Archive of SID

مجله علمی – پژوهشی
عمران مدرس
دوره شانزدهم، شماره ۳، شهریور ۱۳۹۵

بررسی اثر افزودنی‌های گوگرد پلیمری و پودرلاستیک در مقاومت عریان‌شدگی مخلوط‌های آسفالتی

امیر کاووسی*[۱]، مهدی آذرنیا[۲]، حسن تقوی زواره[۳]

۱–دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس
۲–دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
۳– دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

kavussia@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۱۲/۲٤] تاریخ پذیرش: [۱۳۹٤/۱۰/۲۷]

چکیده– گوگرد از سال‌ها قبل به عنوان یکی از افزودنی‌های مقاومتی آسفالت استفاده شده، اما به دلایل زیست محیطی و ایجاد سختی بیش از حد در آسفالت کمتر استفاده شده است. در سال‌های اخیر با گسترش تولید پلیمر، به کارگیری برخی از پلیمرها در تولید محصول گوگردپلیمری قرار گرفت. اما به دلایل محدودیت امکان کاربرد پلیمر هنوز این آسفالت‌ها شکنندگی بالایی دارند. نتایج پژوهش‌های گذشته بیانگر عملکرد بهتر روش تر نسبت به روش خشک است. کاهش هزینه تولید، پوشش بهتر سنگدانه‌ها، انعطاف‌پذیری بیشتر و افزایش مقاومت مخلوط آسفالتی برخی از ویژگی‌های استفاده از پودرلاستیک در مخلوط آسفالتی است.
در این پژوهش به ارزیابی نقش درصدهای مختلف گوگردپلیمری (۳۰،٤۰ و ۵۰ درصد) و پودرلاستیک (۱٦،۱۸و۲۰ درصد) به تفکیک و همچنین بررسی تاثیر ترکیب این دو افزودنی بر حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی پرداخته شده است. با استفاده از آزمایش لاتمن اصلاح شده (AASHTO -T283) مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها در شرایط اشباع و خشک به دست آمده و با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش درصد گوگردپلیمری منجر به افزایش حساسیت رطوبتی شده و استفاده از پودرلاستیک، افزایش مقاومت کششی و کاهش حساسیت رطوبتی را به همراه دارد. بررسی تاثیرات ترکیب این دو افزودنی در این پژوهش نشان داد که استفاده از ۱٦ درصد پودرلاستیک در ترکیب با ٤۰ یا ۵۰ درصد گوگردپلیمری به مخلوط منجر به آن شد که مقدار TSR مخلوط کمتر از ۸۰ درصد شود و در سایر نسبت‌های ترکیب این دو افزودنی مقدار TSR بیش از ۸۰ درصد است.

واژگان کلیدی: آسفالت، گوگردپلیمری، پودرلاستیک، حساسیت رطوبتی، مقاومت کششی غیرمستقیم

۱– مقدمه

حساسیت رطوبتی آسفالت که موجب بروز خرابی عریان‌شدگی در آسفالت می‌شود معمولاً به دلیل، کاهش چسبندگی بین بخش چسباننده (ترکیب قیر و فیلر) و سطح سنگدانه‌ها حادث می‌شود [۱]. کاهش چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی، تکرار بارهای ترافیکی و نفوذ رطوبت به درون لایه‌های آسفالتی در زمان بهره‌برداری همگی می‌توانند منجر به کاهش مقاومت چسبندگی مخلوط آسفالتی شوند [۲].

عریان‌شدگی یک خرابی پیچیده است که خواص مصالح سنگی (ویژگیهای فیزیکی، ترکیب، وجود گرد و غبار، مقدار ناخالصی‌های رسی) و قیر (ترکیب شیمیایی، درجه‌ی نفوذ، سختی، منبع نفت خام و چگونگی پالایش) تأثیر زیادی بر وقوع این پدیده دارند. طبق مطالعات مختلف، سازوکارهای متفاوتی باعث به وجود آمدن خرابی عریان‌شدگی در مخلوط‌های آسفالتی می‌شود که عبارتند از: انفصال، جابه‌جایی، تعلیق خودبه‌خودی، فشار منفذی، آب شستگی، گسیختگی لایه‌ی نازک قیر و آثار محیطی. وقوع ترکیبی از این فرآیندها موجب ایجاد خرابی در روسازی آسفالتی می‌شود [۳]. حساسیت رطوبتی می‌تواند مقدمه‌ای برای ایجاد خرابی‌هایی از قبیل ترک‌خوردگی، شن‌زدگی و به ویژه شیارشدگی باشد. براساس مطالعه‌های صورت گرفته مشخص شده است که آثار مخرب رطوبت، منجر به کاهش مدول آسفالت تا حدود ۲۵ درصد، افزایش شیارشدگی تا حدود ٦۰ درصد و نیز افزایش خرابی‌های ناشی از خستگی تا حدود ۳۰ درصد می‌شود [٤]. در سال‌های گذشته برای کاهش این خرابی از افزودنی‌هایی مانند آهک هیدراته، سیمان، آمین‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

و مواد پلیمری استفاده شده است. با توجه به مشکلات زیست محیطی انباشت گوگرد و لاستیک‌های ضایعاتی و هزینه کم تولید گوگرد و پودرلاستیک، استفاده از این دو ماده به عنوان مواد افزودنی بهبوددهنده خواص قیر و مخلوط آسفالتی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. نتایج گزارش‌های آنها نشان‌دهنده بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی مخلوط آسفالتی است. استفاده از پودرلاستیک به عنوان اصلاح‌کننده در مخلوط‌های آسفالتی از سال ۱۸٤۰ با معرفی لاستیک خام شروع شد و هدف از ترکیب پودرلاستیک با قیرهای خالص، اصلاح رفتار مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی و کاهش آلودگی زیست‌محیطی بود [۵]. در دهه ۱۹٦۰ در سوئد استفاده از پودرلاستیک به عنوان جایگزین بخشی از مصالح سنگی برای مقابله با خرابی‌های آسفالت در شرایط آب‌وهوای سرد آغاز شد که به روش خشک معروف است. همزمان در آمریکا روشی ابداع شد که در آن قیر و پودرلاستیک ابتدا به مدت ٤۵ تا ٦۰ دقیقه در دمای بالا ترکیب می‌شوند که به روش تر معروف است [٦]. در دهه‌های اخیر رویکردهای مختلفی برای استفاده از پودرلاستیک به عنوان اصلاح‌کننده پدید آمد که اکنون به روش‌های خشک و روش تر دسته‌بندی می‌شوند [۷]. نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در دهه‌های اخیر به بهبود خرابی‌های ترک‌خوردگی، خستگی، شیارشدگی، افزایش ویسکوزیته و افزایش چسبندگی قیر به مصالح سنگی اشاره دارد [۸ و ۹].

