



## ارزیابی اثر تثبیت‌کننده‌های الیافی بر پتانسیل زهکش شدن قیر با بررسی حساسیت حرارتی و زمانی در مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (SMA)

ابوالفضل محمدزاده مقدم<sup>۱</sup>، حمید فرهاد ملاحی<sup>۲</sup>، علی اصغر صادقی<sup>۳</sup>، مرتضی جلیلی  
قاضی زاده<sup>۴</sup>

۱- استادیار، گرایش راه و ترابری، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- مربی، گروه عمران و معماری، دانشگاه تربت حیدریه

۳- استادیار، گرایش راه و ترابری، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران

۴- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

ab-moghadam@um.ac.ir  
h.farhad@torbath.ac.ir  
sadeghi.aliasghar@gmail.com  
Morteza.jalili@modares.ac.ir

### خلاصه

میزان ریزش قیر معیاری برای ارزیابی پتانسیل زهکش شدن قیر یا همان جدا شدن ملات قیری از مخلوط‌های آسفالتی است. پدیده ریزش قیر عمده‌ترین عیب مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی میان تهی و یا با دانه‌بندی باز، نظیر مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (SMA) می‌باشد. تثبیت‌کننده‌ها برای کنترل ریزش قیر مخلوط‌های SMA به کار می‌رود که دارای انواع متعدد الیافی و پلیمری است. در ایران حجم زیادی از الیاف به صورت پسماند کارخانه‌های فرش و لاستیک وجود دارد که دپو شده و می‌تواند عوارض زیست محیطی گوناگونی را سبب شود. در این راستا تحقیق حاضر سعی دارد که از این الیاف به صورت بازیافتی به عنوان تثبیت‌کننده در مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای استفاده نموده و اثر آن را بر پتانسیل زهکش شدن قیر این مخلوط‌ها ارزیابی نماید. به این منظور ۵ نوع الیاف بازیافتی سلولزی شامل کنف و ویسکوز و الیاف بازیافتی مصنوعی شامل اکریلیک، پلی‌پروپیلن و پلی‌استر جمع‌آوری شد. به منظور بررسی اثر نوع الیاف بر خواص مخلوط‌های SMA، آزمایش ریزش قیر در زمان‌های مختلف و دماهای ۱۷۵°C، ۱۵۵°C و ۱۴۰°C صورت گرفت. نتایج نشان داد که مخلوط‌های SMA حاوی الیاف سلولزی علی‌رغم داشتن میزان قیر بهینه بیشتر، پتانسیل ریزش قیر کمتری نسبت به مخلوط‌های SMA حاوی الیاف مصنوعی دارند. مخلوط‌های SMA حاوی الیاف ویسکوز و کنف و مخلوط حاوی الیاف پلی‌پروپیلن از نظر پتانسیل ریزش قیر، کمترین حساسیت را نسبت به دما از خود نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: SMA، الیاف بازیافتی، زهکش شدن قیر، حساسیت حرارتی و زمانی

### ۱. مقدمه

کاستن هزینه‌های روسازی همراه با افزایش کیفیت آن یکی از بزرگترین مسائل پیش‌روی پژوهشگران در این زمینه بوده است. مخلوط SMA یک مخلوط آسفالتی گرم بسیار مقاوم در برابر شیارشدگی سطح راه، خستگی، رطوبت، سخت‌شدگی و پیرشدگی می‌باشد، که این ویژگی‌ها به علت نوع خاص مخلوط و طرح آن، مصالح مرغوب، تثبیت‌کننده و میزان قیر و فیلر خیلی بیشتر نسبت به سایر مخلوط‌های آسفالتی گرم دیگر است [۱-۵]. بنابراین استفاده از این مخلوط در کشور می‌تواند بسیار سودمند باشد، از این رو بررسی الیاف موجود در کشور به منظور استفاده در این مخلوط برای مسیرهای با ترافیک سنگین، و معرفی الیاف بهتر، می‌تواند در آینده ثمربخش باشد. عیب عمده این مخلوط‌ها زهکش شدن یا ریزش قیر است که بوسیله تثبیت‌کننده‌ها مهار می‌گردد [۱، ۵، ۶]. اما سوال این است که پتانسیل استفاده از چه نوع الیاف در این مخلوط‌ها در ایران وجود دارد؟ این سوال زمانی قابل توجه‌تر می‌شود که بدانیم در ایران حجم زیادی از انواع الیاف به صورت پسماند کارخانه‌های فرش و لاستیک وجود دارد که دپو شده و می‌تواند عوارض زیست محیطی گوناگونی را سبب شود و می‌تواند منبع مناسبی برای تامین تثبیت این مخلوط‌ها با قیمت اندک باشد.

