Archive of SID.ir

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و یکم، دوره اول، شماره ۷۸، بهار ۱۴۰۳

ارزیابی آزمایشگاهی تأثیر استفاده از ضایعات پلاستیکی بر خواص عملکردی قیر

مقاله علمی – پژوهشی

آذین چیت سازان*، گروه ارزیابی و آمایش سرزمین، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Chitsazan.az@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۵- پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵
صفحه ۳۷۹-۳۶۹

چکیده

به دلیل افزایش جمعیت، دفع انباشت زباله در جهان به یک چالش مهم تبدیل شده است. مسائل زیست تخریب پذیری از تجمع دو نوع مواد زائد غیرقابل تجزیه زیستی ناشی می‌شود: پلاستیک و لاستیک. روسازی‌های آسفالتی تنش‌های مختلفی را که ناشی از تراکم بالای ترافیک است، تجربه می‌کنند که منجر به خرابی‌های متعددی می‌شود. هدف این مطالعه تاثیر ضایعات پلاستیک و لاستیک بر خواص عملکردی قیر است. به طور خاص، این مطالعه افزودن پودر لاستیک زباله (٤٪ و ۶٪) و ضایعات پلی اتیلن ترفتالات (PET[1]) (٤٪و ۶٪) را به قیر با عیار ۱۰۰/۸۵ بررسی می‌کند. سه آزمایش برای ارزیابی خواص فیزیکی قیر انجام شد که شامل نقاط نرم شدن، تست‌های نفوذ و تست‌های ویسکوزیته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که درجه نفوذ قیر با افزودن ۶ درصد لاستیک تایر ضایعاتی و PET در مقایسه با مخلوط ٤ درصد برای هر دو ماده ضایعاتی، ۹ درصد کمتر بود. علاوه بر این، قیر اصلاح شده با پودر لاستیک در مقایسه با قیر معمولی (٤٨ درجه سانتی‌گراد، ۱۸۰۰ ثانیه) و قیر اصلاح شده با (PET۵۳ درجه سانتی‌گراد، ۲۵۸۰ ثانیه) نقاط نرم شدن (۷۹ C، ۲۵۸۰ S) و ویسکوزیته بالاتری را نشان داد. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که ترکیب PET زباله و لاستیک تایر باعث بهبود خواص مهندسی قیر می‌شود. این مطالعه اهمیت افزایش نقطه نرمی قیر در مناطق با دمای بالا را برجسته می‌کند.

واژه‌های کلیدی : ضایعات پلی اتیلن ترفتالات، پودر لاستیک، خواص عملکردی، قیر

۱-مقدمه

پیشرفت‌های تکنولوژیکی، صنعتی شدن گسترده و عادات مصرف کننده انباشت زباله‌های غیرقابل مدیریت را تشدید کرده است. در میان مواد زائد مختلف، پلاستیک و لاستیک چالش‌های مهمی را ایجاد می‌کنند، زیرا زیست تخریب ناپذیر هستند و برای محیط زیست مضر هستند. دفع مناسب پلاستیک و لاستیک تایر بسیار مهم است، به ویژه در مناطق شهری و روستایی، جایی که این مواد می‌توانند بازیافت شوند و برای افزایش خواص قیر مورد استفاده قرار گیرند. در جهان، انباشت سالانه این دسته از زباله‌های حیاتی همچنان در حال افزایش است و نگرانی مبرمی را ایجاد می‌کند (Azizi et al, 2018). روسازی آسفالتی در معرض عوامل استرس‌زای متعددی از جمله خستگی، ریزش و شیار شدن است که عمدتاً به دلیل تراکم ترافیک بالا، وزن وسیله نقلیه و سرعت است. اصلاحات مختلفی برای بهبود عملکرد بایندرهای آسفالت بررسی شده است. مطالعات متعددی بر افزایش خواص مواد قیر مورد استفاده به عنوان جسبنده با ترکیب مواد زائد مختلف متمرکز شده است.(Remadevi et al, 2014; Alhaddad et al, 2017; Yin et al, 2013) ایری و همکاران (Airey et al, 2004) گزارش داد که استفاده از لاستیک تایر در مخلوط‌های آسفالتی ترک‌های ناشی از خستگی را کاهش می‌دهد، استحکام کششی و چقرمگی را افزایش می‌دهد، مقاومت در برابر لغزش را بهبود می‌بخشد و خاصیت ارتجاعی را افزایش می‌دهد. ذوالفقاری و همکاران (Zolfaghari et al, 2014) تأثیر اندازه‌های مختلف خرده‌های لاستیک تایر را بر روی قیر بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کاهش اندازه خرده لاستیک، ارزش نفوذ قیر را افزایش می‌دهد. به طور مشابه،

