

# 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

پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۹

دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۲۲

## 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 ۸/۴ کیلونیوتن به ۱/۷ 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 می شود.

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

## 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 سطحی ترین 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 توزیع دهد که بار خروجی قابل تحمل برای لایه زیرین باشد. در نتیجه آشکار است که لایه های فوقانی می بایست از مقاومت بیشتری برخوردار باشند.

آسفالت SMA که از مقاوم ترین انواع مخلوطهای آسفالتی شناخته شده تاکنون است، فرآیند انتقال و توزیع بار را از طریق تماس مستقیم سنگ روی سنگ صورت می دهد. 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 نتیجه 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 می بایست فضای خالی اضافی را با قیر، فیلر و افزودنی (ماستیک قیر) پر کرده 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 افزودنی ها می توان به پلیمرها (SBS، پلی اتیلن، پلی پروپیلن، SBR و...) و همچنین به الیاف (آلی، معدنی، فلزی، پلیمری و...) اشاره کرد. از مهم ترین عوامل در تامین تماس لازم بین مصالح سنگی مخلوطهای آسفالتی SMA می توان 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 می کنند، در مخلوطهای SMA اسکلت سنگدانه ای عمده بار وارده را تحمل می کند 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 می شود. 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 می شود (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 و حجم 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 آینده ای نزدیک هم از لحاظ اقتصادی صرفه های بسیاری برای کشور به همراه داشته باشد و هم از لحاظ کیفیت روسازی و عمر 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 برجهنگی و خستگی نشان داد، مخلوط آسفالتی حاوی گیلسونایت دارای بیشترین مقدار مدول برجهنگی و عمر خستگی است [Sou and Wong, 2009].

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

باعث افزایش مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالتی می شود. اما تمایل به ترکهای خستگی در دمای پایین مخلوط آسفالتی را نیز افزایش می دهد. 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 سوپریپو"، 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 به دست 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 می گردد. [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 می شود. این تغییر باعث تبدیل یک روسازی استاندارد به یک روسازی با عملکرد بالا

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 طوری که ۲٪، ۴٪، ۷٪، ۱۰٪، ۱۳٪ گیلسونایت دمای عملکردی بالای قیر پایه ۲۲-۵۸ PG را از ۵۸ درجه سانتیگراد به ترتیب ۸/۳، ۳/۶، ۱/۱۱، ۷/۱۵، ۹/۲۰ درجه سانتیگراد افزایش می دهند. با این حال افزودنی گیلسونایت باعث کاهش خصوصیات رفتار دمای متوسط قیر و در نهایت کاهش مقاومت ترک خوردگی خستگی قیر می گردد. 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 قیر ۷۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۵ با ۳ درصد مختلف گیلسونایت که شامل درصدهای ۴ و ۸ و ۱۲٪ است، مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است. افزودن گیلسونایت به قیر باعث افزایش دمای عملکردی بالای قیر می گردد. 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 می گردد.

[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 تحقیق از قیر PG ۵۲-۲۸ با درصدهای مختلف گیلسونایت (۰٪ و ۳٪ و ۶٪ و ۹٪ و ۱۲٪ نسبت به وزن کل قیر) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد، با افزایش درصد گیلسونایت از ۰٪ تا ۱۲٪، PG دمای بالای قیر از ۵۲°C به ۷۰°C می رسد. ولیکن PG دمای پایین قیر از ۲۸°C به ۲۲°C می رسد. نتایج این تحقیق مشخص می کند که افزودن گیلسونایت به قیر

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 آبنگیر یوتا در آمریکا یافت گردید. قیر طبیعی گیلسونایت در حلال های معطر نفتی و حلال های چرب همانند قیر نفتی حل می شود. 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 می شود (شکل ۱). قیر طبیعی گیلسونایت در رگه های عمودی زیر سطح زمین یافت می شود. اندازه عرض رگه ها  $1/8 - 6/10$  متر است که حتی این اندازه گاهی به  $4/8$  متر می رسد. رگه ها معمولاً موازی یکدیگرند و طول رگه ها ممکن است بسیار زیاد بوده و عمق آن ها حتی به اندازه ای در حدود  $5/2413$  کیلومتر می رسد. عرض رگه ها در نزدیک سطح کم است و هرچه به عمق می رویم بیشتر می شود.

