

ارایه رویکردی نوین جهت کاهش خستگی سطوح با پوشش آسفالتی

افشین عندلیبی^{*}

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، ایران

خلاصه

در راه‌های پر تردد و بار محوری سنگین برای جلوگیری از شیارافتادگی سطح راه، سایدگی و خرابی‌های گوناگون و افزایش عمر رویه‌های آسفالتی، مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه‌ای (SMA) ابداع گردید. از ویژگی‌های این نوع آسفالت ایجاد یک ساختار یک پارچه سنگی، و همچنین استفاده از قیر بیشتر است. که در طول عمر آسفالت و همچنین کاهش خرابی‌های لایه آسفالتی تاثیر بسزایی دارد. بعلاوه درشت دانه بودن مصالح مصرفی در این نوع آسفالت و بالا بودن فضای خالی بین مصالح مصرفی و مصرف نسبتاً زیاد قیر در این نوع از مخلوط آسفالتی، در زمان تولید، ذخیره سازی، حمل، پخش، اجرا و بعد از آن ریزش قیر (زهکش شدن قیر) اتفاق خواهد افتاد. برای جلوگیری از این موضوع، تثبیت قیر مصرفی و کاهش فضای خالی از الیاف به عنوان یک نگهدارنده و تثبیت کننده در مخلوط استفاده می‌کنیم. الیاف، با افزایش ضخامت فیلم قیر بر روی سنگدانه‌ها، علاوه بر جلوگیری از ریزش قیر، موجب تاخیر در پیرشدگی و خستگی و افزایش دوام آسفالت می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر الیاف مختلف بر میزان ریزش قیر در مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه‌ای است. برای این منظور با فرض ثابت بودن مصالح سنگی، قیر و طرح اختلاط آسفالت با تغییر نوع و درصد وزنی الیاف و انجام آزمایش تعیین درصد ریزش قیر (شلتبرگ) انواع الیاف مصرفی در آسفالت SMA بررسی گردید و با توجه به آزمایشات انجام شده در این تحقیق مشخص گردید الیاف سلولزی با مشاء طبیعی نسبت به سایر الیاف تاثیر بیشتری در جلوگیری از ریزش قیر دارد.

کلمات کلیدی: الیاف، آسفالت با استخوان بندی سنگدانه‌ای.

^{*} Corresponding author: Afshin Andalibi
Email: afshinandalibi@gmail.com

۱. مقدمه

آسفالت های ماستیکی سنگدانه ای (آسفالت SMA)، در دهه ۶۰ میلادی در آلمان ابداع و در سال ۱۹۸۴ اولین دستورالعمل فنی برای آن منتشر شد. از سال ۱۹۹۰ در اروپا و آمریکا و ۱۹۹۴ در روسیه به مصرف فراگیر دست یافت و هم اکنون در رده آسفالت داغ پر مصرف در تمامی اقلیم و شرایط فنی کاربرد دارد. SMA آسفالتی با استخوان بندی درشت دانه، شامل سنگدانه، قیر، فیلر، و الیاف است. این ترکیب نوین روسازی دارای درصد درشت دانه بالا و فضای های خالی کمتر و قیر بیشتری نسبت به آسفالت سنتی است. این فرم ویژه آسفالت با سابقه ۵۰ ساله در اروپا تحت چند ویژگی ساختاری منتج به خواص قابل توجهی می شود.

الیاف در آسفالت های ماستیکی سنگدانه ای (SMA)، عامل تثبیت، تسلیح و پخش همگن مخلوط و همچنین جلوگیری از ریزش قیر می باشد. الیاف با نفوذ در ساختار قیر به همراه فیلر قسمتی از ملات چسبیده میان سنگدانه ها را تشکیل می دهد. این الیاف ها با توجه به وزن ناچیز و حجم قابل توجه و متعاقباً شبکه زنجیر وار، نقش یک پرکننده و نگهدارنده را در مخلوط های آسفالت ماستیکی سنگدانه ای ایفا می نماید.

به علت مصرف درصد بالاتری از قیر با حفظ بهینگی و به جهت سهم بالای درشت دانه در SMA مخلوط آسفالتی به یک نگهدارنده و عامل معلق کننده در قیر نیازمند است لذا الیاف، افزودن این مقدار اضافی قیر را بدون هیچگونه تاثیر منفی تضمین می کند. استفاده از الیاف همچنین از زهکش شدن و خروج قیر از میان مصالح سنگی جلوگیری کرده و به پراکندگی همگن و سهولت تراکم کمک می کند. بنابراین آرمه شدن مخلوط با الیاف موجب بهبود خاصیت انگمی، الاستیسیته مناسب، افزایش حد پلاستیک و مقاومت کششی آسفالت حاصله خواهد شد.

آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای SMA یک مخلوط آسفالتی، متشکل از سنگدانه هایی با دانه بندی باز یا منقطع همراه با مقدار زیاد سنگدانه های درشت، فیلر و ماده ی چسبنده است. اکثراً در این مخلوط به یک افزودنی تثبیت کننده، که از خارج شدن چسبنده از سنگدانه جلوگیری کند هم نیاز است [۱۳].

اولین نوع این آسفالت با حدود ۴ درصد مقدار مخلوط قیری، الیاف آزیستی یا پودر رزینی به عنوان افزودنی پایدار ساز تولید شد. نوع و مشخصات افزودنی های پایدار ساز در زمانی که مقدار بالای مخلوط قیری مورد استفاده قرار می گیرد بسیار مهم می باشد [۱۴].

در سال های گذشته طراحی آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای دستخوش تغییراتی در جهت بهبود تکنولوژی، اقتصادی، اکولوژی شده است. امروزه، برای مثال، افزودنی های دیگری مانند سلولز و الیاف معدنی، پلیمرها و سیلیس مورد استفاده قرار گرفته است. با بعضی از این افزودنی ها نمی توان از مقدار زیاد قیر استفاده نمود [۱۵].

در آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای SMA، درصد بالای درشت دانه و ایجاد بافت یگ پارچه سنگی حائز اهمیت است که به واسطه کاهش میات دانه و بوجود آمدن یک گپ در منحنی دانه بندی مخلوط، عملاً ترکیبی میان تهی حاصل خواهد شد. لذا به این وسیله درگیری سنگدانه و ایجاد بافت یک پارچه سنگی تامین می شود.

استفاده از مصالح با کیفیت بالا برای حصول به مقاومت و استحکام مورد نظر در آسفالت های با استخوان بندی سنگدانه ای حائز اهمیت است. در این راستا فرم مصالح، درصد شکستگی و ارزش سایش لس آنجلس از پارامترهای قابل توجه در کیفیت مصالح به شمار می آیند. مخلوط آسفالت های با استخوان بندی سنگدانه ای در نهایت حاوی سهم درشت دانه بیشتر، قیر بیشتر، فیلر بیشتر و الیاف تثبیت کننده نسبت آسفالت های رایج می باشد [۱۵].

۲. کاربرد آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای

کاربرد آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای SMA، در اوایل فقط برای جلوگیری از ساییدگی و صیقلی شدن سطح بکار می رفت، اما در برخی کشورها از آن به عنوان لایه باربر هم استفاده می شود. در دهه های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، قیرهای اصلاح شده پلیمری به طور وسیع مورد استفاده قرار نمی گرفت و فقط از قیرهای معمولی استفاده می شد ولی با دوام بودن لایه های SMA و مقاومتشان در برابر شیار شدگی به طور قابل ملاحظه ای مورد توجه قرار می گرفت. مخلوط SMA، نه تنها برای مقاومت در برابر سایش مناسب بود، برای مقاومت در برابر شیارشدگی و دوام بسیار مناسبی نیز داشت. امروزه SMA، به عنوان یک مخلوط ایده آل برای روسازی های آسفالتی با بارگذاری سنگین محسوب می شود در ذیل به برخی از کاربردهای آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای SMA اشاره شده است.

۲-۱ استفاده در پل های فلزی:

در عرشه پل های فلزی نیاز به سیستمی احساس می گردد که دارای خصوصیات ذیل باشد: [۱۶]

- با عرشه فلزی پیوسته بوده، آن را حفظ نماید.
- بدون هیچ گونه مشکلی ناشی از خستگی، به همراه فلز حرکت نماید.
- قابلیت تحمل ترافیک سنگین را به مدت چندین سال داشته باشد.
- سبک باشد.

