

عملکرد مخلوط آسفالتی حاوی افزودنی گوگاس

امیر کاووسی، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
حسن تقوی زواره، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران،
ایران

مهدی ابراهیم زاده، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

محسن احمدی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Taghavi.zavareh@yahoo.com

دریافت: ۹۶/۱۱/۱۰ - پذیرش: ۹۷/۰۳/۱۸

صفحه ۱۱۳-۱۰۵

چکیده

عریان‌شدگی و شیارشدگی از جمله خرابی‌های مهمی هستند که در روسازی‌های آسفالتی رخ می‌دهند. حساسیت رطوبتی تمایل مخلوط‌های آسفالتی به عریان‌شدگی است که می‌تواند مقدمه‌ای برای ایجاد خرابی‌هایی از قبیل ترک خوردگی، شن‌زدگی و به ویژه شیارشدگی باشد. در این پژوهش آزمایشگاهی، مقاومت در برابر شیارشدگی و عریان‌شدگی مخلوط‌های آسفالتی حاوی درصد‌های مختلف گوگاس (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد وزن حجمی قیر) که نمونه‌ای از افزودنی گوگرد پلیمری است مورد ارزیابی قرار گرفته و با مخلوط آسفالتی شاهد در همان شرایط مقایسه شده است. پس از تعیین درصد قیر بهینه به روش مارشال، به بررسی اثر افزودنی گوگاس بر حساسیت رطوبتی مخلوط‌ها با استفاده از آزمایش‌های مقاومت کششی غیرمستقیم (AASHTO T-283) و نیز شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از پارامتر نسبت مارشال (ASTM D-1559) پرداخته شد. به منظور بررسی اثر دما، آزمایش نسبت مارشال در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سانتیگراد انجام شد. نتایج آزمایش نسبت مارشال نشان داد که افزودن گوگاس به مخلوط آسفالتی موجب افزایش استقامت مارشال، کاهش روانی و نیز افزایش پارامتر نسبت مارشال شد. همگی این موارد موجب افزایش مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر شیارشدگی می‌گردد. نتایج آزمایش کششی غیر مستقیم نیز نشان داد که گوگاس به خودی خود باعث افزایش مقاومت در برابر حساسیت رطوبتی نشده و بدین منظور باید از افزودنی‌های ضد عریان‌شدگی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: مخلوط آسفالتی گرم، گوگرد پلیمری، شیارشدگی، حساسیت رطوبتی

۱- مقدمه

به آسیب دیدگی رطوبتی معروف است. شیارشدگی از جمله خرابی‌های عمده ای است که در روسازی‌های آسفالتی رخ می‌دهد. این خرابی با افزایش تردد وسایل نقلیه سنگین به ویژه در نواحی گرمسیر، مشکلات زیادی ایجاد می‌کند. با توجه به این مسائل، بررسی پدیده‌های حساسیت رطوبتی و شیارشدگی به عنوان عوامل مهم خرابی‌های روسازی‌های آسفالتی بیش از پیش اهمیت یافته است.

چسبندگی قیر به مصالح سنگی اساس استحکام روسازی‌های آسفالتی می‌باشد. حال اگر به هر دلیلی این پدیده خدشه دار شود عریان‌شدگی مصالح سنگی بوجود می‌آید. این معضل نه تنها خود به عنوان یک خرابی مطرح می‌باشد بلکه می‌تواند مسبب خرابی شیارشدگی نیز باشد که در نهایت به اضمحلال راه منجر شود. البته از آنجایی که این خرابی عمدتاً یا از رطوبت ناشی می‌شود و یا توسط آن تشدید می‌گردد گاهی نیز

۲- شیارشدگی

شیارشدگی به تغییرشکل‌های دائمی اطلاق می‌شود که به صورت شیار در مسیر چرخ وسایل نقلیه و به موازات محور طولی راه ایجاد می‌شود. چنان که بارهای ترافیکی به میزان قابل توجهی افزایش یابد و درجه حرارت محیط نیز زیاد باشد، خطر ایجاد پدیده شیارشدگی بیشتر می‌شود (White et al, 2002). شیارشدگی ممکن است در اثر سه مکانیزم به وجود آید:

- ۱- ضعف لایه‌های بستر، زیراساس و اساس ۲- لایه یا لایه‌های آسفالتی ناپایدار ۳- تراکم آسفالت در مسیر چرخ وسایل نقلیه (Ceneto et al, 2008).

داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های آشتو نشان می‌دهد که ۳۴ درصد شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی گرم به علت عامل ضعف لایه بتن آسفالتی است. لایه‌های بستر، اساس و زیراساس نیز به ترتیب ۴۵، ۱۴ و ۹ درصد در میزان شیارشدگی تأثیر دارند (Ullidtz, 1987). شیارشدگی به طور معمول در سالهای اولیه عمر روسازی (کمتر از پنج سال) که هنوز قیر موجود در آسفالت سخت نشده است، اتفاق می‌افتد. مقدار شیارشدگی برحسب متر مربع سطح رویه و شدت آن به وسیله میانگین عمق شیار بر حسب میلی‌متر تعیین می‌شود (Archilla and Madant, 2000). این نوع خرابی به طور آشکاری موجب افت شدید کیفیت سواری، جاری شدن آب از مسیر شیار و خطر تصادف ناشی از بی تعادلی وسیله نقلیه و نیز ایجاد پدیده آب پیمایش می‌شود (Ceneto et al, 2008) (and Zhao et al, 2012). بارگذاری سنگین و دمای زیاد محیط از جمله مهمترین عواملی هستند که باعث ایجاد پدیده شیارشدگی می‌شوند. با افزایش دمای محیط، شیارشدگی به شدت افزایش می‌یابد.

با افزایش بار در حد مجاز، شیارشدگی به صورت خطی افزایش می‌یابد (Huang et al, 2008). روشهای مختلفی برای ارزیابی مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر شیارشدگی مورد استفاده قرار گرفته اند که مهمترین آنها نسبت مارشال، آزمایش خزش دینامیکی، آزمایش ماشین اثر چرخ می‌باشد.

۳- حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی

حساسیت رطوبتی آسفالت یا به عبارت دیگر عریان‌شدگی آسفالت، شکسته شدن پیوند بین سطح مصالح سنگی و قیر می‌باشد (Yildirim, 2007). جداشدن قیر از سنگدانه‌ها موجب کاهش مقاومت لایه‌ی آسفالتی می‌شود که این امر نیز موجب ایجاد خرابی در روسازی‌های آسفالتی می‌گردد (Epps et al, 2000). پدیده‌ی عریان‌شدگی در آسفالت هنگامی رخ می‌دهد که چسبندگی بین مصالح سنگی و قیر ضعیف شده و یا از بین می‌رود. عموماً خرابی‌های ناشی از رطوبت می‌توانند به دو مکانیزم زیر دسته‌بندی شوند:

۱- از دست دادن چسبندگی به دلیل حضور آب بین لایه‌ی قیری و سنگدانه‌ها که موجب جداشدگی لایه‌ی قیری از سطح سنگدانه‌ها می‌شود.

۲- از دست دادن پیوستگی به دلیل نرم شدن مخلوط قیر و فیلر (Gaffarpour, 2008).

