پژوهش و فناوری محیط زیست، ۱۳۹۸. ویژه نامه پاییز و زمستان، ۴۹-۵۶

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

بررسی اثرات زیست محیطی پسماند لاستیک و روش‌های پیشنهادی در مدیریت این نوع پسماندها

علی ناهد[*1]

۱- کارشناس راهسازی، شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل کشور.

چکیده

لاستیک از جمله موادی است که کاربرد وسیعی در صنعت دارد و زمانی‌که عمر مصرفی آن‌ها به پایان می‌رسد در رده مواد زائد خطرناک قرار می‌گیرند. رهاسازی پسماندهای لاستیک در محیط زیست سبب ایجاد مشکلات زیادی اعم از بیماری‌ها، منظره بد آن‌ها در طبیعت و آتش‌سوزی‌های مهیب ناشی از انباشتگی آن‌ها و آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود. همچنین لاستیک به علت عدم تخریب پذیری و داشتن خاصیت الاستیکی، قابلیت استفاده مجدد را دارا می‌باشد. در نتیجه مدیریت لاستیک‌های فرسوده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌گردد. روش‌های متعددی برای مدیریت پسماند لاستیک وجود دارد که وقتی به درستی اجرا شود می‌تواند امن و موثر باشد. این روش‌ها عبارتند از: دفن بهداشتی، سوزاندن برای تولید انرژی، پیرولیز، آسیاب کردن، استفاده مجدد در مقیاس مختلف و روکش مجدد است. در این مقاله، به بررسی هر یک از روش‌ها پرداخته و معایب و مزایای آن‌ها بیان شده است. همچنین مواردی از کاربردهای مختلف پسماند لاستیک در صنایع گوناگون آورده شده است.

کلید واژه‌ها: پسماند لاستیک، مدیریت پسماند، پیرولیز، آسیاب ، آلودگی زیست‌محیطی.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Nahed.a1977@gmail.com

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

Investigation of environmental effects of rubber waste and proposed methods in the management of this type of wastes

Ali Nahed[1]*

1- Road Construction Expert, Company of Construction and Development of the Country's Transportation Infrastructure

Abstract

Rubber is one of the materials that are widely used in industry and when they expire, they fall into the category of hazardous wastes. The release of rubber wastes into the environment causes many problems, including diseases, their bad landscape in nature, and terrible fires caused by their accumulation and environmental pollution. Also, rubber can be reused due to its non-degradability and elastic properties; as a result, the management of worn tires has a particular importance. There are several ways to manage rubber waste that can be safe and effective when done properly. These methods include sanitary landfilling, incineration, pyrolysis, milling, reuse at various scales, and re-coating. In this article, each method is reviewed and their advantages and disadvantages are stated. Also, there are examples of different applications of rubber waste in various industries.

Keywords: Rubber waste, Waste management, Pyrolysis, Mill, Environmental pollution

* Corresponding author E-mail address: Nahed.a1977@gmail.com

مقدمه

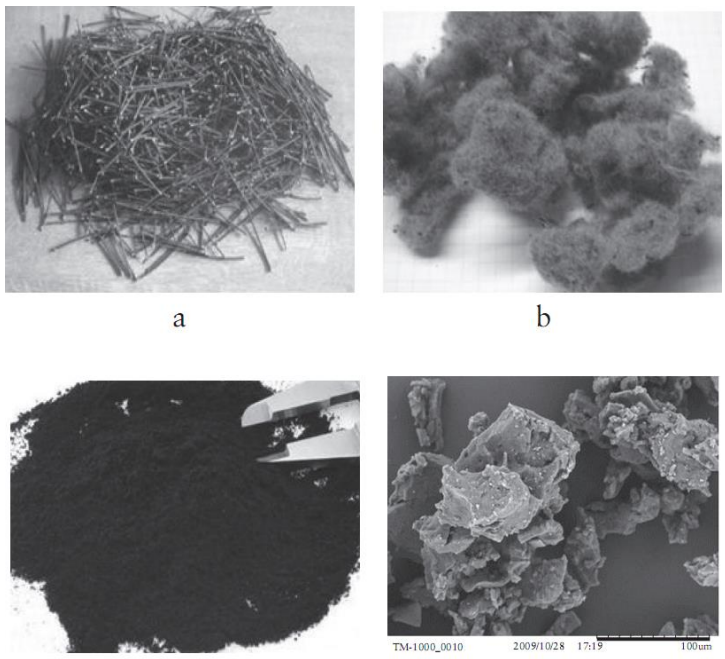
با توجه به رشد شهرنشینی و آسایش طلبی انسان‌ها استفاده از اتومبیل افزایش یافته است. همگام با رشد چشمگیر تکنولوژی‌های حمل ونقل و افزایش روزافزون خودروها و وسایل نقلیه، در امان ماندن از پیامدهای این رشد و گسترش اجتناب ناپذیر است [۱].