مخلوط های آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای به دلیل دارا بودن انعطاف پذیری بالا در مقایسه با آسفالت های معمولی و همچنین عدم فضای خالی و نفوذ ناپذیر بودن از یک طرف و چسبندگی و اتصال قوی به سطوح پل بخصوص پل های فلزی، یکی از مهم ترین گزینه های مورد استفاده می باشد، که در بسیاری از پل ها مهم دنیا نظیر پل هامبورگ در انگلستان و پل هونشوئیکو در ژاپن و بسیاری از پل های موجود در کشور آلمان مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۲ استفاده در پایانه ها و بنادر:

روکش آسفالتی متداول در محل پایانه ها و ایستگاه های وسایل حمل و نقل سنگین به دلیل حرکت کند و همچنین توقف های نسبتاً طولانی، این وسایل به مرور زمان دچار پدیده خزش گردیده، بعد از مدتی، تغییر شکل های موجی شکل و گودی های اثر چرخ در سطح روسازی آشکار می شود.

این پدیده در مناطق گرمسیر، بحرانی تر می باشد. همچنین در بنادر و اسکله ها که عموماً سطوح از بتن ساخته شده که در اثر تردد وسایل نقلیه، دچار ساییدگی و نیز بروز ترکها و شکستگی هایی در روسازی می شود و یا اگر از آسفالت های معمولی جهت روکش این سطوح استفاده شود، به دلیل ضعف اتصال بین آسفالت و بتن، به مرور در اثر شتاب و ترمزگیری کامیون ها، آسفالت جمع شده، سطوح حرکت موجی شکل می گیرند [۱۷].

آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای به دلیل مقاومت بالا در مقابل خزش و همچنین چسبندگی قوی با بتن و لایه های زیرین به عنوان یکی از بهترین روکش ها در این مناطق تجربه شده است. استفاده از SMA در بنادر علاوه بر موارد فوق به دلیل ویژگی آبدی ماستیک موجب حفاظت سازه بتنی در مقابل عوامل جوی نیز می شود.

۲-۳ استفاده جهت آب بندی:

حفظ سازه های بتنی همانند پل ها، در برابر آب یا مواد شیمیایی خورنده بسیار ضروری است. آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای SMA در دستگاه پخت آماده شده و در محل اجرا می گردد. از مزایای استفاده آسفالت SMA آب بندی ضخامت آن است، که می توان مشکلات ناشی از سوراخ شدن لایه بوسیله تکه سنگ و عیوب بتنی را کاهش می دهد. از مزایای آسفالت SMA می توان به موارد ذیل اشاره نمود [۱۸]:

- عمر سرویس دهی طولانی (بهره وری)
- داشتن مقاومت بالا در برابر تغییر شکل (به خاطر وجود میزان بالای سنگدانه های درشت و ساختار محکم در هم قفل شده ذرات سنگدانه در مخلوط)
- این مخلوط به دلیل داشتن میزان ماده ی چسباننده بالاتر، دیرتر خسته و فرسوده می شود.
- بدلیل وجود ذرات سخت و درشت دانه، مقاومت سایشی این مخلوط در برابر ترافیک بسیار مناسب است.
- داشتن بافت درشت در سطح روسازی باعث کاهش پاشش آب ناشی از عبور خودروها بر روی سطح خیس می شود.
- باعث کاهش آلودگی صوتی ناشی از حرکت خودروها می شود.

۳. ترکیبات اصلی آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای

ترکیبات اصلی آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای SMA به بخش های زیر تقسیم می شوند:

- ساختار سنگدانه های درشت
- ماده یا ملات ماستیک (شامل قیر، فیلر، سنگدانه ریز و الیاف تثبیت کننده)
- فضای خالی مخلوط آسفالتی

۴. تفاوت آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای با بتن آسفالتی

آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای SMA یکی از انواع آسفالت گرم بوده و نحوه تولید آن تقریباً شبیه انواع آسفالت گرم است.

آسفالت گرم، مخلوطی است از سنگدانه های شکسته و دانه بندی شده و فیلر که در کارخانه آسفالت حرارت داده شده و با قیر گرم در درجه حرارت تهای معین، مخلوط و به همان صورت گرم برای مصرف در راه، حمل، پخش و کوبیده می شود. دوام زیاد، تولید یکنواخت، کنترل درجه حرارت و رطوبت مصالح و آماده شدن سریع برای عبور ترافیک، از مزایای آسفالت گرم می باشد که بدون هیچگونه محدودیتی در راه ها، خیابان ها، فرودگاه ها، باراندازها، پایانه ها و پارکینگ ها مورد مصرف قرار می گیرد.

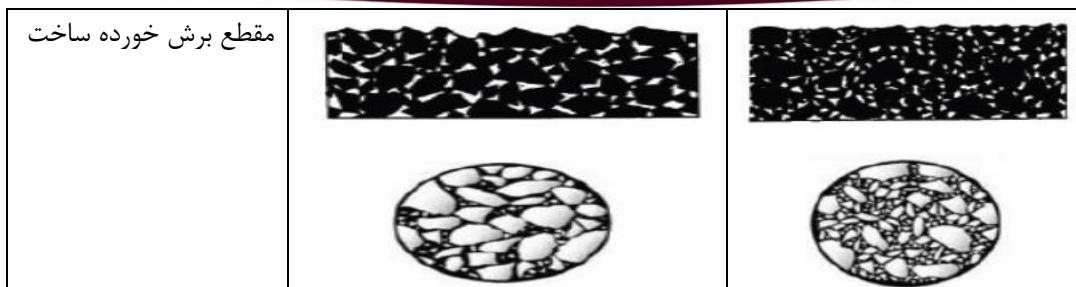
انواع مخلوطهای آسفالت گرم در قشرهای روسازی راه به شرح زیر است [۱۹]:

- قشر رویه (توپکا)
- قشر آستر (بیندر)
- اساس قیری
- ماسه آسفالت
- آسفالت متخلخل
- آسفالت ماستیک درشتدانه یا آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای SMA

آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای SMA نیز همیشه به عنوان قشر رویه بکار می رود ولی از نظر ساختاری تفاوت هایی بین آنها وجود دارد که در جدول ۱ به برخی از آنها اشاره شده است.

جدول ۱: تفاوت آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای با بتن آسفالتی

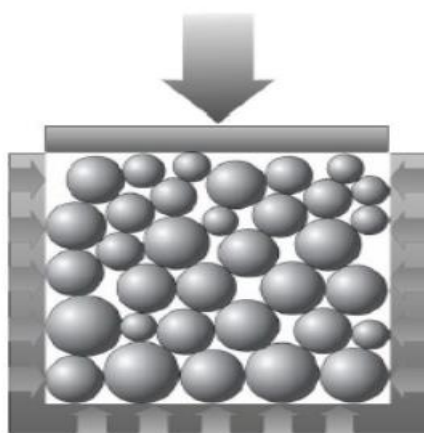
مشخصات	آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای	بتن آسفالتی
	شامل سنگدانه های معدنی که تشکیل شده است از مقدار زیادی مصالح درشت دانه با دانه بندی ناپیوسته (شن شکسته، ماسه شکسته، پرکننده)، قیر راه سازی به عنوان چسب و الیاف تثبیت کننده	شامل سنگدانه های دانه بندی شده (شن شکسته، ماسه شکسته و یا طبیعی، پرکننده) و قیر راه سازی به عنوان ملات
مقادیر سنگدانه های درشت (درصد وزنی نسبت به مخلوط آسفالتی)	٪۷۳-۸۰	٪۵۰-۶۰
مقادیر ماسه و فیلر (درصد وزنی نسبت به مخلوط آسفالتی)	٪۲۰-۲۵	٪۴۰-۵۰
مقدار فیلر (درصد وزنی نسبت به مخلوط آسفالتی)	٪۸-۱۲	٪۶-۱۰
نوع قیر (براساس درجه نفوذ)	۶۰/۷۰	۸۵/۱۰۰، ۶۰/۷۰
مقدار قیر (درصد وزنی نسبت به مخلوط آسفالتی)	حدود ۱٪ بیشتر از بتن آسفالتی	٪۳,۸-۶,۴
الیاف تثبیت کننده (در یک تن مخلوط آسفالت)	۳-۵kg	_____
فضای خالی (void) (درصد در کل حجم آسفالت متراکم)	٪۳-۴	٪۳-۵
ضخامت لایه	٪۳,۵-۴	۴-۵cm



