کاربرد گوگرد در روسازیهای آسفالتی

نوشته:
امیرمحمد طباطبائی
استادیار دانشکده فنی ـ دانشگاه تهران

چکیده

گوگرد زدائی مواد نفتی به‌منظور کاهش آلودگی هوا از مسائلی است که همواره موردنظر بوده است. مقادیر زیادی گوگرد که به‌این‌ترتیب به‌دست می‌آید می‌تواند درصنایع مختلف بخصوص در راهسازی مورداستفاده‌قرارگیرد. استفاده از گوگرد درساختن روسازهای آسفالتی در طول دهه گذشته در بسیاری از کشورها از توجه خاصی برخوردار بوده است. علت این امر افزایش قیمت مواد نفتی، کاهش تدریجی منابع هیدروکربوری، و مهم‌تر ازهمه وجود گوگرد مازادمی‌باشد. این‌اساس مطالعاتی‌است که در پاره‌ای از کشورها انجام و منجر به‌افزودن‌گوگرد به‌قیر برای تهیه‌آسفالت شده است. اولین آزمایش کارگاهی جهت بررسی عملکردروسازی قیر ـ گوگرد در سال ۱۹۷۴ در کشور کانادا انجام شد و از آن زمان تاکنون بیش از دهها پروژه تحقیقاتی دیگر در آمریکا، کانادا اروپا، و خاورمیانه انجام شده است.

جایگزین کردن بخشی از قیر مصرفی‌باگوگرد سبب می‌شودکه مقاومت آسفالت به‌مقدارقابل‌توجهی افزایش‌یابد. این‌افزایش نسبی مقاومت درمورد ماسه‌آسفالت خیلی بیشتر از بتن‌آسفالتی است. بنابراین در ساختن روسازی راهها می‌توان از ماسهٔ بادی استفاده کرد که درپاره‌ای از مناطق‌تنهانوع مصالح قابل‌دسترسی می‌باشد. اضافه کردن‌گوگرد به‌آسفالت‌سبب افزایش‌سختی‌آسفالت می‌شود لذا استفاده از آن در مناطق گرم بسیار مناسب است. آسفالت گوگرددار را می‌توان بابهره‌گیری از ماشین‌آلات و روشهای متداول اجرای روسازی‌های آسفالتی تهیه‌و پخش کرد.

نظر به‌مزایائی که استفاده‌از گوگرد در روسازیهای آسفالتی دارد و بادرنظر گرفتن اینکه قیر و گوگرد هردو بحد کافی در ایران وجود دارد، استفاده ازاین نوع روسازی در راههای ایران، بخصوص راههای مناطق گرم و یا مناطقی که دسترسی به‌مصالح سنگی مرغوب مشکل بوده لیکن ماسه فراوان است، باید موردتوجه قرار گیرد.

هدف اصلی از این مقاله گردآوری اطلاعات موجود در زمینه روسازی‌های آسفالتی گوگرددار و بررسی امکان استفاده از آن در راههای ایران است.

۱ ـ مقدمه

از اوایل سالهای ۱۹۷۰ تاکنون تکنولوژی استفاده از روسازیهای آسفالتی گوگرددار در آمریکای شمالی، اروپا، وخاورمیانه‌توسعه‌قابل‌ملاحظه‌ای یافته‌است. این‌نوع‌روسازیها می‌تواند جایگزین مناسبی برای روسازی‌های‌آسفالتی متداول باشدودارای مزایای‌اقتصادی‌وکاربردی است. در طی ده‌سال گذشته مطالعات متعدد نظری، آزمایشگاهی‌وکارگاهی به‌منظور تعیین‌خوبی‌وبدی استفاده از گوگرد در روسازیهای آسفالتی انجام شده است. دراین مقاله ابتدا مشخصات فنی آسفالت گوگرددار شرح‌داده‌شده، سپس اشاره‌ای‌به‌روشهای‌طرح‌اختلاط واجرای‌مصالح‌شده‌وبالاخره‌خلاصه‌ای‌ازنتایجی‌که‌ازآزمایشهای آزمایشگاهی‌وکارگاهی برروی‌این‌روسازیهابدست‌آمده، آورده شده است تا باشناخت بیشتر این مصالح از آن بطور صحیح و اصولی در راهسازی استفاده شود.

۲ ـ تکنولوژی آسفالتهای گوگرددار

دراین قسمت جنبه‌های اصلی تکنولوژی آسفالتهای گوگرددار که شامل اثر گوگرد بر قیر، روشهای طرح اختلاط، مشخصات فنی، تهیه، پخش و کنترل کیفیت مصالح می‌شود بطورخلاصه‌بازنگری‌شده‌است. توجه به‌تکنولوژی مصالح نه‌تنها ازنظر به‌دست‌آوردن مصالح باکیفیت بهتر حائزاهمیت است، بلکه‌ازنظرتعیین‌پارامترهای‌لازم جهت‌طرح‌روسازی‌الزامی‌است.

۲ ـ ۱ ـ اثر گوگرد بر قیر

در دمای محیط، گوگرد از حلقه‌ای مرکب از ۸ اتم که‌به‌صورت ۸ضلعی قرارگرفته‌است تشکیل‌می‌شود و بهمین‌دلیل مقاومت‌شیمیائی زیادی دارد. لیکن‌درآن‌دم که دمای آن از ۱۱۸ درجه‌سانتی‌گراد بیشتر شودفورا "ذوب شده، ساختمان شیمیائی‌آن‌شکسته‌شده، قابلیت‌ترکیب‌آن‌بخصوص‌باکربورهای اشباع‌نشده‌قیرهابشدت‌افزایش‌می‌یابد. درشکل (۱) منحنی تغییرات‌گرانروی[1] گوگردنشان‌داده‌شده‌است. کاهش گرانروی گوگرد با افزایش دما تا ۱۵۷ درجهٔ سانتی‌گراد ادامه یافته و سپس گوگرد بسرعت حالت خمیری بخود گرفته و گرانروی آن افزایش می‌یابد.