عامل اصلی پدیده‌ی عریان‌شدگی حضور ممتد آب در مخلوط آسفالتی است که به همین دلیل به این پدیده خرابی ناشی از رطوبت یا حساسیت رطوبتی نیز اطلاق می‌شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته مشخص شده است که اثرات مخرب رطوبت، منجر به کاهش مدول آسفالت تا حدود ۲۵ درصد، افزایش شیارشدگی تا حدود ۶۰ درصد و نیز افزایش خرابی‌های ناشی از خستگی تا حدود ۳۰ درصد می‌شود (Mehrra and Khoadii, 2013). پدیده‌ی حساسیت رطوبتی به عوامل متعددی از قبیل نوع مخلوط آسفالتی، خصوصیات قیر، خصوصیات و بافت سطحی سنگدانه‌ها، شرایط آب و هوایی و رطوبت، عدم زهکشی مناسب، ترافیک، نحوه اجراء و تراکم و استفاده از افزودنی‌های ضدعریان‌شدگی بستگی دارد (Segoz and Agar, 2007). آزمایش‌های مختلفی برای ارزیابی پتانسیل برهنگی مطرح است که می‌توان به آزمایشات آب‌جوشان، کششی غیرمستقیم و نسبت مارشال اشاره کرد.

۴- گوگاس (گوگرد پلیمری)

اولین قطعات راه با آسفالت گوگردی در اواسط دهه هفتاد میلادی در آمریکا و کانادا ساخته شد. ساخت قطعات آزمایشی آسفالت گوگردی در دهه ۸۰ رو به کاهش نهاد، ولی اواخر دهه ۹۰ باردیگر روبه افزایش گذاشته است. علت این موضوع تغییر در قیمت نسبی گوگرد و قیر در این دوره هاست که با افزایش این نسبت، ساخت آسفالت گوگردی توجیه اقتصادی یافته و تمایل به ساخت آسفالت گوگردی افزایش می یابد (Crawford and Boles, 1986).

مشکل بزرگ مصرف گوگرد، متصاعد شدن گاز سولفید هیدروژن (H_2S) است. این گاز می تواند در چند دقیقه سبب مرگ انسان شود (Weber, 2003). ایده برطرف سازی این مشکل مبنای مطالعات و تحقیقات گسترده در زمینه ایجاد تغییر وضعیت گوگرد و تبدیل آن به مواد ترکیب شده از گوگرد با

افزودنی های خاص گردید به طوری که این افزودنی ها در شرایط فرآیندهای تهیه مخلوط آسفالت و حمل و پخش آن عاری از هرگونه بخارهای مضر باشند. محصول گوگرد پلیمری به عنوان افزودنی اصلاح کننده آسفالت کاربرد داشته و می تواند به نسبت های توصیه شده در ترکیب آسفالت به جای قیر جایگزین گردد. شکل ۱ نمونه هایی از گوگرد اصلاح شده با پلیمر تولید داخل و خارج کشور را نشان می دهد. تاثیرات مستقیم این افزودنی ها در آسفالت بالا بردن مقاومت آسفالت، کاهش شیارافتادگی، صرفه جویی در مصرف قیر و انرژی، کاهش هزینه ها، کاهش ضخامت لایه روسازی و دوام آن است (Strickland et.al, 2008). محصول گوگاس یک اصلاح کننده پایه گوگردی بوده و از ترکیب گوگرد با افزودنی های پلیمری تشکیل گردیده است.



ب) گوگاس ساخته شده در مشهد



الف) گوگرد پلیمری تولیدی شرکت شل (SEA)

شکل ۱. افزودنی های گوگرد پلیمری

۵- مشخصات مصالح مورد استفاده

شیمیایی فیلر مصالح سنگی در جدول ۱ آورده شده است. در جدول ۲ دانه بندی و محدوده مربوط به دانه بندی شماره ۴ نشریه ۲۳۴ سازمان مدیریت و برنامه ریزی، نشان داده شده است. نتیجه آزمایش های صورت گرفته روی مصالح سنگی و قیر خالص مورد استفاده نیز به ترتیب در جدولهای ۳ و ۴ آورده شده است.

