لذا دمای آزمایش، ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در نظر گرفته شد و فقط انرژی شکست نمونه‌ها در این دما محاسبه گردید.

۱-۱- شیارشدگی

شیارشدگی یا شیارافتادگی به تغییر شکل‌های دائمی‌ای گفته می‌شود که در مسیر حرکت چرخ اتومبیل‌ها و کامیون‌ها به وجود می‌آید و در واقع موازی با مسیر حرکت وسایل نقلیه است. شیارشدگی یکی از انواع خرابی‌های اصلی است که روسازی در طول عمر خود تجربه می‌کند (Golalipoura et al. 2012). این تغییر شکل تا مادامی که به یک حدی محدود باشد باعث ایجاد مشکل نمی‌گردد ولی زمانی که از حد مجاز آن (که این حد مجاز برای انواع راه‌ها با ترافیک‌های مختلف و سرعت طرح‌های مختلف، متفاوت می‌باشد) بیشتر شود باعث بروز مشکلاتی مانند جمع شدن آب حاصل از نزولات جوی، مشکلات کنترل وسیله‌ی نقلیه که ناشی از قرارگیری چرخ وسیله در شیار است، ناهمواری مسیر و ناراضایتی رانندگان و غیره می‌شود. میزان عمق شیارشدگی که در سطح آسفالتی مشاهده و اندازه‌گیری می‌شود در واقع جمع تغییر شکل‌های لایه‌های روسازی از خاک بستر تا آسفالت می‌باشد که به صورت شیار در روی آسفالت مشاهده می‌گردد. عامل پیدایش شیارشدگی، تجمع کرنش‌های پسماند حاصل از عبور وسایل نقلیه در گذر زمان است که رفته رفته با جمع شدن این تغییر شکل‌های کوچک، تغییر شکل بزرگی مثل شیارشدگی ظاهر می‌شود و در صورت عدم تعمیر آن، رفته رفته به میزان عمق آن افزوده می‌شود. بنابراین شیارشدگی همان تجمع کرنش‌های پسماند هست (Tabatabaei, 1997).

برای فهم دلیل ایجاد شیار باید ابتدا خواص آسفالت بررسی گردد. همان‌طور که پیش از این اشاره شد قیر ماده‌ای ویسکوالاستیک است و از آن‌جا که آسفالت نیز از قیر و سنگدانه تشکیل شده است لذا این خاصیت (ویسکوالاستیک) به آسفالت منتقل می‌شود و آسفالت هم در زمهری مواد

طبیعی است که بکارگیری این مواد در گستره‌ی وسیع تکنولوژی، استفاده از معیارهای نوین در طراحی را نیز الزامی نموده است. به دلیل حوادثی که در طی جنگ دوم جهانی برای کشتی‌های آزادی به وقوع پیوست، علم مکانیک شکست از یک علم صرفاً آکادمیک به یک علم مهندسی با تمرکز و دیدگاه ویژه تبدیل شد. در زمان جنگ دوم جهانی، بر اساس توافق‌نامه‌ی لندنلیز میان ایالات متحده‌ی آمریکا و بریتانیا، ارسال انبوه کشتی و هواپیما از سوی آمریکا به بریتانیا صورت پذیرفت. این کشتی‌ها با مدیریت مهندس معروف آمریکایی، هنری کایزر، که پیش از آن طراحی سد هوور را نیز بر عهده داشته بود، ساخته شدند. او یک روش جدید برای ساخت این کشتی‌ها بکار گرفت که بر اساس این روش بجای استفاده از پرچ برای اتصالات سراسری اصلی در کشتی‌ها، از جوشکاری استفاده شد که این امر باعث کاهش چشمگیر زمان ساخت کشتی‌ها شد. اما در سال ۱۹۴۳ زمانی که کشتی آزادی بین سبیری و آلاسکا (منطقه‌ای با آب و هوای سرد) در حرکت بود، به دو نیم تقسیم شد. شکست‌های بعدی در بسیاری از بدنه‌های دیگر کشتی‌های آزادی در فاصله زمانی کوتاهی اتفاق افتاد به طوری که از ۲۷۰۰ کشتی آزادی حدود ۴۰۰ کشتی دچار صدمه شدند. در بین کشتی‌های آسیب دیده، ۹۰ کشتی دچار صدمه‌ی جدی، ۲۰ کشتی دچار شکست کلی و ۱۰ کشتی به دو نیم تقسیم شدند.

مهندسين روسازی با تعمیم علم مکانیک شکست و وارد کردن آن به روسازی، به تحلیل گسترش ترک‌ها در روسازی‌ها پرداختند. آن‌ها برای شناخت بهتر روند گسترش ترک در آسفالت به دو پارامتر چقرمگی شکست و انرژی شکست توجه کردند. چقرمگی شکست از حداکثر نیروی لازم برای شکست بدست می‌آید و انرژی شکست برابر سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی است و این یعنی کار یا انرژی لازم برای شکست آسفالت. بارگذاری جهت گسترش ترک می‌تواند با چهار حالت یا مود انجام شود، مود I یا کشش خالص، مود II یا برش خالص، مود III یا پیچش خالص و ترکیبات دوتایی یا سه تایی از این مودها، مودهای بارگذاری برای گسترش ترک هستند. در رویه‌های آسفالتی در حالت واقعی، اغلب ترکیب دوتایی یا سه تایی از این مودها یعنی حالت چهارم اتفاق می‌افتد. اما به دلیل آنکه تاثیر مواد اصلاح کننده بر روی مقاومت گسترش ترک در

ویسکوالاستیک آسفالت، که اشاره شد، برمی گردد. روش انجام آزمایش در ادامه توضیح داده خواهد شد.

