Archive of SID

بررسی آزمایشگاهی تأثیر پودر معدنی گیلسونایت بر خصوصیات عملکردی مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای(SMA)

رضوان باباگلی، دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: rezvan_babagoli@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۲۲ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۹

چکیده

مخلوط های آسفالتی با استخوان بندی درشت دانه (SMA) با دارا بودن درصد بالای قیر نسبت به مخلوط های آسفالتی معمولی و همچنین میزان زیاد مصالح سنگی درشت دانه در اواسط دهه ۶۰ میلادی در آلمان مورد مطالعه قرار گرفتند و طی سی سال در اروپا به علت مقاومت بالایی که در برابر ایجاد خرابی شیارشدگی و ترک های خستگی از خود نشان داده بودند، مورد توجه بسیار قرار گرفتند .در این تحقیق از پودر معدنی گیلسونایت با درصد های مختلف (٪۰ ،٪۵ ،٪۱۰ و ٪۱۵ نسبت به وزن قیر) جهت اصلاح قیر استفاده شد. جهت بررسی تأثیر گیلسونایت بر قیر، آزمایشهای درجه نفوذ، نقطه نرمی و کندروانی کینماتیکی انجام شد. جهت بررسی تأثیر افزودنی گیلسونایت بر خصوصیات عملکردی مخلوط آسفالتی (SMA)، آزمایشهای مختلفی از جمله مقاومت مارشال و روانی، کشش غیرمستقیم و حساسیت رطوبتی و مدول برجهندگی، خزش دینامیکی و شیار جای چرخ بر روی نمونه های آسفالتی با درصد های مختلف گیلسونایت انجام شد. با توجه به نتایج آزمایشها مشخص شد، با افزودن ۱۵٪ گیلسونایت به قیر در مخلوط های SMA ، مقاومت مارشال نمونه های آسفالتی ۲۶٪ افزایش یافت. مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه ها از ٤/۸ کیلونیوتن به ۷/۱ کیلونیوتن به ازای افزایش ۲۰٪ گیلسونایت رسید. نتایج آزمایش حساسیت رطوبتی نمونه ها نشان داد افزایش گیلسونایت سبب بهبود مقاومت مخلوط در برابر رطوبت گردید. با توجه به آزمایش خزش دینامیکی افزودن گیلسونایت سبب افزایش عدد روانی نمونه ها از ۳۳۰۰ به ۶۹۰۰ شد همچنین نتایج آزمایش شیار جای چرخ نشان داد که افزودن ۲۰٪ گیلسونایت سبب کاهش ۲۵ درصدی در عمق شیار نمونه ها می‌شود.

واژه های کلیدی : مخلوط آسفالتی SMA، مقاومت شیار شدگی، قیر طبیعی، گیلسونایت، خزش دینامیکی، مدول برجهندگی.

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

با توجه به ساختار ترافیکی در کشور ایران و وارد آمدن بارهای محوری و برشی بیش از حد به سطح روسازی و سپس به لایه های زیرین، نیاز به اجرای یک لایه مقاوم در برابر بارهای ترافیکی که عموماً از بارهای استاندارد جهانی نیز مقادیر بیشتری دارند کاملاً بارز و آشکار است. در نتیجه طراحی و اجرای روسازی های مقاوم به عنوان سطحی‌ترین لایه، یک ضرورت است. لایه رویه می بایست در تماس مستقیم با چرخ های وسیله نقلیه، مقاومت لازم را از خود نشان داده و همچنین مقادیر بار ورودی را به نحوی در ارتفاع خود تنزیل دهد که بار خروجی قابل تحمل برای لایه زیرین باشد. در نتیجه آشکار است که لایه های فوقانی می‌بایست از مقاومت بیشتری برخوردار باشند.

آسفالت SMA که از مقاوم‌ترین انواع مخلوطهای آسفالتی شناخته شده تاکنون است، فرآیند انتقال و تنزیل بار را از طریق تماس مستقیم سنگ روی سنگ[1] صورت می‌دهد. به منظور فراهم نمودن تماس سنگ روی سنگ در این نوع از مخلوطهای آسفالتی، می-بایست دانه بندی از نوع میان تهی به منظور طرح اختلاط و ساخت این نوع مخلوط ها بکار گرفته شود که در نتیجهٔ این عمل مقدار فضای خالی این نوع مخلوط بسیار زیاد خواهد شد. افزایش بیش از اندازه فضای خالی مخلوط آسفالتی باعث کاهش محسوس مقاومت آن خواهد شد. در نتیجه به منظور جلوگیری از این مشکل می‌بایست فضای خالی اضافی را با قیر، فیلر و افزودنی (ماستیک قیر) پرکرده تا به مقدار مجاز درصد هوا برسیم. دلایل استفاده از افزودنی در این مخلوط‌ها در درجه اول جلوگیری از پدیده ریزش قیر و در درجه دوم افزایش خصوصیات فنی و مقاومتی آسفالت SMA است. از انواع افزودنی‌ها می‌توان به پلیمرها (SBS، پلی-اتیلن، پلی‌پروپیلن، SBR و...) و همچنین به الیاف (آلی، معدنی، فلزی، پلیمری و...) اشاره کرد. از مهم‌ترین عوامل در تامین تماس لازم بین مصالح سنگی مخلوط‌های آسفالتی SMA می‌توان به دانه بندی مصالح سنگی، درصد قیر، نوع پلیمر و الیاف استفاده شده و جنس و شکل مصالح سنگی اشاره کرد. تغییر در هریک از موارد فوق تاثیرات قابل توجهی بر خواص حجمی و مقاومتی این مخلوط‌های آسفالتی خواهد گذاشت. برخلاف آسفالت گرم معمولی که کلیه اجزای مخلوط آسفالتی در تحمل و انتقال بار موجود عمل می‌کنند، در مخلوطهای SMA اسکلت سنگدانه ای عمده بار وارده را تحمل می‌کند و نقش ماستیک قیری در درجه دوم قرار دارد. البته این مسأله به این معنی نیست که ماستیک قیری در مخلوطهای SMA از اهمیت کمی برخوردار است، بلکه اساساً در اولویت دوم قرار دارد.

در دهه های اخیر به منظور غلبه بر مشکلات قیرهای خالص معمولی که به تنهایی از خواص شیمیایی، فیزیکی، رئولوژیکی و چسبندگی محدودی برخوردارند از مواد اصلاح کننده استفاده می‌شود . قیرهای ایران نیز از این شکل مستثنی نبوده و در مناطقی که دامنه تغییرات حرارتی شدید ، بار ترافیکی سنگین یا بارندگی و یخبندان فراوان باشد، به تنهایی قادر به رفع مشکلات مربوط به شرایط مذکور نبوده و لازم است که حتماً در خواص آن تغییراتی داده شود. از سوی دیگر، وجود ضعف در قیرهای تولیدی باعث ایجاد خرابی در روکش های آسفالتی در طول زمان بهره برداری از راه های آسفالتی می‌شود [Shafabakhsh, Haddad and Akbari, 2009].

