

ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد قیر و مخلوط اصلاح شده با نانوسیلیس/گیلسونایت/پلیمر استایرن بوتادین استایرن

مقاله پژوهشی

احسان حسن زاده خباز*، گروه مهندسی مکانیک، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Hasanzadeh.Khabaz@gmail.com

دریافت: ۹۹/۰۱/۲۹ - پذیرش: ۹۹/۰۷/۱۵

صفحه ۶۰-۴۹

چکیده

از آنجا که آسفالت اصلاح شده SBS معایب هزینه اولیه بالا، پردازش دشوار و ثبات ذخیره سازی ضعیف را دارد، بسیاری از تحقیقات آزمایش‌هایی را بر روی آسفالت اصلاح شده مرکب انجام داده‌اند تا عملکرد روسازی رضایت‌بخش تری به دست آورند. این مطالعه یک مخلوط آسفالت اصلاح شده با نانوسیلیس، آسفالت سنگ و SBS را پیشنهاد کرد. آزمون‌های عملکرد پایه آسفالت، تست‌های شیارافتادگی، تست‌های خمش با دمای پایین، تست‌های حساسیت رطوبت، تست‌های خستگی و تست‌های دوام مخلوط‌های آسفالت اصلاح شده با SBS، آسفالت سنگ، نانوسیلیس / آسفالت سنگ و نانوسیلیس / آسفالت سنگ / SBS برای ارزیابی عملکرد آسفالت آن‌ها انجام شد. مقایسه این آزمایش‌ها با خواص مخلوط آسفالت اصلاح نشده، نانو سیلیکا و آسفالت سنگ باعث بهبود عملکرد آسفالت می‌شود. مخلوط آسفالت نانو سیلیس / گیلسونایت / SBS اصلاح شده پایداری دما، مقاومت ترک در دمای پایین، حساسیت رطوبت و دوام بالاتر از آسفالت اصلاح شده با ۵٪ SBS به جز عمر خستگی مشابه داشت.

واژه‌های کلیدی: اصلاح ترکیبی، نانو سیلیس، گیلسونایت، استایرن بوتادین استایرن، عملکرد روسازی

۱- مقدمه

مخلوط آسفالت مرکب RA / SBS، که می‌تواند به خواص متناظر مخلوط آسفالت اصلاح شده SBS برسد و الزامات را در تمام مناطق دمایی برآورده کن را ارزیابی کردند. علاوه بر این، کوک (Kök et al, 2011) و یانگ (Yang et al, 2015) گیلسونیت و دریاچه قیر ترینیداد را به آسفالت اصلاح شده SBS اضافه کردند، که خواص دمای بالای آن به طور مداوم بهبود یافت. از نظر اصلاح مواد نانو، لاستیک نانو مونت موریلونیت / استایرن بوتادین (SBR) ترکیبی از مخلوط آسفالت اصلاح شده و کوپلیمر نانو مونت موریلونیت / اتیلن - وینیل استات به ترتیب توسط پولیکو (Polacco, 2008) و سوشکومار (Sureshkumar, 2010) برای بهبود عملکرد ریولوژیکی قیرهای آسفالت تهیه شده است. مطالعه سان و همکارانش (Sun et al, 2016) گزارش دادند که امکان استفاده از کربنات کلسیم نانو در مخلوط آسفالت

با توسعه حمل و نقل، بارگذاری و کانالیزه شدن راه‌ها بیش از پیش جدی‌تر شده است. تعداد رو به افزایشی از خسارات روسازی از جمله شیارافتادگی، چاله شدن، بالازدگی و ترک برداشتن وجود دارد. انتخاب مصالح برای بهبود عملکرد روسازی ضروری است (Wei-Rong, 2009). آسفالت اصلاح شده با ^۱ SBS هم در دماهای بالا و هم در دماهای پایین مزایایی داشت، که انتخاب اصلی در مهندسی است. در عین حال، همچنین دارای معایب هزینه اولیه بالا، پردازش دشوار و پایداری ضعیف ذخیره سازی بود (Xiong, 2005). با توجه به نقص‌های بالا در آسفالت اصلاح شده SBS، بسیاری از محققان تحقیقاتی را بر روی آسفالت اصلاح شده مرکب انجام دادند تا اصلاحات مقرون به صرفه تر مانند آسفالت حاوی گیلسونایت و نانو مواد را بیابند (Yilmaz, 2013; Li, 2015; Chen, 2007) دو و همکاران عملکرد مقدار کم

پایین آسفالت اصلاح شده NS / RA، ۱٪، ۲٪ و ۳٪ SBS به ۱٪ NS / ۶٪ RA آسفالت اصلاح شده اضافه شد. در بخش ۲، پارامترهای اصلی مواد فهرست شده‌اند. خواص آسفالت و مخلوط آرایه شده‌است. تست‌های اتخاذ شده در این تحقیق شامل تست شیارجای چرخ، تست خمش تیر، تست حساسیت رطوبت، تست عملکرد خستگی، تست مقاومت در برابر پیرشدگی مخلوط آسفالت اصلاح شده به طور خلاصه در بخش ۳ معرفی می‌شوند. عملکرد آسفالت اصلاح شده در بخش ۴ مورد بحث قرار می‌گیرد. بخش آخر نتایج را ترسیم می‌کند.

۲- مواد و آماده‌سازی نمونه

۲-۱- مواد

این مقاله سنگ آهک را به عنوان سنگ دانه و فیلر انتخاب کرده‌است. خواص آنها در جدول ۱ آورده شده است. مشخصات قیرخالص ۶۰ / ۷۰، که در جدول ۲ آرایه شد. مشخصات NS، RA و SBS در جدول ۳ فهرست شده‌اند.