۲- پیشینه تحقیق

فضائلی و همکاران به بررسی میدانی و آزمایشگاهی مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با استفاده از ترکیب الیاف و ساسوبیت پرداختند. در این پژوهش از آزمایشات عملکردی شامل خزش دینامیکی، شیارشدگی، مدول برجهنگی، خستگی کشش غیر مستقیم، حساسیت رطوبتی و شکست استفاده شده است. بر طبق نتایج بدست آمده از آزمایشات، آسفالت‌های الیافی اصلاح شده با ساسوبیت در مقایسه با آسفالت‌های معمولی دارای بهبود عملکرد خیلی خوبی بودند، نتیجه‌گیری شد که اختلاف موجود بین نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی و میدانی می‌تواند بدلیل اختلاف در دانه‌بندی و نوع سنگدانه‌ها و مصالح باشد. همچنین مشاهده شد که کاهش قابل ملاحظه‌ای در تغییر شکل‌های ماندگار و شیارشدگی در آسفالت‌های اصلاح شده با ساسوبیت و الیاف رخ داده است، بگونه‌ای که برای تغییر شکل ماندگار باعث تقریباً ۲ تا ۴ برابر کاهش تغییر شکل و برای شیارشدگی باعث کاهش ۳۰ درصدی عمق شیار شده است (Fazaeli et al. 2016). کالوش و همکاران به ارزیابی مخلوط‌های آسفالتی مسلح شده با الیاف پرداختند. آزمایشات شامل مقاومت برشی سه محوری، مدول دینامیکی، خزش دینامیکی، تیرچه خستگی، کشش غیر مستقیم و گسترش ترک بود. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که عملکرد مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با الیاف نسبت به مخلوط‌های آسفالتی بدون الیاف، ارتقا و بهبود داشته است. این موضوع بخصوص در مورد سه خرابی عمده‌ی راه‌ها در دماهای بالا، متوسط و پایین یعنی تغییر شکل دائمی، ترک خستگی و ترک‌های دمای پایین، بیشتر مشهود بود. بر طبق نتایج بدست آمده از این پژوهش مشخص شد که مقاومت آسفالت الیافی در برابر تغییر شکل، خیلی بیشتر از آسفالت معمولی است. عدد جریان در آسفالت الیافی حدوداً ۱۵ برابر آسفالت معمولی بدست آورده شد (Kaloush et al. 2010). کلون به ارزیابی خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با الیاف کربنی

ویسکوالاستیک قرار می‌گیرد. ویسکوالاستیک خاصیتی است که تغییر شکل‌های موادی که دارای این خاصیت هستند به شدت بستگی به دما، شدت و سرعت بارگذاری دارد (Ashish et al. 2016). قیر یک ماده ویسکو الاستیک است و هر چقدر در دمای بالاتری بارگذاری شود، تغییر شکل‌های آن بیشتر است و همچنین هر چقدر میزان بار یا شدت باری که روی آن قرار می‌گیرد بیشتر باشد و یا زمان قرارگیری بار بر روی آن بیشتر باشد، باعث تغییر شکل‌های بزرگتری ایجاد می‌شود. از این رو با توجه به آنچه که در مورد مواد ویسکوالاستیک اشاره شد می‌توان نتیجه گرفت از آنجا که آسفالت‌های مناطق گرم در معرض درجه حرارت بالا هستند، استعداد شیارشدگی در آن‌ها بیشتر است. تحلیل عملکرد شیارشدگی آسفالت، زمانی اهمیت می‌یابد که بیشتر پهنه‌ی کشور را مناطقی با آب و هوای گرم تشکیل می‌دهند و اکثر این جاده‌ها جز مسیرهای ترانزیتی با عبور کامیون و بارهای سنگین می‌باشند. پس با این اوصاف، میزان حجم شیارشدگی در کشور زیاد است و شدت آن نیز با توجه به عبور کامیون‌ها، بالا است. بخش عمده‌ای از روسازی‌های موجود در کشور از نوع روسازی‌های انعطاف‌پذیر آسفالتی می‌باشد که پدیده‌ی شیارشدگی یکی از خرابی‌های رایج مشاهده شده در این نوع از روسازی است. به وجود آمدن و گسترش این نوع خرابی به عوامل متعددی از جمله مشخصات لایه‌های روسازی و مصالح تشکیل دهنده، حجم ترافیک عبوری، وزن محورها، سرعت خودروها، شرایط آب و هوایی و غیره بستگی دارد.

خزش دینامیکی

رفتار خزش به عنوان یک خصوصیت مکانیکی مخلوط آسفالتی، تاثیر قابل توجهی بر روی طراحی، عمر روسازی و خرابی آن دارد (Alrashyadah and Abo-Qudais, 2018). خزش دینامیکی مانند شیارشدگی، آزمایشی است که به وسیله‌ی آن می‌توان مقاومت آسفالت را در برابر تغییر شکل‌های دائمی، بررسی کرد. خزش به تغییر شکل‌های آسفالت در طول زمان زیاد اطلاق می‌گردد که در اثر بارگذاری‌های تکراری ایجاد می‌شود. این موضوع نیز به خاصیت

انجام شود. خصوصیات مواد و مصالح مصرفی به شرح زیر است:

