Archive of SID

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر زئولیت طبیعی بر خصوصیات رفتاری مخلوط آسفالت گرم

مقاله پژوهشی

سمیه استادی قاضیانی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، ایران
مهیار عربانی، استاد، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، ایران
غلامحسین حامدی*، استادیار، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hamedi@guilan.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۸/۲۷- پذیرش: ۹۸/۰۲/۰٤
صفحه۳۳٦-۳۲۱

چکیده

رفتار مخلوط آسفالتی بستگی به خصوصیات قیر، مصالح سنگی، فیلر و نسبت‌های اختلاط آنها دارد. یکی از پارامترهای موثر در بهبود رفتار مخلوط آسفالتی اصلاح خصوصیات قیر با استفاده از مواد افزودنی معدنی می‌باشد. بر این اساس، در این پژوهش سعی در بررسی خصوصیات رفتاری مخلوط آسفالتی ساخته‌شده با قیرهای اصلاح‌شده با یک نوع زئولیت طبیعی به نام کلینوپتیلولیت بوده است. به این منظور این ماده در دو درصد جرمی قیر (۲ و ٤ درصد) مورد استفاده قرار گرفته است. به‌منظور بررسی و تعیین خواص دینامیکی مخلوط‌های آسفالتی پایه و اصلاح‌شده از آزمایش‌های مدول برجهندگی به روش کشش غیرمستقیم، عمر خستگی به روش کشش غیرمستقیم و پتانسیل شیارشدگی به وسیله بارگذاری محوری تکراری استفاده شده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از این افزودنی حساسیت حرارتی قیر را کاهش داده و با افزایش ویسکوزیته و سختی آن، مدول برجهندگی و تعداد سیکل‌های بارگذاری منجر به خرابی نمونه‌های آسفالتی را افزایش داده است. همچنین، استفاده از زئولیت باعث کاهش تغییر شکل نهایی در آزمایش بارمحوری مکرر و افزایش عمر خستگی مخلوط‌های آسفالتی شده است. با افزایش مقدار کلینوپتیلولیت از ۲ به ٤ درصد جرم قیر، مدول برجهندگی نمونه‌های آسفالتی افزایش‌یافته، درنتیجه خاصیت الاستیک نمونه‌ها بهبودیافته و توانایی تحمل تنش توسط آن‌ها، افزایش می‌یابد. با افزایش دما، وجود کلینوپتیلولیت در نمونه‌ها باعث شده است نرخ کاهش مدول برجهندگی و افزایش عمق شیار شدگی آن‌ها کمتر از نمونه‌های کنترل باشد. این موضوع خود باعث کاهش ضخامت رویه آسفالتی، کاهش احتمال وقوع پدیده شیار شدگی در دماهای بالا و کاهش ترک‌های ناشی از خستگی در دمای متوسط و پایین نیز می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مخلوط آسفالت گرم، خصوصیات دینامیکی، زئولیت، خستگی، شیارشدگی، مدول برجهندگی

۱- مقدمه

راه‌ها، نخستین و طبیعی‌ترین وسیله ارتباط انسان‌ها هستند که به‌عنوان شریان‌های حیاتی یک سرزمین، نقش اساسی در توسعه و پیشرفت جوامع ایفا می‌کنند. روسازی، یکی از اجزای مهم و زیربنایی جاده محسوب می‌شود و بایستی برحسب اهمیت مسیر در شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای کشور، از شرایط ویژه و مناسبی برخوردار باشد تا در طول عمر بهره‌برداری، ضمن تأمین عبور و مرور ایمن، جذابیت یک سفر مطمئن را برای استفاده‌کنندگان راه فراهم نماید. اغلب روسازی‌ها پس از چند سال که عموماً کمتـر از عمر طراحی آن‌ها است،

www.SID.ir

Archive of SID

دچار عوارضی می‌شوند که به‌صورت ترک، ناهمواری و یا ترکیبی از آن دو در سطح راه نمایان گشته، لذا از کیفیت و امنیت راه کاسته می‌شود. بنابراین برای استفاده مناسب از روسازی، افزایش عمر و کیفیت آن و تأمین ایمنی لازم، باید همه عوامل مؤثر در ساخت و استفاده از راه موردتوجه قرار گیرد. امروزه، به علت تردد بارهای ترافیکی سنگین‌تر با حجم بیشتر، کمبود منابع مالی و طبیعی برای ساخت راه‌های جدید و انتظارات استفاده‌کنندگان برای داشتن راه‌های باکیفیت بهتر و ایمن‌تر، باید لایه‌های روسازی دارای عملکرد مناسب‌تر در بازه‌های زمانی طولانی‌تر باشند. ازاین‌رو مهندسین راه همواره تلاش نموده‌اند تا با افزایش کیفیت و دوام مخلوط‌های آسفالتی، مانع از ایجاد خرابی‌های زودرس در روسازی شوند و تا حد ممکن این خرابی‌ها را به تعویق بیندازند (هوانگ، ۱۹۹۳). افزایش بیش‌ازحد ترافیک در سال‌های اخیر، وجود کامیون‌های بزرگ و سنگین‌تر و در برخی نقاط شرایط محیطی خشن‌تر، باعث اعمال نیروهای بیشتری بر سیستم روسازی و رویه‌های آسفالتی شده است؛ که به‌مرورزمان درنتیجه تنش‌های کششی و فشاری زیاد دچار استهلاک شده و بروز خرابی در آن‌ها اجتناب‌ناپذیر می‌شود (براون، ۱۹۹۹). کیفیت مخلوط‌های آسفالتی ازنظر نوع دانه‌بندی، جنس مصالح سنگی، نوع و مقدار قیر مصرفی و درمجموع عملکرد آن با توجه به شرایط و انتظارات موردنظر می‌تواند در قالب طرح اختلاط مناسب مخلوط آسفالتی ارائه گردد. آسفالت گرم در ساختار روسازی به‌عنوان لایه رویه استفاده می‌شود تا تنش وارده در اثر بارگذاری را توزیع کرده و نیز لایه‌های محافظت نشده زیرین را از اثر آب حفاظت کند. برای اینکه مخلوط آسفالتی بتواند هردوی این وظایف را در طول عمر طراحی روسازی باکفایت انجام دهد، باید در برابر تأثیرات آب‌وهوا مقاوم بوده و در برابر تغییر شکل دائمی و ترک‌های ایجادشده توسط بارگذاری و عوامل محیطی ایستادگی نماید (طاهرخانی و همکاران، ۱۳۹٤).

