

## شبیه‌سازی و مقایسه رفتار خستگی آسفالت‌های معمولی و آسفالت‌های با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای در مناطق گرمسیری

سید فرزین فائزی\*، استادیار، گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

محمودرضا کی‌منش، استادیار، گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

نعمت‌الله میرزاییان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: farzin\_faezi@yahoo.com

دریافت: ۹۸/۰۵/۲۲ - پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۵

صفحه ۲۴-۱۱

### چکیده

پایین بودن عمر عملکرد آسفالت‌های متداول در مناطق گرمسیری، هزینه‌های گزاف نگهداری روسازی‌ها و همچنین صدمات بوجود آمده، ضرورت استفاده از آسفالتی را می‌طلبد که بتواند با داشتن خصوصیات بسیار ممتازتری نسبت به سایر مخلوط‌های آسفالتی، نیازهای مربوطه به این مناطق را برآورده نماید. لذا هدف از این تحقیق، مقایسه آزمایشات خستگی بر روی آسفالت‌های معمولی و آسفالت‌های با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای در مناطق گرمسیری و شبیه‌سازی در نرم‌افزار می‌باشد. ابتدا آزمایش مدول برجهندگی، مقاومت کششی غیرمستقیم و نسبت استقامت مارشال در محیط واقعی انجام شد. سپس نتایج مربوط به مخلوط آسفالت‌های با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای با آسفالت معمولی به عنوان مخلوط شاهد مقایسه شد. در مرحله شبیه‌سازی، فاکتورهای وابسته به دمای آسفالت در مناطق گرمسیری مربوط به دو نوع آسفالت مذکور اعم از دانسیته، ضریب انبساط حرارتی، ضریب هدایت حرارتی، الاستیسیته و گرمای ویژه در نرم‌افزار آباکوس تعریف شده، سپس از طریق تجزیه و تحلیل اطلاعات در نرم‌افزار آباکوس، مقاومت هر کدام از آسفالت‌ها در مناطق گرمسیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که درصد قیر بهینه مخلوط‌های با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای بیشتر از مخلوط معمولی است. استقامت مارشال و نشانه سختی مارشال در مخلوط‌های استخوان‌بندی سنگدانه‌ای بیشتر از مخلوط معمولی است. ضریب برجهندگی مخلوط‌های با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای بیشتر از مخلوط معمولی است. در عین حال میزان ریزش در مخلوط‌های با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای بیشتر از مخلوط معمولی است. همچنین میزان ریزش در مخلوط‌های با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای با ۰/۳ درصد الیاف بیشتر از مخلوط معمولی است.

واژه‌های کلیدی: خستگی، آسفالت SMA، آسفالت HMA، مناطق گرمسیر

### ۱-مقدمه

کل خرابی‌ها را تشکیل می‌دهد(زیاری و همکاران، ۱۳۹۳، ساعدی و همکاران، ۱۳۹۷). مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (SMA) یک نوع آسفالت گرم با دانه‌بندی گسسته است که بمنظور فراهم آوردن مخلوط‌های پایدارتر و مقاوم‌تر نسبت به مخلوط‌های آسفالتی معمول (HMA) توسعه یافته‌اند. این نوع مخلوط آسفالتی که از مقاومترین انواع مخلوط‌های آسفالتی است، فرآیند انتقال و تنزیل بار را از طریق تماس مستقیم سنگ روی سنگ صورت می‌دهد (هیزل و همکاران، ۲۰۱۹، جاگاده و همکاران، ۲۰۱۷). به منظور فراهم نمودن تماس سنگ روی سنگ در

قسمت اعظمی از سرزمین جمهوری اسلامی ایران را مناطق گرمسیر تشکیل می‌دهد. در این مناطق به دلیل بالابودن درجه حرارت هوا و تابش اشعه خورشید موجب افزایش درجه حرارت رویه‌های آسفالتی جاده‌ها و خیابان‌ها می‌شود. این افزایش درجه حرارت باعث کاهش ضریب سفتی ویسکوپلاستیک رویه‌های آسفالتی خواهد شد. در نتیجه هنگام عبور وسایل نقلیه سنگین خرابی از نوع گودافتادگی مسیر چرخه‌ها بوجود می‌آید. گودافتادگی مسیر چرخه‌ها و ترک ناشی از خستگی از جمله خرابی رایج و متداول مناطق گرمسیر است و مطالعات نشان می‌دهد که بیش از ۵۰٪ از

این نوع از مخلوط‌های آسفالتی، می‌بایست دانه‌بندی از نوع میان تهی را به کار برد (شکل ۱). به دلیل مقاومت بالای این نوع مخلوط‌ها، از آنها بیشتر در لایه‌های رویه‌ای که در معرض بارهای ترافیکی سنگین قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود (لیپهارت و همکاران، ۲۰۱۶). از طرفی بزرگترین ضعف آسفالت در کشش است. پایین بودن مقاومت کششی مخلوط بتن آسفالتی معمولی، از عوامل بروز خرابی‌هایی نظیر ترک‌های حرارتی، ترک‌های خستگی، عریان‌شدگی مصالح سنگی از قیر، جداشدگی دانه‌ها (شن زدگی)، ایجاد چاله و در نهایت اضمحلال روسازی می‌باشد (بلیزجوسکی، ۲۰۱۱). درحالی‌که آسفالت SMA، به دلیل چسبندگی فوق‌العاده، پایین بودن فضای خالی و بالا بودن مقاومت مکانیکی می‌تواند بهترین گزینه باشد و مشکلات مذکور را برطرف نماید (مکارچیان و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۱. دانه‌بندی آسفالت SMA

جهت مقایسه این دو آسفالت صورت پذیرفته است. تمرکز این پژوهش بر بررسی خصوصیات و رفتار خستگی این دو نوع آسفالت می‌باشد که در این راستا برای نخستین مرتبه شرایط شبیه‌سازی آزمایشات خستگی بر روی آسفالت‌های SMA و HMA در نرم‌افزار آباکوس انجام شد که این نیز به نوبه خود دارای نوآوری است. در کنار تحقیقات و نتایج آزمایش‌های گذشته که اغلب به صورت عملی و آزمایشگاهی انجام شده است، هدف این پژوهش بررسی عملکرد و رفتار خستگی آسفالت‌های SMA و HMA با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و نتایج شبیه‌سازی می‌باشد. تا امکان یافتن درک درست از رفتار هر کدام و انتخاب آسفالت مناسب در شرایطی که خرابی‌های خستگی بیشتر مشهود است، باشد. از جمله هدف‌های فرعی این پژوهش می‌توان به ارزیابی نقش هر کدام از فاکتورهای تاثیرگذار بر هر نوع آسفالت در مناطق گرمسیری با استفاده از شبیه‌سازی است.