استفاده از گوگرد نیز به منظور بهبودکیفیت آسفالت از سال‌ها قبل (سال ۱۹۷۰ میلادی به بعد) به وسیله‌ی شرکت‌های بزرگ نفتی همچون شرکت شل شناخته شده بود [۱۰]. ساخت قطعات آزمایشی آسفالت گوگردی در دهه ۸۰ رو به کاهش نهاد، ولی اواخر دهه ۹۰ به دلیل تغییر نسبی در قیمت گوگرد و قیر، ساخت آسفالت گوگردی توجیه اقتصادی یافته و تمایل به ساخت آسفالت گوگردی افزایش یافت. مشکل بزرگ استفاده گوگرد، متصاعد شدن گاز سولفید هیدروژن (H_2S) حین فرآیند اختلاط و پخش مخلوط آسفالتی بود که مانع از به کارگیری گسترده این افزونی در صنعت روسازی شد [۱۱]. ایده برطرف سازی این مشکل مبنای مطالعه و پژوهش‌های گسترده درزمینه ایجاد تغییر وضعیت گوگرد وتبدیل آن به مواد ترکیب شده از گوگرد با افزودنی‌های خاص شد، به طوری‌که استفاده ازآن عاری از هرگونه بخارهای مضر است. محصول گوگرد پلیمری به عنوان افزودنی اصلاح‌کننده آسفالت کاربرد داشته و می‌تواند به نسبت های توصیه شده در ترکیب آسفالت به جای قیر جایگزین شود. آثار مستقیم این افزودنی‌ها در آسفالت، بالا بردن مقاومت آسفالت، افزایش سختی مخلوط، کاهش شیارشدگی، صرفه‌جویی در مصرف قیر و انرژی و کاهش هزینه‌ها است [۱۲].

مطالعات نشان داده که افزودن گوگرد گرچه موجب افزایش کیفیت آسفالت در مقابل خرابی‌هایی مانند شیارشدگی می‌شود اما مقاومت-های کششی خشک و مرطوب آسفالت را افزایش نمی‌دهد. در این راستا مقاومت مرطوب مخلوط نسبت به مقاومت خشک آن بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. پژوهش‌های اندکی در مورد استفاده از گوگردپلیمری و حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی حاوی آن صورت گرفته و نمونه بررسی انجام گرفته نشان می‌دهد که این ماده کاهش عریان‌شدگی و شیارشدگی مخلوط آسفالتی را به همراه دارد.

۲- مواد و آزمایش‌ها

۲-۱- مشخصات مصالح سنگی و قیر خالص مورد استفاده

مصالح سنگی استفاده شده در این پژوهش، از نوع مصالح آهکی استان یزد انتخاب و قیر مورد نیاز نیز از نوع قیر خالص ۷۰ – ٦۰ پالایشگاه اصفهان بود. نتیجه آنالیز شیمیایی فیلر مصالح سنگی در جدول ۱ آورده شده است. در شکل (۱) دانه‌بندی مخلوط انتخاب شده و محدوده دانه‌بندی شماره ٤ نشریه ۲۳٤ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی نشان داده شده است. نتیجه آزمایش‌های صورت گرفته روی مصالح سنگی و قیر خالص مورد استفاده نیز در جدول‌های ۱ تا ٤ آورده شده است. نتایج XRF (X-ray fluorescence spectrum) مصالح حاکی از آن است که درصد سیلیس مصالح ناچیز بوده و بالعکس درصد کلسیم اکسید آن زیاد است (٤۵/۱۳٪). به این دلیل شاید بتوان این مصالح را در رده مصالح آهکی دسته‌بندی نمود. شکل (۲) طیف مربوط به کلسیم‌کربنات و سیلیسیم مصالح سنگی را نشان می‌دهد. در جدول ۱، افت وزنی نشان دهنده مواد فراری هست که در نمونه وجود دارد ولی در وزن نمونه برای انجام آزمایش XRF محاسبه نمی‌شود. با قرار دادن نمونه در کوره با دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مقدار این مواد مشخص می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- نتایج آزمایش XRF فیلر مصالح سنگی استفاده شده

Percent loss against temperature	SO_3	Sr	P_2O_5	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	Fe_2O	Al_2O_3	SiO_2	Elements
44	۰/۳۹۸	۰/۰۳۳	۰/۱۲۷	۱/۹۸٤	۰/۲۷۷	۰/٦٤۹	٤٥/۱۳	۰/٥۸۷	۱/۷٥۷	۷/۰٤۳	(٪)

Table 1: XRF testing results of the selected aggregates

جدول ۲- وزن مخصوص مصالح سنگی منتخب

Characteristics	Apparent specific gravity(g/cm^3)	Bulk specific gravity (g/cm^3)	Absorption
Aggregate retained on sieve #8	۲/٦۹۱	۲/٦٤۸	۰/٦
Aggregate passed sieve #8 & retained on sieve #200	۲/۷۱۷	۲/٦۳۳	۱/۲
Aggregate passed sieve #200	2/712		
Aggregate Bulk specific gravity G_{sb} (g/cm^3)	2/464		

Table 2: Physical characteristics of selected aggregates

جدول ۳- مشخصات مصالح سنگی استفاده شده

Test	Method	Specification limits	Result
Penetration at 25°C (0.1 mm)	ASTM D5	60/70	64.5
Softening point (°C)	ASTM D36	49-56	49
Ductility at 25°C (cm)	ASTM D113	100	100
Specific gravity at 25°C (gr/cm^3)	ASTM D3289	-	1.018

