

یادداشت پژوهشی

ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی حاوی گوگرد پلیمری با بکارگیری قیر لاستیکی

امیر کاوسی (نویسنده مسئول)، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

حسن تقوی زواره دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

مهدی آذرنیا، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

E-mail: kavussia@modares.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۲۹

دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۷

چکیده

همه ساله بسیاری از راه‌های آسفالتی کشور در اثر ضعف لایه‌های روسازی‌های آسفالتی و فشارهای ترافیکی دچار آسیب یا خرابی زودرس می‌شوند. از خرابی‌هایی که بسیار گسترده است، خرابی‌های ناشی از حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی است. با توجه به نقش مثبت گوگرد پلیمری در افزایش مقاومت مخلوط‌های آسفالتی، در این پژوهش نقش افزودنی گوگاس که نمونه‌ای از افزودنی گوگرد پلیمری است، بر پدیده عریان‌شدگی مخلوط آسفالتی مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق با جایگزینی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد قیر با این افزودنی به بررسی چگونگی مقاومت آسفالت‌های حاوی گوگاس در برابر رطوبت و عریان‌شدگی 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 نشان داد که استفاده از این افزودنی به خودی خود باعث افزایش مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر عریان‌شدگی نشده و برای این هدف لازم است اقدامی صورت گیرد که در این تحقیق از قیر اصلاح‌شده با پودر لاستیک استفاده شد. در این راستا پس از بررسی نتایج آزمایش‌های متداول ترکیبات قیر و پودر لاستیک، مقدار بهینه ۰۲ درصد برای تهیه مخلوط تعیین گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از قیر لاستیکی باعث بهبود مقاومت مخلوط آسفالتی حاوی گوگرد پلیمری (گوگاس) در برابر عریان‌شدگی به میزان حدود ۱۵ درصد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مخلوط آسفالتی داغ، گوگرد پلیمری، پودر لاستیک، حساسیت رطوبتی، مقاومت کششی غیرمستقیم

۱. مقدمه

کنترل شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، گوگرد عمر خستگی را تا حدودی کاهش داده است [Stuart, 1990]. مطالعات صورت گرفته همچنین نشان داد که گوگرد پلیمری باعث کاهش پارامتر TSR^۲ در حدود ۱۰ درصد می‌شود. نتایج آزمایش مسیر چرخ که برای ارزیابی حساسیت رطوبتی و شیارشدگی است، نیز بیانگر این موضوع است. استریکلند و همکاران یک کاهش پنج درصدی در عمر خستگی را نسبت به مخلوط آسفالتی معمولی گزارش داده‌اند، اما این مقدار کاهش به قدری نبود که برای اهداف روسازی مضر باشد [Strickland et al. 2008]. در سالهای اخیر تلاشهای گسترده‌ای برای بهبود خواص مکانیکی مخلوطهای آسفالتی و کاهش میزان عریان‌شدگی آنها انجام شده است. برای کاهش این خرابی از افزودنی‌هایی نظیر آهک هیدراته، سیمان، آمین‌ها 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 بهبود دهنده خواص قیر و مخلوط آسفالتی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. نتایج گزارش‌ها نشان‌دهنده بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی مخلوط آسفالتی است. استفاده از پودرلاستیک به عنوان اصلاح‌کننده در مخلوطهای آسفالتی از سال ۱۸۴۰ با معرفی لاستیک خام آغاز گردید. هدف از ترکیب پودرلاستیک با قیرهای خالص، اصلاح رفتار مکانیکی مخلوطهای آسفالتی و کاهش آلودگی زیست محیطی بود [Hicks, 2002]. در دهه ۱۹۶۰ در سوئد استفاده از پودرلاستیک به عنوان جایگزین بخشی از مصالح سنگی جهت مقابله با خرابی‌های آسفالت در شرایط آب‌وهوای سرد آغاز گردید که به روش خشک معروف است. همزمان در آمریکا روشی ابداع شد که در آن قیر و پودرلاستیک ابتدا به مدت ۴۵ تا ۶۰ دقیقه در دمای بالا ترکیب می‌شوند که به روش تر معروف است [Presti, 2013]. نتایج تحقیقات صورت گرفته در دهه‌های اخیر بیانگر بهبود خرابی‌های ترک خوردگی، خستگی، شیارشدگی، افزایش ویسکوزیته و افزایش چسبندگی قیر به مصالح سنگی است [Lee et al. 2008]. ژائو و همکاران در بررسی نقش توام پودرلاستیک و آسفالت بازیافتی در حساسیت رطوبتی