از سوی دیگر به دلیل محدودیت منابع و معادن سنگی مرغوب، گران بودن مصالح، هزینه‌های گزاف تعمیر و نگهداری، توسعه و نگهداری، راه‌ها به‌تدریج ظرفیت پاسخگویی به نیازهای جامعه را نخواهند داشت. بر این اساس، محققین در تحقیقات خود سعی بر آن دارند تا با ایجاد تغییراتی در قیر مصرفی، استفاده از مواد افزودنی و ایجاد تغییر در ساختار دانه‌بندی آسفالت، به اهداف خود دست یابند و عمر روسازی‌های آسفالتی را افزایش دهند (غفارپور و همکاران، ۲۰۱۲). مهم‌ترین اهداف این پژوهش عبارت‌اند از:

- ✓ ارزیابی خصوصیات دینامیکی مخلوط‌های اسفالتی اصلاح‌شده با کلینوپتیلولیت
- ✓ مقایسه عملکرد دینامیکی نمونه‌های اصلاح‌شده با نمونه‌های پایه
- ✓ تهیه مخلوط اسفالت مقاوم در برابر خرابی‌های خستگی و شیار شدگی
- ✓ کاهش هزینه‌های ساخت اسفالت

۲- پیشینه تحقیق

بررسی‌ها نشان داده‌اند که استفاده از افزودنی‌ها تأثیر بسزایی بر روی مقاومت کششی و استحکام مخلوط آسفالتی دارند و باعث فائق آمدن بر خرابی‌های روسازی ناشی از نقص خصوصیات قیر می‌شوند. لواندوفسکی (۱۹۹٤) دلایل اصلی اصلاح قیر با افزودنی‌ها را به دست آوردن مخلوط‌های سخت‌تر در دماهای بالا و کاهش شیار شدگی، مخلوط‌های نرم‌تر در دماهای پایین و کاهش ترک‌خوردگی، استحکام، مقاومت و بهبود خستگی مخلوط‌های آسفالتی و درنهایت کاهش ضخامت سازه‌ای روسازی بیان نمود. زون (۲۰۱۱) با توجه به مطالعات و تحقیقاتی که روی مخلوط‌های آسفالتی با اضافه نمودن آهک هیدراته انجام داد، به این نتیجه رسید که آهک هیدراته به میزان قابل‌توجهی موجب بهبود عملکرد روسازی در ارتباط با پدیده شیار شدگی جای چرخ می‌شود. برخلاف

www.SID.ir

Archive of SID

اغلب فیلرهای معدنی، آهک یک ماده فعال ازلحاظ شیمیایی نسبت به فیلر معمولی است. ازآنجاکه آهک هیدراته موجب افزایش چسبندگی بین قیر و سنگ‌دانه، سفتی قیر و نیز افزایش عمر پیرشدگی و اکسیداسیون قیر می‌شود؛ بنابراین عمق شیار شدگی کاهش می‌یابد. کاووسی و بختیاری (۱۳۹۲) برای بررسی تأثیرات دما و آهک هیدراته در مقاومت شیار شدگی مخلوط‌های آسفالتی تحقیقاتی انجام دادند. نتایج نشان داد که استقامت مارشال افزایش می‌یابد، همچنین با افزودن آهک هیدراته به مخلوط آسفالتی، روانی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. بالا بودن استقامت و کمتر بودن روانی در شرایط استفاده از مصالح یکسان، نشان‌دهنده استحکام بیشتر در برابر تنش و مقاومت بیشتر در برابر تغییر شکل است. همچنین نتایج آزمایش میزان اثر چرخ (ویلتراک) نشان داد با افزودن آهک، پارامترهای عمق و نرخ شیار شدگی کاهش و پارامتر پایداری دینامیکی افزایش یافت. در تحقیقات مشابهی دیگر، سنگول و همکاران در سال ۲۰۱۲ نشان دادند که با اضافه نمودن آهک هیدراته به مخلوط آسفالتی و افزایش میزان آن از ۲ تا ٦ درصد باعث افزایش شاخص نسبت مارشال و به‌تبع آن افزایش مقاومت شیار شدگی مخلوط آسفالتی می‌شود (سنگول و همکاران، ۲۰۱۲). در تحقیقاتی دیگر باروس و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر زئولیت بر مدول قیر را از طریق آزمایش DSR موردبررسی قراردادند. نتایج نشان داد که زئولیت موجود در قیر در دماهای بالا منجر به آزاد شدن آب و بخار شدن آن درنتیجه ایجاد حباب‌های هوایی در قیر شده و باعث کاهش مدول قیر می‌شود. خاکی و همکارانش (۱۳۹۳) طی تحقیقاتی به بررسی اثر افزودن زئولیت به قیر برای کاربرد در مناطق سردسیر پرداختند. بدین منظور نمونه‌هایی شامل زئولیت ساخته‌شده و در چرخه ذوب – انجماد قرار داده شد. نتایج حاکی از آن است که افزودن زئولیت در ابتدا منجر به افزایش وزن مخصوص و سفت‌تر شدن قیر می‌شود و در مواردی با افزایش درصد زئولیت کندروانی اولیه کاهش پیداکرده که این براثر افزایش میزان حباب در قیراست؛ و البته افزودن زئولیت منجر به کاهش درروند پیرشدگی قیر و حفظ خواص اولیه آن در چرخه ذوب و انجماد می‌شود و از این لحاظ می‌توان گفت که وجود زئولیت موجب بهبود کارایی نهایی قیر گردیده است. در تحقیقاتی دیگر نصرالله پور و همکاران (۱۳۹۵) تأثیرات زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت را به‌عنوان فیلر در عملکرد مخلوط‌های آسفالتی، مورد ارزیابی قراردادند و نتایج را با فیلر پودر سنگ به‌عنوان مرسوم‌ترین فیلر مورداستفاده در تهیه مخلوطهای آسفالتی گرم مقایسه نمودند. آزمایش‌های انجام‌شده شامل انجام آزمایش مارشال و تعیین نسبت استحکام مارشال و نیز آزمایش کشش غیرمستقیم در حالت اشباع و مستغرق بوده است که در همه‌ی موارد، استفاده از فیلر کلینوپتیلولیت نتایج بهتری را دربر داشته است. همچنین استفاده از این فیلر، موجب کاهش در میزان قیر مصرفی و دمای تولیدشده است که بسیار حائز اهمیت و قابل‌توجه می‌باشد. بنا به توصیه نشریه ۱۰۱، نسبت مقاومت فشاری اشباع به مقاومت فشاری خشک با روش ASTMD1075 یا AASHTO T165 نباید کمتر از ۷۵ درصد باشد که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های انجام‌گرفته بر روی مخلوطهای آسفالتی، این نسبت در مخلوط آسفالتی با فیلر زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت نسبت به مخلوط آسفالتی با فیلر پودر سنگ، حدود ٦ درصد افزایش‌یافته است.

۳-مصالح

مصالح سنگی مورداستفاده در این پژوهش، از دو نوع سنگ‌دانه سیلیسی شکسته شده و سنگ‌آهک که خصوصیات بازی دارد و به‌عنوان یک سنگ‌دانه مقاوم در برابر خرابی رطوبتی، بر اساس دانه‌بندی شماره ٤ آیین‌نامه ۲۳٤ تهیه‌شده است. دلیل این انتخاب این بوده است تا سنگ‌دانه‌های با عملکرد متفاوت موردبررسی قرار گیرند. کانی‌های تشکیل‌دهنده این سنگ‌دانه‌ها در

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ ارائه‌شده است. با توجه به این نکته که قیر ۷۰-۶۰ مناسب‌ترین قیر با توجه به شرایط اقلیمی گرم و معتدل در ایران است، در این پژوهش از قیر ۷۰-۶۰ که از شرکت نفت پاسارگاد خریداری‌شده استفاده‌شده است. در جدول ۲ مشخصات قیر مصرفی در این پژوهش را مشاهده می‌نمایید. فیلر مورداستفاده در این پژوهش نیز سیمان پرتلند است. کلینوپتیلولیت کانی هیدرو آلومینوسیلیکاتی با کاتیون‌های سدیم و پتاسیم می‌باشد که یک نوع زئولیت طبیعی بوده و دارای ساختار متخلخل و صفحه‌ای بوده و همچنین این منافذ و ساختار ریز دلیل نیاز فراوان آن به آب را نشان می‌دهد. خواص فیزیکی و شیمیایی این ماده در جداول ۳ و ٤ به ترتیب آورده شده است.

