Archive of SID.ir

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و یکم، دوره اول، شماره ۷۸، بهار ۱۴۰۳

ارزیابی تاثیر فیبرهای بازیافتی بر خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی قیر

مقاله علمی – پژوهشی

سارا چوبدار*، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sara_choubdar@civileng.iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹– پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

صفحه ۴۱۵-۴۰۱

چکیده

قیمت قیر به دلیل افزایش قیمت نفت و افزایش حجم ترافیک در سراسر جهان به طور چشمگیری افزایش یافته است. این وضعیت باعث شده است که استفاده از قیر با ویسکوزیته بیشتر، قیر کم‌هزینه برای ساخت روسازی و توسعه مواد جایگزین که اثر رئولوژیکی خوبی داشته باشند، بیشتر مورد توجه قرار گیرد و تأثیر منفی کمتری بر سلامت انسان و محیط‌زیست داشته باشند. کاربرد الیاف در مخلوط های آسفالتی در چند دهه گذشته برای بهبود عملکرد روسازی در سراسر جهان مورد مطالعه قرار گرفته است. این مطالعه بر روی سه نوع قیر انجام شد که با دو نوع الیاف اصلاح شدند: الیاف پشم بازیافتی قهوه ای [۱](BRWF) که به صورت محلی در کشور موجود است و الیاف پلی استر [۲](PF) که به عنوان ضایعات در نظر گرفته می شود، برای تولید قیرهای اصلاح شده با الیاف مورد استفاده قرار گرفت. خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی قیرهای اصلاح شده با استفاده از تست‌های فیزیکی سنتی (نفوذ، نقطه نرمی، و تست‌های ویسکوزیته چرخشی) و همچنین تست رئومتر برشی دینامیکی (DSR[۳]) مورد ارزیابی قرار گرفت. در مقایسه با قیرهای اصلی، قیرهای تقویت‌شده با الیاف دارای نقطه نرمی، ویسکوزیته و مدول مختلط بیشتر بودند، اما نفوذ آنها کاهش یافت. نتایج آزمایشات نشان داد که استفاده از هر دو نوع الیاف به‌عنوان اصلاح‌کننده برای قیر، عملکرد آنها را در دمای بالا با افزایش یک درجه عملکردی (PG[۴]) بهبود می‌بخشد. افزایش سفتی قیر برای افزایش مقاومت شیارشدگی روسازی پیش بینی می شود. در نتیجه، این الیاف را می توان به عنوان افزودنی برای قیر و مخلوط آسفالت برای افزایش عملکرد آنها استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: الیاف پشم بازیافتی قهوه‌ای، الیاف پلی استر، شیار، قیر، قیر اصلاح شده

۱-مقدمه

الیاف به طور فزاینده ای در مطالعات علمی و عملکرد فنی با توسعه اقتصاد مدرن استفاده می‌شوند. هنگامی که صحبت از افزایش طول عمر قیر به میان می‌آید، استفاده از الیاف به عنوان تقویت کننده اغلب می‌تواند مزایای اقتصادی و عملکرد بیشتری را ارائه دهد. بسیاری از محققان در زمینه مهندسی راه، مخلوط‌های آسفالت تقویت‌شده با الیاف مختلف را مورد مطالعه قرار داده‌اند و کشف کرده‌اند که الیاف طبیعی و مصنوعی ممکن است به طور قابل‌توجهی عملکرد قیر و مخلوط‌های آسفالتی را بهبود بخشند. الیاف عمدتاً در مخلوط‌های آسفالتی با قیر مخلوط می‌شوند و این دو با هم نقش مهمی در مخلوط‌های آسفالتی دارند. برخی تحقیقات نشان می‌دهد که تأثیر الیاف بر روی قیر ارتباط نزدیکی با تأثیر بر مخلوط آسفالت دارد (ژو و همکاران، ۲۰۱۰; ونگ و همکاران، ۲۰۱۷). اثرات ویژگی‌های الیاف (طول، چسبندگی، جذب، و تورم) بر روی قیر پیچیده است. الیاف به قیر اضافه می شود تا ویژگی‌های ویسکوالاستیک آن را بهبود بخشد، به عنوان مثال، افزایش ویسکوزیته و سفتی قیر. الیاف معمولاً در مخلوط‌های آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای و مخلوط‌های با دانه بندی شده باز استفاده می‌شوند تا از ریزش قیر در طول

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

اختلاط و تراکم جلوگیری کنند. الیاف می‌توانند قیر را با تشکیل یک شبکه سه بعدی و جذب قیر و چسبیدن به مخلوط تقویت کنند. الیاف همچنین می‌توانند مقاومت در برابر رطوبت، مقاومت در برابر خستگی، مقاومت در برابر شیار و انطباق با خزش را بهبود بخشند (چن و همکاران، ۲۰۱۹; گو و همکاران، ۲۰۱۴). متداول ترین تکنیک‌ها جهت ارزیابی تأثیر الیاف مبتنی بر سلولز بر ویژگی‌های فیزیکی و رئولوژیکی قیر، آنالیز دمای پایین با رئومتر پرتو خمشی (BBR)[5] و سطوح متوسط/درجه حرارت بالا با استفاده از رئومتر برشی دینامیکی (DSR) است. هنگامی که انواع مختلف الیاف سلولزی در دماهای پایین به قیرها معرفی شدند، ادبیات نشان داد که قیرها سفتی را افزایش می‌دهند. از سوی دیگر، الیاف لاستیکی شده قادر به کاهش سفتی در همان مطالعه نشان داده شد. یک مطالعه نشان داد که مدول برشی پیچیده ترکیب قیر با الیاف در دماهای متوسط و بالا افزایش می‌یابد که ممکن است منجر به افزایش مقاومت شیاردار برای قیرها و مقیاس گسترده در مخلوط‌ها شود. علاوه بر این، گنجاندن الیاف مختلف، زاویه فاز قیرها را کاهش داد و مولفه الاستیک ویژگی ویسکوالاستیک قیرها را افزایش داد (چنگ و همکاران، ۲۰۱۸). Ye و همکاران (یه و همکاران، ۲۰۰۹) خواص رئولوژیکی قیر تقویت شده با الیاف را بررسی کردند. الیاف سلولزی، الیاف پلی استر و الیاف معدنی به عنوان مواد افزودنی با غلظت های ۰,۱، ۰,۳، ۰,۵ و ۱ درصد وزنی قیر استفاده شد. نتایج تجربی نشان داد که ویسکوزیته و مدول برشی پیچیده (G*) قیرهای تقویت‌شده با الیاف با افزودن الیاف، به‌ویژه الیاف پلی استر، افزایش یافته است، که نشان می‌دهد استفاده از افزودنی‌های الیاف می‌تواند سفتی قیرها را افزایش دهد. بخش الاستیک رفتار ویسکوالاستیک قیر نیز با افزودن الیاف تقویت شد که با کاهش زاویه فاز (δ) نشان داده می‌شود. Muniandy و همکاران (۲۰۰۸) تحقیقی برای تعیین خواص رئولوژیکی قیر اصلاح شده با الیاف انجام داد. مطالعه‌ای برای استفاده از تعداد زیادی درخت خرمای روغنی برای تولید الیاف سلولزی برای استفاده به عنوان یک افزودنی به قیر انجام شد. درصد شاهد (۰٪) و پنج درصد الیاف (۰,۰۷۵، ۰,۱۵، ۰,۲۲۵، ۰,۳، و ۰,۳۷۵٪) وزن کل مخلوط با قیر استفاده شد. نتایج نشان داد که الیاف عملکرد رئولوژیکی قیر را افزایش می دهد. نمونه شاهد، که به عنوان PG58 طبقه بندی شد، به PG76 با ۰,۳۷۵٪ فیبر خرما ارتقا یافت. چنگ و همکاران (۲۰۱۸) خواص قیر اصلاح شده با الیاف ساقه ذرت را بررسی کرده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن الیاف ساقه ذرت باعث بهبود خواص فیزیکی و رئولوژیکی قیر اصلاح شده، به ویژه در دماهای سرویس بالا می شود. الیاف به طور گسترده در مخلوط آسفالت ماتریس سنگی (SMA)[6] در روسازی آسفالت مورد استفاده قرار گرفت. تأثیر فیبر در SMA اغلب به عنوان تثبیت و جذب آسفالت در نظر گرفته می شود تا از ریزش قیر از مخلوط جلوگیری شود. در نتیجه، این مطالعه یک کار تجربی آزمایشگاهی برای بررسی چگونگی تأثیر الیاف پشم بازیافتی و الیاف پلی استر بر خواص سه قیر (85/100، ۶۰/۷۰، و PG76) است. معمولاً از الیاف برای تقویت فاز قیر استفاده می شود و مقدار بهینه آن به شدت به انواع الیاف مورد استفاده بستگی دارد. علاوه بر این، با در نظر گرفتن ملاحظات هزینه، تعیین غلظت الیاف مناسب که ویژگی‌های قیر را تا حد مطلوبی افزایش می‌دهد، ضروری است. در نتیجه، این تحقیق با هدف تعریف ویژگی‌های فیزیکی قیر اصلاح‌شده با الیاف بازیافتی، ارزیابی تأثیر الیاف بر خواص رئولوژیکی قیر و تعیین غلظت بهینه الیاف در قیر می‌باشد.