Table 3:Characteristics of bitumen used in the study

جدول ٤- نتایج آزمایش‌های قیر خالص مورد استفاده

نوع آزمایش	استاندارد آزمایش	محدوده‌ی آیین نامه		نتیجه‌ی آزمایش
		کمینه	بیشینه	
درجه نفوذ (۰/۱۰ میلی‌متر)	ASTM D5	٦۰	۷۰	٦٤,٥
نقطه نرمی قیر (درجه سانتی‌گراد)	ASTM D36	٤۹	٥٦	٤۹
قابلیت کشسانی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد (سانتی‌متر)	ASTM D113	۱۰۰	–	+۱۰۰
وزن مخصوص قیر (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ASTM D3289	–	–	۱/۰۱۸

Table 4: Characteristics of bitumen used in the study

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱- نمودار دانه‌بندی مصالح سنگی

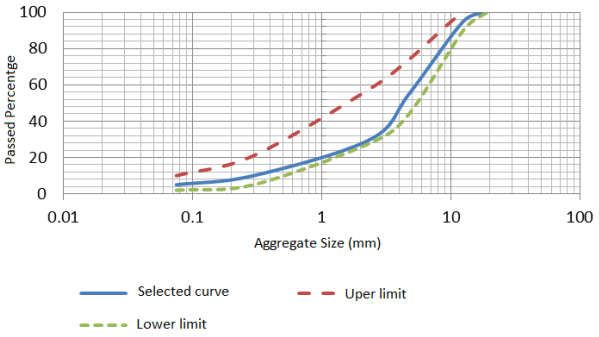
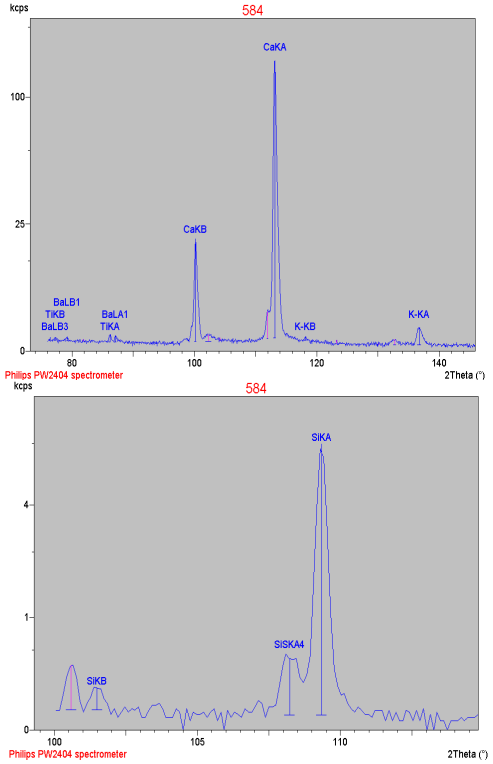


Fig 1: Grading curve of aggregates

شکل ۲- طیف XRF کلسیم کربنات و سیلیسیم مصالح سنگی



B- Cao Spectrum A- Sio_2 Spectrum

Fig 2: CaO and SiO_2 of aggregates based on XRF spectrum

۲-۲- پودر لاستیک

پودرلاستیک استفاده شده در این پژوهش از کارخانه یزد و از تایرهای ضایعاتی خودروهای سواری و خودروهای سنگین بوده و از فرآیند خرد کردن در دمای محیط تولید شده است. این محصول در مقایسه با نوع تهیه‌شده با روش برودتی دارای ذرات با شکل نامنظم و سطح زبر است که با قیر بهتر واکنش داده و قیرلاستیکی تهیه‌شده دارای ویژگیهای بهتری است [۱٤]. میزان براده آهن و میزان رطوبت موجود در آن مطابق استانداردهای فنی گزارش شده به وسیله‌ی مراکز پژوهشی قیر و آسفالت بوده و به ترتیب کمتر از ۰/۱ و ۰/۷۵ درصد وزنی است. در شکل ۳ دانه‌بندی پودرلاستیک استفاده شده را نشان داده است .

شکل۳- نمودار دانه‌بندی پودرلاستیک استفاده شده

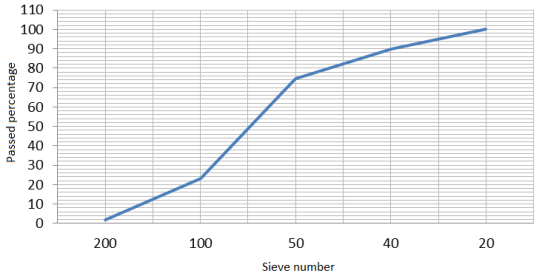


Fig. 3: Grading curve of the crumb rubber used

جدول ۵- نتایج آزمایش‌های قیر اصلاح‌شده با پودرلاستیک

Sample / Test	Penetration (0.1 mm)	Softening point (°C)	Ductility at 25°C (cm)	Specific gravity (g/cm^3)
AC+16% CR	۵۸/۷	۵۹	۱٤/۵	۱/۱
AC+18% CR	۵۳/۵	٦۳	۱۲/٤	۱/۱۳
AC+20% CR	٤٦	٦۷	۱۱	۱/۱۸

Table 5: Results of bitumen binder modified with crumb rubber

۲-۳- قیر اصلاح‌شده با پودرلاستیک

قیرلاستیکی استفاده شده در این پژوهش به روش تر تهیه شده است. مطابق استاندارد "ASTM D8" قیر لاستیکی به صورت ترکیبی از قیر، پودرلاستیک، روغن‌های روان‌کننده و مواد افزودنی خاص است که باید در دما و طول زمان کافی باهم اختلاط یافته و واکنش دهند. واکنش بین قیر و پودرلاستیک شامل متورم شدن ذرات پودرلاستیک، تغییرات فیزیکی روغن‌های روان‌کننده، شکست بین پودرلاستیک و قیر، واکنش شیمیایی و ایجاد پیوند عرضی است. این موارد منتج به ایجاد ژل قیرلاستیکی شده و مجموعه واکنش‌ها بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی را به همراه خواهد داشت [۱۵]. ویژگی‌های قیر لاستیکی به فرآیند تهیه پودر لاستیک، اندازه پودرلاستیک، نوع قیر و شرایط واکنش بستگی دارد [۹]. پژوهش‌های اخیر درمورد نقش ویژگی‌های پودرلاستیک نشان می‌دهد که پودرلاستیک تهیه‌شده به روش خردکردن در دمای محیط نسبت به محصول تهیه‌شده با روش برودتی [۱٦]، همچنین استفاده از دانه‌بندی ریزتر و میزان لاستیک طبیعی بیشتر نسبت به لاستیک سنتتیک با قیر بهتر واکنش داده و قیرلاستیکی تهیه شده دارای ویژگی‌های مهندسی برتری است [۱۷].

