

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد مخلوط آسفالت بازیافتی اصلاح شده

با جوانساز و الیاف

حسن زیاری (مسئول مکاتبات)، مرکز تحقیقات قیر و مخلوط‌های آسفالتی و استاد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران،

ایران

علی منیری، دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

حسن دیواندری، استادیار، گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران

Email: h.ziari@iust.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲

دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۴

چکیده

امروزه با توجه به کمبود منابع انرژی نقش اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده مجدد از خرده مصالح بازیافتی آسفالت بر کسی پوشیده نیست. در این مطالعه به بررسی خصوصیات عملکردی مخلوط‌های آسفالتی بازیافتی حاوی ۵۰ و ۱۰۰ درصد تراشه آسفالت اصلاح شده با ۰/۰۶، ۰/۱۲ و ۰/۱۸ درصد الیاف شیشه و پلی‌الفین و روغن سایکلوژن به عنوان جوانساز پرداخته شده است. برای این کار آزمایش‌های مدول برجهندگی، حساسیت رطوبتی و خزش دینامیکی بر روی مخلوط‌های آسفالتی بازیافتی اصلاح شده با جوانساز و الیاف انجام شد. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از جوانسازها باعث کاهش مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر شیارشدگی به میزان ۳۰٪، کاهش مقاومت کششی غیر مستقیم به میزان ۲۳٪، کاهش مدول برجهندگی به میزان ۱۹٪ و افزایش حساسیت رطوبتی به میزان ۵٪ می‌شود. با این حال، اثر منفی جوانسازها بر خصوصیات حساسیت رطوبتی، مقاومت کششی غیرمستقیم، شیارشدگی و مدول برجهندگی با استفاده از الیاف جبران‌پذیر است. همچنین بهترین نتایج مربوط به زمانی بود که مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از ۰/۱۲ درصد الیاف ترکیبی شیشه و پلی‌الفین مسلح شده بودند.

واژه‌های کلیدی: آسفالت بازیافتی، آسفالت الیافی، تراشه آسفالت، جوانساز، RAP

۱. مقدمه

توسعه حمل و نقل مستلزم ساخت جاده‌های جدید و بازسازی جاده‌های موجود است. با این حال، متأسفانه عمران و سازندگی با مصرف بیش از اندازه از مواد خام موجود در منابع طبیعی همراه شده است که مغایر با مفهوم توسعه پایدار در استفاده از منابع بوده به گونه‌ای که توانایی نسل‌های آینده را در تأمین نیازهایشان تهدید می‌نماید [Carlson and Edgar, 2014]. امروزه با توجه به قیمت بسیار بالای قیر و مصالح سنگی، به کارگیری مجدد ضایعات به عنوان مواد جدید در صنعت ساخت و ساز، به ویژه روسازی، کمک بزرگی به حفظ محیط زیست و اقتصادی شدن زیرساخت‌های حمل و نقل خواهد کرد. بازیافت آسفالت یکی از مهم‌ترین گزینه‌ها در امر نگهداری و ساخت جاده‌ها است. بازیافت آسفالت گرم شامل عملیاتی است که طی آن آسفالت برداشت شده از روسازی بعد از دانه‌بندی و اختلاط با مواد قیری و یا ترکیبات جوان‌کننده با یا بدون مصالح سنگی جدید یا آسفالت گرم جدید، در یک کارخانه مرکزی آسفالت یا در محل مجدداً گرم شده و در تولید آسفالت جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند. اصولاً در ابتدا مصالح بازیافت شده‌ی آسفالت در جاده‌هایی با ترافیک سبک استفاده می‌شدند، آسفالت بازیافتی از جمله مصالحی است که می‌توان آن را بجای منابع و معادن سنگی مرغوب استفاده نمود. مصالح بدست آمده از آسفالت موجود که با روش‌های گوناگونی از سطح روسازی برداشته می‌شوند را RAP^۱ می‌گویند.

امروزه پس از کسب سال‌ها تجربه، محققین امر آسفالت مخلوط‌های آسفالتی بازیافتی را برای جاده‌هایی با ترافیک سنگین نیز پیشنهاد می‌دهند. همچنین میزان بازیافت در برخی تحقیقات به ۱۰۰ درصد هم رسیده است [Mallick et al.].

2010]. در طول دوره سرویس قیر قدیمی پیر شده و سنگدانه‌ها از هم جدا می‌شوند. عملکرد مخلوط‌های آسفالتی بازیافتی با استفاده از جوانسازها بهبود پیدا کرده است. در سال ۲۰۱۴ در تحقیق جامعی که روی شش نوع جوانساز مختلف انجام شد، نشان داده شد جوانسازهایی همانند روغن‌های خوراکی بازیافتی می‌توانند خصوصیات قیر پیر شده را تا حد بسیار زیادی بازیابی کنند، همچنین روغن‌های آروماتیک مانند سایکلوژن نیز عملکرد بسیار مناسبی نشان دادند و درجه عملکردی قیر پیر شده را بهبود داده و آن را بسیار نزدیک به حالت قبل از پیرشدگی کردند [Zaumanis, Mallick and Frank, 2014]. علاوه بر این، عملیات احیای آسفالت با جوانساز هم می‌تواند منجر به کاهش سختی آسفالت و مقاومت آن در برابر شیارشدگی و گاهاً حساسیت رطوبتی شود [Zaumanis, Mallick and Frank, 2014, 2015].

از طرفی، در صورت عدم استفاده از جوانساز در مخلوط‌های آسفالتی بازیافتی انعطاف مخلوط و همچنین چسبندگی مجدد قیر آن و تراکم‌پذیری آن با مشکل مواجه خواهد شد. بنابراین، نیاز مبرم به استفاده از یک افزودنی دیگر که اثرات منفی جوانساز را خنثی کند احساس می‌شود [Im et al. 2014]. با این حال، بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از تراشه آسفالت در مخلوط آسفالتی موجب سختی مخلوط و کاهش مقاومت در برابر ترک خوردگی می‌شود [Shu et al. 2017, Purdy et al. 2012]. در سال ۲۰۱۱ در مطالعه‌ای آماری روی داده‌های بانک اطلاعاتی رفتار بلندمدت روسازی نشان داده شد بیشترین خرابی اتفاق افتاده در روسازی‌های حاوی تراشه آسفالت بازیافتی خستگی و ترک حرارتی است [West et al. 2011]. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۲ توسط مؤسسه تحقیقات ملی قیر و آسفالت آمریکا انجام شد صفر تا فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

