مطالعه آزمایشگاهی افزودنی‌های ساسوبیت و آسفامین در مخلوط آسفالت گرم

مقاله علمی – پژوهشی

امین فرج اللهی*، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
علیرضا عاملی، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: AminFarajollahi@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵- پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵
صفحه ۲۳۵-۲۲۳

چکیده

مخلوط آسفالت نیمه گرم، که دمای تولید (اختلاط و تراکم) را کاهش می‌دهد و در عین حال مزایای آسفالت مخلوط گرم را حفظ می‌کند، به یک روسازی جذاب تبدیل می‌شود. در این مطالعه، ویژگی‌های رئولوژیکی دو قیر درجه عملکرد PG۶۴ (رایج ۲۲-PG۶۴) و PG۷۰ (۲۸-با افزودنی ساسوبیت و آسفامین و بدون ساسوبیت و آسفامین مورد ارزیابی قرار گرفت. برای قیر PG ۲۲-۶۴، ۲و ۳و ٤ درصد ساسوبیت ،دمای اختلاط قیر خالص را از ۱۶۳ درجه سانتیگراد به ۱٤۷ درجه سانتی گراد (یعنی ۱۶ درجه سانتی گراد) کاهش می‌دهد. برای قیر PG۷۰-۲۸، کاهش‌ها به ترتیب ۱۰ درجه سانتیگراد، ۱۲ درجه سانتیگراد و ۱۳ درجه سانتیگراد برای افزودنی ساسوبیت ۲، ۳ و ٤ درصد است. هیچ کاهش قابل توجهی در دمای اختلاط توسط افزودنی آسفامین در استفاده از ویسکومتر چرخشی مشاهده نشد. ارزیابی قیرها بر اساس G/sin δ هیچ اثر منفی بر درجه‌بندی دمای بالا به دلیل کاهش ویسکوزیته در دمای بالا نشان نمی‌دهد. با افزودن ٤٪ افزودنی ساسوبیت، درجه بندی قیر در دمای بالا) PG٦٤ در واقع (PG٦٥ به PG٦٩ افزایش می‌یابد، در حالی که افزودنی ساسوبیت ٤٪ باعث بهبود) PG۷۰ در واقع PG۷۵ به PG۸۰) می‌شود. هیچ تغییر قابل توجهی در درجه‌بندی با افزودن افزودنی آسفامین مشاهده نشد. در واقع کاهش ویسکوزیته قیر و بهبود درجه بندی قیر بدون افزایش ویسکوزیته نشان دهنده کاهش دو طرفه (مستقیم و غیر مستقیم) در دمای تولید توسط افزودنی ساسوبیت است. در نهایت، افزودنی ساسوبیت به طور قابل توجهی عمق شیارهای روسازی آسفالت را کاهش می‌دهد و این عمق شیارها به خوبی با فاکتور شیارشگی G*/sin δ همبستگی دارد. همچنین مشاهده شد که پتانسیل شیارشدگی با کاهش دمای اختلاط و تراکم کاهش می‌یابد. با مقایسه مشخص شد کاهش کمتری در عمق شیارها با افزودن افزودنی آسفامین مشاهده شد.*

واژه‌های کلیدی: ساسوبیت، آسفامین، مخلوط نیمه گرم، عمق شیار

۱-مقدمه

در سال‌های اخیر، حفاظت از محیط زیست به طور فزاینده‌ای به یک موضوع اصلی در حمل و نقل، از جمله تولید آسفالت تبدیل شده است. اگرچه، مخلوط آسفالت گرم به طور گسترده در سراسر استفاده می‌شود، برخی از مطالعات اخیر استفاده از فرآیند دیگری را پیشنهاد می‌کند که باعث کاهش دمای تولید و قرار دادن مخلوط‌های آسفالتی می‌شود و در عین حال مزایای را حفظ می‌کند که این فناوری مخلوط نیمه گرم نام دارد (Corrigan, 2005; Roberts et al, 1996). آسفالت عمدتاً در کشورهای اروپایی استفاده می‌شود. از مزایای، مهمترین آنها کاهش دمای قیر آسفالت در حین تولید (اختلاط و تراکم) است، مزیتی که در مقایسه با مخلوط آسفالت گرم منجر به کاهش مصرف انرژی می‌شود (Day et al, 2004; Barthel et al, 2005).

این کاهش مزایای دیگری نیز دارد، از جمله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوزاندن سوخت در کارخانه، کاهش دود در محل سنگفرش و کاهش بود. این مزایا و همچنین بهبود کیفیت هوا می‌تواند قابل توجه باشد بر اساس بررسی‌ها، آشکار است که در سال‌های اخیر چندین فناوری توسط کشورهای اروپایی برای تولید مخلوط آسفالت گرم استفاده شده است (Hurley et al, 2005a; Hurley et al, 2005b). یک فناوری از یک سیستم قیر دو جزئی به نام کف قیر در مراحل مختلف در طول تولید کارخانه استفاده می‌شود. این سیستم اتصال دهنده هم به عنوان یک چسب نرم و هم به عنوان یک کف قیر سخت عمل می‌کند تا به حفظ ویسکوزیته و کارایی مطلوب یک مخلوط در دمای کاهش یافته کمک کند. (Sisko et al, 1969; Stuart et al, 1995) کف قیر ممکن است به سختی به طور موثر و ایمن در یک محیط آزمایشگاهی کف کند. رویکرد دوم از مواد افزودنی، اعم از آلی یا معدنی، برای دستیابی به اهداف مشابه استفاده می‌شود. در میان افزودنی‌های آلی، افزودنی ساسوبیت، موم پارافین فیشر-تروپش، و آسفالتان، موم استری شده با وزن مولکولی کم، موفقیت آمیز بوده‌اند. در میان مواد افزودنی معدنی، یک زئولیت مصنوعی به نام آسفامین در حین اختلاط گیاه برای ایجاد اثر کف در قیر اضافه می‌شود. (Hamid et al, 2004; Sherwood et al, 1998) حوزه مخلوط آسفالت گرم نسبتاً جدید و در حال تکامل است. اگرچه مخلوط آسفالت گرم مخلوط امیدوار کننده است، اما کمبود قابل توجهی از داده‌های آزمایشگاهی و میدانی در مورد خواص رئولوژیکی قیرهای اصلاح شده و استحکام، سفتی و خواص مربوط به عملکرد مخلوط وجود دارد.