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

سرناس و همکاران.(Sernas et al, 2017) تأثیر محتوای لاستیک بر خواص قیر را با استفاده از درصدهای مختلف محتوای لاستیک و گریدهای قیر بررسی کرد. یافته‌های آنها نشان داد که افزایش محتوای لاستیک مقاومت در برابر نفوذ را بهبود می‌بخشد. مشائان و همکاران (Mashaan et al, 2011) دریافتند که ادغام خرده لاستیک در مواد قیر باعث افزایش نقاط نرم شدن قیر می‌شود. مطالعه آنها نشان داد که افزایش دمای اختلاط باعث افزایش جرم لاستیک تایر به دلیل تورم لاستیک در طول فرآیند اختلاط می‌شود. علاوه بر این، این مطالعه نشان داد که افزایش محتوای لاستیک به طور موثر خواص سفتی قیر را بهبود می بخشد. تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که افزودن لاستیک تایر به طور قابل توجهی ویسکوزیته قیر را افزایش می‌دهد (Ibrahim et al, 2013; Nejad et al, 2012; Wang et al, 2012). آزمایشات نشان داده است که نقطه ذوب قیر با افزودن ۱,۵ درصد ضایعات پلاستیکی به ۵۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و با افزودن ٦ درصد ضایعات پلاستیکی به ٥٦ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. علاوه بر این، درصد بیشتری از ضایعات پلاستیکی (٦٪) منجر به قیر با ویسکوزیته بالاتر (۱٦۰۰ cp)، در مقایسه با ۵۰۰ cp با درصد پایین‌تر می‌شود. Thamme Gowda و همکاران (Thamme et al, 2020) به این نتیجه رسیدند که افزودن مواد ترموپلاستیک به قیر باعث بهبود رفتار ویسکوالاستیک می‌شود. سینگ و گاوهان (Singh et al, 2020) دریافتند که افزودن ۱۲ درصد خرده لاستیک به قیر نتایج مطلوبی از جمله افزایش نقطه نرم شدن و کاهش نفوذ و شکل‌پذیری را به همراه دارد. مطالعات همچنین تأثیر ضایعات پلاستیکی مختلف، مانند پلی پروپیلن، بر عملکرد مصالح ساختمانی را بررسی کرده‌اند. مظلوم میرزامحمدی (Mazloom Mirzamohammadi et al, 2019) اثر حرارتی را بر روی خواص مکانیکی ملات‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن مطالعه کردند و بهبود مقاومت فشاری را مشاهده کردند. تواهری و همکاران (Touahri et al, 2021) اثر الیاف پلی پروپیلن بازیافتی روی بتن را بررسی کرد. آنها دریافتند که عملکرد مکانیکی از جمله استحکام خمشی بالاتر را افزایش می‌دهد، انقباض خشک شدن را کاهش می‌دهد و حفره‌های منافذ قابل نفوذ را افزایش می دهد. پاموجی و همکاران (Pamudji et al, 2021) اثر ضایعات پلی پروپیلن را به عنوان سنگدانه درشت بر رفتار تیرهای بتن مسلح بررسی کرد. آنها کاهش قابل توجهی در چگالی بتن و بهبود عملکرد سازه مشاهده کردند. به گفته طاهرخانی و ارشدی (Taherkhani et al, 2018)، تبدیل لاستیک‌های ضایعاتی به لاستیک خرد شده مستلزم آسیاب مکانیکی در شرایط مختلف است. سپس خرده لاستیک با استفاده از دو روش متمایز در مخلوط های آسفالتی ترکیب می‌شود: فرآیند مرطوب و خشک. در فرآیند مرطوب، لاستیک با سیمان آسفالت در دماهای بالا با استفاده از میکسرهای تخصصی مخلوط می‌شود و سپس آسفالت اصلاح شده حاصل با سنگدانه داغ در مخلوط کن کارخانه آسفالت ترکیب می‌شود. علاوه بر این، در فرآیند خشک، ذرات خرده لاستیک به طور مستقیم به سنگدانه اضافه شده و با سیمان آسفالت داغ در مخلوط کن کارخانه آسفالت مخلوط می‌شوند. یک جنبه حیاتی که بر عملکرد بایندرهای اصلاح شده با لاستیک تأثیر می‌گذارد، برهمکنش خرده لاستیک و آسفالت است. این تعامل شامل مکانیسم‌های همزمان تورم و انحلال است. هنگامی که ذرات لاستیک اضافه می‌شوند، روغن‌های معطر آسفالت به زنجیره‌های پلیمری خرده لاستیک جذب می شوند و باعث می‌شوند که ذرات لاستیک تا دو تا سه برابر حجم اولیه خود متورم شوند و یک ماده ژل مانند را تشکیل دهند. در نتیجه، تورم ذرات لاستیک فاصله بین آنها را کاهش می‌دهد و منجر به افزایش ده برابری ویسکوزیته بایندر می‌شود. مطالعات انجام شده بر روی چسب‌ها و مخلوط‌های اصلاح‌شده با لاستیک، پیشرفت‌های قابل‌توجهی را در خواصی مانند شیار، خستگی، مقاومت در برابر ترک خوردگی حرارتی و بازتابی نشان داده‌اند. به گفته الویس و همکاران. (Elvis rt al, 2020)، استفاده از ذرات لاستیک زباله در آسفالت و مخلوط آسفالت، عملکرد روسازی انعطاف پذیر را در عین رعایت مقررات محیطی افزایش می‌دهد. این ذرات لاستیکی ضایعاتی را می‌توان برای استفاده در روسازی آسفالتی با درجه باز، درجه بندی شکاف و متراکم با در نظر گرفتن محدودیت‌های درجه بندی تنظیم کرد. علاوه بر این، ترکیب طراحی برای اطمینان از پایداری عملکرد ذرات لاستیک زباله شامل تعیین نوع دانه بندی سنگدانه‌ها، درجه‌بندی و درصد ذرات لاستیک زباله، محتوای بهینه قیر و نوع روسازی آسفالتی است. طراحی مخلوط کنترل اثرات عملکرد متفاوتی را با در نظر گرفتن درصد دوز ذرات لاستیک زباله در فرآیندهای خشک و مرطوب نشان می‌دهد. روش تست پایداری مارشال ابزاری جامع برای ارزیابی استحکام ساختاری و تغییر شکل خواص مهندسی ذرات لاستیک زباله است. در مناطقی با دمای گرم، استفاده از ذرات لاستیک زباله در روسازی انعطاف پذیر جاده می‌تواند به کاهش مشکلات روسازی مرتبط مانند ترک خوردگی حرارتی، خستگی و تغییر شکل دائمی (شیار شدن) کمک کند. جونگ و همکاران (Jeong et al, 2010) اثر خرده لاستیک بر ویسکوزیته قیر را بررسی کرد. آنها دو درصد مختلف لاستیک لاستیک را اضافه کردند، ۱۰٪ و ۲۰٪ و مشخص کردند که ۲۰٪ لاستیک تایر منجر به ویسکوزیته بالاتر از ۱۰٪ می‌شود. خالد و خلید (Khalid et al, 2003) همچنین

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نشان دادند که ویسکوزیته قیر با خرده لاستیک به ویژه در درصدهای بالاتر از ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. آتاساگون (Atasa gun et al, 2023) نشان داد که ترکیب PET با کاغذ باطله، ویسکوزیته و نقطه نرمی قیر خالص را بهبود می‌بخشد. هدف اصلی این مطالعه بررسی تأثیر پلاستیک ضایعاتی، به ویژه پلی اتیلن ترفتالات (PET)، و پودر لاستیک ضایعاتی بر خواص مهندسی قیر است. هدف این تحقیق بررسی چالش‌های مربوط به نقطه نرم شدن قیر در شرایط آب و هوایی گرم و بروز چاله‌ها در می‌باشد. با بررسی اثرات این مواد زائد بر خواص قیر، می‌توان به بینش‌های ارزشمندی برای بهبود عملکرد و دوام روسازی‌های آسفالتی دست یافت و در نهایت به مدیریت پایدار پسماند و توسعه زیرساخت کمک کرد.