۵۰ درصد تراشه آسفالت حاصل از روسازی جاده‌ها به همراه درصدی از تراشه‌های آسفالت سقف‌ها با و بدون استفاده از جوانساز و در حالت‌های مختلف شبیه‌سازی پیرشدگی کوتاه و بلندمدت با استفاده از آزمایش‌های مدول دینامیکی، مدول برجهندگی و مقاومت ترک‌خوردگی مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین، در این مطالعه قیر تراشه‌های بازیافتی استخراج‌شده و توسط آزمایشات شارپ دمای پایین و میانی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از مهم‌ترین نتایج این تحقیقات می‌توان به اثر منفی استفاده از تراشه آسفالت در مقاومت قیر و مخلوط‌های آسفالتی در برابر ترک‌های خستگی و حرارتی اشاره کرد. در این نتایج نشان داده‌شده است که استفاده از جوانساز تا حدی این نقیصه را جبران می‌کند با این وجود، بازهم به مخلوط متداول بدون تراشه آسفالت نمی‌رسد [Tran, Taylor and Willis, 2012]. در مطالعه دیگری تأثیر استفاده از تراشه آسفالت بر خستگی و شکست مخلوط‌های آسفالتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش خستگی نشان داد مخلوط‌های حاوی ۴۰ و ۵۰ درصد تراشه آسفالت عمر خستگی کمتری نسبت به مخلوط‌های حاوی ۰ و ۳۰ درصد تراشه آسفالت دارند. همچنین نتایج آزمایشات شکست نشان داد انرژی شکست در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد با اضافه کردن تراشه آسفالت به مخلوط افت پیدا می‌کند [Al-Qadi et al. 2012]. در خلال پروژه NCHRP 9-49 چقرمگی شکست و انرژی شکست مخلوط‌های آسفالتی حاوی ۰، ۲۵ و ۵۵ درصد تراشه آسفالت در دمای ۹، ۱۹- و ۲۹- درجه سانتی‌گراد با استفاده از نمونه SCB در مد یک شکست مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از افزایش چقرمگی شکست با افزایش درصد تراشه آسفالت در همه دماها بوده است. از جهتی انرژی شکست در دمای ۹- درجه سانتی‌گراد با افزایش درصد تراشه آسفالت کاهش پیدا می‌کند، اما در دماهای پایین‌تر افزایش انرژی شکست با افزایش فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

درصد تراشه آسفالت مشاهده می‌شود. نتایج این تحقیق در شکل زیر به نمایش گذاشته شده است [West et al. 2013].

استفاده از الیاف‌های ترکیبی اخیراً مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. تحقیقات نشان داده است که آسفالت مسلح شده با الیاف ترکیبی مقاومت کششی و مدول برجهندگی بالاتری دارد. استفاده از این الیاف عموماً موجب بهبود مقاومت خستگی، ترک‌خوردگی و شیارشدگی در مخلوط‌های آسفالتی می‌شود [Aboutalebi Esfahani and Namavar, 2018].

بنابراین با توجه به پیشینه تحقیق، استفاده از جوانسازها در مخلوط‌های بازیافتی می‌تواند موجب کاهش مقاومت در برابر حساسیت رطوبتی و شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی بازیافتی شود که این امر با استفاده از الیاف شیشه و پلی‌الفین قابل اصلاح است. در این تحقیق با به بررسی استفاده از الیاف ترکیبی شیشه و پلی‌الفین در درصد‌های مختلف برای جبران تأثیر منفی ناشی از استفاده از جوانساز در مخلوط آسفالتی بازیافتی حاوی ۵۰ و ۱۰۰ درصد تراشه آسفالت پرداخته شده است.

۲. روش تحقیق

نمونه‌های آسفالتی مطابق با دانه‌بندی ۱۹-۰ میلی‌متر مطابق با استاندارد ASTM D3515 انتخاب شده‌اند. ابتدا آزمایشات مارشال برای محاسبه درصد قیر بهینه در حالت با و بدون جوانساز انجام شدند و سپس با داشتن درصد قیر بهینه هر ترکیب نمونه‌های لازم برای انجام آزمایش‌های حساسیت رطوبتی، مدول برجهندگی و خزش دینامیکی در دمای اختلاط ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد آماده شد. در پایان نیز نتایج هر یک از

آزمایشات ارائه شده تأثیر درصد اضافه شدن الیاف روی نتایج آزمایشات مورد بررسی قرار گرفت.

۱-۲ مصالح و ساخت نمونه

۱-۱-۲ قیر و مصالح سنگی

مصالح سنگی مورد استفاده در مخلوط‌های آسفالتی از معدن اسبچران در شمال شرقی تهران تهیه شده است. دانه بندی مصالح استفاده شده در این پژوهش از حد وسط دانه بندی شماره ۴ مخلوط‌های آسفالتی نشریه ۲۳۴ است. شایان ذکر است که کلیه تراشه‌ها الک شده و دانه بندی یکسان ذکر شده برای تمام نمونه‌ها استفاده شد. همچنین ویژگی مصالح سنگی در جدول (۱) نشان داده شده است. قیر مورد استفاده در این تحقیق از نوع AC 60/70 بوده و از شرکت نفت پاسارگاد تهیه شده است. مشخصات این قیر به شرح جدول ۲ است.

جدول ۱. خواص فیزیکی سنگدانه مورد استفاده در این مطالعه

سنگدانه	حدود مجاز	استاندارد	خصوصیات فیزیکی
سنگدانه آهکی			
۲/۶۲	-	ASTM C127	وزن مخصوص مصالح ریزدانه (g/cm ³)
۰/۷	۲,۵-۰	ASTM C127	جذب آب (%)
۲/۶۱	-	ASTM C128	وزن مخصوص مصالح درشت دانه (g/cm ³)
۱۸/۵	<۲۵	ASTM C131	سایش لس آنجلس (%)
۹۸	۱۰۰-۹۵	ASTM D5821	درصد شکستگی در دوجبهه (%)
۱۰۰	۱۰۰	ASTM D5821	درصد شکستگی در یک جبهه (%)
۶۳	۵۰>	ASTM D2419	ارزش ماسه‌ای (%)

جدول ۲. مشخصات قیر به کاررفته در این تحقیق

آزمایش قیر	استاندارد	حدود مجاز	نتایج
درجه نفوذ (دهم میلی متر)	ASTM D5	۷۰-۶۰	۶۴
خاصیت انگمی (m)	ASTM D113	>۱	بیشتر از یک متر
نقطه نرمی (□)	ASTM D36	۵۶-۴۹	۵۰
نقطه اشتعال (□)	ASTM D92	>۲۳۲	۲۹۰
چگالی (g/cm ³)	ASTM D70	-	۱/۰۱
ویسکوزیته (Sct)	ASTM D2170	-	۳۵۷
		-	-

۲-۱-۲ جوانساز

در این تحقیق از سایکلوژن^۲ به عنوان جوانساز استفاده شده است. این محصول یک جوانساز پایه نفتی بوده که در دنیا مورد استفاده می‌گیرد [Tran, Taylor and Willis, 2012]. جوانساز سایکلوژن دارای نفوذ بسیار مناسب داخل قیر پیر شده بوده و مشخصات ترک خوردگی و عمر خستگی مخلوط بازیافتی را بهبود می‌بخشد. با این حال این جوانساز تأثیر نامطلوبی بر مقاومت شیار شدگی و مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی دارد [Cooper Jr et al. 2015]. در این تحقیق جوانساز بنا بر توصیه شرکت تولیدکننده به صورت مستقیم روی تراشه آسفالت مورد استفاده قرار گرفته است. مشخصات جوانساز مورد استفاده در این تحقیق به شرح جدول ۳ است

