بررسی و ارزیابی ریزش قیر تثبیت کننده های مختلف در مخلوط‌های با استخوانبندی سنگدانه‌ای[1]

ابوالفضل محمدزاده [1]، محمّد رضا مقدّم نیّری [2]

۱- دانشجوی دکترای راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- کارشناس ارشد راه و ترابری، مشهد- کوهسنگی ۸/۱- شماره ۳۵ - شرکت آسفالت نمونه

rezamn26@gmail.com

خلاصه

در بررسی حاضر جهت مقایسه ریزش قیر در مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با تثبیت کننده های مختلف، آزمایش سبد قیر (AASHTO-M92) مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور نمونه های متراکم نشده در درصد قیر بهینه و با الیافهای ویسکوز، پلی استر و پلی پروپیلن در دماها و مدت زمانهای مختلف تحت این آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که الیاف ویسکوز کمترین میزان ریزش قیر و الیاف پلی پروپیلن کمترین حساسیت را نسبت به تغییرات درجه حرارت از خود نشان داده است، ضمن آنکه با افزایش درجه حرارت آزمایش میزان ریزش نیز افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای، ریزش قیر، الیاف،آزمایش سبد قیر

۱. مقدمه

اجرای رویه‌های آسفالتی گرم با دانه‌بندی توپر در راهها با آمد و شد زیاد و بارمحوری سنگین به ویژه در مناطق گرمسیری، گاهی خرابی‌هایی نظیر شیارشدگی مسیر چرخ و روزدگی قیر را به دنبال دارد، از سوی دیگر افزایش عمررویه‌های آسفالتی، اجرای رویهٔ آسفالتی مقاوم در برابر آمد و شد زیاد و بار محوری سنگین و تغییرات دما و فراهم نمودن رویه‌ای غیرلغزنده همراه با تأمین جریان مطمئن آمد و شد همواره مورد توجه دست اندرکاران صنعت راهسازی بوده است. در سالهای اخیر در برخی از کشورهای اروپایی، ایالات متحده آمریکا و کانادا جهت تأمین برخی از انتظارات خاص روسازی نظیر مقاومت در مقابل شیارافتادگی جای چرخ، جلوگیری از گسترش ترک‌های انعکاسی و تحمل بارمحوری سنگین از مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای استفاده شده است[۱].

مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای عبارتند از یک مخلوط آسفالتی گرم، محکم، پایدار، مقاوم در برابر شیارافتادگی مسیر چرخها با دانه‌بندی میان‌تهی که هدف اولیه ساخت آن نیز ایجاد یک مخلوط مقاوم دربرابر فرسودگی ناشی از لاستیکها میخ‌دار و شیارافتادگی بوده و شامل دو بخش، استخوان‌بندی درشت‌دانه و مقدار زیاد ملات قیری می‌باشد، که استخوان‌بندی درشت‌دانه با ایجاد تماس سنگدانه به سنگدانه به مخلوط استحکام و مقاومت می‌بخشد و مقدار ملات قیری زیاد آن باعث افزایش دوام مخلوط می‌گردد که ملات قیری آن شامل مصالح ریزدانه، فیلرهای معدنی، قیر و تثبیت‌کننده‌ها می‌باشد[۲، ۳، ۴].

از مزایای اصلی استفاده از مخلوط‌های SMA می توان به فراهم شدن سطحی زبر با توانایی بالا در زهکشی سطحی و بهبود مقاومت لغزندگی و قابلیت استفاده در مسیرهای پرترافیک بدون بروز تغییر شکل‌های دائم پلاستیک و افزایش مقاومت در برابر تغییر درجه حرارت در شرایط جوی مختلف اشاره نمود که نتایج حاصل از تجربیات ۴۰ سال اخیر اروپا و آمریکا مؤید آن است. در مقابل مزایا ذکر شده مخلوط‌های SMA دارای معایبی نیز می‌باشد. مخلوط‌های SMA دارای میزان قیر بیشتر نسبت به دیگر مخلوط‌های آسفالتی می‌باشد که به طور معمول در حدود ۶ تا ۷/۵ درصد قیر در مقایسه با تقریباً ۴/۵ تا ۶ درصد قیر برای مخلوط‌ها با دانه‌بندی توپر است. بنابراین مشکل بالقوه این مخلوط‌ها ریزش قیر در هنگام حمل و روزدگی قیر

1 -Stone Mastic Asphalt (SMA)

