

ارزیابی تاثیر ساسوبیت بر مشخصات رفتاری و کارایی مخلوط‌های آسفالتی حاوی تراشه‌های آسفالت

فرامرز صفازاده^{۱*} و نادر طباطبائی^۲

^۱ کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

^۲ استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

faramarz_safazadeh@yahoo.com

چکیده: استفاده از تراشه آسفالتی در مخلوط‌های آسفالتی داغ، موجب کاهش هزینه و حفظ منابع طبیعی می‌شود. اما قیر موجود در تراشه آسفالت به علت پیرشدگی دارای سختی بالایی است و کارایی مخلوط را از نقطه نظر اجرا تحت تاثیر قرار می‌دهد و بر مشخصات رفتاری مخلوط تاثیر می‌گذارد. به کار بردن ساسوبیت راه حلی برای افزایش کارایی مخلوط‌های حاوی تراشه آسفالتی است. این مطالعه به بررسی تاثیر ساسوبیت بر کاهش دمای تراکم، با اندازه‌گیری کندروانی قیر تراشه آسفالت در نرخ برش کم و کارایی مخلوط‌های حاوی تراشه آسفالت پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، استفاده از ساسوبیت روشی امکان‌پذیر و اجرایی برای ساخت مخلوط‌های آسفالتی حاوی ۲۵ درصد تراشه آسفالتی است. مقایسه نتایج رده عملکردی قیرهای ممزوج نشان می‌دهد، استفاده همزمان از ساسوبیت و تراشه آسفالتی در ساخت مخلوط، ایجاب می‌کند که قیر تازه اضافه شده از رده عملکردی پایین‌تری برخوردار باشد.

واژگان کلیدی: بازیافت، تراشه آسفالتی، مخلوط آسفالتی داغ، پیرشدگی و بازیابی قیر.

Evaluating the Effects of Sasobit on Characterization and Workability of Asphalt Mixes Containing Reclaimed Asphalt

F. Safazadeh and N. Tabatabaee

Abstract: Use of Reclaimed Asphalt Pavement in HMA is beneficial by reduction of initial costs. But the higher stiffness of aged binder may lead to workability issues in the field, therefore use of large percentages of RAP impacts the HMA properties. Utilizing Sasobit is a solution to use more RAP at a relatively lower temperature in HMA mixes. This study investigates the effects of 2 percent Sasobit on the reduction of compaction temperature by measuring low shear viscosity and workability of mixtures containing RAP binder. Low and intermediate temperature properties of RAP binder using mix designs were compared to properties of artificially aged binders. Virgin binder was aged in PAV to make artificial RAP binder. Comparison between physical parameters of RAP binder and binder aged in PAV was done and it was found that about 40 hours is sufficient for simulating the aging of RAP binder and making artificially aged binder. Results of this study on artificial RAP show that utilizing Sasobit is a feasible way to make HMA which contain 25% RAP. Utilizing RAP and Sasobit together in a HMA project would lead to select softer virgin asphalt binder with a lower performance grade.

Keywords: Recycling Reclaimed Asphalt Binder, HMA, WMA and Mortar.

۱ - مقدمه

محاسبه مشخصات قیر تراشه آسفالتی با توجه به خصوصیات مخلوط آسفالت (محاسبه معکوس) است [۴]. سفت بودن قیر تراشه آسفالتی و استفاده کمتر از قیر تازه در مخلوط آسفالت نسبت به مخلوط‌های متداول، کارایی مخلوط را از نقطه نظر اجرا تحت تاثیر قرار می‌دهد. کاهش دمای اختلاط به طریق کاهش گرانی قیر و یا افزایش حجم آن در حضور WMA صورت می‌گیرد و تاثیرات منفی دمای بالای اختلاط و تراکم بر روی قیر تراشه آسفالت را کاهش می‌دهد [۵-۷]. ساسوبیت علاوه بر کاهش دمای اختلاط، باعث روغنکاری داخلی شده و کارایی مخلوط را که به علت وجود تراشه آسفالت پایین آمده، بهبود می‌بخشد [۵].

عبارت کارایی پارامتری از راحتی کار با مخلوط و تراکم پذیری تعریف می‌شود. اولین تلاش برای سنجش کارایی در سال ۱۹۷۸ انجام شد، که در آن دستگاهی شامل سیلندری متصل به قاب صلب با موتوری در بالای آن که تیغه‌ای را با سرعت دورانی ثابت می‌گرداند، تشکیل شده است. بعدها شرکت Instrotek بر اساس همین ایده وسیله‌ای برای اندازه‌گیری گشتاور و دما ساخت که ساختار دستگاه ساخته شده در این پژوهش به میزان زیادی برگرفته از آن است. هر چه کارایی نمونه مخلوط آسفالتی در ظرف دستگاه بالاتر باشد گشتاور لازم برای دوران پارو در درون ظرف کمتر است [۸]. این پژوهش دو هدف زیر را دنبال می‌کند: تعیین مشخصات عملکردی قیر پیرشده بازیافتی و بررسی تاثیرات اضافه کردن ترکیبات WMA به آن، با انجام آزمون‌های سوپرپیو و بررسی تغییرات کارایی مخلوط‌های دارای تراشه آسفالتی با اضافه شدن ترکیبات WMA.