اصلاح شده SBR وجود دارد. (Sun et al, Lu Sun, 2017)، خواص آسفالت اصلاح شده با SBS ۵٪ با آسفالت ساخته شده با نانوسیلیکا NS^۵، ۵٪ + ۵٪ SBR. ۱٪ پلی اتیلن را مقایسه کرد. آسفالت اصلاح شده پیشنهادی دارای مقدار قابل توجهی بهبود عملکرد دمای بالا / پایین و مقاومت به پیری داشت. مقاومت در برابر آسیب رطوبت و فرسودگی آسفالت اصلاح شده با استفاده از NS و SBS براساس نتایج تحقیقات یوسف به شدت بهبود یافته‌است. (Yusoff, 2017). مطالعات قبلی عملکرد آسفالت اصلاح شده توسط پلیمر با RA یا نانو مواد را گزارش کرده بودند. با این حال، اطلاعات محدودی در ادبیات وجود دارد که ویژگی‌های آسفالت سنگ / نانو سیلیکا / (RA / NS-SBS) متشکل از آسفالت اصلاح شده را توصیف می‌کند. در مطالعات قبلی، چهار ماده نانو برای شناسایی انتخاب شدند که بهترین انتخاب برای مطابقت با RA است. از این میان، NS انتخاب شد. (Shi et al, 2016) سپس اثرات NS و RA بر خواص رئولوژیکی آسفالت اصلاح شده مقایسه شد و محتوای اختیاری: ۱٪ NS و ۶٪ RA تعیین شد (Shi, 2018) اصلاح کننده بالا هر دو اثر منفی اندکی بر خواص دمای پایین داشتند. این مقاله با هدف بهبود عملکرد دمای

جدول ۱. مشخصات مصالح سنگی

مشخصات	محدوده مشخصات	درشت دانه	ریزدانه	فیلر
ارزش شکستگی سنگ (%)	≤۲۶	۱۲.۴	-	-
درصد سایش لوس انجلس	≤۲۸	۱۳.۶	-	-
درصد جذب آب	≤۲	۰.۴۹	-	-
درصد مصالح تخت	≤۱۵	۷.۲	-	-
درصد مصالح با اندازه کوچکتر از ۰/۰۷۵	-	۰.۵۳	۲.۲	-
ارزش صیقلی مصالح	≥۴۲	۶۳	-	-
وزن مخصوص ویژه	≥۲.۵	۲.۸۴	۲.۷۲	-
وزن مخصوص حقیقی	-	۲.۸۷	۲.۶۷	۲.۷۱

جدول ۲. مشخصات قیر خالص

شاخص	درجه نفوذ	نقطه نرمی	شکل پذیری	ویسکوزیته دورانی	پیرشدگی	
					کاهش وزن	نسبت درجه نفوذ
قیر خالص	۶۷,۳	۵۹,۴	۱۹,۸	۰,۵۱۳	۰,۶۲	۶۴,۴

جدول ۳. مشخصات نانوسیلیس

نوع	شکل ظاهری	درصد سیلیس	اندازه ذرات	چگالی ذرات	سطح مخصوص
VK-SP30S	پودر سفید	۹۹.۸	۳۰	۰.۰۳-۰.۰۶	۲۰۰±۳۵

جدول ۴. مشخصات گیلونایت

شاخص	درصد قیر	درصد خاکستر	چگالی	نقطه ذوب	حرارت از دست داده	درصد آب
نتایج	۹۷.۶	۰.۴۳	۱.۱	>۲۶۰	۰.۵۴۲	۰.۳

جدول ۵. مشخصات SBS

شاخص	وزن مخصوص	درصد خاکستر	درصد مواد فرار	سختی	نسبت بوتادین/استایرن	شکل ظاهری
نتایج	۹۷.۶	۰.۲	۱.۱	۷۲	۶۸/۳۲	دانه ای

جدول ۶. علایم اختصاری مخلوطها

مخلوط	علامت اختصاری
قیر خالص	C
قیر خالص حاوی ۵٪ SBS	#0
قیر خالص حاوی ۱٪ NS	#1
قیر خالص حاوی ۶٪ RA	#2
قیر خالص حاوی ۱٪ NS و ۶٪ RA	#3
قیر خالص حاوی ۱٪ NS و ۶٪ RA و ۱٪ SBS	#4
قیر خالص حاوی ۱٪ NS و ۶٪ RA و ۳٪ SBS	#5
قیر خالص حاوی ۱٪ NS و ۶٪ RA و ۵٪ SBS	#6

جدول ۷. مشخصات قیر

شاخص	قیر اصلاح نشده	اصلاح شده با SBS	#1	#2	#3	#4	#5	#6	استاندارد	
درجه نفوذ	۶۷.۳	۵۹.۲	۶۵.۷	۶۲.۲	۶۰.۶	۵۸.۴	۵۵.۳	۵۱.۳	T0604-2011	
نقطه نرمی	۵۹.۴	۷۲.۴	۶۱.۶	۶۴	۶۵.۲	۷۲.۳	۷۵.۶	۷۸.۹	T0606-2011	
شکل پذیری	۱۹.۸	۳۸.۶	۱۲.۷	۸.۹	۱۰.۶	۱۷.۴	۲۴.۸	۳۲.۵	T0605-2011	
ویسکوزیته دورانی	۰.۵۱۳	۲.۴۸۲	۰.۷۳۵	۰.۹۱۳	۱.۰۴۶	۱.۵۴۸	۱.۸۰۲	۲.۳۱۴	T0625-2011	
پیرشدگی	کاهش وزن	۰.۶۲	۰.۲۲	۰.۴۵	۰.۳۳	۰.۲۹	۰.۱۹	۰.۱۳	T0610-2011	
		نسبت درجه نفوذ	۶۴.۴	۸۰.۱	۷۳	۷۵.۶	۷۷.۲	۸۲.۵		۸۷.۱
			شکل پذیری	۹.۱	۲۰.۶	۶.۱	۴.۴	۵.۵		۹.۹

۲-۲- آماده‌سازی نمونه و ویژگی‌های آسفالت

نتایج $RTFOT^{\circ}$ افزایش می‌یابد. در عین حال، مقادیر شکل‌پذیری در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد و اثرات منفی خود را بر تغییر شکل‌پذیری دمای پایین اعلام می‌کند. در مقایسه با آسفالت اصلاح‌شده NS، آسفالت اصلاح‌شده RA و آسفالت اصلاح‌شده NS / RA، آسفالت اصلاح‌شده NS / RA / SBS مقادیر بالاتری از نقطه نرمی، انعطاف‌پذیری، ویسکوزیته چرخشی و مقدار کم‌تر نفوذ را دارد. افزودن SBS باعث افزایش شکل‌پذیری در دمای پایین و پایداری نهایی در دمای بالا شد و این نتیجه را در بر داشت که اصلاح با SBS پارامترهای ویسکوالاستیک خطی را در قیر در شرایط دمایی مختلف بهبود می‌بخشد. از جدول ۷ می‌توان مشاهده کرد که افزایش غلظت SBS خواص ضد پیری بالاتری را بدست می‌دهد. به دلیل پراکندگی پایدار NS مولکول‌های قطبی RA و ویژگی‌های ویسکوزیته SBS، هر سه تعدیل‌کننده‌ها می‌توانند عملکرد مقاومت به پیری را افزایش دهند.

