

# اثر الیاف بازیافت شده از تایرهای فرسوده بر مشخصات مخلوط های آسفالتی

کیانوش سیامردی<sup>۱</sup>، دکتر محمدرضا احدی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس مهندسی عمران

۲- عضو هیأت علمی پژوهشکده حمل و نقل

Email: Ahadi@rahiran.ir

## خلاصه

افزودن الیاف به عنوان عامل مسلح کننده در مخلوط های آسفالتی چندین مزیت دارد. افزودن الیاف به مخلوط های با دانه بندی باز مانند آسفالت متخلخل (PFC) و آسفالت ماستیکی (SMA) به منظور کنترل زهکشی مورد نیاز می باشد. بر اساس تحقیقات، افزودن الیاف به مخلوط های آسفالتی نیز منجر به بهبود مشخصات مکانیکی مخلوط و در نتیجه عمر روسازی می گردد. انواع مختلف الیاف بطور معمول در مخلوط های آسفالتی مورد استفاده قرار می گیرد که شامل الیاف مصنوعی، معدنی و سلولزی می شود و با استفاده از مواد بازیافتی متفاوت در انواع مختلف تولید می شود. مورد مذکور در مخلوط های آسفالتی بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. الیاف تایر، زباله فرعی روند تجزیه تایر ضایعاتی است که بسته به نوع در زمین دفن می شود. در این مقاله، نتایج حاصل از مطالعات تحقیقاتی کاربرد الیاف تایر به عنوان جایگزین الیاف سلولزی ارائه می شود. هدف کلی انجام این تحقیق سنجش مزیت و سودمندی الیاف ضایعاتی تایر در آسفالت گرم برای انجام عملیات راهسازی می باشد. برنامه انجام آزمون های آزمایشگاهی شامل دو نوع الیاف تایر (بلند و کوتاه)، الیاف سلولزی برای مقایسه و نمونه های کنترلی بدون الیاف؛ سه نوع متفاوت مخلوط آسفالتی گرم (SMA, PFC) و مخلوط درشت دانه با چسبندگی بالا) و پنج آزمون آزمایشگاهی (زهکشی، کشش غیرمستقیم، مدول دینامیکی، شیار چرخ هامبورگ و آزمون روبه) می باشد. نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که الیاف تایر بازیافتی دارای عملکرد بهتر یا برابر با الیاف سلولزی می باشد.

کلمات کلیدی: الیاف تایر، زهکشی، دستگاه آزمون روبه، الیاف سلولزی، آسفالت متخلخل.

## مقدمه

مقاومت کششی کم و استحکام ناکافی مخلوط های آسفالتی در برابر ترک خوردگی خستگی منجر به شکست ناگهانی روسازی می شود. افزودن الیاف سلولزی به عنوان عامل مسلح کننده در آسفالت راهکار مناسبی برای افزایش مقاومت کششی مخلوط های آسفالتی می باشد. مطالعات نشان داده است که افزودن مقدار کمی الیاف (تقریباً ۵٪ وزن مخلوط) به آسفالت گرم در حین اجرای روبه منجر به ایجاد مخلوط های نوینی با ترکهای سطحی کاهش یافته می گردد [۱، ۲، ۳، ۴، ۵].

بر اساس مطالعات [۶]، الیاف بطور قابل توجهی دارای مزیت بیشتری در مخلوط های آسفالتی سنگی با غشای نازک قیر مانند آسفالت ماستیکی (SMA) مخلوط های درشت دانه با چسبندگی بالا<sup>۳</sup> (CMHB) و مخلوط های با دانه بندی باز یا مخلوط سنگدانه اصطکاک متخلخل<sup>۴</sup> (PFC) [۷]. در مراحل اجرای روبه آسفالتی، منطقه سطحی بلند و عمل مویبندی الیاف ها مانع از زهکشی بیش از اندازه قیر به سمت پایین در مخلوط های غنی آسفالتی می گردد. در مرحله بهره برداری، الیاف بطور مستقیم یا غیر مستقیم، استحکام مخلوط و مقاومت در برابر ترک خوردگی و فرسودگی در اثر اکسیداسیون و رطوبت را افزایش می دهد. موفقیت نسل نوینی از مخلوط های PFC مرهون در برداشتن الیافی است که پدیده جداسازی را مخصوصاً در آب و هوای سرد و مرطوب کاهش می دهد.

چندین نوع مختلف الیاف بطور موفقیت آمیزی در مخلوط های آسفالتی بکار رفته است، استفاده از الیاف مصنوعی، پلیمری و سلولزی در مخلوط های آسفالتی به منظور افزایش مقاومت کششی و چسبندگی آسفالت گرم و مخلوط امولسیون آسفالت را پیشنهاد می کند [۸]. الیاف پلی پروپیلن (طول حدود ۱۰ mm) بطور موفقیت آمیزی در مخلوط های آسفالتی با نسبت ۰.۳٪ وزن کل مخلوط مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که الیاف پلی پروپیلن در دماهای بالاتر ذوب می شود، بنابراین استفاده از آن در مخلوط هایی با دمای بالاتر از ۱۵۰°C توصیه نمی شود. الیاف پلی استر مشخصات مکانیکی خود را تا دمای ۲۵۰°C حفظ می کند. مقدار مورد استفاده الیاف پلی استر از ۰.۱۵ تا ۰.۳۸٪ وزن کل مخلوط، متغیر است و همچنین حجم

<sup>۱</sup> کارشناس مهندسی عمران

<sup>۲</sup> استاد راهنما و مدرس دانشگاه سمنان

<sup>۳</sup> CMHB = Coarse Mix High Binder

<sup>۴</sup> PFC = Permeable Friction Coarse

آسفالت طرح را ۰.۱ تا ۰.۲٪ افزایش دهد. الیاف معدنی با طول حدود ۶ mm در مخلوط های SMA مورد استفاده قرار می گیرد. این الیاف از سنگ دیاباز و سنگدانه های معدنی مشابه دیگر ساخته می شود.

