

مقایسه خصوصیات مقاومتی آسفالت لاستیکی و آسفالت معمولی

پیمان دارپرنیان*، دپارتمان مهندسی عمران، دانشکده شهید یزدان پناه، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، کردستان، ایران

علی عبدی، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: payman.d70@gmail.com

دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۰ - پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۵

صفحه ۲۲۵-۲۳۹

چکیده

طبق آمارهای موجود سالانه بیش از ۱۲ میلیون حلقه تیر (۲۵۰ هزار تن) در ایران مصرف می‌شود. استفاده از تایرهای فرسوده در راهسازی مقوله جدید است که مورد توجه متخصصان قرار گرفته و تحقیقات متعددی در این رابطه صورت گرفته است. قیرهای به دست آمده از نفت خام و یا قیر طبیعی که سالیان دراز عمدتاً به عنوان ماده چسباننده در ساخت جاده‌ها و یا دیگر مصارف عایق کاری و پوششی به کار می‌رود، هیچ‌گاه از یک سری خواص فیزیکی و مکانیکی کاملاً رضایت بخش برخوردار نبوده و باتوجه به خواص فیزیکی و مکانیکی محدود، از قابلیت کاربردی محدود و زمان سرویس‌دهی مشخص برخوردار می‌باشد. از این رو محققان همواره تلاش داشته‌اند که به نحوی خواص این سنگین‌ترین برش نفتی را در جهت مطلوب تغییر دهند. اصلاح خواص قیر باعث بالا رفتن کیفیت آن و افزایش عمر سرویس‌دهی پوشش گردیده و در نتیجه هزینه‌های نگهداری و تکرار اجرای روکش به نحو چشمگیری کاسته خواهد شد. یکی از این مواد اصلاح‌کننده، استفاده از پودر لاستیک می‌باشد که در این تحقیق از پودر لاستیک تایرهای بازیافتی برای اصلاح آسفالت استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که این آسفالت نسبت به آسفالت معمولی دارای مقاومت مارشال، مدول برجهندگی و کشش غیرمستقیم بیشتر و عمق شیارشدگی کمتری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آسفالت لاستیکی، مقاومت مارشال، کشش غیر مستقیم، مدول برجهندگی، خزش دینامیکی

۱- مقدمه

هیدروکربن، ۲۶ درصد کربن سیاه، ۱۳ درصد روغن، ۲ درصد اکسید روی، ۱ درصد سولفور و ۷ درصد از سایر مواد شیمیایی است. به طور کلی به قطعه‌های خرد شده لاستیک که به عنوان ماده افزودنی در مخلوط آسفالتی به کار می‌رود، پودر لاستیک گفته می‌شود (Guide, 2009). بسته به نوع مصرف، قطعه‌های پودر لاستیک اندازه‌های متفاوتی خواهند داشت. هم‌چنین با توجه به منبع تهیه و خلوص آن، پودر لاستیک انواع مختلف دارد. از جمله آن‌ها پودر لاستیک خیلی طبیعی که از قطعه‌های خرد شده شامل ۴۰ تا ۴۸ درصد لاستیک طبیعی (ایزوپرن) و

یکی از مشکلات بشر در قرن حاضر، مشکل دفع زباله‌ها و مواد ناشی از تولیدات کارخانه‌ها و سایر فناوری‌های جدید است. افزایش تعداد وسایل نقلیه به نوبه خود باعث افزایش مواد اضافی نظیر لاستیک‌های فرسوده شده است. استفاده از تایرهای فرسوده در راهسازی مقوله جدید است که مورد توجه متخصصان قرار گرفته و پژوهش‌های متعددی در این رابطه صورت گرفته است (طهمورسی، ۱۳۶۷).

یک تایر نو معمولاً از ۸۵ درصد لاستیک، ۱۲ درصد سیم و ۳ درصد نخ تایر تشکیل شده است. ۵۱ درصد وزنی لاستیک را

حداقل ۵۰ درصد هیدروکربن تشکیل شده است را می توان نام برد. منبع این نوع پودر لاستیک معمولاً تایر ماشین های سنگین است.

برای تولید پودر لاستیک از تایر روش های مختلفی وجود دارد که عبارتند از:

- روش گرانول سازی (محیطی)
 - روش آسیاب برودتی
- دو فرآیند برای اصلاح قیر با خرده لاستیک وجود دارد:

- فرآیند تر
- فرآیند خشک

در فرآیند تر، قبل از اختلاط قیر با سنگدانه، پودر لاستیک با قیر و سایر مواد افزودنی ترکیب شده، سپس وارد مرحله اختلاط با سنگدانه می شود. به دلیل اینکه هنگام اختلاط پودر لاستیک با قیر، لاستیک متورم و نرم می شود، محصول نهایی از نظر ظاهری یک دست نبوده و می توان آثار تورم را مشاهده کرد. از جمله پارامترهایی که واکنش قیر و پودر لاستیک را تحت تاثیر قرار می دهند عبارتند از: زمان واکنش، درجه حرارت واکنش، میزان روغن های آروماتیک در قیر، اندازه ذرات لاستیک خرد شده و در نهایت میزان انرژی مکانیکی که صرف انجام عمل اختلاط می گردد. مشخصات پودر لاستیک مورد استفاده در این فرآیند بر اساس آیین نامه ASTM D297 و کالترز باید مورد استفاده قرار بگیرد (Thodesen, Shatanawi and Amirkhanian, 2009).

هم چنین آیین نامه ASTM C136 مربوط به دانه بندی پودر لاستیک می باشد. در این واکنش نفت آروماتیک قیر به داخل پلیمر لاستیک که ساختار اصلی پودر لاستیک است، جذب می شود. با افزایش سطح ذرات پودر لاستیک یا افزایش دما می توان نرخ واکنش را تسریع کرد. هم چنین برای کنترل واکنش از کنترل ویسکوزیته استفاده می شود. معمولاً اکثر استفاده های آسفالت پودر لاستیکی به صورت فرآیند تر می باشد. به مدت زمانی که قیر و پودر لاستیک در دمای بالا با یکدیگر مخلوط می شوند، زمان واکنش می گویند. در این زمان به دلیل جذب مواد آروماتیک توسط ذرات لاستیک، قیر سخت تر می شود. این امر ناشی از از بین رفتن ماده روغنی قیر و تولید ماده زلی در اطراف آن، هم زمان با حل شدن ذرات لاستیک در قیر می باشد

(federal highway administration, 2002).