استفاده از گوگرد^۱ به منظور بهبود کیفیت آسفالت از سال‌ها قبل (سال ۱۹۷۰ میلادی به بعد) توسط شرکت‌های بزرگ نفتی همچون شرکت شل شناخته شده بود [Timm et al. 2011]. مشکل بزرگ مصرف گوگرد، متصاعد شدن گاز سولفید هیدروژن (H₂S) است که این گاز می‌تواند 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 افزودنی‌های خاص گردید، به طوری که این افزودنی‌ها در شرایط تهیه مخلوط آسفالت و حمل و پخش آن عاری از هرگونه بخارهای مضر باشند.

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. تاثیر مستقیم این افزودنی‌ها در آسفالت، بالا بردن مقاومت آسفالت، افزایش سختی مخلوط، کاهش شیارشدگی، صرفه جویی در مصرف قیر و انرژی، کاهش هزینه‌ها است [Strickland et al. 2008]. محصول گوگاس^۲ یک اصلاح‌کننده پایه گوگردی بوده که از ترکیب گوگرد با افزودنی‌های پلیمری تشکیل گردیده است.

گوگرد پلیمری علاوه بر کاهش میزان قیر خالص مورد نیاز برای یک مخلوط آسفالتی مفروض، می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای ویژگی‌های عملکردی مخلوط را تغییر دهد. بارزترین تاثیر افزودن گوگرد پلیمری به یک مخلوط آسفالتی افزایش در سختی مخلوط است. افزایش در سختی این مخلوط‌ها، افزایش مقاومت در برابر تغییر شکل‌های دائمی را نیز به دنبال دارد. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که افزایش در مقدار درصد گوگرد پلیمری به همان نسبت مقاومت مارشال مخلوط‌ها را افزایش می‌دهد [Strickland et al. 2008]. مطالعات نشان داده که افزودن گوگرد پلیمری هم مقاومت کششی مرطوب و هم مقاومت خشک آسفالت را کاهش می‌دهد که مقاومت مرطوب نسبت به مقاومت خشک بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. گوگرد مدول برجهندگی Mr مخلوط را افزایش می‌دهد. بر مبنای آزمایش خستگی به صورت تنش

ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی حاوی گوگرد پلیمری با بکارگیری قیر لاستیکی

پس از ترکیب با قیر، زنجیره پیوسته مولکول‌های هیدروکربنی، تشکیل پیوند عرضی و ۳ گانه می‌دهد که موجب افزایش چسبندگی قیر به مصالح سنگی می‌شود [Yildirim, 2007].

۳. مواد و آزمایش‌ها

۳-۱ مصالح سنگی

سنگدانه‌های استفاده شده برای ساخت آسفالت از یک معدن تولید آسفالت گرم در استان یزد انتخاب شدند. خصوصیات مصالح و نتیجه آزمایش XRF آن‌ها به طور خلاصه در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. نتایج XRF مصالح، نشانگر آن است که درصد سیلیس مصالح نسبتاً ناچیز بوده و بالعکس درصد CaO آن زیاد است (۴۵/۱۳٪). به این دلیل شاید بتوان این مصالح را در رده مصالح آهکی دسته‌بندی کرد. برای انجام این تحقیق از دانه‌بندی شماره ۴ دانه بندی‌های پیوسته آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه ۲۳۴) استفاده شده است. در جدول ۳ دانه بندی و محدوده مربوط به دانه بندی شماره ۴ نشریه ۲۳۴ سازمان مدیریت و برنامه ریزی، نشان داده شده است.

۳-۲ پودر لاستیک

پودرلاستیک استفاده شده در این تحقیق از کارخانه یزد تایلر تهیه گردیده است. پودر لاستیک موردنظر از تایرهای ضایعاتی خودرو سواری و خودرو سنگین بوده و از فرآیند خرد کردن در دمای محیط تولید شده است. آنچه در بحث فنی و کیفی پودرلاستیک حائز اهمیت است، میزان براده آهن و میزان رطوبت موجود در آن است که مطابق استانداردهای فنی گزارش شده توسط مراکز تحقیقاتی قیر و آسفالت مقدار براده آهن و رطوبت آن باید به ترتیب کمتر از ۰/۱ درصد و ۰/۷۵ درصد وزنی باشد. در جدول ۴

مخلوط آسفالتی نشان دادند که استفاده از پودرلاستیک، کاهش خرابی ناشی از رطوبت را به همراه دارد [Xiao and AmirKha- nian, 2007]. در پژوهشی که در سال ۲۰۰۹ انجام گرفت، بهبود حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی حاوی SBS و EVA گزارش گردید [Gorkem and Sengoz, 2009].

