بررسی خصوصیات ریولوژیکی قیر حاوی افزودنی Nano-Sio2

مقاله علمی - پژوهشی

امین چوبدار، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
علیرضا عاملی*، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
امین فرج اللهی، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:Amelii@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸- پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵
صفحه ۲۵۰-۲۳۹

چکیده

یک حوزه تحقیقاتی حیاتی که در مطالعات قبلی در مورد مواد نانو سیلیس نادیده گرفته شده است، درک چگونگی تأثیر ویژگی های فیزیکی آن بر رفتار نهایی آن به عنوان یک کامپوزیت در هنگام افزودن به قیر است. این مطالعه با هدف درک امکان‌سنجی اصلاح نانو سیلیس با قیر بر اساس ویژگی‌های قیر انجام شد. قیر با عیار نفوذ ۷۰/۶۰ با افزودن (۲٪، ٤٪ و ۶٪) نانو سیلیس به وزن آسفالت تهیه شد. ابتدا خواص مواد نانو سیلیس و قیر مورد بررسی قرار گرفت. برای تهیه قیر اصلاح شده در دمای ۱٤۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد و توسط میکسر مکانیکی با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه برای مدت زمان‌های مختلف اختلاط (۳۰ تا ۶۰) دقیقه مخلوط شد. قیر اصلاح شده برای خواص رئولوژیکی از جمله درجه نفوذ، دمای نقطه نرم شدن، شاخص نفوذ، ویسکوزیته چرخشی بروکفیلد و آزمایش شکل پذیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که سفتی قیر اصلاح‌شده بر اساس خواص رئولوژیکی افزایش می‌یابد و حساسیت دما با افزایش درصد نانوسیلیس کاهش می‌یابد. نانو سیلیس ٤ درصد بر حسب وزن آسفالت، خواص مرسوم قیر اصلاح شده را افزایش داد و در شرایط آب و هوایی گرم مناسب شد. در حالی که شکل‌پذیری آسفالت اصلاح شده با افزایش درصد نانو سیلیس کاهش می‌یابد، به دلیل سفتی و تجمع افزایش می‌یابد. در نهایت، زمان اختلاط طولانی‌تر تا بیش از ۶۰ دقیقه تأثیر نامطلوبی بر خاصیت شکل‌پذیری داشت و منجر به تجمع قیر اصلاح‌شده نانوسیلیکا شد.

واژه‌های کلیدی: نانوسیلیس، خصوصیات قیر، فرایند اصلاح

۱-مقدمه

سال‌ها پیش، زمانی که بار ترافیکی روسازی آسفالت کمتر بود، مواد مختلف قیر اصلاح‌نشده برای افزایش خواص آن‌ها ترکیب شدند. اما در سال‌های گذشته به دلیل افزایش بار ترافیکی، تقاضا برای لایه‌های مصالح روسازی بزرگراه و نیاز به بهبود عملکرد مصالح روسازی موجود افزایش یافته است. علاوه بر این، استفاده از فناوری و تولید مواد جدید در حال پیشرفت است و درک بیشتر از خواص و رفتار آسفالت، مطالعه مزایای استفاده از اصلاح‌کننده‌های جدید در تولید