۲- پیشینه تحقیق

این مطالعه به منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد دو افزودنی آلی و معدنی، یعنی افزودنی‌های ساسوبیت و آسفامین در تولید مخلوط آسفالت گرم در یک محیط آزمایشگاهی انجام شده است. به طور خاص، این افزودنی‌ها با دو قیر آسفالت (PG) ۲۲-۶۴ PG و ۲۸-۷۰ PG مخلوط شدند و تأثیر آنها بر خواص رئولوژیکی قیرها مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، خواص و عملکرد نمونه‌های مخلوط آسفالت گرم به دست آمده با نمونه‌های مخلوط آسفالت گرم مربوطه ارزیابی و مقایسه شد.
اهداف خاص این مطالعه در زیر ذکر شده است:
الف- ارزیابی تغییرات ویسکوزیته (با استفاده از ویسکومتر چرخشی) در دمای اختلاط و تراکم و در نتیجه کاهش، در صورت وجود، در دمای تولید (اختلاط و تراکم) را تعیین می‌کنیم.
ب- ارزیابی تغییرات در $G^*/\sin(\delta)$، در صورت وجود، در دمای سرویس روسازی با استفاده از یک رئومتر برشی دینامیکی (4DSR) از نوع اصلی و قدیمی با استفاده از کوره لایه نازک نورد (RTFO)5 انجام می‌شود. در صورت وجود تغییرات در درجه بندی قیر را تعیین می‌کنیم.
ج- عمق با استفاده از آنالایزر روسازی آسفالتی اندازه‌گیری می‌شود و این نیز در صورت وجود، بهبود درجه بندی کلاسور را توجیه می‌کند.
در صورت امکان، ضریب شیارشدگی، $G^*/\sin(\delta)$، را با عمق شیار در دمای سرویس مرتبط می‌کنیم.

۳-روش تحقیق

۳-۱- مواد و مصالح

افزودنی ساسوبیت یک محصول پارافین واکس ساسول وکس آفریقای جنوبی است که این یک اصلاح کننده یا بهبود دهنده جریان آسفالت است. این یک ماده کریستالی خوب با هیدروکربن‌هایی با زنجیره بلند است که توسط سنتز فیشر-

تروپش (F-T) تولید می‌شود. این زنجیره بلند با ٤٠ تا ١١٥ اتم کربن ساخته شده است. به گفته سازنده، نقطه ذوب ماده افزودنی تقریباً ١٠٠ درجه سانتیگراد است و محصول در دمای بالاتر از ١١٥ درجه سانتیگراد در قیرهای آسفالت کاملاً محلول است. این افزودنی ویسکوزیته قیر و در نتیجه دمای تولید را بین ١٠ تا ٣٠ درجه سانتی گراد کاهش می‌دهد. در دماهای کمتر از نقطه ذوب خود، افزودنی ساسوبیت یک ساختار شبکه‌ای در چسب آسفالت ایجاد می‌کند که پایه‌ای برای افزایش مقاومت در برابر شیار شدن در دمای سرویس است. علاوه بر این، گزارش شده است که موم Sasolباعث افزایش "تراکم‌پذیری" یک مخلوط در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی اصلاح نشده می‌شود. سازنده توصیه می‌کند که افزودنی ساسوبیت را به میزان ٣ درصد وزنی قیر آسفالت اضافه گردد تا به کاهش ویسکوزیته مطلوب دست یابد که به دلیل اثرات غیر مفید یا مضر احتمالی بر خواص دمای پایین آسفالت غلظت نباید از ٤ درصد وزنی تجاوز کند. افزودنی آسفامین محصول شرکت Eurovia، Bottrop، آلمان است. یک پودر سفید بسیار ریز و یک زئولیت مصنوعی است که هنگام اختلاط برای ایجاد اثر کف در قیر و کاهش ویسکوزیته قیر و در نتیجه کاهش دمای تولید ٣٠ درجه سانتیگراد تا ٣٥ درجه سانتیگراد به آن اضافه می‌شود. سازنده توصیه می‌کند که افزودنی آسفامین را در ٠,٣٪ وزن مخلوط اضافه کنید تا ویسکوزیته مورد نظر کاهش یابد. کاهش ٣٠ درجه سانتی گراد در دمای تولید معادل حدود ٣٠ درصد کاهش در مصرف سوخت است. افزودنی آسفامین را می‌توان همزمان با قیر بدون هیچ گونه تغییری در فرآیند آماده‌سازی مخلوط به سنگدانه‌های از پیش گرم شده اضافه کرد. سپس یک بخار مبتنی بر آب ایجاد می‌شود. هر دو قیر مورد استفاده در این مطالعه، ٢٢-٦٤ PG و٢٨-٧٠ PG، از پالایشگاه نفت پاسارگاد تهیه شدند. ٢٢-٦٤ PGیک قیر اصلاح نشده است، در حالی که ٢٨-٧٠ PG یک قیر اصلاح شده با پلیمر با استایرن-بوتادین-استایرن (SBS) است. سنگ آهک و معدن برای طرح‌های ترکیبی HMA از معدن تلو به دست آمد.

٣-٢- تست آزمایشگاهی

٣-٢-١-تست‌های رئولوژی قیر

همانطور که قبلا ذکر شد، دو قیر، ٢٢-٦٤ PG و٢٨-٧٠ PG، در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. سه درصد انتخاب شده از افزودنی ساسوبیت (٢٪، ٣٪ و ٤٪ وزنی قیر) و سه درصد انتخاب شده از افزودنی آسفامین (٠,٢٪، ٠,٣٪ و ٠,٤٪ وزن مخلوط) به هر قیر اضافه شد تا اثرات آنها بر روی خواص رئولوژیکی هر قیر ارزیابی شود و مقدار افزودنی مورد نظر تعیین شود. برای مخلوط کردن این مواد افزودنی با ٢٢-٦٤ PG از یک مخلوط کن دستی با دمای ١٣٥ درجه سانتی گراد استفاده شد. دمای بالاتر (١٥٠ درجه سانتیگراد) برای ٢٨-٧٠ PG استفاده شد.

٣-٢-٢-رئومتر برش دینامیکی

به منظور مشخص کردن ویژگی‌های اساسی ریولوژیکی قیر، تست DSR انجام شد. این تست می‌تواند به درستی رفتار الاستیک و ویسکوز قیر را در دماهای متوسط تا دماهای بالا توصیف کند. مدول مرکب (G*)و زاویه فاز (d)پارامترهای اصلی ویسکوالاستیک هستند که در این تست اندازه‌گیری می‌شوند. پارامتر G اطلاعاتی را در مورد مقاومت قیر به تغییر شکل هنگامی که در معرض بار برشی قرار می‌گیرد، فراهم می‌کند. پارامتر d تاخیر زمانی بین تنش‌های برشی اعمال‌شده و پاسخ‌های کرنش برشی را نشان می‌دهد. تحلیل این دو پارامتر می‌تواند رفتار قیر مانند پتانسیل شیارشدگی را پیش‌بینی کند. پارامتر G* / Sinδ که پارامتر شیارشدگی نامیده می‌شود مقاومت شیارشدگی قیر را نشان می‌دهد. نمونه‌های قیر با ضخامت ١ میلی متر و قطر ٢٥ میلی متر با فرکانس١٠ rad / s و در دمای ٤٦، ٥٢، ٥٨، ٦٤، ٧٠ و ٧٦ درجه سانتی گراد با توجه به روش آزمون استاندارد ASTM - D٧١٧٥، تست شدند. مقدار G* / Sin δ برای قیرهای پیرنشده باشد، که مطابق با ASTM – D ٥ انجام شد. تست ویسکوزیته با استفاده از ویسکومتر چرخشی بروکفیلد برای اندازه‌گیری ویسکوزیته قیرهای اصلاح‌نشده و اصلاح شده در دمای ١٣٥ درجه سانتی گراد مطابق با استاندارد ASTM D ٤٤٠٢- انجام شد. توصیه می‌شود که با توجه به استاندارد، ASTM - D٧١٧٥ بیش از ١ کیلو پاسکال باشد.

