Archive of SID

تأثیر نوع فیلر بر خواص مکانیکی و دوام بتن آسفالتی روسازیها*

یونس نیازی (۱) رامین عباسی نیشابوری (۲)

چکیده فیلر ریز دانه ترین بخش مصالح سنگی مصرفی در تولید بتن آسفالتی است. وجود فیلر در آسفالت برای تولید مخلوط توپر، چسبنده، با دوام، و مقاوم در برابر آب ضروری است. هر چند فیلر بخش بسیار کوچکی از مصالح سنگی آسفالت را تشکیل می‌دهد، ولی با توجه به قابلیت جذب نسبتاً زیاد قیر، تغییرات جزئی در مقدار و یا خصوصیات آن می‌تواند سبب پرقیر و یاکم قیر شدن مخلوط آسفالت و در نتیجه ناپایداری آن گردد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کاربرد فیلرهای با منشاء مختلف بر خواص مخلوطها فیلر-قیر و نیز مخلوط‌های آسفالتی روسازی بود. در این تحقیق یک نوع مصالح سنگی آهکی با دانه بندی پیوسته، یک نوع قیر خالص ۶۰/۷۰، و چهار نوع مختلف فیلر معدنی مورد استفاده قرار گرفت. فیلرها عبارت بودند از یک فیلر سنگ آهکی، یک فیلر سنگ سیلیسی، یک فیلرسنگ سیلیسی اصلاح شده با افزودن آهک هیدراته، و یک فیلر از مصالح روبار معدن (خاکی). نتایج نشان می‌دهد که خواص سفت کنندگی فیلر ها در مخلوط‌های فیلر-قیر بسته به نوع و نسبت فیلر در مخلوط تغییر می‌کند. همچنین، نوع فیلر مصرف شده بر خواص مکانیکی و دوام بتن آسفالتی تأثیر دارد مصرف فیلر از انواع نامناسب می‌تواند این خواص را در جهت نامطلوب تغییر دهد. افزودن آهک هیدراته به فیلر سیلیسی می‌تواند عملکرد این نوع فیلر در مخلوط آسفالتی را به نحو چشمگیری بهبود بخشد.

واژه های کلیدی فیلر، مخلوط فیلر - قیر، بتن آسفالتی، دوام.

The Effect of Filler Type on the Mechanical and Durability Properties of Asphalt Paving Concrete

R. Abbasi Nishabouri Y. Niazi

Abstract *Mineral filler is the finest fraction of aggregate used in the production of asphalt paving mixes. It is essential for producing a mixture that is dense, cohesive, durable, and resistant to water penetration. In spite of the fact that filler is very small proportion of the total aggregates in the mix, due to its rather high affinity for asphalt, small changes in the amount or the character of the filler can cause the paving mixture to appear excessively dry or excessively rich. The aim of this research was to investigate the effects of using fillers of different origin on the properties of filler-asphalt and asphalt concrete mixes. A dense-graded aggregate blend, a 60-70 penetration grade asphalt and four different mineral fillers were used in the study. Fillers include a limestone filler, a siliceous filler, a siliceous filler modified by the addition of hydrated lime, and an overburden material (soil) filler. The results indicate that the stiffening properties of fillers in the filler-asphalt mixtures vary with the type and proportion of the filler in the mix. The mechanical and durability properties of asphalt concrete are also influenced by filler type, and can be adversely affected by the use of fillers of improper type and origin. The addition of hydrated lime to the siliceous filler can considerably improve the performance of this type of filler in the mix.*
Key Words Filler, Filler-Asphalt Mixture, Asphalt Concrete, Durability

---

* نسخه اولیه مقاله در تاریخ ۸۱/۷/۱۴ و نسخه نهایی آن در تاریخ ۸۲/۳/۱۷ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه عمران

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه عمران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

فیلر بخش بسیار ریز دانه مصالح سنگی بتن آسفالتی است که به طور معمول در روند فرآوری مصالح سنگی بدست می‌آید. بر اساس مشخصات فن[1] ، از لحاظ اندازه دانه‌ها این گونه مصالح باید تماماً از الک شماره ۳۰ (۶۰ mμ) گذشته و نسبت به الک ۲۰۰ (۷۵ mμ) حداقل ۷۰٪ وزنی عبوری داشته باشد. درعمل برای تهیه مصالح سنگی آسفالت، مصالح خام اولیه از معادن کوهی و یا رودخانه ای که از لحاظ کیفی قابل قبول شناخته شده است استخراج و به محل فرآوری حمل می‌گردد. در مورد معادن رودخانه ای و آواری، که به علت هزینه‌های پائین تر استخراج و فرآوری بیشتر مورد توجه می‌باشد، در صورت عدم دقت وکنترل، خاک روبار که اغلب حاوی مصالح نا مناسب بویژه از جنس رس می‌باشد، با مصالح سنگی مخلوط شده و جایگزین فیلر می‌گردد. حتی در مواردی که خاک روبار از لحاظ کیفی به عنوان فیلر قابل قبول باشد، این نحوه عمل کار کنترل نسبت‌ها در مخلوط مصالح سنگی را دشوار خواهد کرد. در این تحقیق فیلر خاکی تهیه شده از بخش ریزدانه مصالح خام حمل شده از معدن رودخانه ای، با هدف مقایسه و ارزیابی تأثیر کاربرد آن در مخلوط‌های آسفالتی مورد بررسی قرار گرفته است. در کارخانه‌های آسفالت گاهی در شرایط کمبود فیلر مناسب و به دلیل مشکلات تهیه آن، این گونه مصالح به عنوان فیلر مصرف می‌شود.