نوع دیگری از الیاف که بطور معمول در مخلوط های گرم آسفالتی مورد استفاده قرار می گیرد، الیاف سلولزی می باشد. این الیاف هزینه کمی داشته (در مخلوط های SMA و OGFC تقریباً ۱۴۰۰۰ ریال در تن مازاد بر متوسط هزینه مخلوط) و با استفاده از مواد قابل بازیافت مانند کاغذ باطله تهیه می شود و در حین اختلاط، کیسه های پلاستیکی حاوی این الیاف به درون ایستگاه بچینگ اضافه می شود که در اثر حرارت کیسه ذوب شده و الیاف ها در آسفالت پراکنده می گردد. برخی محققان بر این باور است که بسیاری از شهرها استفاده از الیاف معدنی را بیش از الیاف سلولزی در مخلوط های دانه بندی باز<sup>5</sup> (OGFC) ترجیح می دهند بدلیل آنکه الیاف سلولزی دارای منشأ معدنی بوده و آبی که مشکلات رطوبتی ناگهانی را در زمین منجر می شود، جذب می کند. با این وجود، جذب آب بالای لایه آستر آسفالت توسط این الیاف ممکن است ظرفیت چسبندگی موثر را کاهش می دهد. اگرچه، الیاف سلولزی مزیت کمتری در مقاومت مخلوط آسفالتی دارد، ولی در کنترل زهکشی به سمت پایین در حین اجرای رویه بسیار موثر است [۹].

راهکار کم هزینه تر نسبت به الیاف سلولزی، الیافی از جنس تایر ضایعاتی است. تفاوت مهمی بین الیاف و لاستیک حاصل از تایر فرسوده وجود دارد. یک نوع تایر شامل ۶۰٪ لاستیک، ۲۰٪ فولاد و ۲۰٪ الیاف است [۱۰]. در فرآیند آسیاب کردن تایر، در ابتدا تایرها به تکه هایی بریده شده و به اندازه های مختلفی دانه دانه می شود و به سه گروه (درشت دانه، میان دانه و ریز دانه) طبقه بندی می شود. فلزات معمولاً با استفاده از آهن ربا جداسازی و الیاف تایر از خرده لاستیک مکش می شود. فقط خرده لاستیک استخراج شده، دارای ارزش تجاری برای کاربردهای مختلف است، در حالیکه کل الیاف ها دور ریخته می شود. الیاف های دور ریز بسته به نوع در زمین دفن می شود یا در بسیاری موارد سوزانده می شود. استفاده از الیاف تایرهای ضایعاتی روش موثری برای بازیافت مواد زائد می باشد.

## اهداف

هدف کلی این مطالعه، انجام آزمایش به منظور سنجش کارآمدی الیاف تایر ضایعاتی در آسفالت گرم برای عملیات اجرای رویه می باشد. تفاوت قابل توجهی در نوع فرآیند که الیاف تایر تولید می شود، وجود دارد. مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف تایر به فرآیندی که مورد استفاده قرار می گیرد تا تایر ضایعاتی پاکسازی شود بستگی دارد.

در مخلوط های با دانه بندی باز، الیاف بطور قابل توجه ای بکاربرده می شود. از آنجایی که همه مخلوط های آسفالتی با دانه بندی باز مشابه هم نیست لذا اثر متقابل الیاف تایر با انواع مختلف مخلوط ها نیز متفاوت است. اخیراً مطالعاتی در زمینه ارزیابی اثرگذاری دو نوع مختلف الیاف تایر بر روی مشخصات مکانیکی سه نوع مخلوط متفاوت انجام پذیرفته است. علاوه بر دو نوع الیاف تایر، یک نوع الیاف سلولزی که بطور رایج در مخلوط های آسفالتی با دانه بندی باز بکار می رود. در این مقاله خلاصه ای از مطالعه تحقیقاتی حاضر شامل شرح انواع مختلف الیاف تایر، الیاف سلولزی و مخلوط های آسفالتی، شرح روش های آزمایش متفاوت و پارامترهایی که بکار می رود تا عملکرد مخلوط هایی با الیاف تایر را ارزیابی کند و مقایسه انواع مختلف الیاف تایر در عملکرد انواع مخلوط های آسفالتی می گردد.