۲-۳- طرح مخلوط

نمونه‌های مارشال از هشت نوع مخلوط برای طراحی مخلوط متراکم شدند. جدول ۸ نتایج محاسبه‌شده از محتویات بهینه آسفالت، حداکثر وزن مخصوص نظری، حجم حفره‌های هوا (V_A)، حفره‌های مصالح معدنی (VMA) و حفره‌های پر شده با آسفالت (VFA^A) نمونه‌های فشرده‌شده نهایی را نشان می‌دهد.

جدول ۸. مشخصات مخلوط‌های متراکم شده

نوع مخلوط	درصد قیر بهینه	حداکثر وزن مخصوص تئوری	درصد هوای مخلوط	فضای خالی مصالح سنگی	فضای خالی پر شده باقیر
نمونه خالص	۴,۵۲	۲,۶۶۱	۴,۰۳	۱۴,۵	۷۰
اصلاح شده با SBS	۴,۷۱	۲,۶۷۶	۴,۱۲	۱۴,۶	۷۳,۶
#1	۴,۵۲	۲,۶۴۸	۳,۹۷	۱۴,۳	۷۱,۷
#2	۴,۲۹	۲,۶۷۱	۳,۹۵	۱۴,۶	۷۲,۴
#3	۴,۴۳	۲,۶۶۵	۴,۰۵	۱۴,۲	۷۱,۳
#4	۴,۵۷	۲,۶۴۳	۰۹,۴	۱۴,۶	۷۱,۳
#5	۴,۵۷	۲,۶۶۲	۴,۰۴	۱۵,۱	۷۳,۲
#6	۴,۷۴	۲,۶۷۳	۳,۹۸	۱۴,۹	۷۱,۹

به خاطر مساحت سطحی ویژه بزرگ NS، رسیدن به پراکندگی همگن در آسفالت دشوار است. بنابراین عامل کوپینگ سیلان برای آماده‌سازی سطحی استفاده شد. قبل از هر چیز، چسب قیر تغییر نیافته، RA، NS و SBS در یک ظرف حرارتی مخلوط شدند. سپس مخلوط دستی به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد قبل از برش با سرعت بالا (۵۰۰۰ دور در دقیقه) به مدت ۳۰ دقیقه ادامه یافت (Shi, 2018). تا زمانی که یک جرم همگن به دست آید، مخلوط کردن را متوقف کرده و به مدت ۲ ساعت ایجاد می‌شود. نتایج تجربی مقالات (Shi, 2018) نشان داد که ترکیب آسفالت اصلاح‌شده عملکرد رضایت‌بخشی در دمای بالا و ترک خوردن در دمای پایین دارد. علاوه بر این، ۱٪ NS و ۶٪ RA به عنوان محتوای اختیاری تعیین شدند. هدف این مطالعه بررسی عملکرد مخلوط آسفالت پیشنهادی بود. برای بهبود مقاومت ترک، به ۱٪، ۲٪ و ۳٪ SBS به ترکیب آسفالت اصلاح‌شده NS / RA اضافه شد. جدول ۶ ترکیب مخلوط انجام‌شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. عملکرد تمام آسفالت‌ها در جدول ۷ فهرست شده است. از جدول ۷، قیر اصلاح نیافته بیش‌ترین نفوذ را دارد، در حالی که نقطه نرم شدگی و ویسکوزیته دوران آن کم‌ترین هستند. هنگامی که (NS و RA # ۱، # ۲ و # ۳) به قیر خام اصلاح نشده اضافه می‌شوند، پیشرفت‌هایی هم در نقطه نرمی و ویسکوزیته چرخشی وجود دارد، با این حال، کاهش در نفوذ، که نشان می‌دهد دو تعدیل‌کننده سفتی و پایداری دمای بالا آسفالت را بهبود می‌بخشند. خواص ضد پیری نیز از

۳- طراحی آزمایش

استحکام کششی (TSR) برای تخمین پایداری رطوبت به دست آمد.

۳-۴- تست عملکرد خستگی

تست خمش چهار نقطه‌ای برای ارزیابی عملکرد خستگی مخلوط استفاده شد. نمونه‌ها، که تیر مستطیلی $65 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$ بودند، در سطح کرنش ۱۰۰۰ میکرواسترین تست شدند. عمر خستگی سختی نرمال شده (N_{NM}) (ASTM, 2010) یکی از روش‌های توصیه‌شده توسط ASTM D ۷۴۶۰D برای تخمین ویژگی‌های خستگی مخلوط آسفالت است. در شکل مدول برای سیکل‌های بارگذاری، مقدار پیک به عنوان مدول نرمال شده تعریف می‌شود که می‌تواند با معادله روبرو محاسبه شود.

$$J_{NM} = \frac{S_N \times N}{S_0 \times N_0}$$

که در آن N چرخه‌های بارگذاری است؛ S_N مدول در بار N است؛ N_0 به بار ۵۰ اشاره دارد؛ و S_0 مدول در بار ۵۰ ام است.

۳-۵- تست مقاومت پیرشدگی

در روش تست مخلوط آسفالت بدون محدودیت حرارت داده شد و به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد تهیه شد. تست خمش و تست عملکرد خستگی قالب گرفته شدند و به مدت ۵ روز در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد در فر قرار داده شدند.

۴- نتایج و بحث‌ها

۴-۱- نتایج تست شیار جای چرخ

شکل ۱ و شکل ۲ واریانس پایداری دینامیکی و تغییر شکل کلی مخلوط آسفالت را نشان می‌دهند. افزودن NS، RA و SBS باعث افزایش پایداری دینامیکی و کاهش تغییر شکل کلی می‌شود. RA محتوای نور آسفالت را جذب کرد و نوع آسفالت را از نوع ژل محلول به نوع ژل تبدیل کرد. علاوه بر RA، ویسکوزیته آسفالت را افزایش می‌دهد و سازگاری خوبی با بست بند آسفالت اصلاح‌نشده دارد، که می‌تواند در مخلوط همگن شود. NS به عنوان پرکننده کوچک‌تر برای افزایش فیر سازه‌ای و بهبود چسبندگی بین آسفالت و سنگ دانه‌ها عمل کرد. در نتیجه، خواص پایداری مخلوط آسفالت در دمای بالا افزایش می‌یابد.