۲ - طرح پژوهش و روش انجام آن

برای شبیه‌سازی پیرشدگی قیر تراشه از دستگاه PAV استفاده می‌شود. زمان مورد نیاز برای اعمال پیرشدگی مصنوعی در این دستگاه با مقایسه یکی از پارامترهای فیزیکی این قیر انجام می‌شود. یک روش مقایسه مقاومت در برابر ترک خوردگی نمونه‌های آسفالت شامل تراشه‌های آسفالت و قیر تازه و دیگری نمونه‌های حاوی تراشه‌های سوخته و قیر PAV شده و قیر تازه است. تنش کششی

بازیافت قیر و آسفالت در دهه ۱۹۷۰ با کاهش منابع نفتی، گران شدن قیر و توجه بیشتر به محیط زیست مطرح شد. بازیافت آسفالت از روش‌های بهسازی روسازی آسفالتی است که با استفاده مجدد از تراشه آسفالتی^۱ (RAP) قابلیت خدمت‌دهی روسازی را احیا می‌کند و موجب کاهش هزینه‌های اولیه و حفظ منابع طبیعی و جلوگیری از هزینه‌های دورریز آسفالت فرسوده می‌شود. از گزینه‌های بازیافت آسفالت می‌توان به روسازی‌های دارای شیارشدگی و ترک-خوردگی زیاد اشاره کرد. همچنین در خیابان‌هایی از شهر که تراز فعلی روسازی آن با جدول‌های کناری هماهنگ است و روکش این تعادل را از بین می‌برد، بازیافت گزینه‌ی مناسبی است. استفاده از ترکیبات WMA^۲ موجب کاهش مصرف سوخت، هزینه و آلودگی می‌شود، همچنین زمان حمل مجاز مخلوط را تا محل اجرا افزایش می‌دهد [۱]. قیر پیر شده تراشه آسفالت، دارای سختی بالا بوده و عملکرد روسازی را در دماهای میانی و پایین تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای جلوگیری از ترک‌های برودتی در روسازی‌های بازیافتی، در ساخت مخلوط آسفالت از قیر جدید با رده عملکردی پایین‌تر و نرم‌تر استفاده می‌شود [۲]. استخراج با حلال و بازیابی، از لحاظ فیزیکی تنها روشی است که می‌تواند قیر تراشه آسفالت را از مصالح سنگی جدا کند. ولی بین قیر و ماده حلال ممکن است واکنش‌هایی ایجاد شود که موجب تغییر خواص و مشخصات قیر و اشکال در انجام آزمون شود. سخت شدن قیر یکی از تاثیرات استخراج با اکثر حلال‌ها است. استخراج ناقص قیر با حلال باعث می‌شود تا مقداری از قیر تراشه آسفالت بر روی سنگدانه باقی بماند و کل قیر جذب شده توسط سنگدانه‌ها استخراج نشود [۳]. زمان زیاد مورد نیاز برای بازیابی قیر، عدم امکان دانه‌بندی مناسب سنگدانه‌ها پس از بازیابی، سمی و خطرناک بودن کار با مواد حلال، و نیاز برای رده‌بندی قیر موجود در تراشه آسفالت بر اساس روش‌های بدون حلال باعث شده تا روش‌های دیگری برای مشخصه‌بندی خصوصیات قیر تراشه آسفالت مطرح شود. یکی از این روش‌ها ساخت مخلوط آسفالتی حاوی تراشه آسفالتی و

¹ Reclaimed Asphalt Pavement

² Warm Mix Asphalt

۱۰۰ حدوداً ۱۱/۵ درصد وزنی قیر دارد و بر اساس درصد وزنی قیر آن به قیر کل (شامل قیر RTFO شده و قیر تراشه آسفالت) ملات‌ها ساخته می‌شوند. به علت کوچک بودن قالب BBR و سفت بودن ملات، ساخت درصدهای بالاتر با خطای زیاد همراه است. سختی هر دو ملات در دمای ۱۲- و ۱۸- درجه سلسیوس اندازه گیری شده و با ضرب اختلاف این دو مقدار در سختی قیر RTFO شده، سختی قیر ممزوج از دو قیر RTFO شده و درصد مشخص از قیر تراشه آسفالتی محاسبه شده است. با برونمایی سختی قیر ممزوج بر حسب درصد قیر تراشه آسفالتی، سختی قیر تراشه آسفالتی محاسبه شده است. سختی قیرهای ۲۰، ۲۵، ۳۵ و ۴۰ ساعت PAV شده نیز اندازه‌گیری شده و با مقایسه سختی قیر تراشه آسفالتی با مقادیر این سختی‌ها زمان مناسب برای شبیه‌سازی قیر پیر شده محاسبه می‌شود.