۲-مواد و مصالح

۲-۱-قیر

در این تحقیق از انواع قیر استفاده شده است که توانایی این الیاف در مقاومت در برابر بارهای ناشی از ترافیک مورد توجه قرار گیرد. قیر درجه نفوذ (۸۵-۱۰۰) ضعیف‌ترین نوع در بین طبقه بندی مورد استفاده علیرغم اینکه هیچ گونه تغییری ندارد در نظر گرفته می‌شود. از آن برای به دست آوردن اثر واقعی افزودنی های فیبر استفاده شد. قیرهای با درجه نفوذ ۶۰-۷۰ و قیر با درجه عملکرد PG76 در این تحقیق برای درک بیشتر الیاف روی قیرهای مختلف استفاده شد. جدول ۱ خواص فیزیکی سه قیر پایه مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۱. خصوصیات قیر خالص استفاده‌شده

خصوصیات	روش آزمایش	قیر ۶۰/۷۰	۸۵-۱۰۰	PG76
وزن مخصوص در ۲۵ درجه سانتی‌گراد	ASTM D-70	۱/۰۱۴۲	۱,۰۳۷	۱,۰۳
درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد	ASTM D-5	۶۵	۸۵	۳۲,۵
نقطه نرمی (درجه سانتی‌گراد)	ASTM D-36	۵۲,۵	۴۶	۷۴,۵
انگمی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد	ASTM D-113	+۱۰۰	+۱۰۰	+۱۰۰
نقطه اشتعال	ASTM D-92	۲۷۰	–	–
ویسکوزیته	–	۲۶۵	۲۹۸,۶	۱۵۴۲,۶

۲-۲-افزودنی‌ها

دو نوع فیبر به عنوان افزودنی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲-۱-فیبر پشمی بازیافتی قهوه ای

پشم یک الیاف پروتئینی است که در پوست گوسفند یافت می‌شود و سپس الیاف حیوانی نامیده می‌شود. نوعی پشم ظریف است که به عنوان کاربرد درجه دوم استفاده می شود که به طور گسترده در بازارهای بین المللی و محلی موجود است. پشم قبل از شروع استفاده در آزمایشگاه به روش خشک بازسازی و تمیز شد. جدول ۲ خواص فیزیکی الیاف پشم بازیافتی قهوه‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی الیاف پشمی بازیافتی قهوه‌ای

خصوصیات	نتایج آزمایش
رنگ	قهوه ای
درجه	بازیافتی
الگو	صاف
وزن مخصوص	۱,۱۳
درصد رطوبت	۱۳-۱۶٪
مقاومت	گرم در روز ۱,۳۵
قطر	میکرون و نازکتر ۱۹,۵

۲-۲-۲-فیبر پلی استر

الیاف پلی استر یک ساختار شبکه سه بعدی را تشکیل می‌دهند که عمدتاً نقش تقویت کننده‌ای در افزایش ضخامت لایه آسفالتی برای سطح سنگدانه ایفا می‌کند. علاوه بر این، این نوع افزودنی استحکام پیوند بین سنگدانه و آسفالت را افزایش می‌دهد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). جدول ۳ شاخص‌های فنی الیاف پلی استر را نشان می‌دهد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی الیاف پلی استر

خصوصیات	نتایج	حدود استاندارد
طول (میلی‌متر)	۱۲	≻۳
قطر (میکرومتر)	۲۰	۲۵-۱۵
مقاومت (مگاپاسکال)	۶۹۰-۵۰۰	≻۵۰۰
تغییر طول (درصد)	۳۵-۱۵	≻۱۵
مدول یانگ (گیگاپاسکال)	بیشتر از ۱۳,۵	-
نسبت	۱,۳۶	۱,۴--۱,۳
دمای ذوب	۲۵۹	≻۲۵۸

الیاف پلی استر مورد استفاده در این مطالعه عمدتاً ضایعات یا استفاده شده درجه II و زیست تخریب پذیر نیستند. از آنجایی که این افزودنی در بالش‌های پزشکی پلی استر پس از تمیز کردن و شست و شو به روش خشک برای اطمینان از عدم تغییر خواص مکانیکی و شیمیایی آن‌ها استفاده می‌شود و از آنجایی که ساخت روسازی آسفالتی در کشور به سرعت در حال رشد است، استفاده از این بالش‌ها الیاف، که به صورت انبوه تولید می‌شوند، منجر به مشکل دفع می شوند که منجر به نگرانی‌های زیست محیطی در مخلوط‌های آسفالتی مورد نیاز برای اکتشاف به نفع روسازی و محیط زیست می‌شود.

۲-۳- آماده سازی نمونه‌های قیر اصلاح شده

از اختلاط مرطوب در این مطالعه استفاده شد، زیرا ایت تحقیق بر روی عملکرد قیرهای اصلاح شده با الیاف متمرکز شده است. در نتیجه، الیاف به طور مستقیم با قیر مخلوط شد. اختلاط مرطوب همچنین دارای مزیت توزیع یکنواخت الیاف در قیر در مقایسه با اختلاط خشک است. اشکال آن این است که اگر قیر با اختلاط مرطوب یک بار به درستی استفاده نشود، الیاف و آسفالت پس از مدتی در انبار جدا می شوند. در بیشتر موارد، تکنیک اختلاط مرطوب نیز زمان و هزینه فرآیند ساختمان را افزایش می‌دهد (بای و همکاران، ۲۰۱۵).

قیرهای اصلاح شده با الیاف از طریق اختلاط الیاف با قیر توسط یک میکسر با برش بالا با چرخش حدود ۱۰۰۰ دور در دقیقه در ۱۶۰ به دست آمد. درصدهای الیاف ۰,۱۵، ۰,۳، ۰,۴۵ و ۰,۶ درصد وزنی قیر برای پشم بازیافتی قهوه ای بود. الیاف، در حالی که درصد الیاف پلی استر مورد استفاده ۰,۵، ۱,۰، ۱,۵ و ۲,۰ درصد وزن قیر بود. فرآیند اختلاط به مدت ۳۰ دقیقه حفظ شد تا یک ترکیب یکنواخت در حالی که دمای ترکیب ۱۶۰ درجه سانتیگراد ثابت نگه داشته شود. برای جلوگیری از تاثیر معکوس گرمای بیش از حد، دما از طریق یک دماسنج دوتایی به دقت کنترل شده است. نمونه پس از اتمام از قوطی اختلاط خارج می شود، به یک ظرف فلزی کوچک تقسیم می‌شود و سپس برای آزمایش های بعدی در دمای اتاق نگهداری می‌شود. با توجه به شرایط دما و چرخش، فرآیندهای ترکیب الیاف با قیر باعث پیری در نمونه های قیر اصلاح شده می‌شود. نمونه کنترل نیز به مدت ۳۰ دقیقه در دمای میکسر در میکسر منتقل شد تا این شرایط برای قیرهای کنترل تکرار شود و نمونه ها در شرایط مساوی مقایسه شوند.

۳- روش آزمایشگاهی

۳-۱- آزمایش قیر

۳-۱-۱- درجه نفوذ

آزمایش درجه نفوذ در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد پر استفاده ترین روش برای طبقه بندی قیر در سراسر جهان است. آزمون شامل اندازه گیری نفوذ عمودی یک سوزن فولادی استاندارد شده در یک نمونه قیر در دمای خاص برای تعیین قوام قیر است. مدت زمان بارگذاری ۵ ثانیه و بار سوزن ۱۰۰ گرم است. عمق نفوذ سوزن در نمونه قیر ۰,۱ میلی متر است. بنابراین

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

واحد نفوذ ۰٫۱ میلی متر است. نفوذ یک نمایش عددی از واکنش قیر به تغییرات دما است.

