

خواص فیزیکی - مکانیکی مخلوط آسفالت‌های گوگردی

علی خدائی

استادیار دانشکده مهندسی عمران

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

مقاله حاضر ابتدا مقایسه‌ای اجمالی از نتایج ارائه شده توسط سایر محققین در مورد مقاومت مارشال نمونه‌های آسفالت‌های گوگردی و مخلوط‌های ساخته شده با قیر گوگردی ارائه داده است. سپس نتایج آزمایشات انجام شده توسط نویسنده بر روی دو خاصیت مهم این مخلوط‌ها به لحاظ طراحی روسازی که همانا ضریب برجهندگی و عمر خستگی می‌باشند ارائه و عملکرد این نوع مخلوط با انواع متداول بتون آسفالتی در درجه حرارت‌های مختلف مقایسه شده است. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که گوگرد در این مخلوط‌ها مانع افت شدید ضریب برجهندگی شده و از نظر دوام در برابر پدیده خستگی نیز حداقل از کیفیتی مشابه مخلوط بتون آسفالتی برخوردار است.

Physical And Mechanical Properties Of Asphalt Sulphur Mixtures

A.Khodaii, Ph.D.

Assistant Professor Dept. of civil Eng. Amirkabir Univ.

ABSTRACT

Three of the most important engineering Characteristics of the bituminous surfacing materials containing sulphur, more commonly known as sulphur-asphalt mixturer are studied. These are the Marshall stability, dynamic modulus and fatigue properties. The test results indicate that the sulphur asphalt mixtures not only can behave as good as conventional bituninous mixtures, but in some cases they have superior characteristics such as ability of retaining their stability under elevated temperatures.

It should however be noted that although the laboratory tests were carried out under simulated field cnditions, it is recomended that a field trial under controlled conditions be carried out in Iran, before it can be specified for use in this country.

شده است. در اوایل دهه ۱۹۳۰ بیکون و بنکوویتز (۱) این ماده را با قیر به نسبت‌هایی بین ۱ به ۱ تا ۱ به ۳ اضافه نمودند. مخلوط‌های آسفالتی حاصل نشان داد که دارای خواص فیزیکی

مقدمه: استفاده از گوگرد جهت مخلوط کردن آن با قیر در سالیان پیش مورد بررسی قرار گرفته و تحقیقات زیادی روی آن انجام

بودن و تقریباً بین‌المللی بودن آن هنوز اعتبار خود را از دست نداده است. البته چون منظور ما در اینجا فقط مقایسه بین انواع مخلوط می‌باشد انتقادات فوق بر مقایسه ما وارد نیست.

به‌منظور کاهش اثر خطاهای احتمالی آزمایش‌کنندگان مختلف، در اینجا آزمایشات انجام شده در چند آزمایشگاه را نقل می‌کنیم.

۱ - نمونه‌های برداشته شده از قطعه راه آزمایشی در لوفکین (Lufkin) که شامل مخلوط‌های بتون آسفالتی - مخلوط قیر و ماسه - مخلوط قیر گوگردی و ماسه و مخلوط قیر گوگردی و شن و ماسه می‌باشند. این نمونه‌ها در ۶۰ درجه سانتیگراد تحت آزمایش مارشال قرار گرفته و نتایج حاصل در جدول ۱ آورده شده است. مقایسه استحکام بتون آسفالتی (I) و مخلوط قیر گوگرد و شن و ماسه (IV) نشان می‌دهد که اولاً استحکام بتون آسفالتی حدود ۱۴٪ از استحکام مخلوط قیر گوگردی و شن و ماسه (IV) بیشتر است. ثانیاً مقایسه مخلوط قیر و ماسه (II) و مخلوط قیر گوگردی و ماسه (III) نشان می‌دهد که مخلوط کردن گوگرد با قیر در این حالت حدود ۵۰٪ استحکام مخلوط را برای این نوع خاص کم می‌کند. همچنین نتایج حاصله از مخلوط‌های قیر گوگردی و ماسه (III) از پراکندگی بیشتری برخوردار هستند.

۲ - مقایسه دو نوع مخلوط برداشته شده از جاده ۷۷ در استان کندی (۲) آمریکا که شامل مخلوطی از ماسه قیر و گوگرد به ترتیب ۶/۲٪ - ۱۳٪ و ۸۰/۸٪ و نوعی بتون آسفالتی که دارای ۶/۱٪ قیر می‌باشد در جدول ۲ آمده است.