مخلوط‌های داغ آسفالت را آسان‌تر کرده است (Quercia et al, 2010; Lazzara et al, 2010). افزودنی‌ها و اصلاح‌کننده‌ها به اشکال مختلف مانند مواد طبیعی، محصولات جانبی، مواد زائد برای صنایع و محصولاتی که به دقت مهندسی شده‌اند، در دسترس هستند. مواد متداول عبارتند از پرکننده‌ها، محصولات لاستیکی استخراج شده، الیاف و پلیمرها. پلیمرها رایج‌ترین دسته مواد مورد استفاده در اصلاح آسفالت، به ویژه ترموپلاستیک‌ها و ترموپلاستیک ها هستند. قیر اصلاح شده با پلیمر، مقاومت در برابر ترک حرارتی، مقاومت در برابر ترک خستگی و مقاومت در برابر گسیختگی را بهبود می بخشد. پلیمرها از مشکل عمده سازگاری و پایداری ذخیره‌سازی با سیمان‌های آسفالت رنج می‌برند (Chrissafis et al, 2008;Yusoff et al, 2014; Yang et al, 2013;). این مشکل محققان را تشویق کرده است تا پیوند آسفالت–سیمان را با بررسی برخی اصلاح‌کننده‌های جایگزین استفاده از آن تقویت کنند. اخیراً، فناوری نانو به یک فناوری نوآورانه در صنعت مواد تبدیل شده است و مواد در مقیاس نانو به طور گسترده در زمینه‌های مختلف به کار گرفته شده‌اند. نانومواد به عنوان ماده‌ای با ساختار داخلی یک یا چند بعد در حدود ۱۰۰ نانومتر یا کمتر تعریف می‌شود که می‌تواند خواص جدیدی را در مقایسه با همان ماده با خواص اندازه کوچک نشان دهد (White et al, 2015; Yusoff et al, 2014; You et al, 2011; Khattak et al, 2012). مطالعات متعددی نانومواد اصلاح‌کننده سیمان را بررسی کرده‌اند، اما نانو مواد اصلاح‌کننده پیوند آسفالت سیمان در مقایسه با بتن اصلاح‌شده نسبتاً جدید هستند. نانو مواد مختلفی که می‌توانند در اصلاح قیر استفاده شوند مانند نانو سیلیس، نانورس، نانوتیتانیوم، آهک نانوهیدراته، پودرهای نانوپلاستیک یا نانوالیاف و نانولوله‌ها. نانومواد سیلیکا یکی از نانو موادی است که نشان داده شده است که در افزایش خواص مکانیکی عملکرد قیر موثر است (Doğan et al, 2009; Sadeque et al, 2013; Samsonov et al, 2013; Gama et al, 2016). سیلیس یک ترکیب عمده در سراسر جهان است که به طور گسترده در صنایع برای تولید سیلیکاژل، سیلیس کلوئیدی و سیلیس دود استفاده می‌شود. ذرات نانو سیلیس برای تقویت پلیمرها در صنعت و مخلوط سیمان پرتلند و بتن استفاده شده است. مزایای نانو سیلیس هزینه تولید پایین و ویژگی‌های عملکرد بالا است. نانو سیلیس دارای خواص زیادی مانند پایداری عالی، خلوص شیمیایی بالا، سطح ویژه بزرگ، جذب قوی و قابلیت پخش خوب است. ثابت شده است که استفاده از پودر نانو سیلیس در ٤-٢ درصد وزنی قیر عمق قبلی را حدوداً به نصف کاهش می‌دهد (Isacsson et al, 1998; Yao et al, 2012; Shafabakhsh et al, 2015; Shafabakhsh et al, 2015). تا به امروز، مطالعات محدودی برای مطالعه خواص یک قیری اصلاح شده با نانو سیلیس انجام شده است. هدف این مقاله بررسی خواص رئولوژیکی و فیزیکی قیر اصلاح شده با نانو سیلیس بر اساس مقدار نفوذ، دمای نقطه نرم شدن، حساسیت دما (شاخص نفوذ)، تست ویسکوزیته چرخشی بروکفیلد و آزمون شکل‌پذیری است. علاوه بر این، جنبه‌های آماده سازی بایندر مانند زمان اختلاط نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد استفاده شده

۲-۱- قیر مورد استفاده

قیر مورد استفاده در ساخت مخلوط آسفالت با درجه نفوذ ٦٠-٧٠ می باشد. جدول ۱ خواص قیر را نشان می‌دهد.

۲-۲-ذرات نانو سیلیس

نانوذرات SiO_2 یک پودر آبگریز و مایل به سفید است، سیلیس آمورف که در طول این تحقیق همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، استفاده شده است. بهبود جذاب در خواص رئولوژیکی قیر می‌تواند به عنوان یک نتیجه حاصل شود. از آن استفاده کنید، زیرا دارای یک سطح مخصوص (SSA^1) است. جدول ۲ و جدول ۳ مشخصات فیزیکی و شیمیایی مشخصه را با SSA بالا اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات قیر مورد استفاده در این آزمایش

تست	تست شرایط	پایه‌ای	نتیجه	حد استاندارد طبق SCRB/R9، ۲۰۰۳	
پیشرفت	۱۰۰ گرم، ۲۵ درجه سانتیگراد، ۵ ثانیه	ASTM	66	60-70	
نرمی	۰/۱ میلی متر	D5 (19)	130	+100	
+ نقاط اشتعال و آتش	۲۵ درجه سانتیگراد، ۵ سانتی‌متر در دقیقه	ASTM D113	فلاش	302C	> 232 °C
			آتش	310°C	-------
تست کوره لایه نازک	...	(20)	خودکار.	89.9 120	>52 >50
ویسکوزیته چرخشی		ASTM	دوک		
نقطه نرم شدن	۱۶۳ درجه سانتیگراد، ۵۰ گرم، ۵ ساعت.	D92 (21)	@ 135 °C 430	48- 58	
شاخص نفوذ	پا. ثانیه		@ 165 C 128		