قیر طبیعی گیلسونایت که در طبقه اصلاح کننده های قیر به گروه هیدروکربن ها تعلق دارد، یکی از موادی است که می توان از آن در اصلاح قیر و به تبع آن اصلاح مخلوط آسفالتی استفاده کرد. با توجه به وجود معادن زیاد قیر در ایران وحجم بالای قیر طبیعی گیلسونایت نسبت به سایر اصلاح کننده های قیر، بررسی استفاده از این نوع قیر طبیعی در اصلاح خواص قیر و آسفالت امری ضروریست و می تواند در آینده‌ای نزدیک هم از لحاظ اقتصادی صرفه های بسیاری برای کشور به همراه داشته باشد و هم از لحاظ کیفیت روسازی وعمر آن و خواص قیر و مخلوط های آسفالتی ارزش بسیاری داشته باشد.

در تحقیقی که توسط سو و یونگ انجام شد، خصوصیات خستگی مخلوط های آسفالتی گرم، مخلوط با استخوان بندی سنگدانه ای و مخلوط بتن آسفالتی گرم اصلاح شده با گیلسونایت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش مدول برجهندگی و خستگی نشان داد، مخلوط آسفالتی حاوی گیلسونایت دارای بیشترین مقدار مدول برجهندگی و عمر خستگی است [Sou and Wong, 2009]

www.SID.ir

Archive of SID

در تحقیقی که توسط افلاکی و همکاران انجام شد، خصوصیات رفتاری قیر با درجه عملکردی PG 58-22 حاوی افزودنیهای پودر لاستیک، پلیمر، گیلسونایت و اسید پلی فسفریک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، افزودنی گیلسونایت باعث بهبود مقاومت شیار شدگی قیر در دمای بالا می شود، به طوری‌که ۲٪ ، ۴٪ ، ۷٪ ، ۱۰٪ ، ۱۳٪ گیلسونایت دمای عملکردی بالای قیر پایه PG ۲۲-۵۸ را از ۵۸ درجه سانتگراد به ترتیب ۸/۳ ، ۳/۶ ، ۱/۱۱، ۷/۱۵، ۹/۲۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌دهند. با این حال افزودنی گیلسونایت باعث کاهش خصوصیات رفتار دمای متوسط قیر و در نهایت کاهش مقاومت ترک خوردگی خستگی قیر می‌گردد. همچنین بررسی خصوصیات رفتاری قیر در دمای پایین نیز نشان داد افزودنی گیلسونایت در مقایسه با سایر افزودنیها تأثیر منفی بر خصوصیات دمای پایین قیر دارد [Aflaki and Tabatabaee, 2008].

در تحقیقی که عامری و همکاران انجام دادند، مطالعات تخصصی بر روی گیلسونایت ایران به عنوان اصلاح کننده قیرهای مورد استفاده در روسازی، مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق دو نوع قیر عمده مورد استفاده در عملیات راه سازی ایران شامل قیر۷۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۵ با ۳ درصد مختلف گیلسونایت که شامل درصدهای ۴و ۸ و ۱۲٪ است، مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است. افزودن گیلسونایت به قیر باعث افزایش دمای عملکردی بالای قیر می‌گردد. همچنین افزودن گیلسونایت باعث بهبود دمای متوسط و تأثیر منفی بر دمای پایین قیر دارد. همچنین افزودن گیلسونایت سبب کاهش درجه نفوذ، کاهش درجه اشتعال قیر، کاهش مقدار کشش قیر و افزایش نقطه نرمی قیر می‌گردد . [Ameri.M, et al. 2010; Ameri et al. 2012]

در تحقیق میدانی انجام شده توسط لیو و لی، تأثیر گیلسونایت بر مشخصات قیر آلاسکایی مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقق از قیر PG۵۲-۲۸ با درصدهای مختلف گیلسونایت (۰٪ و ۳٪ و۶٪ و ۹٪ و ۱۲٪ نسبت به وزن کل قیر) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد، با افزایش درصد گیلسونایت از ۰٪ تا ۱۲٪ ، PG دمای بالای قیر از $52^{\circ}C$ به $70^{\circ}C$ می‌رسد. ولیکن PG دمای پایین قیر از $-28^{\circ}C$ به $-22^{\circ}C$ می رسد. نتایج این تحقیق مشخص می کند که افزودن گیلسونایت به قیر باعث افزایش مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالتی می شود. اما تمایل به ترکهای خستگی در دمای پایین مخلوط آسفالتی را نیز افزایش می‌دهد. با این وجود افزودن درصدهای کم گیلسونایت (۳٪ نسبت به کل وزن قیر) باعث بهبود مقاومت شیارشدگی مخلوط شده، بدون اینکه مشکلی در ترکهای دمای پایین برای مخلوط پیش بیاید[Liu and Peng, 2008] .

در پروژه تحقیقاتی انجام شده در ایالت پنسیلوانیای آمریکا در سال ۱۹۹۹ توسط اندرسن و همکاران تحت عنوان "ارزیابی عملکرد میدانی قیرهای اصلاح شده با روش سوپرپیو"، اصلاح کننده های مختلفی از جمله : گیلسونایت ، الیاف پلی استر، پلیمرهای SB، SBS، EVA برای رفع مشکل شیار افتادگی روسازی های آسفالتی آن ایالت به صورت میدانی و آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده از آزمایش های شارپ بر روی قیر پایه و قیرهای اصلاح شده بیانگر این مطلب است که گیلسونایت تنها بر روی دمای بالای عملکردی قیر پایه اثر مثبت داشته است . مقاومت شیار شدگی قیر را افزایش داده است . با این حال گیلسونایت نتوانسته است مقاومت قیر را در برابر ترک خوردگی خستگی و همچنین ترک خوردگی دمای پایین افزایش دهد.[David et al. 1999]

در تحقیق دیگری که توسط ونگ و هو انجام شد، تأثیر افزودنی گیلسونایت بر حساسیت رطوبتی مخلوط های آسفالتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد، گیلسونایت باعث افزایش مقاومت کششی نمونه های خشک و تر آسفالت می‌گردد.[Wong and Ho, 1990]

شرکت American Gilsonite یکی از تولیدکننده های بزرگ گیلسونایت در جهان در سال ۱۹۹۸ تحقیقات علمی و میدانی تحت عنوان "کاربرد گیلسونایت در روسازی" بر روی این اصلاح کننده انجام داد. نتایج تحقیقات آنها در ادامه آورده شده است.[Gilsonite in paving application]. افزودن گیلسونایت به مخلوط آسفالتی باعث افزایش چشمگیری مقاومت مارشال مخلوط می شود.افزایش ٪۸ (نسبت به وزن قیر) گیلسونایت باعث افزایش ٪ ۲۵ تا ٪ ۴۰ مقاومت مارشال نمونه آسفالتی می‌شود. این تغییر باعث تبدیل یک روسازی استاندارد به یک روسازی با عملکرد بالا

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که نمونه های بدون افزودنی گیلسونایت مقاومت رطوبتی کافی ندارند، در حالی که حتی افزودن ٪ ۴ گیلسونایت به مخلوط آسفالتی، میزان مقاومت رطوبتی مخلوط را به طور قابل ملاحظه ای افزایش می‌دهد .نتایج نشان می‌دهد افزودن گیلسونایت سبب افزایش مدول برجهندگی و عمر خستگی مخلوط های آزمایشگاهی می‌گردد.