#### 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 نتیجه آن مقدار فضای خالی این نوع مخلوط بسیار زیاد است، مقاومت آن کاهش خواهد یافت. در نتیجه به منظور جلوگیری از این مشکل می بایست فضای خالی اضافی را با قیر، فیلر و افزودنی (ماستیک قیر) پر کرده تا به مقدار مجاز درصد هوا برسیم.

می شود. نتایج نشان می دهد که نمونه های بدون افزودنی گیلسونایت مقاومت رطوبتی کافی ندارند، در حالی که حتی افزودن  $4\%$  گیلسونایت به مخلوط آسفالتی، میزان مقاومت رطوبتی مخلوط را به طور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد. نتایج نشان می دهد افزودن گیلسونایت سبب افزایش مدول برجهندگی و عمر خستگی مخلوط های آزمایشگاهی می گردد.

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 می یابد. 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 می گردد. همچنین افزودن گیلسونایت به میزان  $10-8\%$  سبب بهبود مقاومت مارشال مخلوط گردیده است. [Djakfar et al. 2015]

در تحقیق دیگری که توسط شارپ انجام شد، تأثیر 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 می شود. [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  $10\%$  وزنی قیر  $100-70$  استفاده شد. فرآیند پیش بینی عملکرد روسازی ها بر پایه استحکام

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

توجه به شکل ۲ جهت ساخت نمونه های SMA انتخاب شد [IR Plan Budg. Org. pub. 110, 2012]

جدول ۱. مشخصات مصالح سنگی

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

جدول ۲. نتایج آزمایش مصالح سنگی درشت دانه

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

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



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، می توان 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 از جهان 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 درصد های مختلف گیلسونایت و انجام آزمایش های قیر، ساخت نمونه های مخلوط آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای با درصد های مختلف افزودنی و در نهایت انجام آزمایش های مارشال، مدول برجهنگی، 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 پودر سنگ استفاده شد. خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی مورد استفاده در جداول ۱ و ۲ آمده است. بهترین مرجع برای انتخاب دانه بندی این نوع مخلوط ها می تواند دانه بندی پیشنهادی توسط NCHRP باشد. (جدول ۳) در این پژوهش حد وسط دانه بندی با بزرگ ترین اندازه ۹,۵ میلیمتر با

جدول ۶. مشخصات شیمیایی گیلسونایت

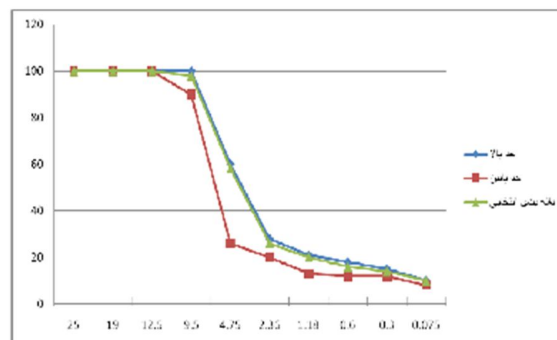
استاندارد	نتیجه	آزمایش
ASTM-D3174	۱۵-۱۲	میزان خاکستر (%)
ASTM-D3173	۵>	میزان رطوبت (%)
ASTM-D3172	۲۹	میزان کربن (%)
ASTM-D4	۸۱	حلالیت در سولفور کربن (%)
ASTM-D3289	۱/۱۱	وزن مخصوص در ۲۵ درجه (gr/cm <sup>2</sup> )
-	سیاه	رنگ در حالت کلوخه
-	قهوه ای تیره	رنگ در حالت پودر
ASTM-D36	۲۲۱	نقطه نرمی
ASTM-D5	۰-۱	درجه نفوذ

در این پژوهش پودر گیلسونایت به مقدار ۵٪ و ۱۰٪ و ۱۵٪ وزن قیر، به قیر ۷۰-۶۰ که تا دمای ۱۴۰°C گرم شده اضافه شده و به مدت ۱۵۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در میکسر مخلوط شده. سپس دمای مخلوط به ۱۸۰°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