سطح راه در حین تراکم می‌باشد و نمی‌توان درجهٔ حرارت مخلوط را برای مقابله با این مشکلات پایین آورد، زیرا باعث ایجاد مشکل در عمل تراکم می‌گردد [۲]. ریزش قیر عبارتست از جدا شدن یا زهکش شدن ملات قیری مخلوط‌های SMA از مصالح سنگی درشت‌دانه هنگامی که درجه حرارت مخلوط بالا می‌باشد، به تعبیر دیگر هنگام بارگیری حمل و پخش مخلوط‌های SMA در محل این اتفاق ممکن است رخ دهد. ریزش قیر مخلوط‌های SMA به طور قابل توجهی از نوع فیلر، درصد عبوری از الک شماره ۴، میزان قیر، نوع و میزان تثبیت کننده متأثر می‌شود که در این بین تثبیت‌کننده‌ها برای کنترل ریزش قیر مخلوط‌های SMA به کار می‌روند [۵].

با توجه به اهمیت موضوع و به منظور بررسی دقیق‌تر اثر سه نوع الیاف مختلف بر خواص مخلوط‌های SMA، آزمایش ریزش قیر به منظور سنجش اثر نوع الیاف بر میزان پتانسیل ریزش قیر در زمانها و دماهای مختلف و نیز حصول اطمینان از صحت طرح مخلوط‌های SMA ساخته شده، انجام شد که در ادامه به آن پرداخته‌ایم.

۲. قیر

قیر مورد استفاده در این تحقیق قیر خالص ۷۰ - ۶۰ پالایشگاه اصفهان می‌باشد که به طور گسترده در ساخت مخلوط های آسفالتی گرم در ایران و عمدتاً در مناطق با آب و هوای معتدل و گرم مورد استفاده می گیرد. نتایج آزمایش های مختلف بر روی قیر مصرفی در جدول(۱) آورده شده است. لازم به ذکر است که نتایج بدست آمده در محدوده مشخصات فنی ASTM می باشد.

جدول ۱- مشخصات قیر مورد استفاده

نوع آزمایش	مقادیر اندازه گیری شده	شماره استاندارد
درجه نفوذ (میلیمتر)	۶۷	ASTM-D5
نقطه نرمی(درجه سانتیگراد)	۴۹	ASTM-D36
کندروانی جنبشی در دمای ۱۳۵ درجه (سانتی استوکس)	۳۲۸	ASTM-D2170
نقطه اشتعال جرقه(درجه سانتی گراد)	۳۵۰	ASTM-D92
وزن مخصوص(گرم بر سانتی متر مکعب)	۱/۰۱۳	ASTM-D70

۳. مصالح سنگی

مصالح مورد استفاده در این تحقیق برای ساخت نمونه‌های آسفالتی SMA از کارخانه آسفالت شهرداری مشهد واقع در کیلومتر ۱۵ جاده سیمان تهیه شد. این مصالح سنگی از نوع شکسته رودخانه‌ای می‌باشد. تعیین خصوصیات مصالح سنگی که نتایج آن در جدول (۲) ذکر شده، جهت استفاده در تهیه مخلوط‌های SMA از آن جهت مهم است که مواردی چون درصد شکستگی، سختی، جنس مصالح و تیزگوشی برروی خواص این مخلوط اثر می-گذارد و باید با مقادیر استاندارد ارائه شده که در این تحقیق مشخصات مصالح سنگی SMA ارائه شده توسط کار گروه فنی FHWA می‌باشد [۴و۶]، مطابقت داشته باشد.

جدول ۲- تعیین مشخصات مصالح سنگی

مشخصات نمونه	درصد افت وزنی در مقابل سایش به روش لس آنجلس		درصد شگستگی مصالح روی الک نمره (۴)	
	دور دستگاه	درصد سایش	در یک جبهه	در دو جبهه
شن درشت دانه	۵۰۰	۲۹/۶	۱۰۰	۹۱
شن میاندانه و شن ریزدانه	-	-	۱۰۰	۱۰۰
مقادیر استاندارد کار گروه فنیFHWA	-	۳۰	۱۰۰	۹۰

در مخلوط‌های SMA دانه‌بندی مصالح سنگی یکی از مهمترین عواملی است که برروی استقامت، ظرفیت، باربری و به طور اصلی و مهمتر تماس سنگدانه به سنگدانه این مخلوط که عامل اصلی پایدار این مخلوط در برابر شیارشدگی و استقامت است اثر می‌گذارد. انتخاب دانه‌بندی مناسب مصالح سنگی با توجه به عوامل متعددی از قبیل نوع روسازی، نوع و محل قرار گرفتن لایه موردنظر، ضخامت لایه و اندازه بزرگترین دانه سنگی صورت می‌پذیرد. در این تحقیق دانه‌بندی انتخابی مطابق دانه‌بندی ارائه شده توسط کار گروه فنی FHWA برای ترافیک سنگین و نشریه ۲۰۶ مربوط به طرح مخلوط‌های SMA درنظر گرفته شده است که در جدول (۳) قابل مشاهده است.