در تحقیقی که توسط یاری انجام شد، تأثیر گیلسونایت بر خواص قیر و مخلوط آسفالتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایشها بر روی قیر نشان داد با افزودن گیلسونایت بر قیر درجه نفوذ قیر کاهش می‌یابد. با انجام آزمایش خستگی به روش کشش غیرمستقیم بر روی مخلوط بتن آسفالتی، نتایج نشان داد با افزودن گیلسونایت مقاومت خستگی مخلوط ها افزایش می یابد.[Yari, 2010].

در تحقیقی که توسط لودفی و همکاران انجام شد، تأثیر پودر گیلسونایت بر عملکرد مخلوط آسفالتی متخلخل حاوی مصالح بتنی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد استفاده از مصالح بازیافتی بتنی به عنوان بخشی از مصالح سنگی سبب بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی می‌گردد. همچنین افزودن گیلسونایت به میزان ۱۰-۸٪ سبب بهبود مقاومت مارشال مخلوط گردیده است. [Djakfar et al. 2015]

در تحقیق دیگری که توسط شارپ انجام شد، تاثیر افزودنی آهک و گیلسونایت بر حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی گرم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد استفاده از گیلسونایت سبب بهبود مقاومت در برابر رطوبت می‌شود . [Sharp et al. 2010]

در سال ۲۰۰۸ سازمان تحقیقاتی حمل و نقل سوئد تحقیقاتی میدانی تحت عنوان " ارزیابی عملکرد ترکهای خستگی در روسازی های انعطاف پذیر " بر روی یکی از اتوبان های خود که در سال ۱۹۹۶ ساخته شده بود انجام داده است . در این آزمایش که طی ۱۰ سال ترافیک عبوری از آن صورت گرفت دو نوع مقطع روسازی استفاده شد . در یکی از این مقاطع از روسازی با استخوان بندی سنگدانه ای (SMA) و در دیگری از روسازی مخلوط آسفالتی معمولی استفاده شد. در ساخت روسازی معمولی از اصلاح کننده گیلسونایت به میزان ۱۰٪ وزنی قیر ۱۰۰-۷۰ استفاده شد. فرآیند پیش بینی عملکرد روسازی ها بر پایه استحکام و مشخصات خستگی نمونه های برداشت شده و انجام آزمایش های FWD انجام شد. در این پژوهش هدف از استفاده از گیلسونایت برای ساخت مخلوط آسفالتی با قیری سخت تر جهت داشتن مقاومت شیارشدگی بیشتر و پخش بار بهتر در سازه و در نتیجه تنشهای کمتر در روسازی است. [Said and Hakim, 2008]

در تحقیق دیگری که توسط ایلماز انجام شد، تأثیر استفاده از پلیمر SBS و گیلسونایت آمریکایی و گیلسونایت ایرانی جهت اصلاح قیر مورد ارزیابی قرار گرفت. آهک هیدراته نیز به عنوان فیلر در مخلوط مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد استفاده از افزودنیها سبب بهبود خصوصیات دمای بالای قیر گردید. نتایج نشان داد افزودن افزودنیها و آهک سبب افزایش مقاومت در برابر رطوبت و شیارشدگی مخلوط گردیده است [Yilmaz and Yalcin, 2015].

قیر طبیعی گیلسونایت یک هیدروکربن رزینی طبیعی است که برای اولین بار در حوالی آبگیر یوتا در آمریکا یافت گردید. قیر طبیعی گیلسونایت در حلال های معطر نفتی و حلال های چرب همانند قیر نفتی حل می‌شود . قیر طبیعی گیلسونایت در میزان انبوه ماده ای سیاه رنگ و درخشان و شبیه مواد معدنی شیشه ای است . این ماده شکننده است و بسیار آسان تبدیل به پودر قهوه ای تیره می‌شود (شکل ۱) . قیر طبیعی گیلسونایت در رگه های عمودی زیر سطح زمین یافت می‌شود . اندازه عرض رگه ها ۸/۱ – ۶/۰ متر است که حتی این اندازه گاهی به ۴/۸ متر می‌رسد . رگه ها معمولا موازی یکدیگرند و طول رگه ها ممکن است بسیار زیاد بوده و عمق آن ها حتی به اندازه ای در حدود ۵/۲۴۱۳ کیلومتر می‌رسد . عرض رگه ها در نزدیک سطح کم است و هرچه به عمق می‌رویم بیشتر می‌شود.

۱-۱ ضرورت انجام تحقیق

با توجه به ساختار مخلوط با استخوان بندی سنگدانه ای که دارای دانه بندی از نوع میان تهی که در نتیجهٔ آن مقدار فضای خالی این نوع مخلوط بسیار زیاد است، مقاومت آن کاهش خواهد یافت.

در نتیجه به منظور جلوگیری از این مشکل می‌بایست فضای خالی اضافی را با قیر، فیلر و افزودنی (ماستیک قیر) پرکرده تا به مقدار مجاز درصد هوا برسیم.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱. قیر طبیعی گیلسونایت

دلایل استفاده از افزودنی در این مخلوط ها در درجه اول جلوگیری از پدیده ریزش قیر و در درجه دوم افزایش خصوصیات فنی و مقاومتی آسفالت SMA است. از انواع افزودنی هایی که در قسمت مروری بر منابع بر آن اشاره شد، می‌توان به پلیمرها (SBS، پلی اتیلن، پلی پروپیلن، SBR و...) و همچنین به الیاف (آلی، معدنی، فلزی، پلیمری و...) اشاره کرد. از طرفی ایران در منطقه ای ازجهان قرار دارد که منابع فراوانی از قیر معدنی (گیلسونایت) در آن قرار دارد. با در نظر گرفتن قیمت پایین گیلسونایت نسبت به دیگر افزودنی ها و وجود منابع فراوان آن در ایران، ارزیابی قیر اصلاح شده با گیلسونایت از اهداف اصلی تحقیق حاضر است. هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر افزودنی گیلسونایت بر عملکرد مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای است.