#### ۳-۱-۳ آزمایش کشش غیرمستقیم

در آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم، همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود، یک نمونه استوانه‌ای به صورت قطری بارگذاری می شود. آزمایش کشش غیرمستقیم برای تعیین مقاومت کششی مخلوط‌های آسفالتی و پیش بینی ظهور ترک‌ها در مخلوط آسفالتی استفاده می شود. همچنین می توان 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:



شکل ۲. منحنی دانه بندی مصالح سنگی با بزرگترین اندازه ۹,۵ میلیمتر

جدول ۴. مشخصات قیر مصرفی

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

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 و ۶ 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

ASTM-D5291	۷۴	کربن (%)	۱
ASTM-D5291	۷,۱	هیدروژن (%)	۲
ASTM-D5291	۰,۶۷	نیترژن (%)	۳
ASTM-D5291	۳,۱	اکسیژن (%)	۴
LEEO Analyser	۴	سولفور (%)	۵

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

### 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-5P 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 بر سانتیمتر 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.

$$ITS = (2P_{\max}) / (\pi Dt) \quad (1)$$

که ITS مقاومت کششی نمونه ها بر حسب  $P_{\max}$  Kpa بار اعمالی در زمان شکست بر حسب  $D$  قطر نمونه ها بر حسب میلی‌متر،  $t$  ارتفاع نمونه‌ها بر اساس میلی‌متر است. همچنین می‌توان 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 پایین تر 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  $25^{\circ}\text{C}$  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 بر اساس معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$M_r = \frac{p(g + 0.2734)}{\delta t} \quad (2)$$

$M_R$  = مدول برجهندگی (مگا پاسکال)

$P$  = بار تکراری (نیوتن)

$v$  = نسبت پواسون

$t$  = ضخامت نمونه (میلی‌متر)

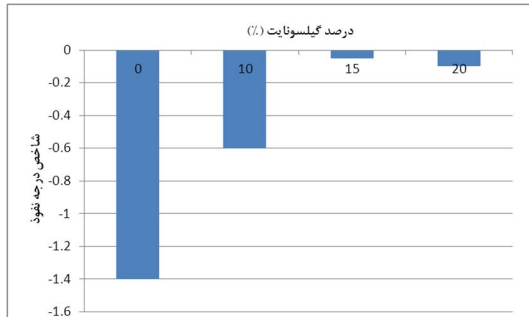
$H$  = تغییر شکل افقی برگشت پذیر (میلی‌متر)

$V$  = تغییر شکل قائم برگشت پذیر (میلی‌متر)

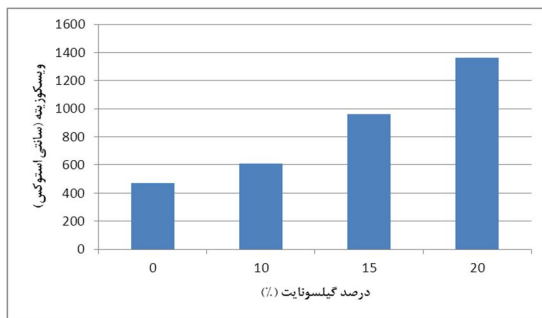
### ۳-۳ آزمایش حساسیت رطوبتی

این آزمایش بر اساس استاندارد AASHTO-T283 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.

$$PI = [1952 - 500\text{Log}(\text{Pen } 25) - 20SP] / [50\text{Log}(\text{Pen } 25) - SP - 120] \quad (3)$$



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



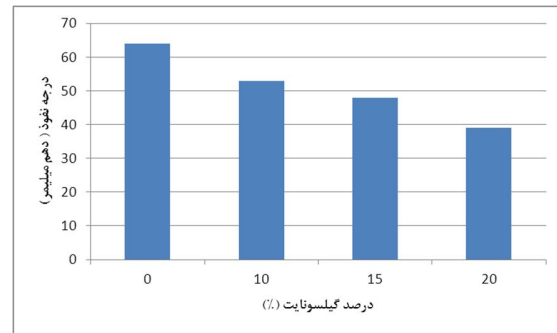
شکل ۶. کندروانی کینماتیکی قیر حاوی درصدهای مختلف گیلسونایت در ۱۳۵C°