لاستیک از جمله موادی است که کاربرد وسیعی در صنعت دارد و زمانیکه عمر مصرفی آن‌ها به پایان می‌رسد در رده مواد زائد خطرناک قرار می‌گیرند. طبق تعریف یک لاستیک فرسوده لاستیکی می‌باشد که آماده به کاربردن در یک وسیله نقلیه نیست و برای استفاده به عنوان چرخ وسیله نقلیه نامناسب است [۲]. از آنجایی که رهاسازی لاستیک‌های فرسوده در محیط زیست سبب ایجاد مشکلات زیادی اعم از بیماری‌ها، منظره بد آن‌ها در طبیعت و آتش سوزی‌های مهیب ناشی از تلنبار آن‌ها و آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود، باید مدیریت لاستیک‌های فرسوده در رئوس کارها قرار گیرد .

طبق تخمین جهانی، سالانه حدود ۵ میلیارد تن لاستیک فرسوده تولید می‌شود [۳]. در کشور چین در سال ۲۰۱۰ در حدود ۵/۲ میلیون تن لاستیک فرسوده تولید می‌شود، در نتیجه یکی از بزرگترین تولیدکنندگان لاستیک‌های فرسوده شناخته شده است [۴].

این مشکل در کشور ما نیز وجود دارد، مطابق با آمار سازمان صنایع و معادن با توجه به چند میلیون خودرو در سطح کشور و جمعیت ۷۵ میلیون نفری ایران، به ازاء هر ۸ تا ۹ نفر یک خودرو وجود دارد و سرانه لاستیک فرسوده به ازاء هر ۵ تا ۶ نفر یک حلقه می‌باشد [۵]. در هر سال حدود بیش از ۲۰۰ هزار تن لاستیک در سال مصرف می‌شود. به این رقم باید لاستیک‌های فرسوده سال‌های قبلی را نیز افزود. گستردگی این موضوع به حدی است که از هم اکنون می‌توان شاهد تلنباری از لاستیکهای فرسوده دور انداخته شده در محیط زیست اطراف شهرها و مناطق مختلف محیط زیست شهری بود. بر طبق اطلاعات حاصله میزان تولید کنونی انواع لاستیک در کشور بین ۲۰۵-۱۸۰ هزار تن براورد می‌شود که از این مقدار لاستیک تولیدی پس از فرسوده شدن فقط حدود ۲۰٪ مورد بازیافت قرار می‌گیرد و حدود ۸۰٪ به مراکز دفن زباله فرستاده می‌شود [۶].

یک خرده لاستیک معمولی (ماشین سواری) تقریبا ۹ کیلوگرم وزن دارد [۷]، که ترکیبات تشکیل دهنده آن عمدتا شامل ۴۰ تا ۴۵ درصد لاستیک اعم از طبیعی و مصنوعی، ۲۸ درصد کربن سیاه، ۱۰ درصد سیم¬های فولادی، ۳ درصد گوگرد و دیگر ترکیبات مانند: مواد نفتی، ترکیبات آلی سولفوره، اکسید روی، استئاریک اسید و دیگر مواد پتروشیمی می‌باشد (شکل ۱). کربن سیاه و گوگرد برای تقویت و تحکیم لاستیک و همینطور جوش‌های ولکانیزه استفاده می‌گردد [۸]. این ترکیبات، لاستیک را به ماده‌ای سخت و غیرقابل تجزیه تبدیل کرده است که می‌تواند باعث بروز خطرات و مشکلاتی برای سلامتی بشر و همچنین محیط زیست گردد [۹].