در کنار تحقیقات و نتایج آزمایش‌های گذشته، این تحقیق به دنبال پاسخ به سوالات زیر است: آیا امکان بررسی عملکرد و رفتار خستگی آسفالت‌های SMA و HMA با استفاده از شبیه‌سازی وجود دارد؟ آیا امکان یافتن درک درست از هر کدام و انتخاب آسفالت مناسب در شرایطی که خرابی‌های خستگی بیشتر مشهود است وجود دارد؟ چگونه می‌توان با استفاده از شبیه‌سازی، نقش هر کدام از فاکتورهای تاثیرگذار بر هر نوع آسفالت را در مناطق گرمسیری ارزیابی نمود؟

## ۲- پیشینه تحقیق

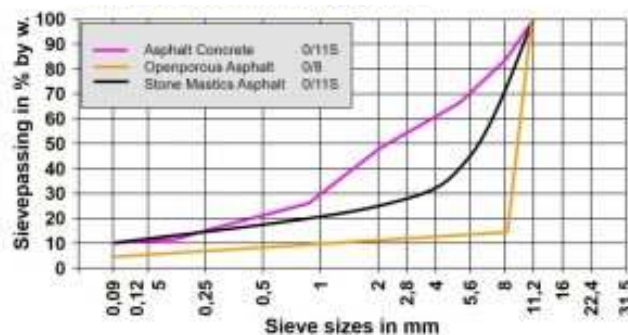
مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی درشت‌دانه (SMA) با دارا بودن درصد بالای قیر نسبت به مخلوط‌های آسفالتی معمولی و همچنین میزان زیاد مصالح سنگی درشت‌دانه در اواسط دهه ۶۰ میلادی در آلمان مورد مطالعه قرار گرفتند. طی چندین سال در اروپا به علت مقاومت بالایی که در برابر ایجاد خرابی شیارشدگی و ترک‌های خستگی از خود نشان داده بودند، مورد توجه بسیار قرار گرفتند (ارشاد و همکاران، ۲۰۱۶، احمدینیا و همکاران، ۲۰۱۲). این نوع آسفالت، مخلوط آسفالت گرم با دانه‌بندی گسسته است که از دو بخش سنگدانه‌های درشت و ملات پر قیر (مخلوط قیر، فیلر و افزودنی‌های تثبیت کننده شامل الیاف سلولزی یا معدنی)

آسفالت‌های SMA و HMA در طول عمر خدمت‌دهی مخلوط آسفالتی، نیروهای خارجی زیادی به آن وارد می‌شود که می‌تواند منجر به شکست شود. در این میان از تاثیر آب و هوای سردسیری یا گرمسیری بر روی عملکرد آسفالت‌ها نمی‌توان چشم پوشید. ترک خستگی به عنوان یکی از خرابی‌های اصلی در آسفالت‌ها به شمار می‌رود (الن، ۲۰۰۶). در سال‌های اخیر، مهندسان به دنبال فنون جدید در ساخت و ساز جاده‌ها هستند که سازگار با محیط زیست باشند. با وجود تحقیقات زیادی که در این ارتباط انجام شده است، ارتباط میان عمر مفید آسفالت و شرایط اقلیم و آب و هوایی کمتر در نظر گرفته شده است که در این پژوهش به بررسی این موضوع پرداخته می‌شود و از جنبه‌های نوآوری در پژوهش حاضر است. همچنین اگرچه روش‌های مختلفی جهت تعیین خستگی آسفالت‌های SMA و HMA بحث گردیده، اما مطالعات نشان می‌دهد که شبیه‌سازی مناسبی

جلوگیری از ریزش قیر در مخلوطهای SMA استفاده می‌شود (مقدس نژاد، ۲۰۱۰).

سلولز یکی از پرکاربردترین نوع الیاف در مخلوطهای آسفالتی است. افزودن این الیاف به قیر توسط روش‌های ارزان منجر به ارتقای خصوصیات مخلوط آسفالتی می‌شود. سیستم قیر مسلح با این فیبر، منجر به افزایش ویسکوزیته قیر می‌شود (نصر، ۱۳۹۰، پورطهماسب، ۲۰۱۴). بنابراین، مخلوط دارای پایداری و مقاومت بیشتر در برابر ترکهای خستگی است. همچنین استفاده از این فیبر می‌تواند منجر به کاهش زهکش شدن قیر در مراحل مختلف تولید، حمل و اجرای آسفالت متخلخل و دیگر مخلوطهای با دانه‌بندی ناپوسته شود. همچنین می‌تواند منجر به افزایش دوام مخلوطهای آسفالتی دانه باز به دلیل استفاده از میزان قیر بیشتر و تشکیل فیلم ضخیمتر اطراف دانه‌ها می‌شود (کردی و همکاران، ۱۳۹۵، زیاری و همکاران، ۱۳۹۲).

تشکیل می‌شود. این مخلوط آسفالتی باید ساختار سنگدانه‌های درشت با تماس درشت‌دانه به درشت‌دانه داشته باشد (Bernard, 2017). در شکل ۲ دانه‌بندی بتن آسفالت، آسفالت متخلخل و آسفالت ماستیک سنگی مورد مقایسه قرار گرفته است. استفاده از الیاف در آسفالت هزینه اقتصادی کمتری خواهد داشت و با توجه به نیاز کشور در زمینه‌های راه و باندهای فرودگاه، استفاده از آسفالت‌های الیافی و ایجاد کارخانه‌های تولید آسفالت‌های الیافی پیش ساخته کمک شایانی هم در اقتصاد کشور و هم زمینه‌های ایجاد اشتغال را فراهم خواهد کرد (اسلامی شهرابی و همکاران، ۱۳۹۶، غلامزاده، ۱۳۸۸). این در شرایطی است که الیاف در داخل کشور تولید شود. در ضمن استفاده از الیاف در آسفالت باعث افزایش عمر مفید و دوام آسفالت و خاکریز در مقابل عوامل محیطی و بارگذاری می‌شود، که در زمان طولانی این باعث صرف هزینه کمتری خواهد شد. همچنین الیاف به عنوان نوعی تثبیت کننده و جذب کننده قیر است که برای



شکل ۲. مقایسه دانه‌بندی بتن آسفالت، آسفالت متخلخل و آسفالت SMA

علیرضا آقا سلطان در سال ۱۳۸۷ در تحقیقی مدل دانه‌بندی مصالح برای مقاوم سازی مخلوطهای آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های دائمی را ارائه داد. نتایج نشان داد میان انواع دانه‌بندی‌ها، نوعی که در ساخت دانه‌بندی SMA به کار می‌رود بهترین عملکرد را در برابر تغییر شکل دائمی از خود نشان می‌دهد. نتایج تحقیق مجتبی آل محمدی (۱۳۸۷) نشان می‌دهد که آسفالت گرم معمول‌ترین مخلوط مورد استفاده در روسازی‌های انعطاف‌پذیر در جهان می‌باشد که دارای انواع مختلفی می‌باشند و با توجه به دانه‌بندی و نوع قیر مصرفی و افزودنی‌های مورد استفاده نوع اصلی آن یعنی آسفالت گرم معمولی برای مناطق گرمسیر زیاد مناسب نیست. مارشال تامسون معتقد است برای بررسی سطح خستگی آسفالت داغ در سطح پیاده‌روها باید به بررسی طرح روساخت‌ها و ساختار بدنه آن‌ها متمرکز گردید. در تحقیقات دیگری در

در آسفالت SMA، درصد بالای درشت‌دانه و ایجاد بافت یکپارچه سنگی حائز اهمیت است که به واسطه کاهش میان دانه و بوجود آمدن یک گپ در منحنی دانه‌بندی مخلوط، عملاً ترکیبی میان تهی حاصل خواهد شد. لذا به این وسیله درگیری سنگدانه به سنگدانه و ایجاد بافت یکپارچه سنگی تامین می‌شود. همچنین سنگدانه‌های درشت در مقابل خردشدگی و شکستگی ناشی از ضربات دینامیکی مقاومت می‌کنند. بنابراین درشت‌دانه‌ها بایستی اصلی‌ترین و بیشترین بخش مخلوط را به منظور ایجاد مقاومت مورد نیاز تشکیل می‌دادند (لیو و همکاران، ۲۰۱۷).

عماد سهرابی (۱۳۸۷) در تحقیقی مدلی نیمه‌تجربی برای پیش‌بینی نرخ شیار افتادگی آسفالت، ارائه داد. نتایج نشان داد دو عامل دانسیته در محل و ضخامت لایه آسفالتی با اطمینان بیش از ۹۵٪ در مدل عمق شیارافتادگی مؤثر می‌باشند.