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

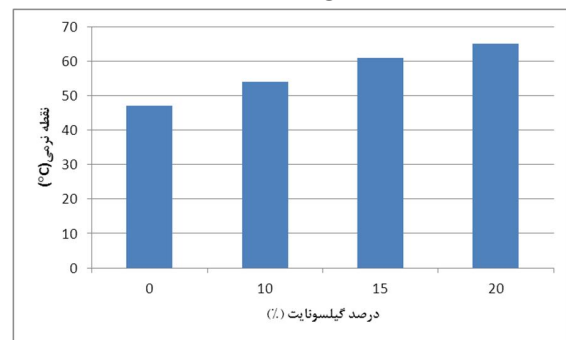
#### ۴-۲ تحلیل نتایج آزمایشهای مخلوط آسفالتی

##### 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؛ با افزایش درصد گیلسونایت، مقاومت مارشال نمونه ها افزایش یافته است.



شکل ۳. نتایج آزمایش درجه نفوذ



شکل ۴. نتایج آزمایش نقطه نرمی

شکل ۳ نشان می دهد با افزایش درصد گیلسونایت مقدار درجه نفوذ کاهش یافته است. این اتفاق به این معنی است که گیلسونایت باعث افزایش میزان سفتی قیر خواهد شد. کاهش درجه نفوذ به معنای کاهش روانی و افزایش قوام در دماهای بالا و متوسط است و در نتیجه گیلسونایت در دمای بالا از شیارشدگی آسفالت جلوگیری می کند. درجه نفوذ کمتر قیر باعث بهبود رفتار الاستیک آن شده است که در نتیجه افزایش مقاومت آسفالت در برابر تغییر شکلهای دائمی و شیار افتادگی را به همراه خواهد داشت و برای مناطق با درجه حرارت بالا (گرمسیر) بسیار مناسب است.

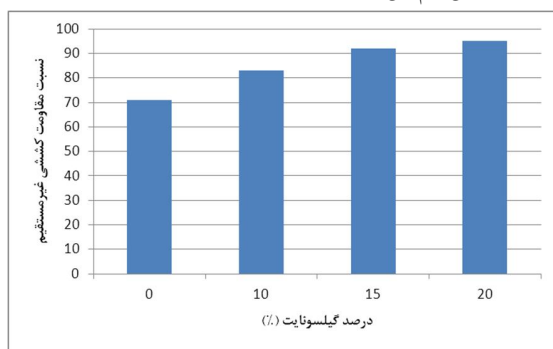
تغییرات حاصله در نقطه نرمی قیرخالص با افزایش درصد گیلسونایت مطابق شکل ۴ نشان از کاهش حساسیت حرارتی قیرهای اصلاح شده دارد. افزایش نقطه نرمی به این معناست که عملکرد رفتار ویسکوز قیر با افزایش دما به تاخیر می افتد. شاخص PI (Penetration Index) از رابطه زیر حاصل می شود و نتایج آن در شکل ۵ آورده شده است:



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

#### ۲-۳ نتایج آزمایش حساسیت رطوبتی

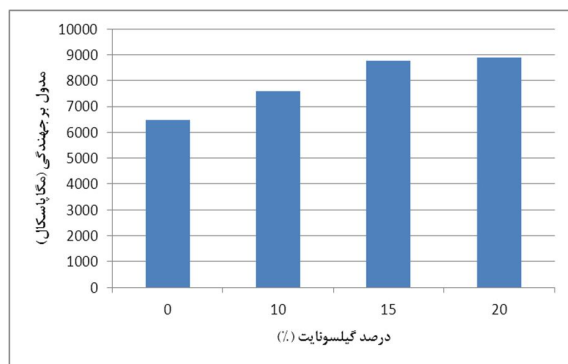
همان طور که از شکل ۱۰ مشاهده می شود، با افزایش درصد گیلسونایت در نمونه آسفالتی SMA حساسیت رطوبتی نمونه آسفالتی کم می شود.



