مجله مهندسی عمران هورین، اردیبهشت ۱۴۰۲، دوره ۱، شماره ۴، ص ص ۱۹-۲۹

مجله علمی مطالعات پژوهشی

در مهندسی عمران آینده

Journalhi.com/com

کاربرد خرده لاستیک های فرسوده در آسفالت و نقش و تاثیر آن در انعطاف پذیری رویه آسفالتی

یاسر سادات بندبن بالنگا [1*]

۱- کارشناسی ارشد عمران، خاک و پی ،پردیس بین الملل گیلان،رشت ، ایران

* رشت، دانشگاه پیام‌نور لنگرود، yasersadat@rocketmail.com

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۲۷ اسفند ۱۴۰۱

پذیرش: ۱۰ فروردین ۱۴۰۲

ارائه در سایت: ۱۲ اردیبهشت ۱۴۰۲

کلید واژگان:

لاستیک بازیافتی

لاستیک های فرسوده

مخلوط آسفالت

خواص آسفالت لاستیکی

چکیده

در سالهای اخیر استفاده از تایرهای فرسوده به صورت خرده لاستیک در مخلوط های آسفالتی به یک گزینه جالب توجه برای مهندسین راهسازی تبدیل شده است. به همین منظور در مقاله حاضر با مروری بر تحقیقات گذشته، به بررسی امکان استفاده از خرده لاستیک بازیافتی حاصل از تایرهای فرسوده بر خصوصیات مخلوط های آسفالتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که استفاده از تایرهای فرسوده در تهیه آسفالت، علاوه بر جنبه های مثبت زیست محیطی و اقتصادی ناشی از بازیافت لاستیک، باعث افزایش خصوصیات مقاومتی و همچنین افزایش انعطاف پذیری مخلوط های آسفالتی می گردد.

The use of worn-out tires in asphalt and its role and effect on the flexibility of the asphalt surface

BandbanBalanga[1*] Yasser Sadat

1- Master of Civil Engineering, Soil and Foundation, Gilan International Campus, Rasht, Iran.

* Rasht, Payam Noor Langrod University, yasersadat@rocketmail.com.

Article Information

Original Research Paper

Received 2023-03-18

Accepted 2023-03-30

Available Online 2023-05-02

Keywords:

Recycled rubber

Worn tires

Asphalt mixture

Rubber asphalt properties

Abstract

In recent years, the use of rubberized tires in asphalt mixtures has become an interesting option for road engineers. For this purpose, in the present article, a review of past research has examined the possibility of using recycled rubber substrates from worn tires on the properties of asphalt mixtures. The results of this study indicate that the use of worn tires in the production of asphalt, in addition to the positive environmental and economical aspects of the recycling of rubbers, increases the resistance properties and also increases the flexibility of asphalt mixtures.

۱- مقدمه

با گسترش صنعت خودروسازی و از رده خارج کردن خودروهای فرسوده، سالانه حجم زیادی از لاستیک های فرسوده در سراسر جهان تولید و انباشت می شوند که این امر سبب شده است لاستیک های فرسوده به عنوان یکی از آلاینده های زیست محیطی در دهه های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار بگیرد. انجمن تولیدکنندگان لاستیک در سال ۲۰۰۶ برآورد نموده است که در ایالات متحده آمریکا سالانه بیش از ۴۴۱۰ هزار تن (معادل ۲۹۹ میلیون حلقه) لاستیک فرسوده تولید می شود که از این مقدار، فقط ۱۸ ٪ در سطح زمین دپو و انباشت می شود و باقی مانده لاستیک ها بازیافت و در موارد مختلف دوباره مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین این آمار نشان می دهد که از میزان لاستیک های فرسوده بازیافت شده، حدود ۱۶ ٪ در مهندسی عمران به مصرف می رسد [۱]. افزایش روزافزون خودروها در کشور، نگرانی هایی را در مورد دفع ضایعات لاستیکی حاصل از آنها دوچندان نموده است. از اینرو استفاده از خرده لاستیک های فرسوده در بسیاری از سازه های ژئوتکنیکی نظیر شیب ها، دیوارهای حائل و بستر پی ها و همچنین در تهیه روسازی راه ها رو به افزایش است. براساس گزارش رسیده در سال ۱۳۸۵ در ایران نیز سالانه بیش از ۲۵۰ هزار تن لاستیک فرسوده تولید می شود که بنابر گزارشات آماری حدود ۳۵ ٪ آن در موارد گوناگونی مانند روکش کردن لاستیک فرسوده، مخلوط آسفالت، بازیافت و ریکلیم رابر (کائوچوی احیا شده) مصرف و باقیمانده آن دپو و انباشت می شوند [۲]. امروزه برای جلوگیری از مشکلات زیست محیطی و بهداشتی ناشی از انباشت لاستیک‌های فرسوده، روشهای ابتکاری بسیاری برای بازیافت و استفاده دوباره از این مواد در مهندسی عمران گسترش یافته اند. همفری مطرح کرد که کاربرد خرده لاستیک بازیافت شده دارای برتری هایی مانند چگالی کم، دوام بالا، عایق حرارتی بالا بوده و در بسیاری موارد هزینه کمتری نسبت به سایر مصالح خاکی مورد نیاز دارد [۳]. در مهندسی عمران، کاربرد خرده لاستیک فرسوده برای مسلح سازی خاکهای نرم در جاده سازی و همچنین تهیه آسفالت و رویه های آسفالتی راهسازی نیز امکانپذیر شده است [۴]. استفاده از تایرهای فرسوده به صورت خرده لاستیک در پروژه های راهسازی و جاده سازی و تهیه آسفالت، یک گزینه جالب توجه برای استفاده مجدد از آنها می باشد که امروزه در مواردی که خاک موجود در محل احداث یک جاده، ویژگیها و خصوصیات مقاومتی مورد نیاز ژئوتکنیکی را نداشته باشد، قابل بهره گیری خواهد بود. به عنوان مثال در مواردی که خاک موجود در محل راهسازی از نوع خاک رسی بوده و از کیفیت و توانایی کافی برای تحمل بارهای وارده از طرف وسایل نقلیه سبک و سنگین برخوردار نباشد، می توان از خرده لاستیک بازیافتی حاصل از تایرهای فرسوده برای افزایش مقاومت و بهره برداری از آن به منظور ساخت جاده ای با قابلیت سرویس دهی بالا استفاده نمود.

با توجه به مطالب مذکور، هدف اصلی از این پژوهش، بررسی امکان استفاده از مخلوط خرده لاستیک ضایعاتی حاصل از تایرهای فرسوده و بازیافتی بر خصوصیات مقاومتی مخلوط های آسفالتی مورد استفاده در راه ها می باشد که با مطالعه تحقیقات گذشته، این هدف مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- پیشینه تحقیق

لی و همکارانش (۱۹۹۹) در تحقیق خود به بررسی کاربرد خرده تایرهای فرسوده در ترانشه ها به عنوان مصالحی سبک پرداختند و با توجه به نتایج آزمایش های سه محوری و مطالعات نظری به روش اجزای محدود، به این نتیجه دست یافتند که خرده لاستیک های فرسوده علاوه بر کاهش وزن ترانشه ها، از مقاومت برشی کافی به خصوص در ترکیب با ماسه جهت استفاده در ترانشه ها برخوردارند [۵]. یون و همکارانش (۲۰۰۴) در تحقیق دیگری، ظرفیت باربری و نشست ماسه مسلح شده با خرده لاستیک را به وسیله آزمایش بارگذاری صفحه ای مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که ظرفیت باربری ماسه سست مسلح شده با خرده تایرهای فرسوده بیشتر از ۲ برابر ظرفیت باربری ماسه سست است [۶]. گتلندو همکاران (۲۰۰۵) در تحقیق دیگری نتیجه گرفتند که درصد خرده لاستیک تاثیر به سزایی بر مقاومت برشی مخلوط ماسه- خرده لاستیک داشته به نحوی که با افزایش درصد خرده های لاستیک، مقاومت برشی افزایش می یابد [۷]. ستین و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیق خود ویژگیهای ژئوتکنیکی مخلوط های رس- خرده لاستیک را با انجام آزمون های نفوذپذیری، برش مستقیم و تراکم مورد بررسی قرار داده اند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که در درصدهای معین از خرده لاستیک های ریز و درشت مقاومت برشی مخلوط نسبت به رس خالص افزایش می یابد و با بیشتر شدن خرده لاستیک در خاک، چسبندگی کاهش و زاویه اصطکاک داخلی افزایش می یابد. آنها در نهایت پیشنهاد کردند که می توان از مخلوط های رس- خرده لاستیک به عنوان مصالح خاکریز در خاکریزی بزرگراه ها، مصالح پرکننده پشت پایه پل ها و خاکریزی پشت دیوارهای حائل در بالای سطح ایستابی بهره گرفت [۸]. آکبولوت و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیق دیگری، اثر الیاف های لاستیک و مصنوعی را بر مقاومت فشاری تک محوری، پارامترهای مقاومتی و رفتار دینامیکی خاکهای رسی مورد بررسی قرار دادند. آنها با انجام آزمایش های فشاری ساده، برش مستقیم و ستون تشدید گزارش دادند که در نمونه های مسلح شده، با افزایش الیاف لاستیک تا ۲٪، مقاومت فشاری تک محوری افزایش و پس از آن کاهش می یابد. برای نمونه های مخلوط با الیاف پلی اتیلن و پلی پروپیلن نیز نتیجه ها بیانگر آن است که در مقدار الیاف ۰/۲٪، مقاومت فشاری تک محوری افزایش پیدا می کند. همچنین آنان دریافتند که با افزودن الیاف لاستیک و مصنوعی به خاکهای رسی مقدارهای چسبندگی، نسبت میرایی و مدول برشی افزایش می یابد. با افزایش درصد الیاف در مخلوط نسبت میرایی بیشتر شده و در مقدار خاصی از الیاف (لاستیک و مصنوعی) به بیشترین مقدار خود می رسد و سپس با افزایش بعدی در مقدار الیاف، کم می شود [۹]. سوکنتاسوکول (۲۰۰۹) به بررسی پتانسیل جذب صدا در مخلوط های آسفالتی ساخته شده با خرده لاستیک پرداخته و از دو نوع مختلف خرده لاستیک با اندازه های ردشده از الک شماره ۶ و شماره ۲۹ جهت ساخت سه نوع مخلوط استفاده کرده اند. در نمونه اول از دانه های رد شده از الک ۶، در نمونه دوم از دانه های رد شده از الک ۲۹ و در نمونه سوم از مخلوط دانه های رد شده از الک های ۶ و ۲۶ با درصدهای ۱۰ و ۲۰ جایگزین با ریز دانه ها استفاده کرد. بر این اساس، مقدار ضریب کاهش نویز با افزایش مقدار دانه های لاستیک کاهش یافت [۱۰]. عبدی و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق دیگری با انجام آزمایشهای تحکیم، رفتار نشست پذیری و تورمی خاک رس مسلح شده با الیاف پلی پروپیلن را مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که با افزایش درصد الیاف در مخلوط میزان نشست تحکیمی در نمونه ها کمتر می شود. همچنین، تورم در نمونه های مسلح شده با الیاف در مقایسه با نمونه رس خالص کاهش قابل ملاحظه ای دارد [۱۱]. مطالعات الدین و سنوسی (۲۰۰۳) نشان داد که با جایگزینی کامل دانه های شن با خرده لاستیک در مخلوط های آسفالتی، مقدار مقاومت فشاری حدود ۸۰ ٪ و