۳-۲-۳-شیار جای چرخ

جهت تعیین مقاومت مخلوط‌های اسفالتی در برابر شیارشدگی آزمایش شیار جای چرخ انجام شد. بـرای هـر نوع مخلوط سه نمونه مارشال در دستگاه قرار می‌گیرد و توسط دو چرخ که حول مرکزشان دوران مـی‌کننـد بـا فشـار حـدود ۱۰ کیلوگرم برسانتیمتر مربع مورد بارگذاری قرار می‌گیرند. فرکانس بارگذاری برای هـر نمونـه ۱ هرتـز و دمـای ازمـایش ۵۰ درجـه سانتیگراد است. در مجموع نمونه‌ها تحت ۸۰۰۰ سیکل بارگذاری قرار گرفتند و پس از ان بیشینه عمق شیار بوجـود آمـده در هر نمونه اندازه‌گیری و میانگین سه نمونه به عنوان عمق شیار هر مخلوط به دست امد.

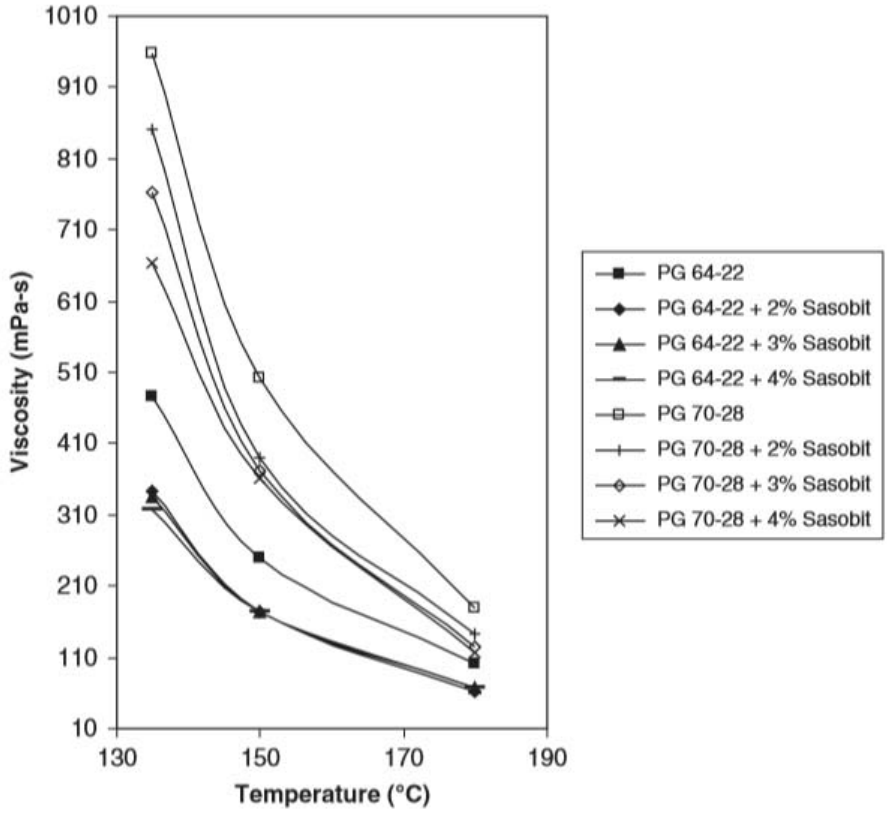
٤-نتایج تجربی

٤-١- اثر دمای تولید بر ویسکوزیته

شکل ۱ نتایج تست RV را برای ۲۲-٦٤ PG نشان می‌دهد . برای هر دو ۲۲-٦٤ PG و۲۸-۷۰ PG، افزودنی ساسوبیت ویسکوزیته را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (جدول ۱)، در حالی که افزودنی آسفامین اثر ناچیزی در کاهش ویسکوزیته دارد، همانطور که توسط RV مشاهده شده می‌شود. برای PG ۲۲-٦٤، بدیهی است که افزودن افزودنی ساسوبیت باعث کاهش قابل توجه ویسکوزیته می شود (جدول ۱). ویسکوزیته قیر اصلاح شده با ۲٪ ساسوبیت، ۱۷۵ میلی پاسکال در ۱۵۰ درجه سانتی گراد است. در مقایسه متوجه شدیم، ویسکوزیته قیر خالص ۲۵۰ mPas ۲۲-٦٤ PG در همان دما است. ویسکوزیته مورد نظر برای اختلاط مناسب قیر آسفالت ۲۰±۱۷۰ میلی پاسکال بر ثانیه است .(AASHTO T ۳۱۲-۰۱) با این حال، هر سه درصد از افزودنی ساسوبیت دمای اختلاط (۱٦۳ درجه سانتیگراد همانطور که توسط ODOT توصیه شده است) را تا ۱٦ درجه سانتیگراد کاهش می‌دهند (جدول ۲). برای افزودنی آسفامین، هنگامی که به ۲۲-٦٤ PG اضافه شد، یک تغییر ناچیز در ویسکوزیته چرخشی مشاهده شده است. برای۲۸-۷۰ PG، ویسکوزیته ۲۸-۷۰ PG خالص حدود ۵۰۲ میلی پاسکال در۱۵۰ درجه سانتی گراد است، در حالی که ویسکوزیته ۲۸-۷۰ PG با افزودنی ساسوبیت ۲، ۳، و ٤ درصد حدود ۳۹۰ میلی پاسکال است s ۰، ۳۷۳ mPa s و ۳٦۰ mPa s، به ترتیب، در یک دما هستند (جدول ۱). این کاهش‌ها مربوط به کاهش دمای اختلاط به ترتیب ۱۰ درجه سانتی گراد، ۱۲ درجه سانتی گراد و ۱۳ درجه سانتی گراد از ۱٦۳ درجه سانتی گراد است (جدول ۲). در مورد ۲۸-۷۰ PG با افزودنی آسفامین، ۰٫۲٪، ۰٫۳٪ و ۰٫٤٪ افزودنی آسفامین، ویسکوزیته قیر را به ترتیب ٤ درجه سانتی گراد، ۳ درجه سانتی‌گراد و ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد.

