بررسی تاثیر اتیلن وینیل استات و پلی اتیلن با چگالی بالا بر خصوصیات دینامیکی مخلوط آسفالتی گرم

علمی – پژوهشی

محسن عموزاده عمرانی، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران
سعید علیخانی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
رضوان باباگلی*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Rezvan_babagoli@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲– پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵
صفحه ۳۳۸-۳۲۵

چکیده

تولید زباله های صنعتی به دلیل تحولات سریع صنعتی طی دهه‌های اخیر به شدت افزایش یافته است. از طرف دیگر، مسائل جدی زیست محیطی در اثر استفاده بیش از حد از منابع طبیعی ایجاد شده است. بطری‌های پلاستیکی از جمله مواد زاید هستند که ممکن است خیلی آهسته تخریب شود و بالاترین سطح آلودگی را ایجاد کنند. با توجه به خواص اتیلن وینیل استات و خاصیت HDPE[1]، می‌توان از آنها به عنوان اصلاح کننده قیر استفاده کرد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر EVA[2] در مخلوط آسفالتی حاوی HDPE، برای بررسی خصوصیات دینامیکی آسفالت اصلاح شده با استفاده بهینه از پلاستیک بازیافتی انجام شده است. نتایج آزمایش‌های دینامیکی مدول سفتی (در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد)، خستگی (در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد) و بار محوری تکرار شونده (در دمای ٤٠ و ۶۰ درجه سانتیگراد) نشان داد که مخلوط حاوی این افزودنی‌ها بعد از استراحت و باربرداری از خاصیت ارتجاعی و مقاومت خوبی برخوردار است. نتایج آزمایشات نشان داد که افزودن HDPE و افزایش مقدار افزودنی EVA، باعث بهبود خرابی شیار شدگی، افزایش عمر خستگی و مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی می‌شود. طرح اختلاط حاوی مقدار ٤ درصد افزودنی HDPE و ۳ درصد EVA بهترین مخلوط برای بهبود خواص مورد بررسی می‌باشد. با توجه به این که مخلوط مورد نظر نسبت به تغییرات دما بسیار حساس است و در دمای بالا قابلیت ارتجاعی خود را از دست می‌دهد، استفاده از دو افزودنی (HDPE و EVA) در مناطقی با آب و هوای معتدل و سرد مطلوب‌تر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE)، اتیلن وینیل استات (EVA)، مخلوط آسفالتی گرم، ضایعات پلاستیکی

۱-مقدمه

یکی از مهم‌ترین علل تعمیر و نگهداری‌های زودهنگام روسازی‌های آسفالتی، بروز خرابی‌های مهمی هم چون خستگی و شیارشدگی است. پتانسیل دوام بالای مخلوط آسفالتی نیازمند حفظ خصوصیات و ویژگی‌های مکانیکی مخلوط آسفالتی در طول عمر سرویس‌دهی هست. به‌عبارت‌دیگر، در عمر سرویس‌دهی سطح روسازی باید در فصل تابستان صاف (بدون تغییر شکل)، در طی فصل زمستان بدون ترک‌خوردگی (ترک‌های عرضی) بوده و در طول سال بتواند بدون خرابی و ترک‌خوردگی حجم بالای ترافیک را به‌راحتی عبور دهد. با توجه به شرایط آب‌وهوایی کشور و ماهیت اجرای روسازی‌های آسفالتی، حذف کامل این خرابی‌ها از روسازی‌ها غیرقابل‌اجتناب است. لذا به نظر

ضروری است تا برای جلوگیری از خرابی‌های زودهنگام روسازی‌ها و صرف هزینه‌های زیاد تعمیر و نگهداری، راه‌حل مناسب برای این مسئله اتخاذ گردد (Zoroob et al, 2000; Eskandar,2004; Arabani et al, 2006). با پیشرفت سریع صنعت و افزایش بیش‌ازپیش تولید مواد ضایعاتی، پراکندگی زیاد مواد ضایعاتی در طبیعت باعث بروز مشکلاتی عدیده زیست‌محیطی شده است. برای کاهش و کنترل این مسئله روش‌های مختلفی ارایه‌شده است که یکی از این روش‌ها، بازیافت این مواد و استفاده دوباره از آن‌ها در صنعت است. برای کنترل مشکلات زیست‌محیطی و آلودگی‌های ناشی از مواد ضایعاتی استفاده از این مواد در صنعت راه‌سازی یک‌راه حل مناسب می‌باشد؛ و همچنین در صورت انتخاب مواد مناسب باعث بهبود خصوصیات آسفالت و کاهش استخراج مواد اولیه از منابع طبیعی برای ساخت راه‌ها می‌گردد. در سالیان اخیر استفاده از مواد افزودنی در ساخت مخلوط‌های آسفالتی به‌منظور افزایش قابلیت آن‌ها در برابر بارهای دینامیکی گسترش چشمگیری یافته است. تحقیقات انجام‌شده در این زمینه نشان می‌دهد که آسفالت‌های اصلاح‌شده توسط مواد افزودنی نه‌تنها هزینه نگهداری از راه‌ها را کاهش داده بلکه سبب افزایش قابلیت باربری روسازی راه شده و از ایجاد ترک‌های احتمالی ناشی از خستگی در طول عمر مفید روسازی جلوگیری به عمل می‌آورد (Arabani et al, 2009; Arabani et al, 2006;Moghadas nejad et al, 2014).