۲-مواد و آماده سازی نمونه

۲-۱-مواد

۲-۱-۱-قیر

قیر یک ماده جامد تیره یا سیاه رنگ است که از تقطیر نفت به دست می‌آید. این یک ماده چسبنده چسبناک است که از هیدروکربن‌های با وزن مولکولی بالا تشکیل شده است. در دمای اتاق، قیر در حالت جامد است. در ۱۰۰ درجه سانتی گراد، بسیار چسبناک می شود (Chataraj et al, 2019). در این تحقیق از قیر عیار ۸۵/۱۰۰ استفاده شد. جدول ۱ خواص فیزیکی قیر درجه ۱۰۰/۸۵ شامل وزن مخصوص، نفوذ و نقطه نرم شدن را نشان می‌دهد.

۲-۱-۲-نوع لاستیک

تایر یک پوشش پنوماتیکی ساخته شده از لاستیک مصنوعی یا طبیعی یا ترکیبی از آن است که یک چرخ را در بر می‌گیرد. لاستیک‌ها بر اساس کاربردهای خاصشان مانند لاستیک‌های کامیون و خودرو طبقه‌بندی می‌شوند. در این مطالعه، پودر لاستیک در اندازه‌های ۱ میلی‌متر تا ۳ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۲ درصد ترکیبات لاستیک تایر را برای تایرهای کامیون و خودرو نشان می‌دهد. اجزای اصلی تایرها شامل مواد افزودنی، گوگرد، اکسید روی، نساجی، فلز، کربن سیاه و لاستیک است.

جدول ۱. خصوصیات قیر ۸۵/۱۰۰

قیر ۸۵/۱۰۰	محدودیت استاندارد	استاندارد
وزن مخصوص	۱,۰۱-۱,۰۵	ASTM D70
درجه نفوذ	۸۵-۱۰۰	ASTM D5
نقطه نرمی	۴۵-۵۲	ASTM D36

جدول۲. مشخصات شیمیایی لاستیک

اجزا	درصد ترکیب- کامیون	درصد ترکیب-سواری
افزودنی‌ها	٪۴,۵	٪۷,۵
سولفور	٪۱,۵	٪۱
زینک اکساید	٪۳	٪۱
نخ	-	٪۶
فلز	٪۲۶	٪۱۷
کربن سیاه	٪۲۳	٪۲۲
پلاستیک	٪۴۵	٪۴۶

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول۳. مشخصات PET

نوع آزمایش	مقادیر اندازه‌گیری شده
وزن مخصوص	۱/۲۵ درصد
دمای ذوب	۲۶۵ درجه سانتی‌گراد
جذب رطوبت	۰/۱
مقاومت کششی	۸۴۵ کیلوپاسگال

۲-۳-۱-پلی اتیلن ترفتالات

PET که مخفف پلی اتیلن ترفتالات است، یک پلیمر با زنجیره بلند است که در گروه پلی استرها قرار می‌گیرد. PET از طریق واکنش پلیمریزاسیون بین الکل و اسید تشکیل می‌شود. به دلیل آسان بودن، استحکام و ماندگاری طولانی مدت آن شناخته شده است. در این تحقیق پلی اتیلن ترفتالات مورد استفاده به قطر ۲,۵ میلی‌متر تهیه شد. جدول ۳ خواص پلی اتیلن ترفتالات را نشان می‌دهد.

۲-۲-روش ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

قیر معمولی: نمونه ۵۰۰ گرمی قیر معمولی در یک قیر کوچک تهیه شد. متعاقباً سه تابه را در فر گرم کنید تا به دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد برسد. سپس سه آزمایش روی قیر انجام شد. قیر اصلاح شده: برای تهیه قیر اصلاح شده تقریباً ۵۰۰ گرم قیر حرارت داده شد تا به حالت مایع درآید. سپس قیر تا دمای ۱۶۰ گرم می‌شود و سپس ٤٪ پودر لاستیک اضافه می‌گردد. دو درصد متفاوت ٤٪ و ٦٪ از PET به همراه پودر لاستیک به ۵۰۰ گرم قیر خالص اضافه شد.

۳-روش کار آزمایش

۳-۱-درجه نفوذ

تست نفوذ برای تعیین قوام یا سختی قیر استفاده می‌شود. برای تهیه نمونه آزمایش، مواد قیر را در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد نرم کرده و سپس در ظرفی ریخته و آن را تا عمق ۱۰ میلی متر پر می‌کنند. سپس نمونه را تا دمای اتاق ۲۵ درجه سانتیگراد خنک کردند و ظرف را روی دستگاه نفوذ قرار دادند. قرائت اولیه پس از اطمینان از تماس سوزن با سطح نمونه ثبت شد. بار کلی ۱۰۰ گرم اعمال شد و سوزن به مدت ۵ ثانیه رها شد. در نهایت قرائت نهایی ثبت شد.

۳-۲-نقطه نرمی

تست نقطه نرمی برای تعیین نقطه نرم شدن قیر انجام می‌شود. نمونه‌های آزمایشی مطابق با استاندارد ASTM D-5 تهیه شدند. ابتدا نمونه‌ها در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد نرم شدند. سپس قیر نرم شده به حلقه‌هایی که در یک قاب قرار داده شده بود ریخته شد و کل این سیستم در یک حمام پر از آب در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد غوطه ور شد. توپ‌ها در حلقه‌ها قرار داده شده و گرما به حمام اعمال می‌شود. دمای تماس توپ با سطح زیرین صفحه مشخص شد. همین روش برای توپ دیگر نیز تکرار شد و میانگین مقادیر نقطه نرمی به عنوان نقطه نرم شدن ثبت شد (ASTM D 2019).