سال، ۲۰۰۹ تأثیر پلی اتیلن سبک خطی بر عمر مخلوطهای آسفالتی SMA صورت گرفت. نتایج نشان دهنده آن است که با افزایش درصد پلی اتیلن، درجه نفوذ و درجه نرمی به ترتیب، کاهش و افزایش می یابد و در مورد خاصیت انگمی آسفالت در تمامی درصدهای پلی اتیلن، این مقدار بیشتر از ۱۰۰ سانتیمتر است، جز در ۸ درصد که میزان آن کمتر از ۹۱ سانتیمتر به دست آمده است. بیشترین مقدار استقامت مارشال و کمترین مقدار برای روانی، در ۶ درصد پلیمر به دست آمده است و با افزایش درصد پلی اتیلن، مقاومت کششی غیرمستقیم نیز افزایش می یابد (ال حدیدی، ایی، ۲۰۰۹). در پروژه دیگری، تأثیر افزودنی استارچ بر رفتار مخلوط آسفالتی SMA مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بیانگر آن است که افزودن ۵ درصد استارچ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قیر را بهبود می بخشد، همچنین استقامت مارشال، شاخص حساسیت رطوبتی و مدول برجهنگی مخلوط آسفالتی را به ترتیب، به میزان ۱۱٪، ۳۸٪ و ۳۷٪ ارتقاء می دهد. همچنین افزودن ۵ درصد SBS به قیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قیر خالص را بهبود داده و مقادیر استقامت مارشال، شاخص حساسیت رطوبتی و مدول برجهنگی مخلوط آسفالتی SMA را به ترتیب به میزان ۸٪، ۱۲٪ و ۳۹٪ افزایش می دهد (ال حدیدی و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی دیگر محققین نشان دادند که پلیمر SBS می تواند تأثیر بسیار زیادی بر روی مدول برجهنگی و مقاومت مارشال مخلوطهای SMA بگذارد. با توجه به نتایج درصد بهبود مقاومت مارشال و مدول برجهنگی برای نمونه های اصلاح شده با ۵ درصد پلیمر SBS به ترتیب برابر ۷۰٪ و ۱۲۷٪ گزارش داده اند (لیو، ها، ژو، ۲۰۱۷). طبق تحقیقات صورت گرفته، مقایسه ای بین عملکرد مخلوط آسفالتی SMA حاوی مصالح خرده لاستیک و SBS صورت گرفت. در آن تحقیق، مصالح سنگی از جنس آهکی انتخاب شدند و از قیر ۶۰-۷۰ نیز برای ساختن نمونه ها استفاده کردن. با توجه به نتایج به دست آمده می توان تأثیر مثبت پودر لاستیک و همچنین SBS را در میزان مقاومت فشاری و کششی به وضوح مشاهده کرد. میزان بهبود در مقاومت مارشال برای دو پلیمر پودر لاستیک و SBS به ترتیب ۴۳٪ و ۷۰٪ است و درصد بهبود در مقاومت کششی غیرمستقیم نیز به ترتیب قبل برابر ۳۱٪ و ۲۴٪ است (شاکری و همکاران، ۱۳۹۲).

### ۳- روش تحقیق

با توجه به اهمیت استفاده از مخلوطهای SMA به عنوان یک لایه رویه مقاوم در برابر تغییر شکلهای ماندگار و توجه خاصی که اخیراً در کشورمان برای استفاده از این نوع

مخلوطها صورت گرفته است، در این تحقیق بمنظور ارزیابی و مقایسه عملکرد این نوع از مخلوطها با مخلوطهای آسفالتی معمولی، برخی آزمایشهای عملکردی شامل استحکام مارشال، خزش دینامیکی و آزمایش کششی غیرمستقیم بر روی مخلوطهای SMA و HMA انجام گرفت. روند انجام این تحقیق شامل ساخت نمونه های آسفالتی معمولی و SMA و انجام آزمایش خستگی بر روی آنها می باشد. ابتدا نمونه های آسفالت معمولی طبق استاندارد آشتو تهیه و مقدار قیر بهینه آنها مشخص شد. سپس نمونه های آسفالتی SMA بر طبق استاندارد آشتو AASHTO MP8-07 ساخته و مقدار قیر بهینه مشخص شد. پس از آن نمونه های آسفالتی در شرایط دمایی و مقادیر بارگذاری متفاوت تحت تست خستگی به روش کشش غیرمستقیم قرار می گیرند و در نهایت مقایسه رفتار خستگی بین این دو آسفالت انجام می شود. در این تحقیق از دو روش برای طرح اختلاط مخلوط آسفالتی معمولی و SMA استفاده شده است. در روش مارشال مشخصات فنی نمونه های آسفالتی از قبیل استقامت مارشال، وزن مخصوص در حالت متراکم و شل، درصد فضای خالی بین سنگدانه ها، درصد فضای خالی آسفالت، روانی، نشانه سختی مارشال، درصد فضای خالی بین مصالح سنگی پر شده با قیر و درصد قیر بهینه تعیین می گردد. روش استقامت مارشال طبق استاندارد ASTM D1559-89 انجام می شود. در درصد قیر بهینه، آزمایش ضریب برجهنگی بر روی نمونه های آسفالت معمولی و SMA طبق استاندارد شماره ASTM D4123-82 انجام می شود. همچنین بر روی نمونه های SMA آزمایش ریزش ماستیک طبق استاندارد شماره ASTM D6390-05 و بررسی وجود تماس سنگدانه به سنگدانه از طریق تعیین فضای خالی بین مصالح سنگی درشت طبق استاندارد شماره AASHTO MP8-07 انجام می شود. در قسمت شبیه سازی، به منظور تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار آباکوس مرتبط با رشته مهندسی عمران استفاده شد. از جمله قابلیت های آباکوس در حوزه تحلیل های متداول در مهندسی عمران می توان به تحلیل غیرخطی سازه ای، تحلیل مسائل با انواع المان های سازه ای، تحلیل کماتش و پس کماتش، تحلیل هیستریزس ادوات فولادی، تحلیل بتن مسلح و غیره اشاره نمود. ابتدا در محیط Part مقطعی از آسفالت به اندازه ضخامت های مشخص شده برای هر لایه تعریف شد. سپس فاکتورهای وابسته به دما مربوط به هر دو نوع آسفالت SMA و HMA در مناطق گرمسیری شامل دانسیته، ضریب انبساط حرارتی، ضریب هدایت حرارتی، الاستیسیته، ویسکوالاستیک و گرمای ویژه در نرم افزار آباکوس تعریف

مقدار قیر بهینه برای دانه‌بندی مختلف با استفاده از روش طراحی مارشال به دست آمد. در این روش، مقدار قیر مربوط به حداکثر چگالی، حداقل تخلخل و حداکثر مقاومت مارشال به دست آمد و در نهایت مقدار قیر بهینه مورد استفاده قرار گرفت. دانه‌بندی استفاده شده طبق جدول ۱ می‌باشد. با توجه به دانه‌بندی ۲۴ نمونه مخلوط آسفالت با درصد قیرهای ۴، ۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵ ساخته شد. برای هر درصد قیر دو نمونه ساخته شد. در این پژوهش از مصالح سنگی شکسته استفاده شده است. قیر به‌کار رفته در پژوهش از نوع ۶۰-۷۰ است و مشخصات رئولوژیکی و فیزیکی آن در جدول ۲ آمده است. با استفاده از دانه‌بندی بهینه به دست آمده از مرحله قبل، نمونه‌های مربوط به تعیین درصد قیر بهینه با استفاده از قالب و چکش مارشال ساخته شد (جدول ۳).