اضافه‌کردن گوگرد مذاب به‌قیرهای خالص[2] دردمای بین۱۱۸و۱۵۷ درجهٔ سانتی‌گراد بدلیل گرانروی‌اندک‌گوگرد موجب‌کاهش‌گرانروی‌قیرمی‌شود. این‌کاهش‌گرانروی‌تابع مستقیم

1- Viscosity 2- Asphalt Cement

مقدار گوگرد است. در دمای بیش از ۱۵۷ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دلیل گرانروی زیاد گوگرد ، گوگرد دیگر نقش روان‌کننده قیر را ایفا نکرده وحتی موجب آزاد شده هیدروژن سولفوره نیز می‌شود . کنش گوگرد در قیرهای خالص چنین است (۱۰) :

– بین صفر تا ۴ درصد وزنی ، گوگرد با قیر ترکیب می‌شود .

– بین ۴ تا ۲۵ % ، گوگرد در قیر حل شده لیکن دیگر ترکیب شیمیائی به‌وجود نمی‌آید .

– بین ۲۵ تا ۵۰ % ، گوگرد می‌تواند بصورت ذرات ریز در قیر پخش شود .

– برای عیارهای بیش از ۵۰ % ، حتی اگر گوگرد در قیر پخش هم شده باشد تمایل به ته‌نشینی دارد .

واکنش گوگرد بر قیر در دمای بالا منجر به هیدروژن‌زدائی قیر شده ، باعث سخت شدن قیر می‌شود . ضمنا" در این شرایط ، گوگرد سبب زنجیره‌ای شدن قیر (پلیمریزاسیون) به‌صورت الاستومر (پلی سولفور) می‌شود که به‌آن خصوصیت ارتجاعی می‌دهد . به‌دلیل این واکنش قیرهای مخلوط با گوگرد در دمای پائین شکنندگی قیرهای غیرگوگردی را ندارد . اضافه کردن گوگرد به‌قیرهای خالص سبب می‌شود که گرانروی مخلوط قیر – گوگرد در دمای بیش از ۱۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد نظیر گرانروی قیر خالص بسیار نرم باشد ، لیکن در محدوده حرارتی شرایط بهره برداری (۳۰ – تا ۶۰ + درجهٔ سانتی‌گراد) مشخصات یک قیر خالص سخت را داشته باشد .

۲ – ۲ – تهیه مخلوط قیر – گوگرد

یکی از روشهای مخلوط کردن قیر و گوگرد ، وارد آوردن نیروی برشی زیاد به‌گوگرد مذاب که موجب می‌شود گوگرد بصورت ذرات بسیار ریز درآمده و با قیر مذاب مخلوط شود . این امر مستلزم در اختیار داشتن تکنولوژی آن است که اغلب توسط برخی مؤسسات و یا شرکتها نظیر شرکت نفتی گلف کانادا (۳) شرکت آکتین و یا شرکت و یا فرانس فرانسوی (۱۰) ارائه شده‌است . در این روش برای اختلاط قیر و گوگرد در کارگاه ، ابتدا قیر و گوگرد هریک بطور جداگانه به‌محل کارخانه آسفالت حمل شده وبطور مجزا ذخیره می‌شود . سپس قیر و گوگرد جداگانه حرارت داده می‌شود تا بحالت مایع درآیند . با استفاده از دو تلمبه با دبی قابل تنظیم ، قیر و گوگرد به‌نسبت مورد نظر به‌یک توربین مخصوص هدایت می‌شود . این توربین با وارد کردن نیروی برشی شدیدی به‌گوگرد مایع آن‌را بصورت ذرات بسیار ریز درآورده و سپس با قیر مخلوط می‌کند . از مخلوط قیر و گوگرد حاصل مستقیما" برای تغذیه کارخانه آسفالت جهت تهیه آسفالت گوگرددار استفاده می‌شود .

از گوگرد بحالت جامد نیز می‌توان برای تهیه آسفالت گوگرددار استفاده کرد . برای این منظور گوگرد جامد به‌نسبت مورد نظر مستقیما" به‌همراه مصالح سنگی و قیر به‌مخلوط کن کارخانه آسفالت هدایت شده و با یکدیگر مخلوط می‌شوند .

۲ – ۳ – طرح اختلاط و مشخصات فنی آسفالت گوگرددار

آسفالتهای گوگرددار را می‌توان مانند آسفالتهای متداول ، با استفاده از روشهای معمول طرح اختلاط نظیر آزمایش مارشال[1] طرح کرد . عاملی که در طرح اختلاط باید به‌آن توجه شود چگالی زیاد گوگرد در مقایسه با قیر است . این به‌آن معناست که میزان درصد وزنی ماده چسبنده آسفالت گوگرددار بیشتر از آسفالت غیرگوگردی است (براساس حجم معادل) . مقدار بهینه[2] قیر – گوگرد باید با انجام آزمایش تعیین شود . این مقدار معمولا" بین میزان بهینهٔ قیر تنها و مقدار قیر – گوگردی است که کاملا" براساس حجم معادل بدست می‌آید .

۲ – ۳ – ۱ – پارامترهای آزمایش مارشال

در جدول (۱) مقادیر متوسط نتایج آزمایش مارشال برای چند نمونه بتن آسفالتی که با مصالح سنگی بادانه‌بندی توپر[3] و با دونوع قیر خالص و سه نسبت درصد مختلف قیر و گوگرد ساخته شده نشان داده شده است (۱) .

این نتایج نشان می‌دهد که وقتی قیروگوگرد به‌نسبت ۱ به ۱ (۵۰ % قیر و ۵۰ % گوگرد) بکار می‌رود استقامت (پایداری) مارشال بتن آسفالتی به‌مقدار زیادی افزایش می‌یابد . درحالتی که نسبت قیر به‌گوگرد برابر ۴ به ۱ (۸۰ % قیر و ۲۰ % گوگرد) است استقامت مارشال افزایش زیادی را نشان نمی‌دهد . ضمنا" درهیچ‌یک از این حالتها افزایش استقامت سبب از دست رفتن روانی[4] (نرمی) بتن آسفالتی نشده‌است .