www.SID.ir

Archive of SID

برای تهیه قیر لاستیکی از دستگاه مخلوط‌کن برشی سریع ساخته‌شده در مرکز تحقیقات روسازی دانشگاه تربیت مدرس استفاده شده است. قیر و پودرلاستیک به مدت ٦٠ دقیقه، با سرعت چرخشی ۵۰۰۰ دور در دقیقه و شرایط کنترل دمایی ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد در دستگاه مخلوط‌کن با هم ترکیب شدند. دلیل بالا بودن زمان واکنش، سطح ویژه زیاد و شکل نامنظم پودر لاستیک است [۱۷]. نتایج آزمایش‌های قیر اصلاح‌شده با پودر لاستیک در جدول ۵ آورده شده است.

۳- طرح اختلاط

برای تعیین درصد قیر بهینه مخلوط‌ها، نمونه‌های مارشال مطابق روش استاندارد "ASTM D1559" ساخته شدند. درجه حرارت در زمان‌های اختلاط و تراکم مخلوط آسفالتی شاهد و مخلوط اصلاح‌شده با گوگردپلیمری به ترتیب ۱۵۰ و ۱٤۰ درجه سانتی‌گراد قرارگرفتند. برای نمونه‌های اصلاح شده با قیرلاستیکی به دلیل ویسکوزیته بیشتر قیرلاستیکی دمای اختلاط و تراکم به ترتیب ۱۷۵ و ۱٦۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب شدند. برای سنجش مقایسه‌ای نتایج نمونه‌های آزمون کشش غیرمستقیم، درصد قیر یکسان ۳، و٤ درصد برای ساخت همه‌ی نمونه‌ها در نظر گرفته شد. سپس با توجه به رابطه‌ی ۱، درصد قیر گوگردپلیمری مورد نیاز برای ساخت نمونه‌های آسفالت گوگردپلیمری و آسفالت گوگردپلیمری- لاستیکی به دست آمد. در این رابطه فرض بر این است که با جایگزین شدن بخشی از قیر با گوگردپلیمری پارامترهای حجمی مخلوط تغییر نکند [۱۱ و ۱۸]. برای تهیه مخلوط آسفالتی، ابتدا گوگردپلیمری به روش خشک و سپس قیر اصلاح‌شده با پودرلاستیک (روش تر) به مجموعه مصالح‌سنگی و گوگردپلیمری اضافه شود.

(۱)

$$P_{SA} = \frac{۱۰۰۰۰A.R}{۱۰۰۰۰R-۱۰۰P_S(R-۱)+A.P_S(R-۱)}$$

در این رابطه:

P_{SA} = درصد قیرمکمل گوگردی.

A = درصد قیربهینه (که از طرح اختلاط مارشال به دست آمده است).

R = نسبت وزن مخصوص گوگردپلیمری به قیر.

P_S = درصد وزنی گوگردپلیمری در ماده چسباننده (قیر و گوگرد).

٤- آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم

آزمایش‌های گوناگونی برای ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی صورت می‌گیرد اما توافق و نظر جامعی در مورد بهترین آزمایش وجود ندارد. با وجود روش‌های آزمایش مرسوم همچون مارشال، آب جوشان و کشش غیرمستقیم، پژوهشگران و موسسه‌های پژوهشی، آزمایش کشش غیرمستقیم مطابق با آیین‌نامه "AASHTO-T283" را بیشتر مورد تایید قرار می‌دهند [۱۹]. آزمایش کشش غیرمستقیم (ITS[1]) به وسیله تیغه بارگذاری استاندارد و با سرعت بارگذاری ۵۱ mm/min انجام شد. در این آزمایش، نمونه استوانه‌ای شکل آسفالتی تحت بارگذاری فشاری وارد بر سطح جانبی نمونه قرار می‌گیرد. این گونه بارگذاری باعث ایجاد تنش کششی نسبتاً یکنواختی در امتداد قطر بارگذاری نمونه آسفالتی و شکسته شدن آن در امتداد این قطر می‌شود. برای محاسبه مقاومت کششی غیرمستقیم از رابطه ۲ استفاده می شود:

$$ITS = {}^{2000P}/_{\pi DT} \qquad (۲)$$

دراین رابطه:

P= بیشینه بار وارد شده برحسب نیوتن.

T = ضخامت نمونه برحسب میلی‌متر.

D = قطرنمونه برحسب میلی‌متر.

۵- نتایج آزمایش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر همزمان افزودنی گوگردپلیمری و قیرلاستیکی بر عریان شدگی مخلوط‌های آسفالتی، از افزودنی گوگرد پلیمری در مقادیر ۳۰، ٤۰ و۵۰ درصد وزن حجمی قیر و ۱٦، ۱۸ و ۲۰ درصد پودرلاستیک استفاده شد. اگرچه افزودن گوگردپلیمری به مخلوط آسفالتی با روش‌های گوناگونی امکان‌پذیر است، در این پژوهش از روش اختلاط خشک برای افزودن گوگردپلیمری استفاده شد.

با توجه به نتایج آزمایش مارشال و پس از دستیابی به درصد قیر بهینه، نمونه‌هایی برای ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از آزمایش کشش غیرمستقیم، بر اساس استاندارد AASHTO "T283" تهیه شدند. از حاصل تقسیم مقادیر مقاومت کششی نمونه‌های اشباع به نمونه‌های خشک، نسبت TSR به دست می‌آید که

1 Indirect Tensile Strength

www.SID.ir

Archive of SID

شاخصی مؤثر برای ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی است. طبق استاندارد "AASHTO T283" این نسبت نباید کمتر از ۸۰ درصد باشد. نتایج کامل آزمایش کشش غیرمستقیم در شکل‌های ٤ تا ۸ ارائه شده است.