فیلر سنگی آهکی معمولترین و مناسبترین فیلرهای مصرفی از لحاظ کیفی و هزینه‌های فرآوری است. در مواردی که امکان تهیه مصالح سنگی (از جمله فیلر) از منابع سنگی آهکی به علت بعد مسافت و غیره ممکن و اقتصادی نباشد، بناچار از منابع دیگر و از جمله سنگ‌های سیلیسی استفاده می‌شود. این گونه مصالح معمولاً از لحاظ چسبندگی قیر به دانه‌ها و پایداری آسفالت در شرایط بهره برداری بویژه در صورت استفاده از فیلر نامناسب مشکلاتی را بهمراه دارند[1, 2]. استفاده از فیلر سیلیسی و نیز اصلاح آن با افزودن آهک هیدراته، با هدف مقایسه و نشان دادن امکان ارتقاء کیفی فیلر سیلیسی در شرایط وجود ضرورت استفاده از آن، صورت گرفته است.

مخلوط آسفالتی روسازی از مصالح سنگی، قیر و حفره‌های هوا تشکیل شده است. در مورد بتن آسفالتی با دانه بندی پیوسته نسبت‌های حجمی مصالح سنگی، قیر، و هوا به ترتیب در حدود ۸۰، ۱۵، و ۵ درصد می‌باشد [3]. ضخامت لعاب قیری که رویه سطح دانه‌ها را می‌پوشاند متغیر بوده و به عواملی همچون درصد قیر، دانه بندی، جنس مصالح سنگی، و درصد تراکم بستگی دارد. تحقیقات نشان داده است که ضخامت لعاب ممکن است از ۱۰ تا ۲۵ میکرون تغییر کند [4]. بنابراین، بسته به این ضخامت، بخش معینی از فیلر، یعنی ذرات ریزتر از ضخامت لعاب قیر، بدون تماس با مصالح سنگی درشت تر در داخل لعاب قرار می‌گیرد و از این رو مخلوط مرکب از قیر و ذرات ریزتر فیلر ملات چسباننده (mastic) مصالح سنگی درشت تر است. بخش دیگر فیلر، یعنی ذرات درشت تر از ضخامت لعاب قیر بخشی از مصالح سنگی بوده و در سطوح تماس آنها با یکدیگر ایفای نقش خواهد کرد. این ویژگی خاص فیلر بوده و بر این اساس می‌توان آن را متمایز از سایر مصالح سنگی آسفالت دانست. به خاطر این نقش دوگانه فیلر، در این مقاله نخست به تأثیر فیلرها بر خواص تغییر شکلی وحرکتی (رئولوژیکی) مخلوط‌های فیلر ـ قیر پرداخته شده و سپس تأثیر فیلرها بر خواص مخلوط‌های آسفالتی روسازی مورد توجه قرار گرفته است.

در بسیاری ازکشورهای صنعتی پیشرفته از حدود سه دهه قبل در چارچوب قوانین سخت گیرانه زیست محیطی مقررات خاصی برای میزان مجاز گرد و غبار متصاعد شده از کارخانه‌های آسفالت وضع گردید. این قوانین کارخانه‌ها را مجبور به نصب صافی‌های غبار گیر

www.SID.ir

Archive of SID

از نوع کیسه‌ای خشک (baghouse) نمود. در نتیجه غبار جمع آورشده در این نوع غبارگیرها، که اغلب ریزتر از فیلر متعارف بوده و بخش زیادی از آن را ذرات ریزتر از ۱۰ میکرون تشکیل می‌دهد [4]، خود منبع جدید وجایگزینی برای تأمین فیلر گردید. تعیین خصوصیات غبار جمع آوری شده، و کم وکیف عملکرد آن در آسفالت خود موضوع تحقیقات گسترده‌ای در چند دهه اخیر بوده است [4,5,6]. در کشور ما علی رغم تکافو نکردن فیلر تولید شده در روند فرآوری مصالح سنگی، غالباً تمام و یا بخش زیادی از غبار ایجاد شده در فرآیند تولید آسفالت بهدر رفته و موجب آلودگی محیط می‌گردد.

خواص فیزیکی ـ شیمیائی فیلرها

فیلر به عنوان یک از اجزاء تشکیل دهندهٔ مخلوط‌های آسفالتی روسازی، نقش مهمی در تعیین خواص و رفتار مخلوط ایفا می‌کند. به طور کلی نشان داده شده است که فیلر سبب سفت شدن قیر و در نتیجه کاهش حساسیت حرارتی و برشی آن در مخلوط می‌گردد [2,3]. میزان سفت شدن به منشاء قیر و جنس کانی فیلر و ریزی آن بستگی دارد. از این رو فیلر بر مقاومت بتن آسفالتی در برابر رطوبت، ویژگی‌های پیرشدگی مخلوط، و نیز ویژگی‌های کارپذیری و تراکم آن تأثیر دارد[3,7,8,9,10]. در واقع نقش فیلر در مخلوط چیزی بیش از یک پر کننده صرف است. ازیک سو، فیلر به عنوان یک ماده خنثی برای پر کردن حفره‌های بین مصالح سنگی درشت تر در مخلوط عمل می‌کند و از سوی دیگر به علت ریزی و خاصه‌های سطحی اش به عنوان بخشی از چسباننده به صورت یک ماده فعال عمل می‌کند.

در سیستم فیلر ـ قیر جذب سطحی بین فازهای جامد و کندروان (ویسکوز) وجود دارد. ترکیبات موجود در قیر و خواص فیلر، یعنی ترکیب کانی شناسی، خصوصیات ساختاری، بافت سطحی، و سطح ویژه آن عوامل اصلی مؤثر بر فرآیند جذب هستند [8, 9, 10]. بنابراین روشن است که نوع جذب سطحی به طور عمده به نوع فیلر بستگی دارد. برای مثال، جذب سطحی بین قیر و آهک هیدراته جذب شیمیائی با شدت زیاد است. حال آنکه، جذب سطحی بین قیر و فیلر سیلیسی جذب سطحی مکانیکی مولکول‌های غیر قطبی به وسیله نیروهای واندر والسی با شدت نسبتاً کم است [8]. به همین دلیل فعالیت فیلر بر اساس خواص فیزیکی- شیمیائی در سطح تماس بین فیلر و قیر توضیح داده می‌شود. خاصه‌های هندسی (شکل، تیز گوشگی، بافت سطحی)، و شدت جذب قیر در سطح تماس فیلر – قیر مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که با افزایش یافتن قابلیت جذب سطحی و نامنظمی هندسی ذرات، پیوند فیلر- قیر قویتر شده و مخلوطی با مقاومت بالاتر بدست می‌آید[8, 9] .