۵. تشکیل یک ترکیب سنگدانه ای درشت

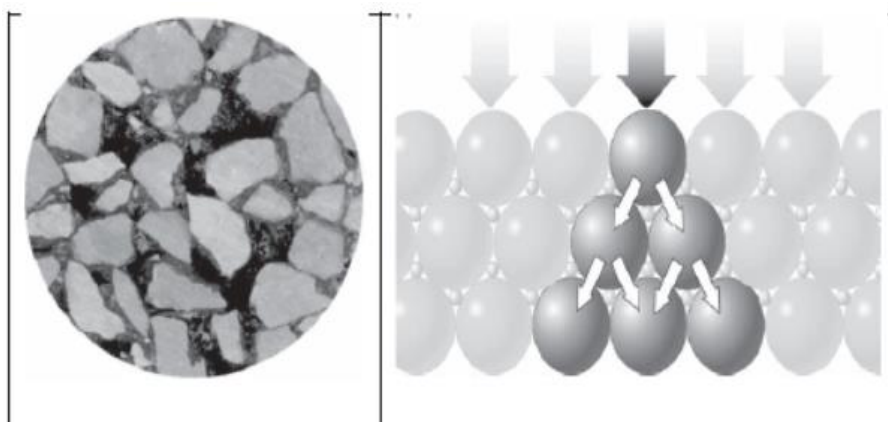
دلیل طراحی مخلوط هایی با ترکیبهای معدنی محکم تر و قوی تر چیست؟ مطمئناً بدلیل ترافیکهای سنگین است. نه تنها بارهای محوری و حجم ترافیک در حال افزایش است، بلکه ساختار لاستیکهای وسایل نقلیه هم در حال تغییر می باشد. برای مثال، متداول شدن استفاده از لاستیکهای سوپر، سطح تنشهای اعمال شده بر روسازی ها را تغییر داده است. واضح است که تمام این عوامل بر مخلوط های آسفالتی تأثیر خواهد گذاشت.

برای نشان دادن ترکیب مخلوط SMA، می توان از یک مثال ساده استفاده کرد. اگر ما بعضی از ذرات درشت را در یک محفظه قرار دهیم و آنها را متراکم کنیم و سپس بار روی آنها اعمال کنیم، بستگی به مقاوم مصالح سنگی، یک ترکیب با مقاومت فشاری بالا داریم. ویژگی منحصر به فرد چنین ذرات درشت متراکم شده، ارتباط کامل و پیوسته ی بین ذرات است.



شکل ۱: چگونگی درگیری مصالح سنگی در یک ترکیب درشت دانه

شکل ۲ یک طرح شماتیک از چگونگی تحمل بار توسط یک ترکیب معدنی (یک سطح)، با فرض ارتباط کامل بین ذرات را نشان می دهد. انتقال بار توسط ذرات مجاور از طریق نقاط اتصال بین سنگدانه های درشت را هم می توان در این تصویر مشاهده کرد. اگر این نقاط اتصال یا ارتباط بین ذرات سنگدانه های درشت وجود نداشته باشد، ذرات ریزتر به تحمل بار کمک خواهند کرد، که این اتفاق باعث عدم پیوستگی انتقال بار توسط ذرات فعال و درشت می شود و کل ترکیب ضعیف خواهد شد.



شکل ۲: نحوه توزیع تنش در ساختار مخلوط آسفالتی SMA

با توجه به شکل ۱ و ۲ می توان یکی از ویژگی های مهم SMA را مشاهده کرد. طی فرآیند متراکم سازی در محل پروژه، ذرات سنگدانه در ساختار SMA، باید با یکدیگر تماس داشته باشند. ذرات سنگدانه با یکدیگر ارتباط (تماس) برقرار کرده و یک ساختار مطلوب ایجاد می کنند. هنگامی که ارتباط برقرار شد، متراکم سازی بیشتر ممکن است مضر باشد زیرا متراکم سازی بیش از حد، ذرات را خرد خواهد کرد. به عبارت دیگر، یک مخلوط SMA باید با مهارت و به روشی متراکم شود که مطمئن شویم ارتباط بین سنگها برقرار است. این اصل هم در متراکم سازی در محل اجرا و هم در متراکم سازی در آزمایشگاه باید مدنظر قرار گیرد.

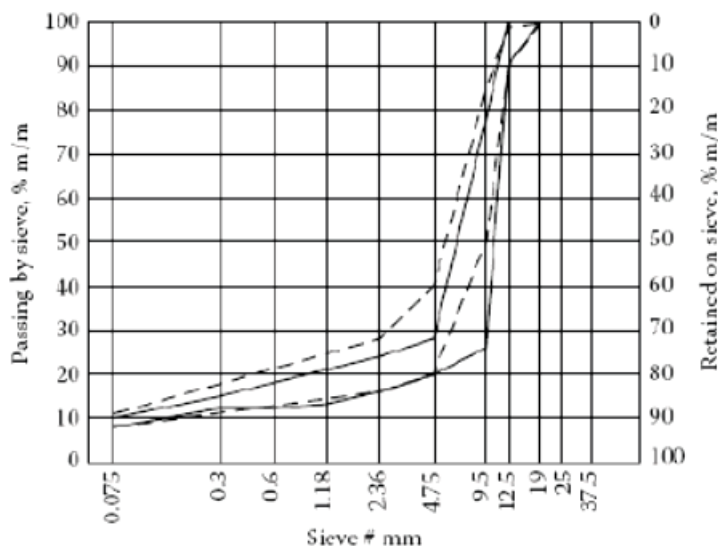
به منظور نتیجه گیری از بررسی های مربوط به تشکیل ساختار SMA توجه به نظر آقای دکتر Van de ven (۲۰۰۳) ارزشمند می باشد، ایشان پیشنهاد نمودند که احتمال دارد ۱۰۰ درصد ارتباطی که بین سنگهای مخلوط در ترکیب SMA متراکم شده و بین ذرات درشت وجود دارد، بوسیله ی ریزترین ذرات، فیلر، ماسه و فیلم نازک قیری، از یکدیگر جدا شوند. این جمله به این معنی است که میزان فضای خالی، تأثیری زیادی در ساختار سنگدانه ها دارد. چیدمان نهایی ذرات، پس از عبور بارهای ترافیکی از روی سطح روسازی بدست خواهد آمد. ذرات کوچک (مانند ماسه و فیلر) می توانند خرد شده یا جابه جا شوند و باعث کاهش میزان فضای خالی در مخلوط SMA شود.

باید توجه داشت که ساختار مقاوم و محکم سنگدانه ها، نسبت به تغییر شکل های ناشی از بارگذاری کمتر حساس خواهد بود. اگر ترکیب سنگدانه ها مناسب و کافی باشد، حتی وقتی که ماده ی چسبنده، بدلیل افزایش دمای روسازی، نرم می شود این لایه به دلیل ساختار مناسب مصالح سنگی، تغییر شکل نخواهد داد. ضعیف بودن ترکیب و بالا بودن دمای روسازی می تواند منجر به کاهش مقاومت برشی مخلوط آسفالت ماستیک شود و به همین دلیل، تقویت ملات ماستیک با استفاده از پلیمرها یا الیافهای خاص را الزامی می کند.

۶. ذرات ترکیب مخلوط آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای SMA

برای تولید ترکیب مطلوب از ذرات درشت باید به یاد داشته باشیم که ماستیک، بین ذرات فعال قرار گیرد. دستیابی به میزان صحیح ماده ی ماستیک بسیار مهم است؛ مقدار ماده ماستیک باید به اندازه ای باشد که بتواند سطح ذرات درشت را بپوشاند و در عین حال مقداری فضای اشغال نشده با ماستیک هم وجود داشته باشد (فضای خالی آسفالت). نمودار ۱ دو

نوع منحنی دانه بندی مخلوط SMA، با توجه به استاندارد آشتو* و انجمن بین المللی روسازی های آسفالتی (NAPA) را نشان می دهد.