شکل ۱- فرآیند بازیافت لاستیک فرسوده (a) سیم‌های فولادی بازیافتی، (b) کرک‌های بازیافتی، (c) پودر بازیافتی با میانگین ۴۰۰ µm و (d) تصویر SEM پودر بازیافتی

- **مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از لاستیک فرسوده**

در اثر تولید بیش از حد لاستیک‌های فرسوده خطرات و مشکلات فراوانی ایجاد می‌گردد، دفن لاستیک‌های فرسوده باعث به خطر افتادن بهداشت عمومی و محیط می‌شود. لاستیک‌ها می‌توانند در سطح محل دفن شناور شوند، به طوری که پوشش محل دفن را شکاف دهند و با توجه به ساختار شیمیایی خود مقاومت بالایی در مقابل تجزیه بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی دارند به همین دلیل برای تخریب در محیط به مدت زمان طولانی نیاز دارند و در صورت تخریب چون جذب محیط نمی‌شوند، یک آلاینده خطرناک برای محیط زیست محسوب می‌گردند [۶]. آتش سوزی ناشی از تلنبار لاستیک فرسوده تهدید دیگر محیط زیست است که به دنبال آن باعث تولید گازهایی از جمله SO_2، CO و NO_2 و همچنین هیدروکربن‌های PAH که نقش مهمی در تولید باران اسیدی دارد [۱۱].

لاستیک‌های فرسوده‌ی رها شده یا انباشته شده همچنین می‌توانند زیستگاه مناسبی برای برخی از ناقلین از قبیل موش‌ها و پشه‌ها باشند. ساختار مدور لاستیکهای فرسوده به هنگام بارندگی چاله آب ساکنی را ایجاد می‌کند که باعث فراهم آمدن مکانی ایده آل برای پرورش و تولید موجودات موذی مانند موش‌ها و پشه‌ها می‌گردد. این پشه‌ها از جنس پشه آادس می‌باشند و می‌توانند بیماری‌های کشنده‌ای از قبیل تب دنگی و آنسفالیت را انتقال دهند و باعث بروز آسیب‌های جدی گردند [۱۲].

- **مدیریت لاستیک‌های فرسوده**

روش‌های متعددی برای مدیریت پسماند لاستیک وجود دارد که وقتی به درستی اجرا شود می‌تواند امن و موثر باشد. این روشها عبارتند از دفن بهداشتی، سوزاندن برای تولید انرژی، پیرولیز، آسیاب کردن، استفاده مجدد در مقیاس مختلف و روکش مجدد است.

- **دفن بهداشتی**

یکی از رایج ترین روش‌ها برای مدیریت پسماند لاستیک، دفن است [۱۳]. تا مدتها، دفن بخش بزرگی از استراتژی مدیریت پسماند لاستیک را به دلیل راحتی و سادگی نسبی تشکیل می‌داد [۱۴]. با این وجود، مشکلاتی برای این استراتژی وجود دارد. لاستیک ولکانیزه فقط می‌تواند به وسیله ابزار مکانیکی شکسته شود، و نیاز به دهها فرآیند مکانیکی طبیعی و یا مقدار زیادی انرژی در یک تاسیسات دارد. علاوه بر این، لاستیک‌ها زمانی که در لندفیل‌ها ذخیره می‌شود می‌توانند باعث مشکلاتی شوند، از جمله آنها مقدار زیادی فضا اشغال می‌کنند و می‌تواند مسائل مربوط به پوشش‌های محل دفن را ایجاد کند [۱۳]. علاوه بر این، دفن لاستیک فرسوده به عنوان یک محصول پسماندی، بر خلاف احتراق، بازپرداخت، یا تعمیر مجدد چیز دیگری از پسماند لاستیک احیای نمی کند.

- **سوزاندن برای تولید انرژی**

احتراق محبوب ترین روش برای احیای انرژی در ایالات متحده از پسماند لاستیک است [۱۵]. تقریبا ۱۳۰ میلیون لاستیک فرسوده تولید شده در ایالات متحده به عنوان سوخت مشتق شده از لاستیک استفاده می‌شود و ۱۰ تا ۲۰ درصد از این سوخت در صنایع صنعتی همراه با سوخت‌های معمولی مثل زغال سنگ بکار می‌رود [۱۶].