در فناوری خشک، ذرات پودر لاستیک به صورت ریزدانه در طرح اختلاط سنگدانه عمل می کنند. فرآیند خشک در مخلوط های آسفالتی با دانه بندی متراکم، فاصله دار و باز می تواند به کار برده شود. این روش در اجرای آسفالت سرد، چپ سیل یا اصلاح سطحی نمی تواند به کار برده شود. در فناوری خشک ذرات پودر لاستیک به عنوان جایگزین بخشی از ریزدانه، معمولاً ۱ تا ۳ درصد وزنی سنگدانه ها را تشکیل می دهد. در این روش ابتدا پودر لاستیک با سنگدانه مخلوط شده و سپس این ترکیب با قیر مخلوط می شود و مورد استفاده قرار می گیرد. به محصول فوق، آسفالت تغییر یافته پودر لاستیکی گفته می شود (Raad, Yuan and 1995 Saboundjian).

مزایای خرده لاستیک

- ۱- افزایش مقاومت در برابر شیارشدگی
- ۲- افزایش مقاومت در برابر خستگی
- ۳- افزایش مقاومت در برابر ترک های ناشی از انقباض
- ۴- افزایش چسبندگی قیر
- ۵- کاهش آلاینده های محیط زیست به دلیل استفاده از مواد زاید و لاستیک های فرسوده اتومبیل ها (کاهش آلاینده های محیط زیست)
- ۶- کاهش حساسیت در مقابل دما و کاهش افت گرانشی در دماهای پایین.
- ۷- انعطاف پذیری بیشتر در دماهای پایین.
- ۸- کاهش هزینه های نمک پاشی و دیگر هزینه های نگهداری راه در زمستان (افزایش مقاومت در مقابل یخ زدگی).
- ۹- کاهش درصد ماسه در مخلوط.
- ۱۰- افزایش کارایی علامت گذاری سطح آسفالت به دلیل رنگ سیاه آن.
- ۱۱- افزایش مقاومت مخلوط های آسفالتی و ...
- ۱۲- کاهش قیمت تمام شده آسفالت و همچنین ذخیره انرژی به خاطر استفاده از مواد بازیافتی از ضایعات.
- ۱۳- بالا بردن ایمنی جاده.
- ۱۴- بهبود دوام و عمر عملکرد روسازی

۲- پیشینه تحقیق

ساندرا و همکاران با مطالعه آزمایشگاهی تاثیر افزودن پودر لاستیک به قیر و مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته به روش خشک و تر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که پیرشدگی کوتاه‌مدت در زمان اختلاط تاثیر چندانی بر مدول برجهنگی ندارد اما بعد از پیرشدگی کوتاه مدت مدت مقاومت کششی مخلوط اصلاح شده با ۲٪ پودر لاستیک با اندازه ذرات درشت افزایش قابل توجهی داشته است (Sandra et al., 2004).

اولیورا و همکاران در سال ۲۰۱۳ مطالعه بر روی مخلوط‌های آسفالت لاستیکی با افزودنی مخلوط آسفالت داغ سورفکتان انجام دادند. نتایج آزمایش ITS نشان داد که افزودنی در مقاومت نمونه‌های خشک به سختی تغییر ایجاد کرد در حالی که مقاومت نمونه‌های تر را به خوبی بهبود بخشید. این آزمایش نشان داد که حساسیت رطوبتی در مخلوط WMA کاهش یافته است (Oliveira et al., 2013).

باها و ورال کوک و مهمت ییلماز در پژوهشی در سال ۲۰۰۹ میلادی، به تاثیر دو نوع افزودنی پودر لاستیک و آهک در مخلوط‌های آسفالتی در برابر آزمایش‌های کشش غیر مستقیم (TSR) و نسبت استحکام مارشال پرداختند. در این پژوهش از پودر لاستیک در نسبت‌های ۲، ۴ و ۶ درصد و از آهک به میزان ۲ درصد به‌عنوان فیلر استفاده شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که هر کدام از این افزودنی‌ها در آزمون‌های مذکور تاثیرات مثبت قابل ملاحظه‌ای دربرداشته‌اند (Yilmaz and Vural, 2009).

پالیت و همکاران در سال ۲۰۰۴ گزارش دادند که مخلوط‌های اصلاحی با پودر لاستیک پتانسیل شیارشدگی کمتری را نسبت به مخلوط‌های معمول دارند و همچنین مقاومت خستگی مخلوط‌های اصلاحی با پودر لاستیک به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از مخلوط‌های معمول می‌باشد (Palit et al., 2004).

در پژوهش‌هایی که در دانشگاه آزاد تهران جنوب انجام شد، جهت کاهش خرابی‌های ناشی از رطوبت و عریان شدگی مخلوط‌های آسفالتی و افزایش چسبندگی قیر به مصالح سنگی،

از پودر لاستیک استفاده شد. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم در این پژوهش نشان داد که استفاده از پودر لاستیک باعث بهبود مقاومت عریان شدگی می‌شود (منصوریان، ۱۳۶۷).

زنجانلی تحقیقی را با هدف اصلاح ویژگی‌های قیر با استفاده از پودر لاستیک به عنوان یک ماده افزودنی در مقابل خرابی‌های ناشی از حرارت و رطوبت در روسازی انجام داد. نتایج نشان داد که قیر حاوی ۱۵ درصد مقاومت بهتری را در برابر حساسیت رطوبتی از خود نشان داد (زنجانلی، ۱۳۷۴).

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- مصالح سنگی

سنگ‌دانه‌های مورد استفاده به‌منظور ساخت نمونه‌های آسفالتی در این تحقیق از کارخانه آسفالت تلو واقع در حوالی شهر تهران تهیه گردیده است. جنس مصالح سنگی به‌کار رفته از نوع آهکی و شکسته می‌باشد.

مخلوط آسفالتی مورد آزمایش از دانه بندی شماره ۴ نشریه ۲۳۴ (آیین نامه روسازی راه‌های ایران) که برای ساخت لایه آستر و رویه پیشنهاد شده، استفاده شد. دانه بندی مورد استفاده در این تحقیق، مقدار حد وسط دانه بندی تعیین شده در شماره ۴ نشریه ۲۳۴ انتخاب شد. در جدول ۱ و شکل ۱، این دانه بندی و محدوده مربوط به دانه بندی شماره ۴ نشریه ۲۳۴ نشان داده شده است.