زورب و همکاران از پلاستیک‌های ضایعاتی به‌عنوان اصلاح‌کننده قیر در آسفالت گرم استفاده کردند. در پژوهش آنها، DBM[3] به همراه پلاستیک‌های بی‌مصرف و زائد که بخش عمده آن را پلی‌اتیلن سبک تشکیل می‌دهد، جایگزین ۳۰٪ از مصالح سنگی بین ۲/۳۶–۵/۰۰ میلی‌متر شده و دانسیته مخلوط به میزان ۱۶٪ کاهش یافت. همچنین موجب شد که ۲۵۰٪ بر پایداری مارشال افزوده شود و مقاومت کششی غیرمستقیم در مخلوط‌های آسفالت پلاستیکی بهبود یابد. ادسکار از تایر لاستیکی به عنوان جایگزین مصالح سنگی استفاده کردند. در این تحقیق، تایر لاستیکی در مقایسه با مصالح سنگی که جایگزین آن‌ها می‌شود، مشخصاتی همچون وزن سبک، رسانایی هیدرولیکی بالا مقاومت برشی در فشارها یا کشش‌های بسیار بالا، رسانایی دمایی پایین از خود نشان می‌دهد. تایر لاستیکی در لایه‌های پایین‌تر روسازی می‌تواند به کاهش عمق نفوذ یخبندان در فصل سرما کمک کند. عربانی و همکاران نشان دادند که نخ تایر به سبب خصوصیات منحصربه‌فردی نظیر مقاومت کششی بالا می‌تواند به‌عنوان یک افزودنی مناسب جهت کاهش اثرات مخرب بارهای ترافیکی عمل نماید. نخ تایر به جهت مقاومت بالا، قادر است تا علاوه به تأخیر انداختن ایجاد ترک در لایه‌های زیرین روسازی آسفالتی، از روند گسترش ترک‌ها به لایه‌های بالایی نیز جلوگیری به عمل آورد. عربانی و همکاران به بررسی خصوصیات خزشی آسفالت لاستیکی ساخته‌شده به روش خشک پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که افزودن خرده لاستیک ضایعاتی به‌صورت قابل‌ملاحظه مقاومت نمونه آسفالتی را در برابر پدیده گودی مسیر چرخ‌ها افزایش می‌دهد. دلیل این امر می‌تواند تأثیر لاستیک بر خصوصیات سختی نمونه‌ها و قیر مصرفی و همچنین تغییر دریافت نمونه‌ها عنوان گردد. همچنین از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به تأثیر کم تغییرات دما بر روی خصوصیات این نوع نمونه‌های آسفالتی افزایش انعطاف‌پذیری آن‌ها اشاره کرد (Arabani and mirabdolazimi, 2009). آتشکار مقدم در تحقیق خود نشان داد که استفاده از پلی‌اتیلن به‌طورکلی باعث افزایش مقاومت و کاهش روانی مخلوط آسفالتی می‌شود. همچنین با توجه به آنالیزهای حرارتی انجام‌گرفته، افزایش دمای اختلاط و باز پخت مخلوط، باعث افزایش نقطه‌ی ذوب کریستال‌های پلی‌اتیلن و نقطه‌ی روانی مخلوط و کاهش دمای گذار شیشه‌ای پلی‌اتیلن‌های موجود در مخلوط می‌شود (آتشکار مقدم، ۱۳۹۳). عربانی و همکاران در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که پوشش پلیمری HDPE مورداستفاده در این پژوهش باعث چسبندگی بهتر سنگدانه‌ها با قیر و افزایش مقاومت خرابی رطوبتی می‌شود، همچنین تأثیر استفاده از پلیمر بر روی سطح سنگدانه‌ها به نحوی است که عملکرد هر دو نوع سنگدانه در برابر خرابی رطوبت را مستقل از کانی‌های تشکیل دهنده آن سنگدانه به یک سطح ثابت و مناسب می‌رساند. به‌علاوه، نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های ساخته‌شده با سنگدانه سنگ‌آهک و پلیمر HDPE بالاترین مقدار نسبت مقاومت کشش غیرمستقیم مربوط به خشک را در آزمایش حساسیت رطوبتی نشان داده‌اند (Arabani et al, 2006). حسامی بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های تحقیقات حسامی، رفتار و خصوصیات قیر خالص در امتزاج با پلیمر APP[4]

بهبودیافته و حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی با چسبنده‌های اصلاح‌شده پلیمری به‌طور چشمگیری کاهش‌یافته و مقاومت در برابر عریان شدگی مصالح سنگی از قیر در این مخلوط‌ها افزایش‌یافته است (حسامی، ۱۳۹۲). مقدس نژاد و همکاران نشان دادند که عمر خستگی مخلوط حاوی HDPE نسبت به نمونه‌های کنترلی بالاتر است. همچنین، مخلوطهای اصلاح شده HDPE، به دلیل سختی بالاتر آنها، مقاومت بهتری در برابر تغییرشکل ماندگار فراهم می‌کنند. علاوه بر این، با افزایش دما و عمر خستگی، مقاومت در برابر تغییرشکل دائمی همه نمونه‌ها کاهش می‌یابد، که مبین آن است حساسیت حرارتی مخلوط حاوی HDPE کمتر است. از سوی دیگر، نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که HDPE چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی در حضور رطوبت را افزایش می‌دهد (Moghadas nejad et al, 2014). تحقیقات ردی و همکاران نشان می‌دهد که حساسیت حرارتی پایین و مقاومت بالا در برابر خرابی رطوبتی و تغییرشکل دائمی بعد از افزودن HDPE و CRP برای مخلوط آسفالتی گرم بدست آمد (Reddy et al, 2017). Köfteci و همکاران نشان دادند که مقاومت قیر خالص نسبت به ترک خوردگی در دمای بالا با استفاده از افزودنی ضایعات لوله های زمینی پلاستیکی تا ٤٪ افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان گفت که لوله های زباله پلاستیکی می‌تواند به عنوان اصلاح کننده قیر مورد استفاده قرار گیرد (Kofteci et al, 2018). عامری و همکاران در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که پلیمر EVA در تمامی درصدها، درجه عملکردی بالا قیر اصلاح شده را بهبود می‌دهد اما تنها در درصد ٤ موجب ارتقا درجه عملکردی پایین می‌شود و در دیگر درصدها اثر مخربی بر روی درجه عملکردی پایین ندارد. با وجود اثبات اثر پلیمر EVA در ارتقا عملکرد قیر، عملکرد مخلوطهای آسفالتی اصلاح شده با پلیمر EVA نیز مورد بررسی قرار گرفت تا اثر پلیمر بر عملکرد لایه توپکا نیز تحقیق شود. آزمایشهای عملکردی شامل آزمایش‌های مدول برجهندگی، خستگی، عدد روانی بر روی مخلوط- های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر EVA انجام گرفت. مشاهده شد پلیمر EVA موجب افزایش عمر خستگی، کاهش تغییر شکلهای دایمی و کاهش حساسیت حرارتی مخلوطهای آسفالتی می‌شود و در مجموع عملکرد مخلوط آسفالتی را بهبود می‌بخشد (Ameri et al, 2013). Attaelmanan و همکاران نشان دادند که عملکرد مخلوطهای آسفالتی اصلاح شده با HDPE بهتر از مخلوط‌های معمولی هستند. حساسیت به رطوبت و حساسیت دمایی می تواند با افزودن HDPE در مخلوط آسفالتی کاهش یابد. مقدار 5 HDPE٪ نسبت به وزن آسفالت برای بهبود عملکرد مخلوط بتن آسفالتی مشابه با تحقیقات این مطالعه توصیه می‌شود (Attaelmanan et al, 2011) . عابد و باهیا (Abed and bahia, 2020) اثر NHDPE[۵] و استایرن - بوتادین - استایرن (SBS[۶]) را بر خصوصیات عملکردی قیر و مخلوط آسفالتی بررسی کردند. بر اساس نتایج، دمای اختلاط و تراکم قیرهای اصلاح شده NHDPE کمتر از قیرهای اصلاح شده SBS است. نتایج نشان داد که NHDPE درجه عملکرد قیر را بهبود می‌بخشد. در حالی که SBS در همان درصد NHDPE عملکرد بهتری دارد. نتایج مقاومت شیارشدگی مخلوط نشان داد که NHDPE عملکرد بهتری نسبت به SBS دارد. نتایج آزمایش IDT[۷] نشان داد که NHDPE باعث افزایش استحکام مخلوط‌ها در شرایط خشک و رطوبت می‌شود. موسا و همکاران (Moussa et al, 2021) اثر نانورس را بر رفتار بایندر اصلاح شده با NHDPE و مخلوط آسفالت بررسی کردند. نتایج نشان داد که ترکیب نانورس و NHDPE باعث افزایش شاخص نفوذ و در نتیجه کاهش حساسیت دما می‌شود. همچنین، پایداری ذخیره سازی بایندر افزایش یافت. بر اساس نتایج، افزودن نانورس منجر به بهبود مقاومت در برابر رطوبت مخلوط‌های اصلاح شده NHDPE می شود. بهبهانی و همکاران (Behbahani et al, 2019)، تأثیر HDPE را در بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی گرم اصلاح شده با شیشه بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن ۱۸ درصد شیشه و ٦ درصد HDPE بهترین عملکرد را در برابر رطوبت دارد. در حالی که افزودن شیشه بیشتر، مقاومت مخلوط را در برابر حساسیت رطوبت کاهش داد. همچنین با افزودن درصد شیشه در مخلوط، پایداری مارشال مخلوط افزایش یافت. بر اساس نتایج، مقاومت در برابر رطوبت مخلوط ها با افزودن HDPE به مخلوط آسفالتی شیشه‌ای گرم افزایش یافت. لاغرافی و همکاران (Alghrafy et al, 2021) رفتار رئولوژیکی قیر شاهد و مخلوط آسفالتی حاوی گوگرد اصلاح شده توسط HDPE