۳-۱-۲- آزمایش نقطه نرمی

پایداری حرارتی قیر با نقطه نرم شدن آن نشان داده می‌شود. به این معنی است که هر چه نقطه نرم شدن قیر بیشتر باشد، دمای لازم برای دستیابی به ویسکوزیته یکسان بالاتر است. نقطه نرم‌شدن در توصیف ترکیبات قیر در این مطالعه برای بررسی تأثیر افزودنی‌های فیبر مختلف بر پایداری حرارتی گنجانده شد. آزمون مستلزم تعیین دمای "معمولی" است که در آن آسفالت به قوام خاصی می‌رسد. تکنیک حلقه و توپ اغلب برای ارزیابی نقطه نرم شدن قیر (R&B) استفاده می‌شود. نقطه نرمی نیز یک آزمایش تجربی است که دمایی را اندازه گیری می‌کند که در آن قیر نرم می‌شود و وزن یک توپ فلزی را تحمل نمی‌کند و شروع به جریان می کند. حلقه‌ها و مجموعه در یک حمام آب تا عمق ۱۰۵±۳ میلی‌متر قرار می‌گیرند، یک بلبرینگ فولادی ۹٫۵ میلی‌متری (وزن ۰٫۰۵ ± ۳٫۵۰ گرم) در مرکز هر نمونه قرار می‌گیرد و دما با نرخ ۵±۵ افزایش می‌یابد. ۰٫۵ درجه سانتیگراد در دقیقه میانگین دو درجه حرارتی که در آن دو توپ می‌افتند و صفحه پایه را لمس می‌کنند به عنوان نقطه نرم شدن ثبت می‌شود.

۳-۱-۳-ویسکوزیته قیر

ویسکوزیته قیر یک ویژگی فیزیکی ضروری برای تعیین جریان پذیری و تغییر شکل آن است. با ایجاد پروفایل‌های ویسکوزیته-دما، ارزیابی رفتار جریان قیر در دماهای بالا هنگام نظارت بر تولید میدان و طراحی آزمایشگاهی همیشه مفید است. در محدوده دمای بالا تولید و ساخت، از ویسکومتر چرخشی (RV) برای تعیین ویسکوزیته قیر استفاده می‌شود. تست RV پایه، گشتاور مورد نیاز برای چرخش یک دوک استوانه‌ای با سرعت ثابت (۲۰ RPM) را در حالی که در قیر در دمای ثابت با استفاده از سیستم کنترل دما غوطه‌ور می‌شود، تعیین می‌کند. پس از آن، گشتاور به ویسکوزیته تبدیل می‌شود. نتایج آزمایش RV تضمین می‌کند که بایندر آسفالت به اندازه کافی سیال برای پمپاژ و مخلوط کردن است. ویسکوزیته چرخشی قیر با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد به دنبال AASHTO T316 اندازه گیری شد. تست ویسکوزیته چرخشی بر روی قیر انجام می شود تا اطمینان حاصل شود که می‌توان آنها را پمپ کرد و در تاسیسات اختلاط داغ جابجا کرد. ویسکوزیته در دمای ثابت ۱۳۵ درجه سانتی گراد تعیین شد.

۳-۱-٤-آزمایش جاروب دما

آزمون DSR برای بررسی ویسکوزیته و کشسانی قیرها در دماهای بالا و متوسط استفاده شد. در دماها و فرکانس‌های مورد نظر، دستگاه مدول برشی پیچیده قیر (G*) و زاویه فاز (δ) را کنترل می‌کند و تصویر کاملی از رفتار قیر در دمای سرویس روسازی ارائه می‌دهد. برای تعیین مدول برشی پیچیده (G*) و زاویه فاز (δ) قیر از یک رئومتر برشی دینامیکی بولین (DSR) استفاده شد. مدول پیچیده به عنوان نسبت حداکثر تنش برشی به حداکثر کرنش برشی تعریف می‌شود و معیاری از مقاومت کل در برابر تغییر شکل در طول بارگذاری برشی را ارائه می‌دهد. زاویه فاز به عنوان فاصله زمانی بین تنش اعمال شده و کرنش حاصل تعریف می‌شود و نشانگر مقادیر نسبی تغییر شکل قابل بازیابی و غیرقابل بازیافت است. آزمایش بر روی قیر پیر نشده انجام می‌شود. نمونه‌ها باید بین دو صفحه موازی به قطر ۲۵ میلی‌متر با شکاف ۱ میلی‌متر برای اندازه‌گیری توسط DSR در دماهای آزمایش بالا قرار داده شوند. روش آزمایش درAASHTO T315 توضیح داده شده است. تنش در سطح پایین (۰٫۱۲ کیلو پاسکال) هدایت شده است تا تمام آزمایش‌هایی که در محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شده‌اند حفظ شود. علاوه بر این، ضریب شیار (G*/sinδ) برای اندازه‌گیری مقاومت برشی و سختی قیر محاسبه شد. با توجه به مشخصات Superpave، برای به حداقل رساندن تغییر شکل دائمی (شیارشدگی)، پارامتر شیارشدگی (G*/sinδ) باید بزرگتر یا برابر با ۱٫۰۰ کیلو پاسکال برای قیر پیر نشده باشد.

٤-بحث

٤-۱-نتایج آزمایشات فیزیکی قیر

آزمایش‌های مرسوم مانند نفوذ (ASTM D5)، نقطه نرم شدن (ASTM D36) و ویسکوزیته (ASTM D4402) برای قیر بدون و با افزودنی‌های فیبر انجام شد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

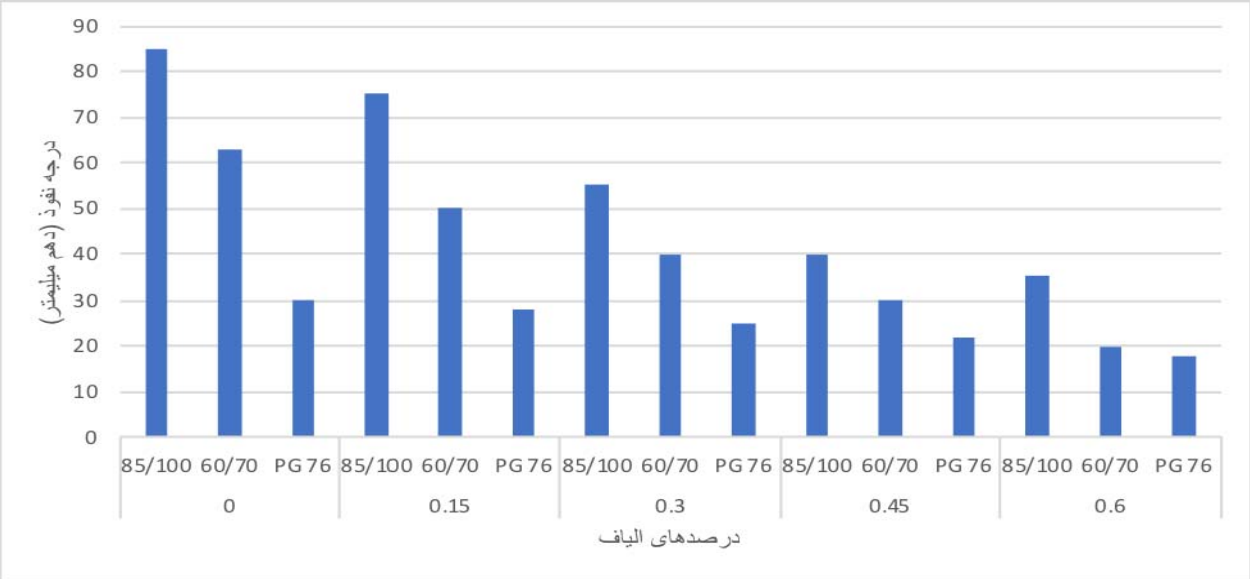
٤-١-١-نتایج آزمایش درجه نفوذ

نفوذ یک آزمایش سنتی برای تعیین سختی قیر است. میانگین سه قرائت برای بدست آوردن مقدار نفوذ استفاده شد. نتایج آزمایش نفوذ برای قیرهای اصلاح‌شده با الیاف در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. از این شکل‌ها می‌توان دریافت که با افزایش درصد اصلاح‌کننده‌ها، مقدار نفوذ کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده افزایش قوام قیر است، صرف نظر از از نوع طبقه بندی علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که قیرهای اصلاح‌شده با الیاف پلی‌استر دارای ارزش نفوذ بالاتری در مقایسه با نمونه‌های قیر اصلاح‌شده با الیاف پشم بازیافتی قهوه‌ای هستند. در عین حال، الیاف تأثیر ناچیزی بر نفوذ قیر PG76 داشتند. تقریباً به این دلیل است که قیر PG76 قبلاً پلیمریزه شده است، بنابراین تأثیر الیاف بر روی قیر قابل توجه نبود.