جدول ۳. مشخصات جوانساز مورد استفاده در این تحقیق



شکل ۱. الیاف ترکیبی پلی الفین-شیشه مورد استفاده در این تحقیق

۲-۱-۵ مصالح تراشه آسفالت

در این تحقیق تراشه‌های آسفالت بازیافتی با کمک معاونت فنی و عمرانی شهرداری منطقه ۳ تهران از دپوی مربوط به تراش آسفالت بزرگراه همت، محدوده خیابان پاسداران، تهیه شد. تراشه‌های آسفالت برای استفاده ابتدا تحت آزمایش اکستراکشن قرار گرفتند. این کار یکبار برای مصالح ریزدانه (عبوری از نمره ۸)، یکبار برای مصالح مانده روی الک شماره ۸، یکبار برای مصالح مانده روی الک ۴، یکبار برای مصالح مانده روی الک ۱۲ میلی‌متر و یکبار هم برای مصالح مانده روی الک ۱۹ میلی‌متر انجام شد. هدف از انجام این کار محاسبه قیر موجود در مصالح تراشه آسفالت در حین وزن‌کشی برای آماده‌سازی نمونه‌ها بود. پس از انجام آزمایش تجزیه آسفالت تراشه آسفالت الک شده و نمودار دانه‌بندی آن‌ها بدست آمد. نتایج به شرح جدول ۵ و شکل ۲ ارائه می‌گردد.

جدول ۵. درصد قیر تراشه آسفالت مور استفاده در این تحقیق

تراشه آسفالت مانده روی الک	درصد قیر
----------------------------	----------

کمیت	مقدار	واحد
وزن مخصوص در 25°C (g/cm^3)	ASTM D70	۰/۹۷۳
درجه اشتعال ($\square$)	ASTM D92	۲۱۸
کندروانی در 60°C (Sct)	ASTM D2170	۱۱۹
کندروانی در 135°C (Sct)	ASTM D2170	۱۰
تغییرات وزن در لعاب نازک قیر (%)	ASTM D1754	۲,۷

۲-۱-۳ الیاف مورد استفاده

الیاف به‌کاررفته در این پژوهش به شکل رشته‌های الیاف شیشه و پودر پلی‌الفین^۳ بوده و به‌عنوان مسلح کننده در روسازی آسفالتی استفاده می‌شود. اختلاط این الیاف در مخلوط آسفالتی به‌صورت خشک قبل از اضافه شدن قیر صورت می‌گیرد. مشخصات و تصویر الیاف مورد استفاده به شرح جدول ۴ و شکل ۱ است.

جدول ۴. مشخصات الیاف مورد استفاده در این تحقیق

خصوصیات فیزیکی الیاف	واحد	نتایج
رنگ	-	سفید-زرد
چگالی	gr/cm^3	۱/۳
طول	mm	۱۹—۶
قطر	دیتکس	۰,۵ الی ۱۲
مقاومت کششی	MPa	۷۵۰
نقطه ذوب	($\square$)	۲۳۰
جذب آب	%	ندارد

شدند. برای این کار نمونه‌ها با استفاده از چکش مارشال و به‌صورت ۷۵ ضربه در هر طرف کوبیده شدند. بعد از محاسبه درصد قیر بهینه ساخت نمونه‌ها در سایر آزمایشات بر اساس درصد قیر بهینه‌ی هر ترکیب و با دستگاه ژیراتوری مطابق با استاندارد ASTM D6935 انجام شد. برای این کار تعداد ۴۵ نمونه با قطر ۱۰۰ میلی‌متر با استفاده از دستگاه متراکم کننده ژیراتوری و بر مبنای وزن مخصوص واقعی و وزن مخصوص ماکزیمی که از آزمایشات مارشال بدست آمده بود ساخته شدند.

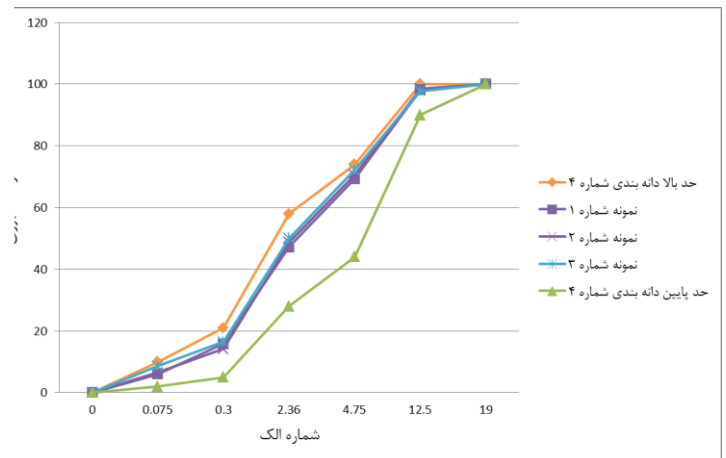
۳. برنامه آزمایشگاهی

آزمایش‌های انجام‌شده در این تحقیق به ۳ دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شود. دسته اول آزمایش‌های تعیین درصد جوانساز و مارشال این مخلوط است. دسته دوم بررسی تأثیر اثر جوانساز و الیاف بر حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی بوده و دسته سوم بررسی تأثیر جوانساز و الیاف بر شیار شدگی و مدول برجهنگی مخلوط‌های آسفالتی مورد آزمایش قرارگرفته است.

۳-۱ آزمایش‌های مارشال و تعیین درصد جوانساز

برای تعیین درصد بهینه جوانساز در این تحقیق ابتدا قیر موجود در مخلوط بر اساس استاندارد ASTM D5404 بازیابی شد؛ و سپس درصد‌های مختلف جوانساز روی آن مورد آزمایش قرارگرفته و پارامترهای درجه نفوذ و نقطه نرمی موردبررسی قرار گرفتند. بیشترین درصد جوانسازی که درجه نفوذ و نقطه نرمی قیر اصلاح‌شده با آن در محدوده مجاز تعیین‌شده در جدول ۲ قرار گرفت، به‌عنوان درصد بهینه جوانساز انتخاب شد. همچنین آزمایش‌های مارشال بر اساس استاندارد AASHTO T245 برای طرح مخلوط‌های بتن آسفالتی انجام شد.