## مواد الیافی مورد مطالعه

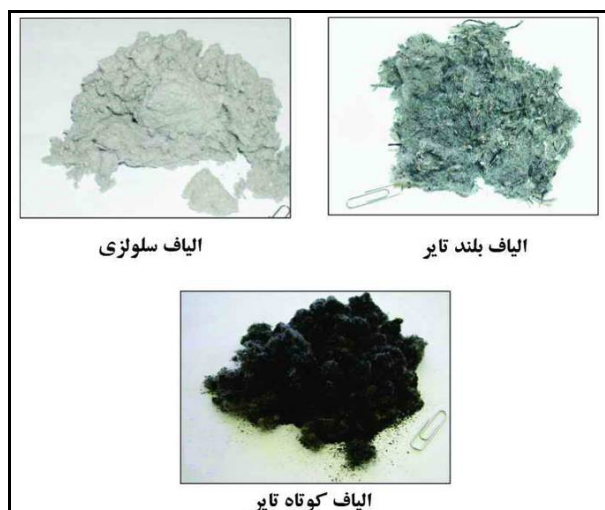
### الیاف مسلح کننده

مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف تایر به فرآیند مورد استفاده برای بازیافت این الیاف ها بستگی دارد. تا کنون محققان، دو نوع الیاف تایر با استفاده از فرآیند های متفاوت خرد کردن را بدست آورده اند که محصول اول، دارای دو نوع الیاف خیلی نازک طول حدود ۱۰ mm و نسبتاً ضخیم با طول حدود ۱۸ mm می باشد. الیاف تایر دارای پرز می باشد و مقدار کمی ذرات لاستیک دارد. این محصول به عنوان الیاف بلند تایر نام دارد. دومین محصول دارای الیاف کوتاه با طول حدود ۶ mm و مقدار نسبتاً بزرگی از ذرات لاستیکی ریزدانه می باشد که به عنوان الیاف کوتاه تایر در این تحقیق بکار برده می شود. علاوه بر دو نوع الیاف تایر، یک الیاف سلولزی در این مطالعه بکار رفته است. الیاف سلولزی از آنجایی که در حال حاضر بطور معمول در چندین مخلوط با دانه بندی باز مانند SMA و PFC بکار می رود، در این مطالعه لحاظ شده است. الیاف سلولزی بسته به نوع خیلی کوتاه، الیاف های نازک و ریز است و به عنوان الیاف سلولزی در این مقاله شناخته می شود. شکل (۱) نمونه هایی از ۳ نوع الیاف را نشان می دهد.

### نمونه های آسفالتی

سه نوع مخلوط آسفالتی SMA، CMHB و PFC مورد مطالعه قرار گرفته است. این مخلوط ها عملکرد مناسبی از مخلوط های آسفالتی که مورد استفاده قرار می گیرد تا کارایی الیاف تایر را ارزیابی کند ارائه می کند. کل سه مخلوط با مقدار قیر بالا و سنگدانه درشت دانه مورد استفاده قرار گرفت. SMA و PFC مخلوط هایی با دانه بندی توخالی هستند.

<sup>5</sup>. OGFC = Open Graded Friction Coarse



شکل ۱- سه نوع متفاوت الیاف مورد استفاده در این مطالعه

روند معمول طرح مخلوط برای SMA و PFC مستلزم استفاده از درصد مشخصی از الیاف معدنی یا سلولزی است. برای جلوگیری از زهکشی در حین حمل و اجرای رویه می باشد. بنابراین دو نوع مخلوط آسفالتی موارد ایده آلی برای ارزیابی استفاده از الیاف تایر می باشد. مخلوط SMA دارای گنجایش ۰,۱٪ بر اساس ۰,۴٪ هوا در ۷۵ گردش و با ۰,۳٪ الیاف سلولزی طراحی گردید. مخلوط PFC دارای گنجایش ۰,۲٪ بر اساس ۰,۲۰٪ هوا با ۰,۳٪ الیاف سلولزی نیز طراحی گردید. مخلوط CMHB دارای گنجایش ۰,۴٪ در ۰,۳۵٪ هوا است. از آنجایی که مخلوط های CMHB بسته به نوع نیاز به افزودن الیاف ندارد، لذا طرح اصلی این اختلاط بدون استفاده از الیاف انجام شد. سنگدانه آهکی و قیر در مخلوط های مذکور از منابع متفاوت بودند. مطالعه تحقیقاتی در حجم کوچکی انجام شد و وسعت طراحی مخلوط بطور کامل برای ۱۲ ترکیب اختلاط وجود نداشت. به منظور تعیین مقدار هر دو نوع الیاف مورد استفاده با همان حجم پایه مشابه انجام پذیرفت. تمام سه نوع الیاف در سه ظرف با همان حجم قرار داده شد و وزن آنها اندازه گیری شد. مشاهده گردید که در حجم یکسان در صورتی که الیاف بطور سست در ظرف قرار گرفته باشد، الیاف بلند تایر وزنی برابر با الیاف سلولزی دارد. از سوی دیگر، در حجم یکسان که الیاف کوتاه تایر بطور سست فشرده شود، دارای وزنی حدود ۳ برابر وزن الیاف سلولزی است. از آنجایی که این اندازه گیری ها معقول است، مراحل سه مرتبه تکرار شود و مقدار متوسط انتخاب گردید. در صد الیاف کوتاه و بلند بترتیب ۰,۱٪ و ۰,۳٪ وزن کل مخلوط است.

### روش انجام آزمون، پارامترها و نتایج آن

روشهای انجام آزمون با هدف استفاده از الیاف تایر در مخلوط های آسفالتی انجام می شود. در ابتدا، برای ارزیابی از الیاف تایر بجای الیاف سلولزی استفاده کرد تا زهکشی در مخلوط های آسفالتی را کنترل نماید. هدف دیگر، ارزیابی بشرط افزودن الیاف تایر است که منجر به بهبود در عملکرد مخلوط شود.