تاثیر گوگرد در بالا بردن مقاومت ماسه آسفالت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا موجب افزایش مقاومت این نوع مصالح به‌مقدار قابل توجه می‌شود . در جدول (۲) تاثیر گوگرد به‌نسبت درصدهای مختلف در افزایش استقامت مارشال یک نمونه مخلوط ماسه آسفالت نشان داده شده‌است . این نتایج از نظر کاربرد آن در ایران دارای اهمیت زیادی است زیرا در بسیاری از مناطق ماسهٔ بادی فراوان بوده لیکن مصالح سنگی مناسب در دسترس نمی‌باشد .

1- Marshall Stability Test 2- Optimum 3- Dense Graded 4- Flow

جـــدول (۱) ــ نتایـــج آزمایش مارشـــال چند نمونه بتن آسفالتی گوگرددار

درجه نفوذ قیر	ماده‌ٔ چسبنده		درصد فضای خالی مخلوط	روانی (میلیمتر)	درصد فضای خالی مصالح سنگی	استقامت مارشال (کیلوگرم)
	نوع	درصد وزنی				
۴۰ ــ ۵۰	۱۰۰ % قیر	۶/۰	۳/۵	۳/۶	۱۷/۷	۱۲۴۰
	۸۰ % قیر ۲۰ % گوگرد	۶/۵	۳/۱	۳/۰	۱۷/۵	۱۲۸۰
	۵۰ % قیر ۵۰ % گوگرد	۷/۰	۳/۷	۳/۵	۱۷/۰	۲۰۸۰
۸۵ ــ ۱۰۰	۱۰۰ % قیر	۶/۰	۲/۶	۳/۱	۱۶/۳	۹۸۰
	۸۰ % قیر ۲۰ % گوگرد	۶/۵	۳/۱	۲/۷	۱۷/۳	۱۰۴۰
	۵۰ % قیر ۵۰ % گوگرد	۷/۰	۴/۰	۳/۳	۱۶/۹	۲۲۴۰

جـــدول (۲) ــ نتایـــج آزمایـــش مارشـــال چند نمونه ماسه آسفالت گوگرددار

درجه نفوذ قیر	ماده‌ٔ چسبنده		درصد فضای خالی مخلوط	روانی (میلیمتر)	درصد فضای خالی مصالح سنگی	استقامت مارشال (کیلوگرم)
	نوع	درصد وزنی				
۸۵ ــ ۱۰۰	۱۰۰ % قیر	۹/۰	۲/۷	۲/۴	۲۵/۱	۲۷۰
	۸۰ % قیر ۲۰ % گوگرد	۱۱/۵	۴/۸	۲/۵	۲۵/۳	۵۴۰
	۵۰ % قیر ۵۰ % گوگرد	۱۲/۱	۶/۹	۲/۵	۲۷/۵	۱۱۶۰

نتایج آزمایشات متعدد نشان داده است که میزان افزایش مقاومت ماسه‌ٔ آسفالت گوگرددار در مقایسه با ماسه آسفالتهای بدون گوگرد تابع نسبت گوگرد در مخلوط است. باافزایش‌نسبت‌درصدگوگرد درمخلوط ماسه آسفالت، مقاومت مصالح بیشتر افزایش می‌یابد.

درآزمایشهای انجام شده درآزمایشگاه مرکزتحقیقات و مسکن وابسته به‌وزارت مسکن، مقاومت نمونه‌های مکعبی‌شکل ساخته‌شده با ۸۳ % ماسه‌ٔ بادی، ۵ % قیر خالص ۷۰ ــ ۶۰، و ۱۲ % گوگرد بطور متوسط برابر ۸۰ کیلوگرم برسانتیمترمربع اندازه‌گیری شد، درحالی که مقاومت نمونه‌های بدون گوگرد دربهترین‌نسبت درصداختلاط قیر و ماسه بادی بطورمتوسط ازحدود ۲۰ کیلوگرم برسانتیمترمربع تجاوز نکرد. نتایج مشابهی‌نیز ازآزمایشهای‌انجام شده درآزمایشگاه فنی‌ومکانیک خاک وزارت راه و ترابری بدست آمده است.

۲ ــ ۳ ــ ۲ ــ ضریب برجهندگی ارتجاعی[1]

در شکل (۲) نتایج‌آزمایشهای‌گسترده‌ای که به‌منظور تعیین‌تاثیرنسبت‌درصدهای‌مختلف‌گوگرددبرضریب‌برجهندگی ارتجاعی‌نمونه‌ای‌ازآسفالت‌گوگرددارانجام شده‌نشان‌داده‌شده است. دراین‌آزمایشهاازنمونه‌های‌استوانه‌ای‌شکل‌بتن‌آسفالتی

1- Resilient Modulus of Elasticity

به‌قطر ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتیمتر که بادونوع قیر خالص و با سه نسبت درصد مختلف قیروگوگرد تهیه‌شده استفاده‌شده‌است (۴) .

این نمونه‌ها با استفاده ازآزمایش‌کشش‌غیرمستقیم [1] تحت بارگذاری و باربرداریهای مکرر که منحنی بارگذاری و همچنین تغییرشکل افقی‌حاصل‌در شکل (۳) نشان داده شده قرار گرفته و مقادیر ضریب برجهندگی ارتجاعی از رابطه (۱) بدست‌آمده‌است . ضریب‌برجهندگی ارتجاعی ، ضریب مربوط به‌بخش برگشت‌پذیر تغییرشکل می‌باشد .

$$E_r = (P/H_r \quad h)(v + 0.27) \qquad (1)$$

دراین‌رابطه E_r ضریب‌برجهندگی‌ارتجاعی ، P مقدار بار وارد برنمونه ، H_r مقدار تغییرشکل افقی برگشت‌پذیر حاصل ، h ارتفاع نمونه ، و v ضریب پواسون است .

نتایج‌حاصل از این آزمایشها (شکل۲) نشان می‌دهد که جایگزینی بخشی ازقیر بتن آسفالتی با گوگرد سبب‌افزایش میزان ضریب برجهندگی ارتجاعی این نوع مصالح می‌شود . میزان این افزایش برای ۲۰ % گوگرد نسبتا" کم ، لیکن برای ۵۰ % گوگرد قابل‌ملاحظه است .