۵/۲	۱۹ میلی‌متر
۵/۲	۱۲ میلی‌متر
۵/۴	۴/۷۵ میلی‌متر
۵/۶	۲/۳ میلی‌متر
۶	عبوری از ۲/۳ میلی‌متر



شکل ۲. دانه‌بندی تراشه آسفالت مورد استفاده

۲-۱-۶ ساخت نمونه

برای ساخت نمونه ابتدا مصالح سنگی طبیعی به مدت ۸ ساعت در دمای ۱۷۰ درجه قرارگرفته و تراشه‌های آسفالت با توجه به این‌که در دمای بالا ممکن است به قیر آن‌ها آسیب برسد به مدت دو ساعت در دمای ۱۷۰ درجه قرار گرفتند. سپس جوانساز به تراشه‌های آسفالت اضافه شد پس از آن به ترتیب مصالح سنگی، الیاف و قیر به مخلوط اضافه می‌شوند. الیاف‌ها در سه درصد ۰/۰۶، ۰/۱۲ و ۰/۱۸ درصد مخلوط به آن اضافه شده‌اند. با توجه به این‌که عموماً ۰/۱۲ درصد از این الیاف مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این تحقیق تأثیر درصد‌های بیشتر و کم‌تر از میزان توصیه شده نیز مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش مارشال به‌منظور یافتن درصد قیر بهینه تعداد ۹۰ نمونه ساخته

۲-۳ آزمایش حساسیت رطوبتی

حساسیت رطوبتی از جمله خرابی‌های رایج در روسازی‌های آسفالتی است و به جداشدگی قیر از مصالح سنگی در مجاورت رطوبت اطلاق می‌شود [Ayazi, Moniri and Barghabany, 2017]. آزمون حساسیت رطوبتی با توجه به استاندارد AASHTO T283 انجام شد. برای این کار ۳ نمونه خشک و ۳ نمونه اشباع مورد آزمایش قرار گرفتند. برای ساخت نمونه‌های اشباع ابتدا نمونه‌ها در یک ظرف شیشه‌ای در بسته به مدت ۵ دقیقه و با اعمال مکش نسبی ۷۶ کیلو پاسکال اشباع شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد و پس‌از آن به مدت ۲۴ ساعت در حمام آب گرم با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در نهایت این نمونه‌ها به مدت دو ساعت در دمای ۲۵ درجه قرار می‌گیرند. نمونه‌های خشک نیز داخل کیسه‌های نفوذناپذیر قرار گرفته و داخل آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند. سپس نمونه‌ها را به‌طور قائم بین دو فک دستگاه آزمایش کشش غیرمستقیم قرار گرفته و بار قطری با سرعت ۵۰ mm/min بر نمونه اعمال می‌شود تا بار به ماکزیمم خودش برسد و نمونه بشکند. مقاومت کششی غیر مستقیم با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. نهایتاً نسبت مقاومت کششی اشباع به خشک به‌عنوان پارامتری از حساسیت رطوبتی عنوان می‌شود.

$$St = (2P / (\pi t D)) \quad (1)$$

در رابطه فوق S_t مقاومت کششی غیر مستقیم (Mpa)، P بار بیشینه وارد شده به نمونه (N)، t ضخامت نمونه آسفالتی (mm) و D قطر نمونه (mm) است.

۳-۳ آزمایش مدول برجهندگی

مدول برجهندگی از جمله پارامترهایی است که در طراحی ضخامت روسازی کاربرد دارد [Ziari et al. 2017]. این آزمایش با توجه به استاندارد ASTM D7369 انجام می‌شود، در این آزمایش روش بارگذاری از طریق فک بارگذاری کشش غیرمستقیم انجام گردید و شکل بارگذاری از نوع نیمه سینوسی با ۰٫۱ ثانیه زمان بارگذاری و ۰٫۹ ثانیه زمان استراحت با فرکانس ۱HZ است. دمای آزمایش حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. دمای آزمایش توسط دماسنجی که داخل نمونه آسفالتی داخل دستگاه بود اندازه‌گیری شد. کوبه بارگذاری تحت نیروی فشار باد به فرورفتگی نوار فولادی چسبیده و سپس بارگذاری نیمه سینوسی در زمان ۰٫۱ ثانیه اعمال می‌کرد. حس‌گرهای اندازه‌گیری تغییر شکل بکاررفته دارای دامنه‌ای برابر با $\pm 0.5\text{mm}$ بودند که با تنظیم بر کناره‌های نوار فولادی طوری تنظیم شدند که جابجایی را تأمین کنند. این حسگرها تغییر شکل‌های برگشت پذیر و برگشت ناپذیر را در هر سیکل اندازه‌گیری می‌کنند. مدول برجهندگی در هر سیکل از رابطه ۲ محاسبه می‌شود و میانگین مدول برجهندگی در ۵ سیکل آخر نیز به عنوان مدول برجهندگی میانگین گزارش می‌شود. همچنین تصویری از نحوه بارگذاری در حین آزمایش به شرح شکل ۳ ارائه شده است.

$$M_R = \frac{0.6234 \times P}{\delta \times t} \quad (2)$$

در رابطه فوق M_R مدول برجهندگی بر حسب مگاپاسکال، P بار وارد شده به نمونه بر حسب نیوتن، δ تغییر شکل برپشت پذیر بر حسب میلی‌متر و t ضخامت نمونه بر حسب میلی‌متر است.

تغییر مکان دائم دوباره افزایش یافته و تقعر نمودار به سمت بالا عوض می‌شود. به شروع ناحیه سوم عدد روانی اطلاق می‌شود [Goh and You, 2009]. عدد روانی به شماره سیکلی اطلاق می‌شود که تقعر منحنی سیک بارگذاری-کرشش تجمعی تغییر کند و یا شیب منحنی خزش شروع به افزایش کند. تشخیص عدد روانی با استفاده از نرم‌افزار متلب انجام شد. در این تحقیق عدد روانی و شیب منحنی خزش در ناحیه دوم به‌عنوان پارامتری برای سنجش مقاومت شیارشدگی نمونه‌های آسفالتی استفاده شده است. هر چه عدد روانی بزرگ‌تر و شیب منحنی خزش کوچک‌تر باشد مقاومت در برابر شیارشدگی بیشتر است.

۴. بحث و بررسی نتایج

۴-۱ آزمایش‌های مارشال و درصد بهینه جواناتاز

درصد بهینه جواناتاز پس از بازیابی قیر موجود در تراشه آسفالت و افزودن درصد‌های مختلف جواناتاز به آن با انجام آزمایش‌های درجه نفوذ و نقطه نرمی به دست آمد. درواقع آن میزان جواناتازی که درجه نفوذ و نقطه نرمی آن همانند قیر پایه AC 60/70 است به‌عنوان درصد بهینه جواناتاز معرفی می‌شود. نتایج به شرح اشکال ۳ و ۴ ارائه شده است.

همان‌طور که در نمودارهای زیر نمایش داده شده است درصد جواناتاز بر اساس آزمایش درجه نفوذ بین ۶/۲ تا ۷/۵ درصد و برای آزمایش نقطه نرمی نیز در محدوده ۰ تا حدود ۸ درصد است. لذا درصد روغن جواناتاز برای بازیابی خصوصیات قیر حدود ۶/۲ درصد تعیین شد.