٤-١-٢-نتایج آزمایش نقطه نرمی

نقطه نرم شدن با تغییر شکل دائمی مخلوط های آسفالتی مرتبط است. نتایج آزمون نقطه نرمی برای سه نوع قیر و دو نوع فیبر در شکل ۳ و ٤ نشان داده شده است. با افزایش درصد فیبر، نقطه نرمی افزایش یافت. مقدار افزایش در نقطه نرم شدن تابعی از درصد فیبر است. تغییرات نسبتاً قابل توجهی در مقادیر نقطه نرم شدن در مقایسه با قیر پایه وجود داشت. با این حال، مقادیر نقطه نرم شدن آسفالت با عیار بالا (PG76) اصلاح شده توسط دو الیاف به طور قابل توجهی تغییر نکرد. به طور کلی، مقادیر نقطه نفوذ و نرم شدن یک قیر منعکس کننده ویسکوزیته نسبی آن است. در دماهای بالا، قیرهای با درجه نفوذ کم و نقاط نرم شوندگی بالا ممکن است در برابر تغییر شکل مقاومت کنند.

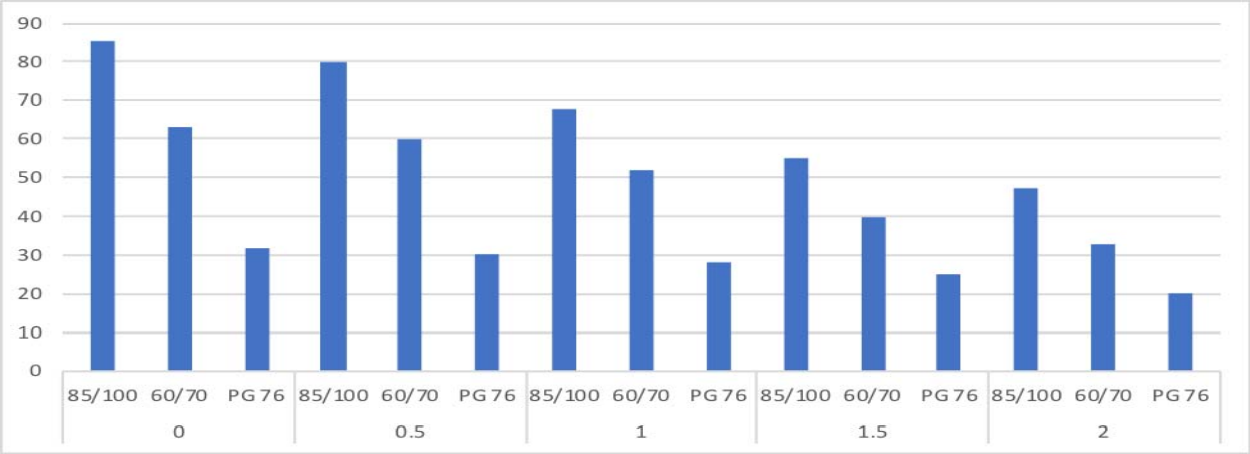
شکل ۵ و ٦ نتایج ویسکوزیته چرخشی نمونه های کنترل و اصلاح شده با فیبر را در دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد در ثانیه پاسکال (Pa s) نشان می‌دهد. مقادیر ویسکوزیته ثابت کرد که قیر حاوی فیبر اصلاح شده، صرف نظر از نوع قیر، مقادیر ویسکوزیته بالاتری نسبت به قیرهای بدون الیاف دارند. افزایش ویسکوزیته ناشی از تمایل الیاف به جذب قیر است که باعث چسبیدن آنها به هم می شود. علاوه بر این، وجود الیاف در قیر اثری مشابه اسکلت در بدن دارد و سختی قیر را افزایش می‌دهد و تغییر شکل را در همان دما کاهش می‌دهد. باعث افزایش دمای اختلاط، کاهش کارایی و افزایش هزینه‌ها می‌شود (کاوو و همکاران، ۲۰۱۸). علاوه بر این، هنگامی که ویسکوزیته قیر افزایش می‌یابد، مقاومت حرارتی مخلوط آسفالتی بهبود می‌یابد و آسیب دمای بالا کاهش می‌یابد (عربانی و همکاران، ۲۰۱۹).



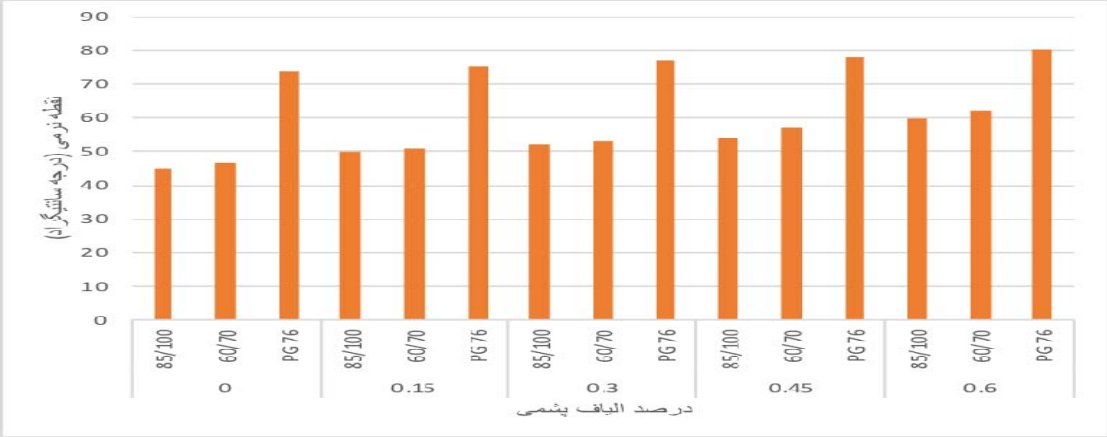
شکل ۱. نتایج آزمون درجه نفوذ نمونه‌های حاوی الیاف پشمی