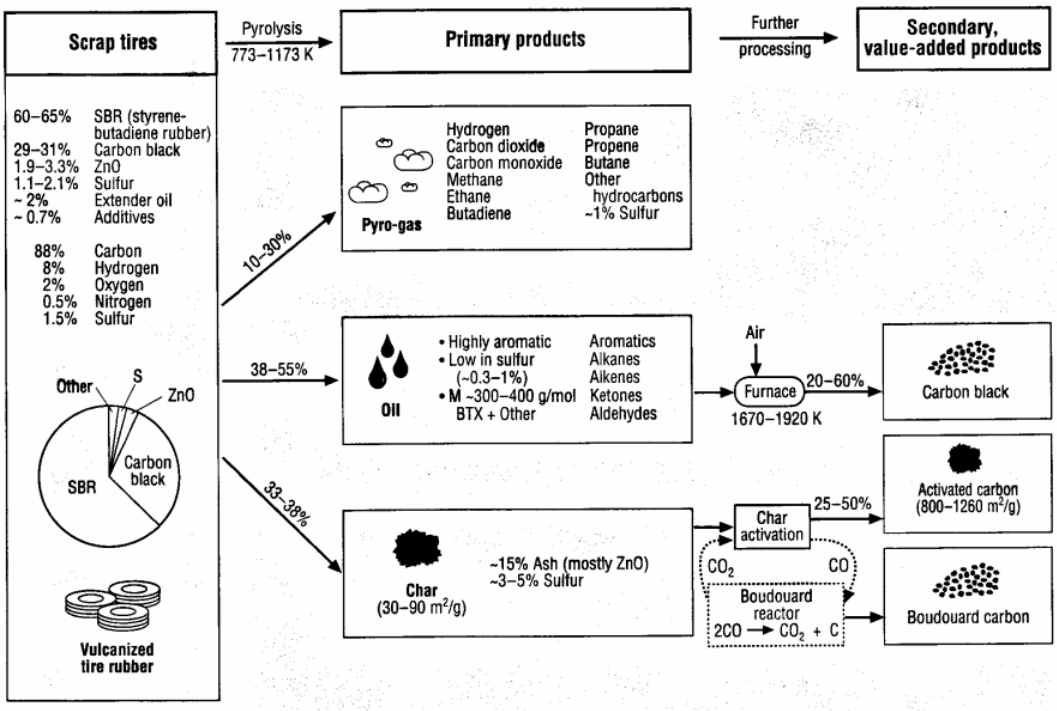
سوزاندن پسماند لاستیک یک روش برای بازیابی ارزش بالقوه انرژی مواد است. احتراق لاستیک‌ها به عنوان منبع انرژی باعث حفظ منابع سوخت اصلی شده حاصل از طبیعت می‌شود [۱۷]. سوخت مشتق شده از لاستیک یک منبع موثرتر انرژی نسبت به بسیاری از منابع سوخت معمول است. به عنوان مثال، ارزش انرژی سوخت تولید شده از لاستیک ۱۵،۵۰۰BTU / lb، در حالی که ذغال سنگ تنها BTU ۱۲،۷۵۰ / lb تولید می‌کند [۱۷]. جدول ۲ مقایسه انرژی ارزش سوخت تولید شده از لاستیک۱ (TDF) نسبت به سوخت‌های دیگر را نشان می‌دهد [۱۸].

- **پیرولیز**

پیرولیز تجزیه حرارتی یک ماده آلی در غیاب اکسیژن محیطی است. پیرولیز لاستیک یکی از معقول ترین گزینه‌های مدیریت پسماند لاستیک از نقطه نظر حفاظت از محیط زیست به علت عدم تولید گازهای گلخانه ای است [۱۹]. پیرولیز لاستیک‌ها در مقایسه با سوزاندن و یا سوزاندن لاستیک، که باعث اکسیداسیون هیدروکربن‌ها و ایجاد گازهای گلخانه ای مانند دی اکسید کربن (CO_2)، مونوکسید کربن (CO) و دی اکسید سیلیکون (SO_2) می‌شود، می‌تواند گزینه بهتری از نظر محیط زیست برای مدیریت پسماند لاستیک باشد. علاوه بر این، محصولات مفیدی می‌تواند بدست آید (براساس فرآیند مشاهده شده در شکل ۲)، از جمله گازهای هیدروکربنی، نفت پیرولیز، کربن