٤-٢- اثر سختی دمای بالا بر (G */sin) در دمای سرویس

هر دو قیر اصلی و قیرهای پیرشده با RTFO توسط DSR آزمایش شدند. هر آزمون سه بار بر اساس روش AASHTO T ۳۱۵-۰۲برای اطمینان از تکرارپذیری داده‌ها انجام شد. دماهای در نظر گرفته شده ٦۰ درجه سانتی گراد، ٦٤ درجه سانتی‌گراد و۷۰ درجه سانتی‌گراد برای ۲۲-٦٤ PG و ٦۰ درجه سانتی‌گراد، ۷۰ درجه سانتی‌گراد و ۸۰ درجه سانتی گراد برای ۲۸-۷۰ PG بودند.



شکل ۱. نتایج ویسکوزیته نسبت به دما

جدول ۱. نتایج ویسکوزیته دورانی

	PG ۶۴-۲۲				PG ۷۰-۲۸			
دما	خالص	۰.۲۰٪	۰.۳۰٪	۰.۴۰٪	خالص	۰.۲۰٪	۰.۳۰٪	۰.۴۰٪
ویسکوزیته دورانی برای آسفامین								
۱۳۵	۴۷۵	۴۷۹	۴۷۵	۵۷۴	۹۵۸	۸۶۹	۸۹۰	۸۸۳
۱۵۰	۲۵۰	۲۴۳	۲۴۳	۲۵۴	۵۰۲	۵۰۲	۴۵۸	۴۶۵
۱۸۰	۱۰۰	۸۸	۹۵	۱۰۰	۱۷۹	۱۸۹	۱۵۰	۱۵۴
ویسکوزیته دورانی برای ساسوبیت								
۱۳۵	۴۷۵	۳۴۴	۳۳۵	۳۱۷	۹۵۸	۸۵۰	۷۶۳	۶۶۳
۱۵۰	۲۵۰	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵	۵۰۲	۳۹۰	۳۷۳	۳۶۰
۱۸۰	۱۰۰	۶۳	۶۷	۶۷	۱۷۹	۱۴۲	۱۲۵	۱۱۷

جدول ۲. تغییرات در دمای اختلاط و تراکم

	PG ٦٤-٢٢			PG ٧٠-٢٨	
درصد آسفامین	٠.٢٠٪	٠.٣٠٪	٠.٤٠٪	٠.٢٠٪	٠.٣٠٪	٠.٤٠٪
کاهش دمای اختلاط	١	١	٠	٤	٣	٣
کاهش دمای تراکم	٠	١	٠	٢	٢	١
درصد ساسوبیت	٢٪	٣٪	٤٪	٢٪	٣٪	٤٪
کاهش دمای اختلاط	١٦	١٦	١٦	١٠	١٢	١٣
کاهش دمای تراکم	٧	٧	٨	٤	٥	٧

٤-٣-قیرهای اصلی

نتایج DSR برای این سری از تست‌ها در جدول ۳ ارایه شده است.

G*/sin(δ) PG ٦٤-٢٢اصلی با ٢٪ افزودنی ساسوبیت ١,٢١ کیلو پاسکال در دمای ٦٤ درجه سانتیگراد است.

G*/sin(δ)همان قیر با ٣٪ و ٤٪ افزودنی ساسوبیت به ترتیب ١,٤٧ کیلو پاسکال و ١,٩٠ کیلو پاسکال در همان دما است. در مقایسه، G*/sin(δ)قیر اصلی ١,١٣ کیلو پاسکال می‌باشد. بدیهی است که استفاده از افزودنی ساسوبیت G*/sin(δ) را افزایش داد و درصدهای بالاتر افزودنی منجر به افزایش بیشتر شود. مقایسه مشابهی را می‌توان برای PG ٧٠-٢٨ اصلاح شده با افزودنی ساسوبیت انجام داد (جدول ٣). به طور کلی، افزودن افزودنی ساسوبیت در قیر باعث افزایش G*/sin(δ) در محدوده دمایی در نظر گرفته شده (٦٠ درجه سانتی گراد تا ٨٠ درجه سانتی گراد) می‌شود. افزایش G*/sin(δ) در دمای سرویس، بهبود قابل توجهی در پایداری و مقاومت در برابر تغییر شکل یک مخلوط آسفالتی تحت شرایط عملیاتی دمای محیط بالا و ترافیک سنگین ایجاد می‌کند. در مقایسه، افزودنی آسفامین G*/sin(δ) را به شیوه‌ای قابل توجه تغییر نمی‌دهد- G*/sin(δ) PG ٦٤ .

٢٢اصلی ١,١٣ کیلو پاسکال در دمای ٦٤ درجه سانتیگراد است. در این دما، G*/sin(δ)این چسب به ٠,٩١ کیلو پاسکال، ٠,٩٢ کیلو پاسکال و ٠,٩٣ کیلو پاسکال با استفاده از افزودنی آسفامین به ترتیب ٠,٢، ٠,٣٪ و ٠,٤٪ تغییر می‌کند (جدول٣) برای PG ٢٨-٧٠اصلی، G*/sin(δ)تقریباً ١,٩٧ کیلو پاسکال در ٧٠ درجه سانتیگراد است. در این دما، G*/sin(δ) با افزایش درصد افزودنی آسفامین اندکی کاهش می‌یابد (جدول ٣).

٤-٤-قیرهای قدیمی

علاوه بر تجربه اثرات دما، یک قیر در طول فرآیند ساخت و ساز و در طول عمر یک روسازی کهنه می‌شود. حرارت دادن قیر آسفالت تا دمای اختلاط و اختلاط آن با سنگدانه‌ها باعث اکسیداسیون و تبخیر سریع می‌شود (٦). RTFOبه طور کلی برای شبیه سازی تغییر در ویژگی‌های قیر در طول ساخت استفاده می‌شود. آزمون RTFO بر اساس روش AASHTO T ٢٤٠-٠٣انجام می‌شود. قیرهای قدیمی با DSR آزمایش می‌شوند تا تغییرات G*/sin(δ) به دلیل پیری کوتاه مدت مقایسه شود. یک تغییر قابل توجه در G*/sin(δ) قیر می‌تواند یک مخلوط آسفالت را شکننده کند و ممکن است زودتر ترک بخورد (٧)

نتایج DSR در جدول ٣ خلاصه شده است. (بعد از پیری RTFO) PG ٦٤-٢٢اصلاح شده با افزودنی ٢٪ ساسوبیت ٢,٦٩ کیلو پاسکال در دمای ٦٤ درجه سانتیگراد است.