شد. همچنین بار چرخ کامیون تک محوره تحت فشار ۸ تن روی یک مقطع که به لایه‌های مختلف وارد می‌شود، تعریف شد. سپس تحت این فشار تعریف شده، میزان تنش و کرنش را در لایه‌های مختلف روسازی آسفالت اعم از سطح زیر چرخ، زیر سطح لایه اول، زیر سطح لایه دوم و الی آخر، به دست آورده و مورد مقایسه قرار گرفت. جهت بررسی بالاتر بودن مقاومت هر کدام از آسفالت‌های SMA و HMA در مناطق گرمسیری که از طریق تجزیه و تحلیل اطلاعات در نرم‌افزار عمرانی آباکوس انجام شد، نتایج به دست آمده صراحتاً در مورد مقاومت هر دو آسفالت موضوع را بیان می‌نماید.

#### ۴- نتایج تحقیق

##### ۴-۱- مشخصات نمونه‌های آسفالت معمولی و تعیین

##### مقدار قیر بهینه

جدول ۱. دانه‌بندی به کار رفته در طرح مخلوط آسفالت معمولی

| اندازه الک | بازه آیین نامه | دانه‌بندی استفاده شده |
|------------|----------------|-----------------------|
| ۱۹         | ۱۰۰            | ۱۰۰                   |
| ۱۲/۵       | ۹۰-۱۰۰         | ۹۵                    |
| ۴/۷۵       | ۴۴-۷۴          | ۵۱                    |
| ۲/۳۶       | ۲۸-۵۸          | ۳۰/۳                  |
| ۰/۳        | ۵-۲۱           | ۱۱/۲                  |
| ۰/۰۷۵      | ۲-۱۰           | ۵/۳                   |

جدول ۲. مشخصات قیر مورد استفاده

| مشخصات فیزیکی | استاندارد آزمایش | مقدار | محدوده مجاز |
|---------------|------------------|-------|-------------|
| وزن مخصوص     | ASTM D 792       | ۰/۹۳  | ۰/۹۲-۰/۹۵   |
| شاخص روانی    | ASTM D1238       | ۰/۴   | ۱۲          |
| سختی          | ASTM D2240       | ۸۰    | ۱۰۰>        |

جدول ۳. نتایج مارشال برای مخلوط آسفالت معمولی در درصد قیر بهینه

| شرح   | مقدار |
|---|-------|
| درصد وزنی قیر بهینه                         | ۴/۵   |
| درصد فضای خالی بین سنگدانه‌ها پر شده با قیر | ۷۳    |
| درصد فضای خالی بین سنگدانه‌ها               | ۱۶/۱  |
| درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی                | ۴/۲   |
| وزن مخصوص واقعی نمونه آسفالتی               | ۲/۶۲  |
| وزن مخصوص حداکثر نمونه آسفالتی              | ۲/۶۹  |
| استقامت مارشال (کیلو نیوتن)                 | ۸/۷   |
| روانی (میلی متر)                            | ۴/۲   |
| نشانه سختی مارشال (کیلو نیوتن بر میلی متر)  | ۲/۳۱۳ |

#### ۴-۲- تاثیر دما روی مقاومت خستگی

با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده شد که مقاومت خستگی (یا تعداد تکرار بارگذاری منجر به گسیختگی نمونه آسفالتی) همواره با افزایش دما کاهش می‌یابد. که این نتیجه مستقل از نوع دانه‌بندی مخلوط آسفالتی می‌باشد. نتایج آزمایشها نشان داد بتن آسفالتی در دمای ۵ درجه سانتیگراد دارای مقاومت خستگی بیشتری از مقاومت خستگی در دمای ۲۵ درجه و مقاومت خستگی بیشتری در دمای ۲۵ درجه نسبت به دمای ۴۰ درجه می‌باشد. همچنین نتایج نشان دادند مقدار مدول سفتی نمونه‌های آسفالتی با افزایش دما از ۵ درجه سانتیگراد به ۲۵ و ۴۰ درجه کاهش یافت. کاهش سفتی مخلوط آسفالتی باعث کاهش مقاومت خستگی مخلوط آسفالتی در آزمایش خستگی به صورت تنش کنترل شده می‌شود. همچنین مقدار قیر بیشتر سبب کاهش مدول سفتی و در نتیجه کاهش میزان عمر خستگی می‌شود.

#### ۴-۳- مشخصات نمونه‌های آسفالت SMA و تعیین

##### مقدار قیر بهینه

در این تحقیق برای طرح مخلوط‌های SMA در گام اول، تعیین دانه‌بندی بهینه و سپس از روش مارشال، تعیین میزان قیر بهینه صورت گرفته است. دانه‌بندی پیشنهادی از

جدول ۴ انتخاب شد. دانه‌بندی مخلوط آسفالتی SMA بر اساس حجم و روابط مربوط به آن صورت می‌گیرد. برای دانه‌بندی انتخاب شده، یک درصد قیر اولیه بین ۶ تا ۶/۵ درصد انتخاب شد و حداقل دو نمونه مطابق با T245 با استفاده از چکش مارشال متراکم شد. دانه‌بندی مورد نظر بدین صورت انتخاب می‌گردد که مینیمم VMA و همچنین تماس سنگدانه روی سنگدانه حاصل می‌شود. تماس سنگدانه روی سنگدانه در آسفالت SMA به نقطه‌ای تعریف می‌شود که در آن درصد فضای خالی مصالح درشت‌دانه در نمونه ساخته شده (VCAMIX)، از درصد فضای خالی مصالح درشت‌دانه مانده روی الک نمره ۴ در آزمایش وزن مخصوص خشک میله‌دار (VCADRC) کمتر باشد. در ساخت نمونه‌های آسفالت SMA از الیاف سلولزی به میزان ۰/۳ درصد وزنی کل مصالح استفاده شده است که ویژگی‌های آن در جدول ۵ مشخص است. مشخصات فیزیکی و مکانیکی مصالح سنگی در جداول ۶ و ۷ آمده است. با استفاده از دانه‌بندی بهینه به دست آمده از مرحله قبل، نمونه‌های مربوط به تعیین درصد قیر بهینه با استفاده از قالب و چکش مارشال ساخته شده و پس از تعیین وزن مخصوص زیر جک مارشال قرار گرفته و سپس آزمایش رایس بر روی نمونه‌ها انجام گرفت (جدول ۸).

جدول ۴. دانه‌بندی به کار رفته در طرح مخلوط SMA

| اندازه الک | بازه آیین نامه | دانه‌بندی استفاده شده |
|------------|----------------|-----------------------|
| ۱۹         | ۱۰۰            | ۱۰۰                   |
| ۱۲/۵       | ۹۰-۱۰۰         | ۹۷                    |
| ۹/۵        | ۲۶-۷۸          | ۷۵                    |
| ۴/۷۵       | ۲۰-۲۸          | ۲۴                    |
| ۲/۳۶       | ۱۶-۲۴          | ۱۹                    |
| ۱/۱۸       | ۱۳-۲۱          | ۱۷                    |
| ۰/۶        | ۱۲-۱۸          | ۱۵                    |
| ۰/۳        | ۱۲-۱۵          | ۱۴                    |
| ۰/۰۷۵      | ۸-۱۰           | ۹                     |

جدول ۵. مشخصات الیاف به کار رفته در طرح مخلوط SMA

| مشخصات            | مقدار   |
|-------------------|---------|
| شکل ظاهری         | پودر    |
| مقدار سلولز       | ٪۸۵     |
| مقدار PH          | ۹-۷     |
| وزن حجمی گرم/لیتر | ۲۲۰-۱۷۰ |