#### آزمون زهکشی

این آزمون به منظور تعیین مقدار قیری که از نمونه های سست مخلوط های آسفالتی متراکم نشده زهکش می شود، انجام می گردد. در این آزمایش، نمونه در دمای بالا مطابق با شرایط تولید ذخیره سازی و حمل و پخش آسفالت نگهداری می شود. این آزمایش مخصوصاً برای مخلوط هایی که درصد بالایی از سنگدانه درشت و یا مقدار بالای قیر مانند SMA و PFC می باشد انجام می گردد. این آزمون مطابق AASHTO T 305-97 انجام پذیرفت. در روند آزمایش، نمونه اختلاط در حلقه سیمی مشبک با اندازه مشخص قرار داده می شود. حلقه به همراه نمونه در گرمخانه بمدت یک ساعت در بالای ظرف جمع کننده قیر زهکش شده از نمونه بالایی با جرم معین قرار داده می شود. دمای گرمخانه باید ۱۰ درجه بیش تر از دمای مخلوط باشد. پس از یک ساعت، ظرف حاوی قیر زهکش شده از نمونه بالایی توزین می گردد تا درصد زهکش شده مخلوط مشخص شود. این آزمون برای حداقل ۲ نمونه همسان برای هر نوع مخلوط تکرار می گردد.

جدول (۱) خلاصه ای از نتایج حاصل از آزمون زهکشی را ارائه می کند. نتایج حاصل از این آزمون نشان می دهد که الیاف تایر در حذف زهکشی مخلوط های SMA و PFC موثر بوده است. همانطور که انتظار می رفت، هیچگونه زهکشی برای مخلوط های CMHB در حالت کنترل و با الیاف مشاهده نشده و از اینرو افزودن الیاف تایر در این مخلوط ها برای کنترل زهکشی هیچ اثری نخواهد داشت.

جدول ۱- درصد متوسط زهکشی به سمت پایین مخلوط های مختلف

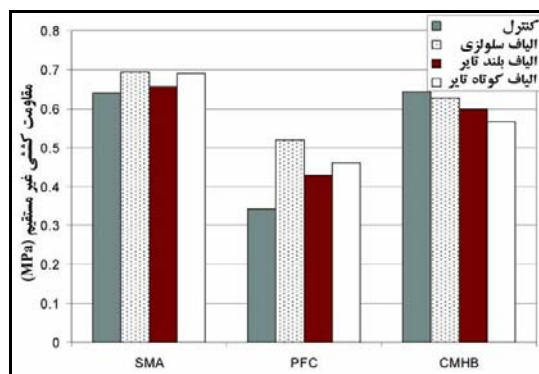
نوع الیاف	مخلوط SMA	مخلوط PFC	مخلوط CMHB
کنترل (بدون الیاف)	۳,۸۱	۱,۶۷	۰
الیاف سلولزی	۰,۰۱	۰,۰۶	۰
الیاف بلند تایلر	۰	۰	۰
الیاف کوتاه تایلر	۰	۰	۰

### آزمون کشش غیر مستقیم

آزمون مقاومت کششی غیر مستقیم در این مطالعه به منظور ارزیابی نتیجه بهبود در مقاومت کششی مخلوط آسفالتی که حاوی الیاف می باشد، انجام می پذیرد. آزمون بر روی ۳ نمونه همسان برای هر مخلوط توسط وارد کردن بار فشاری در امتداد قطر و نقاط انتهایی متقابل انجام شد. مقاومت کششی افقی مخلوط از معادله زیر بدست خواهد آمد:

$$\sigma_{\max} = \frac{2P_{\max}}{\pi t.d} \quad (1)$$

که  $\sigma_{\max}$  مقاومت کششی افقی در مرکز نمونه مورد آزمون،  $P_{\max}$  حداکثر نیرو در حین بارگذاری با سرعت ۵۰ میلیمتر بر دقیقه،  $d$  قطر نمونه و  $t$  ضخامت نمونه می باشد. نمونه استوانه ای با قطر ۱۵۰ mm و ارتفاع ۵۰ mm با روش SGC متراکم می شود. شکل (۲) مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط های مورد مطالعه را ارائه می کند. واضح است که افزودن الیاف به مخلوط های SMA و PFC منجر به افزایش مقاومت کششی شده اما در مخلوط های CMHB منجر به کاهش در مقاومت کششی می گردد. همچنین بر اساس تحلیل آماری، افزایش مقاومت کششی مخلوط های PFC در اثر افزودن الیاف قابل توجه است. به استثنای کاهش مقاومت کششی در مخلوط های CMHB در اثر افزودن الیاف، تغییرات کلی در سایر مخلوط ها قابل ملاحظه است. مخلوط CMHB در ابتدا بدون الیاف طراحی شد و حجم آسفالت طرح بخاطر افزودن الیاف معین نبود. انتظار می رود که احتمالاً الیاف، قیر چسبنده را جذب کرده و سختی مخلوط منجر به کاهش مقاومت کششی شده باشد.