۳- انرژی جذب شده

در جدول ۱ بیشینه تنش کششی و تغییر مکان در بیشینه تنش کششی برای مخلوط آسفالتی RM و PM آورده شده است. دمای آزمایشگاه در هنگام انجام آزمایش بین ۲۲ تا ۲۵ درجه سلسیوس بوده است. در شکل ۱ نمودار نیرو- تغییر مکان برای مقایسه انرژی جذب شده برای هر نمونه رسم شده است. نمونه‌های RM، نسبت به نمونه‌های PM تغییر مکان کمتر در بیشینه تنش کششی دارند. از اینرو برای شبیه‌سازی بیشتر، نمونه‌های PM را قبل از متراکم کردن ۲ ساعت در دمای ۱۳۵ درجه سلسیوس قرار داده تا پیرشدگی اولیه بیشتری را تجربه کنند تا به نمودار نمونه‌های RM نزدیک‌تر شوند. در جدول ۱ انرژی کل جذب شده برای شکست نمونه و انرژی تسلیم برای هر نمونه محاسبه شده است. انرژی کل شکست سطح کل زیر نمودار نیرو- تغییر مکان است در حالی که انرژی تسلیم شامل سطح زیر نمودار نیرو- تغییر مکان تا نقطه شروع ترک یا پیک بالایی نیرو (بیشینه نیرو) می‌شود [۱۱]. انرژی جذب شده توسط نمونه حاوی تراشه آسفالتی به مراتب کمتر از نمونه‌های دارای قیر PAV شده است. پیرشدگی قبل از تراکم نمونه PM40 به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۳۵ درجه سلسیوس باعث کاهش جذب انرژی می‌شود و

غیر مستقیم در آزمایش IDT^۱ برای هر دو حالت اندازه گرفته می‌شود و در صورت برابر بودن این دو پارامتر میزان پیرشدگی شبیه‌سازی می‌شود [۹]. برای شبیه‌سازی دقیق‌تر قیر موجود در تراشه آسفالت بازیافتی سعی بر ساخت نمونه‌های مخلوط آسفالتی با درصد بالای تراشه آسفالت می‌شود. قیر تراشه آسفالت در برابر ترک خوردگی (ناشی از برودت و خستگی) حساس بوده و به همین علت مقاومت در برابر کشش غیر مستقیم پارامتر مناسبی برای مقایسه قیر آسفالت بازیافتی و شبیه‌سازی زمان پیرشدگی است. در ساخت مخلوط آسفالتی برای امکان مقایسه پارامترهای فیزیکی قیر و یکسان بودن مشخصات حجمی نمونه آسفالت با توجه به استاندارد ASTM-D3515، دانه‌بندی توپر در محدوده منحنی‌های بیشینه و کمینه دانه‌بندی برای بزرگترین سایز الک اسمی (NMAS^۲) ۱۲/۵ میلی‌متر انتخاب می‌شود. مخلوط آسفالتی با تراشه آسفالتی و قیر تازه با حروف اختصاری RM^۳ و مخلوط آسفالتی با تراشه سوخته و قیر PAV شده (متناظر با میزان قیر تراشه آسفالتی) با حروف اختصاری PM^۴ نشان داده می‌شوند. نمونه‌های PM بر اساس زمان اعمال شرایط پیرشدگی در دستگاه PAV که ۲۰، ۲۵، ۳۵ و ۴۰ ساعت بوده است PM20، PM25، PM35 و PM40 نامگذاری می‌شوند. برای تعیین درصد قیر از روش سوزاندن مخلوط قیری در کوره احتراق^۵ با دمای ۵۴۰ درجه سلسیوس و طبق استاندارد ASTM-D 6307 استفاده می‌شود [۱۰].

روش دیگر برآورد پارامتر سختی نمونه‌های ملات (به صورت تیرچه‌های BBR) شامل تراشه آسفالتی عبوری از الک ۵۰ و مانده بر الک ۱۰۰ و قیر RTFO شده و همچنین سختی ملات حاوی تراشه سوخته و قیر RTFO شده است. ملات حاوی قیر RTFO شده و تراشه آسفالت عبوری از الک ۵۰ و مانده بر الک ۱۰۰ به صورت SRAP و ملات حاوی تراشه آسفالتی سوخته (بدون قیر) و قیر RTFO شده به صورت RRAP اسم گذاری شده است. تراشه آسفالتی عبوری از الک ۵۰ و مانده بر الک

¹ Indirect Tension Test

² Nominal Maximum Aggregate Size

³ RAP Mix

⁴ PAV Mix

⁵ Ignition Oven

آسفالتی ساخته شده و منحنی سختی هر دو در دمای ۱۲°C- اندازه گیری شده و میزان اختلاف سختی دو ملات در هر زمان محاسبه شده و در جدول ۲ آمده است. با ضرب اختلاف سختی دو ملات در زمان ۶۰ ثانیه در سختی قیر RTFO شده در زمان ۶۰ ثانیه، سختی قیر ممزوج از قیر RTFO شده و ۴ درصد قیر تراشه آسفالتی محاسبه می شود (جدول ۳).