۲. حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی

حساسیت رطوبتی^{۱۱} آسفالت یا به عبارت دیگر ایجاد خرابی عریان‌شدگی در آسفالت، کاهش چسبندگی بین بخش چسباننده (ترکیب قیر و فیلر) و سطح سنگدانه‌ها است. کاهش چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی، تکرار بارهای ترافیکی و نفوذ رطوبت به درون لایه رویه در زمان بهره‌برداری همگی می‌توانند منجر به کاهش مقاومت و چسبندگی مخلوط آسفالتی شوند [Epps et al. 2000]. پدیده عریان‌شدگی در آسفالت هنگامی رخ می‌دهد که چسبندگی بین مصالح سنگی و قیر ضعیف شده و یا از بین برود. عموماً خرابی‌های ناشی از رطوبت تحت اثر شش مکانیزم انفصال^{۱۱}، جابجایی^{۱۲}، امولسیون شدن قیر^{۱۳}، فشار منفذی^{۱۴}، گسیختگی لایه‌های نازک قیر^{۱۵} و آب‌شستگی^{۱۶} است [Xiao and AmirKhanian, 2007].

عامل اصلی پدیده‌ی عریان‌شدگی ضعف زهکشی و حضور مکرر آب در مخلوط آسفالتی است که به همین دلیل به این پدیده خرابی ناشی از رطوبت یا حساسیت رطوبتی نیز اطلاق می‌شود. براساس مطالعات صورت گرفته مشخص شده است که اثرات مخرب رطوبت، منجر به کاهش مدول آسفالت، افزایش شیارشدگی و نیز افزایش خرابی‌های ناشی از خستگی می‌شود [Mehrara and Khoadii, 2013]. در راستای بهبود این خرابی، می‌توان از افزودنی‌هایی که باعث افزایش ویسکوزیته و چسبندگی بیشتر قیر به مصالح سنگی می‌شوند، استفاده کرد. از جمله این افزودنی‌ها می‌توان به پودرلاستیک اشاره کرد که

جدول ۱. نتایج آزمایش XRF فیلر مصالح سنگی مورد استفاده

درصد افت وزنی در اثر حرارت	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
L.O.I											
۴۴	۰/۳۹۸	۰/۰۳۳	۰/۱۲۷	۱/۹۸۴	۰/۲۷۷	۰/۶۴۹	۴۵/۱۳	۰/۵۸۷	۱/۷۵۷	۷/۰۴۳	(٪)

جدول ۲. مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده

شرح	سایش به روش لس آنجلس (درصد)	افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (درصد)	درصد شکستگی	ارزش ماسه ای (درصد)	وزن مخصوص حقیقی (g/cm ³)
روش آزمایش	ASTM C131	ASTM C88	ASTM D 5821	ASTM D2419	ASTM C127
نتایج آزمایش	۲۰	۸	۱۰۰	۷۰	۲/۴۶

جدول ۳. دانه‌بندی منتخب مصالح سنگی مطابق نشریه‌ی ۲۳۴

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

۳-۴ قیر اصلاح شده با پودر لاستیک

قیرلاستیکی استفاده شده در این تحقیق به روش تر تهیه گردیده که به صورت ترکیبی از قیر، پودرلاستیک، روغن‌های روان‌کننده و مواد افزودنی خاص است که باید در دما و زمان کافی باهم واکنش دهند. جهت تهیه قیر لاستیکی از دستگاه مخلوط‌کن برشی سریع ساخته شده در مرکز تحقیقات روسازی دانشگاه تربیت مدرس استفاده شده است. قیر و پودر لاستیک به مدت ۶۰ دقیقه، در سرعت چرخشی ۵۰۰۰ rpm 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. نتایج آزمایش‌ها برای قیر اصلاح شده با پودر

دانه‌بندی پودرلاستیک مورد استفاده نشان داده شده است. از آنجا که بیشتر تحقیقات صورت گرفته در زمینه استفاده از پودرلاستیک در کشور آمریکا صورت گرفته است، چندین دانه‌بندی توسط موسسات تحقیقاتی ایالت‌های آمریکا داده شده است. با توجه به محدود بودن دانه‌بندی‌های عرضه شده توسط شرکت‌های تولیدکننده پودرلاستیک در داخل کشور سعی گردیده معیار کلی استفاده از دانه‌بندی پودرلاستیک (کوچکتر از ۰/۶ میلیمتر) رعایت شود.