٤- آزمایش‌ها

در این قسمت آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های مخلوط آسفالتی به صورت خلاصه شرح داده شده است. قابل ذکر است که به منظور افزایش دقت و بررسی تکرارپذیری آزمایش‌ها برای هر نمونه سه تکرار در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. مشخصات کانی‌های سنگ‌دانه‌های مورداستفاده در این پژوهش

سنگ‌دانه	Silicon dioxide, SiO_2	R_2O_3 (Al_2O_3+Fe_2O_3)	Aluminium oxide, Al_2O_3	Ferric oxide, Fe_2O_3	Magnesium oxid MgO	Calcium oxide, CaO
سنگ‌آهک	۳/۸	۱۸	۲/۳	۰/٤	۱/۲	۵۱/۳
سیلیسی	٦۸/۱	۱٦/۲	٤/۸	۱/٤	۰/۸	۲/٤

جدول ۲. خصوصیات قیر پایه مورداستفاده در این پژوهش

ویژگی	چگالی در ۲۵ °c	درجه نفوذ	نقطه نرمی °c	شکل‌پذیری cm	درجه اشتعال °c	افت وزنی ٪	درجه خلوص ٪	ویسکوزیته mPs
استاندارد	ASTM D 70-76	ASTM D 5-73	ASTM D 36-76	ASTM D 113-79	ASTM D 92-78	ASTM D 1754-78	ASTM D 2042-76	ASTM D 2170
مقدار مجاز	–	٦۰-۷۰	٤۹-۵٦	حداقل ۱۰۰	حداقل ۲۳۲	–	–	–
قیر پایه	۱/۰۲	٦۹	۵۱	۱۱۲	۲٦۲	۷۵.	۹۹.۵	۷۷٦.

جدول ۳. خواص فیزیکی زئولیت

ماده	رنگ	قطر میانگین ذرات	چگالی ویژه	سطح مخصوص	شکل فیزیکی
زئولیت	سبز	۵۰	۲/۲	۳٤۵۰۰	پودر

جدول ٤. آنالیز شیمیایی کلینوپتیلولیت

Type	۱	۲	۳
SiO_2	٦۸/۵	٦۸	٦۸
Al_2O_3	۱۱	۱۱/۵	۱۰/۱
Na_2O	۳/۸	۱/۸	٤/۳۳
K2O	٤/٤	۱/۹	۱/٤
CaO	۰,٦	۲/۵	۱
Fe_2O_3	۰/۷	۱/۵	۲
L.O.I	۱۲ – ۱۰	۱۲/۲	۱/۹

www.SID.ir

Archive of SID

٤-١- طرح اختلاط

بنا بر استاندارد ASTM D 1559 تعداد ٦٠ نمونه مورد آزمایش قرار گرفتند.

٤-٢- آزمایش مدول برجهندگی (ITSM)

آزمایش مدول برجهندگی مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از دستگاه ناتینگهام طبق استاندارد ASTM D4123 به روش کشش غیرمستقیم در دو دمای ۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

٤-٣- آزمایش خستگی به روش کشش غیرمستقیم (ITFT)

این آزمایش با دستگاه ناتینگهام طبق استاندارد BSEN12697-2 در دو دمای ۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد با تنش ثابت ۲۵۰ کیلو پاسکال بر روی نمونه‌های پایه و اصلاح‌شده انجام‌شده است. عمر خستگی و تعداد سیکل‌های لازم برای شکست نمونه، ناشی از خستگی و تغییر شکل‌های قائم نمونه در هنگام آزمایش با سنسورهای ترانسفورماتور تفاضلی متغیر خطی، اندازه‌گیری می‌شود.

٤-٤- آزمایش خزش دینامیکی

آزمایش بارمحوری تکراری یکی از آزمایش‌های دینامیکی جهت بررسی خصوصیات شیار شدگی مخلوط‌های آسفالتی است. این آزمایش در دو دمای ٤٠،٦٠ درجه سانتی‌گراد که احتمال وقوع این خرابی بیشتر است، تحت تنش ثابت ۳۰۰ کیلو پاسکال به مدت ۱۰۰۰ سیکل بارگذاری بر اساس روش استاندارد BS DD185 انجام شد.

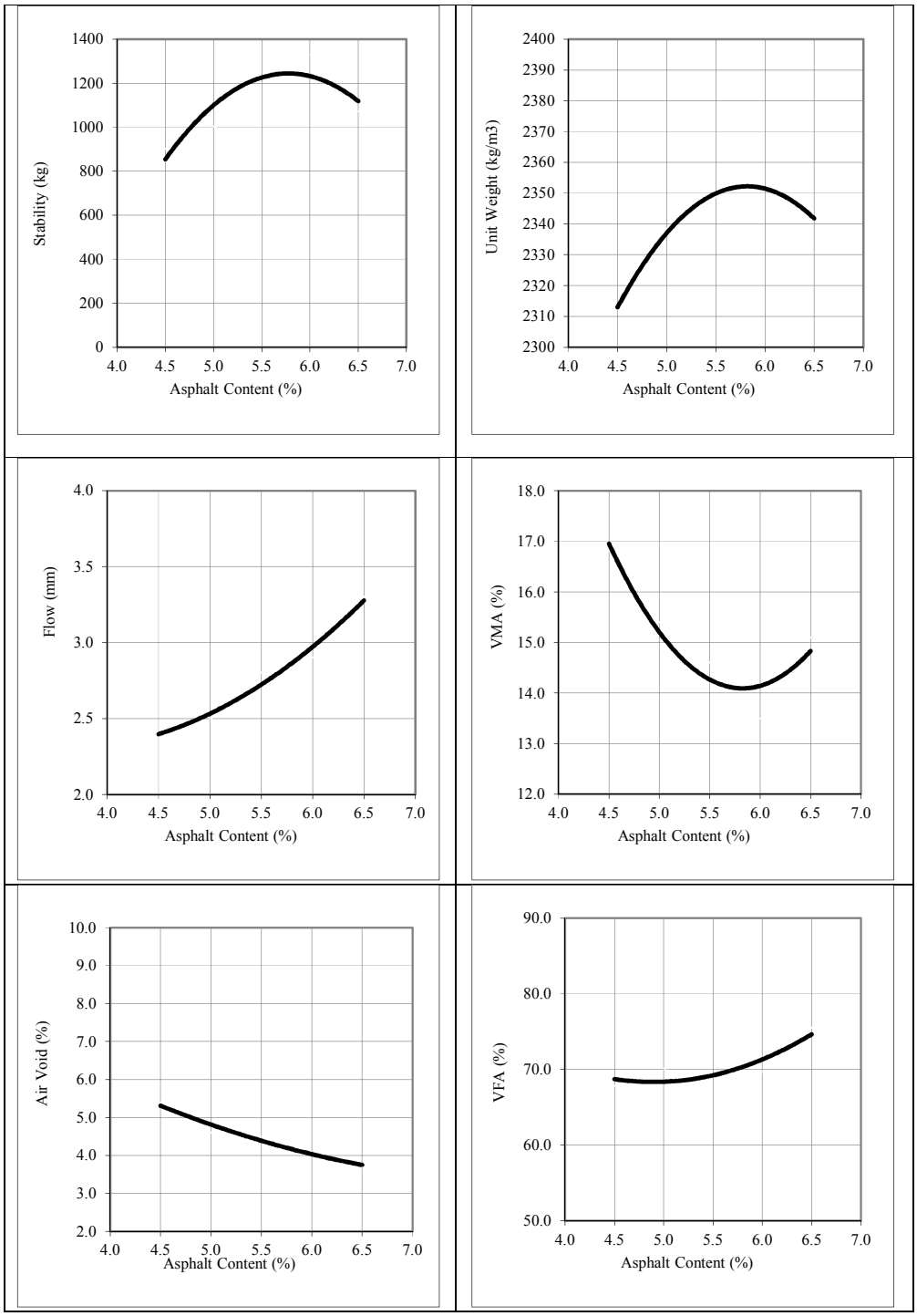
نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های مارشال