عملکرد روسازی مخلوط آسفالت اصلاح‌شده پیشنهادی با آزمایش‌های آزمایشگاهی، از جمله تست ردیابی چرخ، تست خمش تیر با دمای پایین، تست حساسیت رطوبت، تست عملکرد خستگی و تست مقاومت به فرسودگی ارزیابی شد.

۳-۱- تست ردیابی ویل

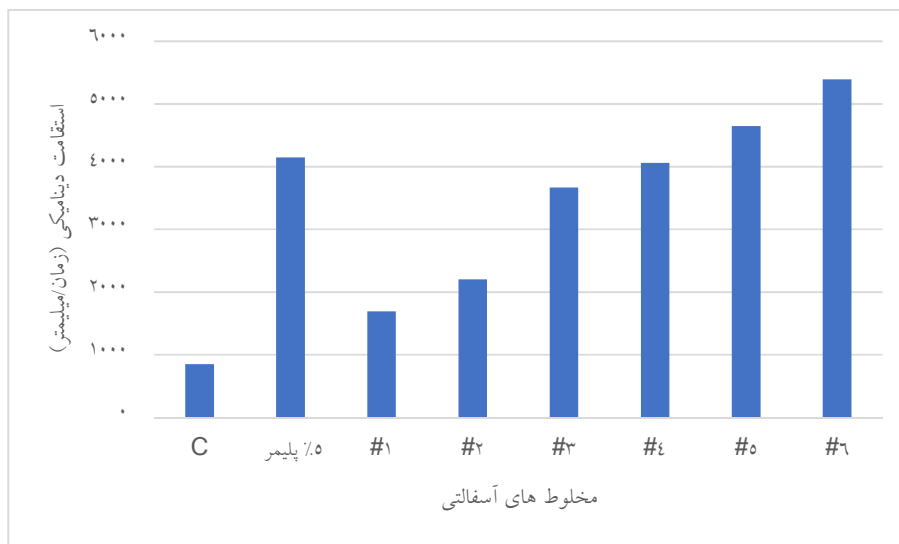
تست ردیابی چرخ برای ارزیابی پایداری دمای بالای مخلوط آسفالت انجام شد. یک چرخ سفت و سخت پر از فشار لاستیک ۰٫۷ MPa بر روی تخته مخلوط آسفالت ± 42 بار در دقیقه در ۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

۳-۲- تست خمش تیر دمای پایین

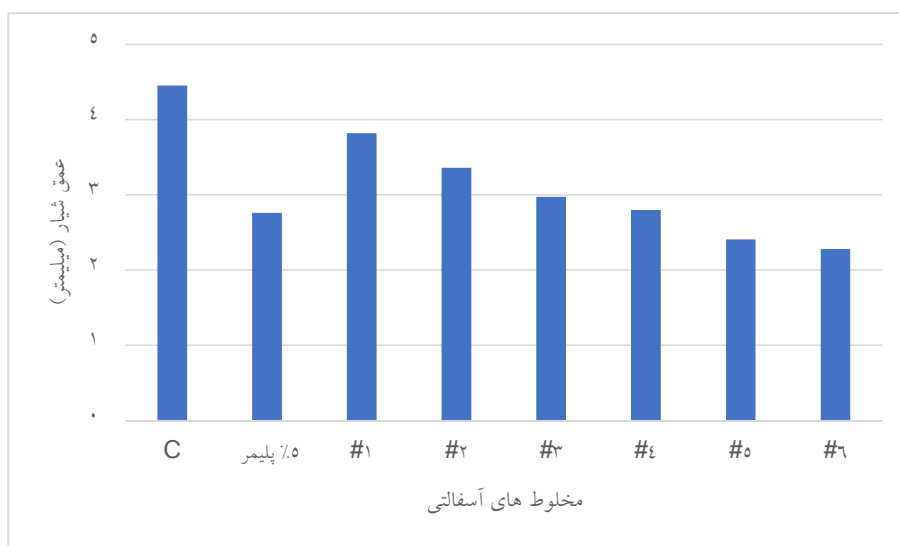
آزمایش‌های زیادی برای ارزیابی عملکرد دمای پایین مخلوط آسفالت وجود دارد، مانند تست خمش تیر، -آزمون خمش خزشی، آزمون کشش غیرمستقیم و آزمون انقباض (Sengul et al, 2013). برای تخمین خواص دمای پایین مخلوط پیشنهادی در ۱۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد. تیر با شکل هندسی $250 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$ ، در سرعت ۵۰ میلی‌متر/ثانیه بارگذاری شد.

۳-۳- تست حساسیت رطوبتی

آزمون مارشال غوطه‌وری (۲۰۱۱ - ۰۷۰۹T) (و آزمون شکست چرخه ذوب و یخ (Yusoff, 2014) برای ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالت پیشنهادی انتخاب شدند. در آزمایش مارشال، هشت نمونه مارشال به دو گروه تقسیم شدند. یکی تحت شرایط خشک بود و دیگری به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آب غوطه‌ور شد. در حمام آب به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. پایداری باقیمانده محاسبه شد. آزمایش جداسازی یخ و ذوب نیز شامل دو گروه آزمایش بود. یک گروه تحت شرایط خشک بود، گروه دیگر خالی شد و به مدت ۱۶ ساعت در ۱۸ درجه سانتی‌گراد منجمد شد، و سپس گروه منجمد به مدت ۲۴ ساعت در ۶۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب بود. آماده‌سازی در حمام آب به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد. نسبت



شکل ۱. استقامت دینامیکی برای مخلوط های مختلف



شکل ۲. عمق شیار نمونه ها

SBS>4#>3#>2#>1#>unmodified binder
NS / RA / SBS #۶>۵#>#
پایداری گرمایی رضایت بخشی در دمای بالا دارد .