### ۲. انواع مصالح مورد استفاده

در این بررسی مصالح استفاده شده متعارف مخلوط‌های آسفالتی گرم، برای طرح مخلوط‌های SMA که ضوابط آیین‌نامه‌ای مورد نیاز مربوط به مشخصات مصالح این مخلوط‌ها را تامین نماید، به کار برده شده است. تنها مصالحی که به منظور بررسی اثر آن به عنوان تثبیت‌کننده مورد استفاده واقع شد، الیاف بودند و به غیر از آنها هیچگونه ماده افزودنی دیگری در طول آزمایش‌ها استفاده نگردید.

## ۱.۲. قیر

قیر مورد استفاده در تحقیق حاضر از نوع قیر با درجه نفوذ ۷۰-۶۰ می‌باشد که بیشتر در نواحی با آب و هوای گرم و معتدل مورد استفاده واقع می‌گردد. این قیر از محل پالایشگاه اصفهان بارگیری شده بود. مشخصات قیر در جدول (۱) مشاهده می‌شود.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی قیر

مشخصات فیزیکی	درجه نفوذ در دمای ۲۵°C	نقطه نرمی (°C)	نقطه آتش (°C)	نقطه اشتعال (°C)	کندروانی جنبشی در دمای ۱۳۵°C	وزن مخصوص
شماره استاندارد	ASTM-D5	ASTM-D36	ASTM-D92		ASTM-D2170	ASTM-D70
نتایج	۶۶	۴۹	۳۵۱	۲۹۹	۳۳۸	۱/۰۱۳

## ۲.۲. مصالح سنگی

تعیین خصوصیات مصالح سنگی جهت استفاده در تهیه مخلوط‌های SMA از آن جهت مهم است که مواردی چون درصد شکستگی، سختی، جنس مصالح و تیزگوشی بر روی خواص این مخلوط اثر می‌گذارد و باید با مقادیر استاندارد ارائه شده در نشریه ۲۰۶ برای مصالح سنگی این مخلوط‌ها مطابقت داشته باشد. مصالح مورد استفاده در این تحقیق برای ساخت نمونه‌های آسفالتی SMA از کارخانه آسفالت شهرداری مشهد تهیه شد. مشخصات مصالح سنگی و دانه‌بندی بکاررفته در این تحقیق به ترتیب در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است. در این تحقیق به منظور حصول اطمینان از تماس سنگدانه به سنگدانه از روش تعیین فضای خالی مصالح سنگی درشت دانه به روش تراکم میل خورده و مقایسه آن با فضای خالی مصالح سنگی درشت دانه نمونه آسفالتی استفاده گردید.

جدول ۲- مشخصات مصالح سنگی

مشخصات فیزیکی	درصد افت سایشی مصالح درشت دانه	درصد شکستگی مصالح سنگی درشت دانه در یک جبهه	درصد شکستگی مصالح سنگی درشت دانه در دو جبهه	درصد جذب آب	وزن مخصوص واقعی	درصد فضا خالی مصالح سنگی درشت دانه به روش تراکم میل خورده
نتایج	۲۹	۱۰۰	۹۱	۲/۶۸۴	۲۹۹	۳۹/۳

جدول ۳- حدود دانه‌بندی (۲-۴، ۱۷)

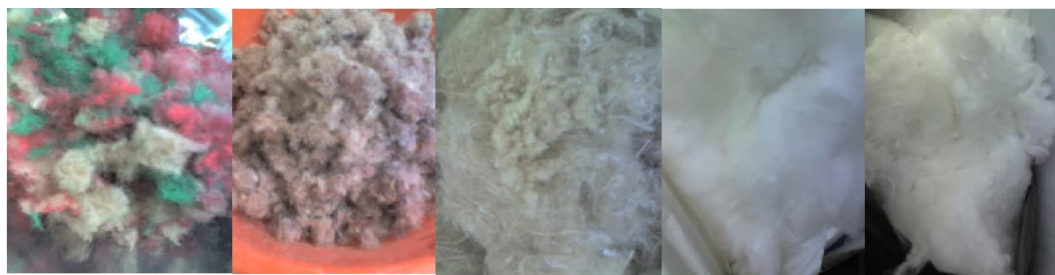
اندازه الک (میلی متر)	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۶	۰/۶	۰/۳	۰/۰۷۵
محدوده دانه‌بندی (%)	۱۰۰	۸۵-۹۵	حداکثر ۷۵	۲۰-۲۸	۱۶-۲۴	۱۲-۱۶	۱۲-۱۵	۸-۱۰
دانه‌بندی بکاررفته (%)	۱۰۰	۹۰	۶۲	۲۴	۲۰	۱۴	۱۳	۹