جدول ۶. مشخصات مصالح درشت‌دانه استفاده شده در مخلوط‌های SMA

| نوع آزمایش                | مقدار | استاندارد آزمایش |
|---------------------------|-------|------------------|
| درصد سایش به روش لس آنجلس | ۲۲    | AASHTO T96       |
| چگالی واقعی               | ۲/۵۴  | ASTM C127        |
| درصد شکستگی در یک وجه     | ۱۰۰   | ASTM D5821       |
| درصد شکستگی در دو وجه     | ۹۸    | ASTM D5821       |
| درصد جذب آب               | ۱/۱   | AASHTO T85       |

جدول ۷. مشخصات ریزدانه استفاده شده در مخلوط‌های SMA

| نوع آزمایش   | مقدار | استاندارد آزمایش |
|--------------|-------|------------------|
| چگالی واقعی  | ۲/۵۱  | ASTM C127        |
| جذب آب       | ۱/۳   | AASHTO T85       |
| حد روانی     | ۱۳    | AASHTO T89       |
| ارزش ماسه ای | ۶۶    | AASHTO T176      |

جدول ۸. نتایج مارشال برای مخلوط SMA در درصد قیر بهینه

| شرح   | مقدار |
|---|-------|
| درصد وزنی قیر بهینه                         | ۶/۵   |
| درصد فضای خالی بین سنگدانه‌ها پر شده با قیر | ۷۷    |
| درصد فضای خالی بین سنگدانه‌ها               | ۱۷    |
| درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی                | ۳/۲   |
| وزن مخصوص واقعی نمونه آسفالتی               | ۲/۵۴  |
| وزن مخصوص حداکثر نمونه آسفالتی              | ۲/۶۵  |
| استقامت مارشال (KN)                         | ۵     |
| روانی (میلی‌متر)                            | ۵/۲   |
| نشانه سختی مارشال (KN/mm)                   | ۰/۹۳۳ |

#### ۴-۴- ریزش قیر در مخلوط SMA

زیاد بودن فضای خالی بین مصالح درشت‌دانه و مصرف نسبتاً زیاد قیر و اندود ضخیم قیری مصالح سنگی درشت‌دانه در مخلوط‌های SMA عاملی برای ریزش و بیرون زدن قیر از این مخلوط در هنگام ذخیره سازی، حمل و پخش آن است. یکی از تکنیک‌های اصلی برای جلوگیری از ریزش قیر استفاده از الیاف در مخلوط SMA است. آزمایش ریزش قیر مطابق استاندارد شماره ASTM D6390-05، روشی برای ارزیابی پتانسیل ریزش قیر یا همان جداشدن ملات قیری از مخلوط SMA است. درجدول ۹ مقدار ریزش در مخلوط‌های SMA ساخته شده در حالت، ۰/۱۵، ۰/۳، ۰/۴۵، درصد الیاف مشاهده می‌شود.

مشابه با نتایج به دست آمده از آزمایش تعیین مدول سفتی بر روی نمونه‌های آسفالت معمولی، مقادیر مدول سفتی به دست آمده برای نمونه‌های مخلوط SMA در دمای ۵ درجه، با افزایش بار افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. در دماهای ۲۵ و ۴۰ درجه مدول سفتی به دست آمده برای مخلوط‌های آسفالتی SMA ساخته شده با افزایش مقدار بارگذاری انجام شده کاهش می‌یابد. که این موضوع می‌تواند به دلیل تاثیر بیشتر افزایش نرخ تغییر شکل افقی در مرکز نمونه با افزایش مقدار بارگذاری نسبت به تاثیر افزایش نرخ مقدار بار وارده به نمونه باشد که منجر به کاهش مدول سفتی مخلوط می‌شود.

جدول ۹. نتایج آزمایش ریزش مخلوط SMA

| الیاف  | مقدار الیاف | سنگدانه |
|--------|-------------|---------|
| سلولزی | ۰/۱۵        | ۱/۴     |
|        | ۰/۳         | ۰/۲۴    |
|        | ۰/۴۵        | ۰/۳۳    |

#### ۴-۵- ضریب برجهندگی در مخلوط SMA

مخلوطهای ساخته شده نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در مخلوط آسفالت SMA نسبت به مخلوط آسفالت معمولی بهبود داشته است که می‌توان آن را به میزان قیر بیشتر و فیلر در مخلوط آسفالت SMA نسبت داد.

در این تحقیق ضریب برجهندگی نمونه‌های آسفالت معمولی و SMA ساخته شده در درصد قیر بهینه به دست آورده شد. این آزمایش طبق استاندارد شماره ASTM D 4123-82 انجام شد. ضریب برجهندگی برای ارزیابی کیفیت نسبی مخلوط آسفالتی به عنوان داده ورودی طرح روسازی، ارزیابی و یا تحلیل روسازی به کار می‌رود. ضریب برجهندگی کل با استفاده از تغییر شکل برگشت پذیر کل، شامل تغییر شکل برگشت پذیر آنی و تغییر شکل وابسته به زمان استراحت در یک سیکل به دست می‌آید. آزمایش ضریب برجهندگی بر روی نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه یا نمونه‌های مغزه‌گیری شده از مسیرهای آسفالتی موجود انجام می‌شود. مقادیر درجه حرارت، بار، فرکانس بارگذاری و دوام مدت بارگذاری قابل تغییر است. دماهای توصیه شده برای انجام آزمایش ۵، ۲۵، و ۴۰ درجه سانتیگراد است که در این دماها بار با فرکانسهای مختلف روی نمونه وارد می‌شود. در جدول ۱۰ نتایج ضریب برجهندگی برای

#### ۴-۶- آزمایش خستگی بارگذاری کششی غیرمستقیم

##### در مخلوط SMA

آزمایش خستگی کشش غیرمستقیم نمونه‌های آسفالتی معمولی شاهد و مسلح شده با الیاف سلولزی در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد و با تنش بارگذاری ۲۵۵ کیلوپاسکال انجام گردید که نتایج در جدول ۱۱ ارائه شده است. در این آزمایش از مدت زمان سیکل بارگذاری ۱/۵ ثانیه، مدت زمان اعمال بار ۰/۲۵ ثانیه و مدت زمان استراحت در هر سیکل بارگذاری ۱/۲۵ ثانیه استفاده گردید. در این آزمایش، خستگی به صورت گسیختگی نمونه و تغییر شکل قطری ۹ میلی‌متر تعریف شده است.

جدول ۱۰. نتایج آزمایش نمونه‌های آسفالتی

| نوع مخلوط |      |      | آسفالت معمولی | آزمایش        |
|-----------|------|------|---------------|---------------|
| SMA3      | SMA2 | SMA1 |               |               |
| ۱۴۲۲      | ۱۵۶۶ | ۱۴۷۰ | ۲۴۰۸          | ضریب برجهندگی |

جدول ۱۱. نتایج آزمایش خستگی بارگذاری کشش غیرمستقیم نمونه‌های آسفالتی

| تعداد سیکل گسیختگی | مشخصات مخلوط آسفالتی                   |
|--------------------|--|
| ۱۵۸۸               | مخلوط آسفالتی معمولی شاهد              |
| ۵۰۵۵               | مخلوط آسفالتی مسلح شده با الیاف سلولزی |

#### ۴-۷- تاثیر دما روی مقاومت خستگی در مخلوط SMA

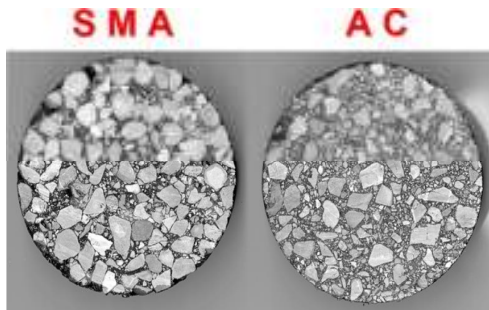
سانتیگراد دارای مقاومت خستگی بیشتری از مقاومت خستگی در دمای ۲۵ درجه و مقاومت خستگی بیشتری در دمای ۲۵ درجه نسبت به دمای ۴۰ درجه می‌باشد. مقدار مدول سفتی نمونه‌های آسفالتی با افزایش دما از ۵ درجه سانتیگراد به ۲۵ و ۴۰ درجه کاهش یافت. کاهش سفتی

با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده شد که مقاومت خستگی (یا تعداد تکرار بارگذاری منجر به گسیختگی نمونه آسفالتی) همواره با افزایش دما کاهش می‌یابد (مشابه نمونه آسفالت معمولی). که این نتیجه مستقل از نوع دانه‌بندی مخلوط آسفالتی می‌باشد. بتن آسفالتی در دمای ۵ درجه



شکل ۳ مقطع نمونه مخلوط بتن آسفالتی در مقایسه با مخلوط SMA نشان داده شده است.