شکل ٤- نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم و پارامتر TSR مخلوط آسفالتی حاوی گوگرد پلیمری

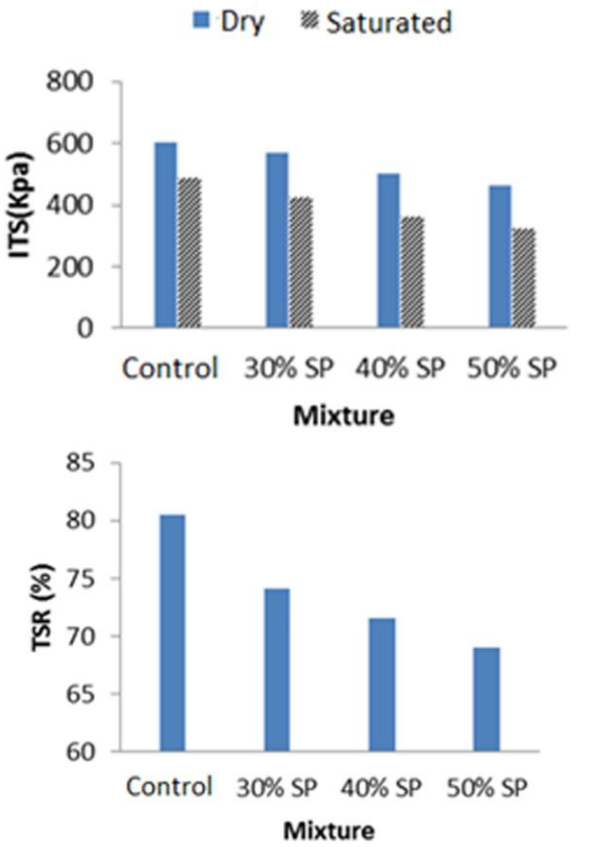
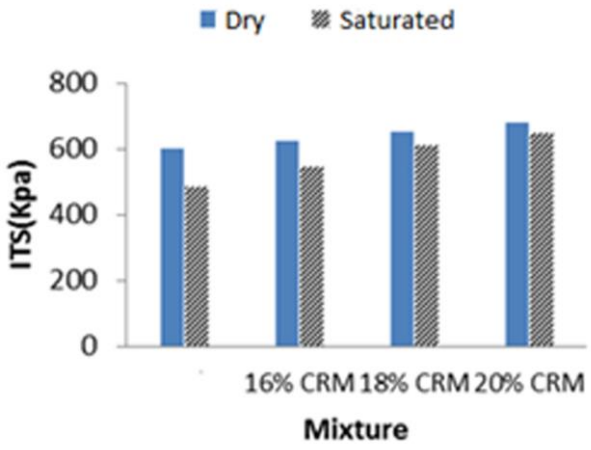


Fig. 4: ITS and TSR results of sulfur polymer (Googas) modified asphalt mixes

شکل ٥- نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم و پارامتر TSR مخلوط آسفالتی اصلاح شده با قیرلاستیکی



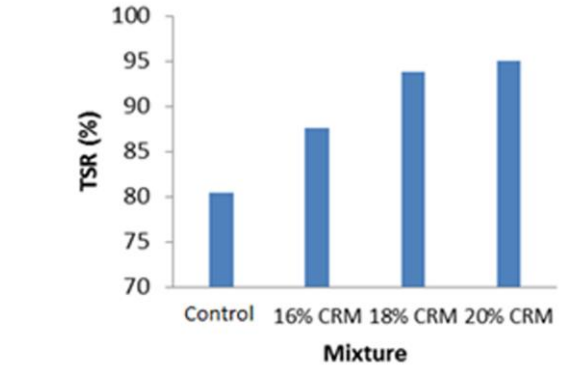


Fig. 5: ITS and TSR results of asphalt mixes containing crumb rubber modified bitumen

شکل ٦- نتایج TSR مخلوط‌های آسفالتی حاوی درصدهای مختلف گوگردپلیمری و پودرلاستیک

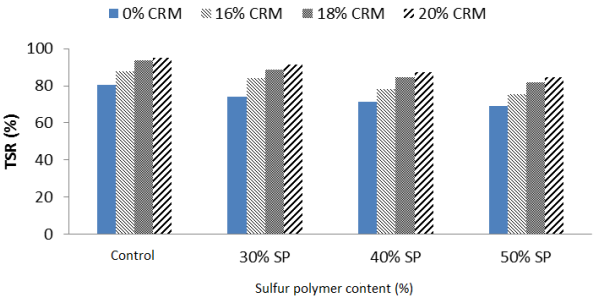
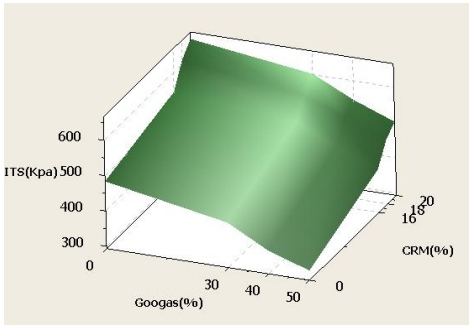
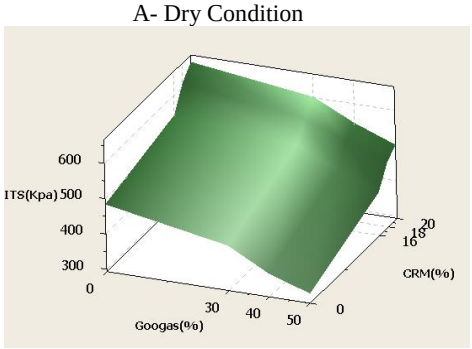


Fig. 6: TSR results of asphalt mixes containing different percentages of sulfur polymer (Googas) and crumb rubber

شکل ۷- نمودار نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم حاوی درصدهای مختلف گوگردپلیمری و پودرلاستیک



A- Dry Condition



B- Saturated Condition

Fig. 7: ITS results of asphalt mixes containing different percentage of sulfur polymer (Googas) and crumb rubber