شکل‌های ۱ و ۲ نتایج آزمایش‌های مارشال را با دو نوع سنگ‌دانه آهکی و سیلیسی نشان می‌دهند. درصد قیر بهینه طبق پیشنهاد MS-2، میانگین درصد قیرهای مربوط به بیشترین استقامت مارشال، بیشترین وزن مخصوص و فضای خالی برابر با ٤ درصد می‌باشد که باید سایر پارامتر شامل درصد فضای خالی پرشده با قیر و درصد فضای خالی مصالح سنگی نیز در محدوده مجاز طبق آیین‌نامه ۲۳٤ قرار گیرند. بر این اساس، درصد قیر بهینه برای نمونه‌های سیلیسی ۵/۳ و برای نمونه‌های با سنگ‌دانه آهکی ۵/۹ درصد وزنی مصالح سنگی تعیین شد. دلیل این تفاوت را می‌توان در ساختار متخلخل‌تر سنگدانه سنگ‌آهک مورد استفاده در این پژوهش نسبت به سنگدانه سیلیسی دانست. این موضوع سبب می‌شود تا قیر جذب‌شده‌ی بیشتری در نمونه‌های ساخته شده با سنگدانه سنگ‌آهک مورد استفاده قرار گیرد و درصد قیر بهینه افزایش یابد.

www.SID.ir

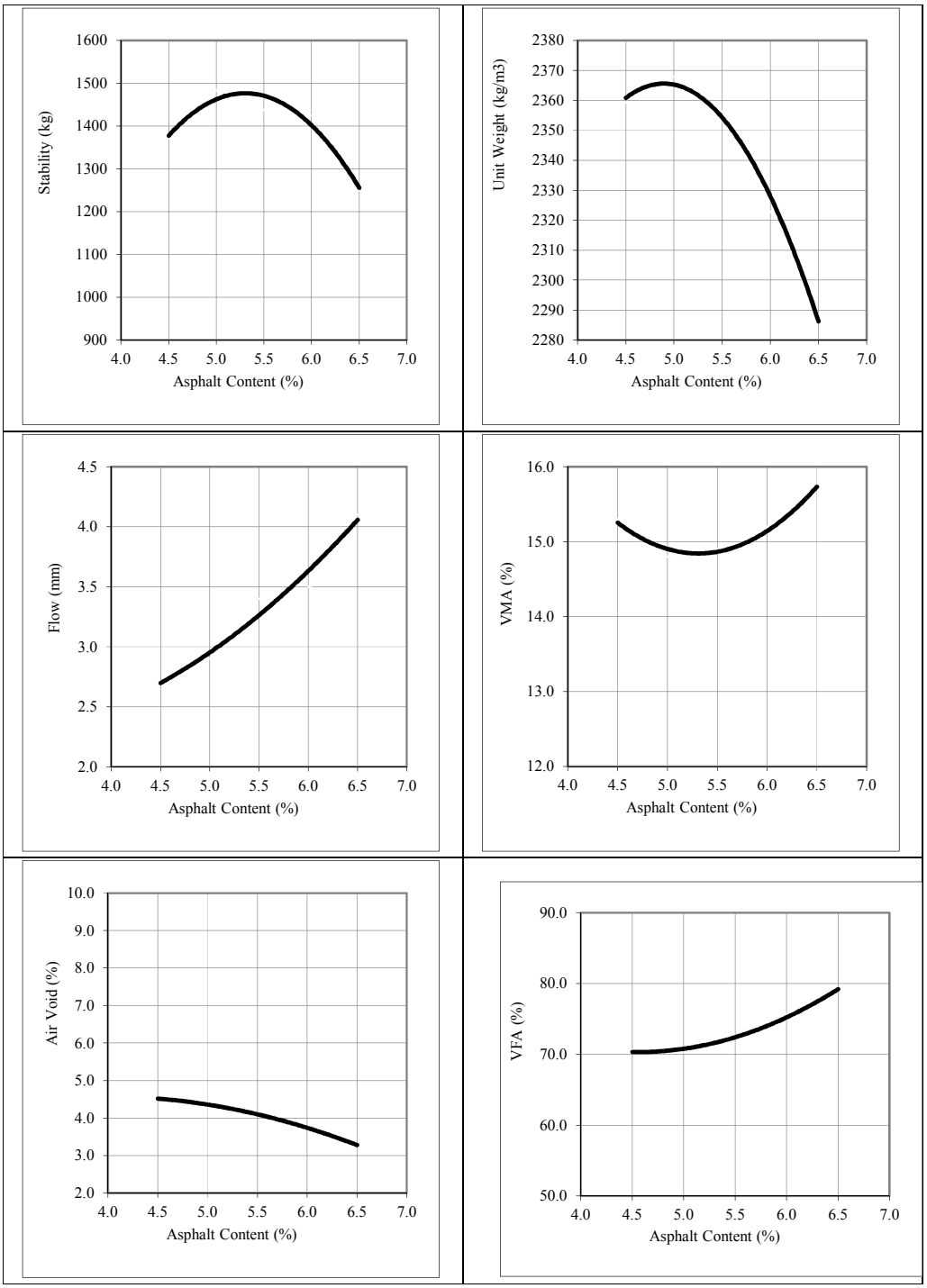
Archive of SID



شکل ۱. نمودارهای نتایج آزمایش مارشال برای نمونه‌های شاهد با سنگ‌دانه آهکی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. نمودارهای نتایج آزمایش مارشال برای نمونه‌های شاهد با سنگ‌دانه سیلیسی