۲. روش تحقیق

روش انجام تحقیق شامل انتخاب مصالح، ساخت نمونه های قیر با درصدهای مختلف گیلسونایت و انجام آزمایشهای قیر، ساخت نمونه های مخلوط آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای با درصدهای مختلف افزودنی و در نهایت انجام آزمایش های مارشال، مدول برجهندگی، کشش غیرمستقیم و تغییر شکل های دائمی بر روی نمونه های شاهد و نمونه های حاوی گیلسونایت بود[Ziari, Tabatabaee and Khabiri, 2006] .

در این پژوهش از سنگ شکسته کوهی، معدن اسب چران رودهن و همچنین ۵ درصد فیلر پودرسنگ استفاده شد. خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی مورد استفاده در جداول ۱و۲ آمده است. بهترین مرجع برای انتخاب دانه بندی این نوع مخلوطها می‌تواند دانه بندی پیشنهادی توسط NCHRP باشد. (جدول ۳) در این پژوهش حد وسط دانه بندی با بزرگ‌ترین اندازه ۹،۵ میلیمتر با توجه به شکل ۲ جهت ساخت نمونه های SMA انتخاب شد[IR Plan Budg. Org. pub. 110, 2012]

جدول ۱. مشخصات مصالح سنگی

شرح	چگالی واقعی	درصد جذب آب
مصالح مانده روی الک نمره ۸	۲,۶۷۱	۱,۲
مصالح مانده روی الک نمره ۸ و مانده روی الک ۲۰۰	۲,۶۶۹	۱,۹

جدول ۲. نتایج آزمایش مصالح سنگی درشت دانه

	سایش لس آنجلس	افت وزنی سولفات سدیم	درصد شکستگی
روش آزمایش	T 96	T 104	D 5821
مقدار	٪۱۵	٪۴,۸	٪۱۰۰-۹۸

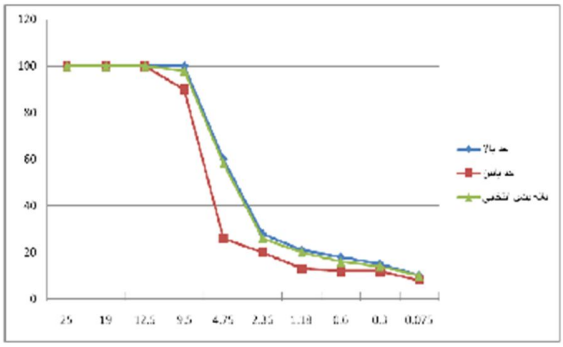
قیر بکارگرفته شده در این پژوهش از نوع قیر خالص ۷۰/۶۰ بود که از شرکت نفت پاسارگاد تهیه شد و مشخصات فیزیکی آن در جدول ۴ آمده است.

جدول ۳. دانه بندی پیشنهادی مخلوط SMA توسط NCHRP

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه (میلیمتر)	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵
اندازه الک (میلیمتر)	درصد رد شده از الک				
۳۷/۵	۱۰۰	–	–	–	–
۲۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	–	–	–
۱۹	۳۰-۸۶	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	–	–
۱۲/۵	۲۶-۶۳	۵۰-۷۴	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	–
۹/۵	۲۴-۵۲	۲۵-۶۰	۲۶-۷۸	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۴/۷۵	۲۰-۲۸	۲۰-۲۸	۲۰-۲۸	۲۶-۶۰	۹۰-۱۰۰
۲/۳۶	۱۶-۲۴	۱۶-۲۴	۱۶-۲۴	۲۰-۲۸	۲۸-۶۵
۱/۱۸	۱۳-۲۱	۱۳-۲۱	۱۳-۲۱	۱۳-۲۱	۲۲-۳۶
۰/۶	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۲-۱۸	۱۸-۲۸
۰/۳	۱۲-۱۵	۱۲-۱۵	۱۲-۱۵	۱۲-۱۵	۱۵-۲۲
۰/۰۷۵	۸-۱۰	۸-۱۰	۸-۱۰	۸-۱۰	۱۲-۱۵

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. منحنی دانه بندی مصالح سنگی با بزرگترین اندازه ۹.۵ میلیمتر

جدول ۴. مشخصات قیر مصرفی

آزمایشهای قیر خالص	روش آزمایش		نتایج
	ASTM	AASHTO	
وزن مخصوص در ۲۵ درجه سانتیگراد	D 70	T 228	۱،۰۳
درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتیگراد	D 5	T 49	۶۵
نقطه نرمی بر حسب سانتیگراد	D 36	T 53	۴۸
درجه اشتعال بر حسب سانتیگراد	D 92	T 48	۲۹۹

گیلسونایت مورد استفاده در این پژوهش از معدن قیر کویری گراوه در روستای گراوه مابین شهرستان های قصرشیرین و گیلان غرب تهیه شد. مشخصات فیزیکی و مواد تشکیل دهنده این گیلسونایت در جداول ۵ و۶ آورده شده است.لازم به ذکر است که پودر گیلسونایت رد شده از الک شماره ۲۰۰ برای استفاده در این پژوهش استفاده شده است .

جدول ۵. مشخصات فیزیکی گیلسونایت مورد استفاده

۱	کربن (٪)	۷۴	ASTM-D5291
۲	هیدروژن (٪)	۷،۱	ASTM-D5291
۳	نیتروژن (٪)	۰،۶۷	ASTM-D5291
۴	اکسیژن (٪)	۳،۱	ASTM-D5291
۵	سولفور (٪)	۴	LEEO Analyser

جدول ۶. مشخصات شیمیایی گیلسونایت

آزمایش	نتیجه	استاندارد
میزان خاکستر (٪)	۱۵-۱۲	ASTM-D3174
میزان رطوبت (٪)	۵>	ASTM-D3173
میزان کربن (٪)	۲۹	ASTM-D3172
حلالیت در سولفور کربن (٪)	۸۱	ASTM-D4
وزن مخصوص در ۲۵ درجه (gr/cm2)	۱/۱۱	ASTM-D3289
رنگ در حالت کلوخه	سیاه	-
رنگ در حالت پودر	قهوه ای تیره	-
نقطه نرمی	۲۲۱	ASTM-D36
درجه نفوذ	۰-۱	ASTM-D5

در این پژوهش پودر گیلسونایت به مقدار ۵٪ و۱۰٪ و۱۵٪ وزن قیر ،به قیر ۷۰- ۶۰ که تا دمای $140^{\circ}C$ گرم شده اضافه شده و به مدت ۱۵۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در میکسر مخلوط شده . سپس دمای مخلوط به $180^{\circ}C$ رسیده و فرآیند هم زدن در این دما به مدت ۳۰ دقیقه و با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه توسط دستگاه مخلوط کن برش بالا (High Shear) مخلوط شده تا مخلوط یک دستی از قیر خالص و اصلاح کننده گیلسونایت به دست آید.