مقاومت کششی حدود ۵۰ ٪ کاهش می یابد. اما با جایگزینی دانه های ماسه با خرده لاستیک، حدود ۶۵ ٪ کاهش مقاومت فشاری و ۵۰ ٪ کاهش مقاومت کششی مشاهده می گردد [۱۲]. داسیلوا و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود درصدهای مختلف خرده لاستیک (از ۱۰ تا ۵۰ درصد) را در بلوک های روسازی های بتنی مورد استفاده قرار دادند. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق آنها مشخص شد که با افزایش درصد خرده لاستیک، مقاومت فشاری در نمونه بتنی دارای ۱۰ ٪ خرده لاستیک افزایش یافته است. اما مقاومت فشاری بقیه نمونه ها (۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) روندی کاهشی داشت. همچنین، مقاومت خمشی نمونه ها با افزایش درصد خرده های لاستیک کاهش یافت. به طوری که این کاهش مقاومت در نمونه بتنی حاوی ۵۰ ٪ خرده لاستیک، حدود ۰/۳۲ بوده است [۱۳]. در پژوهش انجام شده توسط جلالی و عبدی (۱۳۸۸)، با انجام آزمایشات سه محوری زهکشی شده و زهکشی نشده بر نمونه های خاک رس- خرده لاستیک مورد استفاده در راهسازی، رفتار این نمونه ها با درصدهای مختلفی از خرده لاستیک مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن خرده لاستیک تا درصد مناسبی موجب افزایش پارامترهای مقاومت برشی نمونه ها در آزمایش های سه محوری می گردد [۱۴]. دیواندری و شعبانی (۱۳۹۲) در پژوهش خود به بررسی تاثیر مقدار خرده لاستیک بر ویژگیهای رئولوژیکی قیر و مقاومت شیارشدگی آسفالت پرداخته اند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که علاوه بر اینکه خرده لاستیک بر ویژگیهای قیر تاثیر دارد، بلکه سبب کاهش نفوذپذیری و افزایش شکل‌پذیری آن نیز می گردد. همچنین در نتایج این تحقیق نشان داد که افزودنی خرده لاستیک باعث افزایش چسبندگی قیر و به تبع آن بالا رفتن مقاومت برشی آسفالت می شود. بدین ترتیب میتوان انتظار داشت که این آسفالت پتانسیل کمتری برای شیارشدگی داشته باشد. استفاده از این نوع آسفالت به خصوص در مناطقی که بار ترافیکی سنگین و دمای محیطی بالایی دارند اهمیت بیشتری پیدا می‌کند [۱۵]. در تحقیق انجام شده توسط ارثی زاد و اسدزاده (۱۳۹۲)، به منظور بررسی اثر درصد خرده لاستیک بر روی رفتار انقباضی و مقاومتی مخلوط رس خرده لاستیک، آزمون های تراکم، انقباض و سه محوری زهکشی نشده در نسبت های اختلاط ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی انجام گرفت. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که کرنش حجمی انقباضی نمونه های مسلح شده با خرده لاستیک کاهش می یابد. همچنین نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که تنش انحرافی حداکثر، با افزایش درصد خرده لاستیک کاهش یافته و فشار آب حفره ای در تنش های موثر تحکیمی پایین، دچار کاهش نسبت به نمونه های رس خالص می گردد [۱۶]. حافظی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش دیگری به بررسی تاثیر افزودن درصدهای مختلف آهک به عنوان ماده تثبیت کننده خاک و بررسی دامنه تغییرات مقاومتی و دوام خاک تثبیت شده با آهک جهت استفاده در پروژه های راهسازی پرداخته اند. به همین منظور در این تحقیق، نمونه خاک رسی با خاصیت خمیری زیاد، تهیه و سپس آزمایشات مکانیک خاک شامل دانه بندی، تعیین دانسیته و رطوبت بهینه برای درصدهای مخلوط خاک و آهک، حدود اتربرگ، CBR و مقاومت فشاری تک محوری بر روی نمونه ها انجام شد و پس از بررسی نتایج درصد بهینه آهک برای خاک مورد آزمایش برابر ۳/۵ درصد تعیین گردید [۱۷]. فخری و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیق دیگری، به بررسی اثر استفاده از خرده‌های لاستیک فرسوده در روسازی های بتن غلتکی پرداخته و سعی نموده اند تا خصوصیات اصلی بتن شامل وزن مخصوص، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و درصد جذب آب را مورد ارزیابی قرار دهند. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق مشخص شد که برخلاف اثر کاهشی که خرده‌های لاستیک بر مقاومت بتن‌های معمولی داشته‌اند، می‌توانند در بتن غلتکی تا درصد مشخصی سبب افزایش مقاومت‌های فشاری و خمشی شوند [۱۸].

۳- ضایعات لاستیکی حاصل از تایرهای فرسوده

به طور کلی تایر اتومبیل ها از چهار جزء کلی شامل (۱) آج لاستیک (مساحتی از لاستیک اتومبیل که در تماس با سطح زمین است.)، (۲) دیواره لاستیک (جذب کننده ضربات و شوکهای وارد شده به لاستیک و انتقال بارهای مربوط به فرمان، شتاب و ترمز می باشد.)، (۳) بید یا حلقه اطراف لاستیک (از تسمه های فولادی پیچیده شده در پارچه های بافته شده تشکیل شده است و به منظور تقویت رابطه بین لبه چرخها و لاستیک مورد استفاده قرار می گیرد.) و (۴) لایه های پوششی (از الیاف، رشته های نایلونی، ابریشم مصنوعی، پلی استر و یا فولاد تشکیل شده است و وظیفه ایجاد قدرت و ثبات برای لاستیک را فراهم می کند.) تشکیل شده اند. لاستیک یکی از عناصر مهم زندگی بشر بوده و استفاده از آن روز به روز در حال افزایش است. با توجه به تولید سالانه بیش از ۲۰۰ هزار تن لاستیک در ایران و مطرح شدن موضوع از رده خارج کردن خودروهای فرسوده که خود باعث افزایش لاستیک های فرسوده می شود، این مواد بسیار اهمیت پیدا می کنند. طبق آمار بدست آمده در کشورهای صنعتی در هر سال به ازای هر شهروند یک حلقه تایر مصرف می شود و این به معنی سرانه مصرف تقریبی ۹ کیلوگرم تایر در سال است. طبق آمارهای موجود جمعیت ۸۵ میلیون نفری ایران در هر سال حدود ۱۰ میلیون حلقه تایر مصرف می کنند [۱۸].

۳-۱- معضلات دفع تایرهای فرسوده

از آنجا که تایرهای فرسوده به راحتی تجزیه نمی گردند، انباشتگی غیرکنترل شده این مواد باعث وقوع مشکلات و به خطر انداختن سلامت جامعه و مردم می گردد که به طور خلاصه از جمله این خطرات را می توان به صورت زیر طبقه بندی نمود [۱۹]:

۱- تایرهای فرسوده به علت وزن مخصوص کم خود در مکان هایی که سطح آب زیرزمینی بالاست، به سطح گودال و محل دفن خود حرکت کرده و در سطح دپوها شناور می شود و خاک رس متراکم که به صورت لایه محافظ و پوشش جدا کننده عمل می کنند را می شکنند. از بین رفتن این لایه محافظ باعث می شود که آبهای سطحی و نزولات جوی به داخل محل دفن این زباله ها نفوذ کرده و تولید شیرابه مضر کند.