پس از تعیین سختی قیرهای حاوی قیر تراشه آسفالتی مطابق آنچه در جدول ۳ و مشابه آن به دست آمد با برون یابی سختی قیر ممزوج بر حسب درصد قیر تراشه آسفالتی، سختی قیر تراشه آسفالتی محاسبه شده است. با مقایسه سختی قیر تراشه آسفالتی با مقادیر سختی های قیرهای ۲۰، ۲۵، ۳۵ و ۴۰ ساعت PAV شده، زمان مناسب برای شبیه سازی قیر پیر شده تقریباً ۴۰ ساعت محاسبه می شود. رده عملکردی پیوسته دو نوع قیر تازه از پالایشگاه اصفهان و قیر شبیه سازی شده به عنوان قیر بازیافتی بر اساس آزمون های سوپرپیو در جدول ۴ آمده است.

۴- بهینه سازی پژوهش

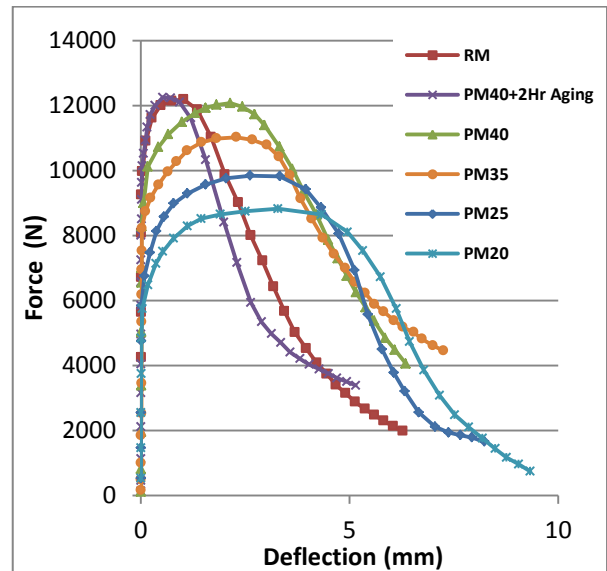
بر این اساس رده عملکردی قیر بازیافتی PG 76-10 ارزیابی شده و حال با داشتن رده عملکردی قیر موجود در تراشه آسفالت، قیر تازه، و رده عملکردی مخلوط، حداقل و حداکثر درصد قیر تراشه آسفالت با رابطه ۱ مشخص می شود.

$$\%RAP = \frac{T_{blend} - T_{virgin}}{T_{RAP} - T_{virgin}} \quad (1)$$

جدول ۱- نتایج آزمایش تنش کششی غیر مستقیم

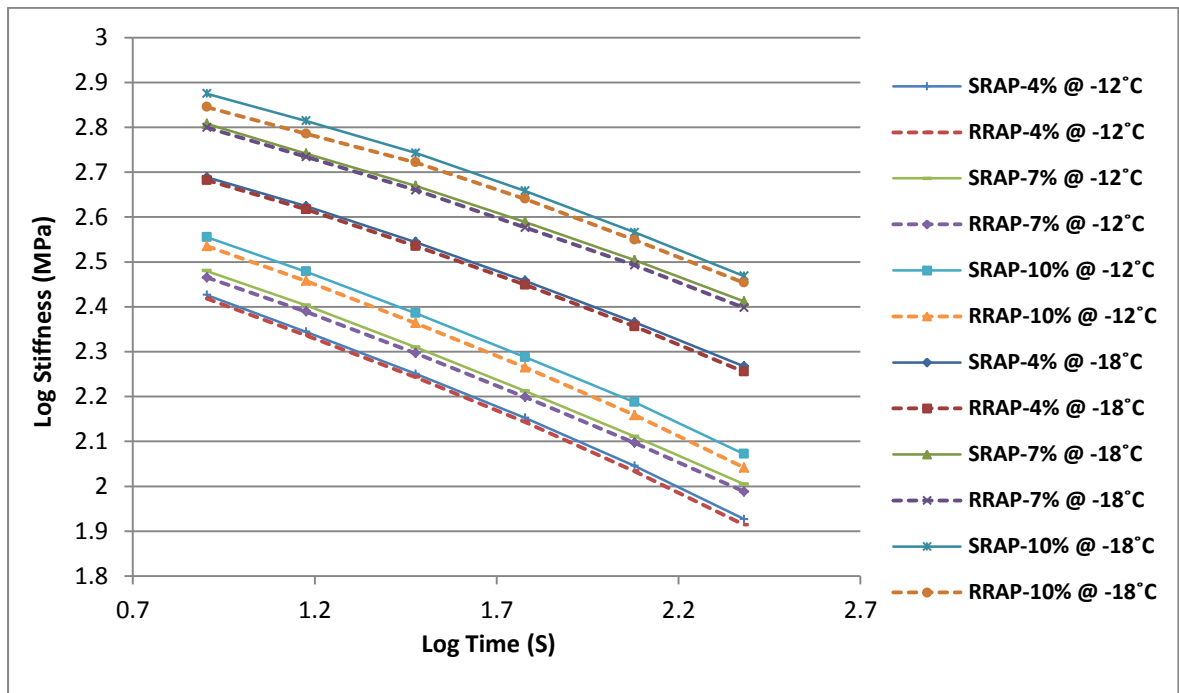
نمونه	نیرو (N)	تنش کششی (kPa)	تغییر مکان (mm)	انرژی کل جذب شده (kJ)	انرژی شروع ترک و تسلیم (kJ)
RM	۱۲۲۳۱	۱۰۳۶	۰/۸۷	۴۳/۸	۱۲
PM20	۸۸۲۰	۷۴۵	۳/۲۹	۵۷/۷	۲۴/۹
PM25	۹۸۴۱	۷۹۵	۲/۶۲	۵۶/۳	۲۳/۷
PM35	۱۱۰۲۵	۹۳۷	۲/۲۹	۶۱/۱	۲۳/۵
PM40	۱۲۰۲۱	۱۰۴۵	۲/۱۴	۵۹/۵	۲۴/۱
PM40+2h Aging	۱۲۲۵۱	۱۰۶۹	۰/۵۳	۳۷/۶	۶/۱