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۸- منحنی میزان پارامتر TSR در مقابل درصد گوگردپلیمری و پودرلاستیک

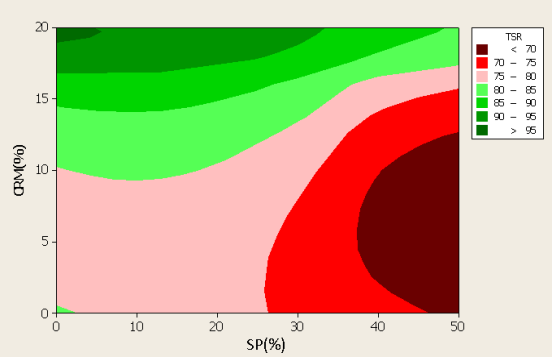


Fig. 8: Contour plot of TSR parameter against sulfur polymer and crumb rubber

٦- تحلیل نتایج

نتایج به دست آمده را می‌توان به تفکیک نوع مخلوط و آزمایش انجام شده به شرح زیر مورد تجزیه و تحلیل قرار داد:

۶-۱- مخلوط‌های حاوی گوگردپلیمری

۶-۱-۱- مقاومت کششی غیرمستقیم خشک

نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم در شکل ٤ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که افزودن گوگردپلیمری موجب کاهش مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط آسفالتی می‌شود. با افزایش درصد گوگردپلیمری میزان کاهش مقاومت محسوس‌تر است به‌گونه‌ای که دربین نمونه‌ها کمترین مقاومت مربوط به نمونه حاوی ۵۰ درصد گوگردپلیمری با kPa ٤٦٥ مقاومت است. علت این کاهش، جایگزینی درصدی از قیر با گوگردپلیمری است که در مخلوط حل نشده و به صورت کریستال باقی می‌ماند. بدیهی است که در این شرایط این ماده نقش چسبانندگی و ویسکوز خود را از دست داده و مانع از چسبندگی خوب قیر به مصالح سنگی می‌شود. عامل دیگر این کاهش می‌تواند سختشدگی بیش از حد نمونه‌های آسفالتی و مستعدشدن مخلوط برای ترک‌خوردگی باشد.

۶-۱-۲- مقاومت کششی غیرمستقیم اشباع

با توجه به شکل ٤ مشاهده می‌شود که افزودن گوگردپلیمری موجب کاهش مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط آسفالتی می‌شود به گونه‌ای که دربین نمونه‌ها، کمترین مقاومت مربوط به نمونه حاوی ۵۰ درصد گوگردپلیمری با kPa ۳۲۱ مقاومت است. نرخ کاهش مقاومت مخلوط آسفالتی در حضور گوگردپلیمری در حالت اشباع نسبت به حالت خشک بیشتر است که این نتیجه موید نتایج پژوهشگران دیگر است [۱۵].

۶-۱-۳- نسبت مقاومت کششی نمونه‌ها

با مراجعه به شکل ٤ مشاهده می‌شود که بیشینه و کمینه پارامتر TSR مربوط به نمونه بدون افزودنی گوگردپلیمری و نمونه حاوی ۵۰ درصد گوگردپلیمری است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود هیچکدام از نمونه‌ها معیار آیین‌نامه را تامین نکرده‌اند که این امر به مفهوم آن است که شاید نتوان از این افزودنی به تنهایی برای اصلاح مخلوط‌های آسفالتی استفاده کرد. مقدار پارامتر TSR برای مخلوط‌های آسفالتی حاوی ۳۰، ٤۰ و ۵۰ درصد گوگردپلیمری کاهشی به ترتیب در حدود ٦، ۹ و ۱۱ درصد را نسبت به نمونه بدون افزودنی نشان می‌دهد.

۶-۲- مخلوط‌های حاوی پودرلاستیک

۶-۲-۱- مقاومت کششی غیرمستقیم خشک

با توجه به شکل (۵) مشاهده می‌شود که افزودن پودرلاستیک به قیر موجب افزایش مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها شده و با افزایش درصد آن میزان افزایش مقاومت محسوس‌تر می‌شود به گونه‌ای که نمونه حاوی ۲۰ درصد پودرلاستیک افزایش مقاومتی در حدود ١٤ و ۱۰ درصد را نسبت به نمونه شاهد و نمونه حاوی ١٦ درصد پودرلاستیک را نشان می‌دهد. پودرلاستیک پس از ترکیب شدن با قیر دیپلیمیزه شده و درون قیر هضم می‌شود. پس از آن زنجیره‌های پیوسته مولکول‌های هیدروکربنی تشکیل می‌شود که در ترکیب با قیر تشکیل پیوند عرضی و پیوند سه گانه می‌دهد. به این ترتیب چسبندگی قیر به مصالح سنگی افزایش می‌یابد [۱۰].

۶-۲-۲- مقاومت کششی غیرمستقیم اشباع

نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم در شکل ۵ نشانگر افزایش مقاومت مخلوط ها در برابر رطوبت در اثر افزایش درصد پودرلاستیک است. ۲۰ درصد پودرلاستیک، افزایش مقاومتی در حدود ۳٤ درصد را برای نمونه اصلاح شده در مقایسه با نمونه شاهد به همراه دارد. در واکنش قیر و پودرلاستیک بخشی از مواد روغنی قیر به وسیله‌ی پودرلاستیک جذب شده و ژل حاصل از ترکیب دو ماده موجب قرارگیری غشای

www.SID.ir

Archive of SID

سخت و چسباننده اطراف مصالح سنگی شده و مقاومت مخلوط در برابر حضور آب بیشتر می‌شود.

۶-۲-۳- پارامتر TSR

با مراجعه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار پارامتر TSR مربوط به نمونه حاوی ۲۰ درصد پودرلاستیک است. همان‌گونه که از این شکل مشاهده می‌شود تمامی نمونه‌ها معیار آیین‌نامه (حداقل ٪۸۰ =TSR) را تامین کرده‌اند. مقدار پارامتر TSR برای مخلوط‌های آسفالتی حاوی ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد پودرلاستیک افزایشی به ترتیب برابر با ۵، ۸ و ۱۴ درصد را نسبت به نمونه بدون این افزودنی نشان می‌دهد. به طور کلی کاهش حساسیت رطوبتی نمونه‌های حاوی پودرلاستیک را می‌توان مربوط به خاصیت کشسانی قیرلاستیکی دانست که موجب بهبود نقش قیر در استحکام اسکلت مخلوط آسفالتی می‌شود.