نمودار ۱ منحنی دانه بندی آسفالت SMA براساس استاندارد آشتو (خطوط منقطع) و انجمن بین المللی روسازی های آسفالتی (خطوط پیوسته)

میزان فضای خالی بین سنگدانه های درشت، در مرحله طراحی ساختار سنگدانه، باید به درستی تعیین شود. روش طراحی آزمایشگاهی ایده ال، روشی است که بتواند میزان فضای خالی بین سنگدانه های درشت (مقدار فضای خالی آسفالت پس از متراکم سازی) را به درستی مشخص کند.

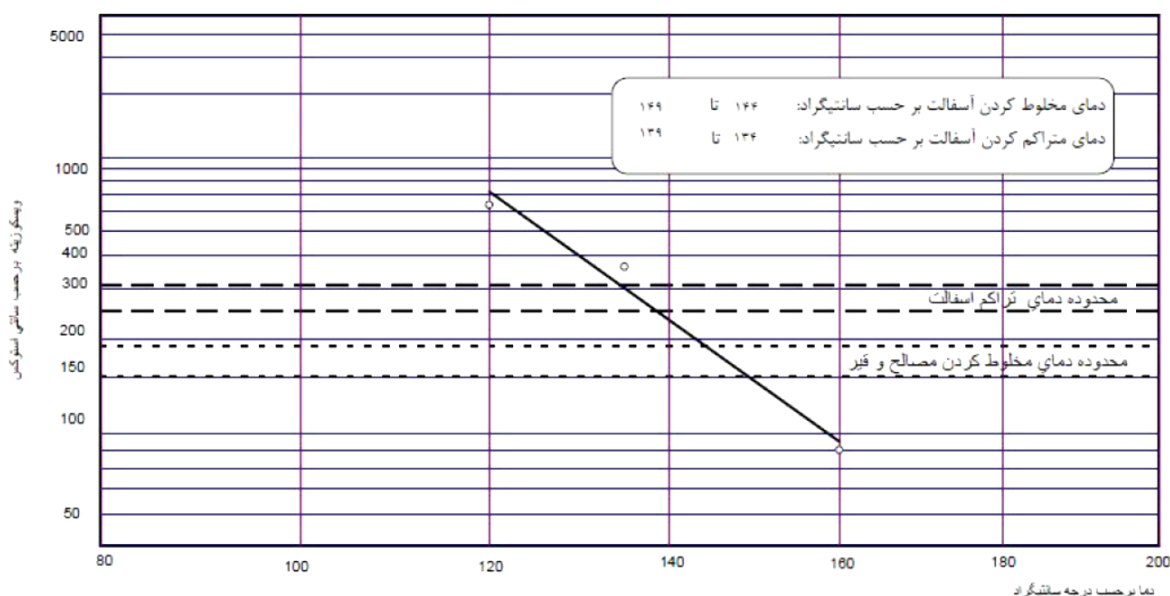
۷. انجام آزمایش

قیرهای مصرفی در راهسازی عمدتاً دو نوع است. اگر از معدن به دست آید قیر طبیعی یا معدنی و هرگاه از پالایش نفت خام حاصل شود قیر نفتی یا پالایشگاهی نام دارد. در راهسازی باید از قیرهای نفتی استفاده شود، چنانچه مصرف قیر معدنی در پروژ های مورد نظر باشد، نسبت اختلاط قیر نفتی یا معدنی باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود [۳۵].

۸. آزمایشات قیر به روش طبقه بندی درجه نفوذ

طبق بند ۱-۳-۱۴ نشریه شماره ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور با عنوان مشخصات فنی عمومی راه، مشخصات فنی قیرهای خالص مورد استفاده در راهسازی که بر اساس درجه نفوذ تقسیم بندی شده اند، بایستی با مشخصات استاندارد جدول شماره ۲ این دستورالعمل مطابقت داشته باشد. قیر مصرفی جهت تهیه نمونه های آسفالت SMA از نوع قیر خالص تولیدی شرکت نفت جی با طبقه بندی براساس درجه نفوذ ۶۰-۷۰ می باشد. نتایج آزمایش های انجام شده بر روی قیر در جدول شماره ۲ آورده شده است [۳۵].

** AASHTO



شکل ۲: نمودار دما- کندروانی قیر

برای تهیه آسفالت طرح از الیاف سلولزی به عنوان تثبیت کننده استفاده شد. برای منظور با استفاده از الیاف سلولزی به میزان ۳٪ وزنی آسفالت (حداقل مورد نیاز مطابق آئین نامه روسازی آسفالتی راههای ایران) استفاده شده است. نمونه های مخلوط آسفالت SMA با اعمال ۵۰ ضربه به هر طرف نمونه و به روش مارشال تهیه شد. وزن مخصوص نمونه های مخلوط آسفالتی متراکم بر اساس استاندارد AASHTO-T166 استحکام و روانی نمونه ها با استناد به روش استاندارد AASHTO-T245 انجام شد. حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط آسفالتی به ازای درصد های مختلف قیر، محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۳ درج شده است.

جدول ۳: حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط آسفالتی به ازای درصد های مختلف قیر

درصد قیر	حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط آسفالتی
۴,۵	۲,۴۸۰
۵,۰	۲,۴۶۱
۵,۵	۲,۴۴۳
۶,۰	۲,۴۲۵
۶,۵	۲,۴۰۷
۷,۰	۲,۳۹۰
۷,۵	۲,۳۷۴

یکی دیگر از پارامترهای مهم و اساسی در آسفالت SMA، تعیین درصد فضای خالی بخش درشت دانه آسفالت VCA(mix) و مقایسه با درصد فضای خالی مصالح سنگی درشت دانه VCA(DRC) می باشد، درصد فضای خالی بخش

درشت دانه آسفالت باید کمتر از درصد فضای خالی بخش درشت دانه مخلوط مصالح سنگی در حالت خشک باشد، تا تماس دائم سنگدانه به سنگدانه تامین گردد. در غیر اینصورت آسفالت فوق مشخصات لازم برای آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای را نخواهد داشت.

نتایج درصد فضای خالی بخش درشت دانه آسفالت و همچنین درصد فضای خالی مصالح سنگی درشت دانه و مقایسه آن‌ها در جدول ۴ آورده شده است.

$$VCA_{(mix)} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{CA}} \right) P_{CA}$$

$$VCA_{(DRC)} = \frac{G_{CA} \times \gamma_w - \gamma_s}{G_{CA} \gamma_w} \times 100$$

روابط تعیین درصد فضای خالی به شرح ذیل می‌باشد [۴۴].

در این روابط:

- $VCA_{(mix)}$ = درصد فضای خالی بخش درشت دانه آسفالت SMA
- $VCA_{(DRC)}$ = درصد فضای خالی مخلوط مصالح سنگی درشت دانه در حالت خشک
- G_{mb} = وزن مخصوص حقیقی متراکم نمونه آزمایشگاهی مطابق با استاندارد AASHTOT
- G_{CA} = وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی درشت دانه مطابق با استاندارد AASHTOT
- P_{CA} = درصد مصالح سنگی درشت دانه در مخلوط آسفالت SMA
- γ_s = وزن واحد حجم میل خورده مصالح سنگی درشت دانه بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب مطابق با استاندارد AASHTOT
- γ_w = وزن واحد حجم آب (۹۹۸ کیلوگرم بر متر مکعب)

جدول ۴: درصد فضای خالی بخش درشت دانه آسفالت مقایسه با درصد فضای خالی مصالح سنگی درشت دانه

نوع آسفالت	درصد قیر	وزن مخصوص حقیقی آسفالت	وزن مخصوص حقیقی درشت دانه	درصد مصالح سنگی درشت آسفالت	وزن واحد حجم متراکم مصالح سنگی درشت دانه	درصد فضای خالی بخش درشت دانه آسفالت	درصد فضای خالی درشت دانه در مخلوط مصالح سنگی	نتیجه
		G_{mb}	G_{CA}	P_{CA}	g_s	$VCA_{(mix)}$	$VCA_{(DRC)}$	
SMA ۰-۱۲.۵mm	۵/۵	۲۳۰۵	۲/۶۳۸	۸۲	۱۶۲۰	۲۸/۵	۳۸/۵	$VCA_{mix} < VCA_{DRC}$ قابل قبول
	۶/۰	۲۳۱۸		۸۲		۲۸/۱		قابل قبول
	۶/۵	۲۳۲۷		۸۲		۲۷/۸		قابل قبول
	۷/۰	۲۳۲۸		۸۲		۲۷/۷		قابل قبول

با بررسی نتایج بدست آمده از جدول ۴ اتصال سنگدانه به سنگدانه برقرار می‌باشد.