در عین حال نقش انواع فیلر در سفت کردن قیر با توجه به خواص منافذ ایجادکنندگی فیلرها در حالت متراکم، و تمایل آنها به جذب و نگهداری قیر توضیح داده شده است [4,6]. در این فرضیه استدلال می‌شود که قیر مورد نیاز مخلوط‌های فیلر- قیر حداقل مقدار لازم برای پر کردن منافذ تشکیل شده در فیلر در حالت متراکم (قیر ثابت)، به علاوه مقدار مورد نیاز برای پوشش دادن ذرات و در نتیجه روانی سازی مخلوط (قیر آزاد) می‌باشد. به عبارت دیگر در موقع افزودن قیر به فیلر متراکم، قیر ابتدا باید منافذ فیلر را پر نماید. قیر مازاد پس از آن قادر به روانسازی مخلوط فیلر– قیر خواهد بود.

دوام بتن آسفالتی

دوام مخلوط‌های آسفالتی روسازی عمدتاً به پایدار بودن چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی در شرایط وجود رطوبت بستگی دارد. از بین رفتن چسبندگی در مخلوط

www.SID.ir

Archive of SID

موجب عریان شدن دانه‌ها و در نتیجه ناپایداری شده و شرایط خرابی در روسازیهای آسفالتی را تشدید می‌کند. این وضعیت در صورت استفاده از مصالح سنگی آب دوست (hydrophilic) که تمایل به جذب و نگهداری قیر کمتری دارند (مثل کوارتزیت و بعضی گرانیتها) بیشتر قابل مشاهده است [1, 2, 7]. تهیه مصالح سنگی مناسب که خواص چسبندگی پایدار قیر به سطح دانه‌ها در مخلوط را داشته باشد، به لحاظ فاصله حمل اقتصادی و غیره همیشه ممکن نیست. در چنین مواردی بناچار باید از مصالح محلی موجود با انجام اصلاحات استفاده کرد. چنین اصلاحاتی معمولاًبه دو روش انجام می‌شود: اول اصلاح خواص چسبندگی قیر با استفاده از افزودنی‌های مناسب، و دوم اصلاح خواص سطحی مصالح سنگی از طریق پیش اندود کردن آنها با دوغاب آهک و غیره. راه حل دیگر این مشکل توجه به تأثیر مصالح تشکیل دهنده مخلوط مثل فیلر، بر چسبندگی بین مصالح سنگی و قیر در شرایط وجود رطوبت است. در این تحقیق تأثیر فیلرهای مختلف و بویژه تأثیر اصلاح فیلر سیلیسی بر دوام آسفالت مورد بررسی قرار گرفته است.

مصالح مصرفی

فیلرها. در این تحقیق، چهار نوع مختلف فیلر شامل فیلر آهکی (حاصل از شکستن یک نوع سنگ آهکی)، فیلر سیلیسی (حاصل از شکستن یک نوع سنگ سیلیسی)، فیلر سیلیسی اصلاح شده (حاصل از اختلاط فیلر سیلیسی و آهک هیدراته به نسبت ٤ به ١)، و فیلر خاکی (حاصل از مصالح روبار معدن)، مورد استفاده قرار گرفت. خواص فیلرهای مورد استفاده در جدول (١) نشان داده شده است. کلیه فیلرهای مورد اشاره قبل از مصرف از الک ۲۰۰ (۷۵ mμ) عبور داده شده و بخش گذشته از الک مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب با تعویض نوع فیلر تنها بخش گذشته از الک شماره ۲۰۰ تغییر نمود. منحنی دانه بندی فیلرها که به روش هیدرومتری (ASTM D422) یاد شده افزورن، در شکل (١) نشان داده شده است. در شکل یاد شده افزون بر دانه بندی فیلرها دانه بندی نظری ذرات با بیشترین دانسیته (کمترین منافذ)، که بر اساس رابطه فولر طبق معادله (١):

$$P = 100\,(d/D_{max})0.45 \qquad (1)$$

ترسیم گردیده نیز به منظور امکان مقایسه دانه‌بندی فیلرها با آن داده شده است. در رابطه بالا P درصد ریزتر، d اندازه دانه، و D_{max} بزرگترین اندازه یعنی mμ ۷۵ است.

قیر. در این تحقیق تنها از یک نوع قیر خالص ۷۰-۶۰ استفاده شد. در حال حاضر استفاده ازاین نوع قیر در اکثر پروژه‌های آسفالت در کشور در شرایط آب و هوائی معتدل و گرم و ترافیک سنگین معمول است. خواص این قیر در جدول (٢) داده شده است.

جدول١ خواص فیلرها

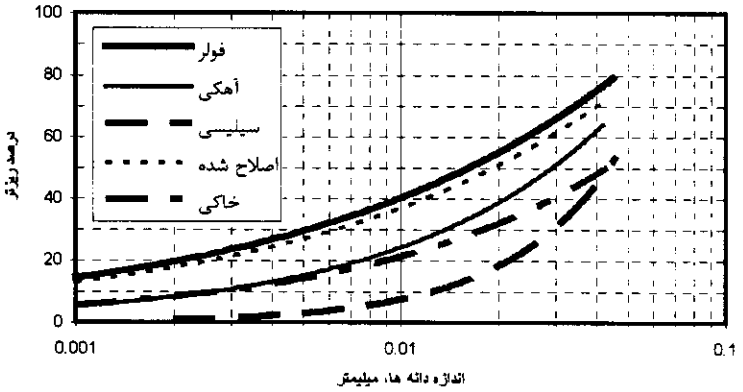
خواص / فیلر	وزن مخصوص ظاهری	pH	تخلخل نمونه
آهکی	۲/۷۰۵	۹/۱	۵۳/۹
سیلیسی	۲/٦۵۵	۱۰/۰۰	٤٤/٦
اصلاح شده	۲/۵۲۱	۱۲/٤	۳۸/۵
خاکی	۲/۵۵۹	۸/۸	۵۰/۵