همان طور که در شکل ۱ مشخص است انرژی جذب شده توسط نمونه PM40+2h Aging از نمونه RM نیز کمتر می شود.



شکل ۱- نمودار نیرو - تغییر مکان آزمایش کشش غیر مستقیم هر یک از نمونه ها

شکل ۲ نمودار سختی ملات حاوی درصد های ۴، ۷ و ۱۰ از قیر تراشه آسفالتی در دماهای ۱۲- و ۱۸- را نشان می دهد. با افزایش درصد قیر تراشه آسفالتی در دمای ثابت میزان سختی افزایش می یابد و این افزایش به خاطر سختی بیشتر قیر تراشه آسفالتی در مقایسه با قیر RTFO شده است. با کاهش دمای انجام آزمایش از ۱۲- به ۱۸- سختی ملات طبق انتظار افزایش قابل ملاحظه ای دارد. به علت سفت بودن و سختی کار با این ملات ها، امکان ساخت ملات حاوی بیش از ۱۰ درصد تراشه آسفالتی امکان پذیر نبود. ملات های SRAP و RRAP حاوی ۴ درصد تراشه



شکل ۲- منحنی سختی ملات‌های SRAP و RRAP حاوی ۴، ۷ و ۱۰ درصد تراشه آسفالتی در دمای ۱۲°C و ۱۸°C-

جدول ۲- نحوه‌ی محاسبه میزان اختلاف سختی ملات‌های SRAP و RRAP دارای ۴ درصد تراشه آسفالتی در دمای ۱۲°C-

δ لگاریتم سختی دو ملات	SRAP			RRAP			لگاریتم زمان	زمان (ثانیه)
	لگاریتم سختی	m-value	سختی (MPa)	لگاریتم سختی	m-value	سختی (MPa)		
۰/۰۰۸۲	۲/۴۳	۰/۲۹	۲۶۷	۲/۴۲	۰/۲۷۸	۲۶۲	۰/۹	۸
۰/۰۰۸	۲/۳۴	۰/۳۱۲	۲۲۱	۲/۳۳	۰/۳۰۱	۲۱۷	۱/۱۸	۱۵
۰/۰۰۷۴	۲/۲۵	۰/۳۳۶	۱۷۸	۲/۲۴	۰/۳۲۶	۱۷۵	۱/۴۸	۳۰
<u>۰/۰۰۹۳</u>	۲/۱۵۲	۰/۳۶	۱۴۲	۲/۱۴۳	۰/۳۵۲	۱۳۹	۱/۷۸	۶۰
۰/۰۱۱۹	۲/۰۴	۰/۳۸۴	۱۱۱	۲/۰۳	۰/۳۷۷	۱۰۸	۲/۰۸	۱۲۰
۰/۰۱۳	۱/۹۳	۰/۴۰۸	۸۴/۵	۱/۹۲	۰/۴۰۳	۸۲	۲/۳۸	۲۴۰
۰/۰۰۹۶	مقدار میانگین δ							
۰/۰۰۲۳	انحراف از معیار							

جدول ۳- نحوه‌ی محاسبه سختی قیرممزوج از قیر RTFO شده و ۴ درصد قیر تراشه آسفالتی در دمای ۱۲°C-

سختی قیر RTFO+4%RAP (MPa)	لگاریتم سختی قیر ^۱ RTFO+4%RAP	δ در زمان ۶۰ ثانیه	لگاریتم سختی قیر RTFO	سختی قیر RTFO (MPa)	زمان (ثانیه)
۹۴/۶	۱/۹۷۶	۰/۰۰۹۳	۱/۹۷	۹۲/۶	۶۰