جدول ۳. میانگین G*/sin برای کلاسورهای اصلی و کلاسورهای قدیمیRTFO

	PG ٦٤-٢٢							PG ٧٠-٢٨						
		ساسوبیت			آسفامین			ساسوبیت			آسفامین			
	خالص	٢٪	٣٪	٤٪	٠.٢٠٪	٠.٣٠٪	٠.٤٠٪	خالص	٢٪	٣٪	٤٪	٠.٢٠٪	٠.٣٠٪	٠.٤٠٪
پارامتر G*/Sin برای قیر معمولی														
٦٠	١.٩١	٢.٠٦	٢.٥٤	٣.٢٩	١.٥٨	١.٥٩	١.٦١	٥.٠٣	٦.٩٢	١٠.١	١١.٥	٤.٩٩	٤.٦٣	٤.٢١
٦٤	١.١٤	١.٢١	١.٤٥	١.٩	٠.٩١	٠.٩٢	٠.٩٣	–	–	–	–	–	–	–
٧٠	٠.٤٨	٠.٥٧	٠.٧	٠.٨٧	٠.٤٤	٠.٤٤	٠.٤٥	١.٩٧	٢.٦٦	٤.٠١	٤.٣٤	١.٧٨	١.٧٨	١.٦٣
٨٠	–	–	–	–	–	–	–	٠.٨٣	١.٠٢	١.٤٦	١.٥١	٠.٧٢	٠.٧٢	٠.٦٦
پارامتر G*/Sin برای قیر پیرشده														
٦٠	٤.٩٣	٤.٩	٧.٥٥	١٠.٣٢	٣.٥٧	٣.٧٣	٣.٩٢	٧.٦٣	١٢.٥	١٣.٥	١٥.١	٩.٥	٨.٩٣	٧.٨٢
٦٤	٢.٨٤	٢.٦٩	٤.١٧	٥.٥٦	٢.٠٦	٢.١٣	٢.٢٨	–	–	–	–	–	–	–
٧٠	١.٣	١.١٥	١.٦٤	٢.١١	٠.٩٥	٠.٩٩	١	٣.٠١	٤.٩٢	٥.٣١	٥.٧١	٣.٦٦	٣.٤٢	٣.٠٤
٨٠	–	–	–	–	–	–	–	١.٢٩	٢	٢.٠٩	٢.١٥	١.٤٦	١.٣٨	١.٢٣

G*/sin(δ) با ٣٪ و ٤٪ افزودنی ساسوبیت، مقادیر G*/sin(δ)مربوطه به ترتیب ٤,١٧ کیلو پاسکال و ٥,٥٦ کیلو پاسکال می‌باشد. در مقایسه، ((G*/sin(δپس از پیری) همان چسب با ٠,٢٪، ٠,٣٪ و ٠,٤٪ افزودنی آسفامین به ترتیب ٢,٠٦ کیلو پاسکال، ٢,١٣ کیلو پاسکال، و ٢,٢٨ کیلو پاسکال می‌باشد. حداقل نیاز G*/sin(δ) پس از پیری ٢.٢ RTFO کیلو پاسکال است.(AASHTO M 320-03) . هر دو افزودنی ساسوبیت و آسفامین در مورد PG ٢٨-٧٠ عملکرد خوبی داشتند. هر سه درصد از هر یک از دو افزودنی حداقل نیاز ٢,٢ کیلو پاسکال (AASHTO M ٣٢٠-٠٣)را پشت سر گذاشتند (جدول ٣).

٤-٥-تاثیر بر عامل پیری

یک مطالعه NCHRP نشان داد که پیری RTFO توزیع اندازه مولکولی را تغییر می‌دهد (٧). آسفالتین‌ها افزایش می‌یابد، در حالی که رزین‌ها و روغن‌ها کاهش می‌یابد. رزین‌ها به آسفالتین تبدیل می‌شوند که اثر خالص آن افزایش اندک وزن مولکولی است.

G*/sin(δ)با افزایش اندک وزن مولکولی به طور قابل توجهی افزایش می یابد. این افزایش، G*/sin(δ)بین قیرهای اصلی و قدیمی را توضیح می‌دهد. اما همچنین گزارش شده است که افزایش زیادی درG*/sin(δ)، ناشی از پیری، و سختی یک قیر با ترک خوردگی روسازی همراه است. به همین خاطر عوامل پیری (نسبت G*/sin(δ) قیر قدیمی و قیر اصلی) در جدول ٤ مقایسه شده است. به طور کلی هر چه ضریب پیری کمتر باشد عمر روسازی بهتر خواهد بود. جدول ٤ نشان می‌دهد که ضریب پیری برای PG ٢٢-٦٤ اصلی ٢,٥٢ در دمای ٦٤ درجه سانتیگراد می‌باشد. فاکتورهای متناظر برای افزودنی ٢٪، ٣٪ و ٤٪ ساسوبیت به ترتیب ٢,٢١، ٢,٨٤ و ٢,٩٢ می‌باشد. در مورد افزودنی آسفامین فاکتورهای پیری به ترتیب ٢/٢٥، ٢/٣٢ و ٢/٤٥ برای ٠/٢، ٠/٣ و ٠/٤ درصد این افزودنی است. برایPG ٢٨-٧٠، افزودن افزودنی ساسوبیت باعث کاهش عامل پیری می‌شود. فاکتور پیری PG ٢٨-٧٠ خالص ١,٥٣ در دمای ٧٠ درجه سانتیگراد است، در حالی که عوامل پیری به ترتیب ١,٩١، ١,٩٢، و ١,٨٧ برای ٠,٢٪، ٠,٣٪ و ٠,٤٪ آسفامین افزایش هستند (جدول ٤).

جدول ٤. عامل پیری بین قیر اصلی و RTFO-Aged G*/sin

		PG ٦٤-٢٢					
		ساسوبیت				آسفامین	
دما	خالص	٢٪	٣٪	٤٪	٠.٢٠٪	٠.٣٠٪	٠.٤٠٪
٦٠	٢.٥٨	٢.٣٧	٣.٠٦	٣.١٣	٢.٢٥	٢.٣٣	٢.٤٥
٦٤	٢.٥٢	٢.٢١	٢.٨٤	٢.٩٢	٢.٢٤	٢.٣١	٢.٤٢
٧٠	٢.٦٣	٢.٠٢	٢.٣٦	٢.٤٢	٢.١٤	٢.٢٢	٢.٢٣
		PG ٧٠-٢٨					
		ساسوبیت				آسفامین	
دما	خالص	٢٪	٣٪	٤٪	٠.٢٠٪	٠.٣٠٪	٠.٤٠٪
٦٠	١.٥١	١.٨١	١.٣٤	١.٣١	١.٩	١.٩٣	١.٨٧
٦٤	١.٥٣	١.٨٥	١.٣٢	١.٣٢	١.٩١	١.٩٢	١.٨٧
٧٠	١.٥٥	١.٩٦	١.٤٣	١.٤٢	١.٩	١.٩٢	١.٨٦