را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اصلاح قیر مقاومت شیاردار قیر را بهبود می‌بخشد. بر اساس نتایج، استفاده از گوگرد با HDPE خواص اقتصادی و اکولوژیکی بهتری داشت. چگنی زاده و همکاران (Chagenizadeh, 2021) اثر HDPE را بر عملکرد مخلوط آسفالت بررسی کردند. نتایج نشان داد که مخلوط حاوی ٤ درصد HDPE بهترین رفتار خستگی را داشت. در حالی که مخلوط حاوی ۸ درصد HDPE بهترین عملکرد را داشت. ابراهیم (Ibrahim and Al-hadidy, 2019) خواص پیری بایندر و مخلوط اصلاح شده HDPE را بررسی کرد. نتایج نشان داد که مخلوط آسفالت اصلاح شده HDPE استحکام کششی غیرمستقیم، نسبت استحکام کششی و مدول ارتجاعی را نسبت به مخلوط آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که افزودن HDPE به قیر اصلی منجر به افزایش نقطه نرمی و مقاومت بیشتر در برابر دما و پیری می‌شود. اولاح و همکاران (Ullah et al, 2021) اثر جایگزینی پلی اتیلن با چگالی کم و بالا با سنگدانه درشت را بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از این پلی اتیلن با چگالی کم و بالا منجر به کاهش چگالی مخلوط به دلیل افزایش فضای خالی هوا می‌شود. پایداری و جریان مخلوط‌های حاوی ۱۵ درصد پلی‌اتین با چگالی بالا و پایین افزایش یافت. با افزودن این اصلاح‌کننده‌ها، مقاومت شیاردار و مدول دینامیکی مخلوط‌ها بهبود یافت. با توجه به مطالب فوق، هدف کلی این تحقیق بررسی پاسخ دینامیکی مخلوط آسفالتی حاوی افزودنی‌های اتیلن وینیل استات و پلی اتیلن با چگالی بالا تحت شرایط دمایی و بارگذاری استاندارد تعریف شده است. در این تحقیق با انتخاب مصالح سنگی از مصالح رودخانه‌ای و قیر از پالایشگاه نفت جی، سعی گردیده است تا نقش این دو افزودنی در بهبود خرابی‌های خستگی، شیارشدگی و مدول برجهنگی مخلوط آسفالتی شاهد به‌طور صحیح نشان داده شود.

۲- کارهای آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

قیر مورداستفاده در این پژوهش، قیر عملکردی PG٦٤-١٦^ و تهیه‌شده در پالایشگاه نفت جی هست، دلیل انتخاب این نوع قیر در ساخت روسازی‌های آسفالتی در مناطق معتدل شمال کشور است. قیر مصرفی مورد آزمایش قرارگرفته و مطابقت آن با مشخصات مندرج در AASHTO M-320 مورد بررسی قرار می‌گیرد که مشخصات آن در جدول ۳-٤ درج گردیده است.

جدول ۱. مشخصات قیر به‌کار رفته در ساخت نمونه‌ها

نوع آزمایش	چگالی در 25 سانتی گراد	درجه نفوذ mm/10	شکل‌پذیری سانتی گراد	درجه اشتعال سانتی گراد	دمای پیرشدگی سانتی گراد	کندروانی سانتی گراد	افت وزنی ٪
استاندارد	T228	T49	T51	T48	T201	T316	T179
نتایج	۱/۰۲٦	۳۰۰	۷۵	۲۳۰	۱۰۰	۱۳۵	۱/۰۰

در این تحقیق از مصالح سنگی رودخانه‌ای استفاده شده است. مصالح سنگی دانه‌بندی شده با توجه به سرندهای مقدار درصد فیلر طرح با توجه بررسی آزمایشگاهی در جریان طرح اختلاط، ۵ درصد، رد شده از الک شماره ۲۰۰ به مقدار ٦۰ گرم در یک نمونه ۱۲۰۰ گرمی، برای ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی منظور شده است. در این پژوهش مقادیر ٤ و ۵ درصد HDPE نسبت به وزن قیر مورد بررسی قرارگرفته است. با توجه به اینکه استفاده از ذرات ریزتر واکنش قیر با ماده افزودنی را افزایش می‌دهد و بهبود بیشتر قیر را به همراه دارد. در این تحقیق از ذرات مانده بر الک شماره ۱۰۰ و۲۰۰ استفاده گردید. خصوصیات مهندسی این ماده افزودنی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱. نسبت‌های اختلاط مصالح سنگی مخلوط آسفالتی

مشخصات مصالح سنگی	شماره نمونه	نسبت درصد اختلاط
شن ۱۹-۱۲ میلی‌متر	۱	۸/۷
شن ۱۲- ٦ میلی‌متر	۲	۳۱/۵
ماسه ٦ -۰ میلی‌متر	۳	٥٤/۸
فیلر مصالح سنگی	٤	٥

جدول ۲. خصوصیات مهندسی پلی‌اتیلن مورداستفاده در این پژوهش

خصوصیات	استاندارد ASTM	HDPE
چگالی (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	D ۷۹۲	۰/۹۵
جذب آب در ٢٤ ساعت (٪)	D ٥٧٠	۰
مقاومت کششی (psi)	D ٦٣٨	٤٦٠٠
نقطه نرمی (سانتی‌گراد)	D ٥٧٠	۷۰
نقطه ذوب (سانتی‌گراد)	D ٥٧٠	۱۳۱
افزایش طول کشش در عملکرد (٪)	D ٦٣٨	۹۰۰
مقاومت خمشی (psi)	D ۷۹۰	۲۰۰۰۰۰

اتیلن وینیل استات(EVA) بکار رفته در این پروژه دارای ۱۸ درصد وزنی وینیل استات (طبق اظهارات سازنده) ساخت کشور تایوان و تهیه شده از شرکت شایان پلیمر، با شاخص جریان مذاب ۲/۵ و چگالی ۰/۹۲ گرم بر سانتی می‌باشد که به شکل گرانول از بازیافت پسماندهای پلاستومری و

الاستوری بدست آمده است. در این تحقیق از درصدهای ۱، ۲ و ۳ درصد نسبت به وزن قیر استفاده شده بهمراه ٤ درصد HDPE استفاده شده است.