۳-۳ قیر

قیر مورد استفاده، قیر ۶۰ ۷۰- پالایشگاه اصفهان بود که مشخصات اصلی آن مطابق جدول ۵ است.

جدول ۴. دانه‌بندی پودرلاستیک مورد استفاده در این پژوهش

اندازه الک	شماره ۲۰	شماره ۴۰	شماره ۵۰	شماره ۱۰۰	شماره ۲۰۰
درصد وزنی عبوری از هر الک	۱۰۰	۹۰	۷۴/۵	۲۳/۱	۲

جدول ۵. نتایج آزمایش‌های قیر خالص مورد استفاده

شرح	درجه نفوذ (۰/۱۰ میلی‌متر)	نقطه نرمی قیر (درجه سانتی‌گراد)	قابلیت کشسانی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد (سانتی‌متر)	وزن مخصوص قیر (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
روش آزمایش	ASTM D5	ASTM D36	ASTM D113	ASTM D3289
نتایج آزمایش	۶۴/۵	۴۹	+۱۰۰	۱/۰۱۸

ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی حاوی گوگرد پلیمری با بکارگیری قیر لاستیکی

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

در این رابطه:

PSA = درصد قیرمکمل گوگردی، A = درصد قیربهنیه، R = نسبت وزن مخصوص گوگردپلیمری به قیر، PS = درصد وزنی گوگردپلیمری در ماده چسباننده (قیر و گوگرد).

لاستیک در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که قیر اصلاح شده با پودرلاستیک دارای درجه نفوذ کمتر، نقطه نرمی بیشتر و وزن مخصوص بیشتری نسبت به قیر خالص است. با توجه به نتایج آزمایش های صورت گرفته روی قیر اصلاح شده با پودر لاستیک جدول ۶، قیر اصلاح شده با ۲۰٪ پودر لاستیک به عنوان ترکیب بهینه قیر و پودرلاستیک در نظر گرفته شد.

۴. طرح اختلاط

برای تعیین درصد قیر بهینه مخلوط ها، نمونه های مارشال مطابق روش استاندارد "ASTM D1559" ساخته شدند. برای این منظور ۲۱ نمونه با درصد های مختلف قیر (۳/۵، ۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵، ۶/۵، ۶ درصد) تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفتند. میزان قیر بهینه برای مصالح سنگی براساس مندرجات نشریه شماره ۱۰۱ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور و پیشنهادات نشریه MS-2 انستیتو آسفالت، با توجه به درصد قیر نظیر فضای خالی ۴/۵ درصد برابر ۴/۳ درصد تعیین شد. برای سنجش مقایسه ای نتایج نمونه های آزمون کشش غیرمستقیم، درصد قیر یکسان ۴/۳ درصد برای ساخت همه ی نمونه ها در نظر گرفته شد. سپس با توجه به رابطه ۱، درصد قیر گوگردپلیمری مورد نیاز برای ساخت نمونه های 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 [Kandhal, 1982 and Strickland et al. 2008].

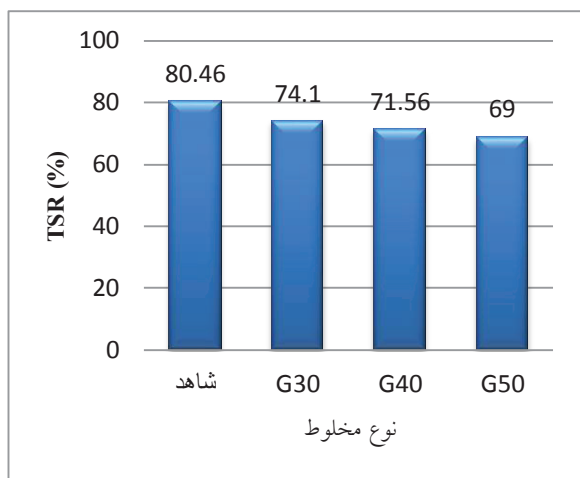
۵. نتایج آزمایش ها

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر افزودنی گوگاس و قیر لاستیکی بر عریان شدگی مخلوط های آسفالتی از گوگاس در مقادیر ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد وزن حجمی قیر و ۲۰ درصد پودرلاستیک استفاده شد. اگرچه افزودن گوگاس به مخلوط آسفالتی با روش های گوناگونی امکان پذیر است، در این تحقیق از روش اختلاط خشک برای افزودن گوگاس استفاده شد.