الیاف شماره یک

الیاف شماره یک مخلوطی از فیبرهای مصنوعی متشکل از رشته‌های آرامید و پلی اولفین و سایر موادی است که به مقاومت و دوام زیاد و خاصیت چسبندگی خوب شهره هستند. این الیاف با کاهش و به تاخیر انداختن شیارشدگی، مزیت صرفه اقتصادی از طریق کاهش ضخامت لایه ی آسفالتی و افزایش عمر را به دنبال دارد. رشته‌های پلی اولفین در قیصر حل می‌شوند و باعث اصلاح خصوصیات آن می‌گردند. رشته‌های آرامید نیز با مسلح کردن آسفالت باعث یکپارچگی آن شده و با پخش نیرو در سطحی وسیع‌تر، باعث کاهش تنش می‌شود. این الیاف برای انواع مختلف مخلوط‌های آسفالتی طراحی و عرضه شده است. نسل جدید این الیاف شامل سه نوع الیاف با کاربردهای متفاوت است و شامل:

- ۱- الیاف برای مخلوط‌های آسفالت داغ
- ۲- الیاف برای مخلوط‌های آسفالت گرم
- ۳- الیاف برای آسفالت (سرد و گرم) وصله‌کاری

از الیاف برای مخلوط‌های آسفالت داغ و با مقادیر مصرف ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ درصد وزنی مخلوط آسفالتی استفاده شد. مشخصات الیاف شماره یک در جدول ۱ آورده شده است.

الیاف شماره دو

این ماده متشکل از الیاف و پودر سفید رنگ است. نسبت پودر به الیاف توسط شرکت تعیین شده است. این ماده با توجه به میزان سفارش و ظرفیت دستگاه اختلاط، در بسته‌بندی‌های پلاستیکی جهت استفاده در ساخت آسفالت به کار می‌رود. شرایط و نحوه‌ی استفاده از الیاف شماره دو دقیقاً مثل الیاف شماره یک است و تفاوت تنها در میزان استفاده از این ماده است. مقدار استفاده شده از الیاف شماره دو ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد وزنی مخلوط آسفالتی بود. جدول ۲ مشخصات این ماده را نشان می‌دهد.

پرداخت. در این پژوهش، پارامترهای مقاومتی آسفالت‌های اصلاح شده با الیاف کربنی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بر طبق این پژوهش مشخص شد که الیاف کربنی باعث افزایش استحکام، سختی و همچنین مقاومت در برابر تغییر شکل‌های دائمی آسفالت شده است (Cleven, 2000). فخری و حسینی به بررسی آزمایشگاهی مقاومت شیارشدگی و حساسیت رطوبتی آسفالت‌های گرم اصلاح شده با الیاف شیشه‌ای حاوی مقادیر آسفالت بازیافتی پرداختند. در این پژوهش، آزمایش شیارشدگی و حساسیت رطوبتی انجام شد. نتایج نشان داد که افزودن الیاف شیشه‌ای به آسفالت گرم بدون آسفالت بازیافتی، اگرچه مقاومت شیارشدگی مخلوط را بالا می‌برد ولی نمی‌تواند باعث بهبود حساسیت رطوبتی آسفالت گردد، اما افزودن الیاف شیشه‌ای و آسفالت بازیافتی به مخلوط آسفالتی می‌تواند باعث بهبود شیارشدگی و حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی گردد. به عبارت دیگر، آسفالت بازیافتی این پتانسیل را دارد که مقاومت شیارشدگی همه مخلوط‌های آسفالتی را افزایش دهد و همچنین آسفالت بازیافتی می‌تواند باعث بهبود حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالت گرم حاوی الیاف شیشه‌ای، چه پیرشده باشند و چه پیرشده نباشند، بگردد (Fakhri and Hosseini, 2017).

۳- روش تحقیق

برای انجام این پژوهش از دو نوع الیاف شماره یک و الیاف شماره دو استفاده شد که الیاف شماره دو جز مواد اصلاح کننده‌ای است که در داخل کشور تولید می‌شود و الیاف شماره یک جز مواد اصلاح کننده‌ای است که هر چند وارداتی می‌باشد ولی مصرف آن در پروژه‌های راهسازی و بهسازی، زیاد است و بررسی آن لازم می‌باشد. قیر و سنگ‌دانه‌ی مورد نیاز از کارخانه‌ی تولید آسفالت که در کیلومتر ۶ محور دهشیر- دره‌زرشک واقع در استان یزد می‌باشد، دریافت شد. الیاف و مصالح، پس از دریافت به آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی ارسال شد تا آزمایش‌های مورد اشاره (شکست نیم دیسک خمشی در دمای معتدل، خستگی بارگذاری کشش غیرمستقیم، شیارشدگی و خزش دینامیکی)

جدول ۱. مشخصات الیاف شماره یک

مقاومت در محیط‌های اسیدی و قلبایی	جذب آب	نقطه ذوب °C	نقطه اشتعال °C	مدول الاستیسیته Gpa	مقاومت کششی Mpa	قطر mm	طول mm	چگالی gr/cm ³	رنگ
آرامید									
خوب	ندارد	۴۵۰	-	۱۱۰	۲۸۰۰	≥۰/۰۲	۱۹	۱/۴۴	زرد
پلی اولفین شبکه‌ای									
عالی	ندارد	≥۱۲۰	≥۵۹۰	≥۴/۲	۵۷۰-۶۶۰	≥۰/۳	۱۹	۰/۹۱-۰/۹۶	کرم مشکی سفید