## ۳.۲. مشخصات الیاف

پلیمرها یا الیاف به عنوان تثبیت کننده‌ها در مخلوط‌های آسفالتی SMA به کار می‌روند. در این تحقیق با توجه به هدف در نظر گرفته شده که همان بررسی اثر نوع الیاف در خواص مخلوط است و نیز در دسترس بودن و ارزاتر بودن الیاف، از این مواد به عنوان تثبیت کننده‌ها در مخلوط‌های SMA استفاده شد. انتخاب الیاف بر اساس دسترسی و قیمت آنها در داخل کشور صورت گرفت و چون در محدوده استان خراسان شرکت‌ها و کارخانه‌های مختلف نخریسی و فرش بافی موجود بود، این نقاط با توجه به نزدیکی، به عنوان اولین نقاط کاندید برای تهیه الیاف در نظر گرفته شد. با توجه به مطالب فوق، ۵ گونه الیاف شامل، ویسکوز و کنف که از گروه الیاف سلولزی هستند و اکریلیک، پلی استر و پلی پروپیلن که از الیاف مصنوعی هستند، تهیه گردید. الیاف اکریلیک و کنف از کارخانه فرش مشهد تامین شد و چون از پسماندهای کارخانه استفاده شد قیمت آنها بسیار ارزان است. 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 تامین گردید. مشخصات فیزیکی این الیاف در جدول (۴) ارائه شده است. قابل ذکر است که متغیر در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر شامل نوع الیاف بوده و میزان این افزودنی برای الیاف نامبرده به مقدار ۰/۳ درصد وزن کل مخلوط SMA با توجه به سابقه تحقیق این موضوع در نظر گرفته شده است [۸-۱]. نمونه‌ای از این الیاف در شکل (۱) مشاهده می‌شود.

جدول ۴- مشخصات الیاف مورد استفاده

جذب رطوبت (%)	نقطه ذوب (درجه سانتی گراد)	نقطه نرمی (درجه سانتی گراد)	حداکثر طول الیاف - (mm)	استحکام (gr/tex)	دنیر	وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )	مشخصات الیاف
۰	۱۶۵	۱۱۰	۶	۱۲-۲۰	۱۵	۰/۹۱	پلی پروپیلن
۱۱-۱۲	۲۲۰	-	۶	۹-۱۸	۱۵	۱/۵	کنف
۱-۲	-	۲۳۵	۶	۲۰-۲۷	۱۴/۳	۱/۱۶	اکرلیک
۰/۴	۲۵۵	۲۳۰	۶	۲۹-۵۰	۱/۸	۱/۳۹	پلی استر
۱۳	-	۱۳۰-۲۴۰	۶	۱۴-۴۵	۱/۸	۱/۵۲	ویسکوز



پلی پروپیلن

اکرلیک

کنف

پلی استر

ویسکوز

شکل ۱- الیاف گوناگون مورد استفاده

### ۳. انجام آزمایش‌ها

در این مطالعه طرح مارشال برای تعیین قیر بهینه مخلوط‌های SMA حاوی الیاف مختلف استفاده شد. همچنین بر اساس استاندارد AASHTO-T305 آزمایش ریزش قیر جهت سنجش پتانسیل ریزش قیر انواع الیاف در مخلوط به کار رفت.

#### ۱.۳. طرح مخلوط SMA

مخلوط‌های مارشال SMA برای الیاف ویسکوز، پلی استر، کنف، پلی پروپیلن و اکرلیک به ازاء درصدهای قیر ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷ و ۷/۵ با ۵۰ ضربه به هر طرف برای شبیه‌سازی میزان ترافیک سنگین در مخلوط SMA ساخته شد [۱-۷، ۷]. برای ساخت این مخلوط‌ها به منظور مقایسه میان الیاف در این بخش و در آزمایش بعدی میزان ۰/۳ درصد وزنی کل مخلوط، الیاف به طور ثابت مطابق با استاندارد نشریه ۲۰۶ به مصالح اضافه گردید [۱-۷، ۹]. برای هر یک از مخلوط‌های حاوی الیاف ویسکوز، پلی استر، کنف، پلی پروپیلن و اکرلیک در هر درصد قیر ۳ نمونه ساخته شد که در مجموع ۷۵ نمونه مارشال تهیه گردید. برای ساخت این نمونه‌ها قیر و مصالح سنگی جداگانه توزین و تا دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دیدند و سپس الیاف به آنها اضافه شده و مخلوط گردیدند. در ساخت نمونه‌های مارشال در این تحقیق دمای اختلاط ۱۶۰°C بود و نمونه‌ها در دمای ۱۵۰°C متراکم گردید. از آنجا که در طرح مخلوط‌های SMA عامل اصلی فضای خالی نمونه متراکم شده است، میزان فضای خالی میانی بازه [۴-۳] یعنی ۳/۵ درصد براساس مشخصات فنی ارائه شده توسط نشریه ۲۰۶ برای تعیین قیر بهینه در نظر گرفته شد و مقادیر فضای خالی مصالح سنگی و فضای خالی مصالح سنگی درشت دانه به عنوان عوامل کنترلی در تعیین مقدار قیر بهینه محاسبه گردید [۱-۷، ۹، ۱۰]. نتایج طرح مارشال در جدول (۵) ارائه شده است.