جدول ۲. خواص فیزیکی نانوذرات SIO2

ویژگی	نتیجه
فرم فیزیکی	پودر
رنگ	سفید
اندازه	نانومتر 12-11
چگالی فشرده شده به DIN EN ISO 787/11	گرم در لیتر ۵۰
چگالی ظاهری(gr/cm3)	0.1 <
چگالی واقعی(gr/cm3)	2.4
سطح ویژه m2/g	۲۰۰

جدول ۳. آنالیز شیمیایی نانوذراتSIO_2

ویژگی		نتیجه
بر اساس مواد مشتعل شده SiO_2 محتوای	wt.%	99.8
PH*	—	3.7-4.5

شکل ۱. نانوسیلیس مورد استفاده

۲-۳- فرآیند ساخت قیر اصلاح شده با نانو سیلیس

برای تهیه قیر اصلاح شده با سری جدید، نانو سیلیس اضافه شد، ۲٪، ٤٪ و ٦٪ در سیمان پایه آسفالت در دمای ۱٤۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد و توسط یک میکسر مکانیکی با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه مخلوط شد تا مخلوط شود. فواصل مختلف (۳۰ تا ٦۰) دقیقه برای به دست آوردن ماده همگن. شکل۲ فرآیند اصلاح پودر نانو سیلیس را در محتوای (۲٪، ٤٪ و ٦٪) با سیمان‌های آسفالتی نشان می‌دهد که برای ارزیابی خواص رئولوژیکی چسب‌های آسفالت اصلاح شده با سری جدید بررسی شده است.

شکل ۲. فرآیند اصلاح قیر اصلاح شده نانو سیلیس

۳- تست‌های آزمایشگاهی

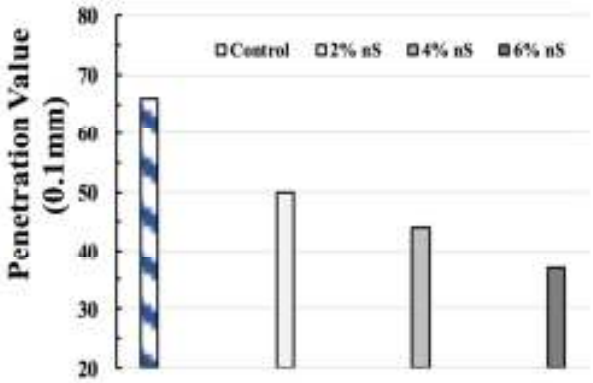
برای بررسی اثرات نانو سیلیس بر قیر، آزمایش‌های رئولوژیکی تجربی (درجه نفوذ، نقطه نرم شدن، شاخص نفوذ، ویسکوزیته چرخشی و شکل‌پذیری) روی آسفالت خالص و اصلاح‌شده با نسبت‌های مختلف نانوسیلیس انجام

شد. آزمایش‌ها طبق روش‌های تست استاندارد انجام شد. اگر چه؛ تست نفوذ یک آزمایش قدیمی است، اما هنوز هم توسط بسیاری در سراسر جهان برای اندازه گیری سختی یک قیر در شرایط استاندارد استفاده می‌شود. تست نقطه نرم شدن نشان دهنده جریان قیر است. در حال حاضر، ویسکومتر چرخشی بروکفیلد معمولاً برای بررسی ویسکوزیته قیر استفاده می‌شود. حساسیت دمایی (شاخص نفوذ) قیر را می‌توان با رابطه بین مقدار نفوذ و نتایج دمای نقطه نرم شدن محاسبه کرد. تست پلاستیسیته برای نشان دادن چسبندگی چسباننده آسفالت استفاده می‌شود (Ghasemi et al, 2013; Mahmoud et al, 2017; Fini et al, 2015; Taherkhani et al, 2017).