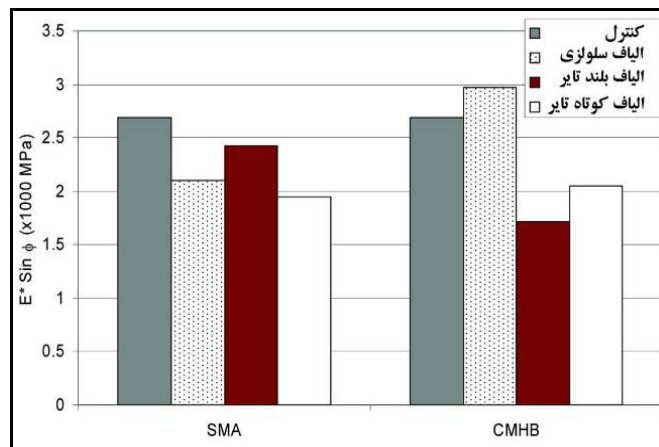


شکل ۲- مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط ها بر حسب مگاپاسکال

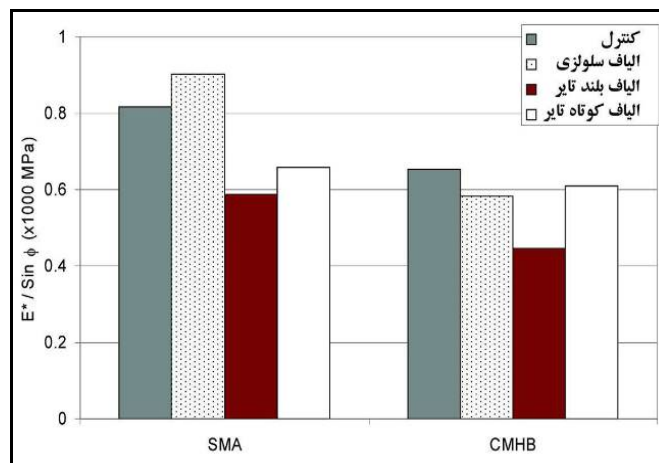
### آزمون مدول دینامیکی

این آزمایش به منظور ارزیابی اثر الیاف بر مشخصات مکانیکی مخلوط انجام گردید. این آزمایش مطابق با AASHTO TP 62-03 [۱۱] در فرکانس ۲۵،۱۰، ۵۰، ۵۰، ۱ هرتز و در ۱۰، ۴، ۴، ۲۱، ۱۰، ۳۷، ۸، ۵۴، ۴ درجه سلسیوس انجام پذیرفت. مقدار ماکزیمم تنش برای اندازه گیری مدول دینامیکی در نمونه هایی که تنش برجهندگی در محدود ۵۰ تا ۱۵۰ میکرواسترین می باشد ثبت می شود. نمونه استوانه ای با قطر ۱۰۰ mm و ارتفاع ۱۵۰ mm برای این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. نمونه ها توسط مغزه گیری و اره کردن در ابعاد قطر ۱۵۰ mm و ارتفاع ۱۷۵ mm بروش SGC متراکم شده است. آزمون مدول دینامیکی در محدوده فرکانسی و حرارت برای ایجاد منحنی متناظر مدل اصلی انجام شد. با این وجود، دو پارامتر متفاوت از این آزمایش منتج می شود که مربوط به عملکرد مخلوط های آسفالتی هستند که  $E^* \sin \phi$  در ۱۰ هرتز و  $E^* / \sin \phi$  در ۱ هرتز و  $54.4^\circ C$  می باشد. داده های پیشین به پتانسیل ترک خوردگی مخلوط آسفالتی همبسته می شود و داده های اخیر با پتانسیل شیارافتادگی جای چرخ مخلوط های آسفالتی همبسته می شود [۱۲]. برای آزمون مخلوط PFC عملی نیست، از آنجایی که سه مخلوط در ۵/۲۰ هوا طراحی می شود. مخلوط های PFC به علت اینکه به عنوان لایه سازه ای بکار نمی رود و کاربرد اولیه آن فراهم کردن اصطکاک و زهکشی سطح روسازی می باشد، مورد آزمون سنجش مدول دینامیکی قرار نمی گیرد.

شکل (۳) مقادیر  $E^* \sin \phi$  در ۱۰ هرتز و  $10^\circ C$  و شکل (۴)  $E^* / \sin \phi$  در ۱ هرتز و  $54.4^\circ C$  برای دو مخلوط SMA و CMHB نشان می دهد. مقدار کمتر  $E^* \sin \phi$  نشان دهنده استحکام بیشتر مخلوط های آسفالتی در مقابل شیارافتادگی یا تغییر شکل دائمی است. بطور کلی، به استثنای افزودن الیاف سلولزی به مخلوط CMHB، افزودن الیاف به مخلوط های SMA و CMHB افزایش مقاومت را نتیجه می دهد. به استثنای مخلوط های SMA حاوی الیاف سلولزی، افزودن الیاف به مخلوط SMA یا CMHB نیز کاهش در استحکام در برابر شیار افتادگی مخلوط ها را نشان می دهد. بر اساس مطالعات، استفاده از آزمون مدول دینامیکی برای سنجش مخلوط هایی با دانه بندی باز یا مخلوط هایی که قیر آنها دارای افزودنی پلیمری است، می تواند تفاسیر گمراه کننده ای در خصوص حساسیت در برابر شیار افتادگی آسفالت گرم فراهم کند. نتایج حاصل از آزمون شیار چرخ هامبورگ نشان خواهد داد که در اثر افزایش الیاف در مخلوط، مقاومت در برابر شیار افتادگی افزایش می یابد. بر اساس این اطلاعات، نتایج حاصل از این آزمون اندازه گیری بهتری از مقاومت در برابر شیارافتادگی بجای پارامتر  $E^* / \sin \phi$  حاصل از آزمون مدول دینامیکی می باشد. از آنجایی که برای هر طرح دو آزمایش تکرار می شود، مقایسه آماری نتایج حاصل از مدول دینامیکی انجام نگردید.