۶-۳- مخلوط‌های آسفالت لاستیکی حاوی گوگرد

شکل‌های ٦ تا ٨ نتایج مربوط به تاثیر اندرکنش دو افزودنی پودرلاستیک و گوگردپلیمری در مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط‌ها است. همان‌گونه که از این شکل‌ها مشاهده می‌شود، در هر دو حالت اشباع و خشک، مقاومت نمونه‌هایی که حاوی این دو افزودنی است. دارای شیب کاهشی ملایم‌تری نسبت نمونه‌های بدون پودرلاستیک است. دلیل این موضوع را می‌توان در نقش سخت‌کنندگی گوگردپلیمری و نقش انعطاف‌پذیری پودرلاستیک دانست. با افزایش درصد پودرلاستیک، مقاومت تقریباً به طور یکنواخت افزایش می‌یابد اما در درصدهای نزدیک به ۱۸ درصد یک شکست در سیر صعودی مقاومت حاصل شده و مقاومت با شیب بیشتری افزایش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که ۱۸ الی ۲۰ درصد پودرلاستیک نقش پررنگ‌تری در افزایش مقاومت دارند.ملایم‌تر شدن نرخ کاهش مقاومت در نمونه‌های حاوی گوگردپلیمری که به آن‌ها ۱۸ الی ۲۰ پودرلاستیک افزوده شده نیز موید نتیجه‌گیری بالا است.

در شکل (۸) پارامتر TSR اندرکنش دو افزودنی نمایش داده شده است. با جایگزینی قیر لاستیکی با قیر خالص در نمونه‌های حاوی گوگردپلیمری، پارامتر TSR افزایش پیدا کرده است. نمونه گوگردپلیمری تهیه شده با قیرحاوی ۲۰ درصد پودرلاستیک به ترتیب افزایشی در حدود ۱۷، ١٦ و ۱۵ درصد در پارامتر TSR را نسبت به نمونه‌های حاوی گوگردپلیمری (تهیه شده با قیر خالص) نشان داده است. در نمونه‌های حاوی ٤٠ و ٥٠ درصد گوگردپلیمری و ١٦ درصد پودرلاستیک پارامتر TSR کمتر از ۸۰ بوده و در سایر نمونه‌های گوگردپلیمری که حاوی ۱۸ و ۲۰ درصد پودرلاستیک بودند حداقل مقدار TSR آیین نامه تامین شده است. از آنجایی که گوگردپلیمری و پودرلاستیک با جایگزین شدن بخشی از قیر موجب کاهش هزینه‌های تهیه مخلوط آسفالت می‌شود، می‌توان با استفاده از ۱۸ و ۲۰ درصد پودرلاستیک حتی تا ۵۰ درصد گوگردپلیمری استفاده کرد که هم معیار آیین‌نامه TSR تامین شود و هم صرفه‌جویی اقتصادی را به همراه داشته باشد.

۷- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش آزمایشگاهی که ارزیابی تاثیر افزودنی‌های گوگردپلیمری و پودرلاستیک در یک مخلوط آسفالتی است را می‌توان به شرح موارد زیر خلاصه نمود:

۱- قیر اصلاح‌شده با پودرلاستیک در مخلوط آسفالتی سبب افزایش مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها هم در شرایط خشک و هم در شرایط اشباع می‌شود. پارامتر TSR نیز با افزایش درصد پودرلاستیک افزایش می‌یابد بنابراین می‌توان پودرلاستیک را به عنوان یکی از اصلاح‌کننده‌های موثر مخلوط آسفالتی برای مقابله با پدیده عریان شدگی دانست.

۲- افزودن گوگردپلیمری به مخلوط آسفالتی سبب کاهش مقاومت کششی غیرمستقیم آن و کاهش پارامتر TSR می‌شود. با افزایش درصد گوگردپلیمری شدت کاهش بیشتری مشاهده شد. بنابراین افزودنی گوگردپلیمری به خودی خود باعث افزایش مقاومت در برابر حساسیت رطوبتی مخلوط‌ها نشده و لازم است که از سایر افزودنی‌ها مانند پودرلاستیک استفاده شود.

۳- بررسی تاثیر هم‌زمان دو افزودنی پودرلاستیک و گوگردپلیمری نشان داد که جایگزینی قیر در مخلوط آسفالتی حاوی گوگردپلیمری با قیر اصلاح‌شده با پودرلاستیک باعث بهبود مقاومت مخلوط‌ها در برابر عریان‌شدگی و افزایش پارامتر TSR آن‌ها می‌شود.

٤- از آنجایی که استفاده از گوگرد پلیمری باعث کاهش هزینه‌های تهیه مخلوط می‌شود می‌توان با استفاده از ۱۸ درصد پودرلاستیک، از درصدهای بالای گوگردپلیمری نیز به عنوان جایگزین قیر مخلوط

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده کرد بدون آنکه مخلوط دچار افت کیفی ناشی از مقاومت کم در برابر رطوبت شود.

۸- مراجع References

[1] Yildirim. Y., "Polymer modified asphalt binders", Construction and Building Materials, Vol 21, 2007, pp 66-72.

[2] Xiao. F, Amirkhanian S., "Laboratory investigation of moisture damage in Rubberized Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement", International Journal of Pavement Engineering, Vol 21, 2007, pp. 958-964.

[3] Cagri. G. and Burak S., "Polymer modified bitumen and hydrated lime", Construction and Building Materials, Vol 23, 2009, pp. 2227-2236.

[4] Mehrara. A. and Khodaii A., "A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete", Construction and Building Materials, Vol 38, 2013, pp. 423-442.

[5] Hicks. R.G., "Asphalt rubber design and construction guidelines", Desing Guideline, Department of Civil Engineering Oregon State University, Vol 1, 2002.

[6] Lo Presti. D., "Recycled Tyre Rubber Modified Bitumen for road asphalt mixtures: A literature review", Construction and Building Materials, Vol 49, 2013, PP. 863–881.