با توجه به نتایج آزمایش مارشال و پس از دستیابی به درصد قیر بهینه، ۶ نمونه مخلوط آسفالت شاهد و ۱۸ نمونه مخلوط آسفالتی حاوی درصد های مختلف گوگردپلیمری بر اساس استاندارد AASHTO T283 تهیه شدند. از حاصل تقسیم مقادیر مقاومت کششی نمونه های اشباع به نمونه های خشک، نسبت TSR به دست می آید که شاخصی مؤثر برای ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط های آسفالتی است. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم در شکل های ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۶. نتایج آزمایش های قیر اصلاح شده با پودرلاستیک

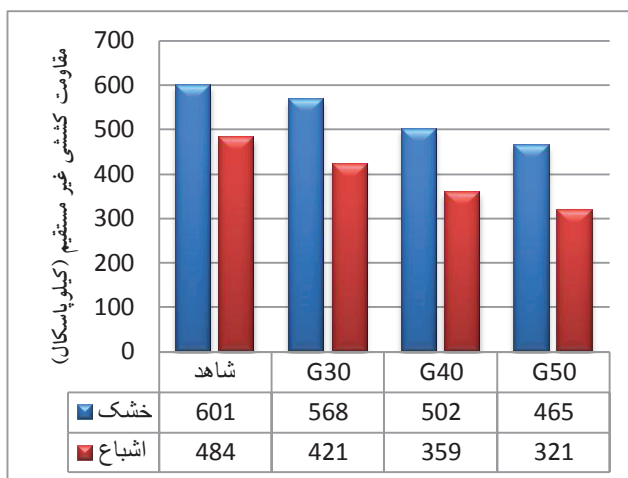
نوع آزمایش	درجه نفوذ	نقطه نرمی قیر	قابلیت کشسانی در ۲۵	وزن مخصوص قیر (گرم)
نمونه	(۰/۱۰ میلی-متر)	(درجه سانتی گراد)	درجه سانتی گراد	بر سانتی متر مکعب)
			(سانتی متر)	
قیر+۱۴٪ پودرلاستیک	۶۲	۵۶	۱۶/۳	۱/۰۸
قیر+۱۶٪ پودرلاستیک	۵۸/۷	۵۹	۱۴/۵	۱/۱
قیر+۱۸٪ پودرلاستیک	۵۳/۵	۶۳	۱۲/۴	۱/۱۳
قیر+۲۰٪ پودرلاستیک	۴۶	۶۷	۱۱	۱/۱۸



شکل ۲. نتایج TSR مخلوط‌های آسفالتی حاوی درصد‌های مختلف گوگاس

گوگاس) مقاومت کششی مخلوط را در شرایط خشک و اشباع در نمونه‌های ساخته شده با قیر و قیر لاستیکی کاهش می‌دهد، به طوری که نمونه‌ی قیرلاستیکی دارای بیشترین مقاومت کششی است. مقاومت کششی برای مصالح منتخب با ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد گوگاس به ترتیب کاهشی در حدود ۵، ۱۶ و ۲۲ درصد در شرایط خشک و کاهشی در حدود ۱۲، ۲۵ و ۳۳ درصدی در شرایط اشباع نسبت به نمونه شاهد در قیر خالص داشت.

شکل ۵ نشان می‌دهد 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

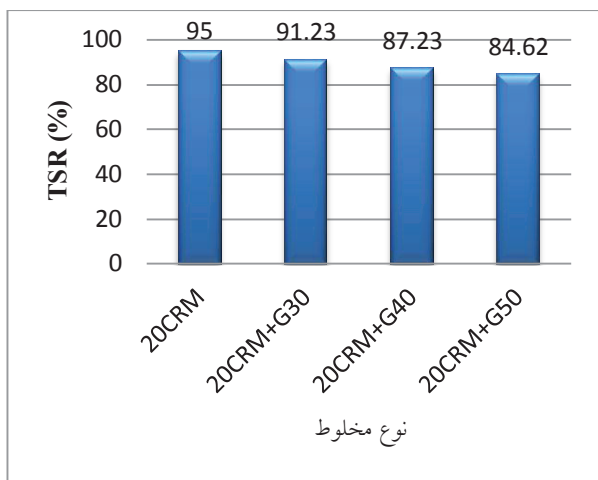


شکل ۱. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم روی مخلوط‌های آسفالتی حاوی درصد‌های مختلف گوگاس