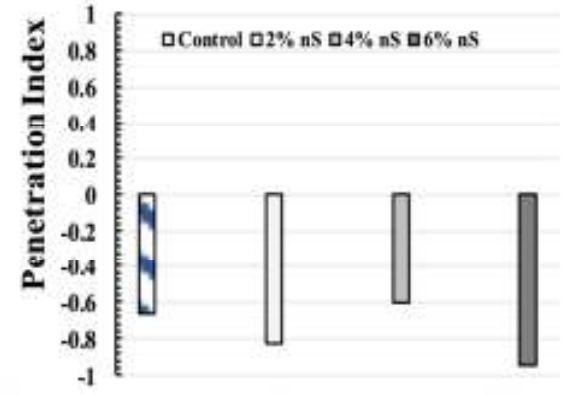
٤- نتایج و بحث

شکل رابطه بین ارزش نفوذ قیر و درصد نانوذرات سیلیس را نشان می‌دهد. شکل ۳ و ٤ نشان می‌دهد که با افزایش محتوای سری جدید مقدار نفوذ کاهش می‌یابد. این نشانگر افزایش سختی و سختی در دماهای متوسط است. این پدیده را می توان به انتشار و جذب پودر نانو سیلیس در پیوند آسفالت–سیمان نسبت داد که منجر به جذب مواد فرار سبک در بخش مالت و افزایش کسر آسفالتین قیری می‌شود. به طوری که سفتی ذرات نانوسیلیس بیشتر از پیوند آسفالت سیمان است که منجر به افزایش چقرمگی پیوند آسفالتی اصلاح شده با سری جدید می شود. شکل ٤، تغییرات دمای نقطه نرم شدن آسفالت را با نسبت‌های نانو سیلیس نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که دمای نقطه نرم شدن با افزایش سری جدید افزایش می‌یابد. افزایش دمای نقطه نرم شدن نشانه کاهش حساسیت دما است. این نتایج به جذب مواد فرار سبک آسفالت (یک ماده روغنی) و تبدیل آنها به رزین در بخش آسفالتین توسط سری جدید نسبت داده می‌شود. همچنین چقرمگی نانو ذرات سیلیس بیشتر از چسب قیری است که منجر به افزایش چقرمگی پیوند آسفالتی اصلاح شده با سری جدید می‌شود. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که نانو سیلیس تأثیر بسزایی بر سختی و چقرمگی قیر دارد. نتایج همچنین نشان داد که زمان اختلاط طولانی‌تر آسفالت اصلاح‌شده با سری جدید خواص قیر را تا ٦۰ دقیقه افزایش می‌دهد، همانطور که در شکل ۲ و شکل ٤ نشان داده شده است. شاید زمان اختلاط طولانی‌تر پشت پراکندگی خوب سیلیس در مقیاس نانو باشد. مواد آسفالت اما می‌توان آن را مصرف انرژی بیشتر و گرانتر دانست. شاخص نفوذ (PI) برای توصیف حساسیت دمایی یک قیر استفاده می‌شود. هر چه ضریب نفوذ بیشتر باشد حساسیت دما کمتر و سختی بیشتر می‌شود. حساسیت به دمای پایین نشانگر مقاومت بالاتر در برابر ترک خوردگی و ترک خوردن در دماهای پایین‌تر در فصول تابستان است. شکل ۵ و شکل ٦ کنتراست شاخص نفوذ با محتوای نانو سیلیس را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقدار شاخص نفوذ آسفالت اصلاح شده با سری جدید به نحوی کاهش می‌یابد که با افزایش نسبت نانو سیلیس ناسازگار است. با این حال، افزودن سری جدید بر حساسیت دمایی پیوند آسفالت–سیمان تأثیر منفی داشت، اما مقادیر شاخص نفوذ همچنان در محدوده (۲,۰+ تا ۲,۰–) است و آسفالت اصلاح شده با سری جدید را می توان برای روسازی بزرگراه استفاده کرد. از خاصیت پلاستیسیته برای نشان دادن چسبندگی قیر استفاده می‌شود. شکل ۷ رابطه بین مقادیر شکل پذیری مواد آسفالتی و محتوای نانو سیلیس را نشان می‌دهد. از شکل، مقدار شکل‌پذیری با افزایش نسبت سیلیس نانو متخلخل کاهش می‌یابد و این مؤید نتیجه تحقیقات قبلی است. به دلیل انتشار و جذب پودر نانو سیلیس در پیوند آسفالت سیمان، منجر به جذب مواد فرار سبک (مواد روغنی) در قسمت مالت می‌شود و باعث افزایش قسمت آسفالتی پیوند آسفالت می‌شود. افزایش سختی آسفالت ناشی از اصلاح نانو ماده سیلیسی منجر به کاهش شکل پذیری می‌شود. ٦ از شکل ۸، مشاهده می‌شود که افزایش زمان اختلاط منجر به کاهش شکل پذیری آسفالت اصلاح شده با سری جدید می‌شود و این نتایج به افزایش سختی و افزایش کلوخه شدن قیر اصلاح شده با سری جدید نسبت داده می‌شود. پانل ۳. تست ویسکوزیته چرخشی که کارایی مورد نیاز قیر را در دماهای بالا (در حین اختلاط و فشرده سازی) تعیین می‌کند. ویسکوزیته در محدوده دمایی ۱۳۵–۱٦۵ درجه سانتی‌گراد برای قیر پایه و اصلاح شده با سری جدید با نسبت‌های مختلف سری جدید، همانطور که در شکل ۹ و شکل نشان داده شده است ۱۰. افزودن سری جدید ویسکوزیته پیوند آسفالت سیمان اصلاح شده با سری جدید را افزایش می‌دهد. افزایش مقادیر ویسکوزیته به افزایش سختی قیر اصلاح شده با سری جدید و افزایش انتشار و جذب سری جدید در قیر نسبت داده می‌شود. قیری با ویسکوزیته بالا برای ساخت جاده با بار ترافیکی زیاد مناسب است.