جدول ۲. مشخصات الیاف شماره دو

مقدار	نوع مشخصه
الیاف به همراه نسبت مشخصی پودر	شکل فیزیکی
الیاف و پودر سفید	رنگ
بدون بو	بو
۱۸/۱ گرم بر مترمکعب	وزن مخصوص
۱۱۰-۱۰۰ سانتی‌متر	نقطه‌ی ذوب پودر
۲۳۰ سانتی‌متر	نقطه‌ی ذوب الیاف
الیاف آرامید	ساختار شیمیایی
ندارد	جذب آب
خوب	مقاومت در محیط‌های اسیدی و قلبایی
۱۲-۱۸ میلی‌متر	طول الیاف
۱/۳ میلی‌متر	قطر الیاف
۶ Gpa	مدول الاستیسیته

سنگدانه


خاک وزارت راه و شهرسازی ارسال شد. مشخصات مرغوبیت و همچنین وزن مخصوص و درصد جذب آب سنگدانه‌ی مصرفی در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است.

سنگدانه‌ی مصرفی از نوع آهکی با دانه‌بندی شماره چهار آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه ۲۳۴) بود. سنگدانه از کارخانه‌ای واقع در کیلومتر ۶ محور دهشیر- دره‌زرشک دریافت و به محل آزمایشگاه فنی و مکانیک

جدول ۳. نتایج آزمایش‌های مرغوبیت مصالح سنگی

نتایج آزمایش				مشخصه
فیلر مصالح	مخلوط شکسته بین گرم	مخلوط شکسته بین سرد	مخلوط درشت‌دانه	
-	۹۴	۷۳	-	ارزش ماسه‌ای (AASHTO-T176)
-	-	-	C	درصد افت وزنی در نوع دانه‌بندی
-	-	-	۵۰۰	مقابل سایش به روش لس آنجلس
-	-	-	۲۲	درصد سایش (AASHTO-T96)
N.P	N.P	-	-	حدود آتبرگ دامنه خمیری (PI)
-	-	-	-	AASHTO-) حد خمیری (PL)
غیر قابل تعیین	غیر قابل تعیین	-	-	حد روانی (LL)
-	-	-	۱۰۰	درصد شکستگی در یک جبهه
-	-	-	۹۸	در دو جبهه الک شماره ۴ (ASTM-D5821)
-	-	-	۱	درصد سنگدانه‌های پهن و دراز (ASTM-D4791)
۴۵			ضریب گوشه‌داری مصالح سنگی ریزدانه رد شده از الک شماره ۸ (ASTM-C1252)	

جدول ۴. وزن مخصوص و درصد جذب آب سنگ‌دانه‌ها

درصد جذب آب	وزن مخصوص		مشخصه
	حقیقی	ظاهری	
۰/۹	۲/۶۲۸	۲/۶۹۴	مصالح سنگی مانده روی الک شماره ۸
۱/۳	۲/۶۲۵	۲/۷۲۰	مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۸ و مانده روی الک شماره ۲۰۰
-	۲/۷۳۳		مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۲۰۰
۲/۶۳۱			وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی، 

۴- قیر

بر طبق آزمایش مارشال و در ۴/۵ درصد فضای خالی، برابر با ۴/۴ درصد وزنی مخلوط آسفالتی بدست آمد. مشخصات قیر مصرفی در جدول و نتایج آزمایش مارشال در جدول ۵ آورده شده است.

قیر مصرفی از نوع قیر با درجه بندی نفوذی ۶۰/۷۰ بود. هم برای حفظ شرایط یکسان در پژوهش، قیر از همان کارخانه ی آسفالت‌مورد اشاره، تهیه شد. این قیر محصولی از پالایشگاه نفت جی اصفهان با درجه نفوذ ۶۰/۷۰ بود. درصد قیر بهینه برای ساخت مخلوط های آسفالتی با مصالح اشاره شده در بالا،

جدول ۵. نتایج آزمایش‌ها برای تعیین خصوصیات قیر مصرفی

مشخصات استاندارد قیرهای خالص (گروه ۷۰-۶۰)		نتایج	روش آزمایش		آزمایشات قیرهای خالص
حداکثر	حداقل		AASHTO	ASTM	
-	-	۱/۰۱۳	T228	D70	وزن مخصوص در ۲۵°C
۷۰	۶۰	۶۶	T49	D5	درجه نفوذ در ۲۵ سانتی‌گراد (۱۰۰ گرم-۵ ثانیه) بر حسب ۰/۱ میلی‌متر
۵۶	۴۹	۵۱	T53	D36	نقطه نرمی (ساجمه- حلقه) بر حسب درجه سانتی‌گراد
-	۱۰۰	بیشتر از ۱۰۰	T51	D113	مقدار کشش در ۲۵ سانتی‌گراد بر حسب سانتی‌متر
-	۲۳۲	۳۱۸	T48	D92	درجه اشتعال (روباژ- کلولند) سانتی‌گراد بر حسب درجه سانتی‌گراد
-	-	۵۱۶	T201	D2170	کندروانی کینماتیک در ۱۲۰ (سانتی استوکس)
-	-	۳۲۶			کندروانی کینماتیک در ۱۳۵ سانتی‌گراد (سانتی استوکس)
-	-	۱۱۴			کندروانی کینماتیک در ۱۶۰ سانتی‌گراد (سانتی استوکس)
-	-	-	-	-	لعب نازک قیر (۱۶۳ سانتی‌گراد - پنج ساعت)
۰/۸	-	۰/۰۲	-	-	افت حرارت بر حسب درصد
-	-	۵۰	-	-	درجه نفوذ بعد از آزمایش افت حرارتی بر حسب ۰,۱ میلی‌متر
-	۵۴	۷۵/۸	-	-	نسبت درصد درجه نفوذ بعد از آزمایش به درجه نفوذ اولیه
-	۵۰	بیشتر از ۱۰۰	-	-	مقدار کشش قیر بعد از آزمایش ۲۵ سانتی‌گراد بر حسب سانتی‌متر
-	-	-	-	-	حساسیت حرارتی قیر
-	-	-۰/۲۷	-	-	PI- (بر حسب درجه نفوذ در ۲۵ سانتی‌گراد و نقطه نرمی قیر)
-	-	-۰/۹۷	-	-	PVN(25-135)- (بر حسب درجه نفوذ در ۲۵ سانتی‌گراد و غلظت بر حسب سانتی‌استوکس در ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد)
-	-	-	-	-	PVN(25-60)- (بر حسب درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و غلظت بر حسب پوآز در ۶۰ درجه سانتی‌گراد)