۱- δ لگاریتم سختی دو ملات در زمان ۶۰ ثانیه + لگاریتم سختی قیر RTFO شده = لگاریتم سختی قیر RTFO + 4%RAP

سوپرپیو توانایی اندازه‌گیری کندروانی در بازه‌ی ۱ تا ۱۰۰ درصد گشتاور وارده بر دستگاه را دارد و در صورتی‌که گشتاور وارده کمتر از ۱ درصد باشد، امکان اندازه‌گیری کندروانی وجود ندارد. مخلوط آسفالت با ۵ درصد قیر، حاوی تراشه آسفالتی که قیر آن ۲۵ درصد از قیر کل مخلوط را تشکیل داده و مخلوط مشابه به همراه ۲ درصد ساسوبیت ساخته شده و میزان کارایی آنها با استفاده از دستگاه سنجش کارایی (شکل ۳) بررسی شده است.

در شکل ۴ نمودار کارایی (عکس گشتاور خارجی) بر حسب دما برای این دو مخلوط رسم شده و کاهش دمای اختلاط با توجه به کارایی بیشتر در دمای کمتر برای مخلوط حاوی ۲ درصد ساسوبیت قابل مشاهده است.

برای تایید نتایج دستگاه سنجش کارایی، مخلوط‌های آسفالتی مشابه آنچه با دستگاه کارایی ارزیابی شده را دوباره ساخته و این بار در دستگاه ژیراتوری سوپرپیو در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس متراکم و با توجه به میزان هوای مانده در مخلوط میزان قابلیت تراکم آنها بررسی شد (شکل ۵).

جدول ۷- دمای اختلاط و تراکم

دمای اختلاط (°C)	قیر خالص	قیر خالص و ۲۵ درصد قیر باز یافتی	قیر خالص و ۲۵ درصد قیر باز یافتی و ۲ درصد ساسوبیت
۱۳۱	۱۴۸	۱۱۷	
۱۱۴	۱۲۴	۱۰۲	



شکل ۳- نمای کلی از دستگاه ساخته شده برای سنجش کارایی

در صورتی که هدف از امتزاج، تهیه قیر با رده PG 64-22 باشد، در امتزاج با قیر ۷۰-۶۰ درصد مجاز قیر باز یافتی شبیه‌سازی شده ۳۲ درصد و در امتزاج با قیر ۱۰۰-۸۵ درصد مجاز قیر باز یافتی شبیه‌سازی شده ۴۰ درصد محاسبه می‌شود. ۲۵ درصد قیر شبیه‌سازی شده با قیر ۷۰-۶۰ ممزوج شده و تاثیر اضافه کردن ساسوبیت بر نحوه‌ی عملکرد قیر ممزوج در جدول ۵ آمده است. نتایج امتزاج ۲۵ درصد قیر شبیه‌سازی شده با قیر نرم‌تر ۱۰۰-۸۵ و تاثیر اضافه کردن ساسوبیت بر نحوه‌ی عملکرد قیر ممزوج در جدول ۶ آمده است.

آزمون‌های سوپرپیو بر روی قیر ممزوج از قیر تازه و ۲۵ درصد قیر شبیه‌سازی شده، نشان می‌دهد که استفاده از قیر تازه نرم‌تر به رده عملکردی قیر ممزوج در دمای پایین کمک کرده و افزایش درصد مجاز قیر باز یافتی را توجیه می‌کند. امتزاج قیر ۷۰-۶۰ و ۲۵ درصد قیر شبیه‌سازی شده، رده عملکردی PG 70-16 دارد (بهبود رده بالای عملکردی) و می‌توان نتیجه گرفت که افزودن ۲ درصد ساسوبیت با ایجاد تغییر در دمای بالای رده عملکردی پیوسته، بهبود چندان در رده عملکردی قیر ممزوج نهایی ندارد و ممکن است اقتصادی نیز نباشد. قیر ممزوج از قیر ۱۰۰-۸۵ و ۲۵ درصد قیر شبیه‌سازی شده رده عملکردی PG 64-22 دارد و افزودن ساسوبیت به این امتزاج با بهبود رده عملکردی پیوسته در دمای بالا موثر واقع می‌شود و رده عملکردی قیر ممزوج نهایی PG 70-22 می‌شود. کندروانی در نرخ برش‌های متفاوت برای قیرهای ممزوج اندازه‌گیری شده و با برازش منحنی کراس ویلیامسون، مقدار کندروانی در نرخ برش کم محاسبه شده است. معادله منحنی کراس ویلیامسون در زیر آمده است:

$$\eta = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{1 + (k\dot{\gamma})^n} \quad (2)$$