۱۰. الیاف تثبیت کننده مورد استفاده

در این آزمایش از سه نوع کلی الیاف تثبیت کننده استفاده شده است.

-الیاف معدنی

-الیاف سلولزی با منشاء طبیعی

-الیاف مصنوعی

در مجموع از ۵ نوع الیاف با ثابت فرض کردن میزان و نوع مصالح سنگی، فیلر و قیر و الیاف با درصدهای ۰ تا ۰٫۵ درصد وزنی نسبت به مخلوط آسفالتی استفاده گردید.

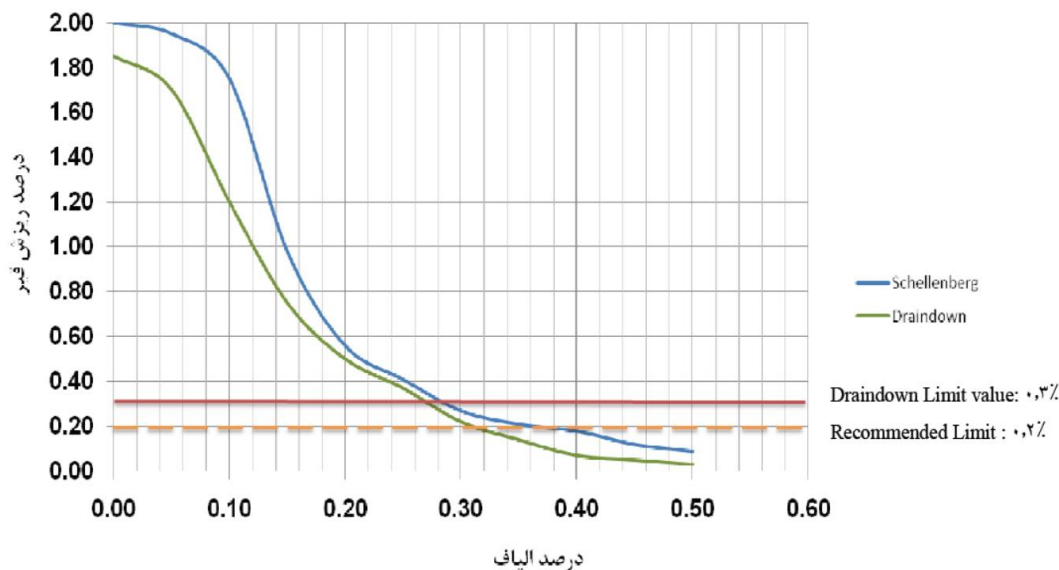
۱۰-۱ الیاف دوجزئی:

این نوع الیاف از انواع الیاف معدنی بوده که از ترکیب الیاف معدنی و یک پلیمر تولید شده است. الیاف معدنی از نوع آزیست بوده که از ذوب کردن سنگ های سیلیسی بدست می آید و به خاطر سطح ویژه بالا از جریان یافتن قیری زهکش شدن آن جلوگیری می کند. جزء دوم پلیمر ساسوبیت است و برای بالا بردن انعطاف پذیری الیاف و جلوگیری از خشک شدن آن استفاده می گردد. ساسوبیت خواص قیر را بهتر نموده و PG آن را یک درجه بالا می برد. این نوع الیاف در شکل تجاری به صورت پلت شده به بازار عرضه می گردد. البته به علت شرایط زیست محیطی و بکار رفتن آزیست در این نوع الیاف از آن کمتر استفاده می شود.

نتایج بدست آمده در دو روش Draindown و Schellenberg با استفاده از این نوع الیاف در مخلوط آسفالت SMA در جدول ۵ و نمودار شکل ۳ آمده است:

جدول ۵: مقادیر درصد ریزش قیر در درصد الیاف دو جزئی اضافه شده به مخلوط

Fiber %	Draindown %	Schellenberg %
۰٫۰۰	۱٫۸۵	۲٫۰۰
۰٫۰۵	۱٫۷۰	۱٫۹۵
۰٫۱۰	۱٫۲۰	۱٫۷۵
۰٫۱۵	۰٫۷۵	۱٫۹۸
۰٫۲۰	۰٫۵۰	۰٫۵۶
۰٫۲۵	۰٫۳۷	۰٫۴۱
۰٫۳۰	۰٫۲۲	۰٫۲۷
۰٫۳۵	۰٫۱۴	۰٫۲۱
۰٫۴۰	۰٫۰۷	۰٫۱۸
۰٫۴۵	۰٫۰۵	۰٫۱۲
۰٫۵۰	۰٫۰۳	۰٫۰۹



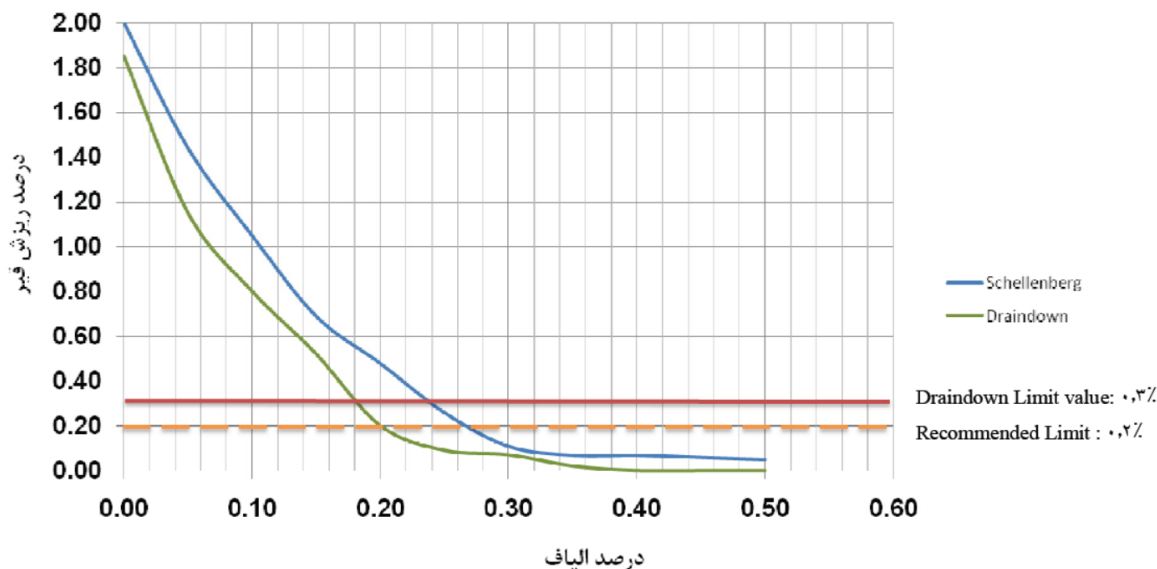
شکل ۳: نتایج ریزش قیر الیاف دو جزئی در دو روش Schellenberg و Draindown

۱۰-۲ الیاف سلولزی نوع ۱:

این نوع الیاف از انواع الیاف سلولزی بوده که بدون هیچ گونه افزودنی و بصورت خام و بی شکل در آزمایشگاه تولید شده و در بازار موجود نیست. نتایج بدست آمده در دو روش Draindown و Schellenberg با استفاده از این نوع الیاف در مخلوط آسفالت SMA در جدول ۶ و نمودار شکل ۴ آمده است:

جدول ۶: مقادیر درصد ریزش قیر در درصد الیاف سلولزی نوع ۱ اضافه شده به مخلوط

Fiber %	Draindown %	Schellenberg %
۰,۰۰	۱,۸۵	۲,۰۰
۰,۰۵	۱,۱۵	۱,۴۴
۰,۱۰	۰,۸۰	۱,۰۵
۰,۱۵	۰,۵۲	۰,۶۹
۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۴۸
۰,۲۵	۰,۰۹	۰,۲۶
۰,۳۰	۰,۰۷	۰,۱۱
۰,۳۵	۰,۰۲	۰,۰۷
۰,۴۰	۰,۰۰	۰,۰۷
۰,۴۵	۰,۰۰	۰,۰۶
۰,۵۰	۰,۰۰	۰,۰۵