جدول ۳- مشخصات دانه‌بندی بکاررفته در طرح مخلوط SMA [٦]

اندازه الک (میلی‌متر)	محدوده دانه‌بندی(درصد عبوری)	دانه‌بندی بکاررفته (درصد عبوری)
۱۹	۱۰۰	۱۰۰
۱۲/۵	۸۵-۹۵	۹۰
۹/۵	حداکثر ۷۵	۶۲
۴/۷۵	۲۰-۲۸	۲۴
۲/۳۶	۱۶-۲۴	۲۰
۰/۶	۱۲-۱۶	۱۴
۰/۳	۱۲-۱۵	۱۳
۰/۰۷۵	۸-۱۰	۹

۴. تثبیت کننده‌ها

پلیمرها یا الیاف به عنوان تثبیت‌کننده‌ها در مخلوط‌های آسفالتی SMA به کار می‌روند. در این تحقیق با توجه به هدف در نظر گرفته شده که بررسی اثر نوع الیاف بر روی ریزش قیر مخلوط‌های SMA می‌باشد و نیز در دسترس بودن وارزانتر بودن الیاف، از این مواد به عنوان تثبیت‌کننده‌ها در مخلوط‌های SMA استفاده شد. انتخاب الیاف براساس بررسی سابقه تحقیق در این زمینه، مشخصات الیاف از نظر دارا بودن ضوابط آیین‌نامه‌ای، معرفی یک نوع الیاف دیگر با قابلیت استفاده در کشور همچنین دسترسی و قیمت آنها در داخل کشور صورت گرفت.

با توجه به مطالب فوق، ۳ گونه الیاف شامل ویسکوز که از گروه الیاف سلولزی هستند و پلی استر بهمراه پلی پروپیلن که از دسته الیاف مصنوعی می باشد، تهیه گردید. الیاف ویسکوز و پلی استر که به ترتیب از کشورهای اسپانیا و چین یا هند به ایران صادر می‌شود به صورت دست نخورده از کارخانه نخریسی رضوی واقع در نیشابور تهیه شد و الیاف پلی پروپیلن که به صورت بومی موجود بوده و بسیار ارزان است نیز به صورت دست نخورده از شرکت پیمان موکت واقع در جاده فریمان تأمین گردید. مشخصات فیزیکی این الیاف‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول٤- مشخصات فیزیکی الیاف‌ها

مشخصات / نوع الیاف	وزن مخصوص (gr/cm^3)	دنیر	استحکام (grf/tex)	حداکثر طول الیاف (mm)	نقطه نرمی (سانتی گراد)	نقطه ذوب (سانتی گراد)	جذب رطوبت (٪)
پلی‌پروپیلن	۰/۹۱	۱۵	۱۲-۲۰	۶	۱۱۰	۱۶۰	۰
پلی‌استر	۱/۳۹	۱/۸	۹-۱۸	۶	۲۳۰	۲۵۵	۰/۴
ویسکوز	۱/۵۲	۱/۸	۲۰-۲۷	۶	۱۳۰-۲۴۰	-	۱۳

لازم به ذکر است که در جدول (۴) تکس[1] عبارت است از جرم برحسب گرم در طول ۱۰۰۰ متر از الیاف و دنیر[2] نیز جرم بر حسب گرم در طول ۹۰۰۰ متر از الیاف که یک سیستم جهانی برای توصیف دانسیته خطی، جرم واحد طول الیاف(نمره متر یک نخ) می‌باشد[۷].