[1] Tire-derived fuel

سیاه و پسماند فولاد [۲۰]. گازهای هیدروکربنی که معمولا شامل هیدروژن (H_2)، سولفید هیدروژن (H_2S)، دی اکسید کربن (CO_2) یا مونوکسید کربن (CO) هستند، اغلب برای فرآیند پیرولیز استفاده می‌شوند. نفت تولید شده می‌تواند به طور مستقیم به عنوان سوخت نفت و به عنوان مواد اولیه در فرایندهای پتروشیمی استفاده شود [۱۹]. کربن سیاه درجه پایین بدست آمده از این فرایند، می‌تواند به منظور دستیابی به کربن سیاه با درجه بالا، کربن فعال یا سایر مواد ارزشمند مانند بنزن، تولوئن و زایلن به کار برده شود [۲۱]. درصد این محصولات را می‌توان با تغییر عواملی مانند دما، فشار، درجه حرارت، و اندازه ذرات لاستیک تغییر داد. شرایط پیرولیز لاستیک بسته به میزان هدف هر محصول متفاوت است [۲۲].



شکل ۲- محصولات بدست آمده از پیرولیز

- **روش‌های آسیاب کردن پسماند لاستیک**

چهار روش عمده برای آسیاب پسماند لاستیک وجود دارد: آسیاب دمای محیط، آسیاب برودتی، آسیاب مرطوب و آسیاب جت آب تحت فشار بالا [۲۳].

- **آسیاب دمای محیط**

آسیاب مکانیکی دمای محیط فرایندی است که برای خرد کردن خرده لاستیک با استفاده از دستگاه‌های خردکن، آسیاب، گرانول کننده، و آسیاب‌های غلطکی با غلطک‌های دندانه دار استفاده می‌شود. خرده لاستیک‌ها مکررا آسیاب می‌شوند تا زمانی که به اندازه مورد نظر برسد. به طور معمول، مالچ تولید شده از این روش کوچکتر از ۰/۳ میلی متر و دارای سطح بسیار زبر است (شکل ***۳a***). فیبرها از بافت کلاف توسط جدا کننده‌های بادی و فولاد با استفاده از الکترومغناطیس‌ها جدا می‌شوند. در این فرآیند باید از سیستم خنک کننده برای جلوگیری از احتراق به واسطه گرمای حاصل از اکسیداسیون دانه لاستیک استفاده شود [۲۳].