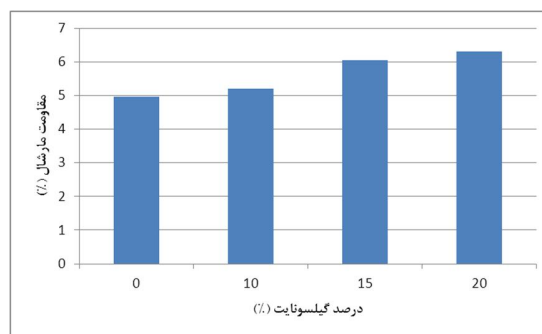
شکل ۱۰. نتایج آزمایش حساسیت رطوبتی نمونه های آسفالتی

#### ۲-۴ نتایج آزمایش مدول برجهنگی

مدول برجهنگی، یکی از عوامل موثر در تعیین ضخامت رویه های آسفالتی است. نتایج به دست آمده از انجام آزمایش تعیین مدول برجهنگی توسط دستگاه UTM، در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، افزایش درصد گیلسونایت باعث افزایش مدول برجهنگی 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 برجهنگی تاثیر مستقیمی بر تعیین ضخامت لایه آسفالتی دارد، افزایش مدول برجهنگی نمونه های حاوی گیلسونایت، نشان دهنده تاثیر مثبت اصلاح کننده گیلسونایت است. هرچند افزایش بیش از حد مدول برجهنگی باعث شکنندگی شدن روسازی خواهد شد.



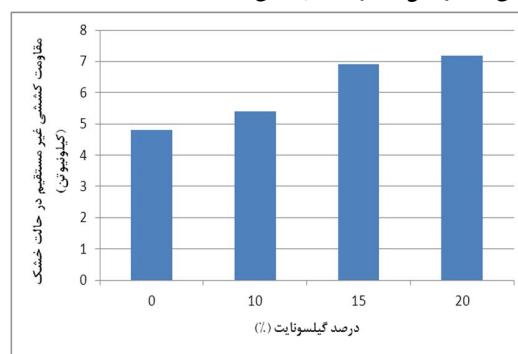
شکل ۱۱. نتایج آزمایش مدول برجهنگی



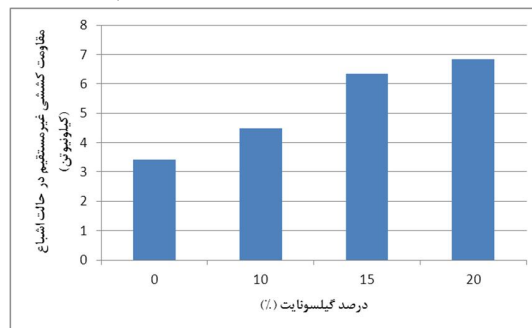
شکل ۷. نتایج آزمایش مقاومت مارشال

#### ۲-۴ 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.



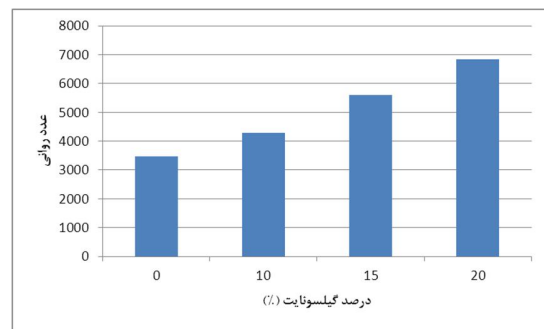
شکل ۸. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم



شکل ۹. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم در حالت اشباع

#### ۲-۴-۵ نتایج آزمایش خزش دینامیکی

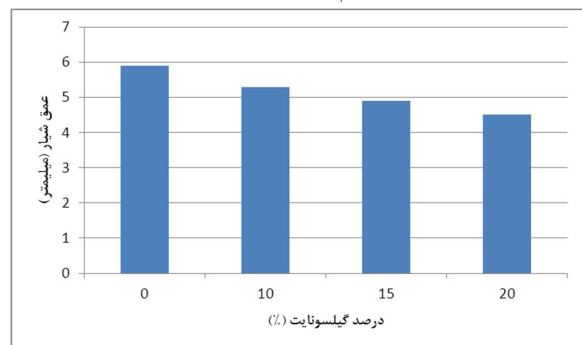
پس از انجام آزمایشها خزش دینامیکی بر روی نمونه های SMA با درصدهای مختلف گیلسونایت ، عدد روانی مربوط به هر یک تعیین شد و نتایج حاصله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نهایی در شکل ۱۲ برای مقایسه بهتر نشان داده شده است . همانطور که انتظار می رفت با افزایش درصد گیلسونایت، مقاومت شیار شدگی نمونه ها افزایش یافته و نمونه های SMA ساخته شده 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 می شود.