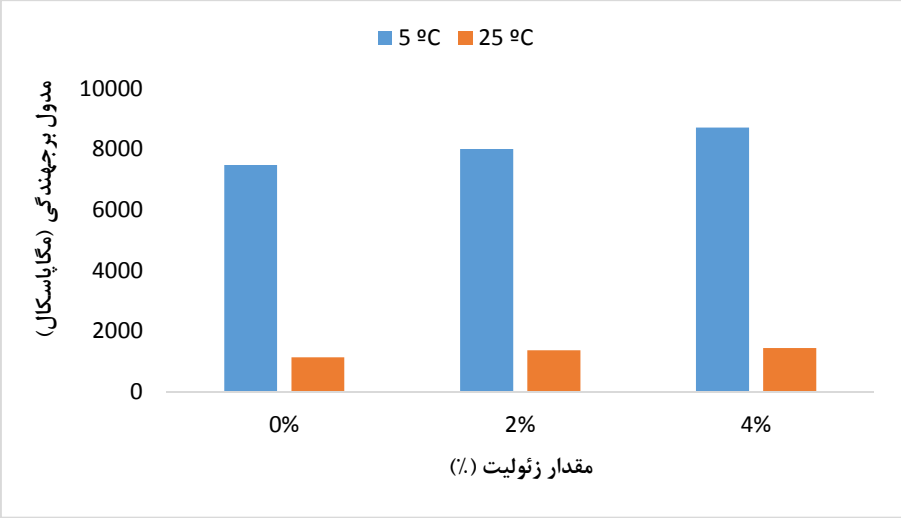
نتایج آزمایش مدول برجهندگی (ITFT)

نتایج آزمایش مدول برجهندگی نمونه‌ی آسفالتی در شکل‌های ۳ و ٤ قابل مشاهده است. وجود کلینوپتیلولیت در قیر، مدول برجهندگی نمونه‌های آسفالتی را در هر دو نوع سنگ‌دانه و در هر دو دما افزایش داده است؛ اما بیشترین مقدار افزایش در دمای ۵ درجه سانتیگراد با سنگ‌دانه آهکی حاوی ٤ درصد ماده افزودنی مشاهده می‌شود. وجود کلینوپتیلولیت در قیر سبب افزایش ویسکوزیته و سفتی قیر می‌شود. درنتیجه، خاصیت الاستیک نمونه‌ها بهبودیافته و

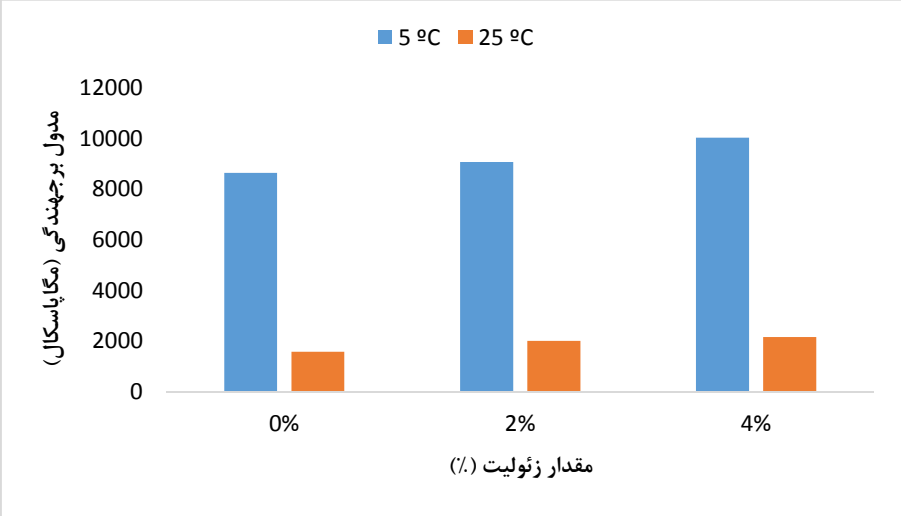
www.SID.ir

Archive of SID

توانایی تحمل تنش توسط آن‌ها را افزایش می‌دهد. ازآنج اکه تغییرات مدول برجهندگی به شدت به دما وابسته است، با افزایش دما از ۵ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد، مدول برجهندگی تمامی نمونه‌ها اگرچه کاهش‌یافته است، اما به دلیل بهبود حساسیت دمایی قیر اصلاح‌شده، کاهش و افت مدول برجهندگی در نمونه‌های اصلاح‌شده خیلی کمتر از نمونه‌های با قیر پایه است.



شکل ۳. مدول برجهندگی نمونه‌های با سنگ‌دانه سیلیسی



شکل ٤. مدول برجهندگی نمونه‌های با سنگ‌دانه آهک

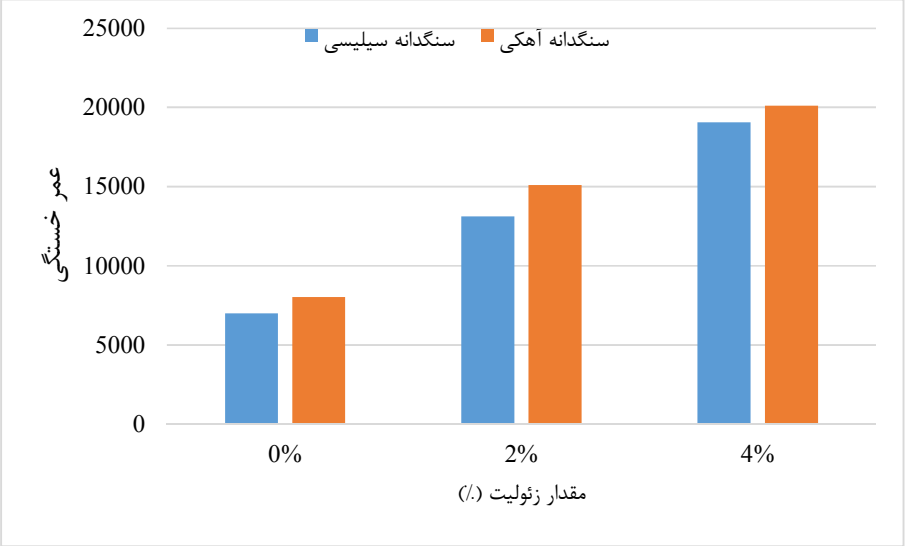
نتایج آزمایش تعیین عمر خستگی به روش کشش غیرمستقیم (ITFT)

شکل‌های ۵ و ٦ تعداد سیکل‌های منجر به شکست نمونه‌ها را نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها، نمونه‌های آسفالتی اصلاح‌شده با کلینوپتیلولیت به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای عملکرد خستگی بهتری در مقایسه با نمونه‌های آسفالتی ساده از خود بروز می‌دهند؛ زیرا در اثر اختلاط قیر با کلینوپتیلولیت و پر شدن فضاهای خالی، ذرات این ماده با زنجیره‌های قیر پیوندهای قوی ایجاد می‌کنند که باعث افزایش جذب قیر و حفظ اندود قیری و بهبود چسبندگی قیر با سنگ‌دانه می‌گردد. این چسبندگی بهتر بین قیر و سنگ‌دانه نیز باعث می‌گردد