مخلوط آسفالتی باعث کاهش مقاومت خستگی مخلوط در آزمایش خستگی به صورت تنش کنترل شده می‌شود. در



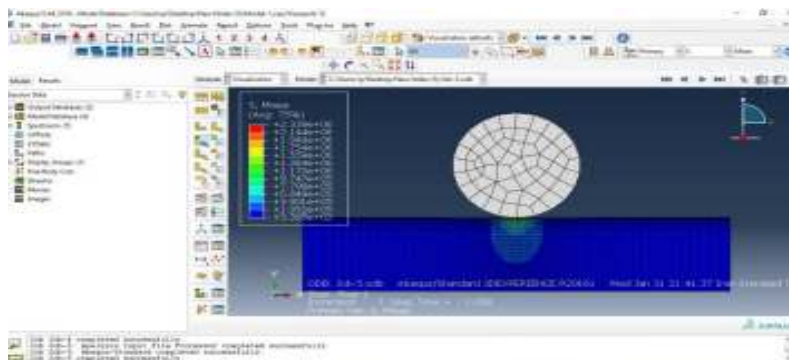
شکل ۳. مقطع نمونه مخلوط بتن آسفالتی (AC) در مقایسه با مخلوط SMA

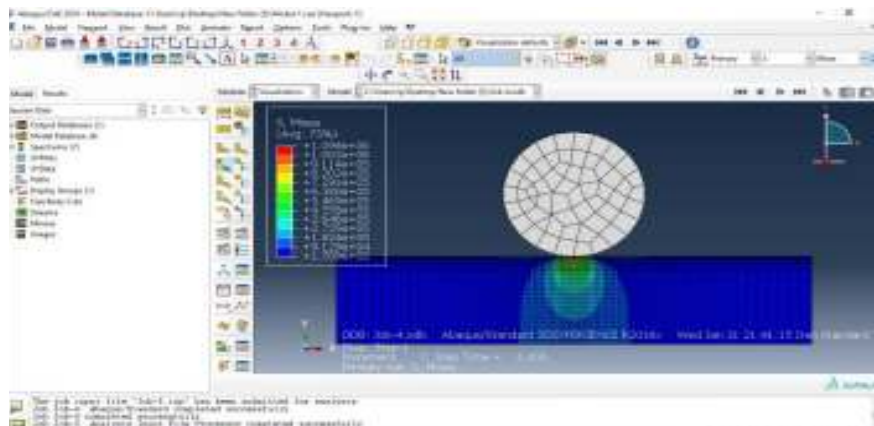
#### ۴-۸- خلاصه نتایج شبیه‌سازی با نرم افزار آباکوس

آسفالت SMA بیشتر از آسفالت HMA است، در نمودار تنش همانطور که از شکل ۵ مشخص است، مقدار تنش برای آسفالت SMA بیشتر از آسفالت HMA است. بنابراین، کاملاً مشخص است که آسفالت از نوع SMA رفتار تنش و کرنش بهتری نسبت به آسفالت HMA از خود نشان می‌دهد. در شکل ۶ کانتور تنش بر روی آسفالت از نوع SMA و در شکل ۷ کانتور تنش بر روی آسفالت از نوع HMA بر طبق خروجی نرم‌افزار آباکوس نشان داده شده است.

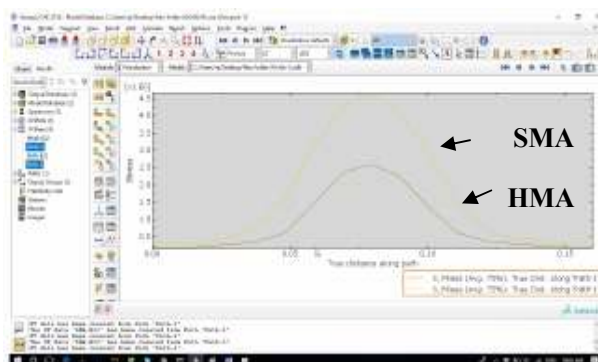
در شکل ۸ کانتور کرنش بر روی آسفالت از نوع HMA و در شکل ۹ کانتور کرنش بر روی آسفالت از نوع SMA بر طبق خروجی نرم‌افزار آباکوس نشان داده شده است. بنابراین با توجه به نتایج سختی آسفالت SMA بیشتر از آسفالت معمولی می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده، میزان تنش‌های بدست آمده در آسفالت SMA بیشتر از آسفالت معمولی می‌باشد. در عین حال شکل‌پذیری آسفالت معمولی بیشتر از آسفالت SMA می‌باشد. در جدول ۱۲ هر یک از خواص و ضرایب دو نوع آسفالت آورده شده است.

بعد از معرفی فاکتورهای مربوط به دو نوع آسفالت SMA و HMA اعم از دانسیته، ضریب انبساط حرارتی، ضریب هدایت حرارتی، الاستیسیته، ویسکوالاستیک و گرمای ویژه در نرم‌افزار آباکوس جهت بررسی بالاتر بودن مقاومت هر کدام از آسفالت‌ها در مناطق گرمسیری که از طریق تجزیه و تحلیل اطلاعات در نرم‌افزار عمرانی آباکوس انجام شد، نتایج زیر به دست آمد که صراحتاً در مورد مقاومت هر دو آسفالت موضوع را بیان می‌نماید. پس از وارد کردن فاکتورهای مورد نیاز در نرم‌افزار آباکوس و تجزیه و تحلیل روابط، نتایج زیر به دست آمد. سختی الاستیک در آسفالت از نوع SMA برابر با  $21000000000$  PA و در آسفالت از نوع HMA برابر با  $41000000000$  PA می‌باشد. شکل ۴ محیط نرم‌افزار آباکوس را نشان می‌دهد. هرکدام از آسفالت HMA و SMA با لایه‌های مختلف تحت بار چرخ کامیون تک محوره با فشار تعریف شده ۸ تن قرار داده شده‌اند. تحت این فشار، میزان تنش و کرنش در لایه‌های مختلف روسازی آسفالت اعم از سطح زیر چرخ، زیر سطح لایه اول، زیر سطح لایه دوم و الی آخر، به دست آورده شد. از آنجایی که سختی الاستیک برای