شکل ۳- مقادیر  $E^* \sin \phi$  در ۱۰ هرتز و  $10^\circ C$  برای مخلوط های SMA و CMHB

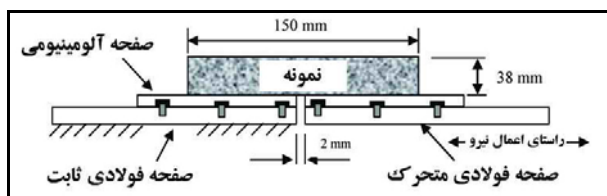


شکل ۴-  $E^* / \sin \phi$  در ۱ هرتز و  $54.4^\circ C$  برای مخلوط های SMA و CMHB

### آزمون رویه

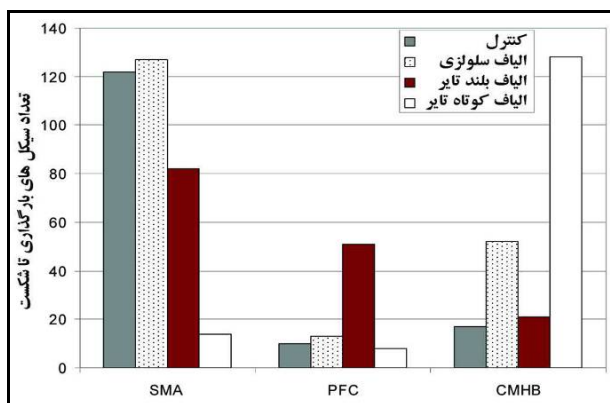
برخی از محققان دستگاه آزمون رویه را به منظور شبیه سازی باز و بسته شدن درزها و ترکها که عامل مهمی برای شروع و انتشار ترکهای واکنشی می باشد، طراحی نمودند که بعدها این دستگاه بیشتر اصلاح شد [۱۳]. شکل (۵) تصویری از دستگاه آزمون رویه که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته را نشان می دهد. دستگاه آزمون رویه شامل دو صفحه فولادی تشکیل شده است؛ یک صفحه که در حین حرکت دیگر صفحه بصورت افقی ثابت می ماند تا بازو بسته شدن درزها و ترکها از روسازی موجود در زیر رویه را شبیه سازی می کند. بارگذاری متناوب بشکل موج مستطیلی در فرکانس ۰.۱ هرتز انجام می شود. آزمون رویه در دمای  $25^\circ C$  در حالت تغییرمکان کنترل شده با مقدار بیشینه  $0.635 \text{ mm}$  تا وقتی که نمونه گسیخته شود انجام

شد. مقدار حرکات افقی تقریباً برابر تغییرمکان بدست آمده از رویه های بتنی که در تغییرات دمایی  $16.7^{\circ}\text{C}$  درز و ترکی به فاصله  $4.57$  متر را متحمل می شود [۱۴]. دستگاه آزمون رویه مدت زمان، میزان تغییرمکان و داده های بار گذاری را به ازای هر سیکل بار گذاری بدست می دهد. به علاوه، طول ترک خوردگی به صورت دستی قابل اندازه گیری است. سه نمونه منشوری با ابعاد  $(1 \times 38 \times 152.4)$  میلی متر مکعب از نمونه استوانه ای با قطر  $150\text{mm}$  که برش SGC متراکم شده، اره شد. آزمون مطابق با دستورالعمل توصیه شده انجام پذیرفت [۱۴]. پارامترهایی که از این آزمون استخراج می شود شامل تعداد سیکل های بار گذاری اعمال شده در نمونه ها قبل از گسیختگی می باشد. گسیختگی به عنوان نقطه ای در حین مشاهده ترک پیوسته بطور کامل توسط بخش آشکاری از نمونه برای مثال ترکهای مشهود در دو طرف قائم و یک سطح افقی (بالا) معین می شود.



شکل ۵- تصویر شماتیک از سامانه آزمون رویه

شکل (۶) نتایج حاصل از آزمون رویه را نشان می دهد. افزودن الیاف تایر مقاومت در برابر ترک خوردگی مخلوط های SMA را افزایش نداده است. بر پایه تحلیل آماری، تفاوت قابل توجهی بین مخلوط کنترل و مخلوطی با الیاف سلولزی یا بین مخلوط کنترل و مخلوط حاوی الیاف بلند تایر وجود نداشت. در مخلوط های PFC، تفاوت قابل توجهی بین کنترل و الیاف سلولزی یا کنترل و الیاف کوتاه وجود ندارد. افزودن الیاف بلند تایر افزایش عملکرد در مقایسه با مخلوط کنترل را منجر می شود.