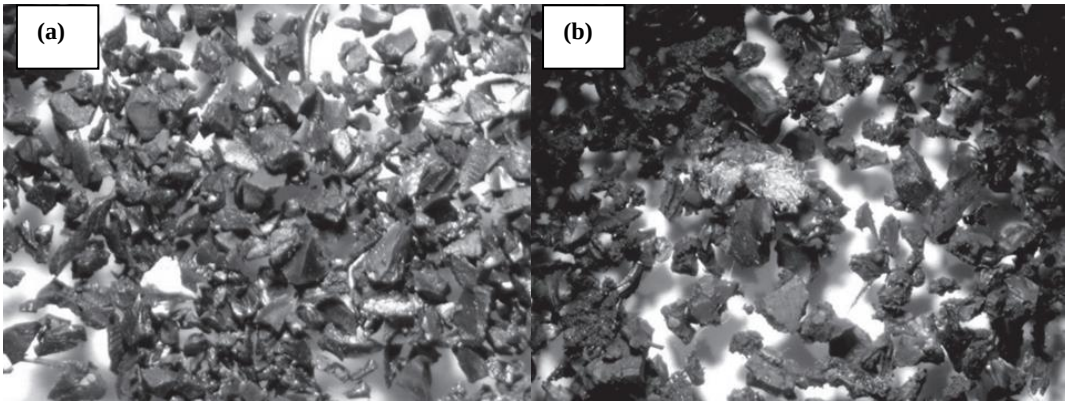
- **آسیاب مرطوب**

آسیاب مرطوب یک روش توسعه یافته از آسیاب مکانیکی دمای محیط است. به منظور مقابله با حرارت تولید شده از طریق آسیاب مکانیکی دمای محیط، محصول به طور مداوم با استفاده از یک جریان آب، سرد می‌شود. این روش، گرد و غبار ذرات لاستیک با دانه‌هایی بین ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر تولید می‌کند که دارای اندازه سطح ویژه بزرگی هستند. این گرد و غبار به مخلوط محصولات لاستیکی با کیفیت بالا، مانند تایر اضافه می‌شود [۲۳].

- **آسیاب برودتی**

اسیاب برودتی، شامل استفاده از نیتروژن مایع به عنوان یک مبرد برای خنک کردن پسماند لاستیک به دمای زیر $-80^{\circ}C$ است. از طریق این فرایند، لاستیک به حالت شیشه ای شبیه می‌شود و سپس با استفاده از آسیاب‌های چکشی لاستیک‌ها به ذرات کوچک، شکسته می‌شوند. این فرایند برای حذف قطعات فولادی و ذرات ریز ناخواسته مفید است.

خرده لاستیک حاصل از فرآیند برودتی دارای شکل زاویه ای، سطوح صاف و سطح ویژه پایین است (شکل ۳b)، به طوری که اغلب برای برنامه‌های کاربردی شامل تماس با انسان، از جمله زمین‌های بازی، محوطه سازی زمین، سطوح ورزشی یا آسفالت، استفاده می‌شود [۲۴].

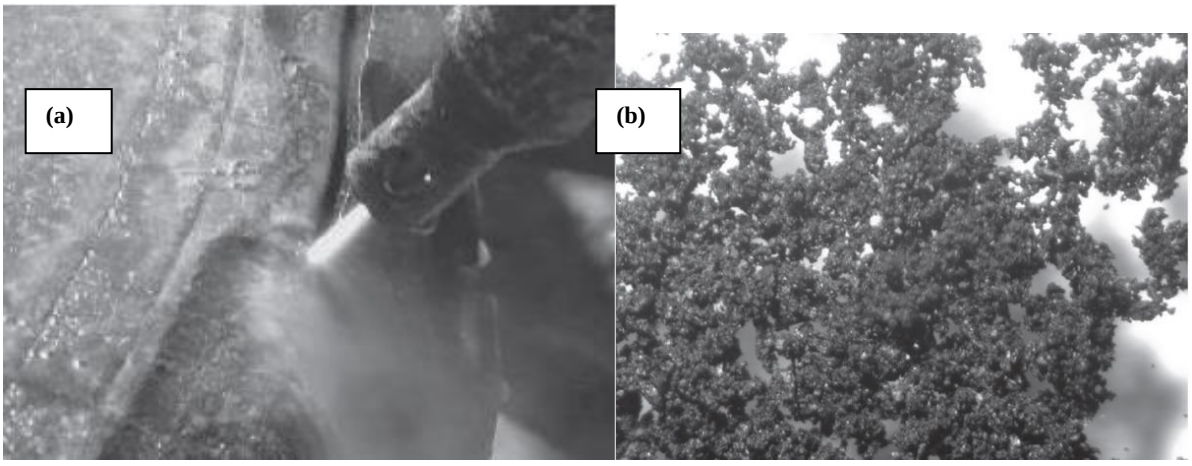


شکل ۳- تصویر خرده لاستیک تولید شده با استفاده از فرآیند (a) برودتی و (b) دمای محیط