۳-۳-آزمایش ویسکومتر دو لوله‌ای سی بولت

تست ویسکومتر Saybolt برای اندازه‌گیری ویسکوزیته قیر استفاده می‌شود. دمای حمام به دقت تنظیم شد. درپوش چوب پنبه‌ای به اندازه کافی در قسمت پایین ویسکومتر قرار داده شده بود تا از خروج هوا جلوگیری کند. نمونه از قبل گرم شده و قبل از توزیع هم زده شد. فلاسک دریافت‌کننده به درستی قرار گرفت و پس از برداشتن چوب پنبه، تایمر شروع به کار کرد. زمان از شروع جریان تا آخرین قطره ثبت شد.

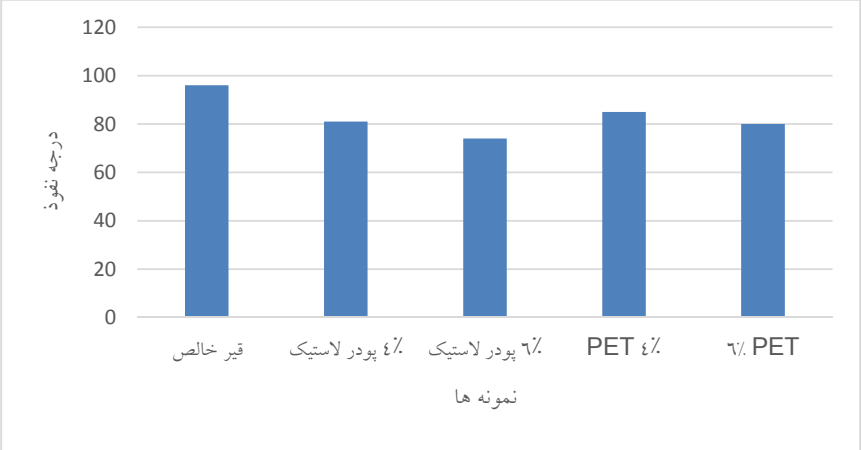
٤-تحلیل نتایج آزمایشات

نتایج آزمایش نفوذ بر روی نمونه‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است که تأثیر مقادیر مختلف ضایعات PET و لاستیک ضایعاتی تایر را بر مقاومت در برابر نفوذ آب قیر نشان می‌دهد. در مقایسه با قیر معمولی، مقادیر نفوذ ۱۵٪ و ۲۳٪ کاهش یافت که به ترتیب از ٤٪ و ٦٪ لاستیک ضایعاتی به

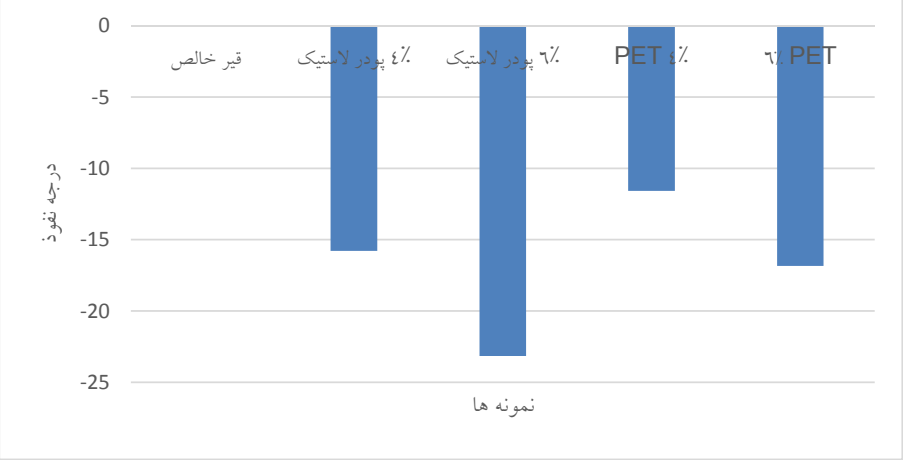
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

عنوان افزودنی استفاده شد که توسط یافته‌های Manoharan و همکاران نشان داد (Mushunje et al, 2018). این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد مواد افزودنی، مقادیر نفوذ کاهش می‌یابد. این بهبود را می‌توان به توانایی لاستیک ضایعات تایر در افزایش سفتی قیر نسبت داد. برهمکنش بین لاستیک لاستیک زباله و قیر داغ منجر به افزایش جرم و حجم لاستیک می‌شود. در نتیجه این فعل و انفعال، لاستیک به دلیل جذب کسر روغن سبک همراه با قیر منبسط می‌شود. علاوه بر این، شکل ۱ نشان می‌دهد که ترکیب ٤٪ و ٦٪ ضایعات PET در قیر به ترتیب باعث کاهش ۱۱,۵٪ و ۱٦,۸٪ از در مقادیر درجه نفوذ می‌شود، همانطور که در شکل ۲ نشان می‌دهد. شکل ۳ نتایج نقطه نرمی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. نقطه نرمی میانگین دمای قیر را که شروع به نرمی می‌کند نشان می‌دهد. پودرلاستیک به صورت قابل توجهی بر روی نقطه نرمی تاثیر می‌گذارد. این افزایش می‌تواند به دلیل افزایش سختی قیر به دلیل برهم کنش بین لاستیک و پلاستیک و قیر باشد که سبب افزایش وزن مولکولی قیر باشد.