شکل ۳. نحوه بارگذاری در آزمایش مدول برجهندگی

۳-۳ آزمایش خزش دینامیکی

آزمایش خزش دینامیکی تک‌محوری به‌منظور ارزیابی رفتار مخلوط‌ها در برابر بار تکراری و همچنین برای به دست آوردن پارامترهای خزش و مشخص نمودن رفتار ویسکوز در نمونه‌های آسفالتی استفاده می‌شود. استاندارد مورد استفاده در این آزمایش مطابق با US.NCHRP 9-19 است به‌گونه‌ای که در آن نمونه‌ها تحت بار تکراری تک‌محوره قرار می‌گیرند و تغییر شکل‌های حاصله در همان جهت توسط حس‌گرهای خطی (LVDT)^۲ اندازه‌گیری می‌شوند [Ameri and Behnood, 2012]. برای این کار یک مدت‌زمان بارگذاری استراحت همچنین مقادیر پیش بارگذاری و میزان بارگذاری اصلی به ترتیب ۱۰ و ۴۵۰ کیلو نیوتن و زمان آن‌ها به ترتیب ۰/۵ و ۱/۵ ثانیه در نظر گرفته شد. [Khodaii and Mehrara, 2009]. نتایج این آزمایش به‌صورت منحنی کرشش دائمی تجمعی در برابر تعداد سیکل‌های بارگذاری یا منحنی خزش است. این منحنی به سه ناحیه تقسیم می‌شود. در ناحیه اول تغییر مکان‌های دائم به‌طور ناگهانی روی هم انباشته می‌شوند و شیب تغییر مکان ثابت کاهش می‌یابد. در ناحیه دوم افزایش شیب تغییر مکان دائم ثابت است و در ناحیه سوم شیب

باشد مقاومت مارشال آن و نیز مقاومت شیارشدگی آن بیشتر می‌شود اما از طرفی با اضافه کردن جوانساز این پارامتر به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. نکته دیگری که از نتایج مارشال و طرح اختلاط مخلوط‌های بازیافتی به دست می‌آید این است که استفاده از جوانساز به‌طور قابل ملاحظه‌ای قیر بهینه را کاهش می‌دهد. درواقع زمانی که جوانساز مورد استفاده قرار می‌گیرد قیر موجود در تراشه‌های آسفالت احیاء شده و در بهبود خصوصیات وزنی-حجمی آسفالت مشارکت می‌کند. شایان ذکر است که الیاف‌ها جذب قیر نداشتند و تغییری در قیر بهینه مخلوط ایجاد نمی‌کردند. این موضوع در خلال آزمایشات راستی‌آزمایی شد.

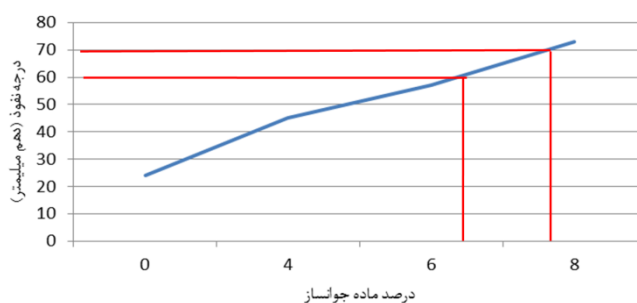
جدول ۶. نتایج آزمایش‌های مارشال برای مخلوط‌های حاوی

درصدها و انواع مختلف تراشه آسفالت					
پارامتر	واحد	شاهد	۵۰٪ RAP با جوانساز	۵۰٪ RAP بدون جوانساز	۱۰۰٪ RAP بدون جوانساز
قیر بهینه	(%)	۵/۴	۲/۵	۲/۷	۰/۶
مقاومت	Kg	۱۱۵۰	۱۰۹۰	۱۴۶۰	۲۲۸۰
مارشال					
روانی	mm	۳/۶	۳/۲	۲/۷	۲/۹
مارشال					
فضای خالی	(%)	۴	۴	۴	۴
وزن مخصوص	g/cm3	۲/۳۸	۲/۳۲	۲/۳۱	۲/۲۹

۴-۲ آزمایش حساسیت رطوبتی

نتایج آزمایش حساسیت رطوبتی به شرح شکل‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌گردد استفاده از الیاف ترکیبی پلی الفین و شیشه باعث بهبود حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی می‌شود. همچنین با افزایش درصد

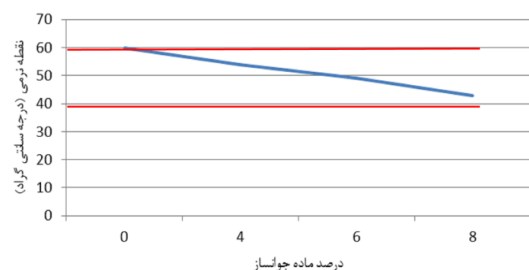
درجه نفوذ



شکل ۳. آزمایش درجه نفوذ بر روی قیر بازیابی شده به همراه

درصدهای مختلف جوانساز

نقطه نرمی



شکل ۴. آزمایش نقطه نرمی بر روی قیر بازیابی شده به همراه

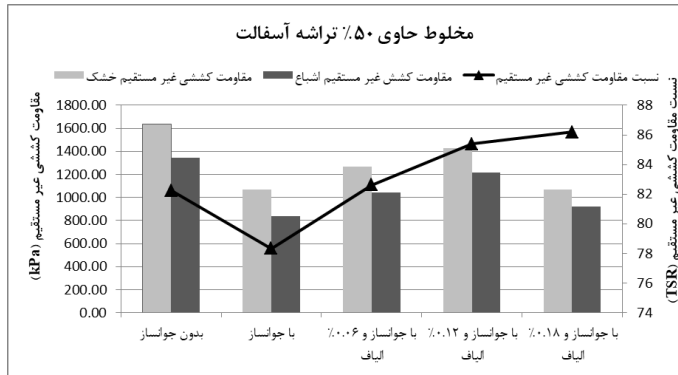
درصدهای مختلف جوانساز

خلاصه نتایج آزمایش‌های مارشال انجام شده به شرح جدول ۶ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود قیر بهینه با اضافه شدن تراشه آسفالت کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد. تا جایی که برای مخلوط‌های ۱۰۰ درصد بازیافتی میزان قیر بهینه تقریباً به ۰/۶٪ می‌رسد که خود قابل ملاحظه و قابل توجه است. این امر با توجه به بالا بودن قیمت قیر می‌تواند استفاده از مخلوط‌های آسفالتی بازیافتی را از نظر اقتصادی توجیه کند.

نتایج مربوط به مقاومت مارشال مخلوط‌های آسفالتی نشان می‌دهد که مقاومت مارشال با اضافه شدن درصد تراشه آسفالت بهبود می‌یابد. این امر به علت سخت بودن قیر مخلوط‌های بازیافتی نسبت به قیر بکر است. درواقع هر چه قیر سخت‌تر

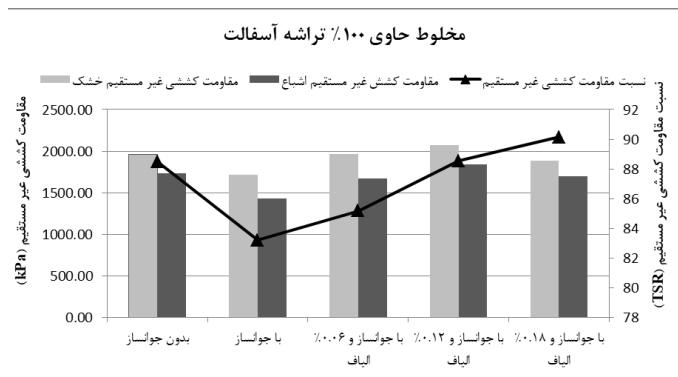
شکل ۵. نتایج آزمایش لاتمن اصلاح شده برای مخلوط شاهد