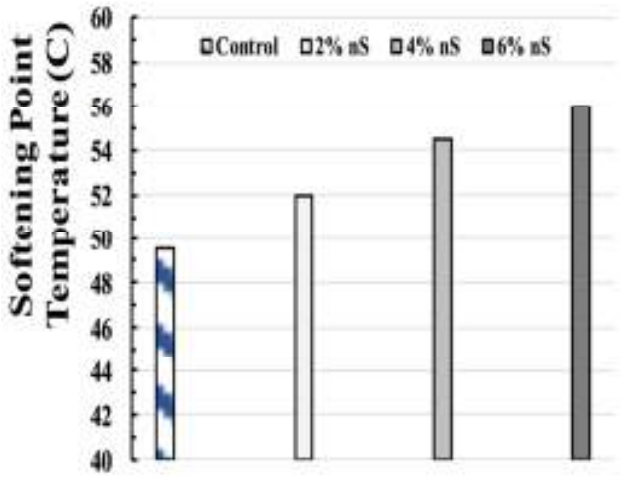
شکل۳. پخش نانوسیلیس قیر اصلاح شده



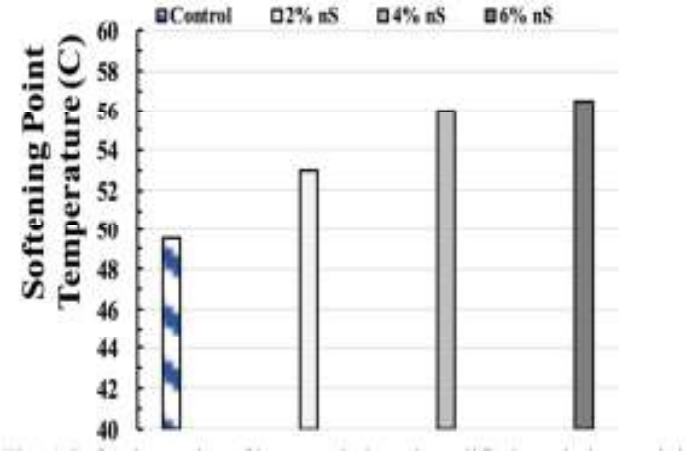
شکل ٤. میزان درجه نفوذ قیر پایه و آسفالت اصلاح شده در زمان اختلاط ۳۰ دقیقه



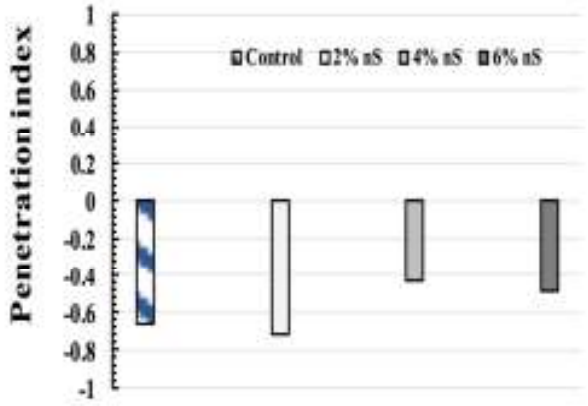
شکل ٥. ارزش نفوذ آسفالت پایه و آسفالت اصلاح شده در زمان اختلاط ٦۰ دقیقه