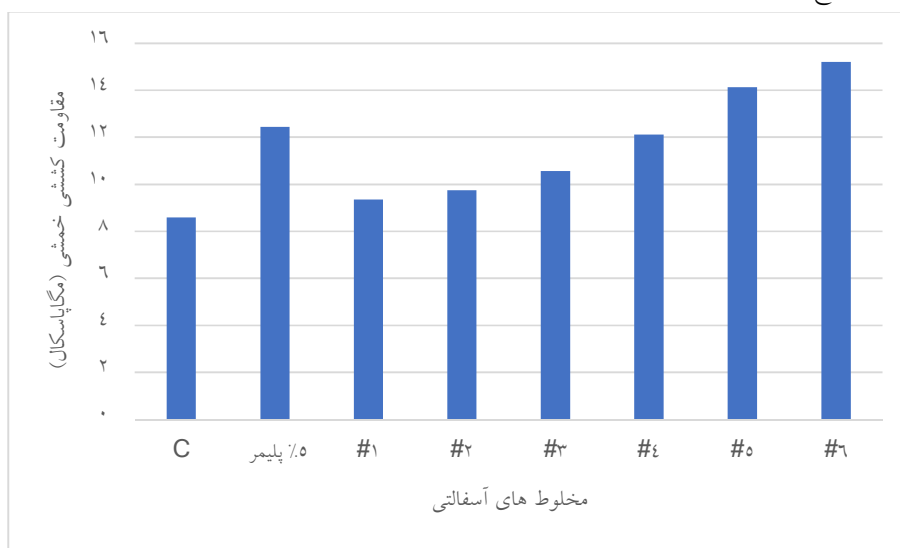
۴-۲- نتایج تست خمش تیر دما پایین

همان طور که در شکل ۳ و ۴ دیده می شود، مخلوط آسفالتی اصلاح نشده دارای کمترین مقاومت کششی و کرنش در آزمایش مقاومت کششی و کرنش خمشی است. مخلوط آسفالتی اصلاح نشده دارای کمترین مقاومت کششی و کرنش

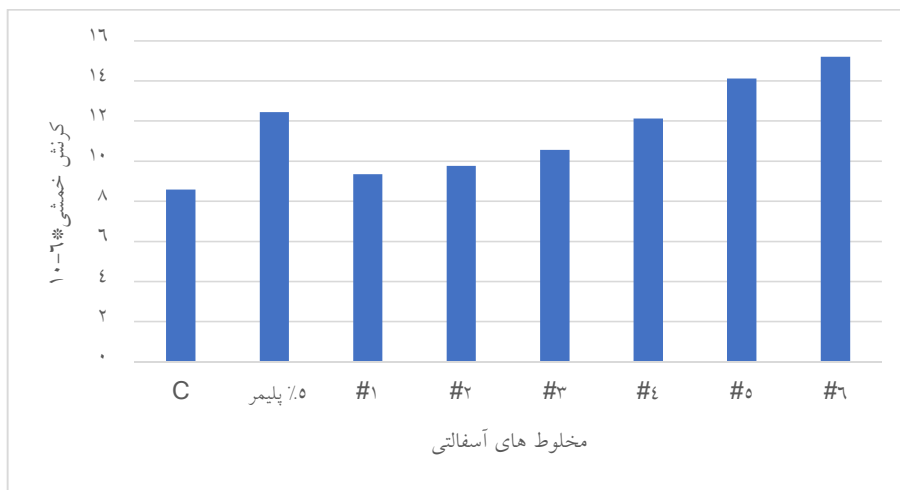
همچنین می تواند از شکل دیده شود ۱ و ۲ که خواص دمای بالای مخلوط آسفالت # ۳ و # ۴ کمی بدتر از مخلوط آسفالت SBS است. اما آسفالت اصلاح شده مرکب با ۱٪ NS / RA ۲٪ SBS پایداری دینامیکی بالاتر و تغییر شکل کلی کمتری نسبت به آسفالت اصلاح شده SBS دارد. با افزایش غلظت SBS، مقاومت در برابر تغییر شکل دائمی در دمای بالا به طور مداوم بهبود می یابد. رتبه بندی شیار شدگی مخلوط آسفالت تغییر نیافته و اصلاح شده به شرح زیر است:

SBS. مقاومت کششی خمشی و کرنش خمشی بالاتری نسبت به آسفالت اصلاح شده با ۵٪ SBS دارد. با افزایش غلظت SBS، عملکرد دمای پایین به طور مداوم همانند نتایج 5°C ، شکل پذیری بهبود می یابد. با این حال، آسفالت اصلاح شده با SBS بیشترین شکل پذیری را نسبت به آسفالت اصلاح شده ترکیبی دارد. دلیل آن این است که NS و RA حاوی ذرات هستند که می توانند تمرکز تنش را در طول فرآیند کشش ایجاد کنند.

خمشی و مخلوط آسفالتی # ۶ دارای بیشترین مقاومت کششی و کرنش خمشی است. هنگامی که RA و NS به آسفالت اضافه می شوند، چسبندگی با سنگ دانه ها افزایش می یابد. نیروی چسبندگی و مقاومت کششی خمشی افزایش می یابد. علاوه بر این، NS در شکاف اختلاط پراکنده شده است تا یک سیستم ساختاری پایدارتر ایجاد کند که به عنوان کوچکترین پرکننده برای اضافه کردن مقدار آسفالت های چارچوب کار می کند. بنابراین توانایی مقاومت در برابر تغییر شکل در دمای پایین بهبود می یابد. لازم به ذکر است که آسفالت اصلاح شده حاوی ۱ / NS ۶٪ / RA ۲٪