که در آن η_{∞} کندروانی نهایی، η_0 کندروانی در نرخ برش کم، $\dot{\gamma}$ نرخ برش، k و n نیز ثابت‌های مدل هستند. با در نظر گرفتن معیار کندروانی در نرخ برش کم دمای اختلاط و تراکم محاسبه و در جدول ۷ آورده شده است. هر چه مقادیر کندروانی در نرخ برش پایین‌تری اندازه‌گیری شود، محاسبه کندروانی در نرخ برش کم (صفر) با دقت بالاتر امکان‌پذیر است. دستگاه RV موجود در آزمایشگاه

جدول ۴- رده عملکردی پیوسته قیرهای تازه و قیر بازیافتی شبیه سازی شده

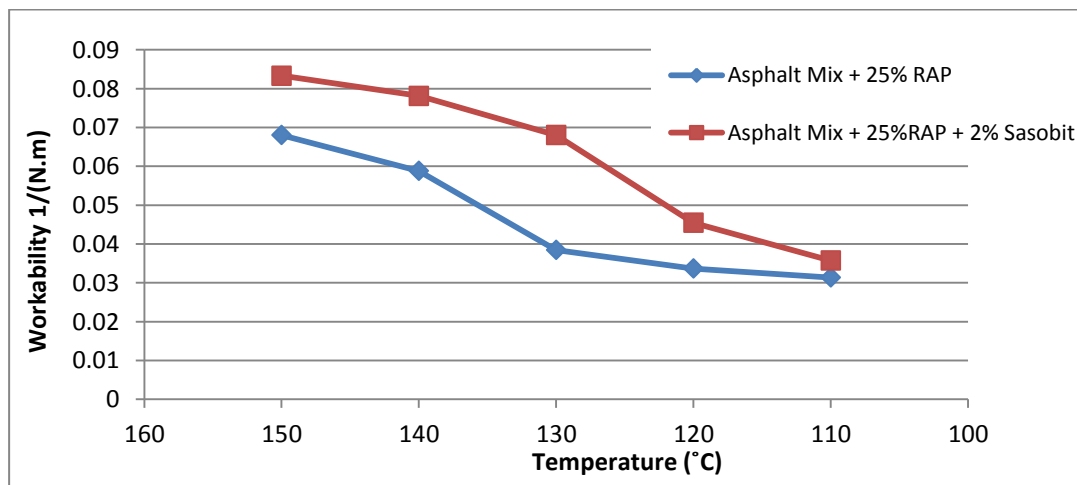
نوع قیر			معیار تعیین رده	شرایط پیرشدگی	رده عملکردی
۶۰-۷۰	۸۵-۱۰۰	قیر بازیافتی			
۶۷/۳	۶۱/۵	۷۶/۴	$G^*/\sin\delta$ (kPa) = 1.0	بدون پیرشدگی	دمای بالا (°C)
			$G^*/\sin\delta$ (kPa) = 2.2	RTFO	
۲۱/۸	۲۰/۲	۲۴/۵	$G^*.\sin\delta$ (kPa) = 5000	RTFO+PAV	دمای متوسط (°C)
-۲۵	-۲۶/۲	-۱۵/۶	m-vlaue = 0.3		دمای پایین (°C)

جدول ۵- رده عملکردی پیوسته امتزاج قیر ۶۰-۷۰ اصفهان و ۲۵ درصد قیر شبیه سازی شده و تاثیر افزودن ساسوبیت

نوع قیر		معیار تعیین رده	شرایط پیرشدگی	رده عملکردی
به همراه ۲ درصد ساسوبیت	قیر تازه ۶۰-۷۰ + ۲۵ درصد بازیافتی			
۷۴/۳	۷۰/۲	$G^*/\sin\delta$ (kPa) = 1.0	بدون پیرشدگی	دمای بالا (°C)
		$G^*/\sin\delta$ (kPa) = 2.2	RTFO	
۲۳	۲۲/۳	$G^*.\sin\delta$ (kPa) = 5000	RTFO+PAV	دمای متوسط (°C)
-۲۱/۷	-۲۱/۹	m-vlaue = 0.3		دمای پایین (°C)

جدول ۶- رده عملکردی پیوسته امتزاج قیر ۸۵-۱۰۰ اصفهان و ۲۵ درصد قیر شبیه سازی شده و تاثیر افزودن ساسوبیت

نوع قیر		معیار تعیین رده	شرایط پیرشدگی	رده عملکردی
به همراه ۲ درصد ساسوبیت	قیر تازه ۸۵-۱۰۰ + ۲۵ درصد قیر بازیافتی			
۷۰/۱	۶۶/۲	$G^*/\sin\delta$ (kPa) = 1.0	بدون پیرشدگی	دمای بالا (°C)
		$G^*/\sin\delta$ (kPa) = 2.2	RTFO	
۲۱/۳	۲۲/۱	$G^*.\sin\delta$ (kPa) = 5000	RTFO+PAV	دمای متوسط (°C)
-۲۲/۱	-۲۲/۳	m-vlaue = 0.3		دمای پایین (°C)