شکل ۱۲. نتایج عدد روانی

#### ۲-۴-۶ نتایج آزمایش شیار جای چرخ

در نمودار زیر نتایج مربوط عمق شیار حاصله در آزمایش شیار جای چرخ را مشاهده می کنید. مشاهده می شود 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 می تواند ناشی از بهبود تراکم و سختی قیر باشد.



شکل ۱۳. نتایج شیار جای چرخ

#### ۵. جمع بندی و نتیجه گیری

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 این پژوهش آزمایش های رایج قیر بر روی قیر خالص ۶۰-۷۰ و قیر ۶۰-۷۰ اصلاح شده با گیلسونایت انجام شد. همچنین بر روی مخلوط های آسفالتی SMA نیز آزمایش های مارشال، کشش غیرمستقیم و حساسیت رطوبتی، مدول برجهنگی، 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 نتیجه گرفت که گیلسونایت باعث افزایش مقاومت مارشال نمونه ها می شود، به طوری که مثلاً افزودن ۱۰٪ گیلسونایت به قیر خالص ۶۰-۷۰ سبب افزایش ۲۲٪ در مقاومت مارشال مخلوط SMA می شود.

- 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 به ۶۵۸ KPa می رساند. افزایش مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تنش های کششی وارد شده به آن بر اثر بار ترافیک، در نهایت سبب افزایش عمر روسازی و کاهش هزینه های ترمیم و نگهداری می شود.

- نتایج حاصل از آزمایش حساسیت رطوبتی نشان دهنده این مطلب است که افزودن گیلسونایت به مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای سبب کاهش حساسیت رطوبتی مخلوط SMA می شود، به طوری که شاخص TSR مخلوط SMA ساخته شده با قیر خالص ۶۰-۷۰ با افزودن ۱۵٪ گیلسونایت به قیر خالص ۶۰-۷۰ از ۷۱٪ به ۹۵٪ می رسد.

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

-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

مهندسی حمل و نقل / سال هشتم / شماره اول / پاییز ۱۳۹۵

- نمونه های آسفالتی حاوی گیلسونایت در آزمایش مدول برجهندگی عملکرد بهتری نسبت به مخلوط ساخته شده با قیر خالص ۶۰-۷۰ داشتند . این موضوع به دلیل وابستگی ضخامت رویه های آسفالتی به مدول برجهندگی می تواند از

اهمیت زیادی در طراحی اقتصادی تر راه ها داشته باشد

- نمونه های ساخته شده با درصد های بیشتر گیلسونایت شرایط بهتری جهت تحمل نیروهای وارده و مقاومت در برابر شیارشدگی از خود نشان دادند . هرچند که این تست جهت مقایسه بین نمونه های مختلف با درصد های متفاوت اصلاح کننده گیلسونایت است، زیرا شرایط مهار جانبی که در واقعیت وجود دارد در آزمایش میسر نیست و بنابراین تغییر مکانهای بیشتری در مقابل نیروی وارده از خود نشان می دهند و این امر در مخلوط های SMA که تحمل نیروی بار آنها از مقاومت سنگدانه بر سنگدانه است، بیشتر بروز پیدا می کند . ولیکن با این وجود می توان نتیجه گرفت که افزودن گیلسونایت باعث افزایش مقاومت در برابر شیار شدگی مخلوط های SMA می شود و می تواند جایگزین مناسبی برای انواع اصلاح کننده های پلیمری مانند: SBS ، EVA و غیر پلیمری باشد.

## ۶. پی نوشت ها

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.

## رضوان باباگلی

- 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.

اجرائی، 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.