شکل ۳. مقاومت کششی خمشی نمونه ها

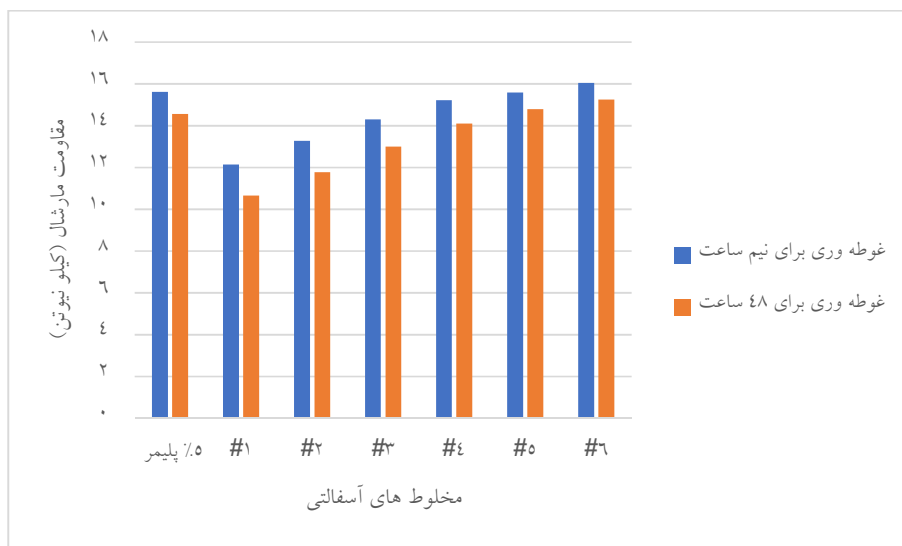


شکل ۴. نتایج کرنش خمشی

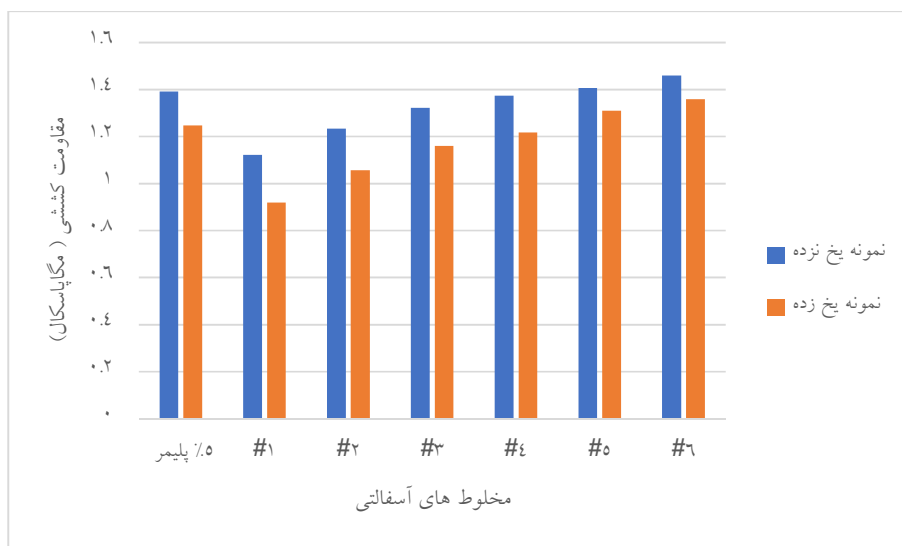
۳-۴- نتایج تست حساسیت به رطوبتی

ترکیبی به شدت کاهش می‌یابد. همچنین از شکل دیده می‌شود که ۶ و ۷ که مخلوط آسفالت اصلاح شده # ۵ و # ۶، که به ترتیب حاوی ۲٪ و ۳٪ SBS هستند، پایداری و نسبت مقاومت کشش بیشتری در مقایسه با SBS ۵٪ دارند. این مقادیر همگی به ۹۵٪ نزدیک می‌شوند که نشان‌دهنده مقاومت بیشتر در برابر آسیب رطوبت است.

اشکال ۵ و ۶ نشان می‌دهند که پایداری مخلوط آسفالتی ۱- # ۲، # ۳، # ۴، # ۵ و # ۶ همگی بیشتر از مخلوط آسفالتی اصلاح نشده است. NS اندازه کوچک و سطح ویژه بزرگ دارد که می‌تواند قیر آزادتری را جذب کند و مقدار آسفالت سازه‌ای را افزایش دهد. با کار با گروه عملکردی قطبی در RA، حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالت اصلاح شده



شکل ۵. مقاومت مارشال مخلوط‌ها



شکل ۶. نتایج مقاومت کششی نمونه‌ها

۴-۴- نتایج تست عملکرد خستگی

دارند، مانند گروه هیدروکسیل و گروه کربوکسیل، که می‌تواند به شدت نیروی محدود کننده با تجمع را افزایش دهد. فن‌آوری اطلاعاتی به عنوان پرکننده کوچک‌تر عمل می‌کند و همچنین می‌تواند استحکام چسبندگی را با سنگ دانه‌ها بهبود بخشد تمام عوامل بالا عملکرد خستگی مخلوط را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، مخلوط آسفالت # ۵ حاوی ۱ / NS % / ۶ / RA % / SBS ۲ %، تقریباً مقدار عمر خستگی یکسانی با آسفالت اصلاح شده ۵ SBS % دارد. خواص خستگی به طور مداوم با افزایش SBS افزایش می‌یابد.

تغییرات عملکرد خستگی در جدول ۹ آمده است. آنالیز تاریخ در جدول ۹، مخلوط آسفالت # ۶ دارای بالاترین عمر خستگی است، به دنبال آن مخلوط آسفالت اصلاح شده SBS، مخلوط آسفالت # ۵، مخلوط آسفالت # ۴، مخلوط آسفالت # ۳، مخلوط آسفالت # ۲، مخلوط آسفالت # ۱، در حالی که مخلوط آسفالت اصلاح نشده کم‌ترین عمر خستگی را دارد. در مقایسه با مخلوط آسفالت اصلاح نشده، عمر خستگی مخلوط آسفالت ۱-، # ۲، # ۳، # ۴، # ۵ و # ۶ تا ۹۷ %، ۱۳۶ %، ۲۲۵ %، ۲۹۸ %، ۳۷۶ % و ۴۲۶ % افزایش می‌یابد. گروه‌های عملکردی قطبی زیادی در RA وجود

جدول ۹. نتایج خستگی نمونه‌ها

نوع مخلوط	درصد قیر	مدول اولیه	عمر خستگی
خالص	۴,۵	۴۰۲۱	۲۷۳۷۰
SBS ۵%	۴,۷	۴۹۶۹	۱۴۰۲۴۵
#1	۴,۵	۴۶۰۴	۵۳۹۳۰
#2	۴,۲	۵۰۷۶	۶۴۵۷۰
#3	۴,۴	۵۲۳۰	۸۹۰۲۰
#4	۴,۵	۵۳۹۱	۱۰۸۹۴۰
#5	۴,۵	۵۵۴۸	۱۳۹۲۸۵
#6	۴,۷	۵۷۹۲	۱۴۵۹۷۵