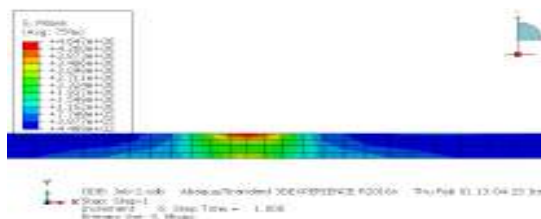




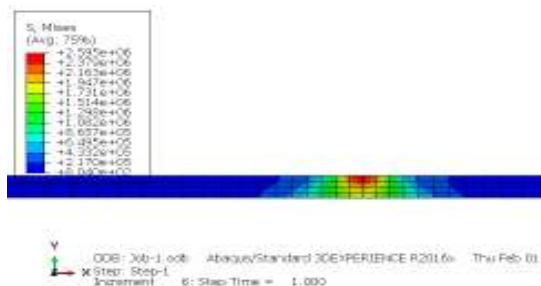
شکل ۴. آسفالت SMA و HMA تحت بار چرخ با فشار اعمالی تعریف شده در نرم افزار آباکوس



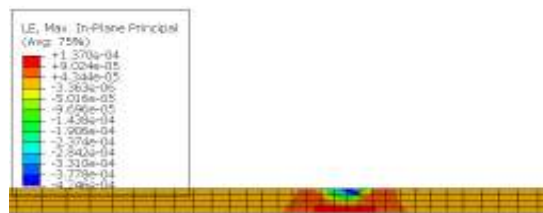
شکل ۵. نمودار تنش بر حسب فاصله حقیقی برای دو آسفالت SMA و HMA در نرم افزار آباکوس



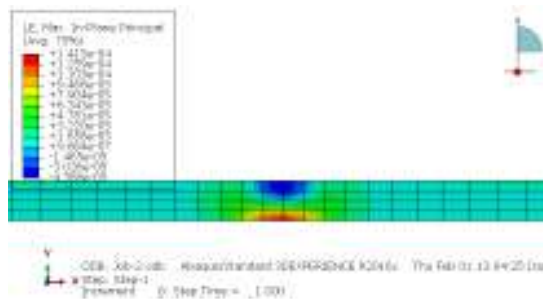
شکل ۶. کانتور تنش بر روی آسفالت از نوع SMA



شکل ۷. کانتور تنش بر روی آسفالت از نوع HMA



شکل ۸. کانتور کرنش بر روی آسفالت از نوع HMA



شکل ۹. کانتور کرنش بر روی آسفالت از نوع SMA

جدول ۱۲. خواص و ضرایب دو نوع آسفالت HMA و SMA

| نوع آسفالت | هدایت حرارتی | گرمای ویژه | الاستیسیت        | دانسیته |
|------------|--------------|------------|------------------|---------|
| HMA        | ۰/۷۵         | ۹۲۰        | $۴۱ \times ۱۰^۸$ | ۲۶۳۰    |
| SMA        | ۰/۷۵         | ۹۲۰        | $۲۱ \times ۱۰^۹$ | ۲۲۰۰    |

## ۵- نتیجه گیری

نسبت به ریزدانه و استفاده از فیلر و قیر نسبتاً زیاد می‌باشد. مصرف زیاد قیر در این مخلوط‌ها و اتصال سنگدانه به سنگدانه و فیلم نسبتاً ضخیم قیر بر روی مصالح سنگی باعث بوجود آمدن ویژگیهای خاص برای این مخلوطها در مقایسه با مخلوطهای بتن آسفالتی گرم می‌گردد. در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی خصوصیات خستگی دو نوع مخلوطهای آسفالتی پرداخته شد و سعی شد تا با مقایسه رفتار خستگی این دو نوع آسفالت درک درستی از تاثیر پارامترهای دانه‌بندی، دما بر روی خستگی این دو نوع مخلوط حاصل شود. واضح است که در آسفالت SMA، هزینه اولیه به واسطه میزان قیر و فیلر بیشتر و لزوم تثبیت مخلوط به وسیله ییاف، اندکی گران‌تر است. اما با توجه به امکان اجرا در ضخامت کمتر، عمر مفید قابل توجه و افزایش سرویس‌دهی روسازی، توجیه و صرفه اقتصادی بسیار محرز و قابل توجهی دارد که همین موضوع باعث گرایش و تمایل

امروزه با افزایش روزافزون ترافیک و بار محوری خودروها، نیروی بیشتری بر سیستم سازه روسازی اعمال می‌شود که باعث کاهش عمر مفید روسازی‌ها می‌گردد. عمده خرابی در روسازی، ناشی از شیارشدگی آسفالت به دلیل رفتار ویسکوپلاستیک آسفالت در دماهای بالا و همچنین ترک‌های ناشی از بارگذاری مکرر ترافیک در دماهای میانی و پایین به دلیل عدم انعطاف‌پذیری لازم در آسفالت است. میزان مقاومت در برابر خستگی یک مخلوط آسفالتی برابر با میزان پایداری آسفالت در برابر بارهای خمشی تکراری، بدون ایجاد شکست در مخلوط آسفالتی است. مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه (SMA) از جمله مخلوطهای آسفالتی گرم است که در سالهای اخیر استفاده از آن در کشورهای مختلف به لحاظ ویژگی‌های خاص آن و به منظور برآورد نیاز پروژه، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشخصه اصلی در این نوع آسفالت‌ها دانه‌بندی میان‌تهی (gap graded) و مصرف زیاد مصالح سنگی درشت‌دانه

-حاجی غفوری، ح.، (۱۳۷۰)، "آسفالت متخلخل"، ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، ۱۳، ص. ۶۸-۵۰.

-دانشی، ا. (۱۳۹۳)، "ارائه مدل شیارشدگی در مخلوط‌های آسفالتی برای مناطق گرمسیر ایران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

-زیاری، ح.، بهبهانی، ح.، ارجمندپور، ج. (۱۳۹۳)، "بررسی تأثیر انواع پلیمر ترموپلاستیک الاستومر بر حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای"، مهندسی حمل‌ونقل، سال ششم، شماره سوم، ص. ۴۱۳-۴۲۸.

-زیاری، ح.، شادمان بحارینه، م. (۱۳۹۲)، "ارایه مدل پیش‌بینی عمر خستگی آسفالت متخلخل پلیمری با رویکرد پدیده‌شناختی تجربی"، مهندسی حمل‌ونقل، سال چهارم، شماره سوم، ص. ۲۲۱-۲۳۱.

-ساعدی، س.، صادقیان اصل، گ.، یثربی، س. (۱۳۹۷)، "تأثیر توأم استایرن بوتادین استایرن و پروپلاست در بهبود عملکرد آسفالت ماستیکی درشت‌دانه، مهندسی حمل‌ونقل، سال دهم، شماره ۲، ص. ۳۵۸-۳۹۹.

-سهرابی، ع. (۱۳۸۷)، "تعیین مدلی برای بررسی تراکم در عملکرد روسازی راه‌ها در مناطق گرمسیر"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس.

-شاگری، ا.، مقدس‌نژاد، ف. و کشاورزاد، ا. (۱۳۹۷)، "مقایسه خصوصیات مقاومتی آسفالت لاستیکی و آسفالت معمولی"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان، ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت ماه.

-غلامزاده، ز. (۱۳۸۸)، "ارزیابی مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگ‌دانه‌ای در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی معمولی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

-کردی، س.، شفابخش، غ. (۱۳۹۵)، "امکان‌سنجی تأثیر نانو اکسید آلومینیوم بر عملکرد مخلوط‌های آسفالت ماستیک درشت‌دانه در برابر بارهای دینامیک"، دوره ۲، شماره ۱، ص. ۶۹-۸۴.