۳. روش کار آزمایش

۳-۱ آزمایش کشش غیرمستقیم

در آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم، همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، یک نمونه استوانه‌ای به صورت قطری بارگذاری می‌شود. آزمایش کشش غیرمستقیم برای تعیین مقاومت کششی مخلوط‌های آسفالتی و پیش بینی ظهور ترک‌ها در مخلوط آسفالتی استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از این آزمایش برای ارزیابی عمر خستگی نیز استفاده کرد. آزمایش کششی غیر مستقیم بر اساس آیین نامه ASTM D6931-12 با نرخ ثابت ۵۰/۸ میلیمتر بر دقیقه و دمای ۲۰ درجه سانتیگراد انجام شد. مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه ها با استفاده از معادله زیر تعیین شد:

www.SID.ir

Archive of SID

$$ITS = \left(2P_{\max}\right) / \left(\pi Dt\right) \quad (۱)$$

که ITS: مقاومت کششی نمونه ها بر حسب Kpa، $P_{\max}$ بار اعمالی در زمان شکست بر حسب kN، D قطر نمونه ها بر حسب میلیمتر، t ارتفاع نمونه‌ها بر اساس میلیمتر است. همچنین می توان از این آزمایش برای ارزیابی عمر خستگی نیز استفاده کرد.

۳-۲ مدول برجهندگی

آزمایش مدول برجهندگی در دماهای پایین بنحوی مرتبط با ترک خوردگی حرارتی است. تحقیقات متعددی نشان داده است که مخلوط‌های سخت تر در دماهای پایین‌تر بیشتر مستعد ترک خوردگی حرارتی هستند. برای تعیین مدول برجهندگی از استاندارد AS 2891-13-1-1995 استفاده شد. ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محفظه دستگاه در دمای ۲۵°C قرار داده شد. شکل بارگذاری نیمه سینوسی، مدت اعمال بار ۰/۱ ثانیه، زمان استراحت ۰/۹ ثانیه و ضریب پواسون ۰/۳۵ فرض گردید. در این آزمایش به ازای هر مخلوط، ۳ نمونه آسفالتی تهیه و روی هر نمونه ۵ پالس تکرار شد و میانگین نتایج به وسیله دستگاه نمایش داده شد. مدول برجهندگی براساس معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$M_r = \frac{p\left(\vartheta + 0.2734\right)}{\delta t} \quad (۲)$$

M_R = مدول برجهندگی (مگا پاسکال)

P = بار تکراری (نیوتن)

ν = نسبت پوآسن

t = ضخامت نمونه (میلی‌متر)

H = تغییر شکل افقی برگشت پذیر (میلی‌متر)

V = تغییر شکل قائم برگشت پذیر (میلی‌متر)

۳-۳ آزمایش حساسیت رطوبتی

این آزمایش براساس استاندارد AASHTO-T۲۸۳ انجام می‌گیرد. نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه ها بر طبق این استاندارد در شرایط اشباع و غیر اشباع باید بیش از ۰/۷۵ باشد. برای اشباع شدن، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در آب ۶۰ درجه قرار گرفتند.

۳-۴ خزش دینامیکی

جهت بررسی شیارشدگی نمونه ها از آزمایش خزش دینامیکی استفاده شد. آزمایش خزش دینامیکی یکی از معیارهای مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییر شکلهای دائم است. آزمایش با استفاده از دستگاه UTM-۵P در دمای ثابت ۵۰ درجه سانتیگراد و تحت تنش ثابت ۴۵۰ کیلو پاسکال که به صورت شبه سینوسی اعمال شد، انجام گرفت. در این آزمایش یک تنش ثابت در دمای ثابت با مدت بارگذاری ۰/۱ ثانیه و زمان استراحت ۰/۹ ثانیه، توسط یک صفحه صلب به صورت عمودی به نمونه وارد می‌شود . نتایج آزمایش بر حسب عدد روانی برداشت شد که معیاری برای نشان دادن مقاومت مخلوط در برابر تغییر شکلهای دائمی است. یعنی هر قدر عدد روانی بزرگ‌تر باشد، مقاومت نمونه در برابر تغییر شکلهای دائم بیشتر است.

۳-۵ شیار جای چرخ

این آزمایش توسط دستگاه شیار جای چرخ موجود در آزمایشگاه قیر و آسفالت دانشگاه علم و صنعت ایران انجام شد. برای هر نوع مخلوط سه نمونه مارشال در دستگاه قرار می‌گیرد و توسط دو چرخ که حول مرکزشان دوران می‌کنند با فشار حدود ۱۰ کیلوگرم برسانتیمتر مربع مورد بارگذاری قرار می‌گیرند. فرکانس بارگذاری برای هر نمونه ۱ هرتز و دمای آزمایش ۵۰ درجه سانتیگراد است. در مجموع نمونه ها تحت ۸۰۰ سیکل بارگذاری قرار گرفتند و پس از آن بیشینه عمق شیار بوجود آمده در هر نمونه اندازه گیری و میانگین سه نمونه به عنوان عمق شیار هر مخلوط به دست آمد.

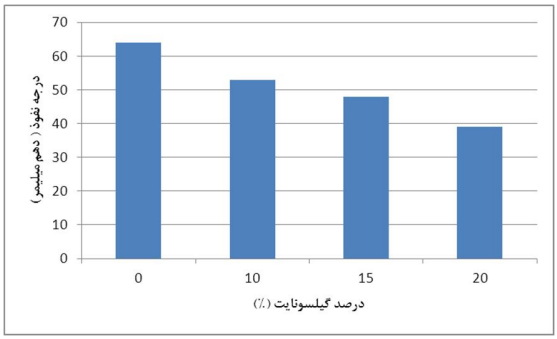
۴. تحلیل نتایج آزمایشها

۴-۱ نتایج آزمایشهای قیر

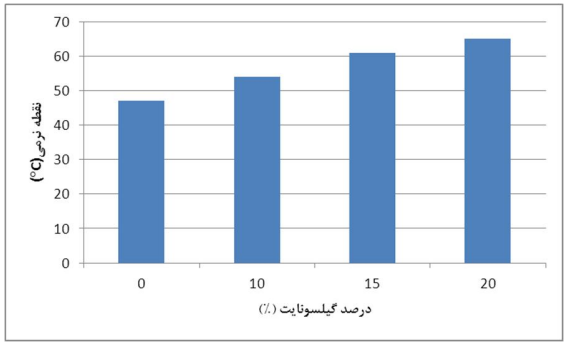
نتایج حاصل از آزمایشها نقطه نرمی، درجه نفوذ، ویسکوزیته، نشانه درجه نفوذ (PI) به عنوان پارامترهای حاصله از آزمایشهای رایج قیر در اشکال زیر نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. نتایج آزمایش درجه نفوذ