جدول ۵. نتایج آزمایش مارشال

مشخصه	مقدار مشخصه‌ی مورد نظر	درصد قیر در مقدار مشخصه مورد نظر
حداکثر وزن مخصوص حقیقی	۲۳۸۸ کیلوگرم بر متر مکعب	۴/۸
فضای خالی طرح	۴/۵	۴
حداکثر استحکام مارشال	۱۲۵۰ Kgf	۴/۸
فضای خالی مصالح سنگی	۱۴/۲	۴

قائم دقیقا در وسط دو تکیه گاه قرار گرفته باشد. بارگذاری با سرعت ۰/۵ میلی متر بر دقیقه شروع شد و تا لحظه‌ی شکست کامل نمونه‌ها ادامه یافت. انرژی شکست هر یک از نمونه‌ها بدست آورده شد. شکل مراحل مختلف ساخت نمونه و انجام آزمایش شکست را نشان می‌دهد.



شکل ۲. ساخت نمونه‌ها و انجام آزمایش شکست

آزمایش شیارشدگی

این آزمایش مطابق با استاندارد AASHTO T324 و با استفاده دستگاه شیارافتادگی ویلتراک هامبورگ انجام شد. در این دستگاه، دو نمونه‌ی استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۱۵ و ۶ سانتی متر مطابق شکل قرار داده شدند. دمای آزمایش برابر ۵۰ درجه سانتی گراد بود. قطر و پهنای چرخ بارگذاری برابر با ۲۰ و ۵ سانتی متر بود که با سرعتی برابر با ۵۰ عبور در دقیقه بر روی نمونه‌ها حرکت می‌کرد. بار چرخ برابر با ۷۰۰ نیوتن بود. عمق شیارشدگی نمونه‌ها بعد از ۱۰۰۰۰ رفت و برگشت اندازه‌گیری شد و به عنوان نتیجه‌ی آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۲ مراحل ساخت نمونه‌ها و انجام آزمایش شیارشدگی را نشان می‌دهد.

انجام آزمایش

آزمایش خستگی بارگذاری کشش غیر مستقیم

پیش از انجام آزمایش، نمونه‌ها به مدت ۸ ساعت در چمبر با دمای ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شدند. نمونه‌های ژیراتوری با قطر ۱۰ سانتی متر (۴ اینچ) و در دمای ۲۰ درجه‌ی سانتی گراد، بصورت قطری تحت بارگذاری تکراری با شدت ۴۵۰ کیلوپاسکال قرار داده شدند. هر سیکل بارگذاری در این آزمایش برابر ۱/۵ ثانیه بود که ۰/۲۵ ثانیه برای بارگذاری و ۱/۲۵ ثانیه برای استراحت در نظر گرفته شد. معیار گسیختگی نمونه در این آزمایش، تغییر شکل قطری ۹ میلی متر و یا شکسته شدن آن، تعریف شده است. این آزمایش بر اساس استاندارد EN12697-24 صورت گرفت. بارگذاری با استفاده از UTM انجام شد. شکل ۱ مراحل مختلف ساخت نمونه و انجام آزمایش بارگذاری کشش غیر مستقیم را نشان می‌دهد.



شکل ۱. ساخت نمونه‌ها و انجام آزمایش بارگذاری کشش غیر مستقیم

آزمایش شکست

در این آزمایش برای هر ماده‌ی اصلاح کننده، تعداد سه نمونه‌ی نیم‌دیسک انتخاب شد. این نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت در چمبر با دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها به ترتیب بر روی تکیه‌گاه‌ها قرار داده شدند بگونه‌ای که فاصله‌ی تکیه‌گاه‌ها از یکدیگر ۱۰ سانتی‌متر باشد و ترک

آزمایش خزش دینامیکی

این آزمایش مطابق با استاندارد EN12697-25 و با استفاده از UTM انجام شد. این آزمایش در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد انجام شد. پیش از شروع سیکل‌های بارگذاری، تنش پیش بارگذاری به میزان ۱۰ کیلو پاسکال به مدت ۱۰ دقیقه بر روی نمونه‌ها اعمال گردید. نمونه‌های استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۱۵ و ۶ سانتی‌متر تحت بارگذاری سیکلیک به میزان ۳۰۰ کیلو پاسکال قرار داده شدند. هر سیکل بارگذاری شامل یک ثانیه اعمال بار و یک ثانیه استراحت بود. نمونه‌های آزمایش تا رسیدن به ۶ درصد کرنش تحت بارگذاری قرار خواهند داشت. شکل ۳ مراحل ساخت نمونه‌ها و انجام آزمایش خزش دینامیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نحوه‌ی قرارگیری دو نمونه‌ی ژیراتوری در کنار یکدیگر برای انجام آزمایش شیارشدگی