۲ ــ ۳ ــ ۲ ــ مقاومت در برابر خستگی [2]

در شکل (۴) نتایج حاصل از انجام آزمایش خستگی برنمونه‌های‌بتن آسفالتی‌باوبی‌گوگرد نشان‌داده‌شده‌است (۴) . بطوری که دراین شکل‌مشاهده می‌شود افزایش درصد گوگرد به ۵۰ % سبب افزایش قابل‌ملاحظه‌ای درمقاومت مصالح دربرابر خستگی‌شده ، ضمنا" در این آزمایش نیز بکار بـــــردن۲۰% گوگرد اثر قابل‌توجهی در افزایش مقاومت نداشته است .

مقاومت‌روسازی‌های آسفالتی با و بی‌گوگرد دربرابر خستگی ناشی‌از تکراربارگذاری‌اخیرا" در یک آزمایش‌کارگاهی توسط دانشگاه ایالتی واشینگتن (۷) تحت بررسی قرار گرفت . دراین آزمایش سه نوع روسازی بتن آسفالتی که ماده چسبنده آن بترتیب : صفر درصد گوگرد و ۱۰۰ % قیر ، ۳۰ % گوگرد و ۷۰%قیر،و۴۰%گوگردو۶۰%قیربود تحت‌آزمایش‌خستگی‌قرارگرفت‌که نتایج حاصل در شکل (۵) نشان داده شده است . بطوری که دراین شکل‌مشاهده‌می‌شود برای‌بارهایی که‌تغییرشکلهای‌نسبی خمشی بزرگ در روسازی بوجود می‌آورند ، روسازی‌های آسفالتی گوگرددار نسبتا" بیش از روسازی آسفالتی بی‌گوگرد دربرابر خستگی ناشی از این بارها مقاومت کرده‌اند .

۲ ــ ۳ ــ ۴ ــ مقاومت کششی و فشاری

بطورکلی هم مقاومت‌کششی و هم مقاومت‌فشاری‌بتن آسفالتی باافزایش‌درصدگوگرد افزایش‌می‌یابد (۴) . بطوری‌که درشکل (۶) نشان‌داده‌شده‌است مقاومت‌کششی بتن آسفالتی گوگرددار وقتی که درصد گوگرد از ۲۰ % تجاوز می‌کند بطور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد . این نظیر رفتاری است که بتن آسفالتی‌گوگرددار درمورد مقاومت‌دربرابرخستگی و یا درمورد ضریب برجهندگی ارتجاعی از خود نشان می‌دهد .

نمونه‌های‌بکار رفته‌دراین‌آزمایش (۴) به‌شکل‌استوانه به‌قطر ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر بود که از دو نوع قیر خالص وباسه‌نسبت درصد مختلف قیر و گوگرد تهیه شده بود . این نمونه‌ها بااستفاده از آزمایش کشش غیرمستقیم بارگذاری شد . طبق تعریف مقاومت‌کششی نمونه‌ها برابر مقاومت کششی افقی ناشی‌ازحداکثرباری‌است‌که این نمونه‌ها می‌توانند تحمل‌کنند (بارگسیختگی) . مقاومت‌کششی‌نمونه‌هاازرابطه (۲) بدست‌می‌آید

$$S_t = (2P / \pi ah)(\sin 2\alpha - a/2R) \qquad (2)$$

دراین‌رابطه S_t مقاومت‌کششی ، P بارگسیختگی ، a عرض نواربارگذاری ، h ارتفاع‌اولیه‌نمونه ، 2α زاویه‌مرکزی‌مربوط به‌عرض نوار بارگذاری ، و R شعاع نمونه است .

۲ ــ ۳ ــ ۵ ــ حساسیت در برابر تغییرات دما

در دماهای بالا اضافه کردن گوگرد به‌قیرهای نـــرم (مثلا" قیرخالص‌بادرجه‌نفوذ [3] ۴۰۰ ــ ۳۰۰ موجب‌می‌شود که سختی (ضریب برجهندگی ارتجاعی) مخلوط برابرسختی یک‌قیرسفت‌تر (مثلا" قیرخالص بادرجه‌نفوذ۵۰ ــ ۴۰) شود . ازطرف‌دیگردردماهای‌پائین‌وجودگوگرددرقیر اثرقابل‌توجهی برسختی‌مخلوط ندارد (۱ و ۵ و ۱۰) . بنابراین تاثیر گوگرد بر قیر ازنظر سختی در دماهای بالا (و بارگذاریهای سریع) بسیارقابل‌ملاحظه و در دماهای پائین (و بارگذاریهای کند) غیرقابل‌توجه‌است . این‌خصوصیت‌به‌طراح‌این‌امکان‌را می‌دهد که با تغییر دادن درجه نفوذ قیر و نسبت درصد قیر و گوگرد خصوصیت‌موردنظررابرای‌آنکه‌آسفالت‌شرایط لازم‌رادردماهای بالا و پائین شرایط بهره‌برداری داشته باشد بدست آورد .

در اشکال۲و ۴ و ۶ منحنی‌های ضریب برجهندگی ارتجاعی ، خستگی ، و مقاومت‌کششی چند نمونه بتن آسفالتی گوگـرددار در درجه‌حرارتهای‌مختلف نشان داده شده است .

1- Indirect Tensile Test 2- Fatigue 3- Penetration

۲ ــ ۴ ــ تهیه و پخش آسفالتهای گوگرددار

آسفالتهای گوگرددار را می‌توان با استفاده از ماشین‌آلات وروشهای متداول اجرای روسازیها تهیه و پخش کرد. دمای مصالح درموقع پخت آسفالت و یا اختلاط قیر و گوگرد نباید از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز کند تا از تشکیل گازهیدروژن سولفوره که مقدار آن در دمای بالاتر از این مقدار بسرعت افزایش می‌یابد اجتناب شود.