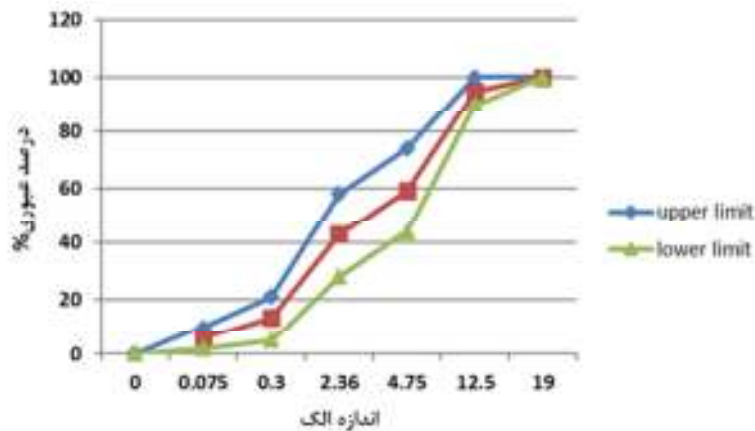
۳-۲- قیر

قیر مصرفی مورد استفاده، قیر خالص با درجه نفوذ ۶۰/۷۰ می‌باشد، که از شرکت نفت پاسارگاد تهران تهیه شده است.

۳-۳- مشخصات مصالح

برای تعیین مرغوبیت مصالح سنگی، آزمایش‌های لازم روی آن‌ها صورت گرفت و نتایج در جدول ۲ آورده شده است. در جدول ۳ مشخصات فیلر استفاده شده آورده شده است.

آزمایش های اولیه به منظور آگاهی از مشخصات فیزیکی قیر انجام شده و نتایج در جدول ۴ آورده شده اند.



شکل ۱. دانه بندی انتخاب شده برای ساخت نمونه ها

جدول ۱. دانه بندی پیوسته شماره ۴ برای رویه بر اساس آیین نامه شماره ۲۳۴ و دانه بندی انتخابی

اندازه الک	محدوده مجاز درصد وزنی رد شده	درصد وزنی عبوری انتخابی	درصد مانده روی هر الک	مقدار مانده به ازای ۱۲۰۰ گرم
۱۹ میلی متر	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰
۱۲/۵ میلی متر	۹۰-۱۰۰	۹۰	۱۰	۱۲۰
۴/۷۵ میلی متر	۴۴-۷۴	۴۴	۴۶	۵۵۲
۲/۳۶ میلی متر	۲۸-۵۸	۴۰	۴	۴۸
۰/۳ میلی متر	۵-۲۱	۱۵	۲۵	۳۰۰
۰/۰۷۵ میلی متر	۲-۱۰	۱۰	۵	۶۰
فیلر	-	-	۱۰	۱۲۰

جدول ۲. مشخصات فیزیکی سنگدانه های به کاررفته در تحقیق

سنگدانه آهکی	خصوصیات فیزیکی
۲/۶۱	وزن مخصوص مصالح ریزدانه
۰/۷	جذب آب (%)
۲/۶۳	وزن مخصوص مصالح درشتدانه
۲۳/۵	سایش لس آنجلس (%)
۹۴	درصد شکستگی در دو سمت

جدول ۳. مشخصات فیلر به کار رفته در تحقیق

روش آزمایش	نتایج	خصوصیات
ASTM D-4318	غیر خمیری	دامنه خمیری PI (%)
ASTM C-88	۲/۲۳	افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (%)
ASTM D-2419	۷۳	ارزش ماسه ای (%)

جدول ۴. مشخصات قیر به کار رفته در تحقیق

روش آزمایش	قیر ۶۰/۷۰	خصوصیات
ASTM D-70	۱/۰۲	وزن مخصوص در ۲۵ درجه سانتی‌گراد
ASTM D-5	۶۴	درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد
ASTM D-36	۴۹	نقطه نرمی (درجه سانتی‌گراد)
ASTM D-113	بیش از ۱۰۰	انگمی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد
ASTM D-92	۳۰۵	نقطه اشتعال
ASTM D-70	۳۱۷	نقطه احتراق

۳-۴- پودر لاستیک

در این تحقیق پودر لاستیک مصرفی با مش ۴۰ می‌باشد که از کارخانه یزد تایر تهیه گردیده است. پودر لاستیک مورد نظر از تایرهای ضایعاتی خودرو سواری و خودرو سنگین بوده و از فرآیند خرد کردن در دمای محیط تولید شده است.

۳-۵- ساخت نمونه آسفالتی

در این تحقیق به منظور ساخت نمونه‌های آسفالتی ابتدا بر اساس دانه‌بندی شماره ۴ آیین نامه روسازی راه های ایران (نشریه ۲۳۴) برای رویه راه، درصد‌های مانده روی هر الک به دست می‌آید. برای تعیین درصد قیر بهینه طبق طرح اختلاط مارشال نمونه های بتن آسفالتی با شش درصد قیر مختلف (۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵، ۶ و ۶/۵) و از هر درصد ۳ نمونه تهیه شدند. در ساخت تمامی

نمونه‌ها مصالح سنگی با نسبت‌های مشخص بر اساس دانه‌بندی انتخاب شده با یکدیگر مخلوط شده تا نمونه‌های ۱۲۰۰ گرمی آماده شود و سپس این نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند، سپس قیر را تا دمای ۱۴۵ درجه گرم می‌کنیم سپس با توجه به درصد قیر بهینه نمونه‌های مربوط به آزمایش کشش غیرمستقیم، مدول برجهنگی و خزش دینامیکی ساخته می‌شوند که به منظور یکنواختی و دقت ساخت، به وسیله دستگاه ژیراتوری انجام می‌شود.

مواد افزودنی در این تحقیق پودر لاستیک می‌باشد که پودر لاستیک به میزان ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد نسبت به وزن قیر مصرفی به قیر اضافه می‌شود. در این تحقیق تعداد ۲۴ نمونه برای آزمایش کشش غیرمستقیم ساخته می‌شود که شامل ۶ نمونه برای آسفالت معمولی (HMA)، ۱۸ نمونه با پودر لاستیک (۱۰٪، ۱۰٪ و ۱۵٪) می‌باشد و تعداد ۲۴ نمونه برای آزمایش

مدول و خزش ساخته شد. همچنین تعداد ۷۲ نمونه برای تعیین درصد قیر بهینه ساخته می‌شود که ۵۴ نمونه برای درصد قیر بهینه با پودر لاستیک (۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪) و ۱۸ نمونه هم برای آسفالت معمولی (HMA) در نظر گرفته می‌شود، که تعداد کل نمونه‌های آزمایشگاهی برابر با ۹۶ نمونه می‌باشد. نمونه‌های آسفالت لاستیکی بدون افزودنی مخلوط آسفالت گرم و نمونه‌های آسفالت داغ به عنوان شاهد در نظر گرفته می‌شود و هدف از این کار، مقایسه بین نمونه آسفالت معمولی (HMA) بدون افزودنی پودر لاستیک و نمونه‌های آسفالت لاستیکی حاوی افزودنی‌های (۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪) پودر لاستیک می‌باشد.