جدول٢ خواص قیر

خاصیت	داده‌آزمایش
درجه نفوذ در C ° ۲۵، ۱۰۰ گرم، ۵ ثانیه،دهم میلیمتر	٦۹
نقطه نرمی (حلقه و گلوله)، C °	٤۹
کندروانی سی بولت فیورول در C° ۱۰۰، ثانیه	۲۳٤۰
شکل پذیری (انگمی)در C ° ۲۵، cm/min ۵سانتیمتر	۱۲۰
وزن مخصوص در C ° ۲۵	۱/۰۱

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ دانه‌بندی فیلرها

مصالح سنگی. مصالح سنگی مورد استفاده در این تحقیق از دپوی مصالح شکسته رودخانه ای مورد استفاده یکی ازکارخانه‌های آسفالت فعال در حومه شمال شرقی مشهد تهیه گردید. مصالح یاد شده از لحاظ جنس دانه‌ها به طورعمده از نوع دولومیتی و آهکی است. در این تحقیق به منظور امکان مطالعه تأثیر انواع فیلر بر خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی، در تهیه کلیه نمونه‌های بتن آسفالتی جنس (باستثناء فیلر) و دانه بندی مصالح سنگی ثابت نگهداشته شد. خواص فیزیکی مصالح سنگی مورد اشاره در جدول (۳) داده شده است.

جدول ۳ خواص فیزیکی مصالح سنگی درشت دانه و ریز دانه

خاصیت مصالح سنگی	وزن مخصوص ظاهری gr/cm3	وزن مخصوص حقیقی gr/cm3	جذب آب %	جذب قیر %
درشت دانه (ردشده از الک ۲۵ mm مانده روی الک ۸)	۲/۷۲۱	۲/۶۴۳	۱/۱۵	-
ریزدانه (ردشده از الک ۸ مانده روی الک ۲۰۰)	۲/۷۵٤	۲/۶۶۲	۱/۳۸	-
مخلوط مصالح سنگی	-	۲/۶۵۵	-	۰/۲۸

به منظور حذف تأثیرات احتمالی ناشی از تغییر در دانه بندی مصالح سنگی بر خواص بتن آسفالتی، دانه بندی پیوسته پیشنهادی در مشخصات فنی عمومی راه [11]، باحداکثر اندازه اسمی ۱۹ mm در تهیه کلیه نمونه‌های بتن آسفالتی به طور ثابت مورد استفاده قرار گرفت. خصوصیات دانه بندی یاد شده که به طورمعمول برای لایه‌های رویه و آستر آسفالتی در پروژه‌های راه در کشور بکار می‌رود، در شکل (۲) نشان داده شده است.

روش‌های آزمایش

مخلوط‌های فیلر- قیر. هدف از این دسته آزمایش‌ها ارزیابی تأثیر سفت‌کنندگی انواع فیلر از طریق مطالعه تغییرات در خواص رئولوژیکی مخلوط‌های فیلر- قیر و ارتباط آن با عملکرد فیلر در بتن آسفالتی روسازی بود. به منظور امکان مقایسه بین رفتار فیلرهای مختلف در مخلوط، اختلاط فیلر و قیر به نسبت‌های حجمی فیلر به قیر برابر با ۰/۲، ۰/۳، ۰/٤، و ۰/۵ انجام شد. انتخاب نسبت‌ها با توجه به حدود معمول تغییرات نسبت فیلر به قیر در مخلوط‌های آسفالتی صورت گرفت. البته در پاره‌ای موارد به علت سفت شدن بیش از حد مخلوط، انجام آزمون‌ها برای نسبت حجمی فیلر به قیر برابر با

www.SID.ir

Archive of SID

۰/۵ امکان پذیر نشد. برای آماده سازی مخلوط‌های فیلر- قیر ابتدا نمونه‌های فیلر و قیر در گرمخانه در دمای ۱۶۰ °C گرم شده و سپس با افزودن بسیار تدریجی فیلر به قیر در یک بشر که در حین اختلاط درون حمام روغن با دمای ثابت یاد شده قرار داشت، و همزدن منظم، عمل اختلاط تا حصول مخلوط با درصد فیلر مورد نظر ادامه یافت. بر روی قیر خالص که به منظور امکان مقایسه، مشابه مخلوط‌های فیلر - قیر قبلاً تا °C ۱۶۰ گرم شده و سپس به دمای محیط رسیده بود، و نیز مخلوط‌های فیلر - قیر آزمون‌های درجه نفوذ، نقطه نرمی، کندروانی سی بولت فیورول، و شکل پذیری با تبعیت از روشهای آورده شده در استاندارد AASHTO برای قیرهای خالص صورت گرفت.

نمونه‌های طرح اختلاط بتن آسفالتی. به منظور تعیین درصد قیر بهینه مخلوط‌های آسفالتی تهیه شده با فیلرهای مختلف، نمونه‌های مارشال (سه نمونه برای هردرصد قیر در مخلوط) با درصدهای مختلف قیر به روش آورده شده در استاندارد ASTM D1559-89 و با اعمال ۷۵ ضربه چکش استاندارد به هر طرف نمونه‌ها تهیه و آزمون‌های تعیین دانسیته، پایداری، و روانی بر روی آنها انجام گردید. در ارتباط با محاسبه تعیین درصد فضای خالی نمونه‌ها که به روش انستیتو آسفالت انجام گرفت [12]، دانسیته نظری حداکثر مخلوط‌های آسفالتی دارای فیلرهای متفاوت که با پیروی از روش آورده شده در استاندارد ASTM D2041-90 (روش رایس) بر روی مخلوط‌های آسفالتی نکوبیده صورت گرفت، تعیین گردید.