#### ۲.۳. آزمایش ریزش قیر

آزمایش ریزش قیر 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 سبید مخصوص برحسب وزن کل مخلوط در دمای ۱۷۵°C استاندارد شده است. در این تحقیق به منظور بررسی بیشتر، علاوه بر تأثیر نوع الیاف بر ریزش قیر بر ارزیابی تأثیر درجه حرارت و زمان بر ریزش قیر، نیز پرداخته شده است.



جدول ۵- نتایج مارشال برای مخلوط‌های حاوی الیاف مختلف در درصد قیر بهینه

/	/	/	/	/	
/	/	/	/	/	(P <sub>a</sub> )
/	/	/	/	/	
/	/	/	/	/	(VMA)
/	/	/	/	/	(G <sub>mb</sub> )
/	/	/	/	/	(kgf)
/	/	/	/	/	(mm)

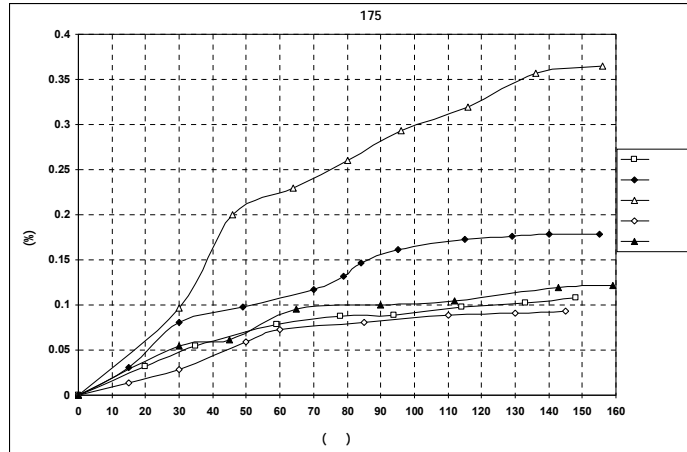
این آزمایش بر طبق استاندارد AASHTO-T365 انجام گردید و نمونه‌هایی که برای انجام این آزمایش لازم بود طبق این استاندارد ساخته شد. نمونه‌های آزمایش ریزش قیر، نمونه‌های آسفالتی متراکم نشده ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ گرمی است که جهت ارزیابی در درصد قیر مورد نظر ساخته می‌شوند [۱، ۲، ۴، ۵]. ساخت نمونه‌های ارزیابی پتانسیل ریزش قیر برای ۵ نوع الیاف مورد بررسی، از نتایج طرح مارشال استفاده شد. به این ترتیب که برای هر نوع الیاف سه نمونه ۱۲۰۰ گرمی مخلوط SMA در درصد قیر بهینه مربوط به آن نوع الیاف برای ۳ دمای ۱۷۵°C، ۱۵۵°C و ۱۴۰°C تهیه گردید. بنابراین ۴۵ نمونه جهت انجام آزمایش پتانسیل ریزش قیر برای ۵ نوع الیاف در ۳ دمای متفاوت ساخته شد. در تمامی نمونه‌های ساخته شده مقدار الیاف ثابت در نظر 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 ریخته شد و سبد بر روی 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. با توجه به وزن اولیه کاغذ و وزن ثانویه آن میزان ریزش قیر برای هر یک از نمونه‌ها در فواصل زمانی مورد نظر طبق رابطه زیر بدست آمد:

$$D = \frac{(P_f - P_i)}{W} \times 100 \quad (1)$$

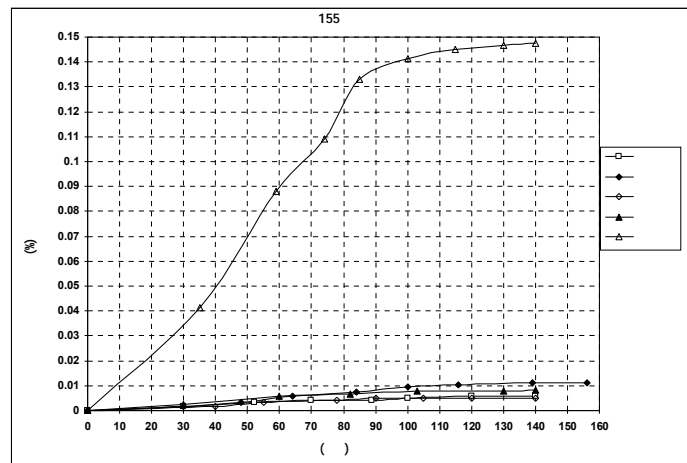
که در این  $P_i$  وزن اولیه کاغذ بر حسب گرم،  $P_f$  وزن کاغذ در انتهای فاصله زمانی بر حسب گرم،  $W$  وزن کل مخلوط بر حسب گرم و  $D$  درصد ریزش قیر مخلوط هستند. پس از اندازه‌گیری میزان ریزش قیر برای هر نمونه، مقدار میانگین ریزش قیر نمونه‌ها برای هر یک از مخلوط‌ها در سه دمای ۱۷۵°C، ۱۵۵°C و ۱۴۰°C محاسبه گردید [۱، ۲، ۴، ۵، ۸]. نتایج این آزمایش را در شکل‌های (۲) تا (۴) و جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶- ریزش قیر مخلوط‌های SMA حاوی ۰/۳ درصد وزنی الیاف مختلف در دماهای مورد آزمایش

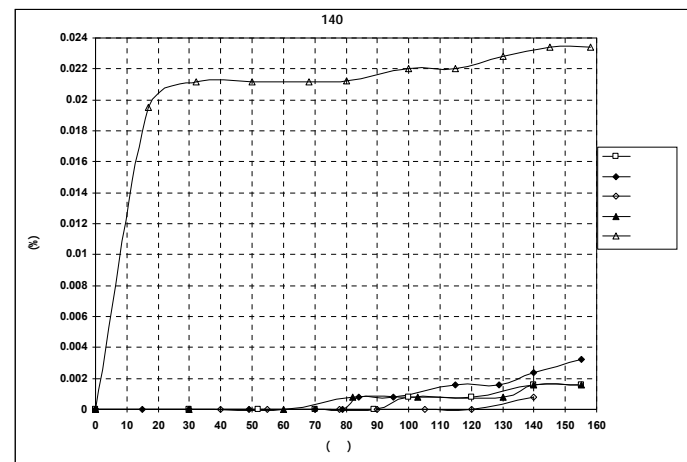
پلی‌استر	پلی‌پروپیلن	اکریلیک	کنف	ویسکوز	نوع مخلوط	
					ریزش قیر (%)	دما (°C)
۰/۰۸۷۳	۰/۲۲۳	۰/۱۰۷۹	۰/۰۷۸۸	۰/۰۷۳	۱ ساعت	۱۷۵
۰/۱۰۸۸	۰/۳۲۶	۰/۱۷۴	۰/۰۹۸۸	۰/۰۹۰۱	۲ ساعت	
۰/۰۰۶	۰/۰۸۹۲	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۳۶	۱ ساعت	۱۵۵
۰/۰۰۷۷	۰/۱۴۵۵	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۵۱	۲ ساعت	
-	۰/۰۲۱۲	-	-	-	۱ ساعت	۱۴۰
۰/۰۰۸	۰/۰۲۲۳	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۸	-	۲ ساعت	



شکل ۲- ریزش قیر مخلوط‌های SMA حاوی ۰/۳ درصد وزنی الیاف مختلف با زمان در دمای c ۱۷۵°



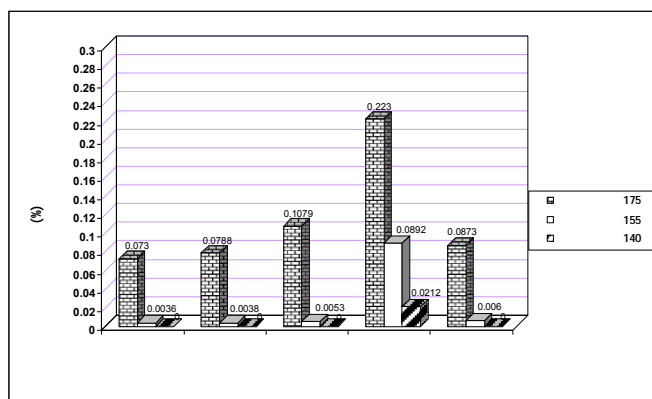
شکل ۳- ریزش قیر مخلوط‌های SMA حاوی ۰/۳ درصد وزنی الیاف مختلف با زمان در دمای c ۱۵۵°