Archive of SID.ir

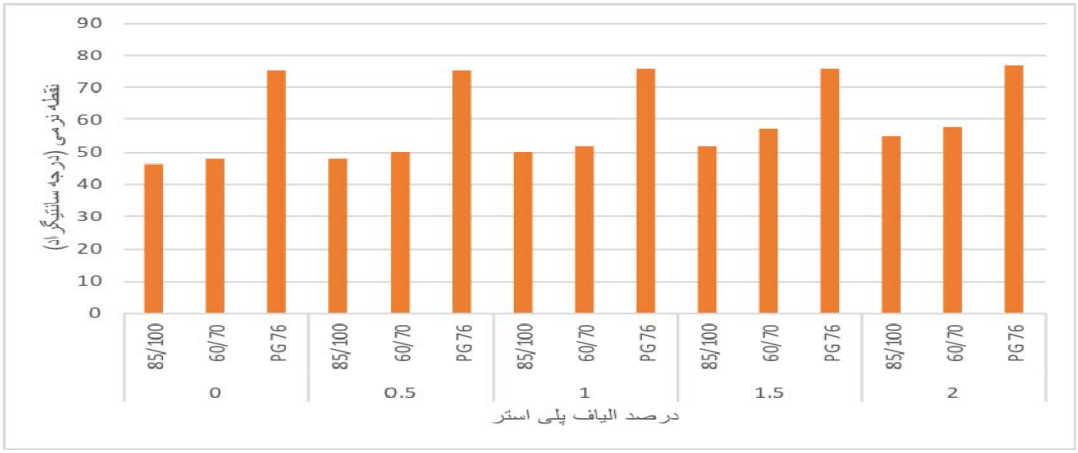
Archive of SID.ir



شکل ۲. نتایج آزمون درجه نفوذ نمونه‌های حاوی الیاف پلی استر



شکل ۳. نتایج آزمون نقطه نرمی نمونه‌های حاوی الیاف پشمی

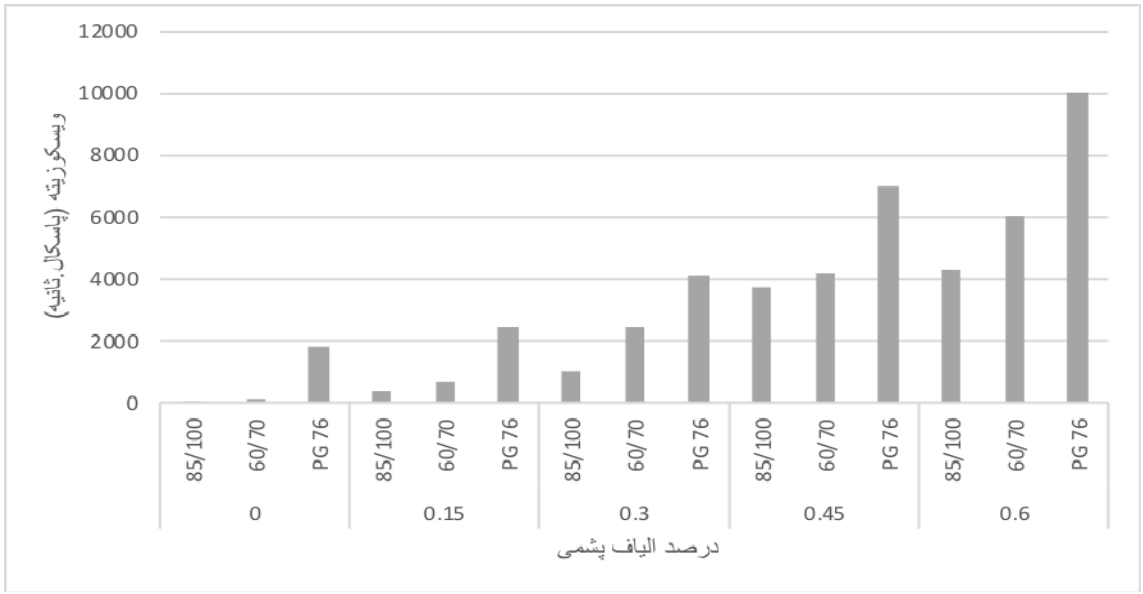


شکل ٤. نتایج آزمون نقطه نرمی نمونه های حاوی الیاف پلی استر

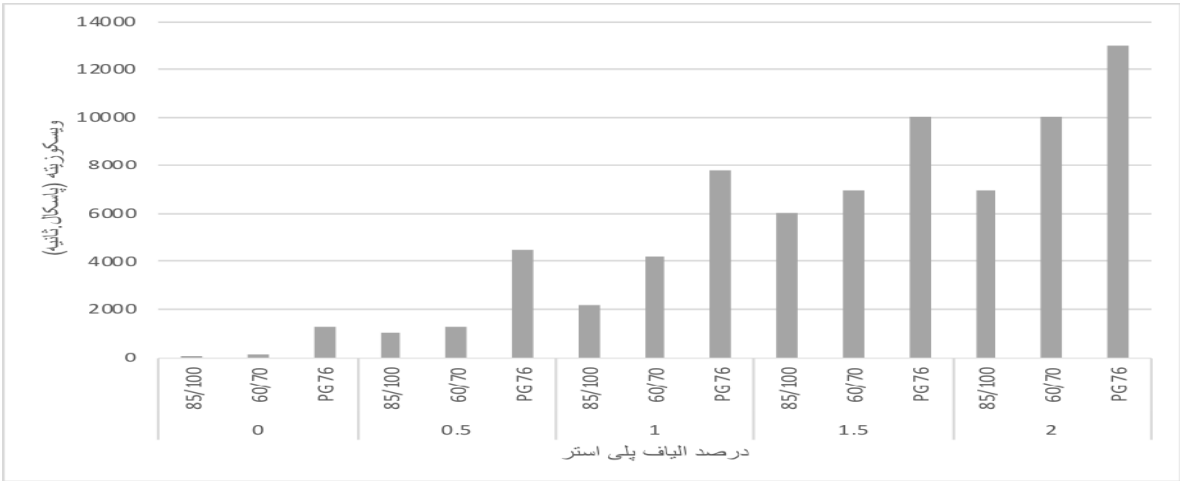
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

قابل توجه است که میزان افزودن الیاف پلی استر در مقایسه با الیاف پشم بازیافتی قهوه‌ای نسبتاً بالا است. احتمالاً می‌تواند به دلیل حلالیت و همگنی بالای پلی استرها در قیر در مقایسه با الیاف پشم بازیافتی قهوه‌ای باشد. از آنجایی که AASHTO 3Pas را به عنوان حد بالایی ویسکوزیته در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد برای سهولت در کارایی، پمپاژ و حمل و نقل در نظر می‌گیرد، قیرهای اصلاح شده با الیاف پشمی بازیافتی قهوه ای با ۰,۳ درصد برای 85-۱۰۰ و ۶۰-۷۰ بایندر و ۰,۱۶ درصد برای PG77. قیرها این استاندارد را رعایت کرده‌اند، در حالی که قیرهای با درصد فیبر بیشتر از این استاندارد برخوردار نیستند. در عین حال، قیرهای اصلاح شده با الیاف پلی استر با ۱,۰٪ برای قیر 85-۱۰۰ و ۰,۵ برای قیر ۶۰-۷۰ این استاندارد را رعایت کرده اند، در حالی که اشاره شد که تأثیر سریع تغییر در درصد وجود دارد. الیاف در مورد قیر PG76 به طوری که با درصد اول فیبر اضافه شده از حد مجاز فراتر رود و این را می‌توان به این دلیل نسبت داد که این قیر در ابتدا توسط پلیمر اصلاح شده و نیاز به اصلاح بیشتری ندارد.



شکل ۵. نتایج آزمون ویسکوزیته نمونه‌های حاوی الیاف پشمی



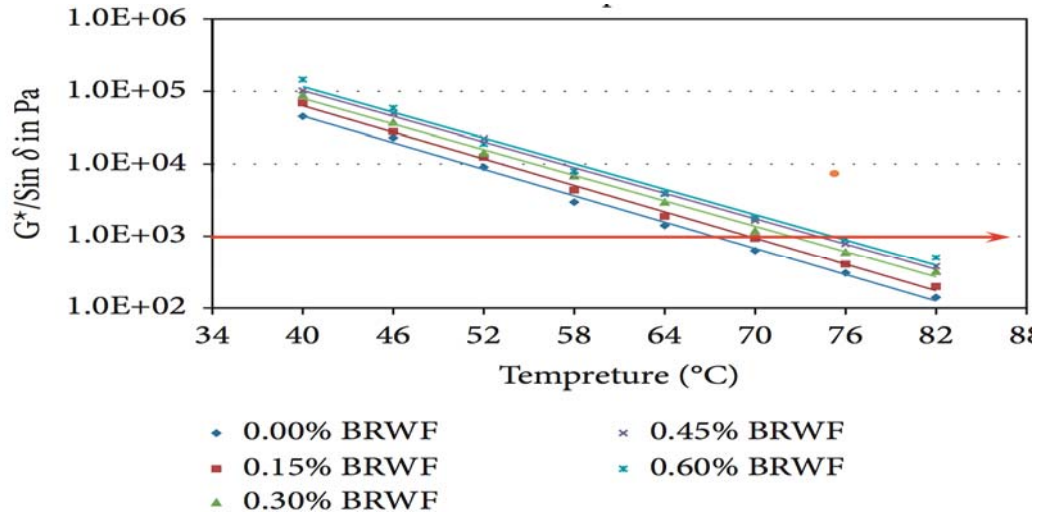
شکل ٦. نتایج آزمون ویسکوزیته نمونه های حاوی الیاف پلی استر