- **روش جت آب**

آسیاب پسماند لاستیک با جت آب یک روش معمول برای بازیافت لاستیکهایی با مقاومت بالا و اندازه بزرگ مانند کامیون‌ها، وسایل نقلیه سازه ای و تراکتورهای مزرعه است. به طور معمول، آسیاب کردن لاستیک‌های اندازه بزرگ نیاز به ماشین آلات آسیاب عظیم است که انرژی بالایی مصرف می‌کنند. در آسیاب جت آب لاستیک‌ها، نیاز به فشار بیش از ۲۰۰ بار برای تولید نوارهای لاستیکی ویسکوز بالا است. این تکنیک مزایای مختلفی دارد: می‌تواند برای جدا کردن نوارهای لاستیک از کلاف فولادی مورد استفاده قرار گیرد؛ تشکیل قطعه‌های لاستیک از غشای لاستیکی بوتیل در کناره لاستیک، و مواد لاستیک را از کف و دیواره‌ها جدا کند. آسیاب با یک جت آب، دانه‌های لاستیکی بسیار ریز را تولید می‌کند که دارای سطح ویژه بالایی هستند (شکل ۴). علاوه بر این، این روش در مقایسه با سایر روش‌های اسیاب کردن، سازگارتر به محیط زیست است و باعث صرفه جویی در انرژی، و تولید آلاینده‌ها و صدای کمی می‌شود [۲۳].

تمام تکنیک‌های ذکر شده در بالا روش‌های مفید برای مدیریت پسماند لاستیک هستند. مزایا و معایب هر یک از روشهای آسیاب در جدول ۳ خلاصه شده است.



شکل ۴- (a) فرآیند جت آب ، (b) خرده لاستیک تولید شده با استفاده از فرآیند جت آب

- **موارد مصرف و کاربرد لاستیک فرسوده**

از موارد استفاده از لاستیک به صورت پودر یا گرانوله میتوان به مواردی همچون پیش بادکردن سد، پر کردن حد پل، سطح ریل تراموا، عایق حرارتی، طبقات زهکشی، سطح جاده، سطح زمین بازی، افزودن به قیر، چرخهای جامد، کف کفش، رنگدانه (پیگمنت) اشاره کرد.
اضافه کردن خرده‌های لاستیک در بتن باعث بهبود برخی از خصوصیات مکانیکی و دینامیکی بتن از قبیل جذب انرژی بیشتر بتن، امکان تغییر شکل بهتر و مقاومت در برابر ترک‌خوردگی می‌شود. صنایع عمده مصرف کننده پودر لاستیک در ایران عبارتند از: صنایع کشتیرانی، صنایع قطعه سازی خوردو، صنایع نفت، صنایع ایزولاسیون، صنایع تولید لاستیک و تیوپ است.

- **صنایع جاده سازی**

پوشش سطح جاده‌ها به جای آسفالت، زیرا بدلیل خاصیت اکوستیکی دارای عمر بیشتر و هزینه کمتری است و صدای کمی را ایجاد میکند و کمتر ترک خورده و در گرما ذوب نمی‌شود. ترمز خودروها بر روی ان عملکرد بهتری دارد. آب بندی شکاف سطح جاده‌ها، تولید لایه‌های ضد آب و لایه‌های جاذب صدا، تولید علائم ترافیکی و ضربه گیرها که دارای هزینه کمتر و عمر بیشتری است و به دلیل خاصیت ارتجاعی در هنگام تصادف آسیب‌های کمتری به وسایل نقلیه وارد می‌کند [۲۵]. در کفپوش‌های صنعتی و پوشش گذرگاه‌ها، عمر مفید ۲۰سال هستند و به دلیل خواص بیومکانیکی و حالت نیمه ارتجاعی خستگی کمتری ایجاد می‌کنند.

- **صنایع ساختمانی**

فونداسیون و پایه‌ها، استفاده از لاستیکهای خرد شده در کارهای عمرانی از اهمیت فراوانی برخوردار است به ویژه مواردی که به کاهش وزن سازه‌ها ضرورت دارد. افزودن لاستیک بازیافتی به بتن باعث بالا بردن مقاومت آن در برابر آتش و جلوگیری از خرد شدن آن می‌شود [۷]. پوشش بام ساختمان‌ها و عایق ساختمانی، تولید چسب درزگیر، کانال‌های هوا، زیر فرش‌ها، پوشش سطح زمین بازی بچه‌ها، به منظور افزایش امنیت در هنگام بازی می‌توان کفپوش‌ها را با استفاده از خرده‌های لاستیک تهیه کرد.

- **صنایع تولید لاستیک و پلاستیک**

فوم‌های قابل انعطاف، پوشش استخرها، تخت کفش، تسمه نوار نقاله.