۲- توده عظیم تایرهای فرسوده با کمک کمی از اکسیژن هوا آتش می گیرد. حرارت حاصل از این آتش سوزی دارای شدت و دوام زیادی می باشد که حتی می تواند نزدیک به یک ماه پس از آتش سوزی از خود دود تولید کند (شکل ۱). دود تولید شده خطر بسیار جدی برای محیط زیست بوده که از جمله این گازهای خطرناک می توان به بنزن که باعث ایجاد سرطان خون و تولوئن که باعث از کار افتادن کلیه ها و کبد می گردد، اشاره کرد.

۳- بر اثر آتش گرفتن و ذوب شدن تایرها در لاستیک خودروهای سواری و کامیون ها حدود ۵ و ۲۲ گالن مایع مضر وارد محیط زیست می شود.

۴- محل انباشت تایرهای فرسوده بویژه باقی ماندن آب حاصل بارش های جوی از آن مکانی مناسب برای پرورش پشه ها و موش های صحرایی و جانوران مضر می باشد. بر اساس تحقیقات صورت گرفته در دانشگاه کنتاکی امریکا، بیماری های کشنده از چنین جانورانی می تواند به انسان ها و

حیوانات سرایت کند که از جمله این حشرات می توان به پشهای معروف به ببر آسیایی که ناقل بیماری ورم مغز است اشاره کرد.

۵- شکل خاص تایرهای فرسوده باعث می گردد که هنگام دپو کردن حجم زیادی را اشغال کنند که در شهرهایی که با کمبود فضا مواجه می باشند دپو کردن تایرها باعث ایجاد مشکلات فراوانی می گردد.

۶- علاوه بر موارد ذکر شده، ایجاد مناظری زشت در حومه شهرها و جاده ها که با ملاحظات شهرسازی کاملاً در تناقض می باشد از دیگر مشکلات انباشت تایرهای فرسوده می باشد (شکل ۲).

شکل ۱ دود ساطع شده از آتش سوزی لاستیک های فرسوده.

شکل ۲ محل انباشت و فضای گسترده اشغال شده توسط لاستیک های فرسوده.

۳-۲- نگرش اقتصادی به بازیافت تایر فرسوده

بسیاری به صنعت بازیافت تنها از دید محیط زیستی و یا حمایت های آن و یا به صنعتی که حداقل مواد اولیه ارزان و در دسترس داشته، اما بازدهی چندان مطلوبی ندارد، مینگرند. با در نظر گرفتن اینکه اتحادیه اروپا و آمریکا دارای صنعت اتومبیل سازی و تایرسازی گسترده ای بوده و از دیرباز با معضل انباشتگی حجیم تایرهای فرسوده و اثرات زیست محیطی آن مواجه بوده اند، امروزه مشاهده می گردد که با انجام تحقیقات و ایجاد صنایع بازیافت و کاربری مفید، موفق به کاهش دپو تایرهای فرسوده و استفاده بهینه از آن شده اند [۱۷].

۳-۳- روند بازیافت لاستیک های فرسوده

با توجه به بازدیدهای عینی صورت گرفته از کارخانه بازیافت لاستیک های فرسوده، مراحل تجزیه لاستیک فرسوده به فرآورده های گوناگون را می توان به صورت مختصر به شرح زیر بیان نمود [۱۴]:

۱- جمع آوری و انبار لاستیک های فرسوده: ابتدا با توجه به نیاز کارخانه، لاستیک های فرسوده از مکان های مختلف به محل کارخانه بازیافت حمل و انبار می شود.

۲- جدا نمودن مفتول های فولادی مصرف شده در لاستیک ها: در این مرحله سیم های مفتول تسلیح کننده لاستیک ها بوسیله دستگاه مخصوص جدا می گردد که این سیم ها خود ممکن است به مصارف گوناگون برسد. یکی از کاربردهای این مفتولها بعد از برش دادن به قطعات کوچکتر می تواند در بتن های مسلح با الیاف فولادی باشد.

۳- جداسازی الیاف و نخ تایرها: پس از جدا نمودن سیم های فلزی، لاستیک ها در دستگاه دوار بزرگی که به منظور تکه تکه کردن لاستیک ها ساخته شده است ریخته می شوند و آنها به قطعات کوچکتری تبدیل و پس از عبور از زیر دستگاه آهنربای قوی، ناخالصی های فلزی باقیمانده نیز جمع آوری و پس از فرآیندهایی، الیاف و نخهای تایر نیز در این مرحله جدا می گردند. این الیاف نیز کاربردهای گوناگون دارند. پس از این مرحله و طی فرآیندهای خاص، لاستیک به قطعات بسیار ریزتر تبدیل شده و اصطلاحاً گرانول نامیده می شود. لاستیک به صورت تراشه، دانه ای و یا پودر، به عنوان مصالح افزودنی به خاک رس، بتن، آسفالت و یا در خاکریزهای پشت دیوارهای حائل می توان مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۴- خصوصیات لاستیک های فرسوده

لاستیک های فرسوده دارای برخی مزایا هستند که در زیر به مهمترین آنها اشاره می شود [۱۹]:

۱- وزن سبک: چگالی خشک متراکم نوارهای لاستیک حدود یک سوم خاک است. این امر آنها را برای کاربرد به عنوان خاکریز سبک وزن برای ساخت خاکریز در مکانهایی که خاک پی ضعیف یا تراکم پذیر باشد مناسب می نماید. به خاطر چگالی پایین آنها، نوارهای لاستیک تنش افقی کمتری را نسبت به خاک های معمولی ایجاد می نمایند. اگر به عنوان خاکریز پشت دیوار حائل مورد استفاده قرار گیرند این امر فشار وارده خاک به پشت سازه را کاهش و موجب می شود دیوارها نازک تر باشند.

۲- هدایت هیدرولیکی: لاشه لاستیک و باریکه های آنها دارای هدایت هیدرولیکی بالایی می باشند. این امر آنها را برای کاربری های زهکشی یا در جایی که دفن عاری از زهکشی مورد نیاز می باشد مناسب می نماید. این مصالح دارای خاصیت زهکش مناسبی در حدود نفوذپذیری شن می باشد.

۳- مقاومت بالا: لاستیک ها موادی بی اثر، غیرسمی، تجزیه ناپذیر در محیط زیست و مقاوم در برابر انواع مختلف مواد شیمیایی و شرایط جوی می باشند. مقاومت فشاری و سختی مخلوط خرده لاستیک - خاک به طور معمول بیشتر از مقاومت خاکهای متراکم شده در پشت دیوار حائل می باشند.

۴- پایداری بالا: مخلوط ماسه با خرده لاستیک دارای زاویه اصطکاکی در حدود ۳۵ تا ۴۰ درجه می باشد.

۵- مقاومت تحت بارهای دینامیکی: مخلوطهای خرده لاستیک - ماسه، در بارگذاری های متناوب سیکلی مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهد، زیرا با ایجاد قفل و بست بین ذرات، مقاومت در برابر بارهای دینامیکی افزایش می یابد و از طرفی احتمال روانگرایی پایینی دارند.

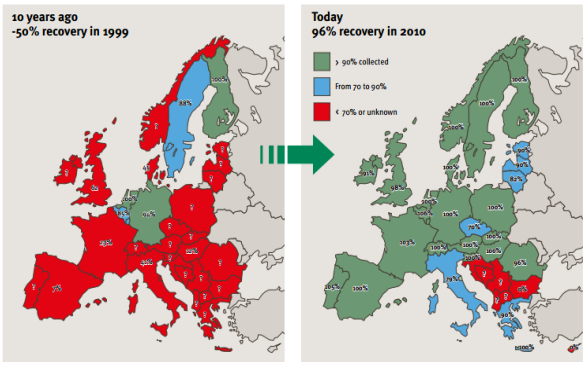
۶- مقاومت حرارتی: مقاومت حرارتی لاستیک حدود هفت تا هشت برابر بالاتر از خاک دانه ای است. لاستیک ها بدین ترتیب جایگزینی مناسب جهت استفاده در لایه های عایق بندی می باشند.

لازم به ذکر است که تایرهای ضایعاتی دارای خصوصیاتی می باشند که استفاده از آنها در پروژه های مهندسی عمران مناسب می باشد. این موارد شامل خصوصیات سبک وزنی، دوام، بی اثر بودن و داشتن عایق حرارتی مناسب و مواردی از این دست است. قبل از استفاده از تایرهای فرسوده در

پروژه های عمرانی انجام بررسی های زیست محیطی از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. چگالی پایین، آنها را به عنوان زباله سبک وزن در نواحی با زمین نرم و به عنوان خاکریز برای سازه های دیوار حائل مناسب می نماید [۱۱].