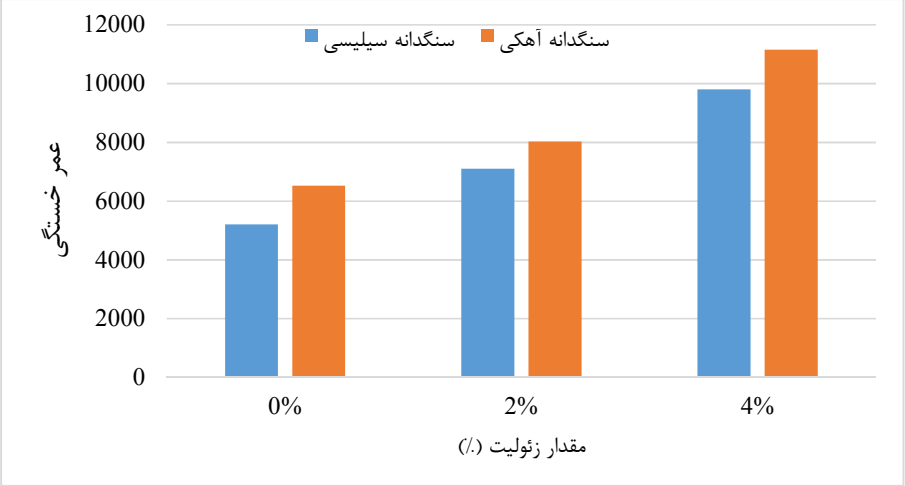
www.SID.ir

Archive of SID

که جابجایی ذرات مصالح سنگی نسبت به هم به حداقل رسیده و مقاومت در برابر جابجایی‌های برشی افزایش‌یافته و از ایجاد ترک در نمونه‌های آسفالتی جلوگیری کند. بنابراین عمر خستگی به سبب تأخیر درروند ایجاد و گسترش ترک، بهبود می‌یابد. اگرچه افزودن کلینوپتیلولیت به قیر به‌طورکلی باعث بهبود خصوصیات خستگی نمونه‌های آسفالتی گردیده است؛ اما میزان ماده و دمایی که نمونه‌های آسفالتی در آن قرار دارند نیز بر روند تغییرات خستگی تأثیرگذار است. با اضافه نمودن ٤ درصد کلینوپتیلولیت به قیر، سختی قیر به‌شدت افزایش‌یافته است. درنتیجه در آزمایش خستگی با سطح تنش ثابت، با افزایش سختی نمونه‌ها، کرنش کششی کاهش‌یافته و عمر خستگی متناظر افزایش می‌یابد؛ زیرا با افزایش مقدار ماده افزودنی، بر مقاومت خستگی نمونه‌ها افزوده می‌شود؛ اما افزودن این ماده تا حد مناسب، سبب بهبود عملکرد خستگی شده و پس‌ازآن مقدار بهینه، سختی قیر با عمر خستگی رابطه عکس پیداکرده و سختی بیش‌ازحد قیر اصلاح‌شده، منجر به شکنندگی نمونه در برابر بارهای تکرارشونده شده و تعداد سیکل‌های منجر به ترک خستگی کاهش می‌یابد.



شکل ٥. تعداد سیکل‌های خستگی در دمای ٥ °C



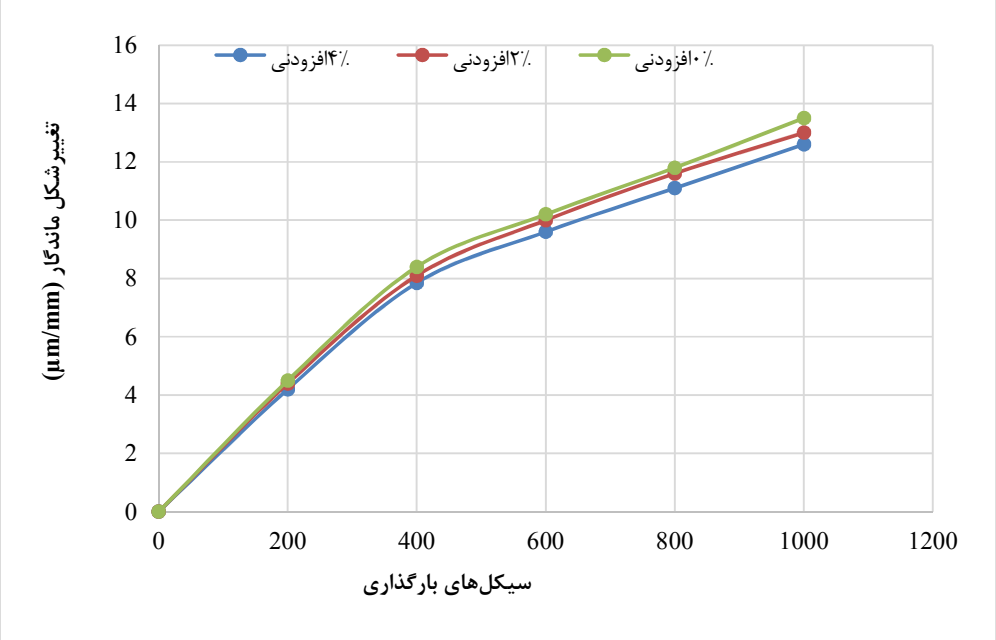
شکل ٦. تعداد سیکل‌های خستگی دمای ٢٥ °C

www.SID.ir

Archive of SID

٥-٤- نتایج آزمایش بارمحوری مکرر (RLA)