ضریب پراکندگی مربوط به نتایج حاصله از بتون آسفالتی و آسفالت گوگردی نسبتاً زیاد می‌باشد لیکن مخلوط آسفالت گوگردی دارای میانگین استحکامی حدود ۳/۸ برابر استحکام

جدول ۲ مقایسه استحکام و روانی مخلوط ماسه قیر و گوگرد با مخلوط بتون آسفالتی

| نوع مخلوط | پراکندگی | استحکام کیلوگرم | روانی میلیمتر |
|------------------------|--|------------------|---------------------|
| مخلوط ماسه-قیر و گوگرد | میانگین انحراف استاندارد ضریب پراکندگی | ۳۲۱ ۱۳۲ ۱۹ | ۲/۲۶ ۰/۵۸ ۶/۳ |
| بتون آسفالتی | میانگین انحراف استاندارد ضریب پراکندگی | ۸۴ ۳۵ ۱۹۱ | ۲/۵ ۰/۶۳ ۶/۶ |

و مکانیکی مطلوبی می‌باشد، لیکن به علت ارزانی بی‌حد و حساب نفت و فرآورده‌های نفتی و گران بودن گوگرد، ادامه این تحقیقات مقرون به‌صرفه نبود. بعد از انقلاب اسلامی ایران که قیمت نفت تا حدودی به ارزش واقعی خویش نزدیک شد، آغاز تحقیقات در مورد مصرف گوگرد را اقتصادی نمود.

علاوه بر این تولید روزافزون گوگرد و ایجاد تپه‌ها و کوه‌های گوگرد تولید شده که از نظر محیط زیست ماده‌ای نامطلوب و قابل اشتعال و مسموم کننده می‌باشد موجب افزایش علاقه دانشمندان به تحقیق در مورد مصرف گوگرد در پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی که عبارت از مصالح روسازی و راهسازی می‌باشند گردید.

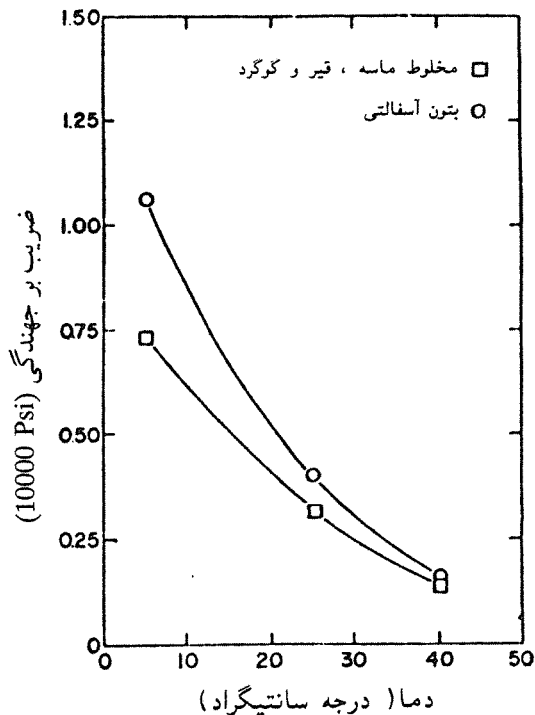
در این مقاله ابتدا مختصری به زمینه‌های قبلی و سپس تا حد حوصله این مقاله به آخرین تحقیقات علمی و مقایساتی که بین خواص فیزیکی - مکانیکی این نوع مخلوط و انواع متداول بتون آسفالتی توسط نویسنده انجام گردید پرداخته شده است.

مقایسات آزمایشگاهی

اولین مقایسه بین مخلوط‌های متداول بتون آسفالتی و آسفالت‌های گوگردی و آسفالت‌های ساخته شده با قیر گوگردی توسط آزمایش مارشال انجام گرفت. این آزمایش گویانکه از نظر علمی و تئوری پایه چندان محکمی نداشته و امروزه دانشمندان زیادی به‌علت عدم تطبیق آن با شرایط واقعی در روسازی مورد انتقاد قرار داده‌اند، لیکن به‌علت آسانی و همه‌گیر