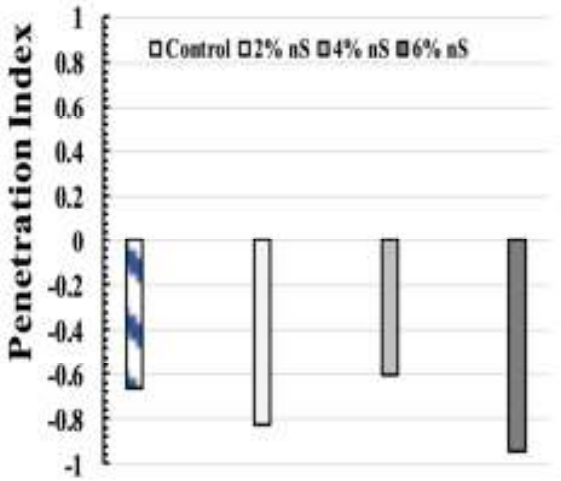
شکل ٦. نقطه نرم شدن آسفالت پایه و آسفالت اصلاح شده در زمان اختلاط ۳۰ دقیقه



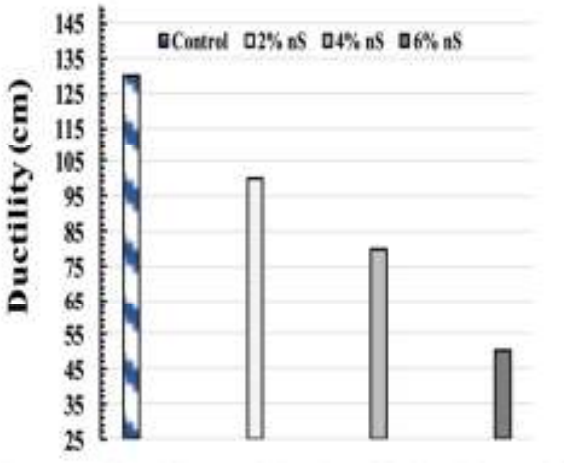
شکل ۷. نقطه نرم شدن آسفالت پایه و آسفالت اصلاح شده در زمان اختلاط ٦۰ دقیقه



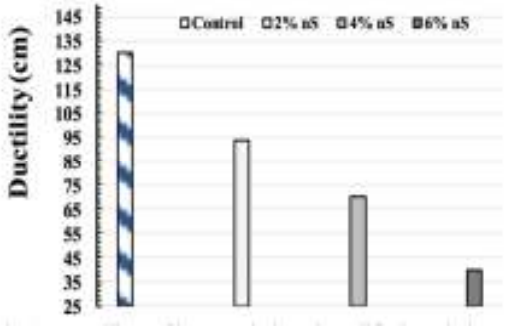
شکل ۸. شاخص درجه نفوذ قیر پایه و آسفالت اصلاح شده در زمان اختلاط ۳۰ دقیقه



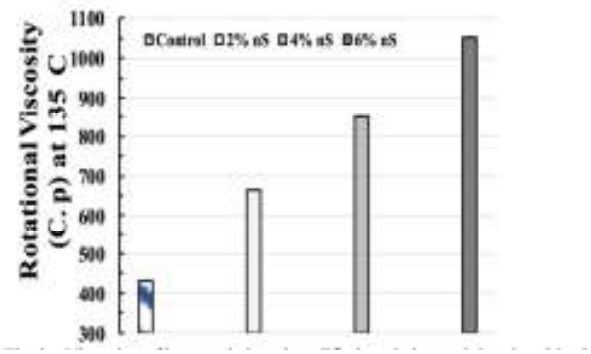
شکل ۹. شاخص نفوذ آسفالت پایه و آسفالت اصلاح شده در زمان اختلاط ۶۰ دقیقه



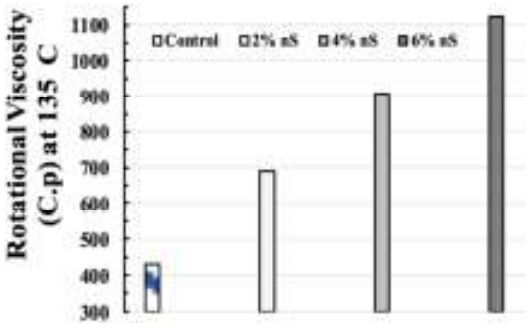
شکل ۱۰. شکل‌پذیری آسفالت پایه و آسفالت اصلاح شده در زمان اختلاط ۳۰ دقیقه



شکل ۱۱. شکل‌پذیری آسفالت پایه و آسفالت اصلاح شده در زمان اختلاط ۶۰ دقیقه



شکل ۱۲. ویسکوزیته آسفالت پایه و آسفالت اصلاح شده در زمان اختلاط ۳۰ دقیقه



شکل۱۳. ویسکوزیته آسفالت پایه و آسفالت اصلاح شده در زمان اختلاط ٦٠ دقیقه

۵-نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج تحقیق، نتایج زیر حاصل شد:

- ارزش نفوذ بایندر قیر با افزایش نسبت سری جدید کاهش می‌یابد که نشان دهنده بهبود چقرمگی و چقرمگی بایندر قیر اصلاح شده سری جدید در دماهای متوسط است.