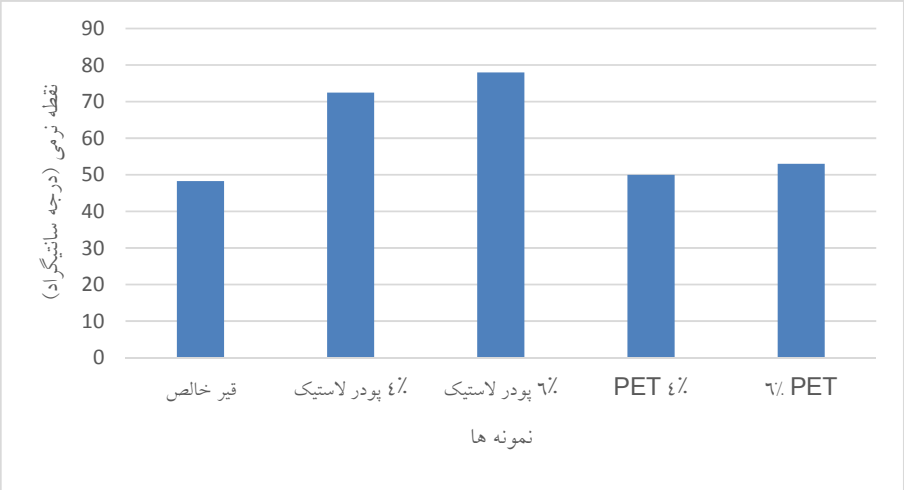
شکل ۱. نتایج درجه نفوذ نمونه‌ها



شکل ۲. نرخ تغییرات درجه نفوذ قیرهای حاوی افزودنی نسبت به قیر خالص

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



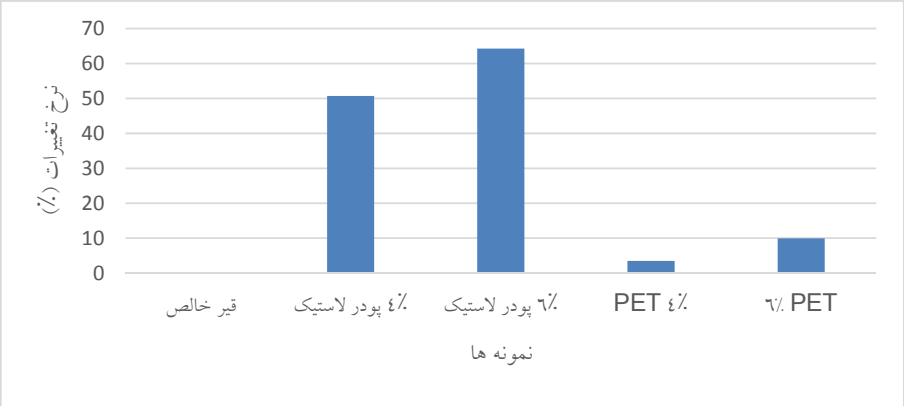
شکل ۳. نتایج نقطه نرمی نمونه‌ها

شکل ٤ تاثیر ضایعات PET و پودر لاستیک را بر روی نقطه نرمی نشان می‌دهد. استفاده از ٤٪ و ٦٪ ضایعات پودر لاستیک سبب افزایش ۵۰,۷۳٪ و ٦٤,۲٪ در نقطه نرمی نمونه‌ها می‌گردد. علاوه براین استفاده از ٤٪ و ٦٪ ضایعات PET اثر کمی بر روی قیر دارد که سبب افزایش کمی بر روی نقطه نرمی قیر دارد. نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان می‌دهد تاثیر PET سبب افزایش مقاومت حرارتی قیر می‌گردد که سبب کاهش حساسیت قیر به تغییرات دما می‌گردد. با این حال نیاز است اشاره گردد که برخی از محققین به این نتیجه رسیده‌اند که PET به روش تر جهت اصلاح قیر مناسب نیست. به دلیل دمای ذوب بالای آن که تا حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد ممکن است برسد. در برخی مواقع PET تمایل به جدا شدن از قیر دارد که سبب تشکیل ترکیبی غیریکنواخت می‌گردد. احمد و همکاران (Ahmad et al, 2015) تاثیر PET را بر روی خصوصیات قیر مورد ارزیابی قرار دادند و در آن تحقیق از ٦ درصد مختلف PET از ۲٪ الی ۱۲٪ استفاده شد. نتایج نشان داد که اضافه نمودن PET سبب افزایش نقطه نرمی قیر می‌گردد.

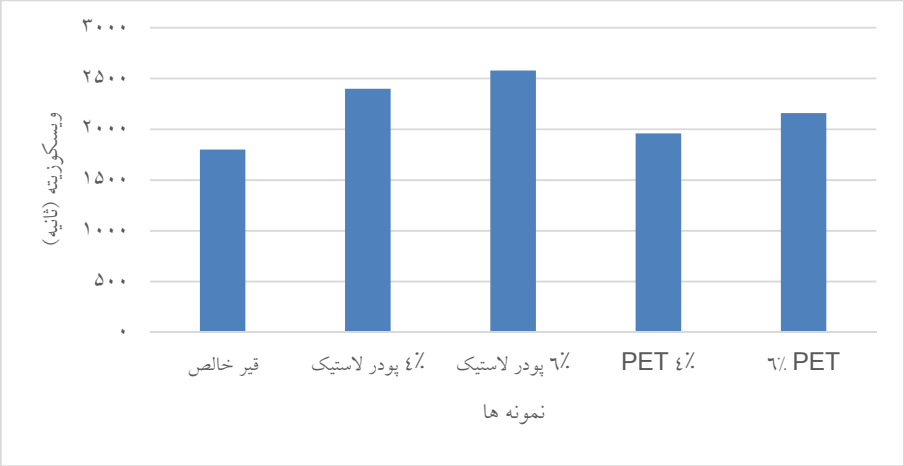
از طرفی منان و همکاران تاثیر PET را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که اضافه نمودن پودر لاستیک و ضایعات PET سبب افزایش نقطه نرمی می‌گردد. ویسکوزیته مقاومت ماده را در برابر جریان اندازه می گیرد که نشان دهنده اصطکاک داخلی بین مایع می باشد. در این تحقیق ویسکوزیته قیر با استفاده از ویسکومتر دولوله‌ای سی بولت مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمایش سرعت جریان قیر را برای ارزیابی ویسکوزیته آن اندازه گیری می‌کند. زمان جریان بیشتر نشان دهنده ویسکوزیته بالاتر است. شکل ٦ مقادیر ویسکوزیته قیر نرمال و اصلاح شده و زمان جریان را نشان می‌دهد. از شکل ٦ مشخص است که زمان جریان قیر معمولی ۱۸۰۰ ثانیه است. در مقابل، زمان جریان برای نمونه‌های قیر اصلاح‌شده با لاستیک تایر، به ترتیب ۲٤۰۰ ثانیه و ۲۷۵۰ ثانیه برای ٤ درصد و ٦ درصد است. این افزایش زمان روانی نشان می‌دهد که افزایش درصد پلاستیک سبب افزایش ویسکوزیته قیر می‌گردد. نرخ رشد ۳۳ درصد و ٤۳ درصد برای به ترتیب قیر حاوی ٤٪ و ٦٪ پودر لاستیک می‌باشد.