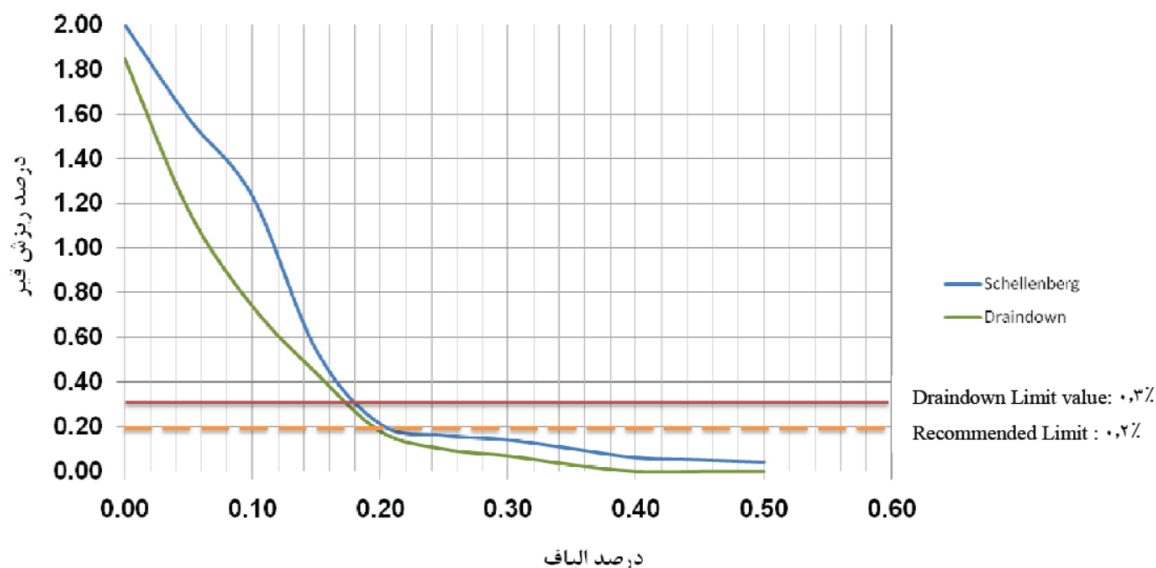
شکل ۴: نتایج ریزش فیبر الیاف نوع ۱ در دو روش Schellenberg و Draindown

۱۰-۳ الیاف سلولزی نوع ۲:

این نوع الیاف نیز شبیه الیاف قبلی بوده و در آزمایشگاه تولید شده با این تفاوت که مواد اولیه و تاحدودی مراحل تولید آن متفاوت است. نتایج بدست آمده در دو روش Draindown و Schellenberg با استفاده از این نوع الیاف در مخلوط آسفالت SMA در جدول ۷ و نمودار شکل ۵ آمده است:

جدول ۷: مقادیر درصد ریزش فیبر در درصد الیاف سلولزی نوع ۲ اضافه شده به مخلوط

Fiber %	Draindown %	Schellenberg %
0.00	1.85	2.00
0.05	1.17	1.58
0.10	0.74	1.23
0.15	0.44	0.54
0.20	0.18	0.21
0.25	0.10	0.16
0.30	0.07	0.14
0.35	0.03	0.10
0.40	0.00	0.06
0.45	0.00	0.05
0.50	0.00	0.04



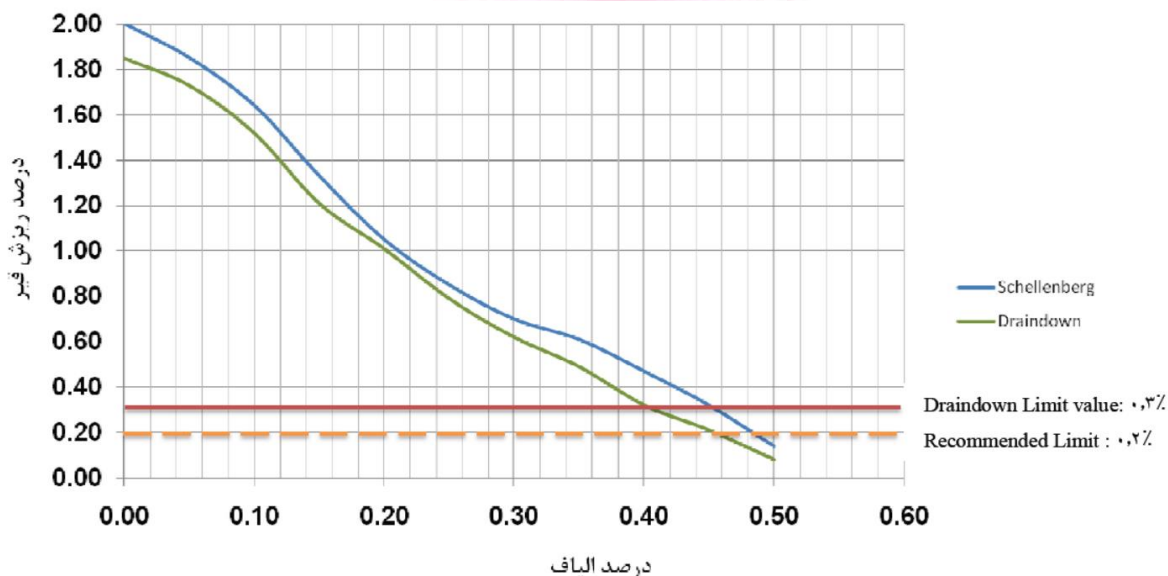
شکل ۵: نتایج ریزش فیبر الیاف نوع ۲ در دو روش Schellenberg و Draindown

۴-۱۰ الیاف کاه گندم:

این الیاف از خرد کردن کاه گندم و رد نمودن از الک شماره ۳۰ در آزمایشگاه تولید شده است. و از انواع الیاف سلولزی می باشد. به علت داشتن سطح مخصوص بالا به عنوان یک الیاف تثبیت کننده استفاده شده. نتایج بدست آمده در دو روش Draindown و Schellenberg با استفاده از این نوع الیاف در مخلوط آسفالت SMA در جدول ۸ و نمودار شکل ۶ آمده است:

جدول ۸: مقادیر درصد ریزش فیبر در درصد الیاف کاه گندم اضافه شده به مخلوط

Fiber %	Draindown %	Schellenberg %
۰,۰۰	۱,۸۵	۲,۰۰
۰,۰۵	۱,۷۳	۱,۸۵
۰,۱۰	۱,۵۲	۱,۶۴
۰,۱۵	۱,۲۱	۱,۳۳
۰,۲۰	۱,۰۱	۱,۰۵
۰,۲۵	۰,۷۹	۰,۸۵
۰,۳۰	۰,۶۲	۰,۷۰
۰,۳۵	۰,۴۹	۰,۶۱
۰,۴۰	۰,۳۲	۰,۴۷
۰,۴۵	۰,۲۱	۰,۳۲
۰,۵۰	۰,۰۸	۰,۱۴



شکل ۶: نتایج ریزش قیر الیاف کاه گندم در دو روش Schellenberg و Draindown

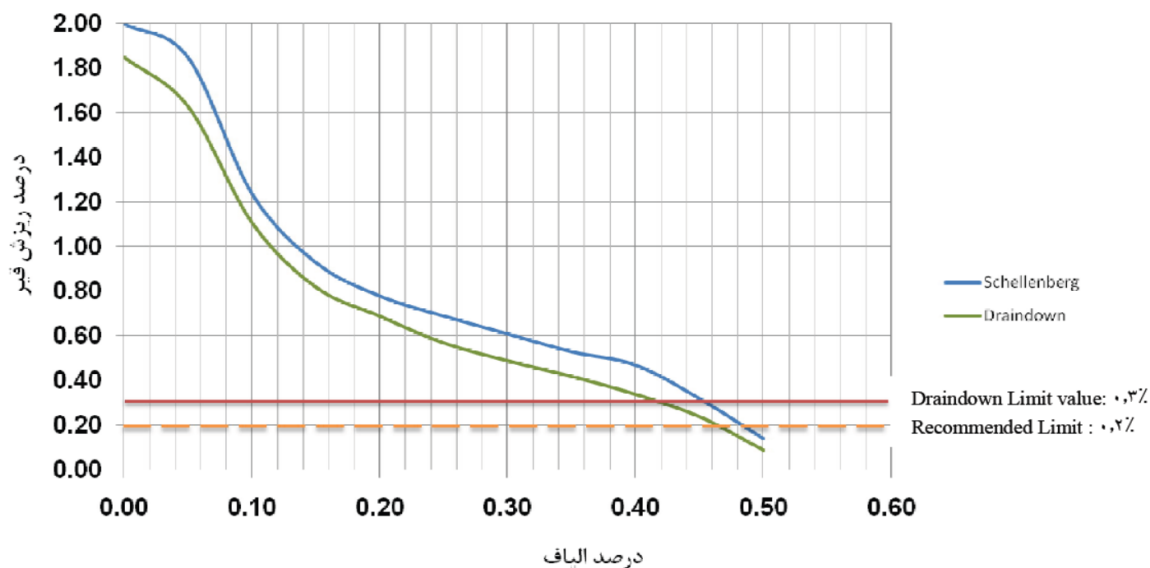
۱۰-۵ الیاف پلی آمید:

الیاف پلی آمید که حاصل از میکس الیاف آرامید، کربن و مش پلی الین است و برای بالا بردن طول عمر و افزایش کیفیت آسفالت و کاهش ترکهای حاصل از کشش مستقیم بکار می رود. این الیاف مخلوط الیاف مش فیبرله شده پلی پروپیلن و پلی الین و الیاف آرامید یا پلی استر برای آسفالتهای گرم و نیمه گرم بامدول مقاومت بالاست. الیاف پلی آرامید از انواع الیاف مصنوعی تولید شده بوده و به صورت رشته ای و پلت شده در بازار موجود است.

نتایج بدست آمده در دو روش Draindown و Schellenberg با استفاده از این نوع الیاف در مخلوط آسفالت SMA در جدول ۹ و نمودار شکل ۷ آمده است:

جدول ۹: مقادیر درصد ریزش قیر در درصد الیاف پلی آمید اضافه شده به مخلوط

Fiber %	Draindown %	Schellenberg %
۰,۰۰	۱,۸۵	۲,۰۰
۰,۰۵	۱,۷۳	۱,۸۵
۰,۱۰	۱,۵۲	۱,۶۴
۰,۱۵	۱,۲۱	۱,۳۳
۰,۲۰	۱,۰۱	۱,۰۵
۰,۲۵	۰,۷۹	۰,۸۵
۰,۳۰	۰,۶۲	۰,۷۰
۰,۳۵	۰,۴۹	۰,۶۱
۰,۴۰	۰,۳۲	۰,۴۷
۰,۴۵	۰,۲۱	۰,۳۲
۰,۵۰	۰,۰۸	۰,۱۴



شکل ۷: نتایج ریزش قیر الیاف پلی آمید در دو روش Schellenberg و Draindown

۱۱. ترکیب نتایج بدست آمده

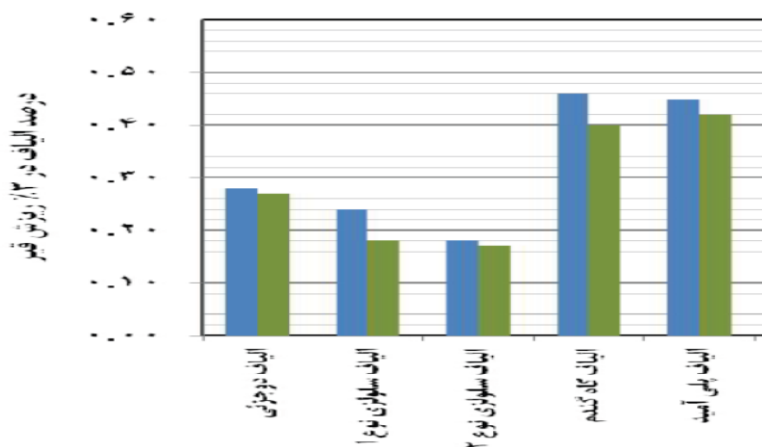
نتایج بدست آمد از هر نوع الیاف در جداول و نمودارها براساس درصد وزنی ترکیب الیاف با مخلوط آسفالت SMA نسبت به میزان ریزش قیر در دو روش Schellenberg و Draindown مشخص شده است. در نمودارها دو خط حداکثر میزان ریزش برابر ۰,۳٪ و میزان مطمئن تر آن برابر ۰,۲٪ رسم شده است که با بررسی درصد الیاف در این دو مقدار می توان حداقل میزان مصرف الیاف در مخلوط را مشخص نمود.

۱۲. حداکثر میزان ریزش قیر:

درصد وزنی الیاف مصرفی در دو روش Schellenberg و Draindown با استفاده از انواع الیاف در مخلوط آسفالت SMA در حداکثر میزان ریزش قیر در جدول ۱۰ و شکل ۸ آمده است:

جدول ۱۰: مقادیر درصد الیاف در حداکثر میزان ریزش قیر (۰,۳٪)

نوع الیاف	درصد الیاف در روش Draindown	درصد الیاف در روش Schellenberg
الیاف دوجزئی	۰,۲۷	۰,۲۸
الیاف سلولزی نوع ۱	۰,۱۸	۰,۲۴
الیاف سلولزی نوع ۲	۰,۱۷	۰,۱۸
الیاف کاه گندم	۰,۴۰	۰,۴۶
الیاف پلی آمید	۰,۴۲	۰,۴۵



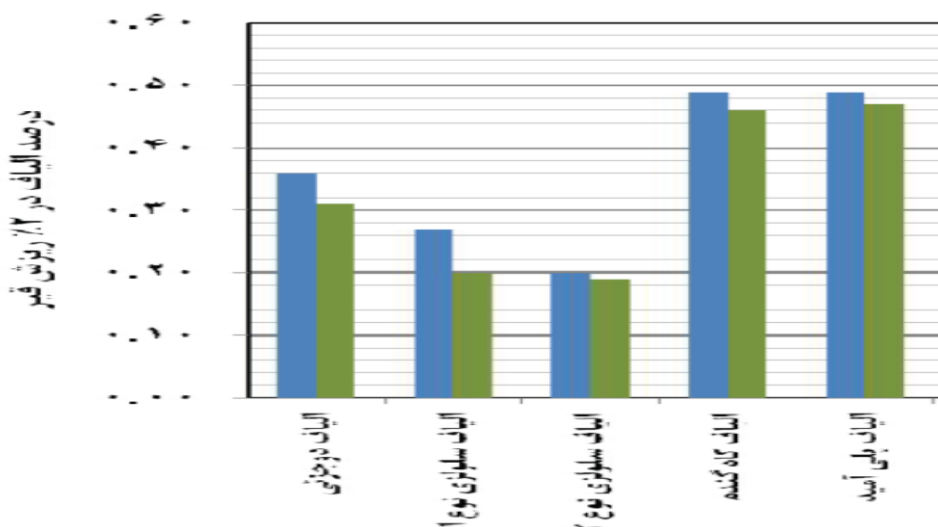
شکل ۸: درصد الیاف در حداکثر میزان ریزش قیر (۰,۳٪)

۱۳. میزان مطمئن تر ریزش قیر:

درصد وزنی الیاف مصرفی در دو روش Schellenberg و Draindown با استفاده از انواع الیاف در مخلوط آسفالت SMA در ۰,۲٪ ریزش قیر در جدول ۱۱ و شکل ۹ آمده است:

جدول ۱۱: مقادیر درصد الیاف در حداکثر میزان ریزش قیر (۰,۲٪)

نوع الیاف	درصد الیاف در روش Draindown	درصد الیاف در روش Schellenberg
الیاف دوجزئی	۰,۳۱	۰,۳۶
الیاف سلولزی نوع ۱	۰,۲۰	۰,۲۷
الیاف سلولزی نوع ۲	۰,۱۹	۰,۲۰
الیاف کاه گندم	۰,۴۶	۰,۴۹
الیاف پلی آمید	۰,۴۷	۰,۴۹



شکل ۹: درصد الیاف در حداکثر میزان ریزش قیر (۰,۲٪)

۱۴. بحث و نتیجه گیری

بعد از انجام دو آزمایش Schellenberg و Draindown به صورت مجزا بر روی نمونه ها با درصد الیاف مختلف از ۰٪ تا ۵٪ وزنی مخلوط آسفالت مقادیر مربوط به درصد ریزش قیر بر روی نمودار نسبت به درصد وزنی الیاف مصرفی در دو روش آزمایش رسم گردید، نتایج بدست آمده از روی نمودارها بر اساس نسبتهای وزنی الیاف در دو درصد ۰,۲ و ۰,۳ ریزش قیر برای هر نوع الیاف به شرح زیر می باشد.