شکل ۶- تعداد سیکل های بار گذاری تا شکست توسط آزمون رویه

در مخلوط های CMHB افزودن انواع کلی الیاف مقاومت در برابر ترک خوردگی مخلوط را هنگامی که با مخلوط کنترل بدون هیچ الیاف مقایسه می کنیم، افزایش داده است. درصد افزایش در مقایسه عملکرد الیاف کوتاه تایر با عملکرد الیاف بلند تایر خیلی بزرگ نیست.

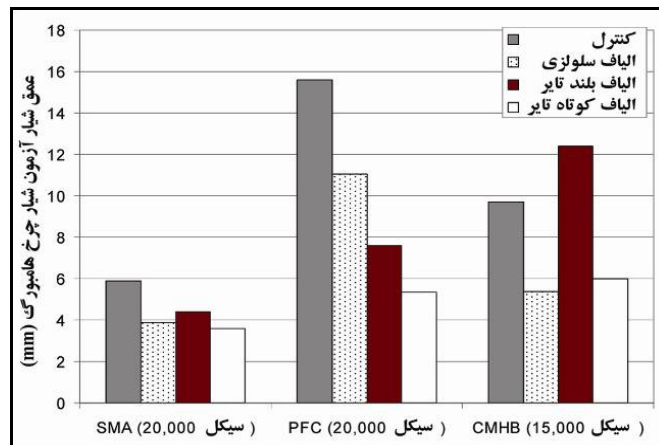
### آزمون شیار چرخ هامبورگ

وسیله شیار زنی با چرخ هامبورگ<sup>۶</sup> (HWTDT)، دستگاه بار گذاری با چرخ و با شتاب می باشد. این آزمون بطور معمول به منظور تعیین حساسیت مخلوط های آسفالتی در مقابل شیار چرخ و رطوبت مورد استفاده قرار می گیرد. این وسیله نسبت به کیفیت سنگدانه، سختی و چسبندگی قیر، مدت زمان فرسودگی در کوتاه مدت، فرآیند پالایش یا منبع نفتی آسفالت گرم، عامل عدم رنگ گیری آهک هیدراته و مایع و دمای متراکم کردن [۱۵] حساس می باشد. در این مطالعه، آزمون توسط عبور متناوب یک چرخ فولادی با عرض  $47\text{mm}$  تحت بار  $71.9\text{kg}$  روی یک نمونه استوانه ای غرقاب در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  انجام پذیرفت. مخلوط های SMA و PFC تحت  $20/000$  سیکل بار گذاری یا عمق شیار  $12.5\text{mm}$  و مخلوط های CMHB تحت  $15/000$  سیکل بار گذاری یا عمق شیار  $12.5\text{mm}$  هر کدام که زودتر رخ داد، قرار داده می شود. دلیل استفاده از سیکل های بیشتر برای مخلوط های SMA و PFC نسبت به CMHB، استفاده از قیر PG 64-22 و PG 76-22 بترتیب به عنوان عامل چسبنده در مخلوط های اولیه و مخلوط

<sup>6</sup>. HWTDT= Hamburg Wheel Track Device

اخیرالذکر می باشد. نمونه استوانه ای با قطر ۱۵۰ mm و ارتفاع ۶۳ mm با روش SGC متراکم شده بود. پارامترهای حاصل از این آزمون، شامل عمق شیارهای متناظر با تعداد معینی سیکل بار گذاری نمونه ها است.

شکل (۷) نتایج حاصل از آزمایش شیار چرخ هامبورگ را نشان می دهد. این آزمون بر روی ۱۲ نمونه استاندارد حاوی قیر PG 76-XX و PG 64-XX که بترتیب در ۲۰/۰۰۰ و ۱۰/۰۰۰ سیکل بارگذاری عمق شیار برابر با ۱۲,۵mm انجام شد. تمام مخلوط ها به استثنای مخلوط کنترل PFC معیار شیارافتادگی را مجاب کردند و درهیچیک از آنها نشانه ای از حساسیت رطوبتی یا روزدن دیده نشد. عمق شیار مخلوط کنترل PFC برای ۲۰/۰۰۰ سیکل با مقایسه اختیاری با مخلوط های PFC حاوی الیاف پیش بینی گردید. عمق شیارها برای مخلوط SMA با دو نوع الیاف تایلر و یک نوع الیاف سلولزی هیچ تفاوت آماری قابل توجهی را نشان نمی دهد. مخلوط های PFC با الیاف بلند تایلر و یا الیاف سلولزی، عملکرد قابل مقایسه ای در برابر شیار افتادگی نشان می دهد. مخلوط های حاوی الیاف کوتاه بطور مشخصی عملکرد بهتر و مخلوط های حاوی الیاف کوتاه و الیاف سلولزی نتایج قابل مقایسه ای را نشان می دهد. شیار افتادگی مخلوط های CMHB حاوی الیاف بلند تایلر بیشتر از مخلوط کنترل آن است. عملکرد نسبی الیاف تایلر و سلولزی در مخلوط SMA مشابه است در حالی که در مخلوط PFC، الیاف تایلر عملکرد بهتری نسبت به الیاف سلولزی نشان می دهد.