حاوی درصد های مختلف الیاف



شکل ۶. نتایج آزمایش لاتمن اصلاح شده برای مخلوط حاوی ۰.۵٪

تراشه آسفالت درصد های مختلف الیاف



شکل ۷. نتایج آزمایش لاتمن اصلاح شده برای مخلوط حاوی

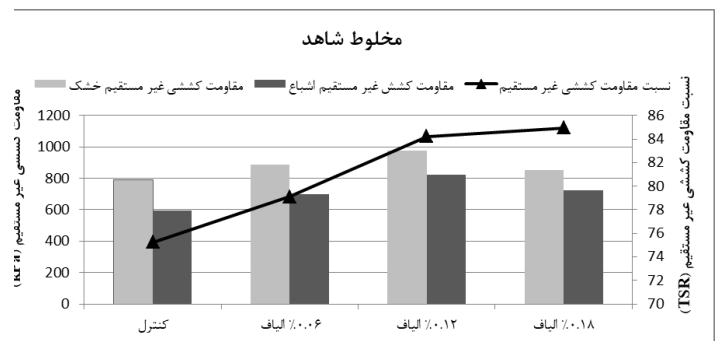
۱.۱۰٪ تراشه آسفالت درصد های مختلف الیاف

۳-۴ آزمایش مدول برجهندگی

نتایج آزمایش مدول برجهندگی به شرح شکل شماره ۸ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می گردد استفاده از تراشه آسفالت موجب افزایش مدول برجهندگی مخلوط های آسفالتی می شود. این پارامتر با استفاده از جوانساز حدود ۲۰ درصد کاهش می یابد. با این حال این کاهش مدول برجهندگی پس از استفاده از الیاف تا حد زیادی جبران می شود. همچنین ملاحظه

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

الیاف تا ۰.۱۲٪ پارامتر مقاومت کششی بهبود پیدا می کند. این امر به علت پخش سه بعدی الیاف داخل مخلوط آسفالتی و مقاومت کششی بالای آن ها اتفاق می افتد [Fazaeli et al. 2018, Klinsky et al. 2016]. با این حال استفاده از درصد های بالاتر الیاف موجب کاهش مقاومت کششی غیر مستقیم شده است. این امر به علت سختی بیش از حد و کلوخه شدن الیاف اتفاق افتاده است. همچنین مشاهده می شود که با استفاده از تراشه آسفالت مقاومت کششی غیر مستقیم افزایش پیدا می کند. با این وجود زمانی که جوانساز به مخلوط اضافه شده است این مقاومت کاهش چشم گیری داشته است که با استفاده از ۰.۱۲٪ الیاف، کاهش مقاومت به علت استفاده از جوانساز جبران شده است. شکل های ۶ و ۷ نشان می دهند که استفاده از تراشه آسفالت در وهله اول باعث بهبود حساسیت رطوبتی در مخلوط آسفالتی می گردد. علت این امر وجود یک لایه قیر چسبیده به مصالح سنگی و به اصطلاح تشکیل سنگدانه سیاه است [Huang et al. 2005, Huang, Li and shu, 2006]. با این حال پس از اضافه کردن جوانساز به علت احیای قیر چسبیده به مصالح سنگی پارامتر حساسیت رطوبتی کمی کاهش یافته است. این پارامتر با استفاده از الیاف مجدداً بهبود پیدا کرده و استفاده از الیاف باعث جبران اثر منفی جوانساز بر روی حساسیت رطوبتی و مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط های آسفالتی حاوی درصد های بالا تراشه آسفالت شده است.

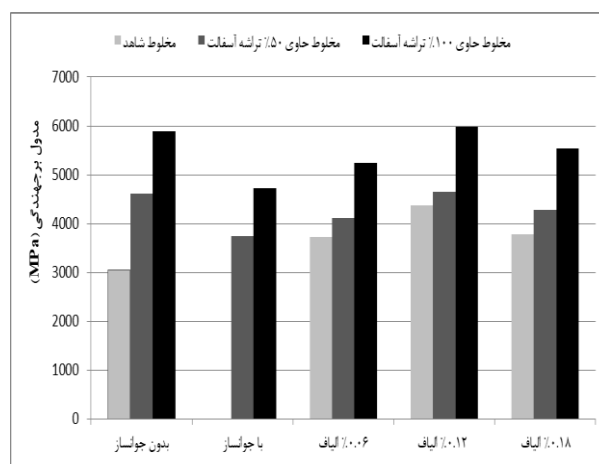


می‌گردد که در مخلوط‌های شاهد و نیز مخلوط‌های بازیافتی حاوی جوانساز، افزایش میزان الیاف تا ۰/۱۲٪ موجب افزایش مدول برجهندگی مخلوط‌های آسفالتی شده است. پس‌از آن، با اضافه کردن الیاف به میزان ۰/۱۸٪ مدول برجهندگی با کاهش مواجه می‌شود. با این حال این کاهش جزئی بوده و در تمام نمونه‌های حاوی ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد تراشه آسفالت مدول برجهندگی مخلوط حاوی ۰/۱۸٪ الیاف بالاتر از این پارامتر برای مخلوط بدون الیاف است.

پیر شده موجود در تراشه‌های بازیافتی موجب افزایش سختی مخلوط و مقاومت آن در برابر تغییر شکل دائم شده که استفاده از جوانساز از این اثر کاسته است. همچنین زمانی که از الیاف ترکیبی شیشه و پلی‌الفین در مخلوط استفاده می‌شود مقاومت شیارشدگی مخلوط به میزان قابل توجهی بهبود میابد. این بهبود مقاومت عمدتاً به علت افزایش سختی مخلوط به علت حل شدن جزو پلی‌الفین این الیاف داخل قیر مخلوط است. همچنین پخش سه‌بعدی مخلوط و افزایش مقاومت در برابر تغییر شکل نیز می‌تواند از علل بهبود شیارشدگی باشد [Ziari et al., 2016, Roman and Garcia-Morales, 2017].

در شکل ۹ مشاهده می‌شود که در تمام مخلوط‌های شاهد و مخلوط‌های حاوی ۵۰ و ۱۰۰ درصد تراشه آسفالت، با افزایش درصد الیاف مقاومت شیارشدگی مخلوط‌ها افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش نمونه شاهد نشان می‌دهد که استفاده از ۰/۱۲ درصد الیاف می‌تواند تا دو برابر مقاومت مخلوط را در برابر شیار شدگی بهبود بخشد. برخلاف آزمایش‌های کشش غیرمستقیم و مدول برجهندگی با اضافه کردن ۰/۱۸٪ الیاف شاهد کاهش عدد روانی در آزمایش خزش دینامیکی نیستیم. علت این امر آن است که تأثیر الیاف بیشتر در مقاومت کششی نمونه‌ها احساس می‌شود با توجه به این که آزمایش‌های مدول برجهندگی و کشش غیرمستقیم با استفاده از فک بارگذاری کشش غیرمستقیم انجام می‌شود، کلوخه شدن الیاف تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر این پارامترها می‌گذارد؛ اما در آزمایش خزش دینامیکی آزمایش به صورت بارگذاری فشاری انجام می‌شود و با افزایش سفتی مخلوط عدد روانی افزایش پیدا می‌کند.