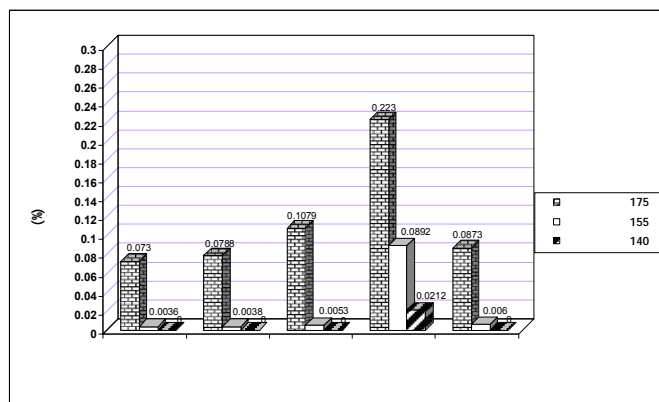
شکل ۴- ریزش قیر مخلوط‌های SMA حاوی ۰/۳ درصد وزنی الیاف مختلف با زمان در دمای c ۱۴۰°

#### ۴. تحلیل نتایج

همانطور که در جدول (۵) مشاهده می‌گردد، درصد قیر بهینه برای ۵ نوع مخلوط کاملاً 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. اما بین مخلوط‌های حاوی الیاف مصنوعی، پلی‌استر، اکریلیک و پلی‌پروپیلن به ترتیب دارای مقادیر حداکثر، میانی و حداقل قیر بهینه هستند. همانطور که در شکل‌های (۵) و (۶) و نیز جدول (۶) مشاهده می‌گردد، تمامی مخلوط‌های SMA حاوی الیاف مختلف دارای میزان ریزش قیر کمتر از حداکثر ارائه شده توسط نشریه ۲۰۶ یعنی ۰/۳ درصد هستند (۱، ۲، ۵)؛ بنابراین کل طرح مخلوط و میزان قیر بهینه از نظر ریزش قیر صحیح می‌باشد، اما شاهد اختلافات قابل توجه در میزان ریزش قیر مخلوط‌های حاوی الیاف مختلف هستیم، به طوری که میزان ریزش قیر از کمتر به بیشتر، به ترتیب در مخلوط‌های حاوی الیاف ویسکوز، کنف، پلی‌استر، اکریلیک و پلی‌پروپیلن اتفاق می‌افتاد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الیاف با پایه سلولزی مانند ویسکوز و کنف علاوه بر داشتن میزان قیر بهینه بیشتر در کاهش میزان ریزش قیر مؤثرترند، ولی در میان الیاف مصنوعی پلی‌استر علاوه بر داشتن میزان قیر بهینه بیشتر از دو نوع الیاف دیگر یعنی اکریلیک و پلی‌پروپیلن بسیار بهتر عمل می‌کند به طوری که مخلوط حاوی الیاف پلی‌استر دارای ریزش قیر نزدیک به مخلوط‌های حاوی الیاف کنف و ویسکوز است.



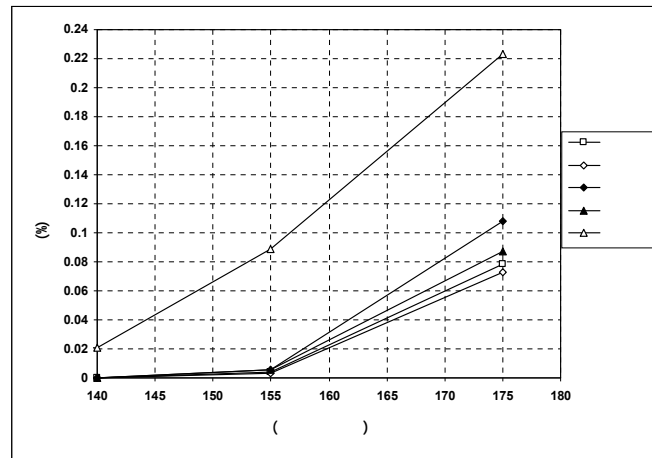
شکل ۵- نمودار ریزش قیر مخلوط‌های SMA حاوی ۰/۳ درصد وزنی الیاف مختلف در دمای مورد آزمایش در طی یک ساعت



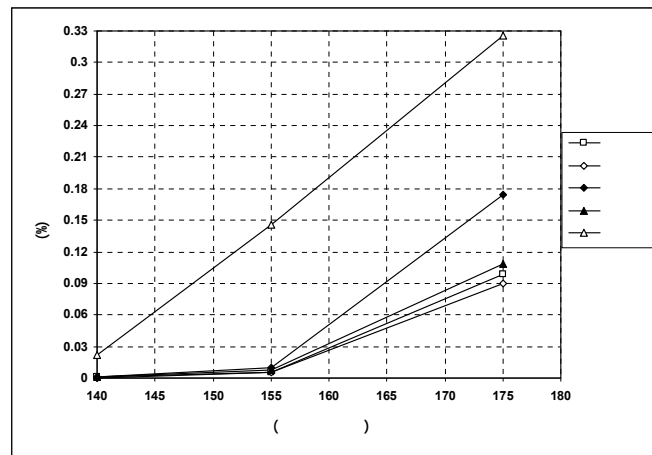
شکل ۶- نمودار ریزش قیر مخلوط‌های SMA حاوی ۰/۳ درصد وزنی الیاف مختلف در دمای مورد آزمایش در طی دو ساعت