۳-۶- آزمایش های انجام شده

پس از انجام آزمایش های مارشال برای تعیین درصد قیر بهینه، آزمایش حساسیت رطوبتی طبق استاندارد ASTM D4867، آزمایش مدول برجهندگی طبق استاندارد ASTM D4123، آزمایش خزش دینامیکی طبق استاندارد Australian: AS2891-12-1 انجام شد.

۳-۵-۱- آزمایش حساسیت رطوبتی

آزمون مقاومت کششی غیر کششی مخلوط های آسفالتی انجام می شود. مقاومت کششی مخلوط آسفالتی بوسیله مقاومت پیوستگی قیر مخلوط و مقاومت ناشی از پیوند بین سطح سنگدانه و قیر به وجود می آید. مقاومت کششی بوسیله حداکثر باری که نمونه قبل از گسیختگی می تواند تحمل کند، محاسبه می شود. تاثیر آب در کاهش مقاومت مخلوط های آسفالتی به عنوان یکی از نگرانی های اصلی مطرح است که برای ارزیابی حساسیت رطوبتی مورد ارزیابی قرار گیرد.

در این تحقیق آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم با استفاده از استاندارد ASTM D4867 انجام شده است. بار اعمالی در این

آزمایش یک تغییر شکل کششی عمود بر جهت بارگذاری را ایجاد می کند که منجر به شکست کششی می شود، با ثبت بار نهایی و مشخص بودن ابعاد نمونه مقاومت کششی غیرمستقیم با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$ITS = \frac{2P}{\pi.D.t} \quad (1)$$

در این رابطه، ITS مقاومت کششی (برحسب کیلو پاسکال)، P بیشینه بار (برحسب نیوتن)، D قطر نمونه (برحسب میلی متر)، t ضخامت نمونه (برحسب میلی متر) است.

شش نمونه برای هر مخلوط (خشک و اشباع) تهیه و متراکم شد. نمونه های متراکم شده باید دارای فضای خالی ۶ تا ۸ درصد باشند. نمونه های خشک باید قبل از شکستن حداقل به مدت ۱ ساعت در آب ۲۵ درجه سانتی گراد قرار گیرند تا به دمای تعادل برسند. برای اعمال شرایط رطوبتی طبق استاندارد ASTM D4867 نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در آب 1 ± 60 درجه سانتی گراد قرار داده شدند. سپس در آب با دمای 1 ± 25 درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت قرار گرفتند. نمونه ها به طور قائم بین دو فک دستگاه آزمایش کشش غیر مستقیم که فلزی است، قرار داده شدند. بار قطری با سرعت ۵۰mm/min بر نمونه اعمال شد تا بار به بیشینه مقدار خود برسد و نمونه بشکند. بعد از آنکه متوسط مقاومت کششی برای هر گروه از نمونه ها تعیین شد، نسبت مقاومت کششی از رابطه ۲ محاسبه می شود. طبق بند ۹-۷-۶ قسمت ب در آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران (نشریه ۲۳۴) با عنوان دوام مخلوط های آسفالتی در برابر آب معیار حداقل ۷۵ درصد، برای نسبت مقاومت کششی مطرح شده است.

$$TSR = \frac{\text{مقاومت کششی مخلوط در حالت اشباع}}{\text{مقاومت کششی مخلوط در حالت خشک}} \quad (2)$$



شکل ۲. دستگاه آزمایش کشش غیر مستقیم

این آزمایش بر اساس استاندارد Australian: AS2891-12-1 و با استفاده از دستگاه UTMS واقع در مرکز تحقیقات قیر و آسفالت دانشگاه علم و صنعت ایران انجام شده است. از هر درصد افزودنی بر اساس درصد قیر بهینه، ۳ عدد نمونه ساخته شده و به مدت ۵ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد قرار می گیرد. طبق استاندارد فوق، اعمال بار به شکل مربعی با زمان بارگذاری ۵۰۰ ms و زمان استراحت ۱۵۰۰ ms و تنش تماسی اولیه ۱۰ kpa و تنش در مرحله بارگذاری برابر ۴۵۰ kpa می باشد. این تست برای هر نمونه تا زمان ۴۰۰۰۰ سیکل بارگذاری و یا رسیدن به کرنش ۳۰۰۰۰ micro-strain ادامه می یابد.

۴- نتایج

۴-۱- نتایج آزمایش مارشال

آزمایش مارشال بر اساس استاندارد ASTM D1559 برای ۷۵ ضربه در هر طرف نمونه، برای نمونه های آسفالت معمولی و نمونه های اصلاح شده با ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ پودر لاستیک انجام شد. در شکل ۶ نتایج آزمایش مقاومت مارشال ملاحظه می شود.

۲-۵-۳- آزمایش مدول برجهندگی

در این تحقیق مدول برجهندگی با استفاده از فریم آزمایش کشش غیرمستقیم در دستگاه UTMS مرکز تحقیقات قیر و آسفالت دانشگاه علم و صنعت ایران طبق استاندارد ASTM D4123 در دمای ۲۵ درجه مورد آزمایش قرار گرفت. استاندارد دستگاه آزمایش به صورت زیر بوده است.

- شکل بارگذاری: زنگوله ای

- زمان دوره بارگذاری: ۰/۱۵ ثانیه

- دوره بارگذاری: ۲ ثانیه

- تعداد سیکل پیش بارگذاری: ۵۰ سیکل

- تعداد سیکل بارگذاری اصلی: ۵ سیکل

- بار اعمال شده: ۴۵۰ نیوتون

- ضریب پواسون فرض شده اولیه: ۰/۳۵

۳-۵-۳- آزمایش خزش دینامیکی

هدف از انجام این آزمایش، مطالعه عملکرد مخلوط های آسفالتی در برابر شیارشدگی می باشد. مهمترین پارامتر به دست آمده از آزمایش خزش، نمودار تغییر شکل دائمی می باشد که به نوعی به مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالتی بستگی دارد.