جدول ۱۰. تاثیر پیری بر عملکرد مخلوط

نوع مخلوط	مقاومت کششی خمشی		کرنش خمشی		عمر خستگی	
	قبل از پیرشدگی	بعد از پیرشدگی	قبل از پیرشدگی	بعد از پیرشدگی	قبل از پیرشدگی	بعد از پیرشدگی
خالص	۸,۵۹	۱۰,۲۱	۲۲۹۹	۱۶۷۳	۲۷۳۷۰	۲۰۹۰۰
SBS ۵%	۱۲,۴۴	۱۳,۵۶	۳۹۵۷	۳۶۵۲	۱۴۰۲۴۵	۱۲۸۹۵۵
#1	۹,۳۵	۱۰,۵۴	۲۸۷۱	۲۳۰۶	۵۳۹۳۰	۴۵۷۰۵
#2	۹,۷۵	۱۰,۷۷	۲۴۰۱	۲۰۹۳	۶۴۵۷۰	۵۶۰۲۰
#3	۱۰,۵۶	۱۱,۵۹	۲۷۰۳	۲۴۲۰	۸۹۰۲۰	۸۰۰۵۰
#4	۱۲,۷۹	۱۴,۲۱	۴۰۹۱	۳۷۰۲	۱۰۸۹۴۰	۱۱۴۶۰۵
#5	۱۴,۱۲	۱۵,۳۸	۴۱۷۸	۳۸۹۶	۱۳۰۲۸۵	۱۲۰۰۱۵
#6	۱۵,۷۱	۱۶,۳۳	۴۲۱۷	۴۰۴۷	۱۴۳۹۷۵	۱۴۵۹۱۵

۴-۵- نتایج تست مقاومت به پیری

بررسی مقادیر دوام (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که قدرت کششی خمشی بعد از پیر شدن مخلوط آسفالت اصلاح‌نشده، مخلوط آسفالت اصلاح‌شده SBS و مخلوط آسفالت # ۱ # ۲ # ۳ # ۴ # ۵ # ۶ # ۷ با ۱۸,۸۶٪، ۹,۰۰٪، ۱۲,۷۲٪، ۱۰,۴۶٪، ۹,۷۵٪، ۱۱,۱۰٪، ۸,۹۲٪ و ۳,۹۵٪ در مقایسه با نمونه اصلاح نشده بهبود می‌یابد. کرنش خمشی به ترتیب ۲۷,۲۲٪، ۷,۷۱٪، ۱۹,۶۸٪، ۱۲,۸۳٪، ۱۰,۴۷٪، ۹,۵۱٪، ۶,۷۵٪ و ۴,۰۳٪ کاهش می‌یابد. با توجه به آنالیز بالا، نوع خواص دمای پایین پس از پیر شدن، برابر است با $\#6 > \#5 > \#4 > \text{SBS} > \#1 > \#2 > \text{unmodified binder}$ مشاهده شده است که مخلوط آسفالت # ۶ بیش‌ترین عمر خستگی را دارد، به دنبال آن مخلوط آسفالت اصلاح‌شده SBS، مخلوط آسفالت # ۵، مخلوط آسفالت # ۴، مخلوط آسفالت # ۲، مخلوط آسفالت # ۱، عمر خستگی به ترتیب ۲۳,۶۴٪، ۸,۰۵٪، ۱۵,۲۵٪، ۱۳,۲۴٪، ۱۰,۰۸٪، ۶,۹۵٪، ۷,۸۸٪ و ۵,۴۹٪ کاهش می‌یابد. هنگامی که مخلوط آسفالت اصلاح‌شده مرکب حاوی بیش از ۲ SBS٪ باشد، عملکرد خستگی بعد از پیرسازی معادل با ۵٪ مخلوط آسفالت اصلاح‌شده SBS است. دلیل آن ممکن است این باشد که RA در معرض یک دوره طولانی از سختی بارش و تغییرات زمین‌شناسی قرار گرفت و خواص پایداری بعد از پیر شدن داشت. علاوه بر پراکندگی پایدار NS و خصوصیات ویسکوزیته SBS نیز مقاومت به پیری مخلوط آسفالت را افزایش می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، عملکرد روسازی آسفالت اصلاح‌شده مرکب (اصلاح‌شده توسط NS، RA و SBS) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج زیر را می‌توان از مقایسه این تحقیق بدست آورد:

- نتایج آزمون عملکرد پایه آسفالت نشان می‌دهد که NS / SBS / RA دارای مقادیر بالاتری از نقطه نرمی، انعطاف‌پذیری، ویسکوزیته چرخشی است.
- افزودن SBS شکل‌پذیری، پایداری نهایی و خواص ضد پیرشدگی آسفالت اصلاح‌شده را افزایش می‌دهد.

- براساس نتایج تست ردیابی چرخ، تمام سه تعدیل‌کننده (NS، RA و SBS) می‌توانند مقاومت شیارافتادگی مخلوط آسفالت را افزایش دهند. جالب است که مخلوط # ۵ و # ۶ دارای پایداری دینامیکی بالاتر و تغییر شکل کلی کم‌تر از ۵٪ مخلوط آسفالت اصلاح‌شده با SBS است. مخلوط آسفالت اصلاح‌شده پیشنهادی عملکرد دمای بالا رضایت‌بخشی نسبت به مخلوط آسفالت اصلاح‌شده SBS دارد.

- از نتایج تست تیر و تست حساسیت به رطوبت، # ۶ بزرگ‌ترین مقاومت کششی خمشی، کرنش خمشی، پایداری حفظ‌شده و نسبت مقاومت کششی را نشان می‌دهد، در حالی که مخلوط آسفالت اصلاح‌نشده کم‌ترین مقدار را دارد. هنگامی که مقدار SBS بیش از ۲٪ است، مخلوط آسفالت اصلاح‌شده ترکیبی مقاومت شکاف دمای پایین و پایداری آب بالاتر از ۵٪ مخلوط آسفالت اصلاح‌شده SBS نشان می‌دهد.

- افزودن NS، RA و SBS همگی می‌توانند عملکرد خستگی مخلوط آسفالت را بهبود بخشند. # ۶ بهترین طول عمر خستگی را نشان می‌دهد، به دنبال آن مخلوط آسفالت اصلاح‌شده SBS، # ۵، # ۴، # ۳، # ۲، # ۱ و مخلوط آسفالت اصلاح‌نشده.