۴- ضایعات لاستیکی تایرهای فرسوده و مزایای استفاده از آن در مخلوط های آسفالتی

همانطور که بیان شد سالیانه حدود یک میلیارد تایر ضایعاتی در دنیا تولید می‌شود و معضل وجود لاستیک‌های مستعمل در جهان امروزه یکی از دغدغه‌های کلان مدیریتی محسوب می‌شود. به دلیل کمبود فضای دفن زباله و مباحث زیست محیطی بازیافت تایرهای فرسوده امری ضروری به نظر می‌رسد. افزایش تعداد وسایل نقلیه در جاده‌ها باعث تولید سالانه میلیون‌ها لاستیک در کشورهای در حال توسعه می‌شود. هر ساله، در حدود ۱/۴ میلیارد تایر در سراسر جهان به فروش می‌رسد که بسیاری از آنها در نهایت پس از چند سال، به پایان عمر خود می‌رسند. با توجه به حجم تولید بالا و دوام طولانی لاستیک‌ها، این موضوع یکی از بزرگترین و مشکل‌سازترین مسائل در زمینه بازیافت منابع به حساب می‌آید. به گزارش آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، در سال ۲۰۰۳ در حدود ۲۹۰ میلیون حلقه لاستیک فرسوده وجود داشته است که این مقدار در اروپا هر ساله در حدود ۳۵۵ میلیون حلقه می‌باشد. شکل ۳، رشد بازیافت لاستیک های فرسوده از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۰ را در اتحادیه اروپا نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، این رشد صعودی بوده و این مسئله، اهمیت بازیافت این محصول در کشورهای توسعه یافته را نشان می دهد [۱۹].



شکل ۳ مقایسه درصد بازیافت لاستیک در اروپا در طی سالهای ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۰ [۱۹].

به طور کلی بازیافت لاستیک‌های مستعمل به چند روش انجام می‌شود که از مهمترین این روشها می توان به موارد زیر اشاره نمود [۲۰]:

۱- جمع آوری و استفاده مجدد به عنوان لاستیک دسته دو در کشورهایی که استفاده از خودرو در آنها رو به افزایش است نظیر برزیل، دمونیکن، السالوادور، هندوراس و مکزیک که جزو بزرگترین خریداران لاستیک دسته دو در دنیا هستند که به صورت مستقیم یا با ایجاد روکش مجدد روی لاستیک به استفاده مجدد از آن می‌پردازند.

۲- جمع آوری و تبدیل به گرانول یا خرده لاستیک که خود شامل چند نوع فرآیند استفاده شامل مخلوط‌های آسفالتی، قیرهای اصلاح شده، کفپوش‌ها و مواردی از این قبیل می باشد.

امروزه گسترش سریع شبکه راه‌ها، افزایش ترافیک و بار محوری ناشی از آن، مهندسان حمل و نقل و ترافیک را ملزم به چاره اندیشی جهت بالا بردن کیفیت راه‌ها نموده است. بدین ترتیب با تبدیل لاستیک به خرده یا پودر پلاستیک و استفاده از آن به عنوان یک افزودنی و اصلاح کننده رفتار عملکردی قیر بخشی از نگرانی‌ها از بابت مسائل زیست محیطی و در پی آن عدم کارایی لازم مخلوط‌های آسفالتی مرتفع شده است. استفاده از پودر لاستیک در آسفالت علاوه بر تاثیر مثبت بر مسائل زیست محیطی و اقتصادی، به عنوان یک الاستومر باعث بهبود قابل توجه خواص مکانیکی و رئولوژیکی قیر می‌شود. شکل ۴ فرآیند استفاده از لاستیک در روسازی جاده ها را نشان می دهد. با توجه به اهمیت استفاده از خرده لاستیک ضایعاتی در مخلوط های آسفالتی، در این بخش با مطالعه برخی از تحقیقات گذشته، به بررسی و ارزیابی استاده از آن پرداخته شده است. به همین منظور ابتدا فرآیندهای مختلف استفاده از خرده لاستیک های بازیافتی در آسفالت معرفی شده و سپس استفاده از لاستیک ضایعاتی جهت بهبود خواص قیر و مخلوط های آسفالتی مورد بررسی قرار گرفته است.

شکل ۴ فرایند استفاده از لاستیک در روسازی جاده ها.

- فرآیندهای استفاده از خرده لاستیک های بازیافتی در آسفالت

به طور کلی استفاده از لاستیک در آسفالت به طور کلی به دو روش «فرایند مرطوب» و «فرآیند خشک» صورت می گیرد که در ادامه به بررسی و معرفی این فرآیندها پرداخته شده است.

۴-۱- فرایند مرطوب

در فرایند مرطوب، خرده لاستیک با اندازه ۰/۱۵ تا ۰/۶ میلیمتر برای حداقل ۴۵ دقیقه و به طور میانگین ۱ تا ۲ ساعت در درجه حرارت بالا (حدود ۱۹۰ تا ۲۱۸ درجه سانتیگراد) و قبل از تماس با سنگدانه، به قیر افزوده می شود. معمولاً در محدوده ۱۸ تا ۲۶ ٪ از وزن قیر این کار صورت می گیرد. در چنین دمای بالایی، پیوندهای فیزیکی و شیمیایی زیادی بین اجزا تولید می‌شود. این نوع واکنش‌ها از نوع برهم کنش‌های فیزیکی و شیمیایی هستند که ذرات لاستیک، متورم شده و ویسکوزیته افزایش می‌یابد. در زمان‌های اختلاط طولانی‌تر، ذرات لاستیک تخریب شده و ویسکوزیته کاهش می‌یابد. اگر ویسکوزیته به سطح مطلوبی کاهش نیابد، از یک ماده جایگزین روان‌کننده استفاده می‌شود. در این فرآیند بسته به نوع مصالح، دما تغییر می‌کند. برای مثال دمای ۱۶۳ تا ۱۹۰ درجه سانتیگراد برای مخلوط آسفالت گرم با دانه‌بندی متراکم و دمای ۱۳۵ تا ۱۶۳ درجه سانتیگراد برای مصالح با دانه بندی باز مناسب خواهد بود. طی این فرآیند، بخش های سبک قیر به داخل لاستیک انتقال یافته و ذرات لاسیک را بزرگتر و سخت تر

می کند. این موضوع ویسکوزیته ماده حاصله را افزایش می دهد و یک ویسکوزیته ثابت معقول، نشان دهنده تکمیل واکنش است. در تئوری مربوط به تولید مخلوط های آسفالتی، چنین فرآیندی می تواند ترک خوردگی حرارتی آسفالت از بالا به پایین و از پایین به بالا را کاهش دهد و در ادامه موجب بهبود دوام مخلوط (به عنوان مثال مقاومت در برابر رطوبت، اکسیداسیون و خستگی) در این فرآیند شود. اثر اصلاح تحت تاثیر اجزای سازنده قیر اصلی، دما و زمان اختلاط، درصد و دانه بندی خرده لاستیک می باشد. انجمن بزرگراه های ایالتی آمریکا (FHWA) معتقد است که ذرات لاستیک در فرایند مرطوب، موجب کاهش مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی شده و در نتیجه مقاومت در برابر تغییر شکل دائمی را کاهش می دهد [۲۱]. براساس تحقیقات انجام شده در کشورهای برزیل و هند، مشاهده شده است که ذرات لاستیک باعث افزایش سختی و مقاومت کششی بالاتر مخلوط آسفالتی در دماهای بالا می شوند. همچنین برای عملکرد مطلوب مخلوط های آسفالتی حاوی خرده لاستیک در دمای پایین نیز در دانشگاه ایالتی کانزاس در امریکا پیشنهاد گردید که محتوای ذرات لاستیک از محدوده ۱۸ تا ۲۲ ٪ به محتوای ۶ تا ۹ ٪ تغییر یابد. همچنین براساس تحقیقات صورت گرفته در دانشگاه ایالتی آریزونا در امریکا بیان شد که طول عمر خستگی آسفالت بیشتر به ازای مقدار بیشتری از محتوای ذرات لاستیک به وجود می آید. علاوه بر این تحقیقات انجام شده درخصوص عملکرد و خصوصیات مخلوط های آسفالتی حاوی خرده لاستیک در دانشگاه لیورپول در کشور انگلستان نشان داد که مقدار مجاز خرده لاستیک جهت تهیه مخلوط های آسفالتی با کیفیت، در حدود ۰/۳ تا ۰/۶ میلیمتر با محتوای ۱۰ ٪ و حاوی قیر ۵۰-۱۰۰ است که خصوصیات مطلوبی را از نظر مقاومت در برابر شیارشدگی، شکستگی و خستگی در چنین مخلوط های آسفالتی فراهم می نماید. همچنین نتایج برخی از مطالعات صورت گرفته درخصوص تاثیر ترکیب فوق برای ساخت رویه آسفالتی نشان داده است که مخلوط فرق، میزان سروصدای ناشی از حرکت وسایل نقلیه در روسازی راه ها را حداقل تا ۵۰ ٪ کاهش می دهد [۲۲].