شکل ۳. مراحل ساخت نمونه‌ها و انجام آزمایش خزش دینامیکی

۴- نتایج آزمایش‌ها

نتایج آزمایش خستگی بارگذاری کشش غیر مستقیم پس از به دست آوردن نتایج آزمایش خستگی بارگذاری کشش غیر مستقیم برای هر یک از نمونه‌ها، مقدار میانگین تعداد سیکل بارگذاری برای هر نوع ماده- درصد محاسبه شد.



شکل ۲. مراحل ساخت نمونه‌ها و انجام آزمایش شیارشدگی

نتایج آزمایش شکست نیم دیسک خمشی در دمای معتدل

جدول نتایج آزمایش شکست را نشان می‌دهد. در این جدول مقادیر متوسط انرژی شکست نمونه‌ها برای هر یک از نوع ماده- درصدها نشان داده شده است.

جدول ۹. نتایج آزمایش شکست نیم دیسک خمشی در دمای معتدل

نمونه‌ها	متوسط انرژی شکست
شاهد	۲/۶۵۰
الیاف شماره یک ۰/۰۵	۳/۳۶۶
الیاف شماره یک ۰/۰۷۵	۳/۹۲۲
الیاف شماره یک ۰/۱	۴/۷۷۰
الیاف شماره دو ۰/۱	۳/۳۱۲
الیاف شماره دو ۰/۱۵	۳/۸۱۶
الیاف شماره دو ۰/۲	۴/۶۳۸

همچنین جدول ۷ نسبت متوسط انرژی شکست نمونه‌های آسفالتی اصلاح شده با هر یک از نوع ماده- درصد را به متوسط انرژی شکست نمونه‌های شاهد نشان می‌دهد.

جدول ۷. نسبت متوسط انرژی شکست نمونه‌های اصلاح شده به متوسط انرژی شکست نمونه‌های شاهد در آزمایش شکست

نمونه‌ها	نسبت متوسط انرژی شکست نمونه‌های اصلاح شده به متوسط انرژی شکست نمونه‌های شاهد در آزمایش شکست
الیاف شماره یک ۰/۰۵	۱/۲۷۹
الیاف شماره یک ۰/۰۷۵	۱/۴۸۰
الیاف شماره یک ۰/۱	۱/۸۰۰
الیاف شماره دو ۰/۱	۱/۲۴۹
الیاف شماره دو ۰/۱۵	۱/۴۴۰
الیاف شماره دو ۰/۲	۱/۷۵۰

جدول تعداد سیکل‌های بارگذاری در آزمایش کشش غیرمستقیم را نشان می‌دهد.

جدول ۷. نتایج آزمایش خستگی بارگذاری کشش غیرمستقیم

نمونه‌ها	متوسط تعداد سیکل‌ها
شاهد	۳۹۸۲
الیاف شماره یک ۰/۰۵	۱۴۹۳۳
الیاف شماره یک ۰/۰۷۵	۱۸۴۱۶
الیاف شماره یک ۰/۱	۱۹۸۶۲
الیاف شماره دو ۰/۱	۱۰۵۵۱
الیاف شماره دو ۰/۱۵	۱۲۵۷۱
الیاف شماره دو ۰/۲	۱۵۷۲۹

همانطور که از نتایج مشخص شده است، بهترین عملکرد مقاومت خستگی، مربوط به آسفالت‌های اصلاح شده با الیاف شماره یک با مقدار مصرف ۰/۱ درصد وزنی مخلوط آسفالتی می‌باشد که با فاصله‌ی اندکی از آن، الیاف شماره یک با مقدار مصرف ۰/۰۷۵ درصد وزنی مخلوط آسفالتی و الیاف شماره دو با مقدار مصرف ۰/۲ درصد وزنی مخلوط آسفالتی در رده‌های بعدی قرار دارند. جدول ۶ نسبت متوسط تعداد سیکل‌های بارگذاری آسفالت‌های اصلاح شده را به متوسط تعداد سیکل‌های بارگذاری نمونه‌ی شاهد نشان می‌دهد.

جدول ۶. نسبت تعداد سیکل بارگذاری نمونه‌های اصلاح شده به نمونه‌ی شاهد در آزمایش خستگی بارگذاری کشش غیرمستقیم

نمونه‌ها	نسبت تعداد متوسط تعداد سیکل‌های بارگذاری نمونه‌های اصلاح شده به نمونه‌ی شاهد در آزمایش خستگی بارگذاری کشش غیرمستقیم
الیاف شماره یک ۰/۰۵	۳/۷۵۰
الیاف شماره یک ۰/۰۷۵	۴/۶۲۵
الیاف شماره یک ۰/۱	۴/۹۸۸
الیاف شماره دو ۰/۱	۲/۶۴۹
الیاف شماره دو ۰/۱۵	۳/۱۵۷
الیاف شماره دو ۰/۲	۳/۹۵۰

جدول ۸. نسبت متوسط عمق شیارشدگی نمونه‌های اصلاح شده به متوسط عمق شیارشدگی نمونه‌های شاهد