جدول ٥. تغییرات درجه بندی قیر

	PG ٦٤-٢٢				PG ٧٠-٢٨		
	خالص	٠.٢٠٪	٠.٣٠٪	٠.٤٠٪	خالص	٠.٢٠٪	٠.٣٠٪	٠.٤٠٪
اثر بر درجه بندی قیر با آسفامین								
معمولی	٦٥	٦٣	٦٣	٦٣	٧٩	٧٨	٧٧	٧٦
پیرشده	٦٦	٦٣	٦٤	٦٤	٧٥	٧٧	٧٦	٧٥
ترکیب	٦٥	٦٣	٦٣	٦٣	٧٥	٧٧	٧٦	٧٥
اثر بر درجه بندی قیر با ساسوبیت								
معمولی	٦٥	٦٦	٦٨	٦٩	٧٩	٨٠	٨٢	٨٢
پیرشده	٦٦	٦٦	٦٩	٧٠	٧٥	٧٩	٨٠	٨٠
ترکیب	٦٥	٦٦	٦٨	٦٩	٧٥	٧٩	٨٠	٨٠

جدول ٦. عمق شیار بعد از ٨٠٠٠ سیکل

قیرخالص	٢٪ ساسوبیت	٣٪ ساسوبیت	٤٪ ساسوبیت	آسفامین ٢٪	آسفامین ٣٪	آسفامین ٤٪
٥,٨	٤,٧	٤	٣,٥	٥	٥,٦	٦,١

جدول ۷. عمق شیار برای کاهش دمای اختلاط و تراکم قیر PG 70-28

افزودنی	دمای اختلاط	دمای تراکم	عمق شیار
خالص	۱۶۳	۱۴۹	۶.۸۵
۳٪ ساسوبیت	۱۵۳	۱۳۹	۲.۴۱
۳٪ ساسوبیت	۱۴۳	۱۲۹	۲.۹۵
آسفامین ۰٫۳٪	۱۵۳	۱۳۹	۴.۸۵
آسفامین ۳٪	۱۴۳	۱۲۹	۳.۵۹

٤-٦-تأثیر بر درجه بندی قیر

جدول ۳ و جدول ۵ نشان می‌دهد که-٦٤ PG G*/sin(δ) ۲۲با افزودنی ساسوبیت با افزایش درصد افزودنی برای هر دو قیر اصلی و با پیرشدگیRTFO افزایش می‌یابد. بنابراین، افزودنی ساسوبیت ٤٪ درجه بندی قیر را به طور قابل توجهی از ٦٤ PGدر واقع (٦٥ PG به ٦٩ PG افزایش می‌دهد. افزودنی آسفامین درجه بندی ٦٤ PG را به طور قابل توجهی تغییر نمی‌دهد. برای۲۸-۷۰ PG، بهبود درجه بندی کلی بر حسب G*/sin(δ)هم چسب اصلی و هم قیر با سن RTFO برای تمام درصدهای افزودنی ساسوبیت قابل توجه است. مشخص شد که درجه بندی واقعی ۷۵ PG ۷۰ PG است. با افزودن ۲٪، ۳٪ و ٤٪ افزودنی ساسوبیت، درجه بندی قیر به ترتیب به۷۹ PG، ۸۰ PG و ۸۰ PG افزایش می یابد. در مقایسه، افزودنی ۰٫۲٪ آسفامین درجه بندی قیر را به ۷۷ PG افزایش می‌دهد.

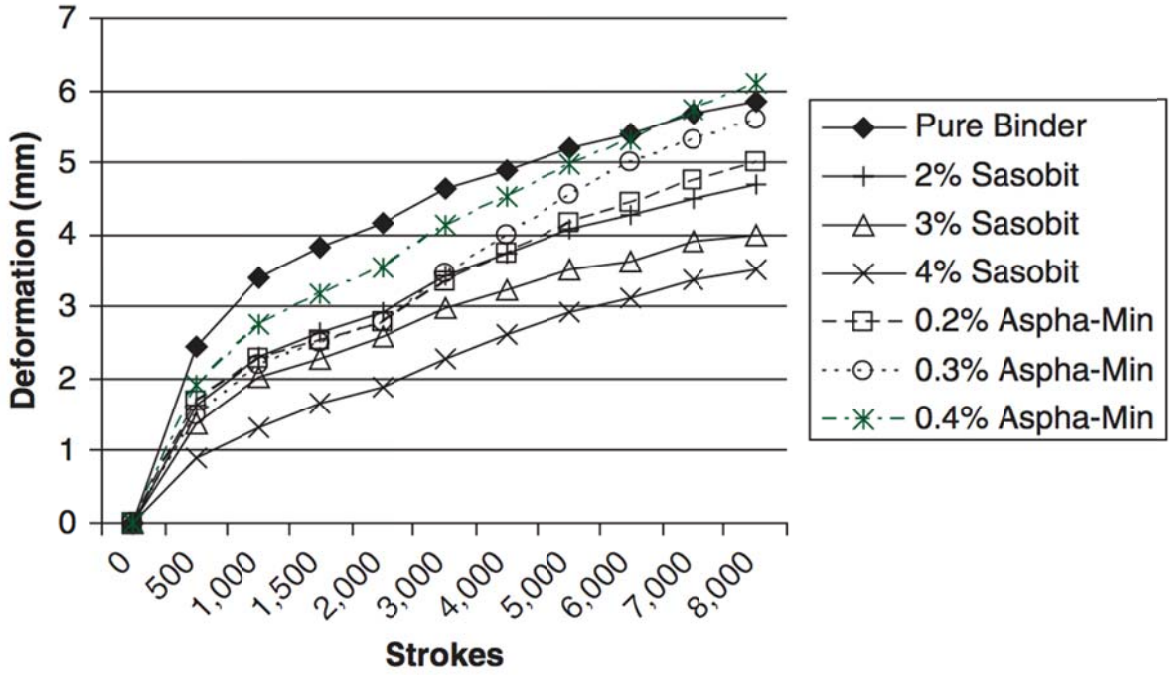
اثر بر درجه بندی قیر در دمای پایین با استفاده از یک رئومتر پرتو خمشی (AASHTO T ۳۱۳) مورد بررسی قرار گرفت.

۲۲-٦٤ PG و۲۸-۷۰PG، هر دو با افزودنی ۳٪ ساسوبیت، نتوانستند حداقل مقدار) m-value نرخ تغییر در سفتی) تعیین شده ۰.۳ Superpave را برآورده کنند. مقادیر سفتی خزش زیر حداکثر مجاز ۳۰۰ مگاپاسکال است . برای درصدهای دیگر از هر دو افزودنی ساسوبیت و آسفامین به مطالعه‌ی بیشتری نیاز است.