جدول ۱ مقایسه خواص مارشال انواع مخلوط‌ها (اقتباس از 1977 Saylak & Galloway)

| نوع مخلوط | پراکندگی | استحکام کیلوگرم | روانی میلیمتر |
|------------------------------------|--|-----------------|----------------------|
| I بتون آسفالتی | میانگین انحراف استاندارد ضریب پراکندگی CV% | ۴۱۸ ۶۷ ۸ | ۲/۹ ۰/۴۸ ۴ |
| II مخلوط قیر و ماسه | میانگین انحراف استاندارد ضریب پراکندگی CV% | ۴۰۵ ۷۷ ۹ | ۳/۸۱ ۰/۲۷ ۱/۷۷ |
| III مخلوط قیر-گوگردی و ماسه | میانگین انحراف استاندارد ضریب پراکندگی CV% | ۱۹۶ ۸۱ ۱۹ | ۳/۲۵ ۰/۲۳ ۲/۵ |
| IV مخلوط قیر گوگردی و شن و ماسه | میانگین انحراف استاندارد ضریب پراکندگی CV% | ۳۵۹ ۸۲ ۱۰ | ۲/۵ ۰/۲۷ ۲/۸ |



شکل ۱ اثر حرارت در ضریب بر جهندگی بتون آسفالتی و مخلوط ماسه - قیر و گوگرد

جدول ۴ مقایسه خواص مارشال بتون آسفالتی و آسفالت گوگردار در لایه‌های مختلف

| روانی میلیمتر | استحکام کیلوگرم | پراکندگی | نوع مخلوط |
|---------------|-----------------|------------------|---------------------------|
| ۴/۷ | ۱۱/۷ | میانگین | بتون آسفالتی |
| ۰/۳۸ | ۸۹ | انحراف استاندارد | رویه |
| ۲ | ۳/۶ | ضریب پراکندگی | |
| ۳/۵ | ۱۲۲۹ | میانگین | مخلوط ماسه-قیر-گوگرد |
| ۰/۵۸ | ۱۱۵ | انحراف استاندارد | رویه |
| ۴ | ۴ | ضریب پراکندگی | |
| ۳/۶ | ۶۲۹ | میانگین | بتون آسفالتی اساس |
| ۰/۳۳ | ۱۰۱ | انحراف استاندارد | |
| ۲/۳ | ۷/۵ | ضریب پراکندگی | |
| ۴/۱ | ۸۱۴ | میانگین | مخلوط ماسه-قیر-گوگرد اساس |
| ۰/۸۶ | ۲۲۹ | انحراف استاندارد | |
| ۵ | ۱۲/۸ | ضریب پراکندگی | |

مخلوط بتن آسفالتی بوده و انحراف استاندارد آن نیز به مراتب کمتر از انحراف استاندارد نتایج حاصل از مخلوط آسفالت گوگردی می‌باشد.

۳- در پروژه‌ای که در لوئیزانا (۳) انجام شده باز مقایسه‌ای بین مخلوط قیر ماسه و گوگرد با مخلوط بتن آسفالتی صورت گرفته است. این پروژه نیز نشان داد که استحکام آسفالت گوگردی حدود دو برابر استحکام مخلوط بتن آسفالتی بوده و ضریب پراکندگی آن نیز اندکی کوچکتر از ضریب پراکندگی نتایج بتون آسفالتی می‌باشد. نتایج حاصله از این آزمایشات در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ۳ مقایسه خواص مارشال بتون آسفالتی و مخلوط ماسه قیر و گوگرد در لوئیزانا

| نوع مخلوط | پراکندگی | استحکام کیلوگرم | روانی میلیمتر |
|------------------------|------------------|-----------------|---------------|
| مخلوط ماسه-قیر و گوگرد | میانگین | ۸۱۹ | ۳/۵ |
| | انحراف استاندارد | ۱۸۶ | ۰/۲۵ |
| | ضریب پراکندگی | ۱۰/۴ | ۱/۸ |
| بتون آسفالتی | میانگین | ۳۶۱ | ۵ |
| | انحراف استاندارد | ۹۲ | ۱/۶ |
| | ضریب پراکندگی | ۱۱/۵ | ۹ |