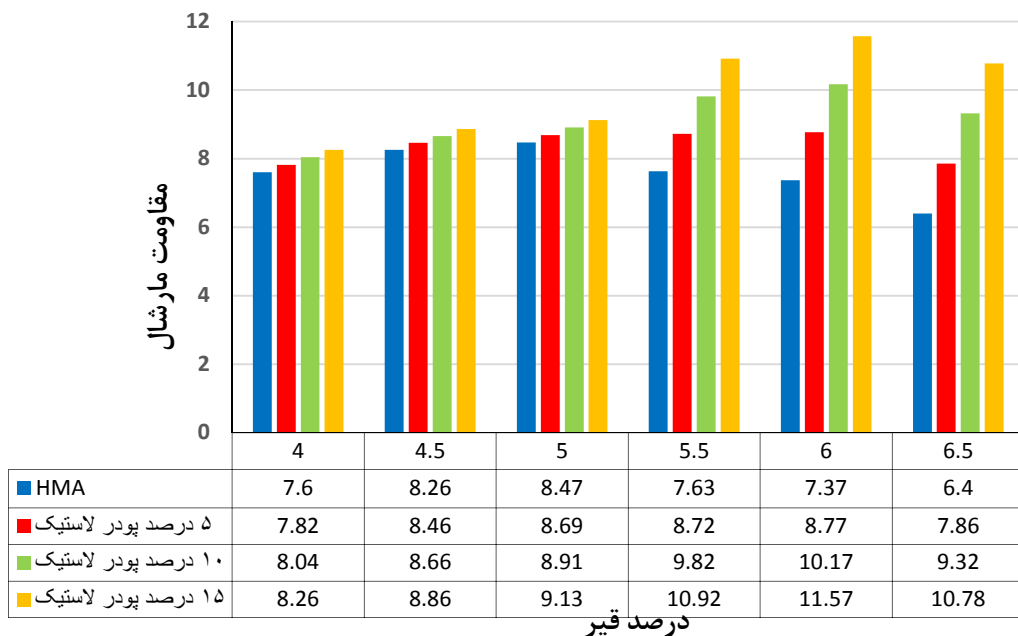
شکل ۳. فک دستگاه UTM5 مربوط به آزمایش مدول برجهندگی



شکل ۴. شمای کلی دستگاه UTM5

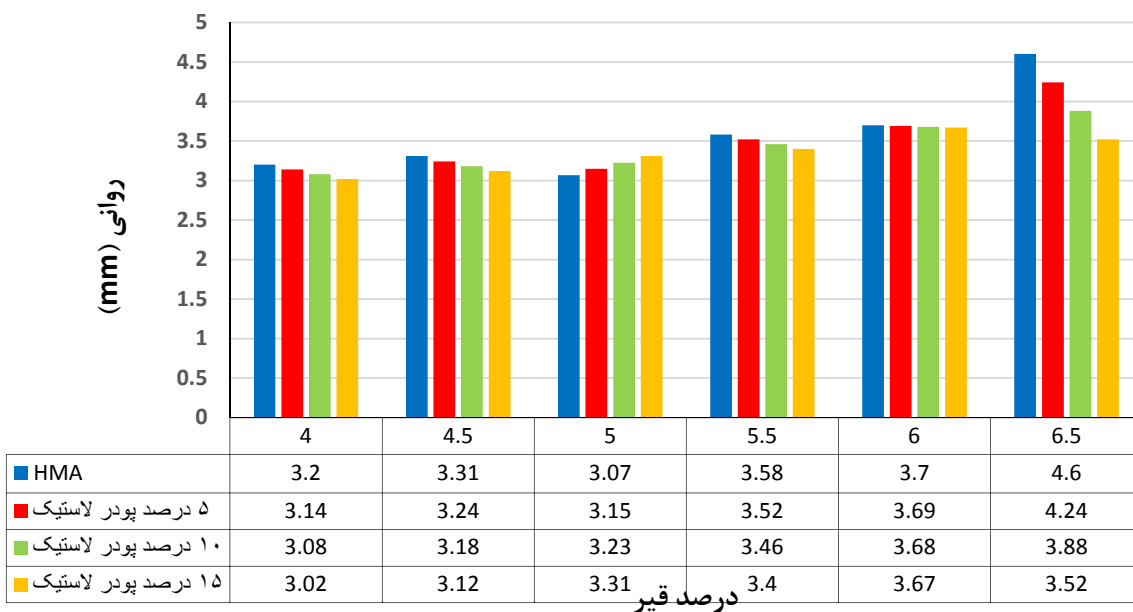


شکل ۵. فک دستگاه UTM5 مربوط به آزمایش خزش



شکل ۶. مقایسه مقاومت مارشال آسفالت معمولی (HMA) و نمونه های اصلاح شده با پودر لاستیک در درصدهای مختلف قیر

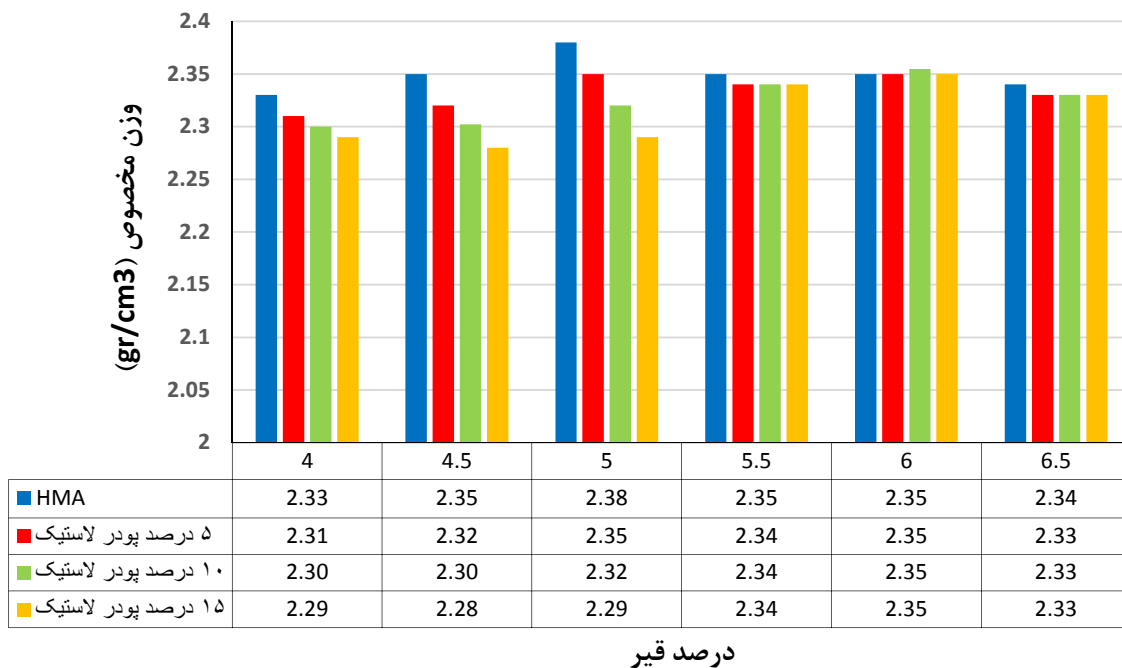
همانطور که ملاحظه می شود با اضافه شدن پودر لاستیک به در شکل ۷ نتایج آزمایش روانی آورده شده است. مخلوط، مقاومت مارشال افزایش می یابد.