Archive of SID.ir

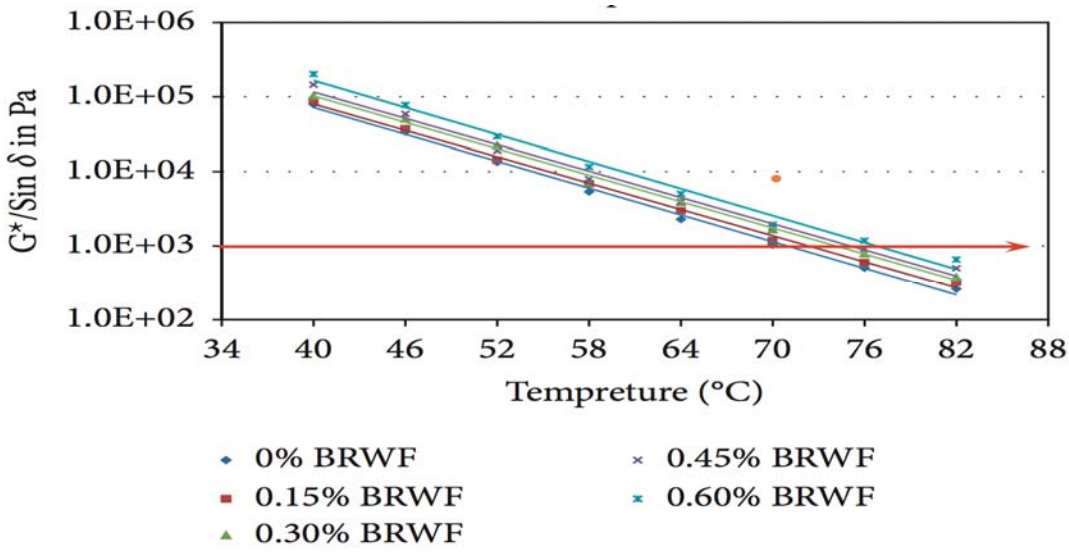
Archive of SID.ir

٤-٢-خصوصیات رئولوژیکی قیر

تاثیر الیاف بر عملکرد در دمای بالا و مقاومت شیاردار قیرها با استفاده از DSR در دمای ٤٠، ٤٦، ٥٢، ٥٨، ٦٤، ٧٠، ٧٦ و ٨٢ درجه سانتی گراد بر روی قیرهای پیر نشده مورد بررسی قرار گرفت. فاکتور شیارشدگی (G*/sin) در آزمایش‌های DSR برای ارزیابی عملکرد آسفالت در دمای بالا استفاده می‌شود. آسفالت زمانی که ضریب شیارشدگی بالاتر از ۱٫۰ کیلو پاسکال باشد نیاز را برآورده می کند. اثر نوع و درصد الیاف برای سه قیر مورد استفاده در این مطالعه بر روی پارامتر شیارگی (G*/sinδ) در دماهای مختلف را می‌توان در شکل‌های ۷ الی ۱۲ به عنوان خروجی آزمایش جاروب دمایی انجام شده بر روی نمونه‌های آسفالت در دمای بالا مشاهده کرد. دمای سرویس از این شکل‌ها می توان دریافت که با افزایش درصد الیاف، بدون توجه به نوع الیاف یا قیر، مخلوط‌ها سفت‌تر می‌شوند.



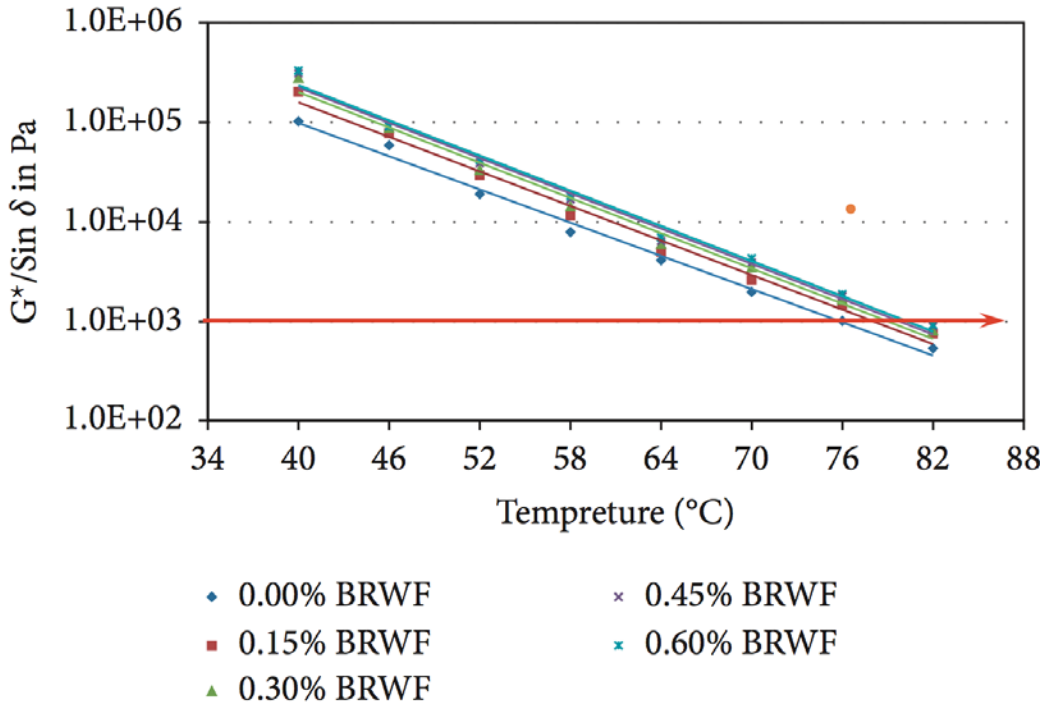
شکل ۷. نتایج آزمایش جاروب دما برای قیر ۱۰۰/۸۵ اصلاح شده با فیبر پشمی بازیافتی قهوه‌ای



شکل ۸. نتایج آزمایش جاروب دما برای قیر ۶۰/۷۰ اصلاح شده با فیبر پشمی بازیافتی قهوه‌ای

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

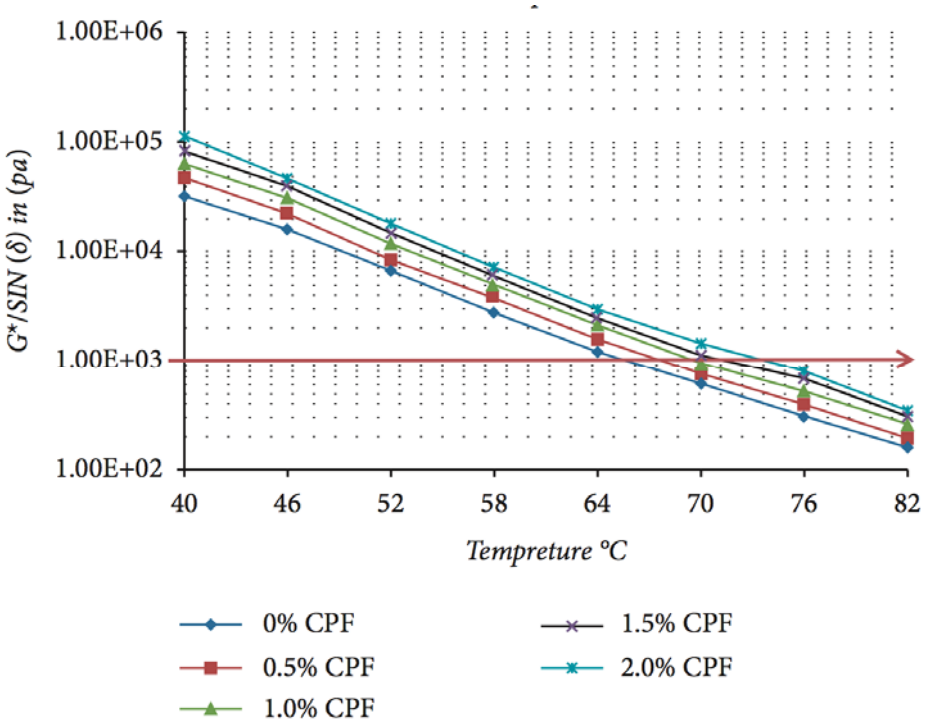


شکل ۹. نتایج آزمایش جاروب دما برای قیر با درجه عملکردی ۷۶ اصلاح شده با فیبر پشمی بازیافتی قهوه‌ای