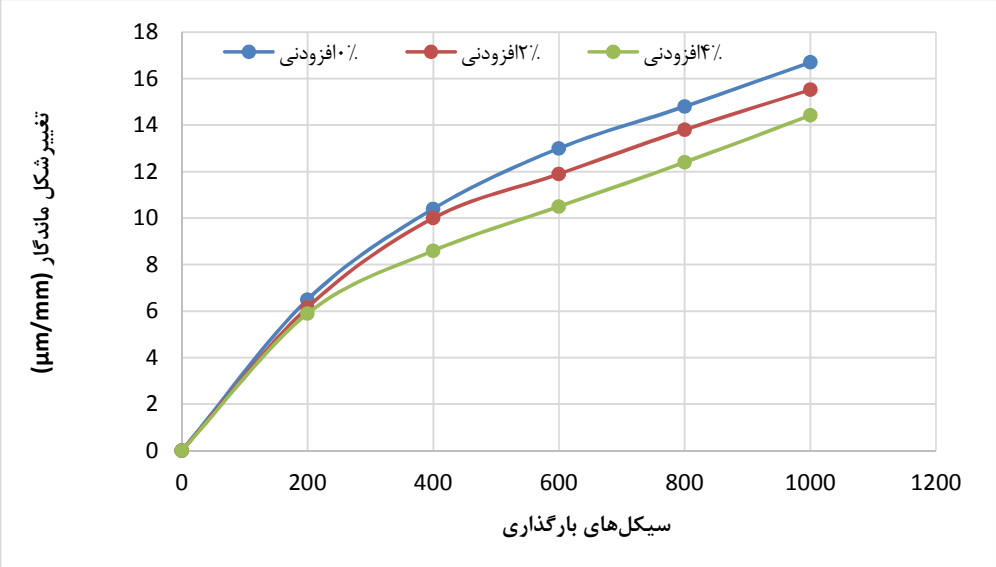
شکل‌های ۷ تا ۱۲ تعداد سیکل بارگذاری و روند تغییرات کرنش نهایی نمونه‌های آسفالتی حاوی کلینوپتیلولیت را نشان می‌دهند. هرچه میزان این کرنش در سیکل‌های بارگذاری کمتر باشد، نشان‌دهنده آن است که میزان تغییر شکل ماندگار کمتر بوده و نمونه‌ها مقاومت بیشتری در برابر شیار شدگی خواهند داشت. نتایج حاکی از آن است که نمونه‌های حاوی کلینوپتیلولیت نسبت به نمونه‌های پایه در برابر شیار شدگی، مقاومت بیشتری از خود نشان داده‌اند. دلیل اصلی این رفتار بهبود خصوصیات قیر است که باعث چسبندگی بهتر بین مصالح سنگی و قیر شده و درنتیجه مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییرشکل‌های دائمی افزایش‌یافته است. وجوه شکسته و میزان اصطکاک بین مصالح سنگی می‌تواند در مقابل شیار شدگی مقاومت نماید. درنتیجه مخلوط‌های ساخته‌شده با سنگ‌دانه آهکی به دلیل قفل‌وبست میان دانه‌ای و زاویه اصطکاک داخلی بیشتر، در مقایسه با مخلوط‌های حاوی سنگ‌دانه سیلیسی دارای عملکرد بهتری در برابر خرابی شیار شدگی می‌باشند. همچنین با افزایش کلینوپتیلولیت از ۲ به ٤ درصد از تغییر شکل دائمی نمونه‌های آسفالتی کاسته می‌شود به‌طوری‌که تا مقدار ٤ درصد یک‌روند نزولی دارد. دلیل این امر، افزایش مدول سختی در نمونه‌های اصلاح‌شده نسبت به نمونه‌های با قیر پایه است. با افزایش دما از ٤٠ به ٦٠ درجه سانتی‌گراد، پتانسیل شیارشدگی نمونه‌های آسفالتی ساده و اصلاح‌شده با هر دو نوع سنگ‌دانه افزایش می‌یابد. این روند افزایشی به دلیل حساسیت بالای قیر نسبت به تغییر درجه حرارت است؛ اما با مقایسه تمام نتایج می‌توان گفت اگرچه افزایش دما با افزایش پتانسیل شیار شدگی همراه است؛ اما این تغییر در نمونه‌های حاوی ٤ درصد کلینوپتیلولیت کمتر است.



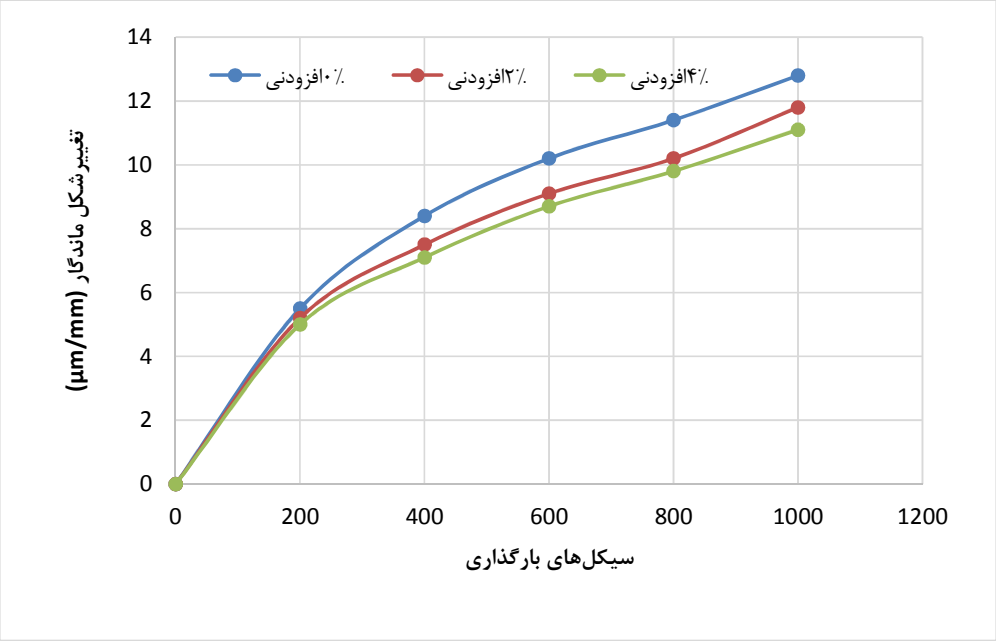
شکل ۷. تغییر شکل ماندگار در مقابل تعداد سیکل‌های بارگذاری سنگ‌دانه سیلیسی در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد

www.SID.ir

Archive of SID



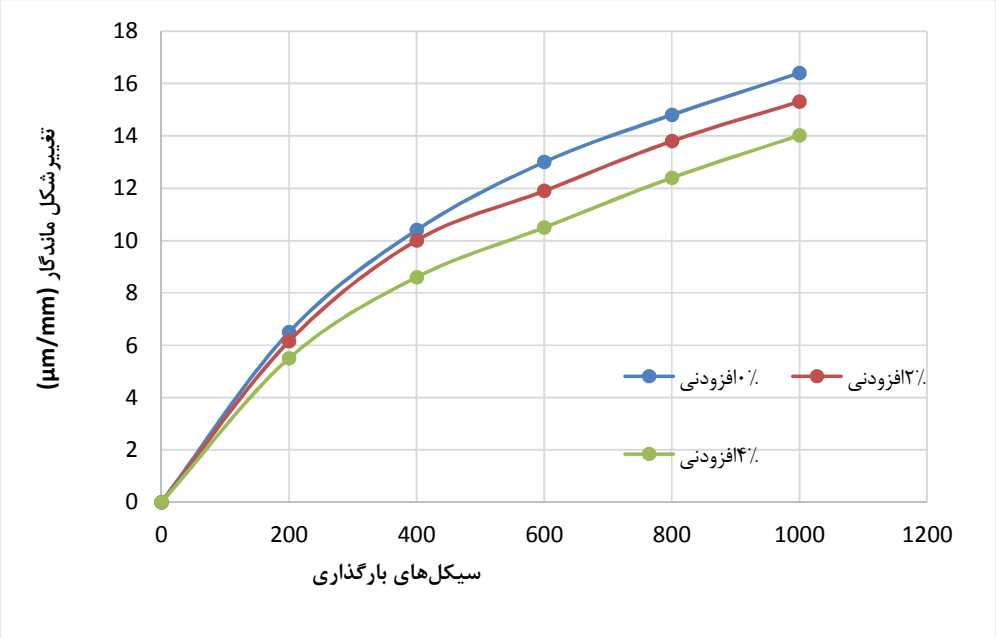
شکل ۸. تغییر شکل ماندگار سنگ‌دانه سیلیسی در مقابل تعداد سیکل‌های بارگذاری در دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد



شکل ۹. تغییر شکل ماندگار سنگ‌دانه آهکی در مقابل تعداد سیکل‌های بارگذاری در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰. تغییر شکل ماندگار سنگ‌دانه آهکی در مقابل تعداد سیکل‌های بارگذاری در دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد

٦- نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شده است تا خصوصیات رفتاری مخلوط آسفالت گرم با استفاده از زئولیت طبیعی به عنوان اصلاح کننده قیر بهبود یابد. نتایج به دست آمده در این پژوهش به شرح پیوست می‌باشد.