نمونه‌ها	نسبت متوسط عمق شیارشدگی نمونه‌های اصلاح شده به متوسط عمق شیارشدگی نمونه‌های شاهد
الیاف شماره یک ۰/۰۵	۰/۸۰۰
الیاف شماره یک ۰/۰۷۵	۰/۵۹۱
الیاف شماره یک ۰/۱	۰/۴۸۰
الیاف شماره دو ۰/۱	۰/۸۲۹
الیاف شماره دو ۰/۱۵	۰/۶۲۹
الیاف شماره دو ۰/۲	۰/۵۰۱

همانطور که از نتایج آزمایش شکست مشخص است، الیاف شماره یک با مقدار مصرف ۰/۱ درصد وزنی مخلوط آسفالتی بیشترین میزان بهبود را در مخلوط آسفالتی ایجاد کرده است و در فاصله کمی پس از آن، الیاف شماره دو با مقدار مصرف ۰/۲ درصد وزنی مخلوط آسفالتی قرار دارد. همانطور که از نتایج مشخص است، بیشترین افزایش مقاومت در برابر شیارشدگی، مربوط به الیاف شماره یک با مقدار مصرف ۰/۱ درصد وزنی مخلوط آسفالتی است و پس از آن الیاف شماره دو با مقدار مصرف ۰/۲ درصد وزنی مخلوط آسفالتی می‌باشد. جدول ۸ نسبت متوسط عمق شیارشدگی نمونه‌های اصلاح شده را به متوسط عمق شیارشدگی نمونه‌ی شاهد نشان می‌دهد.

نتایج آزمایش خزش دینامیکی

سیکل‌های بارگذاری جهت رسیدن به ۶ درصد کرنش، برای هر یک از ماده- درصدها محاسبه شد. جدول ۹ متوسط تعداد سیکل بارگذاری برای هر یک از ماده- درصدها را نشان می‌دهد.

جدول ۹. نتایج آزمایش خزش دینامیکی

نمونه‌ها	متوسط تعداد سیکل‌ها
شاهد	۱۲۳۸
الیاف شماره یک ۰/۰۵	۳۷۲۶
الیاف شماره یک ۰/۰۷۵	۴۳۰۸
الیاف شماره یک ۰/۱	۴۶۴۲
الیاف شماره دو ۰/۱	۳۸۲۵
الیاف شماره دو ۰/۱۵	۴۳۹۵
الیاف شماره دو ۰/۲	۴۷۱۷

همانطور که از نتایج مشخص است، در آزمایش خزش دینامیکی هم سولفورپلیمر با مقدار ۵۰ درصد جایگزینی، بیشترین افزایش مقاومت را داشته است. در مرتبه‌های بعدی الیاف شماره دو با مقدار مصرف ۰/۲ درصد وزنی مخلوط آسفالتی و الیاف شماره یک با مقدار مصرف ۰/۱ درصد وزنی

نتایج آزمایش شیارشدگی

عمق شیارشدگی هر یک از نمونه‌ها بعد از ۱۰۰۰۰ عبور چرخ بدست آورده شد، سپس متوسط عمق شیار برای هر یک از ماده- درصدها بدست آورده شد. جدول متوسط عمق شیار هر یک از ماده- درصدها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱. نتایج آزمایش شیارشدگی (ویلتراک هامبورگ)

نمونه‌ها	متوسط عمق شیارشدگی نمونه‌ها (میلی متر)
شاهد	۴/۳۵
الیاف شماره یک ۰/۰۵	۳/۴۸
الیاف شماره یک ۰/۰۷۵	۲/۵۷
الیاف شماره یک ۰/۱	۲/۰۹
الیاف شماره دو ۰/۱	۳/۶۱
الیاف شماره دو ۰/۱۵	۲/۷۴
الیاف شماره دو ۰/۲	۲/۱۸

بیشتری نسبت به الیاف شماره دو حاصل می‌شود که این موضوع می‌تواند مربوط به ساختار و نوع مواد بکار رفته در این الیاف باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات عملکردی مشخص شد که در آزمایشات شکست نمونه‌ی نیم دیسک خمشی در دمای معتدل، خستگی بارگذاری کشش غیرمستقیم و شیارشدگی، الیاف شماره یک با مقدار مصرف ۰/۱ درصد وزنی مخلوط آسفالتی بهترین عملکرد را داشته است و در واقع بیشترین افزایش مقاومت را ایجاد کرده است. در آزمایش خزش دینامیکی، الیاف شماره دو با مقدار مصرف ۰/۲ درصد وزنی مخلوط آسفالتی بهترین عملکرد را داشته است و بیشترین افزایش مقاومت را بدنبال داشته است. این اختلاف نسبت به سایر نتایج می‌تواند ناشی از شرایط آزمایش باشد. با توجه به این موارد می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد آسفالت‌های اصلاح شده با الیاف شماره یک بهتر از آسفالت‌های اصلاح شده با الیاف شماره دو است. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی با مقادیر بیشتر از مقادیر استفاده شده در این پژوهش انجام شود تا اثر آن‌ها مشخص شده و در صورتیکه حداکثری برای افزایش مقاومت وجود دارد، مشخص شود. پیشنهاد می‌شود تا مقادیر مختلف هر دو الیاف بطور همزمان در مخلوط آسفالتی بکار رود تا اثر آن مشخص شود. همچنین ترکیبات این الیاف با سایر مواد افزودنی هم مورد ارزیابی قرار گیرد.