۵. طرح مارشال مخلوطهای آسفالتی

در آزمایش مارشال، نمونه‌های ۱۲۰۰ گرمی استوانه‌ای شکل به ارتفاع تقریبی ۶۳/۵ میلیمتر و قطر ۱۰۱/۶ میلیمتر به وسیله چکش تراکم استاندارد با ۵۰ ضربه به هر طرف نمونه ها برای شبیه‌سازی میزان ترافیک سنگین در مخلوط SMA ساخته می شوند. نمونه‌های متراکم شده برای تعیین استقامت و روانی مارشال در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و سرعت تغییر شکل ثابت ۵۰ میلیمتر در دقیقه درون دستگاه آزمایش مارشال قرار می گیرد. مخلوط‌های مارشال SMA برای الیاف ویسکوز، پلی استر و پلی پروپیلن به ازاء درصدهای قیر۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷ و ۷/۵ تهیه شد. برای ساخت این مخلوط‌ها میزان ۰/۳ درصد وزنی کل مخلوط به مصالح اضافه گردید. برای هر یک از مخلوط‌های حاوی الیاف ویسکوز، پلی استر و پلی پروپیلن از هر درصد قیر ۳ نمونه ساخته شد که در مجموع ۴۵ نمونه مارشال تهیه گردید. برای ساخت این نمونه‌ها، قیر و مصالح سنگی جداگانه توزین و تا دمای ۱۶۰°C حرارت دیدند و سپس الیاف به آنها اضافه شده و در دمای ۱۶۰°C مخلوط و در دمای ۱۵۰°C متراکم گردید.

درخصوص قیر بهینه مخلوط‌های SMA باید اشاره کرد که درصد قیر آنها باید متضمن درصد هوای بین ۳ تا ۴ درصد باشد، بنابراین فاکتور طرح در این مخلوط‌ها درصد فضای خالی است، لذا استقامت مارشال و روانی آن فقط جهت اطلاع بدست می‌آیند و معیاری برای پذیرش یا عدم پذیرش مخلوط محسوب نمی‌شوند[۳, ۴]. بنابراین با قرائت درصد قیر متناظر با فضای خالی ۳/۵ درصد از روی نمودارهای طرح مارشال درصد قیر بهینه برای مخلوط‌های SMA حاوی الیاف ویسکوز، پلی پروپلین و پلی استر محاسبه گردید که نتایج این آزمایش در جدول (۷) و اشکال (۱)، (۲) و (۳) قابل مشاهده است.

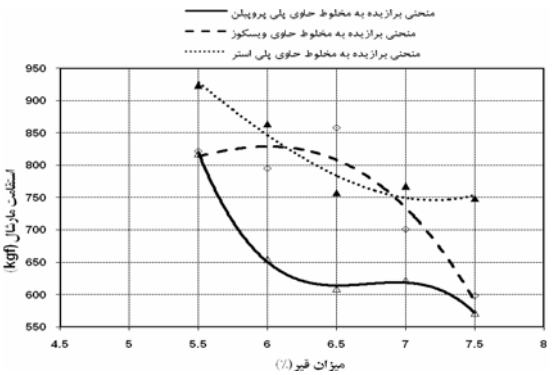
جدول۷- نتایج مارشال برای مخلوط‌های حاوی الیاف مختلف در درصد قیر بهینه

شرح	مخلوط حاوی ویسکوز	مخلوط حاوی پلی‌استر	مخلوط حاوی پلی‌پروپیلن
درصد وزنی قیر بهینه	۶/۶۳۲	۶/۲۲۶	۵/۷۶۹
درصد فضای خالی(P_a)	۳/۵	۳/۵	۳/۵
درصد فضای خالی پر شده با قیر	۷۹/۹۷۹	۷۸/۴۴۳	۷۸/۷۷۹
درصد فضای خالی مصالح سنگی(VMA)	۱۸/۱۳۷	۱۷/۵۰۴	۱۷/۰۳۲
وزن مخصوص واقعی نمونه آسفالتی (G_{mb})	۲/۳۵۶	۲/۳۵۲	۲/۳۶۵
استقامت مارشال (KN)	۸/۰۱۱	۸/۰۰۳	۷/۱۵۹
روانی(mm)	۳/۰۱۷	۳/۲۴۷	۲/۵۲۱
شاخص سختی مارشال (KN/mm)	۲/۶۵۵	۲/۴۶۵	۲/۸۴۰