نتایج مربوط به شیب منحنی خزش در ناحیه دوم که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است نیز نتایج پارامتر عدد روانی را تأیید می‌کند و با افزایش درصد تراشه آسفالت و الیاف شیب منحنی



شکل ۸. نتایج آزمایش مدول برجهندگی برای مخلوط‌های حاوی درصدهای مختلف الیاف و تراشه آسفالت

۴-۴ آزمایش خزش دینامیکی

نتایج آزمایش خزش دینامیکی به صورت عدد روانی و شیب منحنی خزش در ناحیه دوم به شرح شکل‌های ۹ و ۱۰ نمایش داده شده است.

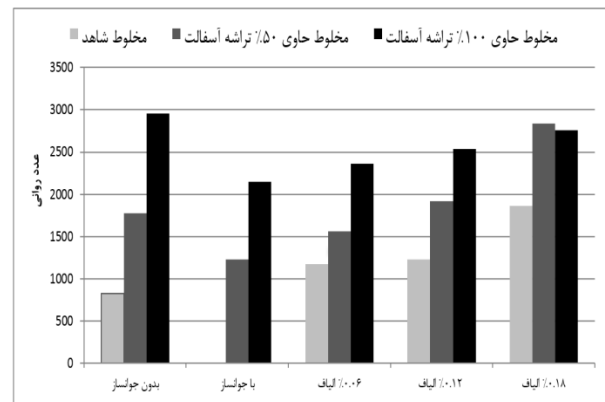
همان‌طور که در شکل ۹ ملاحظه می‌گردد استفاده از تراشه آسفالت موجب بهبود چشمگیر مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر شیارشدگی می‌شود. با این حال استفاده از جوانساز حدود ۳۰٪ این مقاومت را کاهش می‌دهد. در واقع سختی قیر فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

مختلف الیاف ترکیبی پلی الفین و شیشه مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار ابتدا قیر موجود در تراشه آسفالت بازیابی شده و درصدهای مختلف جوانساز روی آن آزمایش شده تا درصد بهینه جوانساز استخراج شود. سپس مخلوطهای آسفالتی با استفاده از تراشه آسفالت، درصد بهینه جوانساز و ۰/۰۶، ۰/۱۲ و ۰/۱۸ درصد الیاف ساخته شده و آزمایشهای مارشال، حساسیت رطوبتی، کشش غیرمستقیم، مدول برجهندگی و خزش دینامیکی روی آن انجام شد. نتایج به شرح زیر است.

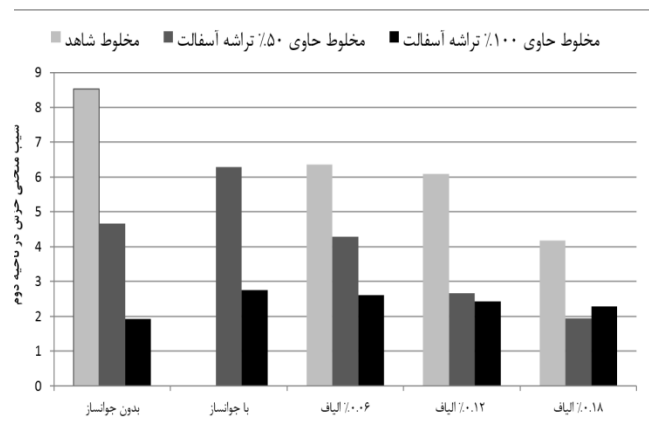
- قیر بهینه با استفاده از تراشه آسفالت در مخلوط آسفالتی کاهش بسیار قابل توجهی دارد و استفاده از تراشه ها را کاهش می دهد. همچنین با استفاده از جوانساز در مخلوطهای آسفالتی بازیافتی، قیر بهینه کاهش می یابد.
- استفاده از تراشه آسفالت به تنهایی باعث بهبود پارامترهای حساسیت رطوبتی، مقاومت کششی غیرمستقیم، مدول برجهندگی و خزش دینامیکی می شود. باین حال استفاده از جوانساز تمامی پارامترهای فوق را تضعیف می کند.
- استفاده از الیاف ترکیبی پلی الفین و شیشه به میزان ۰/۱۲٪ در مخلوطهای آسفالتی باعث بهبود مقاومت کششی غیرمستقیم و مدول برجهندگی می شود. باین حال اضافه کردن الیاف تا ۰/۱۸٪ موجب تضعیف این پارامترها می شود.
- پارامترهای حساسیت رطوبتی و مقاومت در برابر شیارشدگی با افزایش میزان الیاف در مخلوطهای آسفالتی افزایش می یابند.

- استفاده از ۰/۱۲٪ الیاف در مخلوطهای آسفالتی بازیافتی امکان پذیر بوده و اثر منفی جوانساز بر روی پارامترهای حساسیت رطوبتی، مقاومت کششی غیرمستقیم، مدول برجهندگی و مقاومت شیارشدگی را جبران می کند. با توجه

خزش کاهش می یابد. درواقع سختی مخلوط ناشی از اضافه کردن الیاف و تراشه آسفالت موجب شده است تا مخلوطها در برابر تغییر شکل مقاومت بیشتری از خود نشان دهند درنتیجه شیب منحنی تغییر شکل-سیکل بارگذاری کوچک تر شود.



شکل ۹. نتایج آزمایش خزش دینامیکی برای مخلوطهای حاوی درصدهای مختلف الیاف و تراشه آسفالت



شکل ۱۰. شیب منحنی خزش در ناحیه دوم برای مخلوطهای حاوی درصدهای مختلف الیاف و تراشه آسفالت

۵. نتیجه گیری و جمع بندی

در این تحقیق اصلاح مخلوطهای آسفالتی بازیافتی حاوی ۵۰ و ۱۰۰ درصد تراشه آسفالت با استفاده از جوانساز و درصدهای

-Ameri, M. and Behnood, A. (2012) "Laboratory studies to investigate the properties of CIR mixes containing steel slag as a substitute for -virgin aggregates", Construction and Building Materials, Vol.26, No. 1, pp. 475-480.

-Ayazi, M. J., Moniri, A. and Barghabany, P. (2017) "Moisture susceptibility of warm mixed-reclaimed asphalt pavement containing Sasobit and Zycotherm additives", Petroleum Science and Technology, Vol.35, No. 9, pp. 890-895.

-Carlson, I. and Edgar, R. (2014) "Feasibility of using 100% recycled asphalt pavement mixtures for road construction", Iowa: University of Iowa.

-Cooper Jr, S. B., Mohammad, L. N., Elseifi, M. A. and Medeiros Jr. M. S. (2015) "Effect of recycling agents on the laboratory performance of asphalt mixtures containing recycled asphalt shingles", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2506, pp. 54-61.