۴- نتایج حاصل از آزمایشات بر روی نمونه‌های برداشته شده از راه‌های آزمایشی و از لایه‌های رویه و اساس در بولدرسیتی (۴) نشان داد که استفاده از گوگرد به میزان قابل ملاحظه‌ای کیفیت مخلوط‌های آسفالتی را بالا می‌برد. استحکام این مخلوط‌ها در همه موارد اعم از قشر رویه و اساس بیشتر از مخلوط‌های بتون آسفالتی بوده و نتایج آزمایش دارای ضریب پراکندگی کوچکتری نیز می‌باشد. نتایج این آزمایشات در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

یکی دیگر از خواص مورد مطالعه مخلوط‌های آسفالتی ضریب بر جهندگی (MR) (۵) می‌باشد. این خاصیت امروزه به‌عنوان زیربنایی‌ترین خاصیت خاک‌های متراکم شده و مخلوط‌های آسفالتی اندازه‌گیری می‌شود. روش‌های جدید طراحی تئوری روسازی بر این خاصیت مبتنی می‌باشد. مقایسه ضریب بر جهندگی مخلوط بتون آسفالتی AC و مخلوط ماسه-قیر و گوگرد (SSB) که در استان کندی (۶) انجام گرفته است در شکل ۱ آمده است.

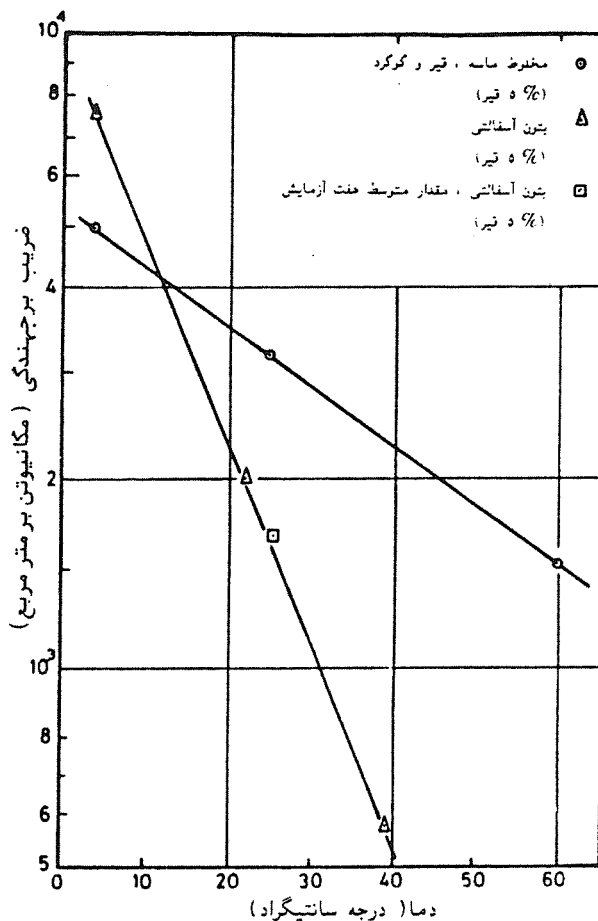
مخلوط‌هایی نظیر دو مخلوط فوق به دست آورد. ثانیاً ضریب برجهنگی SSB در ۶۰°C فقط ۱۰٪ کمتر از ضریب برجهنگی AC در ۲۵°C می‌باشد. ثالثاً ضریب برجهنگی مخلوط‌های SSB مستقل از تعداد دفعات بار وارد شده می‌باشد و با گذشت زمان تغییر محسوسی نمی‌کند. مقایسه بین ضریب برجهنگی این دو نوع مخلوط در شکل ۲ آمده است.

دیگر از خواص بسیار مهم که در یکی دو دهه اخیر شدیداً مورد نظر مهندسين و متخصصين قرار گرفته است مقاومت مخلوط در برابر پدیده خستگی می‌باشد. مقایسه رفتار خستگی بتون آسفالتی، مخلوط ماسه-قیر و گوگرد و مخلوط ماسه-پودرسنگ آهک و قیر SLB نشان داد که اولاً اضافه کردن گوگرد به مخلوط SLB بجای پودرسنگ آهک به‌عنوان فیلر عمر این مخلوط را افزایش می‌دهد. ثانیاً مخلوط‌های SSB دارای عمری بیشتر از مخلوط AC علی‌الخصوص در تحت تنش‌های کششی کم (که موجب کرنشی حدود ۵۰ میکرواسترین می‌شود) می‌باشد. نتایج حاصله از مطالعات خستگی مخلوط‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.