Archive of SID.ir

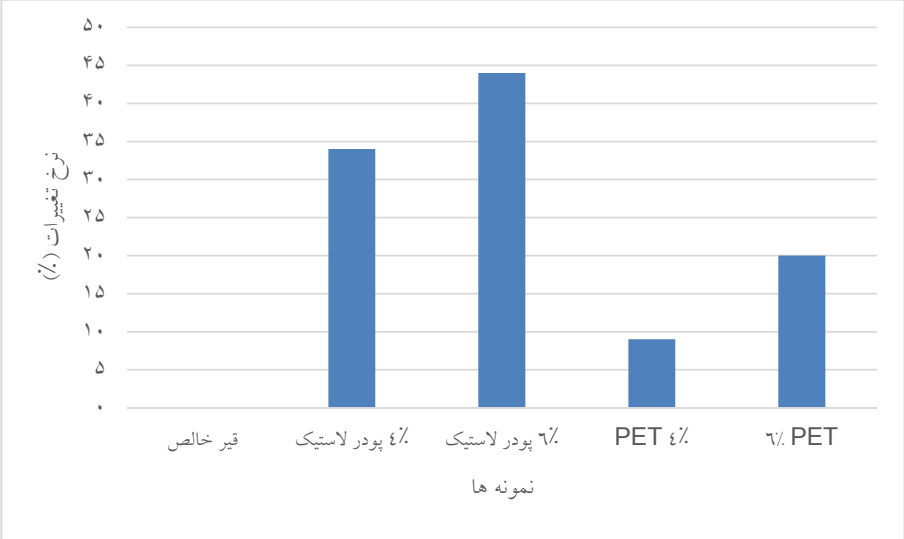
Archive of SID.ir



شکل ٤. نرخ تغییرات نقطه نرمی



شکل ۵. نتایج ویسکوزیته نمونه‌ها



شکل ٦. نرخ تغییرات ویسکوزیته نسبت به قیر خالص

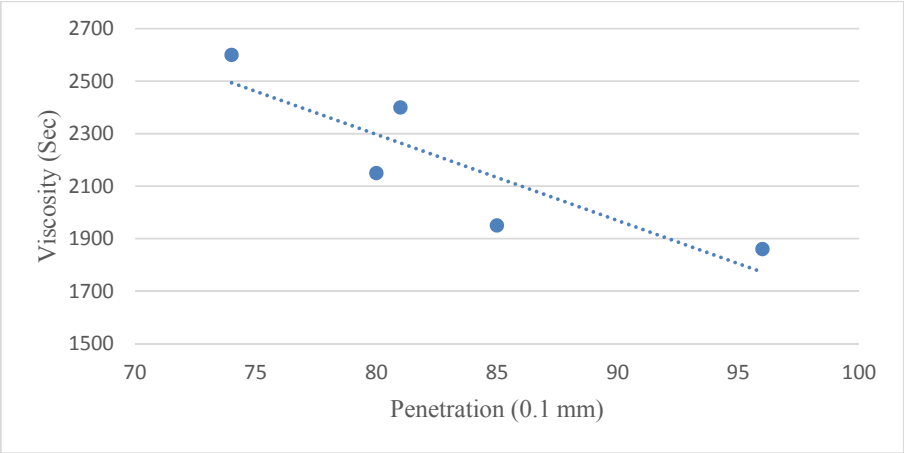
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

زمان جریان برای نمونه قیر ٤ درصد اصلاح شده با PET ۱۹٦۰ثانیه است، در حالی که برای نمونه قیر اصلاح شده با ٦ PETدرصد، ۲۱٦۰ ثانیه است .نسبت‌های افزایش به ترتیب برای نمونه‌های قیر ٤ و ٦ درصد اصلاح‌شده باPET ، ۸,۹ و ۲۰ درصد بود، همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است. در طول گرم کردن، لاستیک تایر به قیر اضافه شد که منجر به تعامل بین قیر و تایر شد. لاستیک. این فعل و انفعال باعث می‌شود که لاستیک متورم شود و ماده ای ژل مانند ایجاد کند. تورم فاصله بین ذرات را کاهش می‌دهد و احتمال برخورد ذرات را افزایش می‌دهد و در نتیجه ویسکوزیته قیر را افزایش می‌دهد. احمد و مهدی (Ahmad et al, 2015) نشان دادند که ویسکوزیته قیر با افزایش درصد PET اضافه شده به قیر تا ۱۲ درصد افزایش می‌یابد. با این حال، فراتر از آن نقطه، ویسکوزیته قیر نسبتا ثابت باقی می‌ماند .مهدی و همکاران (Mahdi et al, 2022) مشخص کرد که ترکیب پلی اتیلن ترفتالات (PET) در مخلوطهای آسفالتی منجر به افزایش دمای نرم شدن و کاهش مقدار نفوذ و افزایش شاخص درجه عملکرد (PG) شد. هنگامی که محتوای PET از ۰٪ به ۱۰٪ افزایش یافت، شاخص PG برای اندازه ذرات ۷۵ میکرومتر و ۱۵۰ میکرومتر PET به ترتیب ۳۰۸٪ و ۳۷۳٪ افزایش یافت. نتایج تجربی به‌دست‌آمده از نمونه‌های قیر معمولی و اصلاح‌شده به طور کلی نشان می‌دهد که افزودن لاستیک ضایعاتی نسبت به ضایعات PET تأثیر مهم‌تری بر قیر معمولی دارد. منان و همکاران (Manan et al, 2018) مطالعه ای را انجام دادند که در آن لاستیک تایر و PET را به قیر اضافه کردند. یافته‌ها نشان داد که PET نسبت به لاستیک تایر تأثیر بارزتری بر قیر دارد. آنها مشاهده کردند که افزودن PET منجر به کاهش قابل توجهی در درجه نفوذ قیر در مقایسه با افزودن لاستیک تایر می‌شود. علاوه بر این، این مطالعه نشان داد که نقطه نرم شدن قیر با PET نسبت به لاستیک تایر به میزان بیشتری افزایش می‌یابد.