نمونه‌های بررسی دوام بتن آسفالتی. ارزیابی تأثیر انواع فیلر بر دوام آسفالت (تأثیر رطوبت و یخبندان - ذوب یخهای متوالی) با پیروی از روش آورده شده در استاندارد AASHTO T283-85 انجام گردید. از نتایج این آزمایش می‌توان برای پیش بینی حساسیت مخلوط به پدیده جداشدن قیر از سطح دانه‌های سنگی در دراز مدت استفاده نمود. برای این منظور بازاء هر نوع فیلر تعداد ٦ نمونه استوانه ای مارشال با درصد قیر بهینه مشخص شده در مرحله قبل، به طوری که دارای درصد فضای خالی مشابه شرایط کارگاه باشند (٦ تا ٨ درصد فضای خالی)، متراکم و آماده شد. سپس نمونه‌ها به دو گروه سه تائی تقسیم شد. گروه ۱ بدون اعمال هیچگونه شرایط به عنوان کنترل منظور گردید. نمونه‌های گروه ۲ تحت شرایط خلاء نسبی (۲۰ اینچ جیوه) به مدت ۵ دقیقه در آب تا درجه مشخصی (۵۵ تا ۸۰ درصد) اشباع گردیده و آنگاه در معرض یخبندان (°C ۱۸ -) به مدت ۱۵ ساعت) و ذوب یخ (°C ٦۰ به مدت ٢٤ ساعت) قرا ر داده شد. سرانجام تمامی ٦ نمونه در دمای ثابت °C ۲۵ تحت آزمایش کششی غیر مستقیم قرار گرفته و نسبت مقاومت کششی نمونه‌های تحت شرایط واقع شده به نمونه‌های کنترل به عنوان شاخص دوام محاسبه گردید.

بحث در نتایج آزمایش ها

تأثیر فیلرها بر خواص مخلوط‌های فیلر- قیر. نتایج آزمایش ها درجه نفوذ، نقطه نرمی، کندروانی، و شکل پذیری بر مخلوط‌های فیلر- قیر در شکل‌های (۳) تا (٦) نشان داده شده است. همانطور که در شکل‌های یاد شده ملاحظه می‌شود، در مورد کلیه فیلرها با افزایش نسبت فیلر به قیر سفت شدن مخلوط که با کاهش درجه نفوذ، افزایش نقطه نرمی، افزایش کند روانی، و کاهش شکل پذیری همراه است، روی می‌دهد. به طور کلی همبستگی مشخصی بین خواص فیزیکی مخلوط‌ها در آزمایش‌های یاد شده می‌توان دید. فیلرهائی که درجه نفوذ و شکل پذیری مخلوط را به میزان بیشتری کاهش دادند در عین حال نقطه نرمی و کند روانی را با شدت بیشتری افزایش دادند. روند کاهش درجه نفوذ و شکل پذیری، و نیز روند افزایش درجه نرمی و کند روانی، با افزایش نسبت فیلر به قیر در مخلوط‌ها متفاوت بوده و

www.SID.ir

Archive of SID

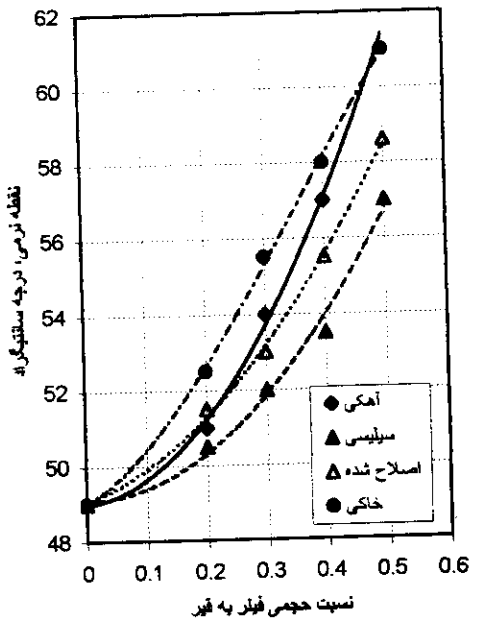
آشکارا به نوع فیلر موجود در آنها بستگی دارد. همانطور که از شکل‌های فوق بر می‌آید، از لحاظ سفت کردن مخلوط، فیلرهای خاکی و سیلیسی، به ترتیب، بیشترین و کمترین تأثیر را دارند واز این لحاظ فیلر اصلاح شده مؤثرتر از فیلر سیلیسی است. تفاوت‌های مشاهده شده در خواص سفت کنندگی فیلرهای مختلف را می‌توان به خواص دانه بندی (شکل ۱) و منافذ ایجاد کنندگی آنها (جدول ۱) نسبت داد. همانطور که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود، فیلر سیلیسی درشت دانه ترین و فیلر اصلاح شده به علت دارا بودن افزودنی آهک هیدراته، ریزدانه ترین فیلرهای بکار رفته می‌باشند. در مقایسه با منحنی تئوریک فولر ملاحظه می‌شود فیلرهای سیلیسی و اصلاح شده، به ترتیب، بیشترین و کمترین منافذ را دارند. از سوی دیگر با توجه به داده‌های جدول (۱) فیلر آهکی بیشترین مقدار تخلخل لرزیده را دارا بوده و فیلر خاکی از این لحاظ در ردیف بعدی قرار می‌گیرد. با مراجعه به شکل‌های (۳) الی (٦) مشخص می‌شود که این دو فیلر بیشترین تأثیر را از لحاظ سفت کردن قیر داشته اند. این موضوع نشان دهنده آن است که دانه بندی فیلر مصرف شده به تنهائی معیار سفت کنندگی آن در مخلوط فیلر- قیر نمی‌باشد بلکه ویژگی‌های منفذ ایجاد کنندگی ذرات، و نیز تمایل آنها به جذب سطحی قیر که به منشاء کانی فیلر و ساخت سطحی ذرات بر می‌گردد، در این امر دخیل است.