۲-۲- برنامه و روش ساخت نمونه‌های آسفالتی

به منظور تولید قیر اصلاح شده حاوی پلیمرها باید قیرخالص و مواد پلیمری بصورت همگن باهم مخلوط شوند که بدین منظور از دستگاه مخلوط‌کن برشی سریع دوگانه استفاده گردیده است. در این پژوهش توسط دستگاه High Shear Mixer، دو نوع قیر اصلاح شده تهیه گردید: ۱- قیر اصلاح‌شده با ۵ درصد وزنی مواد قیری افزودنی HDPE ۲- قیر اصلاح شده با ٤ درصد HDPE و درصدهای مختلف اتیلن وینیل استات (۱، ۲ و ۳ درصد). با توجه به اینکه استفاده از ذرات ریزتر واکنش قیر با ماده افزودنی را افزایش داده و بهبود بیشتر قیر را به همراه دارد، در این تحقیق از ذرات مانده بر الک شماره ۱۰۰ و ۲۰۰ استفاده گردید. دمای واکنش برای اختلاط ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد و در تمام مدت اختلاط توسط فیدبک لحظه‌به‌لحظه، پایش حرارتی و کمربند حرارتی ظرف

اختلاط ثابت حفظ گردید. همچنین، سرعت چرخشی همزن ٤٥٠٠rpm در نظر گرفته شد و توسط اپتوکانتر (دورسنج) و برد میکروکنترلر در نظر گرفته‌شده، سرعت در تمام مدت اختلاط ثابت حفظ گردید و مدت‌زمان اختلاط ٤٠ دقیقه در نظر گرفته شد. به منظور تهیه نمونه‌های مخلوط آسفالتی، ابتدا مصالح سنگی و قیر گرم شدند. مصالح سنگی درشت، ریز و فیلر به‌طور جداگانه حرارت داده می‌شود تا گرمای آن‌ها به ۱۲۱ تا ۱۳۸ درجه سانتی‌گراد برسد. قیر نیز مثل مصالح سنگی حرارت داده می‌شود تا گرمای آن به ۱۷۷ تا ۱۹۱ درجه سانتی‌گراد برسد. باید توجه داشت که قیر گرم شده نباید بیش از یک ساعت در این درجه حرارت باقی بماند. مرحله بعدی ساخت نمونه‌ها، مخلوط کردن قیر و مصالح سنگی و متراکم کردن مخلوط به‌دست‌آمده می‌باشد. عمل تراکم نمونه آسفالت ساخته‌شده با چکش ۱۰ پوندی (٤/٥ کیلوگرمی) و ارتفاع سقوط چکش ٤٥ سانتی‌متری صورت می‌پذیرد. تعداد ضربات نیز بسته به میزان ترافیک طرح مسیر موردنظر متفاوت هست. به منظور تعیین قیر بهینه مخلوط آسفالتی، از مخلوط شاهد استفاده شده است. بدین صورت که ۱۵ نمونه آسفالتی به ۵ گروه ۳ تایی تقسیم خواهند شد که هر گروه دارای درصد قیر یکسانی است. مقادیر درصد قیری که به سنگ‌دانه افزوده خواهد شد به مقدار ٤/٥، ٥/٠، ٥/٥، ٦/٠، ٦/٥ درصد خواهد بود. تعداد نمونه‌ها و متغیرهای مستقل استفاده شده در آزمایشات این تحقیق در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. تعداد نمونه‌ها و آزمایش‌های دینامیکی

مقدار EVA	مقدار HDPE	آزمایش دینامیکی	دما (سانتی‌گراد)	تنش کیلوپاسکال	تعداد نمونه آزمایش
٪٠	٪٠	مدول سفتی (ITSM)	٢٥	٢٥٠	٣
		خستگی (ITFT)	٢٠	٢٥٠	٣
		بار تکراری (RLA)	٤٠ و ٦٠	٢٥٠	٦
٪٠	٪٥	مدول سفتی (ITSM)	٢٥	٢٥٠	٣
		خستگی (ITFT)	٢٠	٢٥٠	٣
		بار تکراری (RLA)	٤٠ و ٦٠	٢٥٠	٦
٪١	٪٤	مدول سفتی (ITSM)	٢٥	٢٥٠	٣
		خستگی (ITFT)	٢٠	٢٥٠	٣
		بار تکراری (RLA)	٤٠ و ٦٠	٢٥٠	٦
٪٢	٪٤	مدول سفتی (ITSM)	٢٥	٢٥٠	٣
		خستگی (ITFT)	٢٠	٢٥٠	٣
		بار تکراری (RLA)	٤٠ و ٦٠	٢٥٠	٦
٪٣	٪٤	مدول سفتی (ITSM)	٢٥	٢٥٠	٣
		خستگی (ITFT)	٢٠	٢٥٠	٣

		بار تکراری (RLA)	٤٠ و ٦٠	٢٥٠	٦
تعداد کل نمونه‌ها	٦٠				

۳-۲- آزمایشات انجام شده

۱-۳-۲- آزمایش مارشال

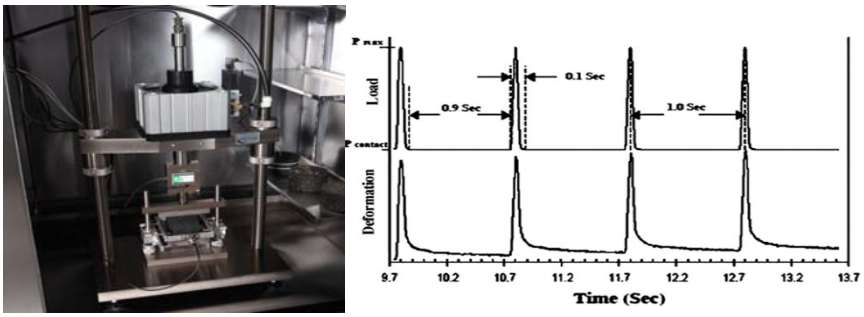
از آزمایش مارشال برای برای تعیین درصد بهینه قیر استفاده شده است. پارامترهای مقاومت و روانی برای مقادیر مختلف قیر انجام شده است. بر اساس استاندارد ASTM D1559 در این آزمایش در هر درصد قیر ۳ نمونه ساخته شده و به مدت ۳۰ دقیقه در آب ٦٠ درجه و سپس زیر بار قرار داده شده است.یک نرخ ثابت فشار ۵۱ میلی متر بر ثانیه در مرحله بارگذاری استفاده شده است. ابتدا مقادیر استقامت، روانی، وزن مخصوص حقیقی، فضای خالی بین مصالح سنگی و فضای خالی نمونه‌های متراکم‌شده برای مقادیر مختلف قیر به دست آورده و نمودارهای آن‌ها رسم شد. با توجه به نمودارهای ترسیمی، از میانگین تمام نمودارها برای تعیین درصد قیر بهینه استفاده شد. از نتایج و تحلیل این منحنی‌ها درصد قیر بهینه برای مخلوط آسفالتی به دست آمد. درصد قیر بهینه جهت طرح اختلاط مخلوط آسفالتی با توجه به شش کمیت به‌دست‌آمده تعیین می‌شود. ابتدا قیر در حد متوسط درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی یعنی نظیر ٤ درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی انتخاب گردید. قیر بهینه بدست آمده در این تحقیق برابر ۵/۳ درصد نسبت به وزن مخلوط آسفالتی تعیین گردید.