- نقطه نرم‌شدن قیر با افزایش درصد نانو سیلیس افزایش می‌یابد که نشان دهنده افزایش سختی قیر با افزایش درصد نانو سیلیس است.

-شاخص نفوذ بایندرهای آسفالتی با افزایش درصد نانوذرات سیلیس به صورت ناسازگاری کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد افزودن سری جدید بر حساسیت دمایی قیری تأثیر منفی داشته است، اما مقادیر شاخص نفوذ می‌باشد. هنوز در محدوده (+۲,۰ تا -۲,۰) هستند و می‌توانند از آسفالت اصلاح شده با سری جدید برای روسازی بزرگراه‌ها استفاده کنند.

-شکل پذیری آسفالت اصلاح شده با سری جدید با افزایش درصد نانو سیلیس کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد سختی آن با افزایش محتوای نانو سیلیس افزایش می‌یابد و تجمع آسفالت اصلاح شده با سری جدید افزایش می‌یابد.

- درصد نانوسیلیکا بر حسب وزن آسفالت، خواص سنتی چسب قیر را تقویت کرد. قیر سیمان در شرایط آب و هوایی گرم مناسب تر شده است. بر اساس نتایج تحقیق، مقدار نفوذ کمتر، دمای نقطه نرمی بالا و ویسکوزیته بالا را نشان داد.

- با استفاده از همزن مکانیکی که با دور ۲۰۰۰ به مدت ۳۰ دقیقه کار می‌کند. دوره‌های اختلاط بهتر از ٦٠ دقیقه بود. برای به دست آوردن پراکندگی خوب ذرات نانو سیلیس در پیوند آسفالت - سیمان و به دست آوردن یک ماده همگن. اما زمان اختلاط بیشتر از ٦٠ دقیقه است. این اثر منفی بر شکل‌پذیری داشت و منجر به تجمع قیر اصلاح‌شده با سری جدید شد و این به وضوح در ٦٠ دقیقه ظاهر شد. همچنین مصرف انرژی بیشتر و هزینه آن نیز افزایش می‌یابد.

٦- پی‌نوشت‌ها

1- Specific Surface Area

۷- مراجع

-Chrissafis K., K. M. Paraskevopoulos, G. Z. Papageorgiou, D.N. Bikiaris, (2008), “thermal and dynamic mechanical behavior of bio nanocomposites; fumed silica nanoparticles dispersed in poly (vinyl pyrrolidine), chitosan, and poly (vinyl alcohol)”, J. Appl. Polym. Sci. 110, pp. 1739-1749.

-Doğan, M. and Bayramli, E., (2009), "Effect of polymer additives and process temperature on the physical properties of bitumen-based composites", Journal of Applied Polymer Science. 113(1), pp.2331- 2338.

-Fini, E. H., Hajikarimi, P., Rahi, M., and Moghadas Nejad, F., (2015), “Physiochemical, rheological, and oxidative aging characteristics of asphalt binder in the presence of mesoporous silica nanoparticles”, J. Mater. Civil Eng. 28:04015133.

-Gama, D.A., Jonior, J.M.R., Alves de Molde, T.J. and Rodrigues, J.K.G., (2016), "Rheological studies of asphalt modified with elastomeric polymer", Journal of Construction and Building Materials, 106(1), pp.290-295.

-Ghasemi, M., and Marandi, S.M., (2013), “Laboratory studies of the effect of recycled glass powder additive on the properties of polymer modified asphalt binders”, Int. J. Eng. Trans. A: Basics 26, pp.1183– 1190.

-H. Yao, Z. You, L. Li, C. H. Lee, D. Wingard, Y. K. Yap, X. Shi, S. W. Goh, (2012), “rheological properties and chemical bonding of asphalt modified with nanosilica”, J. Mater. Civ. Eng. 25 (11), pp.1619- 1630.