مصالح سنگی مورد استفاده، از نوع مصالح آهکی بوده و از معدنی واقع در استان یزد به دست آمد. قیر مورد نیاز نیز از نوع قیر خالص ۷۰ - ۶۰ پالایشگاه اصفهان بود. برای طراحی مخلوط آسفالتی مورد آزمایش از دانه بندی شماره ۴ نشریه ۲۳۴ سازمان برنامه ریزی و مدیریت که مناسب اجرا در لایه های آستر و رویه روسازی است، استفاده شد. نتیجه آنالیز

جدول ۱. نتایج آزمایش XRF فیلر مصالح سنگی مورد استفاده

درصد افت وزنی در اثر حرارت L.O.I	SO ₃	Sr	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Fe ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	عناصر
۴۴	۰/۳۹۸	۰/۰۳۳	۰/۱۲۷	۱/۹۸۴	۰/۲۷۷	۰/۶۴۹	۴۵/۱۳	۰/۵۸۷	۱/۷۵۷	۷/۰۴۳	(/.)

جدول ۲. دانه‌بندی منتخب مصالح سنگی مطابق نشریه ی ۲۳۴

شماره ۲۰۰	شماره ۵۰	شماره ۸	شماره ۴	۱۲/۵ میلی متر	۱۹ میلی متر	اندازه الک
۲-۱۰	۵-۲۱	۲۸-۵۸	۴۴-۷۴	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	محدوده درصد عبوری مجاز
۶	۱۱/۵	۴۳/۵	۵۹	۹۵	۱۰۰	درصد وزنی عبوری از هر الک

جدول ۳. مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده

نتایج آزمایش	مقدار مجاز آیین نامه		روش آزمایش	شرح
	حداقل	حداکثر		
۲۰	-	۲۵	ASTM C131	سایش به روش لس آنجلس (درصد)
۸	-	۸	ASTM C88	افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (درصد)
۱۰۰	۶۰	-	ASTMD 5821	درصد شکستگی
۹	-	۱۵	ASTM D4791	درصد سنگدانه های پهن و دراز
۰/۷	-	۱۲	ASTM C88	افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (درصد)
۷۰	۵۰	-	ASTMD2419	ارزش ماسه ای (درصد)

۶- طرح اختلاط

(۱) برای تعیین درصد قیر بهینه نمونه‌های مارشال طبق استاندارد (ASTM D1559) ساخته شدند. میزان قیر بهینه برای نمونه آسفالت شاهد با توجه به پیشنهاد نشریه MS-2 انستیتو آسفالت، ۴/۳ درصد وزن کل مخلوط محاسبه شد. سپس با توجه به رابطه ۱ درصد قیر گوگرد پلیمری شده مورد نیاز برای ساخت نمونه‌های آسفالت گوگردی بدست آمد. در این رابطه فرض بر این است که با جایگزین شدن بخشی از قیر با گوگرد پارامترهای حجمی مخلوط نباید تغییر کند (Kandhal, 1982).

$$P_{SA} = \frac{10000A.R}{10000R - 100P_S(R-1) + A.P_S(R-1)}$$

در این رابطه

P_{SA} = درصد قیرمکمل گوگردی

A = درصد قیری که از طرح اختلاط مارشال بدست آمده

R = نسبت وزن مخصوص گوگرد پلیمری به قیر که در برابر ۱/۸ در نظر گرفته می‌شود.

P_S = درصد وزنی گوگرد پلیمری در مایع قیری

لازم به ذکر است که در این تحقیق برای اضافه کردن گوگرد پلیمری به مخلوط آسفالتی در آزمایشگاه، از روش خشک استفاده شد.