۲-۳-۲- آزمایش اعمال بار محوری تکراری (RLA)

به منظور ارزیابی مخلوط‌های آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های دائم از آزمایش RLA استفاده شده است. در این آزمایش از یک نمونه به قطر ۷۰ میلی متر و ارتفاع ۱۰۱ میلیمتر استفاده شده است و این نمونه‌ها را زیر بار تکرار شونده تک محوری قرار داده شد. آزمایش RLA با اعمال تنش دینامیکی ۲۵۰ کیلو پاسکال برای یک ساعت در دماهای ٤٠ و ٦٠ درجه سانتی‌گراد در هر تست انجام می‌شود و نمونه در دستگاه زیر تنش‌های ۱۲ کیلو پاسکال برای ۱۲۰ ثانیه قرار می‌گیرد. سپس تنش برداشته می‌شود و یک تنش ۲۵۰ کیلو پاسکال برای ۲۰۰۰ بار اعمال می‌شود که هر کدام شامل ۱ ثانیه طول سیکل و یک ثانیه طول استراحت است.

۳-۳-۲- آزمایش تعیین مدول برجهندگی به روش کشش غیر مستقیم

مدول سفتی مخلوط‌های آسفالتی که در این آزمایش بدست می‌آید مهمترین شاخص و خصوصیت روسازی است. مدول سفتی معیاری است برای توانایی لایه‌های آسفالت برای انتقال بار. بنابراین مدول سفتی مصالح، کرنش‌های کششی ناشی از بار ترافیکی وارد بر سطح اساس روسازی را مشخص می‌کند که عامل ترک‌های ناشی از خستگی در زیر اساس است که می‌تواند منجر به تغییر شکل‌های دائم شود. برای هر مخلوط سه عدد نمونه در سه دمای مختلف مورد آزمایش قرار می‌گیرد. این نمونه‌ها دارای قطر ۱۰۱ میلی‌متر و ارتفاع ۷۰ میلی‌متر می‌باشند. این آزمایش با اعمال بار همه جانبه به نمونه استوانه‌ای با زمان اعمال بار ۰/۱ ثانیه و زمان استراحت ۰/۹ s وارد می‌شود. این تست یک تست غیر مخرب است که مطابق استاندارد BSI 1993 انجام می‌شود. در هر نمونه دو سری اعمال بار که هر سری شامل ۵ load pluses اعمال می‌شود و پس از هر سری، برای اعمال سری دوم نمونه ۹۰ درجه چرخیده می‌شود. پس از میانگین گیری مدول سفتی نهایی بدست می‌آید [۱۲]. شرایط بارگذاری و محل قرار گیری سنسورها در این آزمایش و دیاگرام بار تغییر شکل در برابر زمان در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. دستگاه و نمودار تغییرات بار و تغییر شکل در برابر زمان تست ITSM

در این آزمایش مدول برجهندگی و ضریب پواسون از فرمول زیر به دست می‌آید.

$$M_R = \frac{P(\upsilon + 0.27)}{t\Delta H} \qquad (1)$$

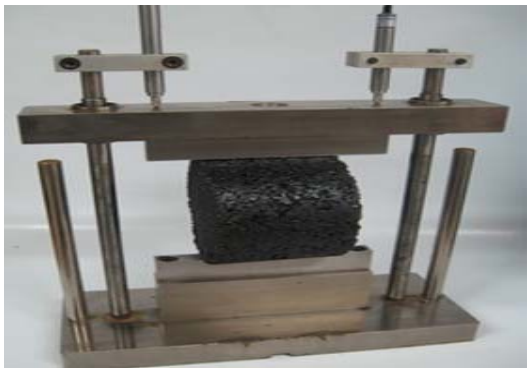
$$\upsilon = \frac{3.59\Delta H}{\Delta V} - 0.27 \qquad (2)$$

که در P بار تکرار شونده، T ضخامت لایه، ΔH تغییر شکل قابل بازگشت افقی و ΔV تغییر شکل قابل بازگشت قائم می‌باشد، مدول برجهندگی مطابق آیین نامه ASTM D4123 تعیین می‌شود و ضریب پواسون برابر ۰/۳۵ می‌باشد.

٤-۳-۲- آزمایش خستگی به روش کشش غیرمستقیم (ITFT[10])

آزمایش خستگی بارگذاری کشش غیرمستقیم به روش بارگذاری تکراری نمونه استوانه‌ای مخلوط آسفالتی با یک‌بار فشاری که در امتداد صفحه قطری عمودی نمونه وارد می‌شود، صورت گرفت (شکل ۲). بارگذاری باعث ایجاد تنش کششی نسبتاً یکنواخت در مرکز نمونه و عمود بر امتداد بار وارده شده است. این آزمایش به اعتقاد برخی محققین به‌عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های تعیین مشخصات بنیادین مخلوط آسفالتی در نظر گرفته می‌شود. این آزمایش مطابق روش استاندارد EN12697-24 و توسط تجهیزات آزمایش UTM[11]، انجام گردیده است و برای تخمین مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر بروز ترک و ترک‌خوردگی ناشی از خستگی روسازی‌های آسفالتی بکار رفت. در آزمایش خستگی نمونه مخلوط آسفالتی با مواد افزودنی اتیلن وینیل استات و HDPE به‌صورت استوانه‌ای شکل در امتداد قطر تحت بار فشاری خطی نسبتاً یکنواختی قرار می‌گرفت. قبل از انجام آزمایش خستگی، مقدار مدول سفتی نمونه در تنش بکار رفته در آزمایش خستگی باید تعیین شد.

نحوه بارگذاری در آزمایش خستگی همانند آزمایش مدول سفتی، در امتداد محور قطرهای نمونه و به‌صورت خطی است عمر خستگی که به‌صورت تعداد سیکل‌های لازم برای شکست ناشی از خستگی تعریف و به‌وسیله آزمایش ITFT تعیین شد. آزمایش خستگی هنگامی به پایان می‌رسید که به علت تکرار اعمال کرنش کشش غیرمستقیم، ترک عمودی در مرکز نمونه ایجاد گردید و در این پژوهش آزمایش خستگی کشش غیرمستقیم نمونه‌های آسفالتی ساخته‌شده با مقادیر مختلف اتیلن وینیل استات و مقادیر مختلف HDPE در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با تنش بارگذاری ۲۵۰ کیلو پاسکال بر اساس روش استاندارد EN12697-24 انجام گردید. در این آزمایش از مدت‌زمان سیکل بارگذاری ۱/۵ ثانیه، مدت‌زمان اعمال بار ۰/۲۵ ثانیه و مدت‌زمان استراحت در هر سیکل بارگذاری ۱/۲۵ ثانیه استفاده گردید. در این آزمایش، خستگی به‌صورت گسیختگی نمونه و تغییر شکل قطری ۹ میلی‌متر تعریف‌شده است.