-Fazaeli, H., Samin, Y., Pirnoun, A. and Dabiri, A. S. (2016) "Laboratory and field evaluation of the warm fiber reinforced high performance asphalt mixtures (case study Karaj-Chaloos Road)", Construction and Building Materials, Vol.122, No. 2 pp. 273-283.

-Goh, S. W. and You, Z. (2009) "A simple stepwise method to determine and evaluate the initiation of tertiary flow for asphalt mixtures under dynamic creep test", Construction and Building Materials, Vol.23, No. 11, pp. 3398-3405.

به این که الیاف‌ها به صورت خشک به مخلوط اضافه می-شوند، گزینه بسیار مناسبی برای استفاده در مخلوط‌های آسفالت بازیافتی می‌باشند. لذا پیشنهاد می‌شود پس از تعیین درصد بهینه جوانساز، برای ختشی کردن اثر منفی جوانساز از ۰/۱۲٪ الیاف شیشه و پلی الفین مورد استفاده قرار بگیرد. آزمایشات تکمیلی برای تعیین درصد بهینه الیاف و تراشه آسفالت توصیه می‌شوند.

۶. پی‌نوشت‌ها

1. Reclaimed Asphalt Pavement

2. Cyclogen

3. Polyolefine

4. Black aggregate

۷. سپاسگزاری

نویسندگان در پایان وظیفه خود می‌دانند از زحمات کارکنان محترم مرکز تحقیقات قیر و مخلوط‌های آسفالتی دانشگاه علم و صنعت ایران (ABRC)، تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

-Aboutalebi Esfahani, M. and Namavar Jahromi, M. (2018) "Optimum parafibre length according to mechanical properties in hot mix asphalt", Road Materials and Pavement Design, Vol.4, No. 2, pp. 1-18.

-Al-Qadi, I., Aurangzeb, M. Q., Carpenter, S. H., Pine, W. J. and Trepanier, J. (2012) "Impact of high RAP contents on structural and performance properties of asphalt mixtures", FHWA-ICT-12-002,

- Roman, C. and Garcia-Morales, M. (2017) "Linear rheology of bituminous mastics modified with various polyolefins: a comparative study with their source binders", *Materials and Structures*, Vol.50, No. 1, pp. 86.
- Shu, X., Huang, B., Shrum, E. D. and Jia, X. (2012) "Laboratory evaluation of moisture susceptibility of foamed warm mix asphalt containing high percentages of RAP", *Construction and Building Materials*, Vol.35, No. 3 pp. 125-130.
- Tran, N., Taylor, A. and Willis, R. (2012) "Effect of rejuvenator on performance properties of HMA mixtures with high RAP and RAS contents". Auburn, AL: National Center for Asphalt Technology,
- Tran, N. H., Taylor, A. and Willis, R (2012) "Effect of rejuvenator on performance properties of HMA mixtures with high RAP and RAS contents", *NCAT Report*, No. 1 pp. 12-05.
- West, R., Michael, J., Turochy, R. and Maghsoodloo, S. (2011) "A comparison of virgin and recycled asphalt pavements using long-term pavement performance SPS-5 data", *Transportation Research Board 90th Annual Meeting*, Washington, 23-27 January 2011
- West, R. C., Rada, G. R., Willis, J. R. and Marasteanu, M. O. (2013) "Improved mix design, evaluation, and materials management practices for hot mix asphalt with high reclaimed asphalt pavement content", *Transportation Research Board*. Vol.752, No 1 pp. 215-231
- Huang, B., Li, G. and Shu, X. (2006) "Investigation into three-layered HMA mixtures", *Composites Part B: Engineering*, Vol.37, No. 7-8, pp. 679-690.
- Huang, B., Li, G., Vukosavljevic, D., Shu, X. and Egan, B. K. (2005). "Laboratory investigation of mixing hot-mix asphalt with reclaimed asphalt pavement", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.1929, No. 1, pp. 37-45.
- Im, S., Zhou, F., Lee, R. and Scullion, T. (2014) "Impacts of rejuvenators on performance and engineering properties of asphalt mixtures containing recycled materials", *Construction and Building Materials*, Vol.53, No. 5 pp. 596-603.
- Khodaii, A. and Mehrara, A (2009). "Evaluation of permanent deformation of unmodified and SBS modified asphalt mixtures using dynamic creep test", *Construction and Building Materials*, Vol.23, No. 7, pp. 2586-2592.
- Klinsky, L., Kaloush, K., Faria, V. and Bardini, V. (2018) "Performance characteristics of fiber modified hot mix asphalt", *Construction and Building Materials*, Vol.176, No. 2 pp. 747-752.
- Mallick, R. B., O'Sullivan, K. A., Tao, M. and Frank, R (2010) "Why not use rejuvenator for 100% RAP recycling?", *TRB 89th Annual Meeting*, Washington, 23-27 January 2011
- Purdy, C., Rizvi, H., Mehta, Y., Nolan, A. and Ali, A. (2017) Methodology to determine optimum rejuvenator dosage for 50 percent high-rap mixture.

rejuvenators on the performance properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) binder and 100% recycled asphalt mixtures", Construction and Building Materials, Vol.71, No. 3 pp. 538-550.

-Ziari, H., Akbari, T., Farahani, H. and Goli, A. (2016) "The effect of Lucobit polymer on bitumen performance", Petroleum Science and Technology, Vol.34, No. 6, pp. 512-516.

-Ziari, H., Moniri, A., Imaninasab, R. and Nakhaei, M. (2017) "Effect of copper slag on performance of warm mix asphalt", International Journal of Pavement Engineering, No. 2 pp. 1-7.

-Zaumanis, M., Mallick, R. B. and Frank, R. (2014) "Determining optimum rejuvenator dose for asphalt recycling based on Superpave performance grade specifications", Construction and Building Materials, Vol.69, No. 3 pp. 159-166.

-Zaumanis, M., Mallick, R. B. and Frank, R. (2015) "Evaluation of different recycling agents for restoring aged asphalt binder and performance of 100% recycled asphalt", Materials and Structures, Vol.48, No. 8, pp. 2475-2488.

-Zaumanis, M., Mallick, R. B., Poulikakos, L. and Frank, R. (2014) "Influence of six

حسن زیاری، درجه کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در رشته مهندسی عمران را از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان طراحی روسازی راه، مدیریت روسازی راه‌ها و تکنولوژی قیر و آسفالت بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی دانشکده عمران در دانشگاه علم و صنعت ایران با درجه استادی و همچنین رئیس مرکز تحقیقات قیر و مخلوط‌های آسفالتی دانشگاه علم و صنعت است.



علی منیری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه زنجان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان تکنولوژی قیر و آسفالت، طراحی روسازی راه بوده و در حال حاضر دانشجوی دکتری در دانشگاه علم و صنعت ایران است.



حسن دیواندری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷۸ از دانشگاه صنعتی شاهرود و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-گرایش راه و ترابری را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران-گرایش راه و ترابری از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان طراحی و تعمیر و نگهداری روسازی آسفالتی، آزمایشگاه قیر و آسفالت، تکنولوژی روسازی و ترافیک بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد اسلامی است.