به منظور بررسی اثر زمان بر ریزش قیر مخلوط‌های مختلف شکل‌های (۲) تا (۶) در دماهای متفاوت مد نظر قرار گرفت. همانطور در این منحنی‌ها مشاهده می‌گردد، میزان ریزش قیر برای همه الیاف در مدت یک ساعت اولیه سیر صعودی داشته و فقط نرخ افزایش آنها متفاوت است که بیشترین نرخ افزایش مربوط به مخلوط‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلن است و بعد از آن مخلوط‌های حاوی الیاف اکریلیک، پلی‌استر، ویسکوز و کنف قرار دارد. اما با بررسی میزان ریزش قیر پس از یک ساعت شاهد یک تغییر قابل توجه در میزان ریزش قیر برای مخلوط‌های حاوی الیاف مختلف هستیم. این تغییر در نرخ افزایش ریزش قیر برای مخلوط‌های حاوی الیاف ویسکوز، کنف و پلی‌استر بسیار قابل توجه است، به طوری که بعد از مدت یک ساعت این نرخ افزایش تقریباً به صفر میل می‌کند. ولی کاهش نرخ افزایشی ریزش قیر بعد از یک ساعت برای مخلوط‌های حاوی الیاف اکریلیک و پلی‌پروپیلن آنقدر نیست که بتوان بعد از مدت یک ساعت میزان ریزش قیر مخلوط را ناچیز فرض کرد. برای مخلوط‌های حاوی الیاف اکریلیک و پلی‌پروپیلن کاهش قابل

توجه در نرخ افزایش ریزش قیر به ترتیب در ۹۰ و ۱۳۰ اتفاق می‌افتد، اما می‌توان گفت که احتمالاً با افزایش میزان این الیاف در مخلوط بتوان این زمانها را به یک ساعت تقلیل داد و شاید بتوان چنین گفت که مخلوط‌های حاوی الیاف اکریلیک و پلی پروپیلن نسبت به پتانسیل ریزش قیر مستعدتر هستند و توصیه می‌شود که مقدار بیشتری از این الیاف در مخلوط استفاده شود. اگرچه مخلوط حاوی الیاف پلی پروپیلن پس از طی ۱۰۰ دقیقه دارای ریزش قیر بیشتر از حد مجاز ۰/۳ درصد وزن کل مخلوط می‌باشد و مقدار نرخ افزایش ریزش قیر مخلوط حاوی این الیاف در طول زمان به مراتب بیشتر از مخلوط‌های دیگر است که نشانه ضعف بیشتر این مخلوط‌ها به ریزش قیر در مسافت‌های حمل طولانی است و باید اصلاح گردد. به منظور بررسی تأثیر دما بر پتانسیل ریزش قیر، شکل‌های (۵) تا (۸) مد نظر قرار گرفت و منحنی میزان ریزش قیر - دما شکل‌های (۷) و (۸) برای مخلوط‌های مختلف در طی زمان‌های ۱ و ۲ ساعت ترسیم شد.



شکل ۷- منحنی تغییرات ریزش قیر انواع مختلف مخلوط‌های SMA بر حسب دما در طی ۱ ساعت



شکل ۸- منحنی تغییرات ریزش قیر انواع مختلف مخلوط‌های SMA بر حسب دما در طی ۲ ساعت

برطبق این منحنی‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش دما، میزان ریزش قیر برای تمام مخلوط‌ها افزایش می‌یابد. اما این افزایش برای مخلوط‌های حاوی الیاف مختلف متفاوت است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش دما تا ۱۵۵°C به استثناء مخلوط حاوی پلی پروپیلن که میزان ریزش قیر آن دارای سیر صعودی با نرخ زیاد است، مخلوط‌های دیگر دارای سیر صعودی با نرخ بسیار کم می‌باشند اما با افزایش دما به یکباره شاهد یک تغییر نرخ افزایشی قابل توجه در منحنی‌های تمام مخلوط‌ها هستیم، که این تغییر نرخ برای مخلوط حاوی اکریلیک از همه بیشتر و بعد از آن به ترتیب مخلوط‌های حاوی الیاف پلی استر، کنف و ویسکوز قرار دارند ولی این تغییر نرخ برای الیاف پلی پروپیلن از همه کمتر است. این بدین معناست که مخلوط‌های حاوی الیاف اکریلیک، پلی استر، کنف و ویسکوز دارای حساسیت بیشتر نسبت به دما می‌باشند و میزان ریزش قیر آنها از یک درجه حرارت خاص به بعد، با شدت بیشتری به دما وابسته است، به طوری که این میزان حساسیت نسبت به دما برای مخلوط‌های حاوی الیاف مصنوعی اکریلیک و پلی استر بیشتر و برای الیاف سلولزی مانند کنف و ویسکوز کمتر است. البته برای مخلوط حاوی الیاف پلی پروپیلن حساسیت میزان ریزش قیر در بازه دمایی ۱۴۰°C تا ۱۷۵°C