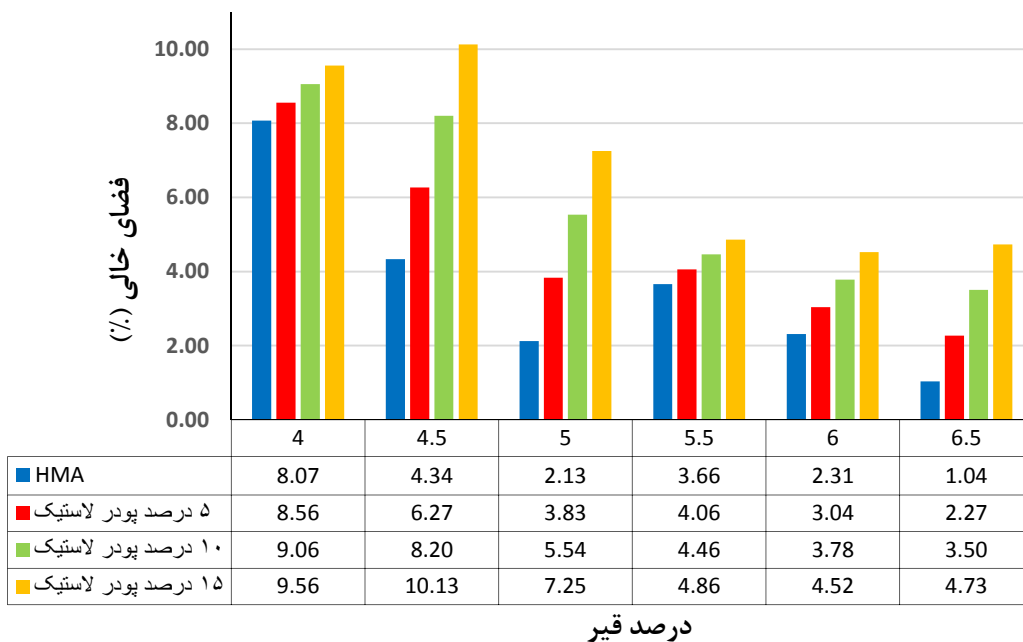
شکل ۷. مقایسه روانی آسفالت معمولی (HMA) و نمونه های اصلاح شده با پودر لاستیک در درصدهای مختلف قیر

در شکل ۸ نتایج آزمایش وزن مخصوص مخلوط های مختلف آورده شده است.

تحلیل نتایج آزمایش روانی نشان می دهد که در مخلوط های آسفالتی اصلاح شده با (۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪) پودر لاستیک، نسبت به نمونه های بدون پودر لاستیک کاهش پیدا می کند.



شکل ۸. مقایسه وزن مخصوص آسفالت معمولی (HMA) و نمونه های اصلاح شده با پودر لاستیک در درصد های مختلف قیر



شکل ۹. مقایسه فضای خالی آسفالت معمولی (HMA) و نمونه های اصلاح شده با پودر لاستیک در درصد های مختلف قیر

تحلیل نتایج آزمایش وزن مخصوص نشان می‌دهد که در مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با پودر لاستیک وزن مخصوص، نسبت به نمونه‌های بدون پودر لاستیک کاهش پیدا می‌کند. در شکل ۹ نتایج آزمایش فضای خالی مخلوط‌های مختلف آورده شده است.

نتایج آزمایش فضای خالی نشان می‌دهد که مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با (۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪) پودر لاستیک، نسبت به نمونه‌های بدون پودر لاستیک افزایش می‌یابد. به دلیل فیزیکی بودن برهمکنش بین قیر و پودر لاستیک و پتانسیل بالای مخلوط نسبت به ناپایداری، به نظر می‌رسد پودر لاستیک نقش فیلر را ایفا می‌کند و باعث افزایش درصد فیلر در مخلوط آسفالتی شده و در نتیجه فضای خالی مخلوط افزایش می‌یابد.

میزان روانی مخلوط اصلاح شده با پودر لاستیک، نسبت به نمونه‌های بدون پودر لاستیک افزایش می‌یابد.