-مکارچیان م.، کریمی، ا.، مقدس‌نژاد، ف. (۱۳۹۵)، "بررسی تأثیر نوع الیاف و سنگدانه در مشخصات مکانیکی

زیاد به استفاده از این نوع آسفالت شده است. براساس بررسی‌های انجام شده، نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از: در شرایط آب و هوایی گرم مخلوط آسفالت SMA دارای خصوصیات دوام، برجهنگی بهتری نسبت به مخلوط‌های آسفالتی معمولی دارند. در هر دمایی مدول سفتی مخلوط‌های آسفالتی معمولی دارای مقادیر بیشتری از نمونه‌های SMA می‌باشد. دانه‌بندی مخلوط SMA از نوع منقطع بوده و مخلوط معمولی دارای دانه‌بندی متراکم می‌باشد. دانه‌بندی SMA به گونه‌ای است که یک تماس سنگدانه در کل مخلوط برقرار می‌شود، یعنی سنگدانه‌های مخلوط که درصد زیادی از آن را درشت‌دانه تشکیل می‌دهند در تماس مستقیم با یکدیگر هستند. این مخلوط بیشتر در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرد که خرابی‌های ناشی از تغییر شکل‌های دایمی به صورت شیارشدگی جزو خرابی‌های شایع محسوب می‌شود. تماس سنگ روی سنگ در این مخلوطها تاب آنها را در برابر تنشهای فشاری افزایش می‌دهد و در نتیجه در برابر شیارشدگی مقاومت بیشتری خواهد داشت. در صورتی که در برابر مخلوط‌های با دانه‌بندی متراکم، در مقابل تنش‌های کششی که منجر به ایجاد ترک خوردگی خستگی می‌شوند، دارای مقاومت کمتری هستند.

## ۶-مراجع

-اسلامی شهربابکی، پ.، خبیری، م.، خانی سانج، ح. (۱۳۹۶)، "آنالیز حساسیت و ارایه مدل ریاضی برای تعیین درصد قیر بهینه در آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای"، فصلنامه علمی-ترویجی جاده، شماره ۹۳، ص. ۱-۱۲.

-آقا سلطان، ع. (۱۳۸۷)، "تعیین مدل دانه‌بندی مصالح برای مقاوم سازی مخلوط‌های آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های دائمی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس.

-آل‌محمدی، م. (۱۳۸۷)، "مقایسه رفتار خستگی آسفالت‌های HMA و SMA با ترکیبات مختلف" پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه امیر کبیر.

Asphalt”, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol.4, pp.1-8.

-Jagadeesh, H. S., Kadayanvarmath, M., (2017), “Studies on SMA mixes with partial rap replacement in addition with fiber,” *International Journal of Science and Research (IJSR)*, Vol. 6, No. 8, pp. 65–73.

-Karakas, A. S., & Ortes, F., (2017), “Comparative assessment of the mechanical properties of asphalt layers under the traffic and environmental conditions”, *Construction and Building Materials*, Vol.131, pp.278-290.

-Liphardt, A., Król, J., Radziszewski, P., (2016), “Influence of polymer modified binder content from RAP on stone mastic asphalt rutting resistance,” *Procedia Engineering*, Vol. 153, pp. 407–413.

-Liu, H., Hao, P., & Xu, J., (2017), Effects of nominal maximum aggregate size on the performance of stone matrix asphalt. *Applied Sciences*, Vol 7, No.2, pp.26.

-Liu, Y., Huang, Y., Sun, W., Nair, H., Lane, D. S., & Wang, L. (2017) “Effect of coarse aggregate morphology on the mechanical properties of stone matrix asphalt”, *Construction and Building Materials*, Vol.152, 48-56.

-Moghadas Nejad, F. M., Aflaki, E., & Mohammadi, M. A. (2010) “Fatigue behavior of SMA and HMA mixtures. *Construction and Building Materials*”, Vol.24, No.7, pp.1158-1165.

Pourtahmasb, M.S., Karim, M.R., (2014) “Performance Evaluation of Stone Mastic Asphalt and Hot Mix Asphalt Mixtures Containing Recycled Concrete Aggregate”, *Advances in Materials Science and Engineering*, pp.1-12.

-Thompson, M. R., Carpenter, S. H. (2006) “Considering hot-mix-asphalt fatigue endurance limit in full-depth mechanistic-empirical pavement design. *Urbana*, Vol. 51, pp. 61801-2350.

Yildirim, Y. (2007). Polymer modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, No.1, pp. 66-72.

آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (SMA) و مقایسه آن با بتن آسفالتی گرم (HMA)؛ پژوهشنامه حمل‌ونقل، دوره ۱۲، شماره ۴ (پیاپی ۴۵)، ص. ۳۷۵-۳۸۶.

-نصر، د.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی آزمایشگاهی رفتار خستگی در مخلوط‌های آسفالتی نیمه‌گرم (WMA) و مقایسه آن با مخلوط‌های آسفالتی گرم متداول (HMA)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

-Al-Hadidy, A. and Yi-qiu, T., (2009), “Comparative study of performance of natural fibres and crumb rubber modified stone matrix asphalt mixtures”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.33, No.2, pp. 134-139.

-Al-Hadidy, A., Yi-qiu, T. and Hameed, A.T., (2011), “Starch as a modifier for asphalt paving materials”, *Construction and Building Materials*, Vol.25 , pp.14–20.

-Allen, G. K., (2006), Problems of Stone Mastic Asphalt Use in North Queensland. A Dissertation Submitted to the Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland.

-Arshada, A.K., Mansorb, S., Shafiec, E., Hashimc, E., (2016), “Performance of stone mastic asphalt mix using selected fibres ”*Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, Vol.78, pp. 99–103.

-Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M. R., Abdelaziz, M., (2012), “Performance evaluation of utilization of waste polyethylene terephthalate (PET) in stone mastic asphalt,” *Journal of Construction and Building Materials*, vol. 36, pp. 984–989.

-Bernard, B., (2017), “A Review on Various Issues Related to Stone Matrix Asphalt”, *International Journal of Engineering Technology Science and Research* Vol.4, No.2, pp. 588-591.

-Blazejowski, K., (2011), *Stone Matrix Asphalt Theory and Practice*. CRC Press.

Hyzl, p., Dasek, O., Coufalikova, I., Varaus, M., and Stehlik, D., (2019), “Usage of Reclaimed Asphalt Material in Stone Mastic

# Comparison of Fatigue Factors of HMA and SMA Asphalts with Different Compounds in Tropical Regions

*S. F. Faezi, Assistant Professor, Department of Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.*

*M.R. Keymanesh, Assistant Professor, Department of Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.*

*N. Mirzaean, M.Sc., Grad., Department of Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.*

*Email: [farzin\\_faezi@yahoo.com](mailto:farzin_faezi@yahoo.com)*

Received: June 2019- Accepted: December 2019

## **ABSTRACT**

The low life span of conventional asphalts in tropical areas, the high maintenance costs of pavements, as well as the damages caused, necessitates the use of asphalt which can meet the needs of these asphalt mixtures with many superior properties than other asphalt mixtures. Therefore, the purpose of this study was to compare fatigue tests on conventional and SMA in tropical regions and in software simulations. At first, the modulus of resilience, indirect tensile strength and Marshall's endurance ratio was tested in the real environment. The results are then compared with the mixture of aggregate-asphalted asphalts with conventional asphalt as control. In the simulation stage, the temperature-dependent factors of the asphalt in the tropical zones related to these two types of asphalt, including density, thermal expansion coefficient, thermal conductivity, elasticity and specific heat, are defined in the Abacus software, then analyzed. Information on abacus software, resistance of each asphalt in tropical areas was investigated. Experimental results showed that the optimum bitumen percentage of SMA was higher than that of conventional mixtures. Marshal endurance and a mark of marshal hardness in SMA are greater than conventional mixtures. The permeability coefficient of mixtures with SMA is higher than that of conventional mixtures. At the same time, the rate of loss in aggregate-bone mixtures is higher than that of conventional mixtures. Also, the rate of loss in SMA with 0.3% fibers was higher than that of conventional mixtures.

**Keywords:** Fatigue, SMA Asphalt, HMA Asphalt, Tropical Areas