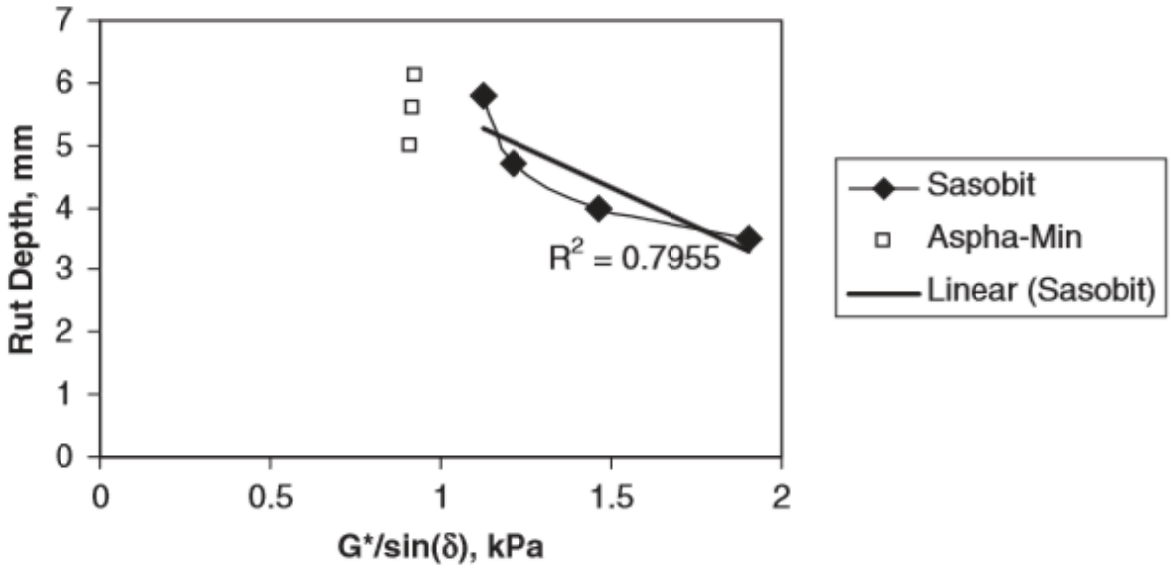
٤-۷- تاثیر بر عمق شیار

آزمایش‌های شیارشدگی بر روی نمونه‌های استوانه‌ای فشرده تهیه‌شده با مخلوط‌های حاوی قیرهای اصلاح‌نشده و اصلاح‌شده انجام شد. جداول ٦ و ۷ خلاصه‌ای از این نتایج را برای دو کلاسور پس از ۸۰۰۰ چرخه بارگذاری ارائه می‌دهد. به طور کلی عمق شیارها با افزایش درصد افزودنی ساسوبیت در ۲۲-٦٤ PG کاهش می یابد. عمق شیار برای ۲۲-٦٤ PG بدون افزودنی ۵٫۸ میلی متر است. عمق شیارها با قیرهای اصلاح شده با ساسوبیت ۲، ۳ و ٤ درصد به ترتیب ٤٫۷، ٤٫۰ و ۳٫۵ میلی متر است. ۰٫۲٪ و ۰٫۳٪ آسفامین عمق شیار را به ترتیب به ۵٫۰ و ۵٫۸ میلی‌متر کاهش می‌دهد (شکل ۲). تعدادی از محققین G*/sin(δ) را با عمق شیار ارتباط دادند و سپس G*/sin(δ) را یک پارامتر شیار نامیدند (۱۰،۸). در این مطالعه، مشخص شد که برای PG ۲۲-٦٤، پارامتر شیارگی G*/sin(δ) برای درصدهای مختلف افزودنی ساسوبیت همبستگی خوبی (شکل ۳) با عمق شیار (R۲ =.۸) APAدارد. برای۲۸-۷۰ PG ، رویکرد متفاوتی برای مشاهده اثر کاهش دمای اختلاط و تراکم بر کارایی و تراکم پذیری مخلوط آسفالت گرم بررسی شد. نمونه‌های شیار در دماهای مختلف اختلاط (۱۶۳ درجه سانتی‌گراد، ۱۵۳ درجه سانتی‌گراد و ۱۴۳ درجه سانتی‌گراد) و دماهای تراکم (۱۴۹ درجه سانتی‌گراد، ۱۳۹ درجه سانتی گراد و ۱۲۹ درجه سانتی گراد) با درصد مطلوبی از هر یک از افزودنی‌های مخلوط آسفالت گرم تهیه شدند (جدول ۷). همانطور که قبلا ذکر شد، هر سه درصد افزودنی ساسوبیت درجه بندی قیر را از ۷۵ PG به حداقل PG ۷۹افزایش می‌دهد. این افزایش در سفتی در دمای بالا در تست شیار منعکس می‌شود. مشخص شد که افزودنی ساسوبیت ۳ درصد عمق شیار را به طور قابل توجهی از ٦٫۹ به ۲٫۹۵ میلی متر کاهش می‌دهد، در دمای ۱۴۳ درجه سانتی‌گراد مخلوط می شود و در دمای ۱۲۹ درجه سانتی گراد متراکم می‌شود. برای

٪۰٫۳ Aspha-Min، عمق شیار از ٦٫۹ به ۳٫٦ میلی متر کاهش یافت (جدول ۷). پتانسیل شیار شدن با کاهش دمای اختلاط و تراکم برای هر دو افزودنی ساسوبیت و آسفامین کاهش می‌یابد (جدول ۷). کاهش دما، هم برای اختلاط و هم برای تراکم ۲۰ درجه سانتیگراد بوده است.



شکل ۲. نتایج عمق شیار برای٦٤-۲۲ PG



شکل ۳. رابطه بین G*/sin و عمق شیار

۵-نتیجه‌گیری

از نتایج ارایه شده در بالا می توان به نتایج زیر دست یافت:

-برای۲۲-٦٤ PG، هر سه درصد افزودنی ساسوبیت (۲٪، ۳٪ و ٤٪) دمای اختلاط و تراکم را بر اساس ویسکوزیته چرخشی کاهش می دهند. کاهش دمای اختلاط ١٦ درجه سانتی گراد از ١٦٣ درجه سانتی گراد (همانطور که توسط ODOT توصیه می‌شود) برای هر سه درصد از افزودنی ساسوبیت بوده است. هیچ اثر مفیدی در کاهش دما با افزودن آسفامین در ۲۲-٦٤ PG بر اساس ویسکوزیته چرخشی مشاهده نشده است. در مورد PG ۲۸-۷۰، ۲٪، ۳٪ و ٤٪ افزودنی ساسوبیت دمای اختلاط ODOT را به ترتیب ۱۰ درجه سانتیگراد، ۱۲ درجه سانتیگراد و ۱۳ درجه سانتیگراد از ١٦٣ درجه سانتیگراد کاهش داد. (روند مشابهی برای کاهش دمای تراکم مشاهده شد) برای۲۸-۷۰ PG، حداکثر ٤ درجه سانتی گراد در دمای اختلاط برای ۰٫۲٪ آسفامین کاهش مشاهده شده است.