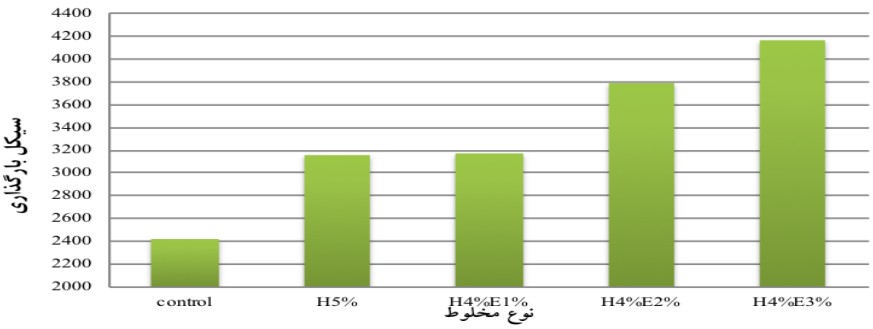


شکل ۲. قاب و شکل بارگذاری آزمایش خستگی بارگذاری کشش غیرمستقیم نمونه تحت آزمایش

۳- نتایج و بحث‌ها

۳-۱- نتایج آزمایش ITSM

مدول برجهندگی یکی از معیارهای سنجش سفتی مخلوط آسفالتی و یکی از پارامترهای ورودی برای طراحی سازه‌ای روسازی می‌باشد. در این پژوهش آزمایش تحت تنش ۲۵۰ کیلو پاسکال و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد صورت گرفته است. آزمایش مدول برجهندگی نمونه‌های آسفالتی ساخته‌شده با قیر اصلاح شده با ٤ درصد HDPE حاوی مقادیر مختلف افزودنی EVA (۱، ۲ و ۳ درصد) در دماهای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و سطح تنش ۲۵۰ کیلو پاسکال بر اساس روش استاندارد ASTM-D4123 انجام گرفت. نتایج آزمایش مدول برجهندگی برای نمونه‌های آزمایش‌شده در نمودار ۳ ارایه شده است.



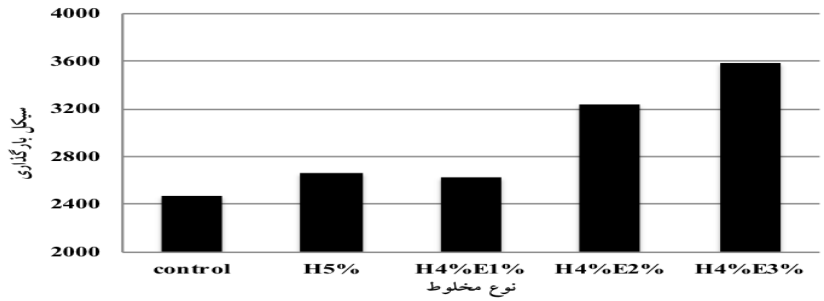
شکل ۳. نمودار مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی اصلاح شده با افزودنی EVA و HDPE

مشاهده می‌شود که با افزودن مقدار پلیمر HDPE و EVA به قیر، خاصیت ارتجاعی قیر و مخلوط افزایش‌یافته و مقدار مدول برجهندگی افزایش می‌یابد و به‌طوری‌که مدول برجهندگی، افزایشی معادل ٤۲ درصدی را نسبت به نمونه شاهد مشاهده می‌شود. دمای ۲۵ درجه جزو دماهای متوسط محسوب می‌شود که ذرات پلیمر EVA و HDPE آزادی حرکت بیشتری پیدا می‌کنند و نیروهای بین مولکولی در بین آنها حایز اهمیت می‌شود. همین مسئله باعث می‌شود پیوندهای قویتری بین ذرات پلیمر در درصدهای بالای پلیمر به وجود آید که منجر به افزایش مدول برجهندگی می‌شود. پلیمر EVA و HDPE از نوع Network Thermoplastic می‌باشد. در درصدهای پایینتر این پلیمرها ساختار طبیعی قیر را با جذب کردن مواد روغنی که وزن مولکولی پایینتری نسبت به رزینها و آسفالتینها دارند،

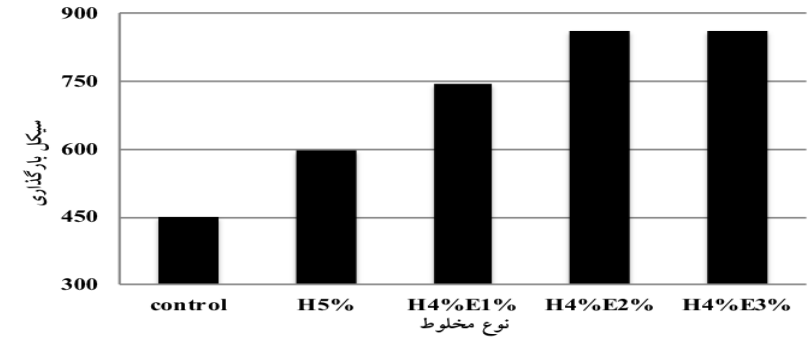
تخریب می‌کنند و باعث افزایش قابل توجه در میزان مدول برجهندگی مخلوط می‌شوند. در درصدهای میانی، افزایش سریع در خواص قیر اتفاق می‌افتد که علت آن تخریب شبکه Resin- Asphaltene موجود در قیر خالص توسط پلیمرها است که باعث سخت شدن قیر و در نتیجه مخلوط آسفالتی می‌شود و این اتفاق (نسبت به درصدهای پایین) باعث افزایش مدول برجهندگی می‌گردد. وقتی درصد پلیمر اندکی افزایش می‌یابد پیوندهای قویتری بین ذرات EVA و HDPE در داخل قیر تشکیل می‌شود که باعث افزایش در مدول قیر و افزایش مدول سفتی مخلوط می‌شود. با توجه به افزایش متمادی مدول سفتی با افزایش درصد EVA، نیاز است که در تحقیقات آتی روی درصدهای بالاتری از این افزودنی هم کار شود.

۲-۳- نتایج آزمایش RLA

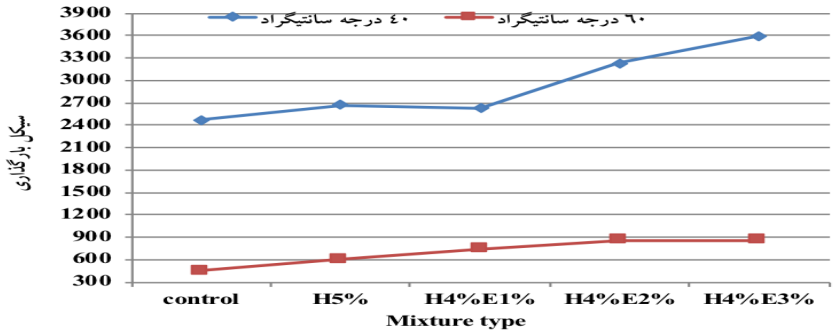
در این پژوهش، آزمایش خزش دینامیکی نمونه‌های آسفالتی ساخته‌شده با قیر حاوی ۵ درصد HDPE نسبت به مواد قیری، قیر حاوی ٤ درصد HDPE در سه درصد مختلف پلیمر EVA در دمای ٤٠ و ٦٠ درجه سانتی‌گراد با تنش‌های ۲۵۰ کیلو پاسکال بر اساس روش استاندارد BS:DD226 به‌منظور ارزیابی خرابی شیار شدگی مخلوط آسفالتی انجام پذیرفت. در این آزمایش و در هر سیکل بارگذاری، مدت اعمال بار و مدت‌زمان استراحت برابر یک ثانیه در نظر گرفته می‌شود. همچنین قبل از اعمال سیکل‌های آزمایش، تنش پیش بارگذاری به میزان ۱۲ کیلو پاسکال به مدت ۱۲۰ ثانیه اعمال می‌شود. نمونه‌های مورد آزمایش تا زمان رسیدن به مرحله گسیختگی (مرحله سوم تغییر شکل) تحت بارگذاری قرار گرفتند و ضمناً نمونه‌های مورد آزمایش تا رسیدن به مرحله گسیختگی معادل ۸ درصد کرنش تحت بارگذاری قرار گرفتند که نتایج آزمایش در پایان بارگذاری برای نمونه‌های آزمایش‌شده در شکل ٤ ارایه شده است.