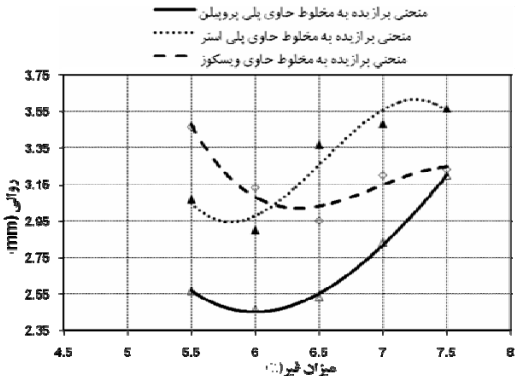
همانطور که در جدول (۷) مشاهده می‌گردد، درصد قیر بهینه برای ۳ نوع مخلوط کاملا متفاوت می‌باشد که نشانگر تاثیر قابل توجه جنس الیاف بر مقدار قیر بهینه است، به این صورت که کمترین و بیشترین مقدار قیر بهینه به ترتیب مربوط به مخلوط حاوی پلی‌پروپیلن و ویسکوز است.این مطلب نشانگر رابطه مستقیم بین درصد قیر بهینه، میزان جذب آب و دنیر الیاف است به این ترتیب که هر چه الیاف دارای جذب آب بیشتر و دنیر کمتر باشند، میزان قیر بهینه مخلوط‌های حاوی این الیاف بیشتر خواهد بود.

1-Tex
2-Denier

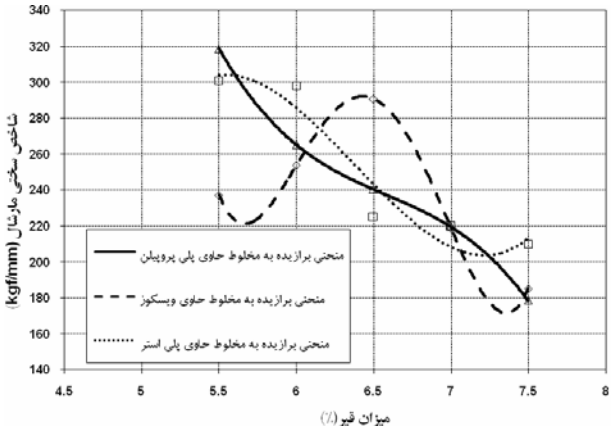
همانطور که در شکلهای(۱)، (۲) و (۳) مشاهده می گردد، در مورد استقامت مارشال، مخلوط حاوی الیاف پلی‌استر دارای بیشترین و مخلوط حاوی الیاف پلی‌پروپیلن دارای کمترین مقدار استقامت مارشال هستند و علت این امر را می توان به استحکام کششی الیاف که در جدول (۴) ارائه شده است مربوط دانست، و مشخص است که الیاف دارای استحکام بیشتر استقامت مارشال بالاتری دارند.در این بین فقط پلی‌پروپیلن به این دلیل که در دمای $^{\circ}C$ ۱۱۰ استحکام خود را از دست می‌دهد از این حالت مستثنا است، ولی به طور کلی می‌توان گفت نوع الیاف بر روانی و استقامت مارشال مخلوط تاثیر دارد. در مورد روانی می‌توان گفت مخلوط‌های حاوی پلی‌استر و ویسکوز تقریبا بیشترین مقدار، مخلوط حاوی پلی‌پروپیلن کمترین مقدار روانی را دارند که در نتیجه شاخص سختی مارشال را نیز متأثر خواهد کرد. میزان شاخص مارشال در درصد قیر بهینه برای الیاف پلی‌پروپیلن بیشترین مقدار و برای الیاف پلی‌استر دارای کمترین مقدار است، بنابراین انتظار می‌رود که مخلوط‌های دارای شاخص مارشال پایین‌تر مقاومت بیشتری در برابر شیارشدگی نسبت به مخلوط‌های دارای شاخص مارشال بالاتر از خود نشان دهند.



شکل۱- نمودار مقایسه‌ای منحنی‌های استقامت مارشال مخلوط‌های SMA با الیاف های مختلف



شکل۲- نمودار مقایسه‌ای منحنی‌های روانی مخلوط‌های SMA با الیاف های مختلف



شکل۳- نمودار مقایسه‌ای منحنی‌های شاخص سختی مارشال مخلوط‌های SMA با الیاف های مختلف

۵. آزمایش ریزش قیر

آزمایش ریزش قیر(AASHTO-M92) روشی برای ارزیابی پتانسیل ریزش قیر یا همان جدا شدن ملات قیری از مخلوط‌های SMA است. این آزمایش براساس اندازه‌گیری میزان تجمعی ریزش ملات قیری در طی یک ساعت توسط سبد مخصوص برحسب وزن کل مخلوط در دمای $^{\circ}C$ ۱۷۵ استاندارد شده است. در این تحقیق به منظور بررسی بیشتر، علاوه بر تأثیر نوع الیاف بر ریزش قیر به ارزیابی تاثیر درجه حرارت بر ریزش قیر، نیز پرداخته شده است.