همچنین نتایج تحقیقات دیگری نشان داده است که اضافه کردن خرده لاستیک در مخلوط آسفالت متراکم، باعث کاهش ضخامت لایه آسفالت به میزان ۲۰ تا ۵۰ ٪ شده و این موضوع بدون افت کارایی آسفالت قابل حصول است که این موضوع می تواند تاثیر بسزایی در کاهش هزینه های تولید آسفالت برای لایه های روسازی جاده ها به همراه داشته باشد. علاوه بر این کاهش ضخامت رویه آسفالت با اضافه شدن خرده لاستیک ضایعاتی به مخلوط آسفالت و حفظ کارایی آن مطابق با شرایط اولیه، با انجام آزمایش بارگذاری سریع در دانشگاه برکلی در کالیفرنیای آمریکا و همچنین کشور آفریقای جنوبی نیز تایید شده است. یکی دیگر از مزایای استفاده از خرده لاستیک ضایعتی در آسفالت، طولانی تر کردن عمر روسازی است. بر این مبنا، نتایج تحقیقات انجام شده در کشور برزیل نشان داده است که وجود خرده لاستیک به مقدار ۱۵ ٪ در مخلوط آسفالتی گرم، در حدود ۶ بار، آهسته تر باعث گسترش ترک در رویه جاده می گردد [۲۳].

۴-۲- فرآیند خشک

در فرآیند خشک، اندازه خرده لاستیک های مورد استفاده در مخلوط آسفالتی در حدود ۰/۸۵ تا ۶/۴ میلیمتر جهت دانه بندی مناسب است و به طور معمول نرخ جایگزینی خرده لاستیک در مخلوط آسفالتی به جای مصالح اولیه مخلوط، در حدود ۳ تا ۵ ٪ جرم مصالح پیشنهاد شده است. شایان ذکر است که درصد خرده لاستیک دراین فرآیند ۴-۲ برابر فرایند مرطوب است. همچنین لازم به ذکر است که طی فرآیند خشک، خرده لاستیک به مصالح اضافه شده و سپس قیر به مخلوط اضافه می‌شود. یکی از مهمترین خواص آسفالت های تولید شده در فرآیند خشک دارای خرده لاستیک های ضایعاتی، کاهش سر و صدای ناشی از حرکت وسایل نقلیه بر روی آسفالت است. علاوه بر این، استفاده از خرده لاستیک ضایعاتی در مخلوط های آسفالتی، موجب افزایش ۱۰ تا ۲۰ ٪ از محتوای بیندر مورد نیاز در مخلوط شده و همین مسئله می تواند مدول برجهندگی آسفالت را تا حد قابل قبولی کاهش داده و سبب افزایش ضخامت لایه شود. همچنین نتایج برخی دیگر از تحقیقات صورت گرفته درخصوص استفاده از آزمایشات با فرآیند خشک جهت استفاده از خرده لاستیک بازیافتی در مخلوط های آسفالتی نشان داده است که تغییر شکل دائمی مخلوط کاهش یافته و همچنین تجزیه و تحلیل های صوتی و اندازه گیری میدانی ارتعاشات صوتی در چنین مخلوط هایی تایید کرده است که روسازی آسفالت لاستیکی میزان صداهای ترافیکی را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می دهد [۲۴].

۴-۳- استفاده از لاستیک ضایعاتی جهت بهبود خواص قیرهای آسفالتی

قیرهای به دست آمده از نفت خام یا قیر طبیعی که سالیان دراز عمدتاً به عنوان ماده چسباننده در ساخت جاده‌ها و یا دیگر مصارف عایقکاری و پوششی به کار می‌رود، هیچ گاه از یک سری خواص فیزیکی و مکانیکی کاملاً رضایتبخش برخوردار نبوده و با توجه به خواص فیزیکی و مکانیکی محدود، از قابلیت کاربردی محدود و زمان سرویس‌دهی مشخص برخوردار هستند. یکی از روش‌های مهم جهت بهبود عملکرد مخلوط‌های آسفالتی در شرایط دمایی مختلف اصلاح قیر می‌باشد. اصلاح خواص قیر باعث بالا رفتن کیفیت آن و افزایش عمر سرویس دهی پوشش شده و درنتیجه هزینه‌های نگهداری و تکرار پوشش به نحو چشمگیری کاسته خواهد شد. با توجه به تأثیر مهم قیر بر شرایط عملکرد مخلوط‌های آسفالتی، مطالعات زیادی در جهت افزایش کیفیت قیر انجام شده است. اصلاح قیر از طریق پلیمر یکی از رایج‌ترین روش‌های افزایش کیفیت قیر می باشد. در سال‌های اخیر استفاده از پلیمرهای بازیافتی به جای پلیمرهای خالص، با هدف سازگاری با محیط زیست و به عنوان روشی مناسب در جهت دفع مواد زائد، رشد قابل‌توجهی پیدا کرده است. یکی از مواد اصلاح کننده و پلیمرهای بازیافتی که اخیراً توجه محققین را به خود جلب نموده، استفاده از پودر لاستیک ضایعاتی است. کاربرد عمده پودر لاستیک در قیر، استفاده به عنوان مکمل قیر در آسفالت‌های پلیمری است [۲۵]. نتایج استفاده از پودر لاستیک در قیر اصلاح شده نشان می دهد که پودر لاستیک باعث سختی قیر و افزایش خاصیت ارتجاعی (تغییر شکل قابل بازیابی) در محدوده دمای درجه عملکردی می‌شود. نتایج آزمایشهای رئولوژیکی انجام گرفته بر روی قیر اصلاح‌شده دارای پودر لاستیک، بهبود خواص این نوع قیر را در دو محدوده دمایی سرد و گرم تأیید می‌کنند. به طوری که با اضافه نمودن پودر لاستیک به قیر می‌تواند باعث افزایش ۱ تا ۳ رده عملکردی در حد بالا و بهبود ۱ تا ۲ رده عملکردی در حد پایین دمای عملکردی شود. بنابراین روی هم رفته، دامنه دمای عملکردی قیر از دو طرف افزایش می‌یابد [۲۶].

نتایج پژوهش ها نشان می دهد که افزایش پودر لاستیک در قیر اصلاح شده نقطه نرمی را افزایش و درجه نفوذ را کاهش می‌دهد و مقدار مدول برجهندگی قیر با افزایش استفاده از پودر لاستیک افزایش می‌یابد که در دمای بالای روسازی، مسئله ای بسیار ارزشمند است. همچنین این نتیجه نیز

حاصل شده است که درصد استفاده بیشتر از پودر لاستیک رفتار الاستیک قیر را افزایش می دهد که این امر باعث دوام بیشتر در مقابل تغییر شکل دائمی و شیار افتادگی مخلوط آسفالتی است. همچنین با افزایش درصد استفاده از پودر لاستیک در قیر اصلاح شده، شاخص مکانیزم ترک خوردگی و خستگی در دماهای میانی کاهش می‌یابد [۲۷]. همچنین نتایج آزمایش خزش بر روی قیر تولید شده با پودر لاستیک نشان می‌دهد که رفتار این نوع قیرها به رفتار قیر ایده‌آل نزدیک است. داده‌های رئولوژیکی، بهبود خواص قیر در دو محدوده دمایی سرد و گرم را تائید می‌کند. انواع مختلف خرده لاستیک اثرات متفاوتی بر روی خواص قیر دارد. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که مخلوط‌های آسفالتی ساخته شده با قیرهای دارای پودر لاستیک، دارای مقاومت خوبی در مقابل شیارشدگی و تغییر شکل‌های دائم هستند [۲۸].

۴-۴- مزایای استفاده از لاستیک ضایعاتی در روسازی‌های آسفالتی

۴-۴-۱- عدم افزایش دپوهای لاستیک

استفاده مجدد از لاستیک‌های فرسوده در صنعت به جای افزایش روزانه انبارها و دپوهای آن و ایجاد مشکلات زیست محیطی، اولین فایده بازیافت لاستیک‌های فرسوده می‌باشد. طبق آمارهای موجود سالانه بیش از ۱۲ میلیون حلقه تایر (۲۵۰ هزار تن) در ایران مصرف می‌شود و پیش بینی می شود در افق ۱۴۰۴ سالانه یک میلیون و ۴۰۰ هزار تن لاستیک فرسوده در کشور تولید شود [۲].

۴-۴-۲- مفیدترین صورت استفاده از لاستیک‌های فرسوده

سوزاندن لاستیک‌های فرسوده برای تأمین انرژی، روشی مؤثر برای از استفاده مجدد از لاستیک‌های فرسوده است، اما این کار علاوه بر اینکه لاستیک را از بین می‌برد، به جای آن خاکستر بر جای می‌گذارد که دفع خاکستر ایجاد شده نیز خود مشکلی دیگر است. تحقیقات حاکی از آن است که استفاده از آسفالت لاستیکی در یک باند به طول یک کیلومتر و ضخامت ۲۵ میلیمتر، به مقداری در حدود ۶۲۰ حلقه لاستیک احتیاج دارد یا به عبارتی ۲ حلقه لاستیک در هر تن آسفالت لاستیکی بازیافت می‌گردد [۴].

۴-۴-۳- کاهش سر و صدا

سر و صدا و آلودگی صوتی در بزرگراه ها و تقاطع ها یکی از مشکلات ترافیکی و حمل و نقل می باشد که در سال های اخیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. کاهش صدای ترافیک عبوری (صدای چرخ) یکی دیگر از مزایای زیست محیطی استفاده از لاستیک در آسفالت می‌باشد که در کشورهای مختلف بررسی شده و به اثبات رسیده است. . بررسی ها نشان می دهند که استفاده از آسفالت لاستیکی موجب کاهش سر و صدا تا ۵ دسی بل در طول عمر روسازی می‌شود. جدول ۱ به مقایسه نتایج صدا در مخلوط های آسفالتی معمولی و لاستیکی در جاده‌های شهر ساکرامنتو در کالیفرنیا آمریکا می پردازد [۲۲].