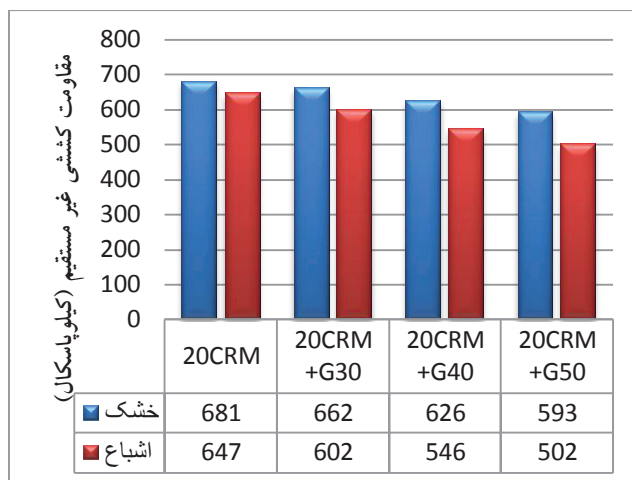
در ادامه، برای بهبود حساسیت رطوبتی نمونه‌های ساخته شده از قیر لاستیکی، به عنوان جایگزین قیر خالص مخلوط استفاده شد و ۶ نمونه مخلوط شاهد و ۱۸ نمونه مخلوط آسفالتی گوگردپلمیری حاوی پودرلاستیک تهیه گردید. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم برای شرایط خشک و اشباع نمونه‌های اصلاح‌شده با پودرلاستیک در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

۶. تحلیل نتایج

با توجه به نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم روی نمونه‌های آسفالتی ساخته شده دیده می‌شود که افزودن گوگردپلمیری



شکل ۴. نتایج TSR مخلوط آسفالتی گوگاسی با قیر لاستیکی



شکل ۳. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم روی مخلوط آسفالتی گوگاسی با قیر لاستیکی

ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی حاوی گوگرد پلیمری با بکارگیری قیر لاستیکی

درصد گوگاس، افزایش حدود ۱۶، ۱۷، ۱۶، ۱۵ درصدی را نسبت به حالت استفاده از قیر خالص نشان می‌دهد. نقش مثبت قیر لاستیکی را می‌توان در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی قیر دانست. در طی واکنش قیر و پودرلاستیک، بخشی از مواد روغنی قیر توسط پودرلاستیک جذب شده و باعث افزایش ویسکوزیته و چسبندگی قیر می‌شود. ژل تشکیل شده از پودرلاستیک و قیر، موجب قرارگیری غشای سخت و چسباننده اطراف مصالح سنگی شده که موجب مقاومت بیشتر مخلوط در برابر حضور مکرر آب می‌شود. شکل ۶ نشان می‌دهد که مخلوط‌های ساخته شده از قیر خالص حاوی گوگاس معیار حساسیت رطوبتی آیین نامه ($TSR \geq 75\%$) را تامین نمی‌کند. با جایگزینی قیر خالص با قیر لاستیکی تمامی نمونه‌های ساخته شده با گوگاس در محدوده مشخصه‌ی آیین نامه قرار گرفتند.

۷. ملاحظات اقتصادی

مزایای بالقوه اقتصادی کاربرد گوگاس در مخلوط آسفالتی عبارت است از:

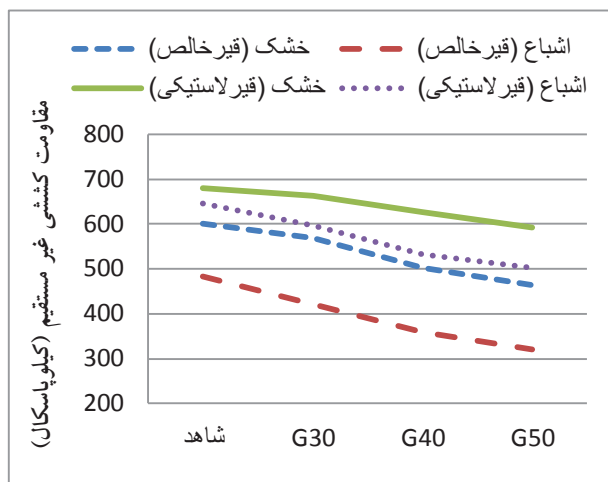
- ۱- ذخیره و صرفه جویی در مصالح
 - ۲- ارتقا و بهبود قابل ملاحظه ویژگی‌های مخلوط‌های روسازی و متعاقباً عملکرد بهتر روسازی.
- با استفاده از گوگاس به طور متوسط در حدود ۲۰ درصد در

است که موجب افزایش حساسیت رطوبتی و کاهش پارامتر TSR نسبت به نمونه شاهد می‌شود.