نمونه‌های آزمایش ریزش قیر، نمونه‌های آسفالتی متراکم نشده ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ گرمی است که جهت ارزیابی در درصد قیر مورد نظر ساخته می‌شوند. برای هر نوع الیاف دو نمونه ۱۲۰۰ گرمی مخلوط SMA در درصد قیر بهینه مربوط به آن نوع الیاف برای ۳ دمای $^{\circ}C$ ۱۷۵، $^{\circ}C$ ۱۵۵ و $^{\circ}C$ ۱۴۰ تهیه گردید. بنابراین ۱۸ نمونه جهت انجام آزمایش پتانسیل ریزش قیر برای ۳ نوع الیاف در ۳ دمای متفاوت ساخته شد. در تمامی نمونه‌های ساخته شده برای طرح مارشال و آزمایش ارزیابی ریزش قیر مقدار الیاف ثابت درنظر گرفته شد. این مقدار برابر ۰/۳ درصد وزنی کل مخلوط می‌باشد.

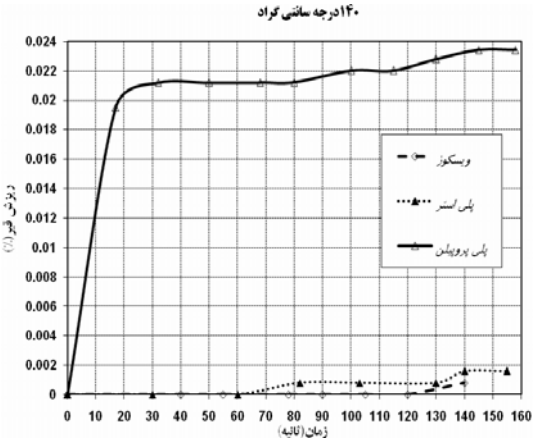
پس از ساخت مخلوط‌ها، جهت انجام آزمایش نمونه‌ها به صورت متراکم نشده داخل سبد مخصوص ارزیابی ریزش قیر (شکل ۴) ریخته شد و سبد برروی کاغذ نسوز از قبل توزین شده قرار گرفت و به داخل گرمخانه که دمای آن از قبل تنظیم شده بود، انتقال یافت، وزن کاغذ در مدت دو ساعت تا دو ساعت و نیم در فواصل زمانی ۱۰ تا ۲۰ دقیقه اندازه‌گیری گردید. و با توجه به وزن اولیه کاغذ و وزن ثانویه آن میزان ریزش قیر برای هر یک از نمونه‌ها در فواصل زمانی موردنظر طبق رابطه زیر بدست آمد.

$$D = \frac{(P_f - P_i)}{W} \times 100 \qquad (۱)$$

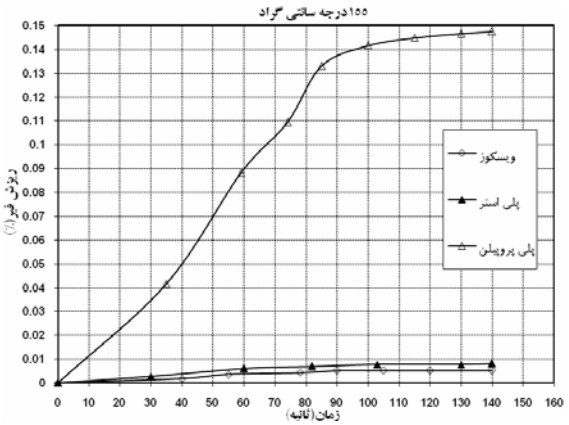
که در این رابطه پارامترها P_i وزن اولیه کاغذ برحسب گرم، P_f وزن کاغذ در انتهای فاصله زمانی برحسب گرم، W وزن کل مخلوط بر حسب گرم و D درصد ریزش قیر مخلوط می باشد.

شکل ٤ – سبد استفاده برای انجام آزمایش ریزش قیر

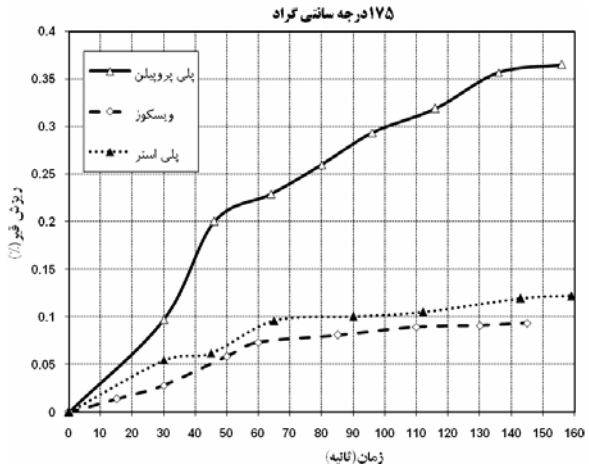
پس از اندازه‌گیری میزان ریزش قیر برای هر یک از ۱۸ نمونه، مقدار میانگین ریزش قیر دو نمونه برای هر یک از مخلوط‌ها در سه دمای $^{\circ}C$ ۱۷۵، $^{\circ}C$ ۱۵۵ و $^{\circ}C$ ۱۴۰ محاسبه گردید. نتایج این آزمایش را در شکلهای(۵)، (۶) و (۷) و جدول (۸) ارائه شده است.