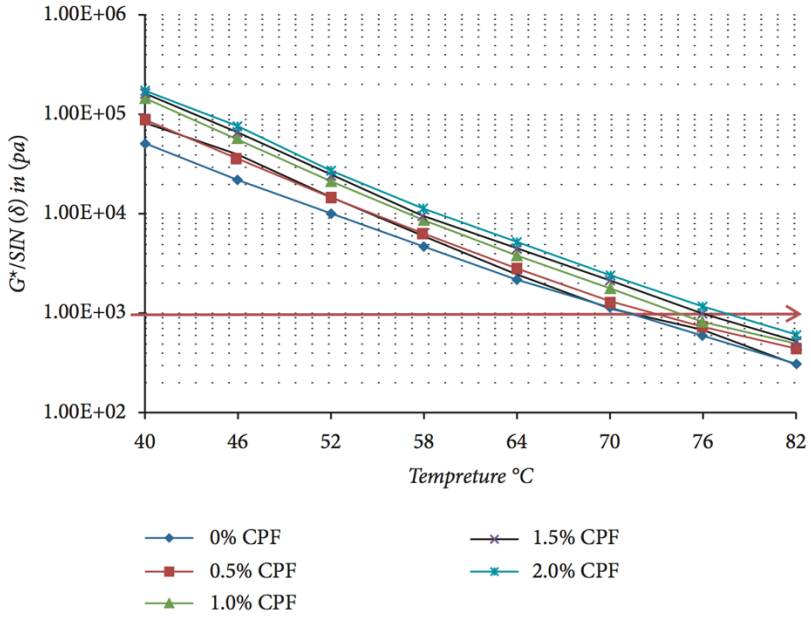
اثر درصد الیاف بر سفتی به الیاف و نوع قیر بستگی دارد. همانطور که در شکل ۱۳ و ۱٤ نشان داده شده است، به ترتیب برای اثر الیاف پشم بازیافتی و الیاف پلی استر مورد ارزیابی قرار گرفت. این شکل‌ها دمای شکست قیرهای اصلاح‌شده با الیاف را در برابر درصد فیبر برای تأثیر هر نوع الیاف و درصد آن بر روی هر نوع قیر نشان می‌دهند. دمای شکست حداکثر دمایی است که معیارهای شیارشدگی را برآورده می‌کند. مشاهده شد که قیر 85-۱۰۰ بیشترین تأثیر را از حضور هر دو الیاف داشت و به دنبال آن قیرهای ٦۰-۷۰ و PG76 قرار گرفتند. برای تأثیر الیاف پشم بازیافتی بر روی قیر ۸۵ -۱۰۰، دمای شکست از ٦٦ درجه سانتی‌گراد (قیر خالص) به ۷۵,٦ درجه سانتی‌گراد در درصد فیبر ۰,٦ درصد افزایش یافت. به معنای افزایش درجه عملکرد قیر تقریباً ۲ پله، از PG64 به PG76 است. در همین حال، اثر بر روی سایر قیرهای (٦۰-۷۰ و PG76) کمتر بود. برای تأثیر الیاف پلی استر بر روی قیر ۸۵-۱۰۰، دمای شکست از ٦٦ درجه سانتیگراد (قیر خالص) به ۷۳ درجه سانتی‌گراد در درصد فیبر ۲,۰ درصد افزایش یافت، به این معنی که درجه عملکرد یک درجه از PG64 به PG70 افزایش یافت. پس از مقایسه دمای شکست به‌دست‌آمده با الزامات Superpave، قیرهای خالص و اصلاح‌شده با الیاف در دسته‌های درجه عملکرد (PG) همانطور که در جداول ٤ و ٥ ارائه شده‌اند، به ترتیب برای الیاف پشم بازیافتی و الیاف پلی استر طبقه‌بندی شدند. به طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های کنترل را می‌توان بسته به نوع و درصد فیبر و همچنین نوع قیر پایه، اصلاح کرد و به درجه‌های PG بالاتر برد. بنابراین، استفاده از این دو الیاف می تواند برای مناطق با شرایط دمای بالا مناسب باشد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



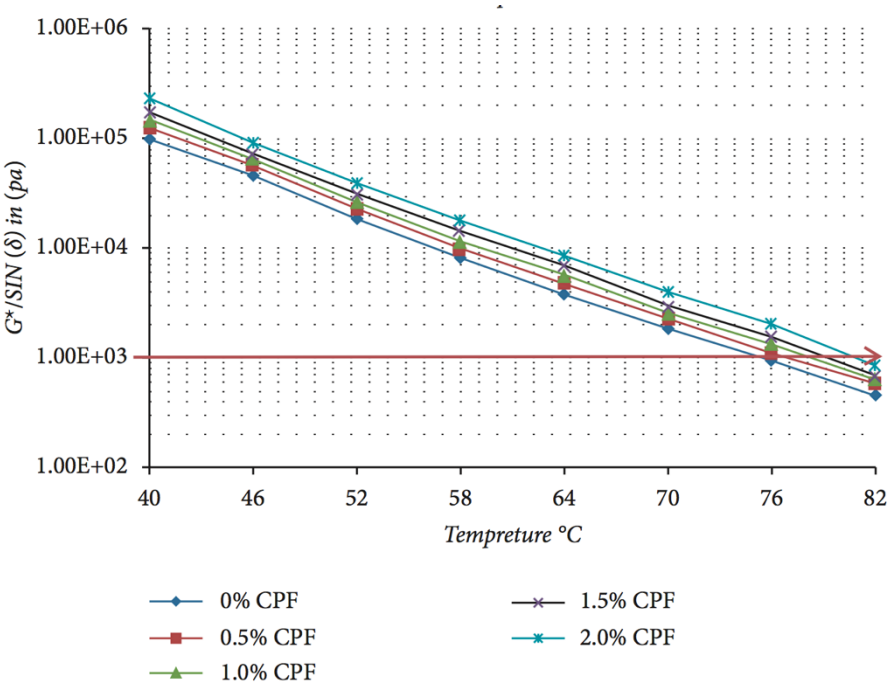
شکل ۱۰. نتایج آزمایش جاروب دما برای قیر ۱۰۰/۸۵ اصلاح شده با فیبر پلی استر



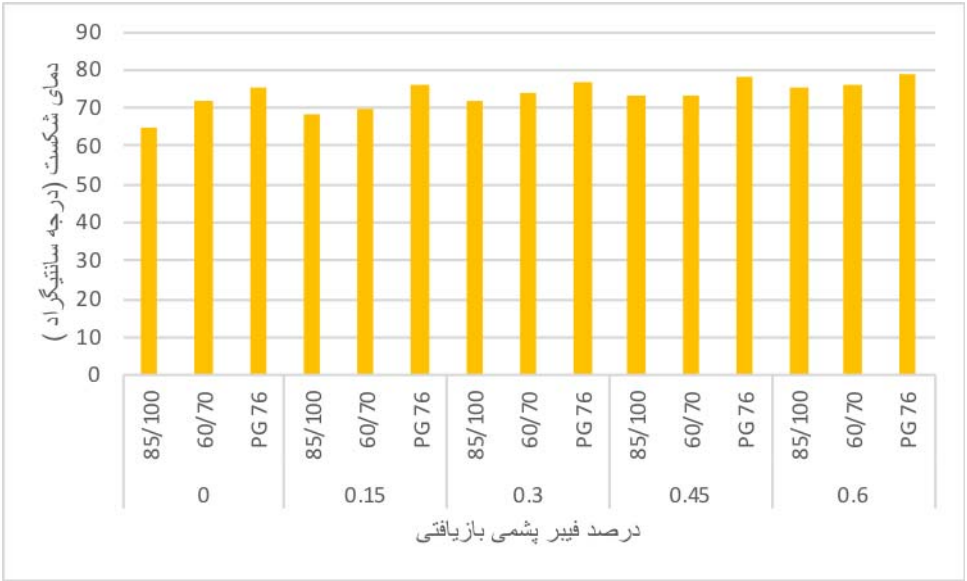
شکل ۱۱. نتایج آزمایش جاروب دما برای قیر ۶۰/۷۰ اصلاح شده با فیبر پلی استر