روند افزایش کند روانی نشان داده شده در شکل (۵) باید مورد توجه قرار گیرد. منحنی‌ها در شکل یاد شده نشان می‌دهند که حتی با مقدار فیلر یکسان می‌توان تغییرات گسترده ای در کند روانی مخلوط برای فیلرهای مختلف می‌توان انتظار داشت. در نسبت پائین فیلر به قیر (۰/۲)، فیلر خاکی که با توجه به منحنی دانه بندی شکل(۱) مخلوطی از تقریباً ۹۰٪ لای و ۱۰٪ رس می‌باشد، کند روانی مخلوط را به بیش از دو برابر افزایش داد. آثار سفت کنندگی از این دست از لحاظ تراکم پذیری مخلوط بسیار مهم اند. فیلر هائی از این نوع که سفتی زیاد مخلوط را باعث می‌شوند، بویژه در شرایط بالا بودن نسبت فیلر به قیر در مخلوط، تراکم آن را دشوار می سازند و ازاین رو در عمل، حداقل دمای مورد نیاز برای تراکم آنها بالاتر خواهد بود. چنانچه درصد رس موجود در این گونه فیلرها افزایش یابد، تأثیر منفی مورد اشاره تشدید خواهد شد.

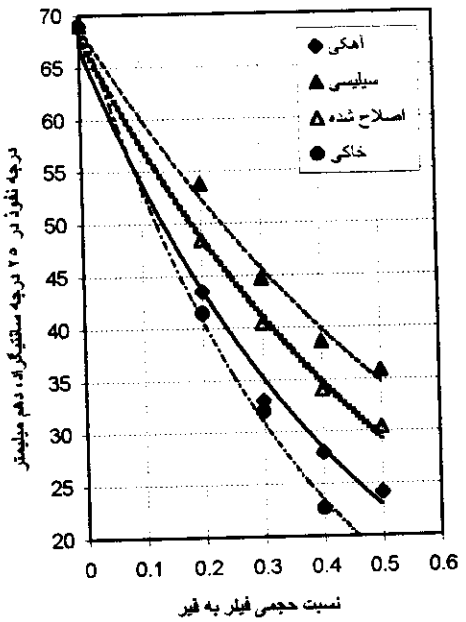
تأثیر فیلرها بر خواص بتن آسفالتی. تأثیر کار برد انواع فیلر بر خواص بتن آسفالتی در شکل‌های (۷) تا (۱۰) نشان داده شده است. همانطور که از شکل‌های یادشده و مقایسه آنها با شکل‌های (۳) تا (٦) که قبلاً مورد بحث قرارگرفتند برمی‌آید، بین ویژگی‌های رئولوژیکی مخلوط فیلر خاکی- قیر و خصوصیات بتن آسفالتی ساخته شده با این فیلر همبستگی و جود دارد. فیلر خاکی که خاصیت سفت کنندگی بالائی در مخلوط فیلر -قیر از خود نشان داد، نمونه‌های ساخته شده با آن دانسیته و پایداری کمتر و درصد فضای خالی بزرگتری دارند. وجود چنین همبستگی با توجه به قابلیت تراکم پذیری کمتر مخلوط‌های سفت تر در شرایط دمائی یکسان قابل توجیه است. در مورد فیلر سیلیسی نیز با توجه به شکل‌های فوق نوعی همبستگی قابل تشخیص است. فیلر سیلیسی که کمترین خاصیت سفت کنندگی قیر در مخلوط‌های فیلر- قیر را از خود نشان داد (شکل‌های ۳ تا ٦)، نمونه‌های ساخته شده با آن در مقایسه با نمونه‌های بتن آسفالتی ساخته شده با فیلرهای آهکی و اصلاح شده، پایداری کمتر، روانی بزرگتر (در گستره درصد قیر بهینه)، و درصد فضای خالی بزرگتری دارند (شکل‌های ۸ و ۹ و ۱۰). وجود چنین همبستگی ای با توجه به ضعف این فیلر در جذب و نگهداری قیر قابل توجیه است.در مورد کلیه فیلرها دانسیته و پایداری نمونه‌های بتن آسفالتی (شکل‌های ۷ و ۸) با افزایش درصد قیر در مخلوط، ابتدا افزایش یافته و سپس روبه کاهش می‌گذارد.

www.SID.ir

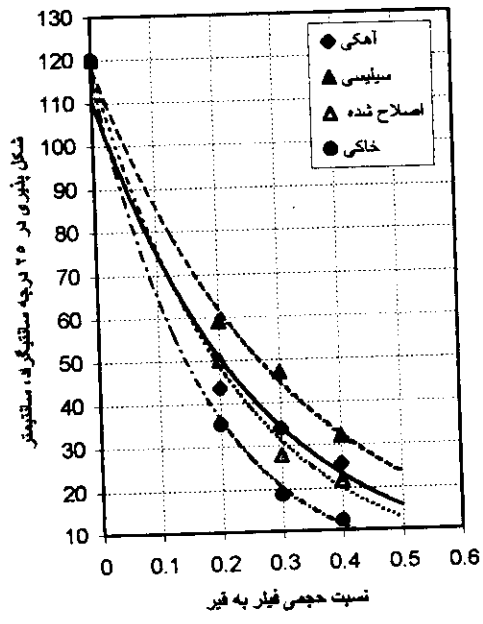
Archive of SID



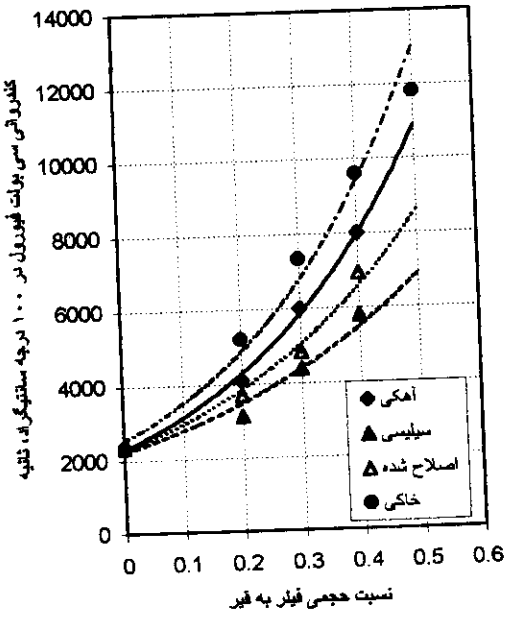
شکل ٤ تأثیر نوع و مقدار فیلر بر نقطه نرمی مخلوطهای فیلر ـ قیر