-یک روند کلی این بود که افزودنی ساسوبیت درجه بندی قیر را در دمای بالا برای هر دو قیر افزایش داد. در مورد۲۲-٦٤ PG، افزودنی ٤٪ ساسوبیت ، درجه بندی قیر را به طور قابل توجهی از ٦٤ PG درجه بندی واقعی (٦٥ PG به ٦٩ PG افزایش داد. قابل توجه‌ترین بهبود توسط افزودنی ساسوبیت در۷۰ PG به نمایش گذاشته شد. درجه بندی واقعی دمای بالای ۷۰ PG ۷۵ PGبوده است. با افزودن ۲٪، ۳٪ و ٤٪ افزودنی ساسوبیت، درجه بندی به ترتیب به۷۹ PG، ۸۰ PG و ۸۰ PG افزایش یافت.

با این حال، هر دو ۲۲-٦٤PG با ۳٪ افزودنی ساسوبیت و ۲۸-۷۰PG نتوانستند حداقل نیاز ۰.۳ m-value تعیین شده توسط Superpave را برآورده کنند. برای درصدهای دیگر از افزودنی ساسوبیت بایستی مطالعات بیشتری انجام شود. ۰/۲ درصد آسفامین ، درجه بندی قیر را به ۷۷ PG افزایش داد.

-افزودنی ساسوبیت عمق شیار را به طور قابل توجهی برای PG ۲۲-٦٤کاهش داد، و این عمق شیارها به خوبی با فاکتور شیارشدگی و مقدار ($G^*/\sin(\delta)$) ($R^2=0.8$) همبستگی دارد. در مورد۲۸-۷۰ PG، افزودنی، ۳ درصد سایز عمق شیار را به طور قابل توجهی از ٦,۹ میلی متر به ۲,٤ میلی متر کاهش داد. برای۰,۳٪ Aspha-Min، عمق شیار از ٦,۹ به ۳,٦ میلی متر کاهش یافته است. پتانسیل شیار شدن با کاهش دمای اختلاط و تراکم برای هر دو افزودنی ساسوبیت و آسفامین کاهش می‌یابد.

-به طور کلی، افزودنی ساسوبیت به کاهش دمای تولید با دو روش مستقیم و غیر مستقیم کمک کرد. افزودنی ساسوبیت دمای اختلاط و تراکم را برای هر دو ۲۲-٦٤ PG و ۲۸-۷۰ PG کاهش داد. علاوه بر این، قیر را بدون افزایش ویسکوزیته قیر ارتقا داد. کاهش ویسکوزیته در دمای بالا باعث افزایش عمق شیار در دمای سرویس نشد. در عوض، افزودن افزودنی ساسوبیت عمق شیار را به طور قابل توجهی کاهش داد، شرایطی که بهبود درجه بندی قیر در دمای بالا را توجیه کرد. در مقایسه، کاهش مستقیم قابل توجه در دمای تولید با آسفامین به دلیل ویسکوزیته چرخشی حاصل نشد.

٦-پی‌نوشت‌ها

1. Warm Mix Asphalt
2. Hot Mix Asphalt
3. Performance Grade
4. Dynamic Shear Rheometer
5. Rolling Thin Film Oven

۷- مراجع

-Adding a Synthetic Zeolite", June, www.asphamin.com.

-Barthel,W., J.P.Marchand, and M.Von Devivere, (2005), "WarmAsphaltMixes by

Center for Asphalt Technology, Auburn, Ala., June.

-Corrigan, M., (2005), "Warm Mix Asphalt Technologies and Research", FHWA, May www.fhwa.dot.gov/pavement.

-Day, J. A., and P. Naidoo, (2004), "Warm Mix Asphalt in Overnight Airport Runway Paving and Emergency Pavement", Presented at 41st Annual Meeting of the Petersen Asphalt Research Conference, Cheyenne, Wyo., and June, pp. 21–23.

-Hamid, W.B. Use of Raw Chatin, (2004), "Hot Mix Asphalt Employing Superpave Design Methodology, MS thesis, University of Oklahoma, Norman.

-Hurley, G. C., and B. D. Prowell, (2005), "Evaluation of Aspha-Min Zeolite for Use in Warm Mix Asphalt", NCAT Report 05-04, National Center for Asphalt Technology, Auburn, Ala., June.

-Hurley, G. C., and B. D. Prowell, (2005), "Evaluation of Sasobit for Use in Warm Mix Asphalt", NCAT Report 05-06, National

-Roberts, F. L., P. S. Kandhal, and E. R. Brown, (1996), "Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction", 2nd ed., NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Md.

-Sisko, A.W., and L.C.Brunstrum, (1969), "NCHRP Report 67: Relation of Asphalt Rheological Properties to Pavement Durability", HRB, National Research Council, Washington, D.C.

-Stuart, K. D., and R. P. Izzo., (1995), "Correlation of Superpave G*/sin δ with Rutting Susceptibility from Laboratory Mixture Tests", In Transportation Research Record 1492, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 176–183.

-Sherwood, J. A., N. L. Thomas, and X. Qi., (1998), "Correlation of Superpave G*/Sin δ with Rutting Test Results from Accelerated Loading Facility", In Transportation Research Record 1630, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.53-61.

Laboratory evaluation of Sasobit and Aspha-Min Additives in Warm-Mix Asphalt

Amin Farajollahi, 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.

E- mail: AminFarajollahi@gmail.com

Received: June 2022- Accepted: August 2022

ABSTRACT
Warm-mix asphalt (WMA), which reduces the production temperatures (mixing and compaction), while maintaining the advantages of hot-mix asphalt (HMA), is becoming an attractive paving material. In this study, rheological properties of two commonly used performance grade (PG) binders (PG 64-22 and PG 70-28) were evaluated, with and without Sasobit and Aspha-Min additives. For PG 64-22, 2%, 3%, and 4% Sasobit additive reduced the mixing temperature of the pure binder from 163°C to 147°C (i.e., by 16°C). In case of the PG 70-28, the reductions are 10°C, 12°C and 13°C, respectively, for 2%, 3%, and 4% Sasobit additive. No significant decrease in mixing temperature by the Aspha-Min additive was observed in using the rotational viscometer. Evaluation of the binders on the basis of G*/sin (δ) demonstrates no negative effect on high-temperature grading due to high-temperature viscosity reduction. With the addition of 4% Sasobit additive, the high-temperature binder grading of PG 64 (actually PG 65) increases to PG 69, while 4% Sasobit additive improves the PG 70 (actually PG 75) to PG 80. No significant changes in grading were observed with the addition of the Aspha-Min additive. In fact, reduction in binder viscosity and improvement in binder grading with- out increasing the viscosity indicate two-way reductions (both direct and indirect) in production temperatures by the Sasobit additive. Finally, the Sasobit additive is found to decrease the asphalt pavement analyzer rut depths significantly, and these rut depths correlate well with the rutting factor G*/sin(δ). It was also observed that rutting potential decreases with decreasing mixing and compaction temperatures. Comparatively, a smaller reduction in rut depths was observed by adding the Aspha-Min additive.

Keywords: Sasobit, Asphamin, Warm Mix Asphalt, Rut Depth