جدول ۱ نتایج صدا در مخلوط های آسفالتی معمولی و لاستیکی [۲۲].

Roadway	Pavement Type	Duration of Time Elapsed After Paving	Change in Noise Levels, dB Leq
Alta Arden Expressway	Rubberized Asphalt	1 month	-6 dB
		16 months	-5 dB
		6 years	-5 dB
Antelope Road	Rubberized Asphalt	6 months	-4 dB
		5 years	-3 dB
Bond Road	Conventional Asphalt	1 month	- 2 dB
		4 years	0 dB

۵- صرفه اقتصادی

هزینه اولیه اجرای مخلوط‌های آسفالت لاستیکی بالاتر از هزینه اولیه اجرای مخلوط‌های آسفالتی معمولی می‌باشد. هزینه اولیه بالاتر این مخلوط‌ها یکی از موانع استفاده گسترده از آن است. در سال ۱۹۹۰، اداره راه و ترابری ایالت آریزونا یک پروژه وسیع آسفالت لاستیکی در یکی از بزرگراه‌های بین ایالتی که دارای ترافیک بالایی بود، طراحی و اجرا کرد. با توجه به نتایج بدست آمده، پس از ۹ سال سرویس‌دهی لایه روکش همچنان بدون ترک با کیفیت خوب و مقاومت بالا در برابر لغزندگی در حال استفاده بود. مزایای استفاده از مخلوط آسفالت لاستیکی در این پروژه حدود ۱۸ میلیون دلار و چهار سال عمر بیشتر گزارش شده است. هر ساله بیش از ۲۸۰ میلیون لاستیک قراضه در ایالات متحده تولید می شود که از این تعداد، بیش از ۶۰ میلیون آن استفاده نشده و در انبارها ذخیره می‌شود. استفاده از آسفالت لاستیکی یک راه حل مفید برای این مشکل است. بسته به برنامه انتخاب شده و درصد پودر لاستیک مصرفی، بین ۵۰۰ و ۲۰۰۰ لاستیک قراضه را می‌توان در هر مایل خط از روسازی استفاده می‌کرد. به عبارت دیگر، برای یک مایل از یک بزرگراه چهار خطه، بین ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ لاستیک می توان استفاده نمود که باعث افزایش ایمنی و مقاومت روسازی و کاهش آلودگی صوتی و هزینه های تعمیر و نگهداری راه می‌شود.

۵-۱- تاثیر لاستیک ضایعاتی بر خصوصیات مخلوط های آسفالتی

نتایج تحقیقات گذشته به دفعات زیاد نشان داده است که استفاده از خرده لاستیک‌های بازیاقتی در مخلوط‌های آسفالتی، موجب کاهش خرابی روسازی می‌شود که این بهبود در انواع خرابی‌های روسازی مشهود است. در ادامه برخی از خصوصیات آسفالت‌های لاستیکی که منجر به کاهش خرابی-های روسازی می‌شود، مورد بررسی قرار گرفته است.

۱- کاهش ترک‌های انعکاسی در روکش‌های آسفالتی: شکل ۵ دو قطعه مجاور از مسیر I-40 در آمریکا می‌باشد که یکی از آن‌ها با مخلوط آسفالت معمولی و دیگری با آسفالت لاستیکی ساخته شده است. اگرچه ضخامت قطعه‌ای که با مخلوط آسفالت لاستیکی اجرا گردیده، نصف ضخامت قطعه ساخته شده با مخلوط آسفالت معمولی است، ولی پس از ۸ سال دارای کیفیت به مراتب بهتری است. تصویر سمت راست مربوط به بوجود آمدن ترک های انعکاسی در آسفالت معمولی می باشد و تصویر سمت چپ، عدم بوجود آمدن ترک های انعکاسی در آسفالت لاستیکی را نشان می دهد.

الف) روکش با مخلوط آسفالت معمولی

ب) روکش با مخلوط آسفالت لاستیکی

شکل ۵ تاثیر استفاده از لاستیک بر روکش آسفالتی دو قطعه مجاور از مسیر I-40 در کشور آمریکا.

۲- کاهش هزینه های نگهداری: به طور کلی، روسازی جاده ها با آسفالت معمولی نیاز به نگهداری و تعمیر هر ساله دارد. لاستیک موجب اصلاح آسفالت و افزایش مقاومت در برابر ترک خوردگی و پیرشدگی روسازی می شود. به طور کلی پودر لاستیک عمر روسازی را افزایش داده و هزینه های تعمیر و نگهداری راه را کاهش می دهد.

۳- افزایش عمر روسازی: روسازی آسفالتی پس از قرار گرفتن در معرض عناصر مختلف و بر اثر اکسیداسیون، مقداری از کشش پذیری و انعطاف پذیری خود را از دست می دهد. در طی این فرآیند، مواد روسازی در معرض تنش های مکرر ناشی از انبساط و انقباض و تغییرات دمایی قرار می گیرند و شروع به ترک خوردگی می کنند. مخلوط آسفالتی لاستیکی به طور کلی در برابر شکل‌گیری این ترک بهتر از مخلوط آسفالتی معمولی از خود واکنش نشان می دهد. نه تنها آسفالت لاستیکی انعطاف پذیری بیشتری نسبت به آسفالت معمولی دارد، بلکه مقاومت بالاتری در برابر پدیده پیرشدگی از خود نشان می دهد که این اثر ضد پیری ناشی از آنتی‌اکسیدان‌های موجود در لاستیک بازیافتی می باشد. شکل ۶ مقطع یک راه را در دو حالت آسفالت معمولی و لاستیکی نشان می‌دهد. تصویر سمت راست قبل از استفاده از آسفالت لاستیکی می باشد و تصویر سمت چپ، همان مسیر را ۱۶ سال پس از اجرای روسازی با مخلوط آسفالت لاستیکی نشان می دهد.

الف) مخلوط آسفالت معمولی

ب) مخلوط آسفالت لاستیکی

شکل ۶ تاثیر استفاده از لاستیک ضایعاتی بر افزایش عمر روکش آسفالتی.

۵-۲- تاثیر خرده لاستیک ضایعاتی بر خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی

از عمده‌ترین مزایای استفاده از خرده لاستیک در تهیه مخلوط‌های آسفالتی می‌توان به مواردی همچون افزایش خاصیت کشش پذیری در دمای پایین، الاستیسیته بهبود یافته پوشش، ویسکوزیته و چسبندگی بیشتر و مقاومت در برابر شیارشدگی، بهبود خواص رئولوژیکی، کاهش درجه نفوذ (درجه نفوذ قیر در دماهای بالا به شدت و در دماهای پایین اندکی کاهش می‌یابد)، افزایش نقطه نرمی، کاهش شکنندگی در درجه حرارت پایین، کاهش مدول مصالح، کاهش صدای چرخ، مقاومت بیشتر در برابر یخ زدگی سطوح متخلخل، مقاومت ترمز بالاتر، دید بهتر در شب، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، کاهش حساسیت دمایی مخلوط آسفالتی، بهبود مقاومت خستگی آسفالتی و کاهش تنش در سطح آسفالت، افزایش نقطه نرمی و افزایش انعطاف پذیری آسفالت در فشارهای ناشی از بار ترافیکی بالا و مواردی از این قبیل اشاره کرد. با توجه به نقش و اهمیت بسزای خرده لاستیک در مخلوط های آسفالتی، در ادامه برخی از خصوصیات آسفالت های لاستیکی تهیه شده با خرده لاستیک در مقایسه با آسفالت معمولی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۶- خصوصیات فیزیکی آسفالت لاستیکی

در جداول ۲ و ۳، نتایج مربوط به خواص فیزیکی آسفالت معمولی و آسفالت اصلاح شده دارای خرده لاستیک ضایعاتی ارائه شده است. براساس نتایج بدست آمده مشاهده می شود که مقدار خرده لاستیک، تاثیر بسزایی بر افزایش نفوذ و انعطاف پذیری آسفالت دارد؛ به طوری که با افزودن مقدار خرده لاستیک در مخلوط آسفالتی، نقطه نرمی آسفالت لاستیکی در مقایسه با آسفالت معمولی کاهش یافته است. نفوذ بیشتر و نقطه نرمی کمتر در آسفالت اصلاح شده دارای خرده لاستیک ضایعاتی نشان می دهد که استفاده

از خرده لاستیک ضایعاتی، منجر به کاهش سختی آسفالت و در نتیجه افزایش انعطاف پذیری آسفالت شده است [۲۹].

جدول ۲ ویژگی های آسفالت معمولی با درجه نفوذ ۷۰/۶۰ [۲۹].

Asphalt Properties	Standard Test Method	Standard Requirements (Asphalt 60-70)	Test Results
Penetration at 25°C, dmm	SNI 06-2456-1991	60-70	64.3
Ductility at 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	≥ 100	105
Softening Point, °C	SNI 06-2434-1991	≥ 48	52.2
Specific gravity	SNI 06-2441-1991	>1.0	1.03
Flash Point, °C	SNI 06-2433-1991	≥ 232	340

جدول ۳ ویژگی های آسفالت اصلاح شده دارای خرده لاستیک ضایعاتی [۲۹].