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



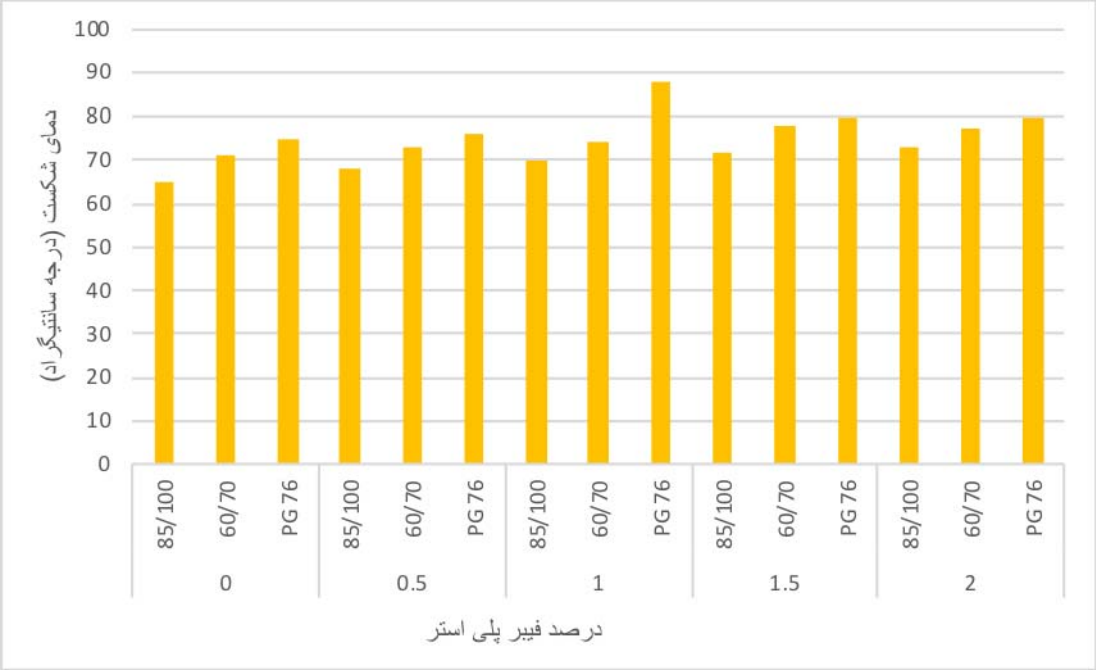
شکل ۱۲. نتایج آزمایش جاروب دما برای قیر با درجه عملکردی ۷۶ اصلاح شده با فیبر پلی استر



شکل ۱۳. دمای شکست برای قیرهای مختلف حاوی فیبر پشمی بازیافتی قهوه‌ای

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۱٤. دمای شکست برای قیرهای مختلف حاوی فیبر پلی استر

جدول ٤. درجه عملکردی بالا فیرهای حاوی الیاف پشمی

نوع قیر	درصد فیبر				
	۰٫۰۰٪	۰٫۱۵٪	۰٫۳۰٪	۰٫٤٥٪	۰٫٦۰٪
۱۰۰-۸۵	PG 64	PG70	PG70	PG70	PG76
۷۰-٦۰	PG70	PG70	PG70	PG70	PG76
PG 76	PG76	PG76	PG76	PG76	PG76

جدول ۵. درجه عملکردی بالا قیرهای حاوی الیاف پلی استر

نوع قیر	درصد فیبر				
	۰٫۰۰٪	۰٫۵٪	٪ ۱	٪۱.۵	٪۲
۱۰۰-۸۵	PG 64	PG64	PG64	PG70	PG70
۷۰-٦۰	PG70	PG70	PG70	PG76	PG76
PG 76	PG76	PG76	PG76	PG76	PG76

۵- نتیجه‌گیری

بر روی نمونه‌های اصلاح‌شده، آزمایش‌های سنتی مانند نقطه درجه نفوذ و نرمی، و همچنین آزمایش‌های SHRP مانند ویسکوزیته چرخشی و رئومتر برشی دینامیکی، برای بررسی و ارزیابی تأثیر استفاده از دو نوع الیاف (الیاف پشم قهوه‌ای بازیافت

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شده و الیاف پلی استر) انجام شد. در قیرها ممکن است منجر به شناخت بهتر قیرهای اصلاح شده با الیاف و به طور کلی مخلوط آسفالت تقویت شده با الیاف شود. و در زیر چند نتیجه گیری کلی وجود دارد:

-برای تمام درصدهای الیاف آزمایش شده، قیرهای اصلاح شده با الیاف نفوذ کمتر و نقطه نرم شدن بیشتری نسبت به قیر کنترل داشتند، که نشان دهنده حساسیت کمتر به نوسانات دما و انعطاف پذیری بهتر در برابر تغییر شکل در دماهای بالا است.

-از آنجایی که نمونه‌های کنترل با افزایش محتوای الیاف به PG بالاتر تغییر یافتند، افزودن الیاف ویژگی‌های رئولوژیکی قیر را افزایش داد.

-نوع الیاف و محتویات آن تأثیر قابل توجهی بر عملکرد قیر در دمای بالا دارد.

-الیاف پشم بازیافتی و الیاف پلی استر چین افزودنی های مناسبی برای افزایش مقاومت قیر و مخلوط آسفالتی در برابر شیار شدن و تغییر شکل دائمی هستند زیرا استفاده از این الیاف در قیرها سفتی و خواص کشسانی آنها را افزایش می دهد.

٦- پی‌نوشت‌ها

1- Brown Recycled Wool Fiber
2- Polyester Fiber
3- Dynamic Shear Rheometer
4- Performance Grade
5- Bending Beam Rheometer
6- Stone Matrix Asphalt

۷- مراجع

-Arabani, M. and A. Shabani (2019). Evaluation of the ceramic fiber modified asphalt binder. *Construction and Building Mate- rials*, Vol. 205, 377–386.

-Bai, B. C., D.-W. Park, H. V. Vo, S. Dessouky, and J. S. Im (2015). ermal properties of asphalt mixtures modified with con- ductive fillers. *Journal of Nanomaterials*, vol. 2015, Article ID 926809, 6 -11.

-Chen, Z., J. Yi, Z. Chen, and D. Feng (2019). Properties of asphalt binder modified by corn stalk fiber. *Construction and Building Materials*, Vol. 212, 225–235.

-Cheng, Y., D. Yu, Y. Gong, C. Zhu, J. Tao, and W. Wang (2018). Laboratory evaluation on performance of eco-friendly basalt fiber and diatomite compound modified asphalt mixture. *Materials*, Vol. 11, No. 12, 2400-2401.

-Cao, X., H. Wang, X. Cao, W. Sun, H. Zhu, and B. Tang (2018).Investigation of rheological and chemical properties asphalt binder rejuvenated with waste vegetable oil. *Construction and Building Materials*, Vol. 180, 455–463.

-Gu, X., T. Xu, and F. Ni, (2014). Rheological behavior of basalt fiber reinforced asphalt mastic. *Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition*, Vol. 29, No. 5, 950–955.

-Muniandy, R., H. Jafariahan, R. Yunus, and S. Hassim (2008). Determination of rheological properties of bio mastic as- phalt. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 1, No. 3, 204–209.

-Wang, X., R. Wu, and L. Zhang (2017). Development and perfor- mance evaluation of epoxy asphalt concrete modified with glass fibre. *Road Materials and Pavement Design*, Vol. 20, No. 3, 715–726.

-Xiang, Y., Y. Xie, and G. Long (2018). Effect of basalt fiber surface silane coupling agent coating on fiber-reinforced asphalt: from macro-mechanical performance to micro-interfacial mechanism. *Construction and Building Materials*, Vol. 179, 107–116.

-Xu, Q., H. Chen, and J. A. Prozzi (2010). Performance of fiber reinforced asphalt concrete under environmental temperature and water effects. *Construction and Building Materials*, Vol. 24, No. 10, 2003–2010.

-Ye, Q., S. Wu, and N. Li. (2009). Investigation of the dynamic and fatigue properties of fiber-modified asphalt mixtures,. *In- ternational Journal of Fatigue*, Vol. 31, No. 10, 1598–1602.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Evaluation of the Effect of Recycled Fibers on Physical and Rheological Properties of Asphalt Binder

Sara Choubdar, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Email: sara_choubdar@civileng.iust.ac.ir

Received: June 2023- Accepted: February 2024

ABSTRACT

Bitumen prices have increased dramatically due to rising oil prices and increased traffic volumes around the world. This situation has caused the use of bitumen with higher viscosity, low-cost bitumen for pavement construction and the development of alternative materials that have a good rheological effect and have less negative impact on human health and the environment. The application of fibers in asphalt mixtures has been studied for the past few decades to improve pavement performance worldwide. This study was carried out on three types of bitumen modified with two types of fibers: brown recycled wool fibers (BRWF), which are locally available in the country, and polyester fibers (CPF), which are considered as waste. It was used to produce bitumen modified with fibers. The physical and rheological properties of modified bitumen were evaluated using traditional physical tests (penetration, softening point, and rotational viscosity tests) as well as dynamic shear rheometer (DSR) test. Compared to the original bitumen, the fiber reinforced bitumen had higher softening point, viscosity and composite modulus, but their penetration decreased. The results of the tests showed that the use of both types of fibers as modifiers for bitumen improves their performance at high temperature by increasing a performance grade (PG). Increasing bitumen stiffness is expected to increase pavement rutting resistance. Consequently, these fibers can be used as additives for bitumen and asphalt mixtures to increase their performance.

Keywords: Brown Recycled Wool Fibers, Polyester Fiber, Rutting, Bitumen, Modified Binder

Archive of SID.ir