هرگاه قیر و گوگرد بطور جداگانه به مصالح سنگی در مخلوط‌کن کارخانه آسفالت اضافه شود این امکان وجود دارد که گوگرد بخوبی در قیر پراکنده نشود و لذا کیفیت آسفالت گوگرددار پائین بیاید. برای حصول اطمینان از پراکندگی مناسب گوگرد در قیر، ابتدا می‌توان قیر و گوگرد را به نسبت درصد لازم با یکدیگر مخلوط کرده سپس ماده بدست آمده را به مخلوط‌کن اضافه کرد.

۲ ــ ۵ ــ ذخیره کردن مخلوطهای قیر ــ گوگرد

باید از هرنوع ذخیره‌سازی مخلوطهای قیر ــ گوگرد اجتناب شود. ذخیره‌کردن مخلوطهای قیر ــ گوگرد علاوه بر آنکه مسائل مربوط به محیط زیست را دربر دارد، موجب انعقاد و ته‌نشینی تدریجی ذرات گوگرد می‌شود. انعقاد و ته‌نشینی تدریجی ذرات گوگرد باعث پائین آمدن کیفیت مخلوط می‌شود زیرا این امر سبب می‌شود که پراکندگی ذرات گوگرد در قیر غیریکنواخت بوده و نسبت درصد قیر و گوگرد در نقاط مختلف مخزن ثابت نباشد. معمولاً" اضافه کردن مواد پایدارکننده پرهزینه و در اغلب موارد بی‌نتیجه است.

۲ ــ ۶ ــ کنترل کیفیت مخلوطهای قیر ــ گوگرد

عوامل کلیدی موءثر در کیفیت مخلوطهای قیر ــ گوگرد عبارتند از: کنترل پراکندگی ذرات گوگرد در قیر، کنترل نسبت درصد قیر و گوگرد، یکنواختی اندود (اجتناب از اضافه کردن پی‌درپی گوگرد و قیر)، و اثر متقابل قیر و گوگرد. این عوامل را ممکن است با اختلاط قیروگوگرد قبل از وارد کردن آنها به مخلوط‌کن مشخص و تنظیم کرد. درمواردی که از روش پیش اختلاط قیروگوگرد استفاده نمی‌شود باید تاثیر سایر عوامل موءثر در کیفیت مصالح درنظر گرفته شود. کیفیت پراکندگی گوگرد در قیر مصالح آسفالتی بستگی به عمل اختلاط و نیروهای برشی مخلوط‌کن دارد که تابع نوع کارخانه، توالی اختلاط، مصالح سنگی، و نسبت درصد مواد پرکننده (فیلر)[1] است.

۳ ــ طرح روسازی‌های آسفالتی گوگرددار

طرح روسازی‌های آسفالتی گوگرددار از نظر اصول اساسی با طرح روسازیهای متداول آسفالتی تفاوتی ندارد. روشهای موجود طرح روسازیهای آسفالتی می‌تواند برای طرح روسازیهای آسفالتی گوگرددار مورد استفاده قرار گیرد. آسفالتهای گوگرددار در دمای شرایط بهره‌برداری سختی بیشتری از آسفالتهای بدون گوگرد دارند که می‌توان از این خاصیت در طرح استفاده کرد.

مطالعات نظری (۱) نشان داده است که سختی بیشتر آسفالتهای گوگرددار با توجه به ضخامت روسازی و مقاومت خاک بستر[2] ممکن است ۱۰% تا حتی ۴۰% کاهش ضخامت لایه روسازی در مقایسه با آسفالت بی‌گوگرد را سبب شود. میزان این کاهش ضخامت برای روسازی‌های نازکتر و خاکهای بستر کم مقاومت کمتر، و برای روسازیهای ضخیم‌تر و خاکهای بستر با مقاومت زیادتر بیشتر است. لیکن باید توجه داشت که این نتایج باید در عمل نیز با بررسیهای عملکرد این نوع روسازیها در درازمدت تایید شود.

۴ ــ عملکرد روسازیهای آسفالتی گوگرددار

شروع آزمایشهای کارگاهی که از سال ۱۹۷۴ آغاز شد یکی از عوامل مهم در توسعه تکنولوژی استفاده از روسازیهای آسفالتی گوگردار بود. این آزمایشها به‌منظور تعیین عملکرد و میزان بهبود مشخصات فنی آسفالتهای گوگرددار انجام می‌شود. در جدول ۳ لیست اسامی برخی از این آزمایشها آورده شده است (۱ و ۵).

در زیر نتایجی که تاحال حاصر از انجام آزمایشهای کارگاهی بدست آمده بطور خلاصه ذکر شده است:

ــ نتایج بدست آمده حاکی از آن است که میزان ترکهای انقباضی در روسازیهای آسفالتی گوگرددار کمتر از روسازیهای آسفالتی معمولی است.

ــ روسازیهای آسفالتی گوگرددار مقاومت بیشتری دربرابر تغییر شکل دادن و گود شدن مسیر چرخها (شیاردارشدن)[3] نسبت به روسازیهای آسفالتی دارند.

ــ مقاومت روسازیهای آسفالتی گوگرددار دربرابر لغزش[4] چرخهای خودروها برابر یا بهتر از مقاومت روسازیهای متداول آسفالتی است.

ــ تاکنون هیچ نشانه‌ای از اینکه وجود گوگرد در مصالح آسفالتی موجب کاهش کیفیت و یا عملکرد روسازیها از نظر دوام باشد مشاهده نشده است.

ــ بکاربردن آسفالتهای گوگرددار سبب کاهش میزان مصرف قیر که در برخی مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است می‌باشد.

ــ مصالح آسفالتی گوگرددار را می‌توان بدون اشکالات و مسائل مربوط به دود مورد استفاده مجدد[5] قرار داد و آن را نظیر استفاده مجدد از مصالح آسفالتی در سطح راه پخش کرد.