Asphalt Properties	Standard Test Method	Standard Requirements (Modified Asphalt)	Test Results (Crumb rubber size #40)		Test Results (Crumb rubber size #40)	
			1%	2%	1%	2%
Penetration at 25°C, dmm	SNI 06-2456-1991	Min. 40	41.33	44.00	43.80	41.50
Ductility at 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	≥ 100	111	25	98	54
Softening Point, °C	SNI 06-2434-1991	≥ 54	54.06	57.96	57.35	65.35
Specific gravity	SNI 06-2441-1991	>1.0	1.033	1.033	1.033	1.033
Flash Point, °C	SNI 06-2433-1991	≥ 232	334	345	345	350

۶-۱- مقدار بهینه آسفالت لاستیکی

در جدول ۴، نتایج مربوط به مقدار آسفالت بهینه، براساس تغییر محتوای آسفالت به اندازه ۵، ۵/۵، ۶ و ۶/۵ ٪ از وزن آسفالت و تاثیر آن بر نتایج آزمایش مارشال ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که استفاده از خرده لاستیک تاثیر معنی داری بر محتوای آسفالت بهینه نداشته، اما تمایل دارد که محتوای آسفالت مطلوب مخلوط آسفالت را کاهش دهد [۲۹].

جدول ۴ مقدار آسفالت بهینه دارای خرده لاستیک ضایعاتی [۲۹].

Type of asphalt mixture	Unmodified asphalt mixtures	Crumb rubber modified asphalt mixtures (#40)		Crumb rubber modified asphalt mixtures (#80)	
		1%	2%	1%	2%
Optimum asphalt content (%)	6.0	5.5	5.3	5.5	5.5

۶-۲- مقاومت مارشال آسفالت لاستیکی

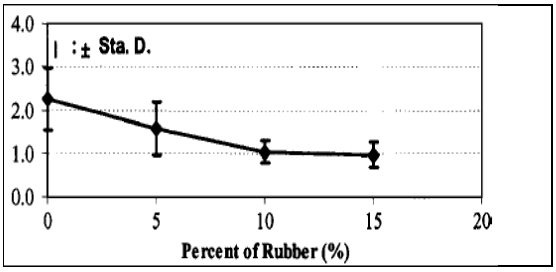
در جدول ۵ نتایج مربوط به آزمون مارشال برای نمونه های مختلف مخلوط های آسفالتی اصلاح شده دارای خرده لاستیک ضایعاتی در مقایسه با مخلوط آسفالت معمولی ارائه شده است. نتایج آزمایشات مارشال و جریان بر اساس مقدار آسفالت بهینه، نشان می دهد که استفاده از خرده لاستیک به عنوان یک ماده افزودنی در مخلوط آسفالتی دارای نتایج مطلوبی است، زیرا تمام پارامترهای موجود در استاندارد مورد نیاز است. به عنوان مثال نتایج حاصل از تست مارشال نشان داده است که مقدار خرده لاستیک، منجر به افزایش مقاومت مارشال و کاهش پارامتر جریان مخلوط آسفالتی شده است. مقدار مقاومت مارشال، که نسبت پایداری به جریان است، نشان دهنده قدرت و کیفیت مخلوط آسفالت است. مقدار بالاتر مقاومت مارشال نشان می دهد مخلوط آسفالتی دارای انعطاف پذیری بیشتری بوده و مقاومت بیشتری را در مقابل ترک خوردگی از خود نشان می دهد. همچنین مقدار جریان پایین تر برای مخلوط آسفالتی نشان می دهد که مخلوط دارای مقدار آسفالت کمتری است. علاوه بر این نتایج نشان داده است که علاوه بر رطوبت بیشتر، حفره هایی از مخلوط آسفالتی که با قیر پر می شوند (VFB)، کاهش یافته و این کاهش به منزله کاهش ضخامت مورد نیاز برای اجرای رویه آسفالتی است [۲۹].

جدول ۵ مشخصات مارشال مخلوط آسفالت معمولی در مقایسه با آسفالت لاستیکی دارای درصدهای مختلف خرده لاستیک ضایعاتی [۲۹].

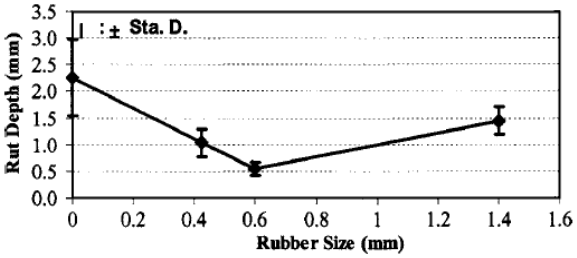
Type of asphalt mixture	Unmodified asphalt	Crumb rubber modified asphalt mixtures (#40)		Crumb rubber modified asphalt mixtures (#80)		Standard requirements (SNI 8198:2015)
		1%	2%	1%	2%	
Marshall Stability (kg)	1033.35	1210.10	1228.38	1393.53	1418.50	Min 800 (for unmodified asphalt concrete mixtures) Min 1000 (for modified asphalt concrete mixtures)
Flow (mm)	3.56	3.56	3.22	3.56	3.30	3-4.5
Marshall Quotient (kg/mm)	290.62	340.58	382.39	398.71	430.32	Min 250 (for unmodified asphalt concrete mixtures) Min 300 (for modified asphalt concrete mixtures)
VFB (%)	79.11	77.45	74.66	76.03	75.69	Min 65

۶-۳- مقاومت شیارشدگی و لغزندگی آسفالت لاستیکی

پودر لاستیک سختی و مقاوت قیر آسفالتی را افزایش می دهد که این امر باعث افزایش مقاومت در برابر شیارشدگی مخلوط آسفالتی می شود. همچنین، استفاده از آسفالت لاستیکی موجب بهبود مقاومت لغزندگی می شود که این امر موجب افزایش ایمنی و کاهش تصادفات رانندگی می شود. در شکل ۷-الف تاثیر درصد خرده لاستیک بر عمق شیارشدگی مخلوط بتن آسفالتی حاوی خرده لاستیک نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که عمق شیارافتادگی مخلوط آسفالتی، با افزایش درصد خرده لاستیک، کاهش یافته است. بنابراین می توان دریافت که مقاومت دائمی در برابر شیارهای ایجاد شده در مخلوط، با افزایش درصد خرده لاستیک، افزایش می‌یابد. در مقایسه با مقاومت کششی غیرمستقیم آسفالت، مقاومت شیارشدگی آسفالت، به بارگیری تکراری منتهی می شود. فرض بر این است که اتصال دهنده اصلاح شده با لاستیک خرده می تواند توانایی بیشتری در جذب بار ترافیکی نسبت به تست تنشهای غیرمستقیم داشته باشد و همین موضوع سبب افزایش مقاومت در برابر شیارافتادگی می شود [۳۰]. علاوه بر این در شکل ۷-ب، اثر اندازه خرده لاستیک بر عمق شیارشدگی مخلوط های آسفالت لاستیکی نشان داده شده است. براساس نتایج می توان دریافت که اندازه مطلوب خرده لاستیک، زمانی که عمق شیارافتادگی حداقل باشد، به وجود می آید. لازم به ذکر است که این نتیجه بر اساس داده های آزمایش محدود است و باید بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. چراکه اثر اندازه خرده لاستیک بر مقاومت شیارافتادگی آسفالت لاستیکی به نوع اتصال دهنده بین مخلوط های آسفالتی نیز وابسته است [۳۰].



الف) عمق شیارافتادگی بر حسب درصد خرده لاستیک



ب) عمق شیارافتادگی بر حسب اندازه خرده لاستیک

شکل ۷ عمق شیارافتادگی مخلوط آسفالتی حاوی ۲۵ درصد خرده لاستیک

۷- نتیجه‌گیری

با گسترش روزافزون وسایل نقلیه و از رده خارج شدن خودروهای فرسوده، سالانه حجم زیادی از تایرهای فرسوده در سراسر جهان تولید و انباشت می شود. این مسئله، نگرانی‌های زیادی را در مورد دفع ضایعات لاستیکی حاصل از تایرها ایجاد نموده است. بر این اساس، در سالهای اخیر محققین به فکر استفاده مجدد از خرده لاستیک های فرسوده و بازیافتی در پروژه های عمرانی افتاده اند. از اینرو، امروزه روشهای ابتکاری بسیاری برای بازیافت و استفاده دوباره از این مواد گسترش یافته اند که با توجه به برتری-های خرده لاستیک همچون چگالی کم، دوام بالا، عایق حرارتی بالا، هزینه کم و مواردی از این قبیل، استفاده از آن در تهیه مخلوط‌های آسفالتی به سرعت گسترش یافته است. بر این اساس می توان گفت که استفاده از تایرهای فرسوده به صورت خرده لاستیک در پروژه‌های راهسازی و تهیه آسفالت، یک گزینه جالب توجه برای استفاده مجدد از آنها می باشد که امروزه در مواردی که خاک موجود در محل احداث یک جاده، ویژگیها و خصوصیات مقاومتی مورد نیاز ژئوتکنیکی را نداشته باشد، قابل بهره برداری خواهد بود. در این مقاله، با مروری بر تحقیقات گذشته، به بررسی امکان استفاده از مخلوط خرده لاستیک ضایعاتی حاصل از تایرهای فرسوده و بازیافتی بر خصوصیات مقاومتی مخلوط های آسفالتی پرداخته شده است. به همین منظور، ابتدا به بررسی ضایعات لاستیکی حاصل از تایرهای فرسوده، معضلات دفع و نگرش اقتصادی بازیافت این تایرها پرداخته شده است. سپس ۳-۴- روند بازیافت لاستیک های فرسوده و خصوصیات آنها مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه مزایای استفاده از ضایعات لاستیکی تایرهای فرسوده در مخلوط های آسفالتی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور، ابتدا فرآیندهای مختلف استفاده از خرده لاستیک های بازیافتی در آسفالت مورد مطالعه قرار گرفته و سپس استفاده از لاستیک ضایعاتی جهت بهبود خواص قیر و همچنین مزایای استفاده از آن در روسازی‌های آسفالتی مورد بحث قرار گرفته است. در ادامه با مروری بر تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده در گذشته، تاثیر لاستیک ضایعاتی بر خصوصیات مکانیکی مخلوط های آسفالتی حاوی خرده لاستیک شامل خصوصیات فیزیکی، مقدار بهینه آسفالت، مقاومت مارشال و مقاومت شیارشدگی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