[7] Hussain. U. Bahia and Davies. R., "Effect of Crumb Rubber Modifiers (CRM) on Performance-Related Properties of Asphalt Binders", Association of Asphalt Paving Technologists, Vol 63, 1994, PP. 414-438.

[8] Amirkhanian. S, and Shen j., "The influence of crumb rubber modifier (CRM) microstructures on the high temperature properties of CRM binders", The International Journal of Pavement Engineering, Vol 6, 2005, PP. 265-271.

[9] Lee. S, Akisetty K, and Amirkhanian N., "The effect of crumb rubber modifier (CRM) on the performance properties of rubberized binders in HMA pavements"., Construction and Building Materials, Vol 22, 2008, PP. 1368-1376.

[10] Timm, D.H., M.M. Robbins, J.R. Willis, N. Tran and A.J. Taylor. "Evaluation of Mixture Performance and Structural Capacity of Pavements Using Shell Thiopave: Phase II –Construction, Laboratory Evaluation, and Full-Scale Testing of Thiopave Test Sections –One Year Report". Report 11-03, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Auburn, Alabama. USA, 2011.

[11] Filippis. P.D., "Sulphur – Extended Asphalt, Reaction Kinetics of H2S Evolution", Fuel,. Vol 77, 1998, PP. 459–463.

[12] Strickland. D., J.Colange,.Martin, M and Deme, I., "performance properties of sulfur extended asphalt mixtures with modified Sulfur Pellets", International Symposium on Asphalt Pavements and Environment, ISAP, Zurich, 2008.

[13] Stuart K., "Performance evaluation of sulfur-extended Asphalt Pavements – Laboratory Evaluation",. FHWA-RD-90-110, U.S. Department of Transportation (FHWA), Washington, DC, USA, 1990.

[14] Thodesen. C, Shatanawi. K, Amirkhanian. S., "Effect of crumb rubber characteristics on crumb rubber modified (CRM) binder viscosity", Construction and Building Materials, Vol 23, 2009, PP. 295-303.

[15] Presti, D., "Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures". Journal of Construction and Building Materials, Vol 49, 2013, PP. 863-881.

[16] Xiao, F, Amirkhanian. S, Shen. J and Putman. B., "Influences of Crumb Rubber Size and Type on Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Mixtures", Construction and Building Materials, Vol 23, 2009, PP. 1028-1034.

[17] Shen. J., Amirkhanian. S, Xiao. F and Tang. B., "Influence of surface area and size of crumb rubber on high temperature properties of crumb rubber modified binders", Construction and Building Materials, Vol 23, 2009, PP. 304-310.

[18] Kandhal P. "Evaluation of sulfur extended asphalt binders in bituminous paving mixtures". Journal of the Association of Asphalt Pavement Technology, Vol 51, 2012, PP. 189-222.

[19] Khodaii. A, Kazemi Tehrani. H, and Haghshenas. H.F,. "Hydrated lime effect on moisture susceptibility of warm mix asphalt", Construction and Building Materials, Vol 36, 2012, PP.165–170.

www.SID.ir

Archive of SID

The Role of Sulphur Polymer and Crumb Rubber Additives in Resistance of Asphalt Mixes against Stripping

Amir Kavussi[1*], Mahdi Azarnia[2], Hassan Taghavi Zavareh[2]

1-Assoc. Prof., Deptartment of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, Tarbiat Modarres University
2-M.Sc., Department of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, Tarbiat Modarres University

kavussia@modares.ac.ir

Abstract:

Premature failures are sometimes experienced in road pavements. Among the various failure modes, moisture damage is probably the most occurring distress in asphalt pavements. In fact, the continuous presence of water in asphalt layers weakens the bond between aggregate particles and bitumen, ending in stripping of mixes. Several parameters affect the damages of water to asphalt layers. Among these, aggregates type and source, bitumen type and grade, mixture design, construction practice, traffic volume, environment and the additive properties can be named as the most effective parameters.

In order to prevent stripping, one of the most effective methods is to use anti-stripping additives. Among the various additives, sulphur, which is a byproduct of petroleum gas production industries, has been known to increase stiffness of bituminous mixes appreciably, provided that it is added properly and at right amounts. However, due to environmental drawbacks of this additive (i.e. emission of disturbing gases) and the too-much-stiffening effects that it imparts to mixes, sulphur alone was banned to be used in road pavements for several decades. In the recent years, combined additives, consisting of sulphur and polymers have been produced and applied into asphalt mixes. It has been proved that these additives have less adverse environmental effects (i.e. reduced emission of gases such as H_2S). The effects of these additive types is so that their sulphur component provides stiffness to mixes and their polymer portion imparts some flexibility to mixes and increase the adhesion properties of the mix binders.

"ASTM D8" Standard Testing Method.

In this research a locally produced sulphur polymer additive, named 'Googas', was used and applied in a continuously graded asphalt mix. This new product had lower emissions of H_2S gas, compared with the conventional sulphur mixes. In addition, it provided enhanced properties to mixes, compared with previously made only-sulphur-containing mixes. In order to reduce the stiffness of mixes and provide these with more flexibility, CRM (Crumb Rubber Modifier) modified binders were replaces with the conventional penetration grade binder of mixes. CRM binders were prepared containing different amounts of crumb rubber. The preparation was carried out in laboratory using a high shear rate mixer.

The results showed that increased amounts of Googas sulphur polymer although resulted in increased compression strength, reduced the moisture resistance of mixes substantially. In fact, it was seen that when asphalt mixes were cooled to ambient temperatures, sulphur tended to change from liquid into solid state, contributing little to bitumen cohesiveness. In contrast, mixes containing CRM binders alone, showed increased tensile properties, as indicated by increased ITS testing results. By analyzing the laboratory results, optimum amounts of the above two additives were determined. In fact, increased amounts of CRM resulted in increased tensile resistance of mixes (i.e. showing a gradual increasing trend). This happened for CRM of up to 18 to 20%. Further increases resulted in lower tensile strengths. Hence, optimized mixes were designed containing both CRM and sulphur polymer additives.

Key words: Asphalt Mix, Extended Polymer, Crumb Rubber Modifier, Moisture Susceptibility, Indirect Tensile Strength.

www.SID.ir