- پراکندگی یکنواخت NS، گروه تابع قطبی RA و ویژگی‌های ویسکوزیته SBS مقاومت عمر مخلوط آسفالت را بهبود می‌بخشد. # ۶ نسبت به سایر ترکیبات، عملکرد دمای پایین و خواص خستگی رضایت‌بخش تری را نشان می‌دهد.

- نتایج آزمون عملکرد پایه آسفالت نشان می‌دهد که NS / SBS / RA دارای مقادیر بالاتری از نقطه نرمی، انعطاف‌پذیری، ویسکوزیته چرخشی است.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Styrene-Butadiene-Styrene
- 2- Rock Asphalt
- 3- Styrene-Butadiene-Rubber
- 4- Nano-Silica
- 5- Rolling Thin Film Oven
- 6- Air Void
- 7- Void in mineral Aggregate
- 8- Void Fill with Asphalt

۷- مراجع

- Sun. L., X.T. Xin, J.L. Ren, (2017), "Asphalt modification using nano-materials and polymers composite considering high and low temperature performance", *Constr. Build, Mater*, 133, pp. 358-366.
- Sureshkumar. M.S., S. Filippi, G. Polacco, I. Kazatchkov, J. Stastna, L. Zanzotto, (2010), "Internal structure and linear viscoelastic properties of eva/asphalt nano composites", *Eur. Polymer J.* 46 (4), pp.621-633.
- Wei-Rong, H., (2009), "Experimental study on pavement performance of nanometer layered silicate modified asphalt", *Journal of Chongqing Jiaotong University, Natural Science*, (2), pp.18-19.
- Xiong. P, P.W. Hao, C.M. Gao, (2005), "Pavement performance of SBS modified asphalt", *J. Chang'an Univ. (Nat. Sci. Ed.)* 25 (1), pp.10-19.
- Yilmaz. M., M.E., (2013), "Çelolu, Effects of SBS and different natural asphalts on the properties of bituminous binders and mixtures, *Constr, Build*", *Mater.* 44, pp. 533-540.
- Yang. K., D. Liu, (2015), "Research on Performance of Trinidad Lake Asphalt Added with SBS-modified Asphalt Mixture", *J. Highway Trans. Res. Dev.* 33 (7), pp. 28- 32.
- Yusoff. N.I.M., A.A.S. Breem, H.N.M. Alattug, A. Hamim, J. Ahmad, The effects of moisture susceptibility and ageing conditions on nano-silica/polymer modified asphalt mixtures, *Constr. Build. Mater.* 72 (2014) pp.139-147.
- Yusoff. N.I.M., A.A.S. Breem, H.N.M. Alattug, (2014), "The effects of moisture susceptibility and ageing conditions on nano-silica/polymer- modified asphalt mixtures, *Constr. Build. Mater.* 72, pp.139-148.
- Chen. H.X., S. Liu, L.F., (2007), "Sun, Preparation and properties of emulsion asphalt modified by nanosilica/SBR composite", *J. Rubber Industry* 54 (6), pp.337- 340.
- Kök. B.V., M. Yilmaz, M. Guler, (2011), "Evaluation of high temperature performance of SBS + Gilsonite modified binder", *Fuel* 90, pp.3093-3099.
- Li. R.X., P. Karki, P.W. Hao, A. Bhasin, (2015), "Rheological and low temperature properties of asphalt composites containing rock asphalt", *Const. Build. Mater*, 96, pp. 47-54.
- Polacco. G., P. Kriz, S. Filippi, L. Zanzotto, (2008), "Rheological Properties of Asphalt/SBS/ Clay Blends, *Eur., Polymer J.* 44 (11), pp. 3512-3521.
- Sengul. C.E., S. Oruc, E. Iskender, A. Aksoy, (2013), "Evaluation of SBS modified stone mastic asphalt pavement performance", *Constr. Build. Mater.* 41, pp. 777- 783.
- Shi. X.G., L.C. Cai, X.J. Liu, W. Xu, X.H. Wang, Y.J. Yang, (2016), "A Laboratory Study on composed modified asphalt applied to airport pavement", *J Air Force Eng. Univ. (Nat. Sci. Ed.)* 8, pp. 9-12.
- Shi. X.G., L.C. Cai, W. Xu, J. Fan, X.H. Wang, (2018), "Effects of nano-silica and rock asphalt on rheological properties of modified bitumen, *Constr, Build, Mater*, 161, pp. 705-714.
- Yusoff, (2010), "Standard test method for determining fatigue failure of compacted asphalt concrete subjected to repeated flexural bending", *ASTM*.
- Sun. P., S. Han, H.L. Zhang, Z.Y. Wang, O.M. Xu., (2016), "High-temperature performance of nano-CaCO₃/SBS modified asphalt mixture", *Mater. Rev.* 30 (4), pp.122- 126.

Laboratory Evaluation of the Performance of Asphalt Binder and Mixture Modified by Nano-Silica/Gilsonite/SBS

Ehsan Hassanzadeh Khabbaz, Department of Mechanical Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

E-mail: Hasanzadeh.Khabbaz@gmail.com

Received: June 2020-Accepted: November 2020

ABSTRACT

As SBS modified asphalt has the disadvantages of high initial cost, difficult processing and poor storage stability, many researches have been conducted experiments on composed modified asphalt to get a more satisfactory pavement performance. This study proposed an asphalt mixture modified by nanosilica, rock asphalt and SBS. Basic performance tests of asphalt, rutting tests, low-temperature bending tests, moisture susceptibility tests, fatigue tests and durability tests of asphalt mixtures modified by SBS, rock asphalt, nano-silica/rock asphalt and nano-silica/rock asphalt/SBS were performed to evaluate their pavement performance. Comparing these tests results with the properties of unmodified asphalt mixture, nano-silica and rock asphalt cause an improvement in pavement performance. Nano-silica/rock asphalt/SBS modified asphalt mixture had higher temperature stability, low-temperature cracking resistance, moisture susceptibility and durability than 5% SBS modified asphalt except the similar fatigue life. Furthermore, economic analysis indicated that the nano-silica/rock asphalt/SBS modified asphalt mixture had higher cost effectiveness.

Keywords: Composed Modification, Nano-silica, Rock Asphalt, SBS, Pavement Performance