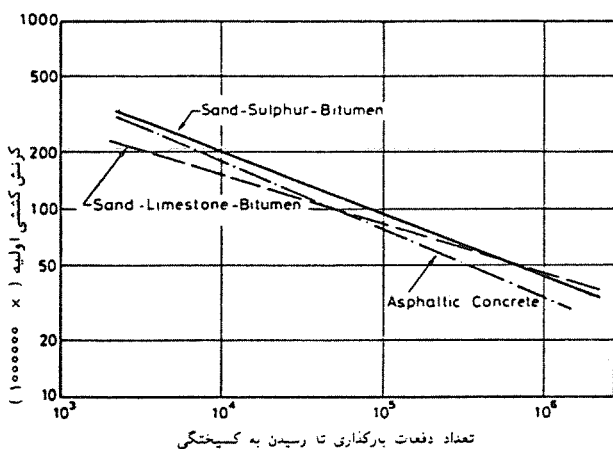
خلاصه و نتایج

در این مقاله سه خاصیت مهم مخلوط‌های گوگردی و مخلوط‌های آسفالتی مقایسه شده است. سه خاصیت مزبور عبارتند از استحکام مارشال - ضریب برجهنگی و عمر خستگی. نتایج حاصله نشان داده است که مخلوط‌های گوگردار می‌توانند نه تنها جایگزین مخلوط‌های متداول آسفالتی بشوند بلکه از جهاتی نظیر حفظ مقاومت خویش در مقابل حرارت ارجحیت نیز دارند. لازم به ذکر است که گرچه سعی شده آزمایشات مستقل از شرایط محیطی باشند و نتایج حاصله عمدتاً قابلیت تعمیم دارند،

در درجه حرارت‌های پایین نظیر ۴°C ضریب برجهنگی مخلوط بتون آسفالتی حدود ۳۰٪ بیشتر از مقدار این ضریب برای مخلوط ماسه-قیر و گوگرد می‌باشد لیکن در درجات حرارت حدوداً ۴۰°C مقدار عددی این ضریب برای هر دو نوع مخلوط حدوداً مساوی می‌شود به عبارت دیگر تنزل میزان ضریب برجهنگی برای مخلوط بتون آسفالتی (AC) در اثر حرارت به مراتب بیشتر از نزول ضریب برجهنگی مخلوط SSB می‌باشد بنابراین آسفالت‌های گوگردی در درجات حرارت بالا به‌طورنسبی مقاومت خود را بهتر از مخلوط بتون آسفالتی حفظ می‌کنند. مقایسه ضریب برجهنگی بتون آسفالتی و مخلوط SSB که توسط نویسنده انجام شده نشان داد که اولاً ضریب برجهنگی AC نسبت به حرارت حساستر از ضریب برجهنگی SSB نسبت به حرارت می‌باشد. این مطلب نظیر نتیجه‌ایست که آقای رونالد ترل (V) از آزمایشات خود در روی



شکل ۲ مقایسه افت ضریب برجهنگی دو مخلوط بر اثر حرارت



شکل ۳ مقایسه خاصیت خستگی AC, SSB, SLB

تحت شرایط کنترل شده، مساعد و متناسب با شرایط کشور
به عمل آید.

لیکن بنظر می رسد قبل از اقدام به استفاده عملی از این مخلوطها
ضروری است که آزمونهای شبیه سازی و نمونه سازی مناسبی در

پاورقی :

- 1 - Bacon, Bencowitz
- 2 - Kenedy County
- 3 - Louisiana
- 4 - Boulder City

- 5 - Resilient Modulus
- 6 - Kenedy County
- 7 - Ronald Terrel

مراجع :

- 1- *DEME I (1973) The use of sulphur in asphalt paving mixtures, 4th Joint chemical Eng conference, Vancouver, Canada*
- 2- *KALLAS B.F. (1970) Dynamic modulus of asphalt conerete in Tesion and compression" Proc.ASS. of A.A.P.T. Vol.39 PP 1-23*
- 3- *Terrel RI and AL ALOTAISHAN (1977)"Utilization*

- of sulphur in pavements". State of art report, Uni. of Washington*
- 4- *SAYLAK D. Et AL.(1975) "Beneficial use of sulphur in sulphur-asphalt pavements", New uses for sulphur, Advances in chemistry series No 140, American chemical society.*