شکل۵- ریزش قیر مخلوط‌های SMA در دمای $^{\circ}c$ ۱۴۰



شکل ٦- ریزش قیر مخلوط‌های SMA در دمای $^{\circ}c$ ۱۵۵



شکل۷- ریزش قیر مخلوط‌های SMA در دمای ^{c} ۱۷۵°

جدول ۸- ریزش قیر مخلوط‌های SMA

نوع مخلوط / دما(c °)		ویسکوز	پلی استر	پلی پروپیلن
۱۷۵	۱ساعت	۰/۰۷۳	۰/۰۸۷۳	۰/۲۲۳
	۲ساعت	۰/۰۹۰۱	۰/۱۰۸۸	۰/۳۲۶
۱۵۵	۱ساعت	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۶	۰/۰۸۹۲
	۲ساعت	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۷۷	۰/۱۴۵۵
۱۴۰	۱ساعت	۰	۰	۰/۰۲۱۲
	۲ساعت	۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۲۲۳

۶. تحلیل نتایج آزمایش ریزش قیر

همانطور که در جدول (۸) مشاهده می‌گردد، تمامی مخلوط‌های SMA حاوی الیاف مختلف دارای میزان ریزش قیر کمتر از حداکثر ارائه شده توسط کار گروه فنی FHWA یعنی ۰/۳ درصد هستند، بنابراین کل طرح مخلوط و میزان قیر بهینه از نظر ریزش قیر صحیح می‌باشد، اما اختلافات قابل توجه در میزان ریزش قیر مخلوط‌های حاوی الیاف های مختلف قابل ملاحظه است، به طوریکه میزان ریزش قیر از کمتر به بیشتر، به ترتیب در مخلوط‌های حاوی الیاف ویسکوز، پلی استر و پلی پروپیلن اتفاق می‌افتد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الیاف با پایه سلولزی مانند ویسکوز علاوه بر داشتن میزان قیر بهینه بیشتر در کاهش میزان ریزش قیر مؤثرترند، ولی در میان الیاف مصنوعی پلی استر علاوه بر داشتن میزان قیر بهینه بیشتر از پلی پروپیلن بسیار بهتر عمل می‌کند به طوریکه مخلوط حاوی الیاف پلی‌استر دارای ریزش قیر نزدیک به مخلوط حاوی الیاف ویسکوز است.

همانطور که ملاحظه می گردد مخلوط حاوی الیاف ویسکوز با داشتن بیشترین درصد قیر بهینه نسبت به مخلوط حاوی الیاف پلی‌استر و پلی پروپلین از میزان ریزش قیرکمتر برخوردار است. دلیل این مسئله را بدین گونه می توان توجیه نمود که الیاف ویسکوز، الیاف پلی استر و الیاف پلی

پروپیلن به ترتیب دارای بیشترین درصد جذب آب، کمترین دنیر و میزان ریزش قیر می باشند، بدین ترتیب می توان نتیجه گرفت که الیاف با جذب آب و دنیر بیشتر، جذب قیر بیشتری نیز دارند. از سوی دیگر با توجه به جدول (۴) و نتایج آزمایش ریزش قیر متوجه می‌شویم که الیاف ویسکوز و پلی استر در مقدار دنیر مساوی و درصد جذب آب متفاوت، تفاوت جزئی در درصد قیر بهینه و ریزش قیر دارند. این در حالی است که الیاف پلی استر و الیاف پلی پروپیلن دارای درصد جذب آب نزدیک به هم و دنیر با تفاوت زیاد می باشند، با این حال درصد قیر و میزان ریزش قیر مخلوط های حاوی این دو الیاف تفاوت قابل توجهی با یکدیگر می کند. این پدیده را می توان به این صورت توجیه کرد که تاثیر دنیر الیاف بر میزان قیر بهینه و ریزش قیر مخلوط بسیار بیشتر از تاثیر میزان جذب آب است، ولی آنچه مسلم است با کاهش دنیر الیاف و همچنین افزایش میزان جذب آب الیاف، مخلوط دارای قیر بهینه بیشتر و پتانسیل ریزش قیر کمتر خواهد بود. لازم به ذکر است که در این آزمایش با افزایش دما میزان ریزش قیر نیز برای تمام مخلوط ها افزایش چشمگیری داشت.