۲-۴- نتایج درصد قیر بهینه

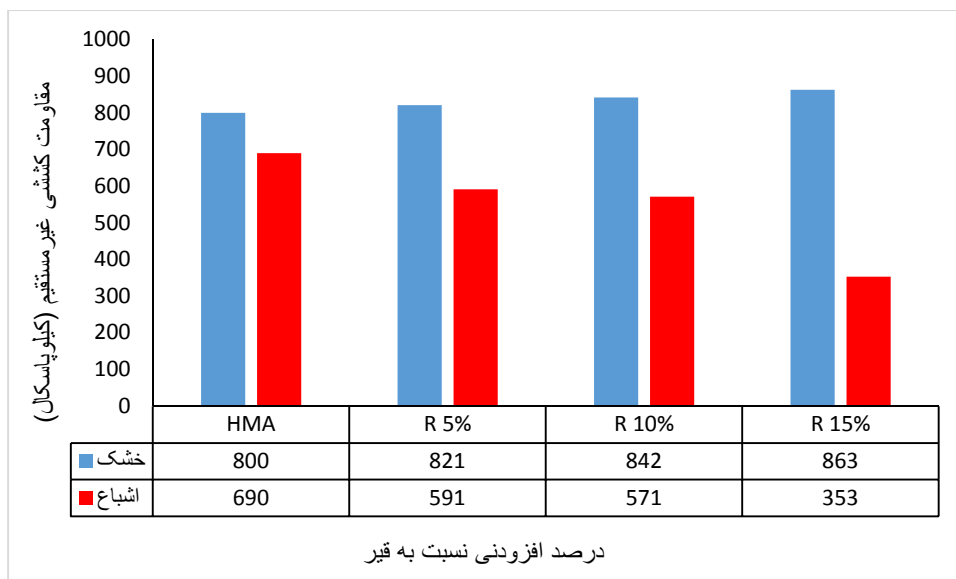
برای تعیین درصد قیر بهینه از درصد‌های ۴٪، ۵٪، ۶٪ و ۷٪ به‌عنوان نمونه‌های آزمایشی استفاده شده است و از هر درصد، ۳ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. درصد قیر بهینه میانگین درصد قیر مربوط به بیشترین استقامت مارشال، بیشترین وزن مخصوص و درصد فضای خالی ۴ درصد هست که برای نمونه آسفالت معمولی (HMA) و آسفالت حاوی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ درصد پودر لاستیک محاسبه شده است. درصد قیر بهینه میانگین در قیر برای مخلوط‌های آسفالتی محاسبه شده و در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. درصد قیر بهینه مخلوط‌های آسفالتی

درصد پودر لاستیک	۰ (HMA)	۵	۱۰	۱۵
قیر بهینه (٪)	۴/۸	۵/۲	۵/۶۵	۶/۱۵

همانطور که انتظار می‌رود با توجه به افزایش ویسکوزیته قیر لاستیکی با افزایش درصد پودر لاستیک، درصد قیر بهینه مخلوط افزایش می‌یابد.

۳-۴- نتایج آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم (ITS) شکل ۱۰ نتایج مقاومت کششی غیرمستقیم در حالت خشک و اشباع، نمونه‌های حاوی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ پودر لاستیک را نسبت به نمونه‌های آسفالت معمولی (HMA)، نشان می‌دهد.

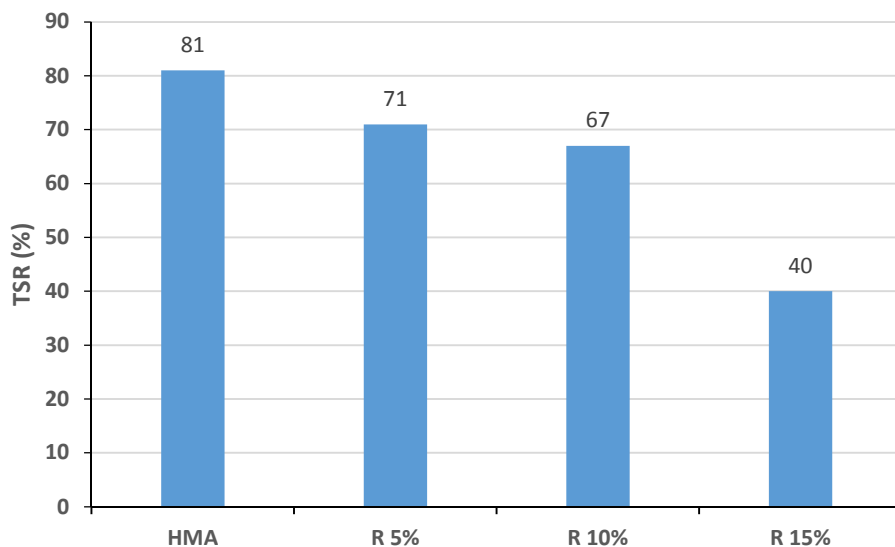


شکل ۱۰. مقاومت کششی غیر مستقیم در حالت خشک و اشباع در آسفالت معمولی (HMA) و نمونه های اصلاح شده با پودر لاستیک

۴-۴- نتایج TSR

شکل ۱۱ نتایج نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم را در نمونه های حاوی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ پودر لاستیک، نسبت به نمونه های آسفالت معمولی (HMA) نشان می دهد.

با توجه به نتایج بدست آمده در شکل ۱۰ مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط های آسفالتی در حالت خشک با افزایش درصد پودر لاستیک افزایش می یابد، در حالی که با افزایش درصد پودر لاستیک میزان مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه های اشباع مخلوط آسفالتی کاهش می یابد.

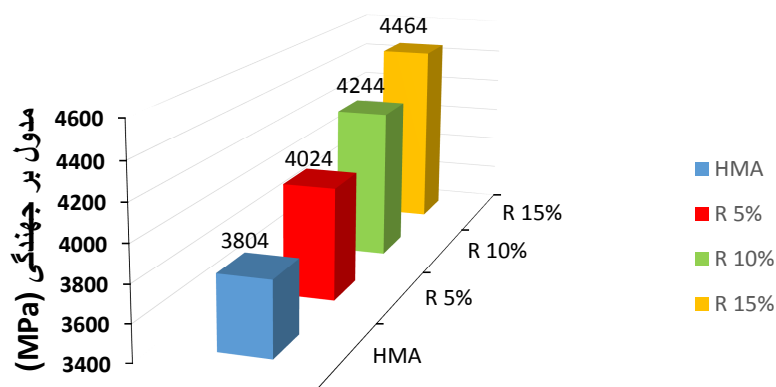


شکل ۱۱. نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم در آسفالت معمولی (HMA) و نمونه های اصلاح شده با پودر لاستیک

همانطور که مشاهده می‌شود که نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم برای نمونه‌های حاوی پودر لاستیک کمتر از آسفالت معمولی (HMA) می‌باشد. همچنین با افزایش درصد پودر لاستیک میزان نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط آسفالتی کاهش می‌یابد. در نتیجه حساسیت رطوبتی در مخلوط-های آسفالت لاستیکی با افزایش پودر لاستیکی افزایش می‌یابد.