۱۴-۱ الیاف دو جزئی:

این الیاف همان گونه که در فصل قبل توضیح داده شد به علت استفاده از آزیست و شرایط زیست محیطی کمتر استفاده می شود. الیاف به صورت پلت شده از کشور روسیه وارد شده است. در آزمایشات انجام شده با اضافه شدن به ترکیب در ابتدا تغییری ایجاد نکرده ولی در نسبت وزنی ۰,۲٪ به شدت ریزش قیر را کاهش می دهد. در حدود ۰,۳٪ نسبت وزنی اضافه شده الیاف می تواند باعث کاهش ریزش قیر تا ۰,۳٪ شود. ولی بهترین حالت استفاده از آن ۰,۴٪ وزنی است که تقریباً باعث کاهش ریزش قیر تا ۰,۲٪ می شود.

۱۴-۲ الیاف سلولزی نوع ۱:

این الیاف به صورت آزمایشگاهی تهیه شده و به مخلوط در درصدهای وزنی متفاوت اضافه شده است. حداقل میزان مصرف این الیاف در مخلوط برای کاهش ریزش قیر تا ۰,۳٪ در روش شلنبرگ حدود ۰,۲۴٪ است که مقدار کمی محسوب می گردد. و نشان دهنده کاربردی بودن این الیاف است. میزان مصرف الیاف برای کاهش ۰,۲٪ ریزش قیر در روش شلنبرگ حدود ۰,۲۷٪ می باشد که از مقدار ۰,۳٪ پیشنهادی در نشریات معتبر در خصوص اضافه نمودن الیاف سلولزی در مخلوط آسفالت SMA کمتر است.

۱۴-۲ الیاف سلولزی نوع ۲:

این الیاف نیز به صورت آزمایشگاهی تولید شده که امکان تولید انبوه آن نیز وجود دارد. این الیاف در درصدهای پایین وزنی بکار رفته در مخلوط باعث کاهش میزان ریزش قیر گردیده است. در حدود ۰,۱۸٪ وزنی استفاده از الیاف باعث کاهش ریزش قیر تا ۰,۳٪ و در حدود ۰,۲٪ استفاده از الیاف نتیجه آزمایش شلتبرگ آن حدود ۰,۲٪ نشان می دهد. که مقادیر کمی می باشد. و بسیار مطلوب است.

۱۴-۳ الیاف کاه گندم:

این الیاف همان گونه که در فصل قبل گفته شد از خرد کردن کاه گندم بدست آمده که از الک نمره ۳۰ رد شده است. همان گونه که از نتایج بدست آمده مشخص است کاهش ریزش قیر در نسبتهای بالاتری می باشد. آزمایش شلتبرگ برای کاهش ریزش قیر در حدود ۰,۳٪ نسبت وزنی ۰,۴۵٪ را نشان داده و برای کاهش حدود ۰,۲٪ درصدی نسبت وزنی ۰,۴۸٪ را نشان می دهد.

۱۴-۴ الیاف پلی آمید:

این الیاف نیز زمانی که به عنوان الیاف تثبیت کننده استفاده شد در نسبتهای وزنی حدود ۰,۴۵٪ تا ۰,۵٪ توانست کاهش ریزش قیر از ۰,۳٪ تا ۰,۲٪ را ایجاد نماید. میزان ریزش قیر با افزایش درصد وزنی الیاف اضافه شده نسبت به الیاف مصنوعی دیگر مقادیر کمتری را نشان می دهد.

۱۵. مراجع

۱. سبحانی ویوسفی، ه، ع، اصلاح خواص قیر بوسیله پلیمرهای استایرنی، دومین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، موسسه قیر و آسفالت ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۳.
۲. ملک زاده و معماریان، د، م، اصلاح و بهبود خواص قیرها با استفاده از لاستیک قابل بازپخت (Reclaim)، دومین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، موسسه قیر و آسفالت ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۳.
۳. طباطبایی، نادر و زهرا کمالی ابیانه، ۱۳۸۳، بررسی رفتار کندروانی قیر VB اصلاح شده با پودر لاستیک، دومین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، موسسه قیر و آسفالت ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
۴. شعبانی، صفی خانی، شفیع پور و قدیم، ش.، م.، ا.، ع.، ارزیابی تاثیر افزودنی پودر لاستیک در تغییر رده بندی عملکردی قیر، هشتمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی - سازمان راهداری حمل و نقل جاده ای، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، ۱۳۹۵.
۵. بابایی عاشورآبادی، حاجی کریمی و راهی، ا، پ، م، بررسی رفتار قیرهای اصلاح شده با استفاده از استایرن اتیلن/پروپیلن استایرن SEPS و نانورس بر مبنای رده بندی عملکردی، هشتمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی - سازمان راهداری حمل و نقل جاده ای، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، ۱۳۹۵.

۶. گلی، اسلامیان و امینی، ا، ح، ا، بررسی مبانی اصلاح قیر با توجه به ساختار مولکولی و رفتار شیمیایی قیرها، هشتمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، سازمان راهداری حمل و نقل جاده ای، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران - شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک، ۱۳۹۵.
۷. زیاری، منیری و خسروی، ح، ع، ی، استفاده از روش خرابی محیطهای پیوسته مواد ویسکوالاستیک برای تخمین عمرخستگی قیر اصلاح شده با پلیمر، هشتمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، سازمان راهداری حمل و نقل جاده ای، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک، ۱۳۹۵.
۸. حیاتی، وامق و باباگلی، پ.، م.، ر.، بررسی آزمایشگاهی عملکرد مخلوطهای آسفالتی SMA اصلاح شده با پلیمر در برابر پدیده حساسیت رطوبتی، هشتمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی - سازمان راهداری حمل و نقل جاده ای، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، ۱۳۹۵.
۹. امینی، جولایی و زینلی، ا.، س.، م.، بررسی تاثیر آلودگی های تانکر حمل قیر بر کیفیت قیر (نقطه نرمی و درجه نفوذ، هشتمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، سازمان راهداری حمل و نقل جاده ای، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، ۱۳۹۵.
۱۰. گلی خوراسگانی، ابوطالبی اصفهانی و رحیمی، ا، م، ا، بررسی تاثیر استفاده از پودر لاستیک و ساسوبیت بر مقاومت روسازی آسفالتی، هشتمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، سازمان راهداری حمل و نقل جاده ای، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران - شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک، ۱۳۹۵.

11. Cao.W, Liu.S, Feng.Z," Comparison of performance of stone matrix asphalt mixtures using basalt and limestone aggregates", ELSEVIER, Construction and Building Materials, Vol.41, pp.471-479, 2013.
12. Behnood A., Ameri M., "Experimental investigation of stone matrix asphalt mixtures containingsteelslag", Scientia Iranica, , Vol.A19(5), pp.1214-1219, 2012.
13. Blazejowski. K, "Stone Matrix Asphalt Theory and Practice" ,CRC Press, NewYork, 2011.
14. Sengul. E, Oruc .S, Iskender .E, Aksoy.A," Evaluation of SBS modified stone mastic asphalt pavement performance", ELSEVIER, Construction and Building Materials, Vol.41, pp.777-783, 2013.
15. Lavasani M., Namin M., "Experimental investigation on mineral and organic fibers effect on resilient modulus and dynamic creep of stone matrix asphalt and continuous graded mixtures in three temperature levels" ,Construction and Building Materials, Elsevier, Vol.95, pp.232-242, 2015.
16. Standards "AASHTO MP^" ,Standards Specification for Designing Stone Matrix Asphalt (SMA).
17. Standards "AASHTO T283" ,Resistance of compacted Bituminous Mixture to Moisture - induced damage
18. Standards "AASHTO T305", standard method of test for determination of drain-down character rustics in uncompacted asphalt mixtures.
19. Terrel .R, and Shute. J, Summary Report on Water Sensitivity, SHRP-A/IR-89-003, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington,D.C,19709.