1- Filler 2- Subgrade Soil 3- Rutting 4- Skid 5- Recycling

جدول (۳) ــ لیست اسامی برخی از آزمایشات کارگاهی روسازی‌های آسفالتی گوگرددار

عوامل موردبررسی	محل انجام آزمایشات	سال شروع آزمایش
مقاومت مصالح دربرابرترک‌خوردن در دمای پائین.	کانادا (رنفروانتاریو)	۱۹۷۵
	کانادا (استرگن‌فالزانتاریو)	۱۹۷۷
	کانادا (وودا ستاک‌انتاریو)	۱۹۷۸
	آمریکا (جکسون میشیگان)	۱۹۷۹
	کانادا (تورنتو انتاریو)	۱۹۸۰
مقاومت‌مصالح‌دربرابرتغییرشکل‌دائمی	کانادا (ویندفال‌آلبرتا)	۱۹۷۴
	کانادا (رنفروانتاریو)	۱۹۷۵
	آمریکا (میدلندمیشیگان)	۱۹۷۷
	هلند (رتردام)	۱۹۷۸
	آمریکا (فلوریدا)	۱۹۷۹
	عربستان‌سعودی؟	۱۹۷۹
	آمریکا (نیویورک)	۱۹۸۰
مقاومت دربرابر خستگی	کانادا (بلوریج‌آلبرتا)	۱۹۷۴
	کانادا (راکی‌مانتین‌هاوس‌آلبرتا)	۱۹۷۷
	هلند (رتردام)	۱۹۷۸
	آمریکا (کولدواتر انتاریو)	۱۹۷۹
	آمریکا (جکسون‌میشیگان)	۱۹۷۹
	عربستان سعودی	۱۹۷۹
	آمریکا (نیویورک)	۱۹۸۰
بهبود استقامت یا استفاده از مصالح با کیفیت پائین	آمریکا (لوئیزیانا)	۱۹۷۸
	عربستان سعودی	۱۹۸۱

۵ ــ خلاصه و نتیجه‌گیری

دراین‌مقاله‌به‌عوامل‌کلیدی در استفاده‌از روسازیهای آسفالتی‌گوگرددار اشاره شده‌است . نکات اصلی و نتایج‌بدست آمده را می‌توان بترتیب زیر خلاصه کرد :

ــ روسازیهای‌آسفالتی‌گوگرددار جایگزین‌مناسبی‌برای روسازیهای‌متداول‌آسفالتی‌هستند ، و می‌توانند‌دربرخی‌مناطق موجب عملکرد بهتر و اقتصادی‌تر شدن اینگونه‌روسازی‌ها شود . این‌امرازاوائل‌سالهای ۱۹۷۰ ازطریق‌پژوهش‌های‌آزمایشگاهی ــ کارگاهی ــ نظری نشان داده شده است .

ــ آسفالتهای‌گوگرددار حساسیت‌کمتری‌نسبت‌به‌دماهای پائین‌دارندومی‌توان از این خصوصیت برای‌تهیه مصالحی‌که هم‌ازنظرعملکرددر دماهای پائین و هم ازنظر تغییرشکل‌های دائمی مشخصات مناسبی را داشته باشند استفاده کرد .

ــ آسفالتهای‌گوگرددار رامی‌توان باوسائل‌و روشهای متداول تهیه ، حمل ، پخش و متراکم کرد .

ــ مطالعات نظری نشان داده است که سختی بیشتر آسفالتهای گوگرددار موجب کاهش ضخامت روسازی درمقایسه باروسازیهای متداول آسفالتی شده و برای ضخامت یکسان ، روسازیهای آسفالتی گوگردار خرابی کمتری خواهد داشت .

آزمایشهای کارگاهی متعددی به‌منظور تأیید نتایج نظری و یا اصلاح این نتیجه‌گیری‌ها انجام شده است. اگرچه برخی از این نتایج، نتیجه‌گیری‌های اولیه است لیکن همه آنها مؤید بهبود مقاومت مصالح در برابر تغییر شکلهای دائم و مقاومت بیشتر در برابر ترکهای ناشی از دماهای پائین می‌باشد.

ـ درمورد تاثیر اضافه کردن گوگرد در کاهش ضخامت روسازی‌های آسفالتی به‌نظر می‌رسد که آزمایشهای کارگاهی بیشتری لازم است تا نتایج بررسیهای نظری کاملا "تایید شود.

ـ درمناطقی که بهای واحد وزن گوگرد کمتر از نصف بهای واحد وزن قیر است، به‌کاربردن روسازیهای بتن آسفالتی گوگرددار موجب صرفه‌جوئی درمصرف قیر و کاهش هزینه روسازی می‌شود.

ـ درمناطقی که ماسهٔ بادی فراوان لیکن شن و ماسه یا مصالح سنگی مناسب برای روسازی در دسترس نیست، استفاده از ماسهٔ آسفالت گوگردار موجب کاهش هزینهٔ روسازی می‌شود.

ـ اضافه کردن گوگرد به آسفالت باعث افزایش سختی قیر در دماهای شرایط بهره‌برداری می‌شود که از نظر استفاده از این نوع مصالح در مناطق گرم به انواع متداول آسفالتها برتری دارد.

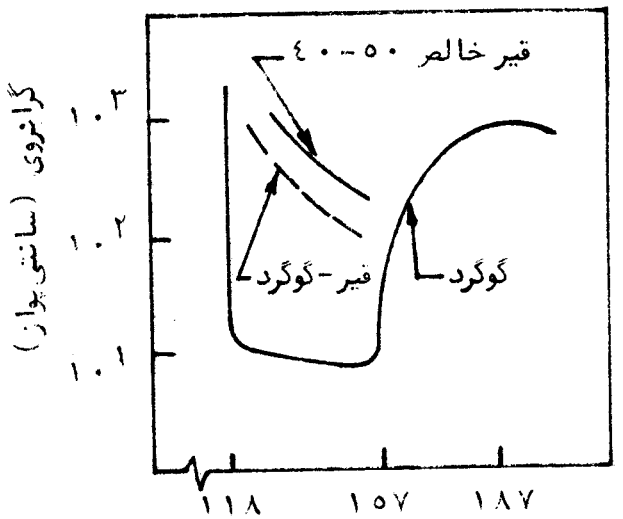
ـ استفاده از گوگرد در روسازی‌های آسفالتی یک راه‌حل مناسب برای مصرف گوگرد، که اغلب یک تفاله صنعتی است، می‌باشد.