-Isacsson, U. and Zeng, H., (1998), "Low-temperature cracking of polymer-modified asphalt", Journal of Materials and Structures, 31(1), pp.58-63.

-Khattak,M.J.,Khattab,A.,Rizvi, H.R. and Zhang, P., (2012), "The impact of carbon nano-fiber modification on asphalt binder rheology", Construction and Building Materials, 30(5), pp.257-264.

-Lazzara, G. and Milioto, S., (2010), "Dispersions of nano-silica in biocompatible copolymers", Polymer Degradation Stability, 95(1), pp.610-617.

-Mahmoud Enieb, Aboelkasim Diab, (2017), “Characteristics of Asphalt Binder and Mixture Containing Nanosilica”, International Journal of Pavement Research and Technology 10,148-157.

-Quercia, G. and Brouwers, H.J.H., (2010), "Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures", In 8th Fib International Ph.D. Symposium in Civil Engineering, Lyngby, 20, pp.431-436.

-Sadeque, M. and Patil, K.A., (2013), "Rheological properties of recycled low-density polyethylene and polypropylene modified bitumen", International Journal of Advanced Technology in Civil Engineering, 2(2), pp.24-26.

-Samsonov, M.V. and Gureev, A.A., (2013), "Feasibility of modifying properties of road asphalts with polyethylene and plasticizers", Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 49(5), pp.420-424.

-Shafabakhsh, G.H., Mirabdolazimi, S.M. and Sadeghinejad, M., (2015), "Evaluation the effect of nano-TiO2 on the rutting and fatigue behavior of asphalt mixtures", Journal of Construction and Building Materials, 54(1), pp.566-572.

-Shafabahsh, G.H. and Jafari Ani, O., (2015), "Experimental investigation of effect of Nano TiO2/SiO2 modified bitumen on the rutting and fatigue performance of asphalt mixtures containing steel slag aggregates", Journal of Construction and Building Materials, 85(1), pp.136-143.

-Taherkhani,H.1and Afroozi, S., (2016), "The properties of nanosilica- modified

-You, Z., Mills-Beale, J., Foley, J.M., Roy, S., Odegard, G.M., Dai Q. and Goh, S.W., (2011), "Nano clay modified asphalt materials: Preparation and characterization", Construction and Building Materials, 25(2), pp.1072-1078.

-Yang, J. and Tighe, S., (2013), “A review of advances of nanotechnology in asphalt mixtures”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 96(6), pp.1269-1276.

asphalt cement", Petroleum Science and Technology, pp.1381-1386.

-White oak D. and Read, J., (2015), "Shell bitumen handbook, Shell Bitumen", London, UK.

-Yusoff, N.I.M., Breem, A.A.S., Alattug, H.N.M., Hamim, A. and Ahmad, J., (2014), "The effects of moisture susceptibility and ageing conditions on nano-silica/polymer-modified asphalt mixtures", Journal of Construction and Building Materials, 72(1), pp.139-147.

Evaluation of Rheological Properties of Binder Containing Nano-Sio2

Amin Choubdar, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

Alireza Ameli, Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

Amin Farajollahi, Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

E-mail: Amelii@gmail.com

Received: August 2021-Accepted: February 2022

ABSTRACT

A critical research area overlooked in previous studies on nano-silica material is the understanding of how its physical characteristics influence its final behavior as a composite when added to the asphalt binder. This study aimed to understand the feasibility of modifying the nanosilica with asphalt binder based on the asphalt binder characteristics. 60/70 penetration grade asphalt cement was prepared by adding (2%, 4% and 6%) of nanosilica by weight of asphalt. Properties of nanosilica material and asphalt cement were first examined. To prepare the modified asphalt binder was heated at 140C, blended by mechanical mixer at a speed of 2000 rpm for different mixing durations (30 to 60) minute. The modified asphalt binder was examined for rheological properties including penetration grade, softening point temperature, penetration index, Brookfield rotational viscosity and ductility test. Results shows that the modified asphalt binder stiffness increases based on rheological properties and sensitivity of temperature decreases with increasing nanosilica percentage. A4 % nano silica by asphalt weight enhanced the conventional properties of the modified asphalt binder and became proper in hot weather conditions. While ductility of modified asphalt decreases with increasing nano silica percentage, due to stiffness and agglomeration increased. Finally, longer mixing time to more than 60 min had an adverse effect on the ductility property and lead to agglomeration of nanosilica modified asphalt binder.

Keyword: Nano Silica, Asphalt Binder Material Properties, Modification Process