۴-۵- نتایج آزمایش مدول بر جهندگی

نتایج مدول بر جهندگی مخلوط اصلاح شده با افزودنی پودر لاستیک نسبت به نمونه‌های آسفالت معمولی (HMA) در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



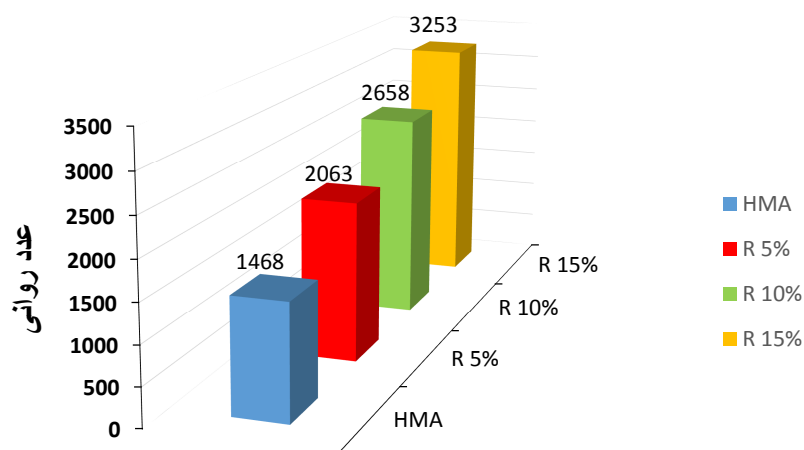
درصد افزودنی نسبت به قیر

شکل ۱۲. مدول بر جهندگی در آسفالت معمولی (HMA) و نمونه‌های اصلاح شده با پودر لاستیک

۴-۶- نتایج آزمایش خزش دینامیکی

نتایج خزش دینامیکی مخلوط اصلاح شده با افزودنی پودر لاستیک نسبت به نمونه‌های آسفالت معمولی (HMA) در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

تحلیل نتایج در شکل بالا نشان می‌دهد که مقدار مدول بر جهندگی نمونه‌های حاوی پودر لاستیک ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ به ترتیب افزایشی حدود ۵، ۱۱ و ۱۷ درصد بیش از نمونه آسفالت معمولی (HMA) می‌باشد. یعنی اضافه کردن پودر لاستیک مدول بر جهندگی را نسبت به نمونه آسفالت معمولی (HMA) بدون پودر لاستیک افزایش می‌دهد.



درصد افزودنی نسبت به قیر

شکل ۱۳. خزش دینامیکی در آسفالت معمولی (HMA) و نمونه های اصلاح شده با پودر لاستیک

- میزان روانی مخلوط اصلاح شده با پودر لاستیک، نسبت به نمونه های بدون پودر لاستیک افزایش می یابد.
- درصد قیر بهینه مخلوط های آسفالتی اصلاح شده با پودر لاستیک نسبت به مخلوط های آسفالتی بدون پودر لاستیک افزایش می یابد.
- مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط های آسفالتی در حالت خشک با افزایش درصد پودر لاستیک افزایش می یابد، در حالی که با افزایش درصد پودر لاستیک میزان مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه های اشباع مخلوط آسفالتی کاهش می یابد.
- نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم برای نمونه های حاوی پودر لاستیک کمتر از آسفالت معمولی (HMA) می باشد.
- اضافه کردن پودر لاستیک مدول بر جهندگی را نسبت به نمونه آسفالت معمولی (HMA) بدون پودر لاستیک افزایش می دهد.
- اضافه کردن پودر لاستیک مقاومت در برابر شیار شدگی را نسبت به آسفالت معمولی (HMA)، نمونه افزایش می دهد.

مقدار عدد روانی نمونه های حاوی پودر لاستیک بیشتر از نمونه آسفالت معمولی (HMA)، بدون پودر لاستیک می باشد. با افزایش پودر لاستیک عدد روانی نیز افزایش می یابد. عدد روانی نمونه های حاوی ۱۵٪ پودر لاستیک حدود ۲ برابر نسبت به آسفالت معمولی (HMA)، بدون پودر لاستیک افزایش می یابد. یعنی اضافه کردن پودر لاستیک مقاومت در برابر شیار شدگی را نسبت به آسفالت معمولی (HMA)، نمونه افزایش می دهد.

۵- نتیجه گیری

- در مخلوط آسفالتی اصلاح شده با پودر لاستیک مقاومت مارشال، نسبت به مخلوط های آسفالتی بدون پودر لاستیک افزایش می یابد.
- وزن مخصوص در مخلوط های آسفالتی اصلاح شده با پودر لاستیک، نسبت به نمونه های بدون پودر لاستیک کاهش پیدا می کند.
- فضای خالی مخلوط های آسفالتی اصلاح شده با پودر لاستیک، نسبت به نمونه های بدون پودر لاستیک افزایش می یابد.

۶-مراجع

-Joel R.M. Oliveira, Hugo M.R.D Silva, iliana P.F. Abreu, Sara R.M. (2013), " Fernandes, Use of a warm mix asphalt additive to reduce the production temperature and to improve the performance of asphalt rubber mixture ", journal od Cleaner Production, 41, pp.15-22.

-L. Raad, X. Yuan, and S .Saboundjian, (1995), "Thermal Cracking Of Rubber Modified Pavements".

-Palit, S. K., K. Sudhakar Reddy, and B. B. Pandey. (2004), "Laboratory evaluation of crumb rubber modified asphalt mixes ", Journal of materials in civil engineering 16.1: pp.45-53.

-Sandra, B., et al. (2004), "Mechanical properties of asphalt mixtures using recycled tire rubber produced in Brazil–A laboratory evaluation." Compendium of Papers CD-ROM, the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board.

-Yilmaz, M. and B. Vural. (2009), "The effects of using lime and styrene–butadiene–styrene on moisture sensitivity resistance of hot mix asphalt".

-بهلولی زنجانی، ش. (۱۳۷۴)، "بررسی ویژگی‌های آسفالت لاستیکی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، گروه مهندسی راه و ترابری، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

-طهمورسی. م، صرافی. الف، حمیدی. ی، (۱۳۸۶)، "استفاده از لاستیک فرسوده در صنعت روسازی راه"، هفتمین همایش ملی دانشجویی مهندسی شیمی، دانشگاه شیراز، شیراز.

- منصوریان. ع، (۱۳۷۶)، "بهبودی مخلوط‌های آسفالتی در برابر رطوبت". دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب تهران.

- A.R.- U. Guide. (2013), "State of California Department of Transportation," ed: January.

-C.Thodesen, K. Shatanawi, and S. Amirkhanian. (2009), "Effect of crumb rubber characteristics on crumb rubber modified (CRM) binder viscosity", Construction and Building Materials, vol. 23, pp. 295-303.

-federal highway administration. (2002), "user guidelines for waste and byproduct user guidelines for waste and byproduct", Washington: d.c.