ـ استفاده از گوگرد در تهیه آسفالتهای گوگردار باید با دقت و تدابیر ایمنی لازم همراه باشد.

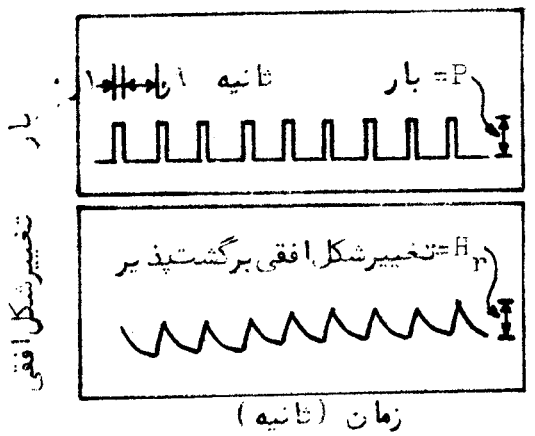
ـ نظر به‌اینکه قیر و گوگرد هردو بحد کافی درایران وجود دارد استفاده از آسفالتهای گوگرددار در راههای ایران باید موردتوجه قرار گیرد.

ـ باتوجه به‌مراتب بالا توصیه می‌شود که استفاده از آسفالتهای گوگرددار در مناطق گرمسیر ایران و یا در مناطقی که امکان تهیه مصالح سنگی مناسب مشکل و یا پرهزینه بوده، لیکن ماسه بادی فراوان است، تعمیم داده شود.

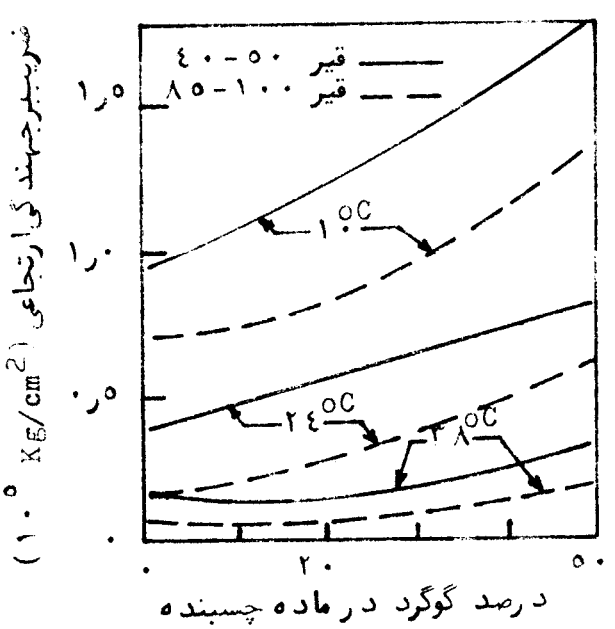
در پایان لازم به‌تذکر است که در ادامه این بررسی و تحقیق وبمنظوربررسی امکان استفاده از ماسه آسفالت گوگرددار درایران، آزمایشهائی در آزمایشگاه مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن و همچنین آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری شروع شده که نتایج به‌دست‌آمده تاکنون بسیار رضایت‌بخش و مؤید افزایش مقاومت مصالح از نظر باربری بوده است.



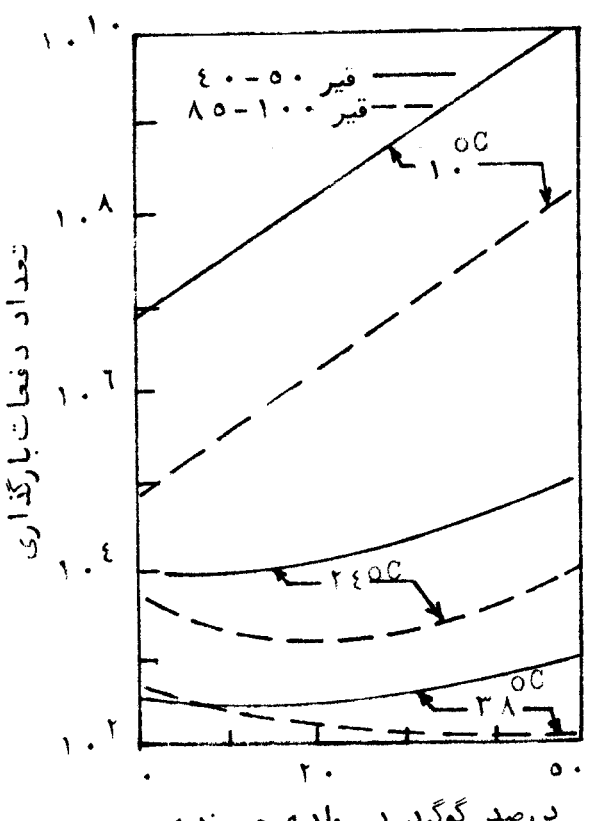
شکل (۱) ــ رابطه‌بین‌گرانروی بادما برای گوگرد ، قیر ، و قیـــر ــ گـوگـــرد