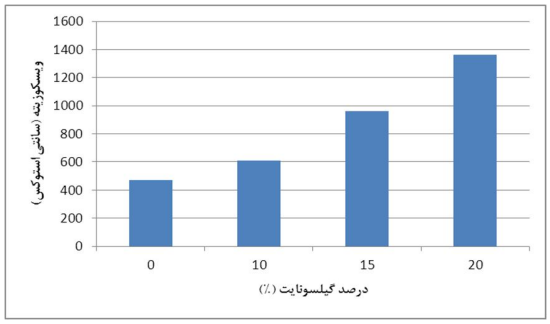
شکل ۴. نتایج آزمایش نقطه نرمی

شکل ۳ نشان می‌دهد با افزایش درصد گیلسونایت مقدار درجه نفوذ کاهش یافته است. ایـن اتفاق به این معنی است که گیلسونایت باعث افزایش میزان سفتی قیر خواهد شـد. کـاهش درجـه نفوذ به معنای کاهش روانـی و افـزایش قـوام در دماهـای بـالا و متوسـط است و در نتیجـه گیلسونایت در دمای بالا از شیارشدگی آسفالت جلوگیری می‌کند. درجـه نفوذ کمتر قیر باعث بهبود رفتار الاستیک آن شده است که در نتیجه افزایش مقاومت آسـفالت در برابر تغییر شکلهای دائمی و شیار افتادگی را به همراه خواهـد داشـت و بـرای منـاطق بـا درجـه حرارت بالا (گرمسیر) بسیار مناسب است.

تغییرات حاصله در نقطه نرمی قیرخالص با افزایش درصد گیلسونایت مطابق شکل ۴ نشان از کاهش حساسیت حرارتی قیرهای اصلاح شده دارد. افزایش نقطه نرمی به این معناست که عملکـرد رفتار ویسکوز قیر با افزایش دما به تاخیر میافتد. شـاخص PI(Penetration Index) از رابطه زیر حاصل می‌شود و نتایج آن در شکل ۵ آورده شده است:

$$PI = [1952 - 500Log(Pen\ 25) - 20SP] / [50Log(Pen\ 25) - SP - 120] \quad (۳)$$

شکل ۵. تغییرات نشانه درجه نفوذ قیر خالص ۷۰-۶۰ با افزایش درصد گیلسونایت



شکل ۶. کندروانی کینماتیکی قیر حاوی درصدهای مختلف گیلسونایت در ۱۳۵C°

با توجه به افـزایش شـاخص PI پس از افزودن گیلسونایت می توان نتیجه گرفت که قیر طبیعی باعث بهبود حساسیت حرارتی قیر خالص ۷۰-۶۰ می‌گردد. نتایج آزمایش کندروانی کینماتیکی نیز در شکل ۶ آورده شده است. با افزایش درصد گیلسونایت، ویسکوزیته قیر افزایش می‌یابد.

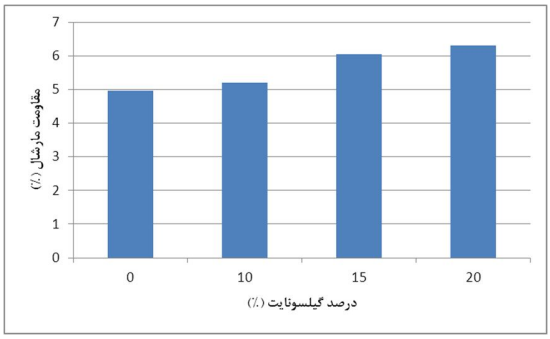
۴-۲ تحلیل نتایج آزمایشهای مخلوط آسفالتی

۴-۲-۱ آزمایش مقاومت مارشال

نتایج حاصل از آزمایشهای تعیین مقاومت مارشال ساخته شده با درصدهای مختلف گیلسونایت در ادامه ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است؛ بـا افـزایش درصـد گیلسونایت، مقاومت مارشال نمونه ها افزایش یافته است.

www.SID.ir

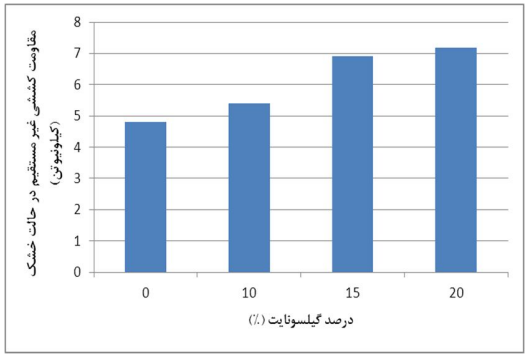
Archive of SID



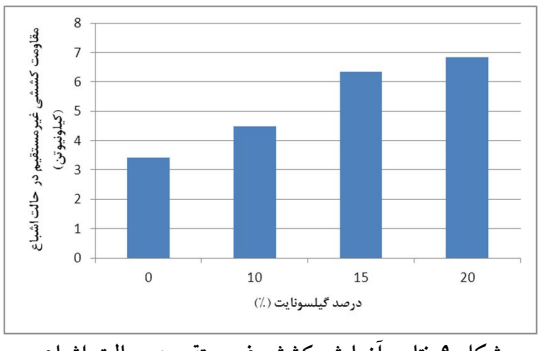
شکل ۷. نتایج آزمایش مقاومت مارشال

۴-۲-۲ نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم

نتایج حاصل در شکل ۸ نشان داد، افزایش درصد گیلسونایت باعث بهبود عملکرد مخلوطهای ساخته شده در آزمایش کشش غیرمستقیم شد. افزایش مقاومت مخلوطهای آسفالتی در برابر تنشهای کششی وارد شده بر آن بر اثر بار ترافیک، در نهایت باعث افزایش عمر روسازی خواهد شد. . این امر بیشتر بر این دلالت دارد که نمونه های حاوی افزودنی مستعد تحمل تنش کششی بیشتر قبل از ترک خوردگی هستند.