شکل ۴- نمودار کارایی بر حسب دما

۴ - نتیجه گیری

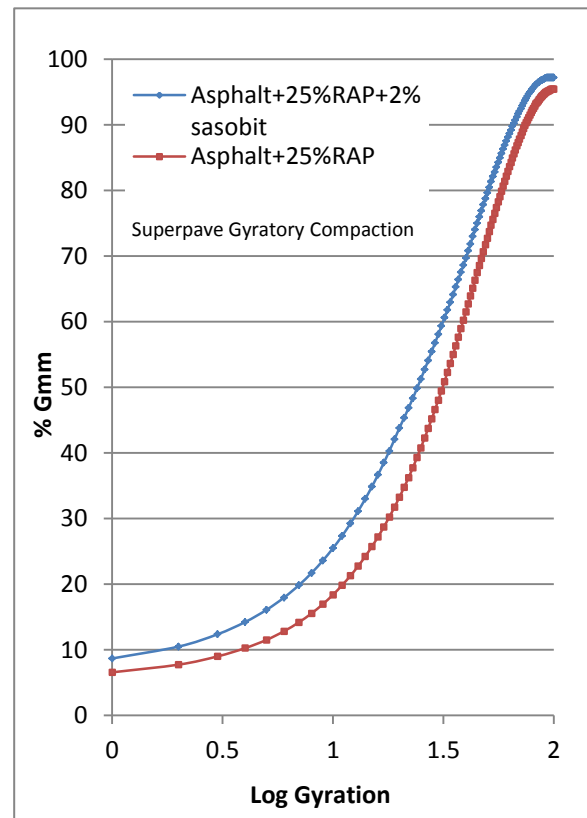
بر اساس این مطالعه و پژوهش حاصل، می توان نتایج آن را بصورت زیر جمع بندی نمود:

قییر تازه که به مدت ۴۰ ساعت در PAV قرار بگیرد مشخصات سختی و انرژی شکست کل مشابه با قییر تراشه آسفالتی دارد.

نتایج آزمون های سوپرپیو نشان می دهد که استفاده از تراشه آسفالتی و ساسوبیت به صورت همزمان در یک مخلوط آسفالتی منجر به انتخاب قییر تازه نرم تر با رده عملکردی پایین می شود.

مزیت های فراوانی در استفاده از ساسوبیت در بازیافت آسفالت با توجه به کاهش دمای اختلاط و تراکم از جمله کاهش مصرف سوخت و تولید آلاینده های هوا وجود دارد و میزان مجاز استفاده از تراشه آسفالتی را در مخلوط نیز افزایش می دهد.

انجام پروژه های تحقیقاتی میدانی در جهت استفاده کاربردی و عملی از این روش در پروژه های در حال ساخت توصیه می شود.



شکل ۵- نمودار نسبت حداکثر چگالی مخصوص تئوری

مراجع

- [1] Hurley G. C and B. D. Prowell. *Evaluation of Sasobit® for Use in Warm Mix Asphalt*, National Center for Asphalt Technology, NCAT Report 05-06, **2005**.
- [2] Kim, H. and S. J. Lee. *Rheology of Warm Mix Asphalt Binders with Aged Binders*, Construction and Building Materials, No. 25, **2001**.
- [3] McDaniel, R. and R.M. Anderson. *Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the SuperPave Mix Design Method-Project 9-12*, National Academies Press, NHCPR Report 452, **2001**.
- [4] Swiertz, D., and E. Mahmoud. *Estimating the Effect of RAP and RAS on Fresh Binder Low Temperature Properties without Extraction & Recovery*, Transportation Research Record, No. 2208, **2010**.
- [5] Mallick, R., E. Bradley, and F.L. Bradbury. *An Evaluation of Heated Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Material and Wax Modified Asphalt for Use in Recycled Hot Mix Asphalt (HMA)*, Transportation Research Record, No. 1998, **2007**.
- [6] Mogawer, W. S. and A. J. Austerman. *Incorporating High Percentages of Recycled Asphalt Pavement (RAP) and Warm Mix Asphalt (WMA) Technology into Thin Hot Mix Asphalt Overlays to be Utilized as a Pavement Preservation Strategy*, The 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, **2009**.
- [7] Tao, M., and R. B. Mallick. *An Evaluation of the Effects of Warm Mix Asphalt Additives on Workability and Mechanical Properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Material*,

- Transportation Research Record, No. 2126, **2009**.
- [8] Gudimettla M. and L. A. Cooley. *Workability of Hot Mix Asphalt*, National Center for Asphalt Technology, NCAT Report 03-03, **2004**.
- [9] Carter, A. *Development of a Non-Solvent Based Test Method for Evaluation Reclaimed Asphalt Pavement Mixes*, Dissertation Submitted to Auburn University, Research Project 930 – 537, **2005**.
- [10] ASTM D 6307. Standard Test Method for Asphalt Content of Hot-Mix Asphalt by Ignition Method, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken. **1999**.
- [11] Witzcak, M. W., and K. Kaloush. *Simple Performance Test for SuperPave Mix Design*, National Academies Press, NHCRP Report 465, **2002**.