شکل ۳ تأثیر نوع و مقدار فیلر بر درجه نفوذ مخلوطهای فیلر ـ قیر در ۲۵ درجه سانتیگراد



شکل ٦ تأثیر نوع و مقدار فیلر بر شکلپذیری مخلوطهای فیلر ـ قیر



شکل ٥ تأثیر نوع و مقدار فیلر بر کندروانی مخلوطهای فیلر ـ قیر

www.SID.ir

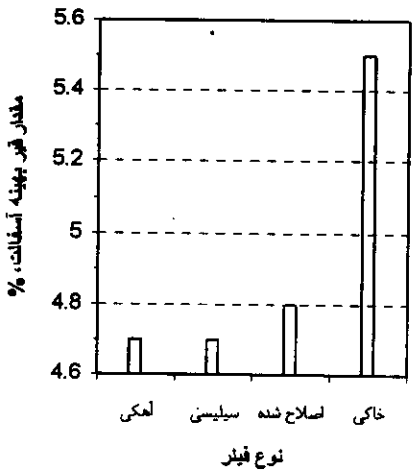
Archive of SID

علت آن است که در آغاز با افزایش ضخامت لعاب قیر اصطکاک بین دانه‌ها کاهش یافته و کار پذیری مخلوط افزایش می‌یابد که در نتیجه موجب افزایش دانسیته در تراکم و در نهایت پایداری نمونه‌ها می‌گردد. در ادامه با ضخیم تر شدن لعاب قیر قفل و بست اصطکاکی بین دانه‌ها کاهش یافته سبب دور شدن آنها از یکدیگر و در نهایت کاهش دانسیته و پایداری می‌گردد. همانطور که در شکل‌های (۷) و (۸) ملاحظه می‌شود، نمونه‌های ساخته شده با فیلر خاکی کمترین مقادیر دانسیته و پایداری و بیشترین مقادیر فضای خالی آسفالت را دارا هستند. این موضوع با توجه به اهمیت این پارامترها در ظرفیت بار بری و دوام آسفالت در شرایط بهره برداری نشان دهنده تأثیر منفی مصرف فیلرهائی از این نوع در آسفالت است.

گرچه سوای نمونه‌های بتن آسفالتی ساخته شده با فیلر خاکی از لحاظ دانسیته حداکثر (شکل۷)، تفاوت قابل ملاحظه ای بین نمونه‌های ساخته شده با فیلرهای مختلف مشاهده نمی‌شود، لیکن از لحاظ پایداری (شکل۸) تفاوت‌ها نسبتاً قابل ملاحظه است. نمونه‌های ساخته شده با فیلر آهکی آشکارا پایداری بیشتری از خود نشان می‌دهند. بویژه افزایش پایداری نمونه‌های ساخته شده با فیلر سیلسی اصلاح شده در مقایسه با نمونه‌های ساخته شده با فیلر سیلیسی شایان توجه است. همانطور که در شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود درصد فضای خالی در نمونه‌های ساخته شده با فیلر اصلاح شده با درصد قیر یکسان، کمتر از نمونه‌های ساخته شده با فیلر سیلیسی است. این موضوع نشان دهنده تأثیر مثبت اصلاح فیلر سیلیسی با آهک از لحاظ بهبود آب بندی آسفالت می‌باشد.

از لحاظ روانی (تغییر شکل قطری نمونه در لحظه گسیختگی)، در گستره قیر بهینه مخلوطها (٤/٥ تا ٥/٥ درصد تفاوت چنی بین نمونه‌های ساخته شده با فیرهای مختلف مشاهده نمی‌شود (شکل۹)، لیکن با افزایش یافتن درصد قیر، روانی نمونه‌ها با روند کم و بیش یکسانی رشد می‌کند و در مقایسه، کمترین نرخ رشد به نمونه‌های ساخته شده با فیلر خاکی مربوط می‌شود که علت را می‌توان به سفت تر بودن ماستیک مخلوط آسفالتی ساخته شده با این نوع فیلر نسبت داد.

تأثیر استفاده از فیلرهای مختلف از جنبه اقتصادی نیز شایان توجه است. همانطور که در شکل (۱۱) ملاحظه می‌شود، مقدار قیر بهینه در نمونه‌های ساخته شده با فیلر خاکی بسیار بیشتر از سایر نمونه هاست. در واقع در صورت مصرف این گونه مصالح به عنوان فیلر، در عین مصرف قیر بیشتر و در نتیجه غیر اقتصادی تر بودن مخلوط در مقایسه با سایر فیلرها، همانطور که قبلاً بحث شد بتن آسفالتی تولید شده ظرفیت باربری پائین تری خواهد داشت (شکل۸). واضح است که با افزایش درصد رس در فیلرهائی از این نوع نسبت به آنچه در این تحقیق بکار رفت (حدود ۱۰٪)، قیر بیشتری مورد نیاز خواهد بود.