الف) دمای ٤٠ درجه سانتیگراد



ب) دمای ٦٠ درجه سانتیگراد



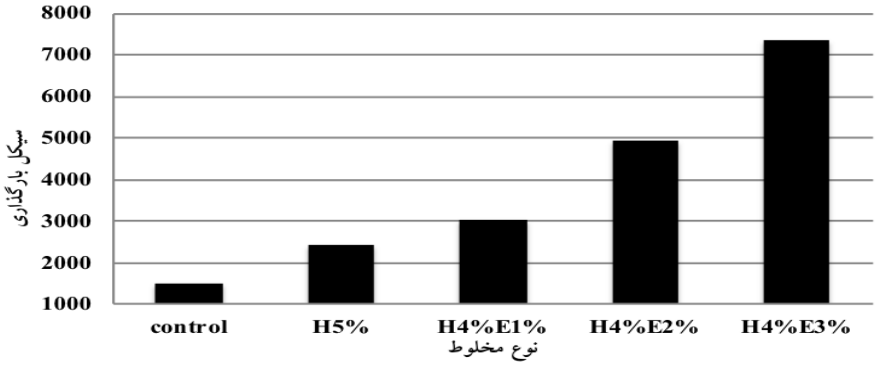
ج) مقایسه سیکل بارگذاری در دو دمای مختلف

شکل ٤. سیکل بارگذاری گسیختگی خزش دینامیکی مخلوط‌های آسفالتی حاوی EVA و HDPE در دماهای متفاوت

همان‌طور که از شکل٤ که به‌طور خلاصه و مفید تمامی نتایج را در قالب یک نمودار نشان داده‌شده مشاهده می‌شود با افزودن HDPE و متعاقب آن افزایش درصد EVA تعداد سیکل لازم برای رسیدن به ۸٪ کرنش افزایش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر به دلیل ایجاد پیوند بین زنجیره‌ای هیدروکربنی مولکول‌های EVA و HDPE و قیر، ساختار قیر در برابر تغییر شکل‌های ماندگار از مقاومت بیشتر برخوردار گردیده است. با توجه به شکل ٤ می‌توان دید که با افزایش دما گرادیان افزایش تعداد سیکل لازم کاهش می‌یابد. این مطلب گواه آن است که در مقادیر بالاتر دما، واکنش قیر با افزودنی بهتر بوده و در نتیجه خاصیت ارتجاعی و خاصیت برگشت‌پذیری مخلوط آسفالت پس از باربرداری افزایش می‌یابد.

۳-۳- نتایج آزمایش ITFT

در این پژوهش آزمایش خستگی کشش غیرمستقیم نمونه‌های آسفالتی ساخته‌شده با HDPE و EVA در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با تنش بارگذاری ۲۵۰ کیلو پاسکال بر اساس روش استاندارد EN12697-24 انجام گردید که نتایج در شکل ۵ ارائه‌شده است. در این آزمایش از مدت‌زمان سیکل بارگذاری ۱/۵ ثانیه مدت‌زمان اعمال بار ۰/۲۵ ثانیه و مدت‌زمان استراحت در هر سیکل بارگذاری ۱/۲۵ ثانیه استفاده گردید. در این آزمایش، خستگی به‌صورت گسیختگی نمونه و تغییر شکل قطری ۹ میلی‌متر تعریف‌شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود در دمای میانی (۲۰ درجه سانتی‌گراد) با افزایش درصد افزودنی عمر خستگی افزایش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که این افزودنی‌ها از خاصیت ارتجاعی خوبی در دماهای پایین و میانی برخوردار است. این افزودنی‌ها در واکنش با قیر دیپلیمرایزه شده و در حین واکنش با قیر زنجیره‌های هیدروکربنی آن‌ها به‌خوبی باهم اتصال پیداکرده‌اند. برای سطح تنش ۲۵۰ کیلو پاسکال در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، بیش از ۵ برابر افزایش عمر خستگی مشاهده می‌شود.



شکل ۵. نتایج آزمایش خستگی مخلوط‌های آسفالتی حاوی قیر خالص و قیر اصلاح شده با EVA و HDPE

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به تحلیل و بررسی نتایج آزمایش‌های مدول برجهندگی، خستگی و شیار شدگی، نتایج زیر حاصل می‌شود:

-افزودن EVA و HDPE افزایش مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی را نسبت به نمونه شاهد به همراه دارد. علت این افزایش مدول برجهندگی را باید در ساختار شیمیایی این افزودنی و نوع رفتار ساختار هیدروکربنی آن در دمای آزمایش جستجو نمود.

-با افزودن HDPE و افزایش مقدار افزودنی EVA، گرادیان افزایش تعداد سیکل لازم در خزش نیز افزایش می‌یابد. به‌این‌ترتیب افزودن این ماده، بهبود خرابی شیار شدگی را به همراه دارد. با کاهش دما از ۶۰ درجه سانتیگراد به ۴۰ درجه سانتیگراد، میزان سیکل لازم در خزش به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. طوری که برای مخلوط H4%+E3% این مقدار کاهش ۷۶ درصد می‌باشد.

-عمر خستگی با افزایش درصد افزودنی EVA افزایش می‌یابد. این افزودنی‌ها در واکنش با قیر دیپلیمرایزه شده و در حین واکنش با قیر زنجیره‌های هیدروکربنی آن‌ها به‌خوبی باهم اتصال پیداکرده‌اند.

-بررسی نتایج رفتار دینامیکی مخلوط‌های آسفالتی اصلاح‌شده نشان می‌دهد که افزودنی EVA و HDPE از خاصیت الاستیک و بازگشت‌پذیری مناسب پس از باربرداری برخوردار است.

-افزودنی EVA و HDPE از خاصیت ارتجاعی خوبی در دمای اندازه‌گیری شده در این تحقیق برخوردار است. علت این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که این افزودنی‌ها در واکنش با قیر دیپلیمرایزه شده و در حین واکنش با قیر با جذب بخش اروماتیک قیر و تورم، زنجیره‌های هیدروکربنی آن‌ها به‌خوبی باهم اتصال پیداکرده‌اند.