جدول ۴. نتایج آزمایش‌های قیر خالص مورد استفاده

ردیف	نوع آزمایش	روش آزمایش	محدوده‌ی آیین نامه		نتیجه‌ی آزمایش
			حداقل	حداکثر	
۱	درجه نفوذ (۰/۱۰ میلی‌متر)	ASTM D5	۶۰	۷۰	۶۴
۲	نقطه نرمی قیر (درجه سانتی‌گراد)	ASTM D36	۴۹	۵۶	۵۰/۵
۳	قابلیت کشسانی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد (سانتی‌متر)	ASTM D113	۱۰۰	-	+۱۰۰
۴	وزن مخصوص قیر (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ASTM D3289	-	-	۱/۰۱۸

۷- نتایج آزمایش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر افزودنی گوگاس بر شیارشدگی و عریان‌شدگی مخلوط‌های آسفالتی از گوگاس در مقادیر ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد وزن حجمی قیر استفاده شد. اگرچه امکان افزودن گوگاس به مخلوط آسفالتی با روش‌های گوناگونی امکان‌پذیر است، در این تحقیق به منظور در نظر گرفتن ساده‌ترین روش اختلاط در اجراء، از روش اختلاط خشک استفاده شد. به منظور بررسی اثر دما بر شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی آزمایش نسبت مارشال در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سانتیگراد انجام شد. آزمایش نسبت مارشال و آزمایش کششی

غیر مستقیم به ترتیب بر اساس استانداردهای ASTM D-1559 و AASHTO T283 انجام شدند.

۷-۱- آزمایش نسبت مارشال

در تعیین این پارامتر از نتیجه دو ویژگی استقامت مارشال که معرف بیشترین مقاومتی است که نمونه بدون گسیختگی می‌تواند تحمل کند، و روانی مارشال که بیانگر میزان تغییرشکلی که در نمونه در لحظه شکست رخ می‌دهد، استفاده می‌شود. نسبت مارشال (نسبت استقامت مارشال به روانی آن) پارامتری تجربی برای تعیین سختی مخلوط‌های آسفالتی است که مقادیر

۷-۲- آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم

با توجه به نتایج آزمایش مارشال و بعد از دستیابی به درصد قیر بهینه، نمونه‌هایی برای ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از آزمایش کشش غیرمستقیم تهیه شدند. از حاصل تقسیم مقادیر مقاومت کششی نمونه‌های اشباع به نمونه‌های خشک، نسبت TSR به دست می‌آید که شاخصی مؤثر برای ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی می‌باشد. طبق نشریه‌ی ۲۳۴ آیین نامه روسازی آسفالتی ایران، این نسبت نباید کمتر از ۷۵ درصد باشد. نتایج کامل آزمایش کشش غیر مستقیم برای مصالح تهیه شده از استان یزد در جدول ۷ و شکل ۳ ارائه شده است.

بالتر این نسبت نشان دهنده مخلوط سخت‌تر بوده و حاکی از آن است که مخلوط دارای مقاومت بیشتری در برابر تغییرشکل دائمی است. در این پژوهش برای هر یک از درصد‌های گوگاس، سه نمونه تهیه و مقدار متوسط آنها گزارش شد. نتایج نسبت مارشال نمونه های آسفالتی دارای درصد‌های مختلف گوگاس و نمونه‌های بدون این افزودنی در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سانتیگراد به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. شکل ۲ نیز نسبت مارشال مخلوط‌های آسفالتی حاوی گوگاس حاصل آزمایش را در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سانتیگراد نمایش می‌دهد.

جدول ۵. نتایج پارامتر نسبت مارشال در دمای ۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد

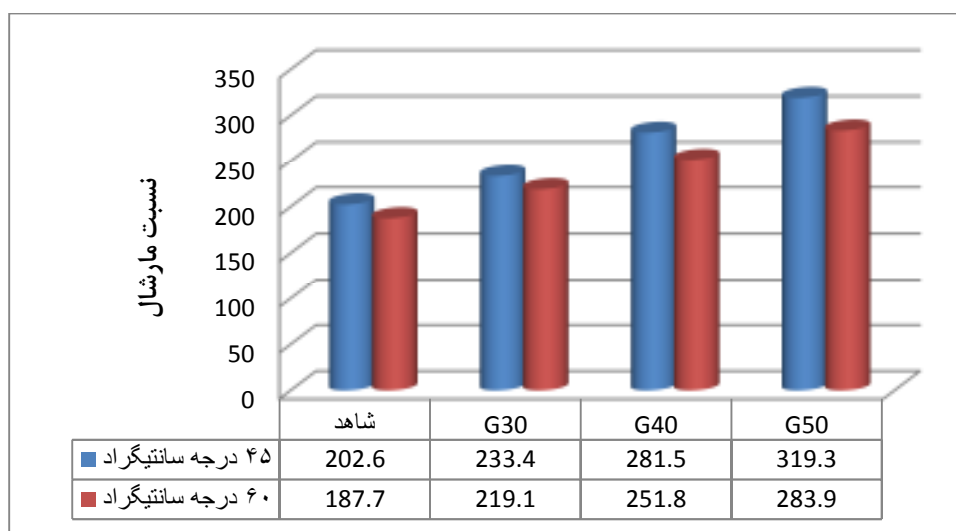
پارامترهای بدست آمده از آزمایش نسبت مارشال			نوع مخلوط آسفالتی
نسبت مارشال	روانی (میلیمتر)	استقامت (کیلوگرم)	
۲۰۲/۶	۴/۹۷	۱۰۰۷	شاهد
۲۳۳/۴	۴/۸۲	۱۱۲۵	حاوی ۳۰ درصد گوگاس
۲۸۱/۵	۴/۶۴	۱۱۳۰۶	حاوی ۳۰ درصد گوگاس
۳۱۹/۳	۴/۵۶	۱۴۵۶	حاوی ۳۰ درصد گوگاس

جدول ۶. نتایج پارامتر نسبت مارشال در دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد

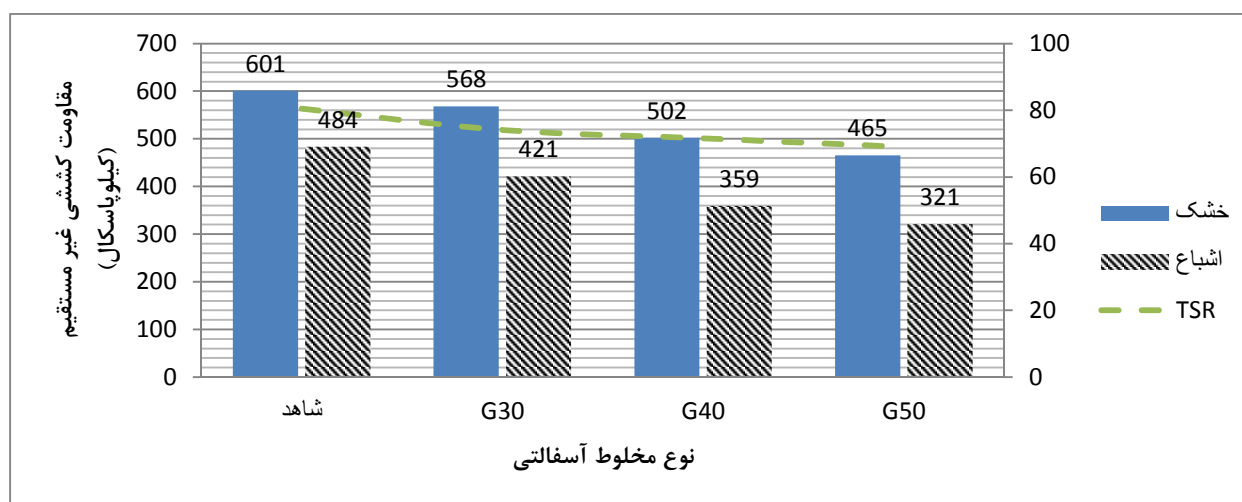
پارامترهای بدست آمده از آزمایش نسبت مارشال			نوع مخلوط آسفالتی
نسبت مارشال	روانی (میلیمتر)	استقامت (کیلوگرم)	
۱۸۷/۷	۴/۵۵	۸۵۴	شاهد
۲۱۹/۱	۴/۳۵	۹۵۳	حاوی ۳۰ درصد گوگاس
۲۵۱/۸	۴/۲۳	۱۰۶۵	حاوی ۳۰ درصد گوگاس
۲۸۳/۹	۴/۱۵	۱۱۷۸	حاوی ۳۰ درصد گوگاس