مقدار پارامتر TSR برای مخلوط‌های آسفالتی حاوی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد گوگاس کاهش به ترتیب در حدود ۶، ۹ و ۱۱ درصد را نسبت به مخلوط آسفالتی شاهد (بدون گوگاس) نتیجه می‌دهد. این امر به این مفهوم است که شاید نتوان از این محصول به تنهایی برای اصلاح مخلوط‌های آسفالتی استفاده کرد. علت کاهش، درصدی از قیر است که با گوگاس جایگزین شده و در مخلوط حل نشده و به صورت کریستال باقی می‌ماند که مانع از چسبندگی خوب قیر به مصالح می‌شود و در نتیجه در برابر نفوذ آب و شرایط اشباع در دمای میانی محیط (که آزمایش کشش غیر مستقیم نیز در آن دما انجام می‌شود) و در دمای پایین محیط به صورت کاملاً جامد شده و نقش چسبندگی و ویسکوز خود را از دست می‌دهد. به کارگیری قیرلاستیکی اختلاف مقاومت کششی نمونه‌های حاوی گوگرد پلیمری را در شرایط خشک و اشباع کاهش می‌دهد که اثر این امر در افزایش پارامتر TSR نسبت به نمونه‌های ساخته شده با قیر خالص دیده می‌شود. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم برای نمونه‌ی شاهد و نمونه‌های گوگاسی ساخته شده با قیر اصلاح شده با پودرلاستیک نشان می‌دهد که افزودن پودرلاستیک حساسیت رطوبتی را کاهش می‌دهد. مقدار پارامتر TSR به ترتیب برای نمونه شاهد، ۳۰، ۴۰ و ۵۰



شکل ۶. نتایج TSR انواع مختلف مخلوط آسفالتی



شکل ۵. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم روی انواع مختلف مخلوط آسفالتی

- نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم نشان داد که افزودن گوگاس به مخلوط آسفالتی ساخته شده با قیر خالص موجب افزایش حساسیت رطوبتی می شود و تمامی نمونه ها دارای TSR کمتر از ۷۵ درصد هستند.

- نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم نشان می دهد که افزودن گوگاس کاهش مقاومت کششی را هم در حالت خشک و هم اشباع به همراه دارد.

نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم برای نمونه شاهد و نمونه های گوگاسی اصلاح شده با قیرلاستیکی نشان می دهد که افزودن پودرلاستیک موجب کاهش حساسیت رطوبتی می شود.

- مقایسه نتایج مقاومت کششی غیرمستقیم نشان می دهد که افزودن پودر لاستیک باعث کاهش اختلاف مقاومت کششی نمونه ها در حالت خشک و اشباع می شود.

- تمامی نمونه های ساخته شده با قیرلاستیکی دارای TSR بالای ۷۵ درصد هستند.

نتایج ذکر شده در بالا نشان می دهد که استفاده از گوگاس موجب افزایش حساسیت رطوبتی می شود. بنابراین توصیه می شود که در مناطقی که مشکل عریان شدگی مصالح وجود دارد، از مواد ضدعریان شدگی نظیر پودرلاستیک استفاده شود.