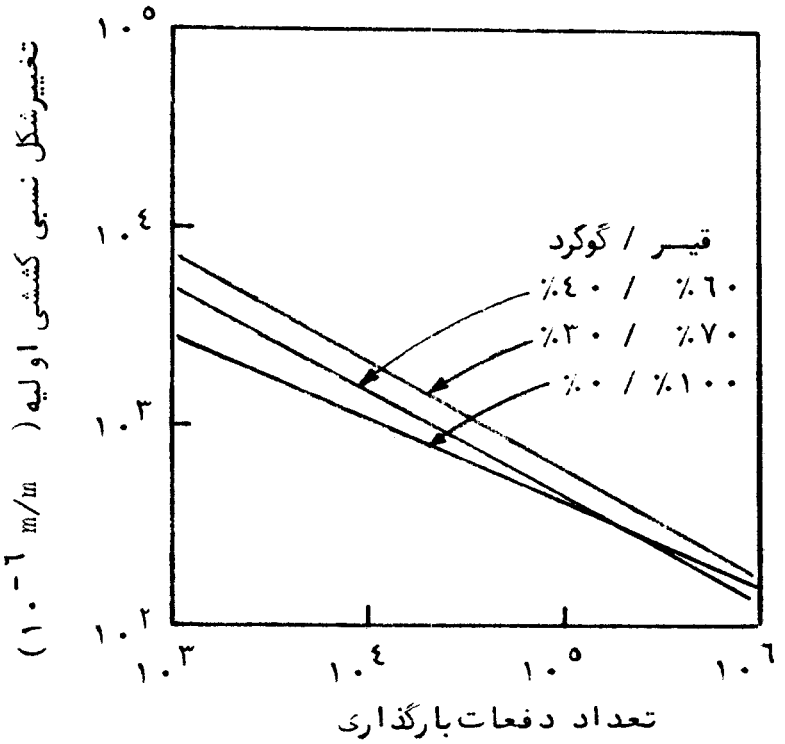
شکل (۳) منحنی‌های بارگذاری و تغییرشکل افقی نسبت به‌زمان



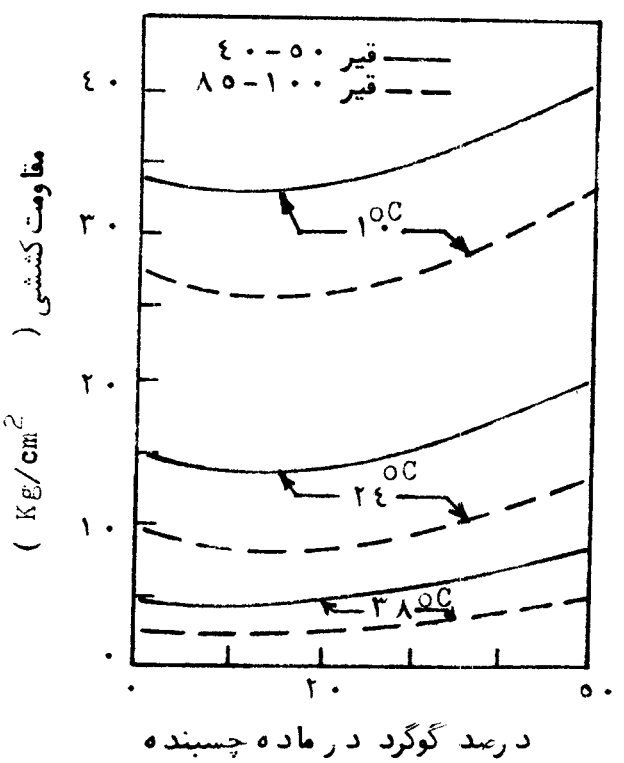
شکل (۲) ــ منحنی‌تغییرات ضریب برجهندگی ارتجاعی برحســـب میزان گوگرد



شکل (۴) منحنی تغییرات خستگی برحسب میـزان گوگـــرد .



شکل (۵) ـ منحنیهای خستگی سه نمونه روسازی آسفالتی با و بی‌گوگرد



شکل (۶) ـ منحنی تغییرات مقاومت کششی برحسب میزان گوگرد

فهرست منابع

1- Kennepohl, G.J., D.C. Bean, L.J. Miller, and R.C.G. Haas, "A Summary of Sulphur-Asphalt Design Technology,"Proceedings, Fifth International Conference-Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, The Delft University of Technology, The Netherlands, 1982.

2- Kennepohl, G.J.A., A. Logan, and D. C. Bean, "Conventional Paving Mixes with Sulphur-Asphalt Binders", Proceeding, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 44, Phoenix, Arizona, 1975.

3- Kennepohl, G.J.A., "The Gulf Canada Sulphur-Asphalt Process for Pavements", Symposium on New Uses for Sulphur and Pyrites, Madrid, Spain,1976.

4- Kennedy, T.W., R. Haas, P. Smith, G.J. G.J.A. Kennepohl, and E.T. Hignell, "Engineering Evaluation of Sulphur-Asphalt Mixtures", Transportation Research Record,No. 659, Transportation Research Board, Washington,D. C., 1977.

5- Fromm, H.J., D.C. Bean, and L.J. Miller, "Sulphur-Asphalt Pavements Performance and Recycling,"Association of Asphalt Paving Technologist, San Diego, California, 1981.

6- Bean, D.C., G.J. Kennephohl, and R. Haas, "Properties of Sulphur-Asphalt Mixers and the Effect of Mix Production, "Transportation Research Board, Session 182, Washington, D.C., 1980.

7- Mahoney, J.P., and R.L. Terrel, "Laboratory and Field Fatique Characterization for Sulphur extended Asphalt Paving Mixtures", Proceedings, Fifth International Conference-Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, The Delft University of Technology, The Netherlands, 1982.

8- Haas, R.C.G., G.J.A. Kennepohl,and D.C. Bean, "Field and Laboratory Experience with Sulphur-Asphalt Pavements", International Conference on the Use of Byproducts and Waste in Civil Engineering, Paris, France, 1978.

9- Cheetham, A., R.C.G.Haas, G.J. Kennepohl, and D.C. Bean,"Improved Characterization of Sulphur-Asphalt Materials for Structural Analysis," American Society for Testing and Materials, STP 724, 1979.

۱۰ ــ مصالح مخصوص، فصل دوم ، قیر ــ گوگرد ، گزارش موقت مهندسین مشاور BCEOM وزارت‌راه و ترابری، ۱۳۵۷.

۱۱ ــ کاربرد گوگرد در روسازی‌های آسفالتی ، دکتر امیرمحمد طباطبائی ، اولین سمینار بررسی مسائل و کاربردهای مختلف گوگرد و هماهنگی پژوهشهای مربوطه در ایران ، سازمان پروهشهای علمی و صنعتی ایران ــ مرکز شیراز ، ۲۸ــ۳۰فروردین ۱۳۶۳.