جدول ۶. نتایج آزمایش مقاومت کشش غیرمستقیم برای انواع مخلوط آسفالتی

نسبت TSR (درصد)	مقاومت کشش غیرمستقیم (کیلوپاسکال)		نوع مخلوط آسفالتی
	حالت اشباع	حالت خشک	
۸۰/۴۶	۴۸۴	۶۰۱	مخلوط شاهد
۷۴/۱	۴۲۱	۵۶۸	حاوی ۳۰ درصد گوگاس
۷۱/۵۶	۳۵۹	۵۰۲	حاوی ۴۰ درصد گوگاس
۶۹	۳۲۵	۴۶۵	حاوی ۵۰ درصد گوگاس



شکل ۲. نسبت مارشال مخلوطهای آسفالتی حاوی آهک هیدراته حاصل آزمایش در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سانتیگراد



شکل ۳. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم برای انواع مخلوط آسفالتی

۸- تحلیل نتایج

۱) نتایج آزمایش نسبت مارشال نشان داد که با افزودن گوگاس استقامت مارشال افزایش می یابد، به طوری که از بین نمونه های آزمایش شده، نمونه حاوی ۵۰ درصد گوگاس دارای بیشترین استقامت مارشال بود. نتایج این آزمایش همچنین نشان می دهد که با افزودن گوگاس به مخلوط آسفالتی، روانی نمونه ها کاهش می یابد. بالا بودن استقامت و کمتر بودن روانی در شرایط استفاده از مصالح یکسان، نشان دهنده استحکام بیشتر در برابر تنش و مقاومت بیشتر در برابر تغییر شکل است. نسبت استقامت مارشال به روانی نمونه ها (شاخص نسبت مارشال) نیز با افزودن گوگاس افزایش یافت. مقدار این پارامتر برای مصالح منتخب با ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد گوگاس به ترتیب افزایشی در حدود ۱۶، ۳۴ و ۵۱ درصدی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و ۳۸، ۱۵ و ۵۷ درصدی در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد نسبت به حالت عدم استفاده از گوگاس داشت.

۲) بررسی اثر دمای آزمایش نسبت مارشال نشان داد که افزایش دما از ۴۵ به ۶۰ درجه سانتیگراد موجب کاهش پارامتر نسبت مارشال مخلوطهای آسفالتی شاهد (بدون گوگاس) و مخلوطهای حاوی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ گوگاس خواهد شد. به طوری که این افزایش دما کاهشی به ترتیب برابر ۷، ۷، ۱۰ و ۱۱ درصدی را در پارامتر نسبت مارشال در نمونه های مذکور نتیجه داد.

۳) نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم نیز نشان داد که افزودن گوگاس به مخلوط آسفالتی موجب افزایش حساسیت رطوبتی می گردد. این افزایش به علت افزایش سختی مخلوط آسفالتی و حل نشدن کامل گوگاس در مخلوط می باشد. مقدار پارامتر TSR برای مخلوطهای آسفالتی حاوی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد گوگاس کاهشی به ترتیب در حدود ۶، ۹ و ۱۱ درصد را نسبت به مخلوط آسفالتی شاهد (بدون گوگاس) نتیجه می دهد.

۴) نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم نشان می دهد که مقاومت مرطوب نسبت به مقاومت خشک بیشتر تحت تاثیر قرار گرفته یا به عبارتی نرخ کاهش مقاومت در حالت مرطوب به مراتب بیشتر از حالت خشک است که موجب افزایش حساسیت رطوبتی و کاهش پارامتر TSR نسبت به نمونه شاهد می گردد.