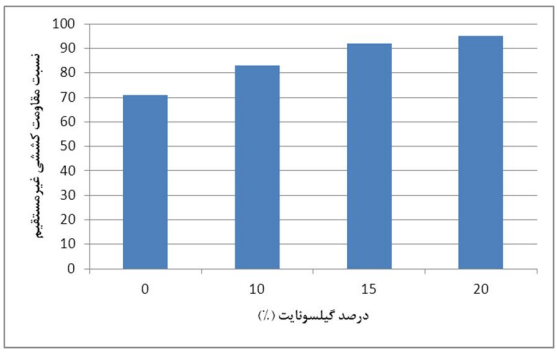
شکل ۸. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم



شکل ۹. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم در حالت اشباع

۴-۲-۳ نتایج آزمایش حساسیت رطوبتی

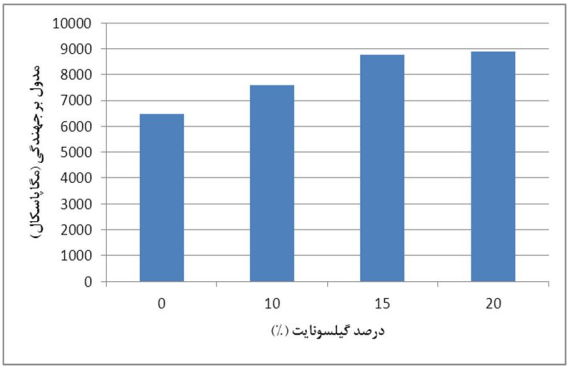
همان‌طور که از شکل ۱۰ مشاهده می شود، با افزایش درصد گیلسونایت در نمونه آسفالتی SMA حساسیت رطوبتی نمونه آسفالتی کم می شود.



شکل ۱۰. نتایج آزمایش حساسیت رطوبتی نمونه های آسفالتی

۴-۲-۴ نتایج آزمایش مدول برجهندگی

مدول برجهندگی، یکی از عوامل موثر در تعیین ضخامت رویه های آسفالتی است. نتایج به‌دست آمده از انجام آزمایش تعیین مدول برجهندگی توسط دستگاه UTM، در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، افزایش درصد گیلسونایت باعث افزایش مدول برجهندگی نمونه ها می گردد، که این امر به دلیل افزایش سفتی قیر و در نتیجه سختی آسفالت در حضور افزودنیها است. با توجه به اینکه میزان مدول برجهندگی تاثیر مستقیمی بر تعیین ضخامت لایه آسفالتی دارد، افزایش مدول برجهندگی نمونه های حاوی گیلسونایت، نشان دهنده تاثیر مثبت اصلاح کننده گیلسونایت است. هرچند افزایش بیش از حد مدول برجهندگی باعث شکننده شدن روسازی خواهد شد.



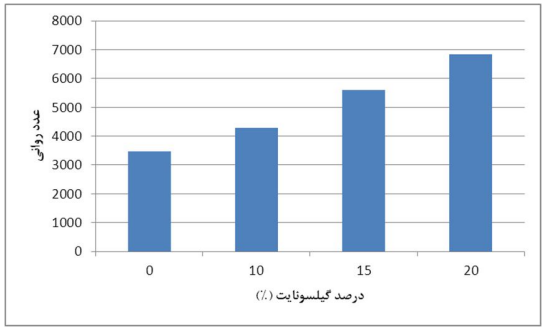
شکل ۱۱. نتایج آزمایش مدول برجهندگی

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۲-۵ نتایج آزمایش خزش دینامیکی

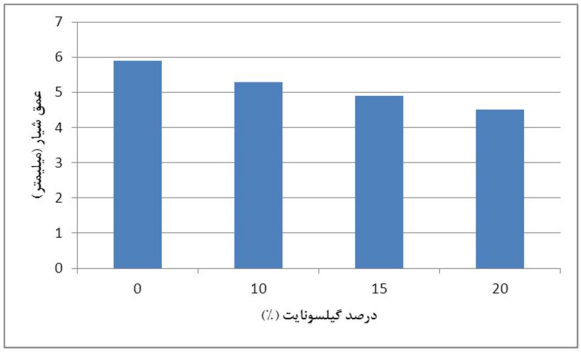
پس از انجام آزمایشها خزش دینامیکی بر روی نمونه های SMA با درصدهای مختلف گیلسونایت ، عدد روانی مربوط به هر یک تعیین شد و نتایج حاصله مورد بررسی قرارگرفت. نتـایج نهـایی در شکل ۱۲ برای مقایسه بهتر نشان داده شده است . همان‌طور که انتظار مـی‌رفـت بـا افـزایش درصد گیلسونایت، مقاومت شیار شدگی نمونه ها افزایش یافته و نمونه هـای SMA سـاخته شـده قادر به تحمل سیکلهای بیشتری از بارگذاری شدند. این امر ناشی از سختی بیشتر قیرها با افزایش درصد بالاتر گیلسونایت است که سختی بیشتر مخلوط را منجر می‌شود.



شکل ۱۲. نتایج عدد روانی

۴-۲-۶ نتایج آزمایش شیار جای چرخ

در نمودار زیر نتایج مربوط عمق شیار حاصله در آزمایش شیار جای چرخ را مشاهده می‌کنید. مشاهده می‌شود که نمونه های حاوی افزودنی گیلسونایت دارای عمق شیار کمتری نسبت به نمونه های شاهد هستند که نشان دهنده اثر افزودنی ها در کاهش پتانسیل شیارشدگی است. این اثر می‌تواند ناشی از بهبود تراکم و سختی قیر باشد.



شکل ۱۳. نتایج شیار جای چرخ

۵. جمع بندی و نتیجه‌گیری

این پژوهش در برگیرنده بررسی عملکرد قیر و مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای است که با درصدهای مختلف گیلسونایت (۵٪ و ۱۰٪ و ۱۵ ٪ نسبت به وزن قیر) اصلاح شد.در ایـن پژوهش آزمایش های رایج قیر بر روی قیر خالص ۷۰-۶۰ و قیر ۷۰-۶۰ اصلاح شده با گیلسونایت انجام شد. همچنین بر روی مخلوط های آسفالتی SMA نیز آزمـایش هـای مارشـال، کشـش غیـرمستقیم و حساسیت رطوبتی، مدول برجهندگی، خزش دینامیکی و شیار جای چرخ انجام شد که خلاصه ای از نتایج آن در این بخش ارائه شده است:

- نتایج آزمایش های فیزیکی قیر نشان می دهد افزودن گیلسونایت، سبب کاهش درجه نفوذ و افزایش نقطه نرمی،کندروانی کینماتیکی و شاخص نفوذ شد.
- با توجه به نتایج آزمایش مارشال می توان نتیجـه گرفـت کـه گیلسـونایت باعـث افـزایش مقاومت مارشال نمونه ها می‌شود ، به طوری که مثلاً افزودن ۱۰٪ گیلسـونایت بـه قیـر خالص ۷۰-۶۰ سبب افزایش ۲۲٪ در مقاومت مارشال مخلوط SMA می‌شود.
- نتایج حاصل از آزمون کشش غیرمستقیم نشان دهنده بهبود عملکرد مخلوط های SMA ساخته شده با گیلسونایت است. افزایش ۱۵٪ گیلسونایت به قیر خالص، مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط آسفالتی را از ۴۳۳ KPa بـه ۶۵۸ KPa مـی‌رسـاند . افـزایش مقاومـت مخلوط آسفالتی در برابر تنش های کششی وارد شده به آن بر اثر بـار ترافیـک، در نهایـت سبب افزایش عمر روسازی و کاهش هزینه های ترمیم و نگهداری می‌شود.
- نتایج حاصل از آزمایش حساسیت رطوبتی نشان دهنـده ایـن مطلـب اسـت کـه افـزودن گیلسونایت به مخلوط آسفالتی با استخوان بنـدی سـنگدانه ای سبب کـاهش حساسـیت رطوبتی مخلوط SMA می‌شود، به طوری که شاخص TSRمخلوط SMA ساخته شـده بـا قیر خالص ۷۰-۶۰ با افزودن ۱۵٪ گیلسونایت به قیر خـالص ۷۰-۶۰ از ۷۱٪ به ۹۵٪ می‌رسد.

www.SID.ir

Archive of SID

– نمونه های آسفالتی حاوی گیلسونایت در آزمایش مدول برجهندگی عملکرد بهتری نسبت به مخلوط ساخته شده با قیر خالص ۷۰-۶۰ داشتند . این موضوع به دلیل وابستگی ضـخامت رویه های آسفالتی به مدول برجهندگی می تواند از اهمیت زیادی در طراحی اقتصادی تر راه ها داشته باشد

– نمونه های ساخته شده با درصـدهای بیشـتر گیلسـونایت شـرایط بهتـری جهـت تحمـل نیروهای وارده و مقاومت در برابر شیارشدگی از خود نشان دادند . هرچند که ایـن تسـت جهت مقایسه بین نمونه های مختلف با درصدهای متفاوت اصلاح کننده گیلسونایت است، زیرا شرایط مهار جانبی که در واقعیت وجود دارد در آزمایش میسر نیست و بنابراین تغییـر مکانهای بیشتری در مقابل نیروی وارده از خود نشان می‌دهند و ایـن امـر در مخلـوط های SMA که تحمل نیروی بار آنها از مقاومت سنگدانه بر سنگدانه است، بیشتر بروز پیدا می‌کند . ولیکن با این وجود می توان نتیجه گرفت که افزودن گیلسونایت باعـث افـزایش مقاومت در برابر شیار شدگی مخلوطهای SMA می‌شود و می‌تواند جـایگزین مناسـبی برای انواع اصلاح کننده های پلیمری مانند: EVA ، SBS و . . . و غیر پلیمری باشد.

۶. پی‌نوشت‌ها

1-Stone on Stone

۷. مراجع

-Aflaki, S. and Tabatabaee, N. (2009) "Proposals for modification of Iranian bitumen to meet the climatic requirements of Iran '. Construction and Building Materials, 23 (6) , pp. 2141-2150.

-Ameri, M., Mansourian, A., Ashani, S. S., and Yadollahi, G. (2011) "Technical study on the Iranian Gilsonite as an additive for modification of asphalt binders used in pavement construction", Construction and Building Materials, 25(3), pp. 1379-1387.

-Ameri, M., Mansourian, A. and Sheikhmotevali, A. H. (2012) "Investigating effects of ethylene vinyl acetate and gilsonite modifiers upon performance of base bitumen using Superpave tests methodology", Construction and Building Materials, 36, pp. 1001-1007.

-Anderson, D., Maurer, D., Ramirez, T., Christensen, D., Marasteanu, M. and Mehta, Y. (1999) "Field performance of modified asphalt binders evaluated with superpave test methods: I-80 test project", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1661), pp. 60-68.

-Djakfar, L., Bowoputro, H., Prawiro, B. and Tarigan, N. (2015) "Performance of recycled porous hot mix asphalt with gilsonite additive. Advances in Civil Engineering, accepted January 2015.

- "Gilsonite in paving applicarion", www.americangilsonite.com.

-Kök, B. V., Yilmaz, M. and Guler, M. (2011) "Evaluation of high temperature performance of SBS+ Gilsonite modified binder", Fuel, 90 (10), pp. 3093-3099.

-Liu, J. and Li, P. (2008) "Experimental study on Gilsonite-modified asphalt", In Proceedings of the 2008 Airfield and Highway Pavements Conference, pp. 15-18.

-Said, S. F. and Hakim, H. (2009) "Performance evaluation of fatigue cracking in flexible pavement", Transportation Research Board 88th Annual Meeting (No. 09-0365).

-Sharp, B., Berg, K., Fazio, M. and Stewart, R. (2010) "Glisonite as an anti-stripping agent in hot mix asphalt", (No. UT-10.10).

-Suo, Z. and Wong, W. G. (2009) "Analysis of fatigue crack growth behavior in asphalt concrete material in wearing course", Construction and Building Materials, 23(1), pp. 462-468 .

-Wong, C. and Ho, M. K. (1990) "Effect of Gilsonite-modified asphalt on hot-mix asphaltic concrete mixes used in District 12, Houston, Texas" (No. PB-91-103846/XAB; DHT--22), Texas Dept. of Highways and Public Transportation, Austin, TX (USA).

-Yilmaz, M. and Yalcin, E. (2015) "The effects of using different bitumen modifiers and hydrated lime together on the properties of hot mix asphalts", Road Materials and Pavement Design, pp. 1-13.

- آیین نامه روسازی آسفالتی راههای ایران، نشریه شماره ۳۴ (۱۳۹۰) پژوهشکده حمل و نقل، دفتر نظام فنی و

www.SID.ir

Archive of SID

اجرایی، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.

- زیاری، حسن، طباطبایی، سید عباس و خبیری، محمد مهدی (۱۳۸۵) "راهنمای کاربردی آزمایشهای قیر و آسفالت انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران"، تهران، دانشگاه علم و صنعت.

- سازمان برنامه و بودجه، معاونت فنی، نشریه ۱۱۰ (۱۳۸۲) " مشخصات فنی عمومی راه "، تهران، سازمان برنامه و بودجه.

- شفابخش، غلامعلی، حداد، عبدالحسین و اکبری، مهدی (۱۳۸۷) "کاربرد پلیمر در اصلاح خواص قیر و تهیه آسفالت پلیمری"، چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور.

- یاری، رضا (۱۳۸۸) "تأثیر افزودنی قیر معدنی بر بتن آسفالتی گرم"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.

www.SID.ir