نسبت به درجه حرارت بسیار اندک است زیرا تغییر شیب منحنی آن بسیار اندک است، اگرچه مقدار ریزش قیر آن قابل توجه است و شاید بتوان گفت که نقطه آستانه افزایش قابل توجه میزان ریزش قیر نسبت به دما برای این مخلوط در نقطه‌ای خارج از بازه دمایی آزمایش اتفاق افتاده است و ممکن است بتوان با افزایش مقدار الیاف پلی‌پروپیلن یک مخلوط مطلوب‌تر، هم از لحاظ تغییرات میزان ریزش قیر نسبت به دما و هم از لحاظ نرخ پتانسیل ریزش قیر بدست آورد.

## ۵. نتیجه‌گیری

بر اساس تحلیل اطلاعات این تحقیق نتایج زیر به دست آمد:

مخلوط‌های SMA حاوی الیاف ویسکوز، کنف، پلی‌استر، اکریلیک 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 و اکریلیک از سایر مخلوط‌های به لحاظ مصرف قیر اقتصادی‌تر می‌باشد. همچنین، چون الیاف پلی‌پروپیلن یک محصول تولید بومی بوده و الیاف اکریلیک از پسماند کارخانه فرش تهیه می‌شود، مخلوط نهایی حاوی این الیاف به لحاظ قیمت تمام شده از سایر مخلوط‌ها ارزان‌تر خواهند بود.

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 بهتر عمل می‌کنند. در میان مخلوط‌های SMA حاوی الیاف مصنوعی، مخلوط‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلن بسیار نسبت به ریزش قیر حساس و مستعد بودند و برای استفاده از آنها باید دقت عمل و تحقیقات بیشتری انجام داد، ولی به نظر می‌رسد که با افزایش درصد وزنی این الیاف بتوان مخلوط بهتری ساخت.

مخلوط‌های SMA حاوی الیاف سلولزی (ویسکوز و کنف) 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. شایان ذکر است که اگرچه مخلوط حاوی الیاف پلی‌پروپیلن کمترین حساسیت را نسبت به ریزش قیر دارد ولی دارای پتانسیل ریزش قیر قابل توجه است که با افزایش درصد وزنی این الیاف، می‌تواند به طور مثبت تری عمل نماید.

زمان تاثیر عمده‌ای در کاهش میزان ریزش قیر دارد به طوری که با سپری شدن زمان میزان ریزش قیر مخلوط‌های SMA حاوی الیاف مختلف به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. اگرچه این کاهش برای مخلوط‌های SMA حاوی الیاف سلولزی قابل توجه‌تر و برای الیاف مصنوعی کمتر است.

## ۶. مراجع

1. Brown, E. and R. Mallick, (1997), "Stone matrix asphalt properties related to mixture design", National Center for Asphalt Technology.
2. Brown, E., et al., (1997), "Development of a mixture design procedure for stone matrix asphalt", Auburn University: Alabama.
3. Ibrahim M, A., (2006), "Laboratory comparison study for the use of stone matrix asphalt in hot weather climates", Construction and Building Materials, **20**(10): p. 982-989.
4. Kumar, P., S. Chandra, and S. Bose, (2005), "Comparative Study on Stone Matrix Asphalt Mixes with Different Stabilizers", in TRB Annual Meeting.
5. Putman, B.J. and S.N. Amirkhanian, (2004), "Utilization of waste fibers in stone matrix asphalt mixtures" Resources, Conservation and Recycling, **42**(3): p. 265-274.
6. Brown, E., et al., (1997), "Performance of stone matrix asphalt (SMA) mixtures in the United States", Auburn University: Alabama.
7. نشریه ۲۰۶، راهنمای طرح مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه ای. ۱۳۸۲: ایران.
8. Ai-Hadidy, A. and Y. q. Tan, (2011), "Performance of the SMA mixes made with the various binders" Construction and Building Materials, **25**(9): p. 3668-3673.
9. Davidson JK and Kenepohl GJ., (1992), "Introduction of stone mastic asphalt in Ontario".
10. Bukowski, J.R., (1992), "The Future of SMA in America. The Asphalt Institute", 6(3).