۹. پی نوشتها

- 1- Sulfur
- 2- Googas
- 3- Stripping
- 4- Tensile Strength Ratio
- 5- Crumb rubber
- 6- Charles Goodyear
- 7- Thomas Hancock
- 8- Vulcanization
- 9- Mc Donald
- 10- Moisture susceptibility
- 11- Detachment
- 12- Displacement,
- 13- Emulsification
- 14- Pour water pressure
- 15- Bitumen-aggregate interfacial
- 16- Hydraulic scoring

مصرف قیر صرفه جویی می شود. علاوه بر قیر مصرفی ممکن است در سنگدانه ها نیز صرفه جویی وجود داشته باشد، زیرا مخلوط های گوگردپلیمری به سنگدانه های معمولی اجازه می دهند تا با مصالح ارزان و کم قیمت جایگزین شوند. استفاده از مخلوط های گوگردپلیمری با توجه به برآورد ویژگی های بهتر و بالاتر نسبت به مخلوط های آسفالت معمولی می تواند مزایای اقتصادی قابل ملاحظه داشته باشد. ارزیابی ملاحظات اقتصادی استفاده از گوگردپلیمری علاوه بر موارد مذکور ذخیره انرژی را نیز شامل می شود. افزودن گوگردپلیمری باعث کاهش گرانی قیر شده و بنابراین این مخلوط ها می توانند در دماهای پایین تر تهیه، مخلوط و متراکم شوند که در نتیجه کاهش حدود ۳۰ درصدی مصرف سوخت را موجب می شود. از آنجا که افزودنی پودرلاستیک نیز جایگزین قیر می شود امکان ذخیره قیر و حتی صادرات آن فراهم می شود. از سوی دیگر این افزودنی قیمتی کمتر از قیر را دارا است. در بحث تهیه قیرلاستیکی، از آنجایی که پودرلاستیک به روش تر در مخلوط استفاده شده است، در پابلوت آزمایشگاهی با توجه به هزینه استفاده از مخلوط کن برشی و هزینه انرژی به صرفه نخواهد بود اما در شرایط استفاده در پروژه، این هزینه برگشت پذیر بوده و موجب صرفه جویی اقتصادی می شود. بنابراین علاوه بر بهبود پارامترهای مکانیکی و مهندسی قیر و مخلوط آسفالتی می توان صرفه اقتصادی این دو افزودنی را به دلیل کمتر بودن قیمت این دو افزودنی نسبت به قیر و کاهش مصرف قیر را هم مد نظر قرارداد.

۸. نتیجه گیری

در این تحقیق ابتدا نقش درصدهای مختلف گوگاس روی حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی شاهد توسط آزمایش کشش غیرمستقیم بررسی گردید. در ادامه با افزودن پودر لاستیک و اصلاح قیر خالص به بررسی نقش قیر اصلاح شده در حساسیت رطوبتی پرداخته شد که نتایج زیر حاصل گردید:

- افزودن گوگرد به مخلوط آسفالتی منجر به کاهش مقاومت کششی آسفالت می شود.

- Presti, D. (2013) "Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: A literature review", *Construction and Building Materials*, 49, pp. 863-881.
- Strickland, D., Colange, J., Martin, M. and Deme, I. (2008) "Performance properties of sulfur Extended Asphalt Mixtures with Modified Sulfur Pellets", ISAP.
- Stuart, K. (1990) "Performance evaluation of sulfur-extended asphalt pavements – laboratory evaluation", FHWA-RD-90-110.
- Timm, D. H., Robbins, M. M., Willis, J. R., Tran, N. and Taylor, A. J. (2011) "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.
- Weber, H. (2003) "Sulphur- asphalt and its global aspects", Sulphur Institute, 19th. Sulphur Phosphate Symposium.
- Xiao, F. and Amirhanian, S. (2007) "Laboratory investigation of moisture damage in rubberized asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement", *International Journal of Pavement Engineering*, 21, pp. 958-964.
- Yildirim, Y. (2007) "Polymer modified asphalt binders", *Construction and Building Materials*, 21, pp. 66-72.
- AASHTO T-283(2007) "Resistance of compacted asphalt mixtures to moisture-induced damage", American Association of State Highway and Transportation Officials
- Epps, J. A., Sebaaly, J. P., Maher, M. R. and McCann, M. B. (2000) "Compatibility of a test for moisture-induced damage with Superpave volumetric mix design", Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
- Gorkem, C. and Sengoz, B. (2009) "Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime", *Construction and Building Materials*, 23, pp. 2227-2236.
- Hicks, R. G. (2002) "Asphalt rubber design and construction guidelines", California Integrated Waste Management Board, vol 1. Design Guidelines.
- 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.
- Lee, S., Akisetty, K. and Amirhanian, N. (2008) "The effect of crumb rubber modifier (CRM) on the performance properties of rubberized binders in HMA pavements", *Journal of Construction and Building Material*, 22, pp. 1368-1375.
- Mehrara, A. and Khoadai, A. (2013) "A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete", *Construction and Building Materials*, 38, pp. 423-442.