- مدول برجهندگی نمونه‌های اصلاح‌شده نسبت به نمونه‌های پایه افزایش‌یافته است. این تفاوت به دلیل افزایش ویسکوزیته و سختی قیر اصلاح‌شده است که باعث افزایش قفل و بست میان سنگ‌دانه‌ها شده درنتیجه خاصیت الاستیک نمونه‌ها بهبودیافته و توانایی تحمل تنش توسط آن‌ها را افزایش می‌دهد.
- در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد که قیر دارای ویسکوزیته ی بسیار بالایی است، کلینوپتیلولیت از جدا شدن قیر و سنگ‌دانه از هم جلوگیری نموده و بمانند اسکلت تشکیل‌دهنده قیر اصلاحی تنش‌های وارده را تحمل می‌نماید؛ اما با افزایش دما ارتباط بین سنگ‌دانه و قیر ضعیف می‌شود و سنگ‌دانه‌ها می‌توانند به‌راحتی بر روی‌هم بلغزند. با ضعیف شدن این رابطه مقاومت اسفالت نیز کمتر و درنتیجه مدول برجهندگی کمتری خواهد داشت.
- با افزایش دما از ۵ به ۲۵ درجه اگرچه مدول برجهندگی مخلوط‌های اسفالتی کاهش‌یافته است، اما در مقایسه با نمونه‌های پایه، به دلیل بهبود خصوصیات قیر اصلاح‌شده در برابر حساسیت به دما، از افت کمتری برخوردار بوده است.
- با افزایش کلینوپتیلولیت از ۲ به ٤ درصد مدول سختی نیز افزایش‌یافته و باعث کاهش ضخامت روسازی شده و درنتیجه در هزینه‌های احداث، صرفه‌جویی می‌شود.
- مخلوط‌های آسفالتی اصلاح‌شده با کلینوپتیلولیت به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای عملکرد خستگی بهتری در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی ساده از خود بروز می‌دهند؛ زیرا با اصلاح قیر و پر شدن فضاهای خالی، ذرات این ماده با زنجیره‌های قیر پیوندهای قوی ایجاد می‌کنند که باعث افزایش توانایی جذب قیر و حفظ اندود قیری شده و چسبندگی قیر با سنگ‌دانه را افزایش می‌دهند. این بهبود چسبندگی نیز باعث می‌گردد که جابجایی ذرات مصالح سنگی نسبت به هم به حداقل رسیده و مقاومت در برابر جابجایی‌های برشی افزایش‌یافته و از ایجاد ترک در نمونه‌های اسفالتی جلوگیری کند و عمر خستگی به سبب تأخیر درروند ایجاد و گسترش ترک بهبود یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

- با افزایش دما از میزان عمر خستگی نمونه‌های آسفالتی کاسته می‌شود. این امر به دلیل حساسیت بالای مدول ارتجاعی نمونه‌های آسفالتی نسبت به تغییرات دماست. به‌گونه‌ای که با افزایش دما و درنتیجه کاهش مدول‌ارتجاعی نمونه‌ها، کاهش عمر خستگی نمونه‌ها تحت بارگذاری سیکلی مشاهده می‌شود.
- نتایج حاصل از آزمایش خزش دینامیکی نشان می‌دهد که در تمامی دماها مخلوط‌های آسفالتی حاوی کلینوپتیلولیت دارای پتانسیل شیار شدگی کمتری در مقایسه با نمونه‌های کنترل می‌باشند؛ و با افزایش مقدار آن تا ٤٪ این روند به‌صورت نزولی ادامه دارد.
- تغییر شکل دائم نمونه‌های ساخته‌شده با سنگ‌دانه آهکی از نمونه‌های سیلیسی کمتر است زیرا وجوه شکسته و میزان اصطکاک بین سنگ‌دانه آهکی بیشتر بوده که باعث قفل و بست میان دانه‌ای و زاویه اصطکاک داخلی بیشتر می‌شود.
- با افزایش دما از ٤٠ به ٦٠ درجه سانتی‌گراد، ویسکوزیته و سختی قیر کم می‌شود و پتانسیل شیار شدگی نمونه‌های آسفالتی افزایش می‌یابد. این روند افزایشی به دلیل حساسیت بالای قیر نسبت به تغییر درجه حرارت است؛ اما با مقایسه نمونه‌های ساده و اصلاح‌شده می‌توان گفت، اگرچه افزایش دما با افزایش پتانسیل شیار شدگی همراه است؛ اما این تغییر در نمونه‌های حاوی ٤ درصد کلینوپتیلولیت کمتر است.

٦- مراجع

-طاهرخانی، ح.، و کاظمی‌ثانی فریمانی، ب.، (١٣٩٤)، "بررسی آزمایشگاهی اثر استفاده از الیاف کربن و نایلون بر عملکرد بتن اسفالتی"، مهندسی حمل‌ونقل، سال ٦، شماره ٤.

-کاووسی، الف.، و بختیاری، ج.، (١٣٩٢)، "بررسی تأثیرات دما و فیلر آهک هیدراته در مقاومت شیار شدگی مخلوط‌های اسفالتی"، مهندسی حمل‌ونقل، سال پنجم، شماره اول.

-منصور خاکی، ع. صارم، س. و جاویدسیاح، س.، (١٣٩٣)، "بررسی اثر افزودن زئولیت به قیر برای کاربرد در دماهای پایین"، پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، ارومیه، انجمن علمی دانشجویی عمران دانشگاه ارومیه.

-نصراله پور، م. ذوقی، ح. خلیل‌زاده، م.ع.، و عباس زاده، ع.ر.، (١٣٩٥)، "بررسی تاثیر زیولیت طبیعی کلینوپتیلولیت به عنوان فیلر در عملکرد آسفالت"، دومین کنفرانس منطقه‌ای مهندسی عمران، قایمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قایمشهر.

-Barros, C., and Lai, B., and Yin, M.H., (2016), "Multiphase Rheological Characterization and modeling of Zeolite Modified Asphalt Binders",

-Brown, E.R., (1999), "Designing stone matrix asphalt mixtures for rut-resistant pavements". Transportation Research Board.

-Ghaffarpour, J. S., Ahmadi, N., Vossough, S., & Khodaii, A. (2012), "Effect Of Nanoclay And Precipitated Calcium Carbonate To Improve Rheological Properties Of Bitumen Binder".

-Huang, Y.H.,(1993), "Pavement analysis and design".

-Lewandowski, L. H. (1994), "Polymer modification of paving asphalt binders". Rubber Chemistry and Technology, 67(3), pp.447-480.

-Özen, H. (2011), "Rutting evaluation of hydrated lime and SBS modified asphalt mixtures for laboratory and field compacted samples". Construction and Building Materials, 25(2), pp.756-765.

-Sengul, C.E., Aksoy, S., Iskender, E. and Ozen, H. (2012), "Hydrated lime treatment of asphalt concrete to increase permanent deformation resistance", Construction and Building Materials,30, pp. 139-148.

.

www.SID.ir