- به‌طورکلی با بررسی نتایج آزمایش‌های خستگی، خزش و مدول برجهندگی مشخص شد که طرح اختلاط حاوی مقدار ۴ درصد برای افزودنی HDPE و ۳ درصد برای EVA بهترین مخلوط برای بهبود خواص مخلوط آسفالتی می‌باشد که با توجه هزینه پایین این افزودنی‌ها و کاهش هزینه تولید آسفالت، به دلیل بهبود مشخصات و ویژگی‌های مخلوط آسفالتی از عملکرد بهتری در عمر خود برخوردار است که هزینه تعمیر و نگهداری روسازی را نیز کاهش می‌دهند.

- با توجه به رفتار دینامیکی مخلوط‌های آسفالتی اصلاح‌شده با افزودنی EVA و HDPE به نظر می‌رسد که استفاده از این دو نوع افزودنی در مناطق با آب هوای معتدل و سردسیر مطلوب‌تر باشد.

۶-پی‌نوشت‌ها

1- High Density Po;Tethylene
2- Ethylene-Vinyl Acetate
3- Dense Bitumen Macadam
4- Atatic Pdypropylene
5- Nano High Density Po;Tethylene
6- Styrene-Butadiene-Styrene
7- Indirect Direct Tensile
8- Performance Grade
9- Repeated Load Axial
10- Indirect Tensile Fatigue Test
11- Universal Testing Machine

۷-مراجع

-Abed, Alaa H., and Hussain U. Bahia, (2020), "Enhancement of permanent deformation resistance of modified asphalt binder concrete mixtures with nano-high density polyethylene", Construction and Building Materials 236, 117604.

-Alghrafy, Yasser M., Sherif M. El-Badawy, and El-Sayed M. Abd Alla., (2021),

asphalt binder mixes", International Journal of Pavement Research and Technology 12, No. 4, pp.364-369.
-Moghadas Nejad, F., Azarhoosh, A., Hamedi, GH.H., (2014), "Effect of high density polyethylene on the fatigue and rutting performance of hot mix asphalt – a laboratory study, Road Materials and Pavement Design", 15(3), pp.746-756.
-Edeskar T., (2004), "Technical and environmental of tyre shreds focusing on ground engineering applications Lulea University of Technology".
-Madhava Reddy, N., Venkatasubbaiah, M.C., (2017), "Effects of high density polyethylene and crumb rubber powder on properties of asphalt mix, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)", 4(6).
-Köfteci, S., Ahmedzade, P., Günay, T., (2018),"337valuation of bitumen physical properties modified with waste plastic pipes", Canadian Journal of Civil Engineering, 45(6), pp.469-477.
-Moussa, Ghada S.,(2021), "Ashraf Abdel-Raheem, and Talaat Abdel-Wahed", Effect of nanoclay particles on the performance of high-density polyethylene-modified asphalt binder concrete mixture" Polymers 13, No. 3, 434.
-Moussa, Ghada, Ashraf Abdel-Raheem, and Talaat Abdel-Wahed, (2020), "Investigating the moisture susceptibility of asphalt mixtures modified with high-density polyethylene", JES., Journal of Engineering Sciences 48, No. pp.5,765-782.
-Ullah, Safeer, Muhammad Raheel, Rawid Khan, and Muhammad Tariq Khan, (2021), "Characterization of physical & mechanical properties of asphalt binder concrete containing low-& high-density polyethylene waste as aggregates", Construction and Building Materials 301, 124127.
-Zoorob SE, Suparma LB., (2000), "Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregates replacement (plastiphalt), Cement Concrete Composites, 22, pp.233-42.
"Rheological and environmental evaluation of sulfur extended asphalt binder binders modified by high-and low-density polyethylene recycled waste", Construction and Building Materials 307, 125008.
-Ameri, M., Mansourian, A., Sheikhmotevali, A.H., (2013), "Laboratory evaluation of ethylene vinyl acetate modified bitumen and mixtures based upon performance related parameters", Construction and Building Materials 40, pp.438–447.
-Arabani, M., Hagi. A.K., Mirabdolazimi, S.M & Haghgoo, M., (2006), "Increment of Stiffness Modulus in Asphaltic Pavement by Additional of Waste Tire Tread Mes International Seminar on Asphalt Pavement Technologies", ISSA World Congress, Beijing, Cina.
-Arabani, M., Mirabdolazimi, S.M., (2009), "Evaluation of Creep Compliance of Rubberized Aspalt in Compare with Conventional Hot Mix Asphalt" Advanced Testing and 337valuation337ation of bitumenus materials, Taylor and Francis Group.
-Arabani, M., Haghi, A.K., Mirabdolazimi, S.M. & Haghgoo, M., (2006), "Increment of fatigue resistance of HMA by waste tite thread, 7th International congress on civil engineering, Tehran. Iran.
-Attaelmanan, M., Feng, Ch.P., AI, A., (2011), "Laboratory evaluation of HMA with high density polyethylene as a modifier, Construction and Building Materials", 25, pp.2764–2770.
-Behbahani, Hamid , Hamedi Gholam Hossein, Najafi Moghaddam Gilani Vahid, and Nikookar Mohammad, (2019), "Improving the moisture performance of hot mix glass asphalt binder by high-density polyethylene as an asphalt binder binder modifier", pp.184-193.
-Chegenizadeh, Amin, Bradley Peters, and Hamid Nikraz, (2021), "Mechanical properties of stone mastic asphalt binder containing high-density polyethene: An Australian case", Case Studies in Construction Materials 15, e00631.
-Ibrahim, Al-Hadidy A., (2019), "Laboratory investigation of aged HDPE-modified

Investigating the Effect of Ethylene Vinyl Acetate and High Density Polyethylene on the Dynamic Properties of Hot Asphalt Mixture

Mohsen Amoozadeh Omrani, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.
Saeed Alikhani, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
Rezvan Babagoli, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran.

E-mail: Rezvan_babagoli@yahoo.com

Received: February 2023- Accepted: April 2023

ABSTRACT
The production of industrial waste has increased greatly in recent decades due to rapid industrial developments. On the other hand, serious environmental issues have been caused by excessive use of natural resources. Plastic bottles are one of the waste materials that may degrade very slowly and cause the highest level of pollution. Due to the properties of ethylene vinyl acetate and the properties of HDPE, they can be used as bitumen modifiers. Therefore, the current research was conducted with the aim of investigating the effect of EVA in asphalt mixture containing HDPE, to investigate the dynamic characteristics of modified asphalt with optimal use of recycled plastic. The results of dynamic tests of stiffness modulus (at 25°C), fatigue (at 20°C) and Repeated Load Axial (RLA) (at 40 and 60°C) showed that the mixture containing these additives after rest and Loading had good elasticity and resistance. The results of the tests showed that adding HDPE and increasing the amount of EVA additive improved rutting distress, increased fatigue life and resilient modulus of asphalt mixture. The mixing plan containing 4% of HDPE and 3% of EVA was the best mixture to improve the studied properties. Due to the fact that the desired mixture is very sensitive to temperature changes and loses its elasticity at high temperature, the use of two additives (HDPE and EVA) is more desirable in areas with moderate and cold climates.

Keywords: High Density Polyethylene (HDPE), Ethylene Vinyl Acetate (EVA), Warm Asphalt Mixture, Plastic Waste