۴- پی‌نوشت‌ها

1. Universal Testing Machine

۵- مراجع

- طباطبایی، الف.، (۱۳۷۶)، "روسازی راه"، تهران، مرکز نشر دانشگاهی.
- فخری، م. و فرخی، م.، (۱۳۸۹)، "بررسی نحوه‌ی گسترش ترک‌های بالا به پایین در روسازی‌های آسفالتی با استفاده از (TCD) فرضیه مکانیک شکست"، فصلنامه علمی- پژوهشی عمران مدرس، دوره دهم، شماره سه.
- هوانگ، ه.، (۱۳۹۲)، "آنالیز و طراحی روسازی" ترجمه نخعی، م. و دولت‌پور، ا.، تهران، نوآور.

مخلوط آسفالتی قرار دارند. جدول ۱۰ نسبت متوسط سیکل بارگذاری نمونه‌های اصلاح شده را به متوسط سیکل بارگذاری نمونه‌ی شاهد نشان می‌دهد.

جدول ۱۰. نسبت متوسط سیکل بارگذاری نمونه‌های اصلاح شده به متوسط سیکل بارگذاری نمونه‌ی شاهد در آزمایش خزش

دینامیکی

نمونه‌ها	نسبت متوسط سیکل بارگذاری نمونه‌های اصلاح شده به متوسط سیکل بارگذاری نمونه‌ی شاهد
الیاف شماره یک ۰/۰۵	۳/۰۰۹
الیاف شماره یک ۰/۰۷۵	۳/۴۷۹
الیاف شماره یک ۰/۱	۳/۷۴۹
الیاف شماره دو ۰/۱	۳/۰۸۹
الیاف شماره دو ۰/۱۵	۳/۵۵۰
الیاف شماره دو ۰/۲	۳/۸۱۰

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با دو نوع الیاف مورد بررسی قرار گرفتند. جهت بررسی نمونه‌ها از آزمایشات عملکردی شامل شکست نمونه‌ی نیم دیسک خمشی در دمای معتدل، خستگی بارگذاری کشش غیرمستقیم، شیارشدگی و خزش دینامیکی استفاده شد. نمونه‌های ژیراتوری آسفالت با مقادیر مختلف الیاف شماره یک و شماره دو ساخته شدند و آزمایشات عملکردی بر روی آن‌ها انجام شد. الیاف مورد استفاده به صورت شماره یک و شماره دو نامگذاری شدند. مقادیر مصرف الیاف شماره یک ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ درصد وزنی مخلوط آسفالتی و الیاف شماره دو ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد وزنی مخلوط آسفالتی بود. بررسی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که بر روی الیاف شماره دو تاکنون تحقیق صورت نگرفته است. همچنین هیچ مقایسه‌ای بین الیاف شماره یک و شماره دو انجام نشده است و لذا این پژوهش از این حیث نوآوری دارد. نتایج حاکی از آن است که هر دو الیاف باعث بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی شده است. همچنین با افزایش مقدار الیاف اضافه شده به مخلوط آسفالتی، مقاومت افزایش یافته است. بطورکلی با افزودن الیاف شماره یک بهبود

- Fazaeli, H., Samin, Y., Pirnoun, A., Dabiri, A. (2016), "Laboratory and field evaluation of the warm fiber reinforced high performance asphalt mixtures (case study Karaj – Chaloos Road)," *Construction and Building Materials*, Vol. 122, pp. 273–283.
- Golalipoura, A., Jamshidib, E., Niazi, Y., Afsharikiad, Z. and Khademe, M. (2012), "Effect of Aggregate Gradation on Rutting of Asphalt Pavement," *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, Vol. 53, pp. 440-449.
- Jiang, J., Ni, F., Dong, Q., Wua, F., Dai, Y. (2018), "Durability of Innovative Construction Materials and Structures Research on the fatigue equation of asphalt mixtures based on actual stress ratio using semi-circular bending test," *Construction and Building Materials*, Vol. 158, pp. 996–1002.
- Kaloush, K.E., Zeiada, W.A., Biligiri, K.P., Rodezno, M.C. and Reed, J.X. (2010), "Evaluation of fiber-reinforced asphalt mixtures using advanced material characterization tests," *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 38, pp. 400- 411.
- Alrashyadah, E. I. and Abo-Qudais, S. A. (2018), "Modeling of creep compliance behavior in asphalt mixes using multiple regression and artificial neural networks." *Construction and Building Materials*, Vol. 159, pp. 635–641.
- Alsheyab, M. A.T., Khedaywi, T. S. (2017), "Dynamic creep analysis of Electric Arc Furnace Dust (EAFD) – Modified asphalt." *Construction and Building Materials*, Vol. 146, pp. 122–127.
- Ashish, P.K., Singh, D., Bohmb, S. (2016), "Evaluation of rutting, fatigue and moisture damage performance of nanoclay modified asphalt binder," *Construction and Building Materials*, Vol. 113, pp. 341-350.
- Behbahani, H., Mohammad Aliha, M. R., Fazaeli, H. and Aghajani, S. (2013), "Experimental Fracture Toughness Study for Some Modified Asphalt Mixtures," *Advanced Materials Research*, Vol. 723, pp. 334-337.
- Cleven, M.A. (2000), "Investigation of the properties of carbon fiber modified asphalt mixtures." Michigan Technological University.
- Fakhri, M., Hosseini, S.A. (2017), "Laboratory evaluation of rutting and moisture damage resistance of glass fiber modified warm mix asphalt incorporating high RAP proportion," *Construction and Building Materials*, Vol. 134, pp. 626–640.