ویسکوزیته بالا در قیر در دماهای بالا برای دستیابی به نتایج عالی روسازی بسیار مهم است. این به این دلیل است که ویسکوزیته قیر توانایی جریان یافتن آن را در محل اجرا و همچنین پوشش مصالح سنگی در مخلوط آسفالتی را تعیین می‌کند. در این تحقیق خصوصیات ویسکوزیته قیر در دو دمای ۱۳۵ و ۱٦۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که قیر اصلاح شده با اضافه کردن ضایعات پلاستیکی مقادیر ویسکوزیته بالاتری نسبت به قیر خالص از خود نشان داد. با افزایش درصد پلاستیک ضایعاتی، ویسکوزیته قیر افزایش یافت. نتایج در شکل ۷ نشان داده شده است که دلالت براین موضوع دارد که ویسکوزیته قیر خالص از قیر حاوی ٦٪ ضایعات پلاستیکی کمتر است. در کل، نتایج آزمایشات انجام شده نشان می‌دهد که ضایعات پودر لاستیک اثر سودمند بیشتری بر عملکرد قیر نسبت به ضایعات PET دارد. نتایج منان و همکاران نشان داد که PET مناسب برای شرایط تر به دلیل دمای ذوب بالا که ممکن است تا ۲۵۰ درجه برسد ندارد. ظهیر و همکاران (Ben zair et al, 2021) نشان دادند که استفاده از ضایعات PET راه حل مناسبی برای دفع ضایعات انباشته می‌باشد و برای محیط زیست که مقادیر بالایی از ضایعات PET را تولید می کند، سودمند می‌باشد.

شکل ۷ رابطه بین درجه نفوذ و ویسکوزیته را برای نمونه‌های خالص و حاوی افزودنی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد با افزایش ویسکوزیته، درجه نفوذ قیر کاهش یافت.



شکل ۷. رابطه بین درجه نفوذ و ویسکوزیته قیر

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۵-نتیجه‌گیری

از این تحقیق می‌توان نتایج زیر را به دست آورد:

- خواص مهندسی قیر با استفاده از ضایعات PET و پودر لاستیک افزایش یافته است.
- استفاده از ضایعات PET و ضایعات پودر لاستیک در قیر باعث بهبود مقادیر نفوذ (از ۷۳ تا ۸۰)، نقاط نرم شدن (از ۵۰ درجه سانتیگراد تا ۷۹ درجه سانتیگراد) و ویسکوزیته (از ۱۹۶۰ تا ۲۵۸۰ ثانیه) شد.
- افزودن ضایعات PET و ضایعات پودر لاستیک قوام قیر را بهبود بخشید.
- ادغام ضایعات PET یا ضایعات پودر لاستیک در قیر حساسیت آن را به تغییرات دما کاهش می‌دهد.
- ترکیب ۶٪ ضایعات PET یا ۶٪ لاستیک زباله تایر در قیر، ویسکوزیته را به ترتیب ۲۰٪ و ۴۳٪ افزایش می‌دهد.
- نتایج حاکی از آن است که لاستیک ضایعاتی نسبت به ضایعات PET تاثیر قابل توجهی بر روی قیر دارد.
- ویسکوزیته و نقطه نرم شدن قیر درجه ۱۰۰/۸۵ را می‌توان با ترکیب ۶٪ لاستیک ضایعات و ۶٪ PET افزایش داد، به خصوص در شرایط سخت با دمای بالاتر در طول هوای تابستان.
- در نهایت، استفاده از ضایعات پودر لاستیک و PET می‌تواند دوستدار محیط زیست باشد.

۶-پی‌نوشت‌ها

1- Polyethylene Terephthalate

۷-مراجع

-ASTM-D5 (2013). Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. ASTM: West Conshohocken, *PE,* USA.

-ASTM-D88 (2013). Standard Test Method for Saybolt Viscosity. ASTM International: West Conshohocken, *PE,* USA.

-Ahmad, M.S. Mahdi, F. (2015). Characterization of Bitumen Mixed with Plastic Waste. *Procedia Manuf*. 3, 85–91 .

-Airey, G. Rahman, M. (2004). Collop, A.C. Crumb Rubber and Bitumen Interaction as a Function of Crude Source and Bitumen Viscosity. *Road Mater. Pavement Des*. 5, 453–475 .

-Alhaddad, F.T.A. (2017).Studying the Effect of Adding Crumb Rubber on the Mechanical Properties of Asphalt Mixtures (Wearing Course Layer). Ph.D. Dissertation, the Islamic University of Gaza, Gaza, Palestine.

-Atasa Gun, N. (2023). High-Temperature Rheological Properties and Storage Stability of Bitumen Modified with the Char Produced from Co-Pyrolysis of Different Wastes. *Sustainability*, 15, 8119 .

-Azizi, G. Rashid, G. (2018). Review Paper on Use of Waste Plastic, Waste Rubber and Fly Ash in Bituminous Mixes. *Int. Res. J. Eng. Technol.* 5, 592–595 .

-Ben Zair, M. Jakarni, F. Muniandy, R. Hassim, S. (2021). A Brief Review: Application of Recycled Polyethylene Terephthalate in Asphalt Pavement Reinforcement. *Sustainability*, 13, 1303 .