۹- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش آزمایشگاهی نشان داد که افزودن گوگاس به مخلوط آسفالتی باعث کاهش شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی شده است. این کاهش به علت افزایش سختی مخلوط آسفالتی، در اثر افزودن گوگاس به آن، ایجاد شده است. همچنین مشخص شد که اثر گوگاس در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد بیشتر از دمای ۶۰ درجه سانتیگراد در کاهش شیارشدگی بود. این موضوع نشانگر آن است که در دماهای بالاتر، نقش قیر دارای اهمیت بیشتری است. همچنین نتایج آزمایش حساسیت رطوبتی نشان داد که افزودن گوگاس باعث افزایش حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی شده است. برای مقابله با این مشکل استفاده از افزودنی های ضدعریان شدگی توصیه می گردد.

۱۰- مراجع

-ASTM D-1559 (1989), "Test method for resistance of plastic flow of bituminous mixtures using marshal Apparatus", American Society for Testing and Materials.

-Archilla, A. R. and Madanat, S. (2000), "Development of a pavement rutting model from experimental data", Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 126.No. 4, pp. 291-299.

- Centeno, M., Sandoval, I., Cremades, I. and Alarcon J. (2008), "Assessing rutting susceptibility of five different modified asphalts in bituminous mixture using rheology and wheel tracking test", Transportation Research Board, National Research Council, NCHRP Report 468, Washington, D.C., USA.

-Crawford G.L. and Boles W.F. (1986), "Sulfur-Extended Asphalt - Close-out Summary of Project Activities", FHWA-DP-54-9, Demonstration Project No. 54.

-Epps J.A., Sebaaly J.P., Maher M.R. and McCann M.B. (2000), "Compatibility of a test for moisture- induced damage with Superpave

- Strickland D, Colange J, Martin M, and Deme I. (2008), "performance properties of sulfur Extended Asphalt Mixtures with Modified Sulfur Pellets". ISAP.
- Ullidtz, P. (1987), "Pavement analysis, development in civil engineering", Series# 19, Elsevier.
- Weber H. (2003), "Sulphur- Asphalt and its Global Aspects", Sulphur Institute, 19th Sulphur Phosphate Symposium.
- White, T. D., Haddock, J. E., Hand, A. J. T. and Fang, H. (2002), "Contribution of pavement structural layers to rutting of hot mix asphalt pavement", Transportation Research Board, National Research Council, NCHRP Report 468, Washington, D.C., USA.
- Yildirim Y. (2007), "Polymer modified asphalt binders", Construction and Building Materials 21.
- Zhao, W., Xiao, F., Amirhanian, S. N. and Putman, B. J. (2012), "Characterization of rutting performance of warm additive modified asphalt mixture", Construction and Building Materials, 21, pp. 265-272.
- volumeric mix design", Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
- Gaffarpour G.J. (2008), "Estimation of resistance to moisture destruction in asphalt mixtures", Construction and Building Materials, 23, p.p. 2324-2331.
- Huang, X. M., Li, H. and Zhang, J. (2008), "Simulation of rutting behavior of asphalt pavement based on real temperature field", Transportation Research Board, National Research Council, NCHRP Report 08-0372, Washington, D.C., USA.
- Kandhal P. (1982), "Evaluation of sulfur extended asphalt binders in bituminous paving mixtures", Journal of the Association of Asphalt Pavement Technology, 51, pp.189-222.
- Mehrra A, Khoadii A. (2013), "A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete", Construction and Building Materials, 38, pp. 423-442.
- Segoz B., Agar E. (2007), "Effect of asphalt film thickness on the moisture sensitivity characteristics of hot mix asphalt", Journal of Building and Environment, 1, pp.3621-3628.