نتایج این تحقیق نشان داده است که استفاده از خرده لاستیک‌های بازیاقتی در مخلوط‌های آسفالتی، علاوه بر جنبه های مثبت زیست محیطی و اقتصادی، باعث کاهش خرابی روسازی راه ها، کاهش ترک‌های انعکاسی در روکش‌های آسفالتی، کاهش هزینه های نگهداری، افزایش عمر روسازی و مواردی از این قبیل می شود. همچنین نتیجه مربوط به ارزیابی خصوصیات مکانیکی مخلوط های آسفالت لاستیکی حاوی خرده لاستیک بازیافتی در مقایسه با آسفالت معمولی نشان داد مقدار خرده لاستیک، تاثیر بسزایی بر افزایش نفوذ و انعطاف پذیری آسفالت دارد؛ به طوری که با افزودن مقدار خرده لاستیک در مخلوط آسفالتی، نقطه نرمی آسفالت لاستیکی در مقایسه با آسفالت معمولی کاهش یافته است. همچنین نتایج مربوط به آزمون مارشال برای مخلوط های مختلف اصلاح شده نشان داد که استفاده از خرده لاستیک به عنوان یک ماده افزودنی در مخلوط آسفالتی، منجر به افزایش مقاومت مارشال و کاهش پارامتر جریان مخلوط آسفالتی شده است. علاوه بر این نتایج مربوط به شیارافتادگی مخلوط های آسفالتی حاوی خرده لاستیک نشان داد که عمق شیارافتادگی مخلوط آسفالتی، با افزایش درصد خرده لاستیک، کاهش و مقاومت در برابر شیارهای ایجاد شده در مخلوط، افزایش یافته است.

۸- مراجع

[1] Rokade, S., 212, Use of waste plastic and waste rubber tyres in flexible highway pavements, International Conference on Future Environment and Energy. IPCBEE, Vol. 28, pp. 105-108.

[۲] صمدیان، ف.، ۱۳۸۵، گزارش بازیافت لاستیک، دفتر صنایع غیر فلزی وزارت صنایع و معدن.

[3] Humphrey, D.N., 1999, Civil engineering applications of tire shreds, Proceedings of the Tire Industry Conference, Clemson University.

[۴] سالخورده، س.، و نوری قیداری، م.ح.، ۱۳۸۹، مطالعه آزمایشگاهی تاثیر افزودن درصدهای مختلف خرده های تایر فرسوده اتومبیل بر روی کارائی بتن، سومین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تبریز.

[5] Lee, J., Salgado, R., Bernal, A., and Lovell, C., 1999, Shredded Tires and Rubber-Sand as Lightweight Backfill, Journal of Geotechnics and Geoenvironmental Engineering, Vol. 125, No. 2, pp. 132–141.

[6] Yoon, Y.W., Cheon, S.H., and Kang, D., 2004, Bearing capacity and settlement of tire-reinforced sands, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 22, Issue 5, pp. 439-453.

[7] Gotteland, P., Lambert, S., Balachovski, L., 2005, Strength characteristics of tyre chips-sand mixtures, Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. 27, pp. 55-66.

[8] Cetin, H., Fener, M., and Gunaydin, O., 2006, Geotechnical properties of tire-cohesive clayey soil mixtures as a fill material, Engineering Geology, 88 (1–2), pp. 110-120.

[9] Akbulut, S., Arasan, S., and Kalkan, E., 2007, Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers, Applied Clay Science, Vol. 38, Issue 1-2, pp. 23-32.

[10] Sukontasukkul, P., 2009, Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel, Constr. Build. Mater., 23(2): 1084-1092.

[11] Abdi, M.R., Parsapajouh, A., and Arjomand, A., 2011, Effects of Random Fiber Inclusion on Consolidation, Hydraulic Conductivity, Swelling, Shrinkage Limit and Desiccation Cracking of Clays, International Journal of Civil Engineering, 6(4), pp. 284-292.

[12] Eldin, N.N., and Senouci, A.B., 2013, Rubber-tire particles as concrete aggregate, J. Mater. Civil Eng., 5(4): 478-496.

[13] DaSilva, F.M., Barbosa, L.A.G., Lintz, R.C.C., and Jacintho, A.E.P., 2015, Investigation on the properties of concrete tactile paving blocks made with recycled tire rubber". Constr. Build. Mater., 91: 71-79.

[۱۴] جلالی، ف.، و عبدی، م.ر.، ۱۳۸۸، مطالعات آزمایشگاهی تاثیر خرده لاستیک بر خصوصیات مقاومت برشی خاکهای رسی، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران

[۱۵] دیواندری، ح.، و شعبانی کاکرودی، م.، ۱۳۹۲، تاثیر افزودنی خرده لاستیک بر ویژگی های فیزیکی و رئولوژیکی قیر و عملکرد آسفالت، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

[۱۶] ارثی زاد، ا.، و اسدزاده، م.، ۱۳۹۲، بررسی تأثیر خرده لاستیک بر رفتار انقباضی و مقاومتی خاک رس، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان

[۱۷] حافظی، ب.، امین فر، م.ح.، کاتبی، ه.، ۱۳۹۳، بررسی پارامترهای دوام و CBR خاک رس تثبیت شده با آهک و کاربرد آن در راهسازی، پایان نامه کارشناسی ارشد، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه تبریز، دانشکده عمران.

[۱۸] فخری، م.، حسنی، ا.، و صابری کوهرودی، ف.، ۱۳۹۵، تأثیر استفاد از خرده های لاستیک بر خصوصیات روسازی بتن غلتکی، مجله علمی- پژوهشی زیرساخت های حمل و نقل، مقاله ۳، دوره ۲، شماره ۲، صص. ۵۰-۳۷.

[19] Reid, J.M., Viridis, U.K., and Winter, M.G., 2009, TRL Limited UK. The use of Post-Consumer Tyres in Civil Engineering.

[20] Bahia, H.U., and Davies, R., 1994, Effect of crumb rubber modifiers (CRM) on performance related properties of asphalt binders. J. Assoc. Asphalt Paving Technol., 63: 414-449.

[21] Ahmed, I., 1993, Laboratory study on properties of rubber-soils, Report FHWA/IN/JHRP-93/4, Indiana, Department of Transportation,.

[22] Jeong, K.D., Lee, S.J., Amirkhanian, S.N., and Kim, K.W., 2010, Interaction ofcrumb rubber modified asphalt binder. Constr. Build. Mater., 24: 824-831.

[23] Liu, S., Cao, W., Fang, J., and Shang, S., 2009, Variance analysis and performance evaluation of different crumb rubber modified (CRM) asphalt. Constr. Build. Mater., 23: 2701-2708.

[24] Yue Huang, Roger N. Bird, Oliver Heidrich., 2007, A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 52., pp. 58–73.

[25] Abdelrahman, M.A., and Carpenter, S.H., 1999, Mechanism of interaction ofasphalt cement with crumb rubber modifier. Transp. Res. Board, 1661, pp. 106-113.

[26] Airey, G.D., Rahman, M.M., and Collop, A.C., 2003, Absorption of bitumen into crumb rubber using the basket drainage method. Int. J. Pavement Eng., 4(2): 105-109.

[27] Ibrahim, M.R., Katman, H.Y., Rehan, M., and Mahrez, A., 2009, Properties of rubberised bitumen mixes prepared with wet and dry mixing process.Proc. Eastern Asia Soc. Transp. Stud., Vol. 7, pp. 1-11.

[28] Presti, D.L., 2013, Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixture: a literature review, Construction and Building Materials, Vol. 49, pp. 863-881.

[29] SriWulandari, P., and Tjandra, D., 2017, Use of Crumb Rubber as an Additive in Asphalt Concrete Mixture, Procedia Engineering, Vol. 171, pp. 1384 – 1389.

[30] Xiao, F., Amirkhanian, S., and Juang, M., 2017, Rutting Resistance of Rubberized Asphalt Concrete Pavements Containing Reclaimed Asphalt Pavement Mixtures, J. Mater. Civ. Eng., Vol. 19, pp. 475-483.