۱۰. نتیجه‌گیری

۱- بررسی منحنی‌های استقامت مارشال مربوط به ۳ مخلوط SMA مورد آزمایش نشان می‌دهد که مخلوط SMA حاوی الیاف پلی استر دارای بیشترین استقامت مارشال و مخلوط SMA حاوی الیاف پلی پروپیلن دارای کمترین میزان استقامت مارشال هستند.این نشان می‌دهد که مخلوط‌های SMA حاوی الیاف با استحکام بیشتر دارای استقامت مارشال بیشتر هستند.

۲- مخلوط‌های SMA حاوی الیاف ویسکوز، پلی‌استر و پلی‌پروپیلن به ترتیب دارای بیشترین میزان قیر بهینه هستند. بنابراین می‌توان گفت مخلوط‌های SMA حاوی الیاف سلولزی دارای درصد قیر بهینه بیشتر نسبت به مخلوط‌های SMA حاوی الیاف مصنوعی هستند و از آن‌جا که قیر گرانترین بخش مخلوط‌های آسفالتی است، بنابراین مخلوط‌های حاوی الیاف مصنوعی به خصوص پلی‌پروپیلن از سایر مخلوط‌های به لحاظ مصرف قیر اقتصادی‌تر می-باشد. همچنین، چون الیاف پلی پروپیلن یک محصول تولید بومی بوده مخلوط نهایی حاوی این الیاف به لحاظ قیمت تمام شده از سایر مخلوط‌ها ارزان‌تر خواهند بود.

۳- مخلوط‌های SMA حاوی الیاف سلولزی علی‌رغم داشتن میزان قیر بهینه بیشتر، پتانسیل ریزش قیر کمتری نسبت به مخلوط‌های SMA حاوی الیاف مصنوعی دارند. بنابراین از لحاظ کاهش میزان ریزش قیر مخلوط‌های حاوی الیاف سلولزی بسیار بهتر عمل می‌کنند.

۴- مخلوط‌های SMA حاوی الیاف سلولزی(ویسکوز) و مخلوط حاوی الیاف پلی‌پروپیلن از نظر پتانسیل ریزش قیر کمترین حساسیت را نسبت به دما از خود نشان می‌دهند، بنابراین استفاده از این نوع الیاف به خصوص در مواردی که دمای اختلاط به درستی کنترل نمی‌شود (مانند کارخانه‌های آسفالت در ایران) می‌تواند در جلوگیری از ریزش قیر بسیار موثر باشد.

۱۲. مراجع

۱. معاونت امور فنی، دفترامور فنی و تدوین معیارها، مرکز تحقیقات وآموزش وزارت راه و ترابری " *نشریه شماره ۲۰۶، طراحی و ارزیابی آزمایشگاهی مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای* " سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور . مرکز مدارک علمی وانتشارات

2. Linda M. Pierce, (2000), "*Stone Matrix Asphalt _SR-524, 64th Avenue West to I-5*" State Pavement Engineer Washington State Department of Transportation, Post Construction Report, WA-RD 504.1

3. E.R. Brown , Hemant Manglorkar, (1993), "*Evaluation of Laboratory properties of SMA Mixtures* " National Center for Asphalt Technology Auburn University , Research Report , Sponsored by NAPA and the NAPA Education Foundation

4. Ibrahim M. Asi, (2006), "*Laboratory comparison Study for the use of stone matrix asphalt in hot weather climates*" Construction and Building Materials, No. 20 ,pp 982-989

5. E.R. Brown, Rajib Basu Mallick " *Laboratory Study on Draindown of Asphalt Cement in Stone Matrix Asphalt* " Transportation Research Record , NCAT , Auburn , 1995

6. E. R. Brown, john E.Haddock , Rajib b.mallick , Todd a.Lynn " *DEVELOPMENT OF MIXTURE DESIGN PROCEDURE FOR STONE MATRIX ASPHALT (SMA)* " NCAT Report No. 97-3 , March 1997

7. E.P.G. Gohl , L.D. Vilensky "*Textile Science* " second edition CBS Publisher and Distributor , 1987