-Chattaraj, R. Bitumen (2019). A very versatile construction. *Mater. Relat. Highw. Eng*. 3, 115–120 .

-Elvis, S.K. Lameck Lugeiyamu, M. Kunlin, M. (2020). Flexible Pavement: A Review on the Influence of Waste RuberParticles in Asphalt and Asphalt Mixtures. *Int. Res. J. Eng. Technol*. (IRJET) 9, 3250–3260 .

-Khalid, H.A. Artamendi, I. (2003). Performance Based Characterization of Crumb Rubber Asphalt Modified Using the Wet Process. *Road Mater. Pavement Des*. 4, 385–399.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

-Sernas, O. Cygas, D. Vaitkus, A. Gumauskaite, V. (2017). The Influence of Crumb Rubber on Modified Bitumen Properties. *In Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Engineering,* Vilnius, Lithuania, 27–28 April.

-Thamme Gowda, C.S. Krishnappab, G.B. Shashanka, G.R. Jalukab, R. Rishab, J. Sachin, S.H. (2020). Evaluating the Performance of Different Types of Waste Plastic-Bitumen Mixtures for Road Construction, A Review. *Int. J. Adv. Sci. Technol*. 29, 10007–10012 .

-Touahri, A. Branci, T. Yahia, A. Ezziane, K. (2021). Effect of recycled polypropylene fiber on high strength concrete and normal strength concrete properties. *Adv. Mater. Res,* 10, 267–281 .

-Taherkhani, H. Arshadi, M.R. (2018). Investigating the Effects of Using Waste Rubber and Polyethylene Terephthalate (PET) on Mechanical Properties of Asphalt Concrete. *Int. J. Environ. Sci. Dev*. 9, 316–321 .

-Wang, H. You, Z. Mills-Beale, J. Hao, P. (2012). Laboratory evaluation on high temperature viscosity and low temperature stiffness of asphalt binder with high percent scrap tire rubber. *Constr. Build. Mater*. 26, 583–590 .

-Yin, J. Wang, S. Lv, F. (2013). Improving the short-term aging resistance of asphalt by addition of crumb rubber radiated by microwave and impregnated in epoxidized soybean oil. *Constr. Build. Mater*. 49, 712–719 .

-Zolfaghari, F.A. Zolfaghari, F. Javid, M. (2014). Modification of Bitumen by Varying Size of the Crumb Rubber in Coarse Graded Aggregates. Int. J. Sci. *Eng. Technol. Res*. 3, 4435–4444.

-Ibrahim, M.R. Katman, H.Y. Karim, M.R. Koting, S. Mashaan, N.S. (2013). A Review on the Effect of Crumb Rubber Addition to the Rheology of Crumb Rubber Modified Bitumen. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 415246 .

-Jeong, K. D. Lee, S. J. Amirkhanian, S.N. Kim, K.W. (2010). Interaction effects of crumb rubber modified asphalt binders. *Constr. Build. Mater.* 24, 824–831 .

-Mazloom, M. Mirzamohammadi, S. (2019). Thermal effects on the mechanical properties of cement mortars reinforced with aramid, glass, basalt and polypropylene fibers. *Adv. Mater. Res*. 8, 137–154 .

-Mashaan, N. Ali, A.; Karim, M.R. Abdelaziz, M. (2011). Effect of Crumb Rubber Concentration on the Physical and Rheological Properties of Rubberized Bitumen Binders. *Int. J. Phys. Sci.* 6, 684–690 .

-Nejad, F.M. Aghajani, P. Modarres, A. Firoozifar, H. (2012). Investigating the properties of crumb rubber modified bitumen using classic and SHRP testing methods. *Constr. Build. Mater.* 26, 481–489 .

-Pamudji, G. Haryanto, Y. Hu, H.T. Asriani, F. Nugroho, L. (2021). The flexural behavior of RC beams with sand-coated polypropylene waste coarse aggregate at different w/c ratios. *Adv. Mater. Res*. 10, 313–329 .

-Remadevi, M. Pillai, A.G. George, E.B. Narayanan, P. Sunny, S. (2014). Study of Fibre Reinforced Bituminous Concrete. *Int. J. Eng. Res. Dev*. 10, 49–56 .

-Singh, G.; Chauhan, R. (2020). Experimental study on the behavior of modified bituminous concrete mix developed using plastic waste and scrapped rubber tyre. *Int. J. Adv. Sci. Technol*, 29, 1621–1630 .

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Laboratory Evaluation of the Effect of Using Plastic Waste on the Performance Properties of Bitumen

Azin Chitsazan, Department of Land Use Planning and Assessment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: Chitsazan.az@gmail.com

Received: June 2023- Accepted: February 2024

ABSTRACT

Due to the increase in population, disposal of waste accumulation in the world has become an important challenge. Biodegradability issues arise from the accumulation of two non-biodegradable waste materials: plastic and rubber. Asphalt pavements experience various stresses caused by high traffic density, which leads to numerous failures. The aim of this study is the effect of plastic and rubber waste on the functional properties of bitumen. Specifically, this study investigates the addition of waste rubber powder (4% and 6%) and waste polyethylene terephthalate (PET 1 (4% and 6%) to 100/85 bitumen. Three tests to evaluate the physical properties Bitumen was conducted, which includes softening points, penetration tests and viscosity tests. The results show that the penetration degree of bitumen with the addition of 6% waste tire rubber and PET was 9% lower compared to the 4% mixture for both waste materials. Therefore, bitumen modified with rubber powder has higher softening points (79 ◦C, 2580 s) and viscosity compared to normal bitumen (48 ◦C, 1800 s) and PET modified bitumen (53 ◦C, 2580 s) Showed. These differences indicate that the combination of waste PET and tire rubber improves the engineering properties of bitumen. This study highlights the importance of increasing the softening point of bitumen in high temperature regions.

Keywords: Waste Polyethylene Terephthalate, Rubber Powder, Functional Properties, Bitumen

Archive of SID.ir