شکل ۱۱ تأثیر نوع فیلر بر مقدار قیر مورد نیاز آسفالت

تأثیر فیلرها بر دوام بتن آسفالتی. نتایج آزمایش کششی غیر مستقیم بر روی نمونه‌های کنترل و نمونه‌های تحت شرایط قرار داده شده، در جدول (٤) و شکل (۱۲) نشان داده شده است. همانطور که از

www.SID.ir

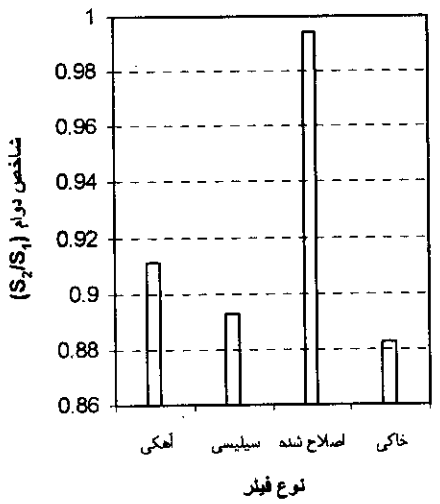
Archive of SID

داده‌های جدول و شکل یادشده برمی‌آید، بیشترین مقاومت کششی مربوط به نمونه‌های ساخته شده با فیلر سنگ آهکی و کمترین آنها مربوط به فیلر خاکی است. با توجه به اینکه سطح مقاومت کششی نشانه ای از میزان چسبندگی موجود در آسفالت متراکم شده می‌باشد، نقش فیلر مناسب در تأمین این خاصیت مهم مشخص می‌شود.

تأثیر شرایط اعمال شده بر مقاومت کششی نمونه‌های بتن آسفالتی در مورد نمونه‌های ساخته شده با فیلرهای مختلف متفاوت بوده و همانطور که از شاخص دوام آنها (شکل۱۲) بر می‌آید، از این لحاظ فیلر اصلاح شده بهترین و فیلر خاکی بدترین عملکرد را دارند.

جدول ٤ مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های بتن آسفالتی

فیلر	S_1 (متوسط مقاومت کششی نمونه‌های کنترل، N/mm^2)	S_2 (متوسط مقاومت کششی نمونه‌های تحت شرایط، N/mm^2)	نسبت مقاومت $TSR = S_2/S_1$ (شاخص دوام)
آهکی	۱/۳۳٤	۱/۲۱٦	۰/۹۱۱
سیلیسی	۱/۲۸٤	۱/۱٤۷	۰/۸۹۳
اصلاح شده	۱/۲٤۱	۱/۲۳٤	۰/۹۹٤
خاکی	۱/۱۳۷	۱/۰۰٥	۰/۸۸۳



شکل۱۲ تأثیر نوع فیلر بر مقاومت آسفالت در برابر یخبندان- ذوب یخ

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری

نوع و میزان فیلر بکار رفته بر خواص رئولوژیکی مخلوط فیلر- قیر تأثیر دارد. در مجموع فیلرهای با خاصیت منفذ سازی بالاتر خواص سفت کنندگی بیشتری از خود نشان می‌دهند.

نوع فیلر بکار رفته بر خواص مکانیکی بتن آسفالتی تأثیر دارد. در شرایط یکسان از لحاظ تهیه نمونه‌ها و درصد وزنی فیلر در مخلوط، فیلرهای با خاصیت جذب قیر زیاد و منشاء کانی نامناسب (لای و رس)، تقلیل دانسیته، افزایش درصد فضای خالی، و تقلیل پایداری بتن آسفالتی را سبب می‌گردند.

نوع فیلر مصرف شده بر مقدار قیر مورد نیاز بتن آسفالتی و در نتیجه بر هزینه‌ها تأثیر دارد. مخلوطهای آسفالتی ساخته شده با فیلرهای نامناسب، با وجود تولید مخلوط با پایداری کمتر و درصد فضای خالی بزرگتر، به قیر بیشتری نیاز دارند.

مصرف فیلرهای نامناسب از جنس رس، لای، و سیلیس، سبب تقلیل دوام آسفالت می‌گردد. جایگزین کردن بخشی از فیلر سیلیسی با پودر آهک هیدراته عملکرد این نوع فیلر در بتن آسفالتی را از لحاظ دوام و خواص مکانیکی مطلوب آن، بهبود می‌بخشد.

مراجع

1. The Asphalt Institute, "*Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements*", Manual Series No.22, College Park, Md. (1983).
2. Hyoon, H. H., and Tarrer, A. R., "Effect of Aggregate Properties on Stripping in Transportation", Research Report 1171, TRB. National Research Council, Washington, D. C., pp. 37-43, (1988).
3. Puzinauskas, V. P., "Filler in Asphalt Mixtures", Research Report No. 69-2, The Asphalt Institute, Research Park Drive, Lexington, Kentucky, (1983).
4. Anderson, D. A., Tarris, J. P., and Brock, J. D., "Dust Collector Fines and Their Influence on Mixture Design", *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 51, pp. 363-397, (1982).
5. Anderson, D. A., and Tarris, J. P., "Characterization and Specification of Baghous Fines", *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 52, pp. 88-120, (1983).
6. Anderson, D. A., "Guidelines for Use of Dust in Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures", Proceedings of *The Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 56, pp. 492-516, (1987).
7. Ishai, I., and J. Craus, "Effect of the Filler on the Aggregate-Bitumen Adhesion Properties in Bituminous Mixtures", *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 46, pp. 228-258, (1977).
8. Craus, J., I. Ishai, and A. Sides, "Some Physico-Chemical Aspects on the Effect of the Filler on the Properties and Behavior of Bituminous Paving Mixtures", *Proceedings of The Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 47, pp. 558-588, (1978).

www.SID.ir

Archive of SID

9. Craus, J., I. Ishai, and A. Sides, "Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Type and Properties", *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 50, pp. 291-318, (1981).

10. Ishai, I., and J. Craus, "Effects of Some Aggregate and Filler Characteristics on Behavior and Durability of Asphalt Paving Mixtures", Transportation Research Report 1530. TRB, National Research Council, Washington, D. C., pp. 75-85, (1996).

۱۱. سازمان مدیریت و برنامه ریزی، "مشخصات فنی عمومی راه"، نشریه ۱۰۱، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، (۱۳۷۵).

12. The Asphalt Institute, "*Mix Design Mehods for Asphalt Concrete and other Hot-Mix Types*", Manual Series No.2, The Asphalt Institute, College Park, Md., (1983).

13. Kandhal, P. S., "Field and Laboratory Investigation of Stripping in Asphalt Pavements: State of the Art Report", Transportation Research Report 1454, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 36-47, (1994).

www.SID.ir