شکل ۷- عمق شیار آزمون شیار چرخ هامبورگ (HWTD)

### نتیجه گیری

نتایج آزمون زهکشی بیانگر آن است که از الیاف بازیافت شده از تایلر می توان در مخلوط های SMA و PFC به عنوان جایگزین الیاف سلولزی برای جلوگیری از زهکشی قیر استفاده کرد.

مخلوط های حاوی الیاف بلند تایلر، در بسیاری موارد مشابه مخلوط های حاوی الیاف سلولزی و مخلوط های با عملکرد بالا و بدون الیاف است. استفاده از ۱٪ الیاف کوتاه بیش از اندازه بنظر می رسد. مخلوط های حاوی الیاف کوتاه تایلر عملکرد کمتری نسبت به سایر مخلوط ها و کنترل نشان داده و از آنجایی که امکان جذب قیر چسبنده توسط ۱٪ الیاف کوتاه می رود، سختی مخلوط افزایش و در نتیجه مقاومت در برابر ترک کاهش می یابد. مقاومت کششی مخلوط های SMA و PFC حاوی الیاف افزایش یافته اما مقاومت مخلوط CMHB کاهش یافته است. بطور کلی افزودن هر نوع الیاف مشخصات گسیختگی بر اساس آزمون مدول دینامیکی را افزایش داده است.

کاربرد الیاف بلند با توجه به آزمون رویه نتایج رضایت بخشی را برای مخلوط های PFC و CMHB در مقایسه با مخلوط کنترل و مخلوط حاوی الیاف سلولزی فراهم آورده اما نتایج برای مخلوط SMA حاوی الیاف مذکور مشابه مخلوط کنترل بوده است. بسیاری از مخلوط های حاوی الیاف تایلر هنگامی که تحت آزمایش شیار چرخ هامبورگ قرار گرفتند، عملکرد بهتری نسبت به مخلوط های کنترل در تغییرشکل دائمی داشته اند. به استثنای مخلوط CMHB حاوی الیاف بلند، الیاف تایلر دارای عملکردی مشابه الیاف سلولزی بر اساس نتایج این آزمون می باشد.

کاربرد الیاف بازیافت شده از تایلر در آسفالت گرم مستلزم هیچگونه تکنیک یا تجهیزات خاص نمی باشد. الیاف تایلر را می توان با استفاده از روش مشابه کاربرد الیاف سلولزی و معدنی در اختلاط آسفالت گرم مورد استفاده قرار داد. الیاف تایلر دارای قیمتی کمتر از الیاف سلولزی می باشد؛ خصوصاً در حالتی که الیاف تایلر در دسترس باشد.

1. Button, J. W. and T. G. Hunter.(1984)Synthetic fibers in asphalt paving mixtures FHWA/TX-85/73+319-1F, Texas Transportation Institute, College Station, TX.
2. Freeman, R. B., J. L. Burati, S. N. Amirkhanian, , and W. C. Bridges. (1989) Polyester Fibers in Asphalt Paving Mixtures. Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Proceedings Vol. 58, pp. 387-409.
3. Maurer, D. A.(1985)Comparison of methods to retard reflective cracking in bituminous concrete using fabrics and fibers: Construction and Early Performance Report. 83-8, Pennsylvania Department of Transportation.
4. Maurer, D. A. and J. L. Arellano.(1987)Polyester Fiber-Reinforced ID-2 Wearing Course: Construction and Early Performance Report. 84-106, Pennsylvania Department of Transportation.
5. Kietzman, J. H.(1963)Performance of Asbestos-Asphalt Pavement Surface Course with High Asphalt Contents. Highway Research Record, Vol. 24. pp. 12.48.
6. Kuennen, T., (2003) "Stone Matrix Asphalt is Catching on in the U.S.," Better Roads, Des Plaines, Illinois.
7. Asphalt Institute,(2004) "What You Should Know About Noise Reducing Asphalt Pavements," Asphalt, Asphalt Institute, Lexington, Kentucky.
8. King, G., H. King, R.D. Pavlovich, A.L. Epps, and P. Kamdhal.(1999)Additives in Asphalt. Journal of AAPT Volume 68A, Chicago, Illinois.
9. Colley, L.A., E.R. Brown, and D.E. Watson.(2000)Evaluation of OGFC Mixtures Containing Cellulose Fibers. NCAT Report No. 2000-05, Auburn, Alabama.
10. Putman, B. J. and S. N. Amirkhanian,(2004)Utilization of Waste Fibers in Stone Matrix Asphalt Mixtures. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 42. pp. 265-274.
11. American Association of State Highway and Transportation Officials.(2003)Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Washington, D.C.
12. Bhasin, A., Button, J.W., and Chowdhury, A.(2003)Evaluation of Simple Performance Tests on HMA Mixtures from the South Central United States. Research Report FHWA/TX-03/558-1, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas.
13. Germann, F.P., and R. L. Lytton.(1979)Methodology for Predicting the Reflection Cracking Life of Asphalt Concrete Overlays. Research Report FHWA/TX-79/09+207-5. Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas.
14. Zhou, F., and T. Scullion.(2003)Upgraded Overlay Tester and its Application to Characterize Reflection Cracking Resistance of Asphalt Mixtures. Research Report FHWA/TX-04/4467-1, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas.
15. Izzo, R.P., and M. Tahmoressi, Laboratory Repeatability of the Hamburg Wheel Tracking Device and Replicating Wheel-Tracking Devices among Different Laboratories., Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, v. 68, pp. 589-612.