- **صنایع خودرو سازی**

تولید لاستیک، روکش کاری لاستیک، کفپوش و گلگیر خودروها، نوار دور درب و شیشه خودروها، انواع واشر، سیستم‌های ترمز اصطکاکی، سپرهای ضربه گیر خودرو

- **صنایع دریایی**

ضربه گیرهای اسکله و لنگرگاه‌ها، شناور دریایی، کفپوش غیر لغزنده

- **ورزش**

پوشش زمین‌های ورزشی، دو میدانی، گلف و تنیس، میادین اسب دوانی.

- **دامداری،کشاورزی و آبرسانی**

سیستم‌های آبرسانی کشاورزی و شلنگ‌های لاستیکی، گلدان‌های لاستیکی، ظروف تغذیه دام، انواع فنس‌های محوطه سیلوهای حبوبات و استفاده از کفپوش‌های لاستیکی با مجرای تعبیه هوا که آب به آن نفوذ کند، در اسطبل‌ها و گاوداری‌ها.

نتیجه گیری

در این مقاله، بررسی مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از لاستیک فرسوده به صورت خطراتی شامل آتش سوزی، تولید گازهای خطرناک، بروز بیماری‌های کشنده ناشی از حیوانات و حشرات ارایه شد. سپس روش‌های مدیریت لاستیک‌های فرسوده به تفضیل با بیان معایب و مزایا تشریح شد. در پایان با توجه به رشد روزافزون تولید لاستیک‌های فرسوده، مواردی از کاربرد آن‌ها در صنایع مختلف در سطح جهان بیان شد.

منابع

1. Betancur, M., Martínez, J. D., & Murillo, R., Journal of hazardous materials, 168(2), 882-887. (2009).
2. California waste tire generation, markets, and disposal. CIWMB staff report (2006).
3. Karthikeyan, S., Sathiskuman, C., Srinivasa Moorthy, R., Journal of Scientific & Industrial Research, 71(5), 309-315 (2012).
4. Oyedun, A., Lam, K. L., Fittkau, M., Hui, C. W., Fuel, 95, 417-424 (2012).

۵. حسینی، سید محمد؛ بهمن پور، هومن؛ مدیریت لاستیک‌های فرسوده، اولین همایش بین المللی و سومین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی محیط زیست و منابع طبیعی پایدار، ۱۰ اسفند ۱۳۹۴.

۶. باطنی، فاطمه؛ مکی، تکتم؛ موسوی، طاهره؛ مروری بر کاربردهای لاستیک فرسوده. دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، ۱۳۹۱.

۷. عباسی دزفولی, عبدالکریم؛ منابی، رضا؛ سلیمانی ورپشتی، علی؛ بررسی روند تولید واستفاده از خرده لاستیک‌های فرسوده دربتن،آسفالت و قطعات بتنی، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، ۱۳۹۰.

8. Sadaka, F. Campistron, A. Laguerre, J. Pilard, F. Polymer degradation and stability, 97, 816-828 (2012).
9. California waste tire Generation, Markets, and Disposal. 33, 235-265 (2001).
10. Siddique, R. Naik, T. Waste management, 24, 563-569 (2004).
11. Pawan R. Shakya a, Pratima Shrestha. Atmospheric Environment. 42, 6555-6559 (2008).
12. Fiksel, J., Bakshim B.R., Baral, A., Guerra, E., DeQuervain, B., Clean Technol Environ Policy 13, 19–35 (2011).
13. EPA-Scrap Tires Common Wastes & Materials. Retrieved November 12, (2012). from http://www.epa.gov/osw/conserve/materials/tires/index.htm
14. Nokyoo, C., Ph.D. Thailand Policy and Strategy for Waste Management: Waste & Hazardous Substances Management, Bureau of Pollution Control Department, Thailand (2010).
15. EPA-Tire Fires (2012). Retrieved December 3 (2012), from
16. http://www.epa.gov/osw/conserve/materials/tires/fires.htm
17. Reisman, J., & Lemieux, P. (1997). Air Emissions from Scrap Tire Combustion. US Environmental Protection Agency. Retrieved November 27, 2012, from http://www.epa.gov/ttncatc1/dir1/tire_eng.pdf
18. Morris, J. Journal of Hazardous Materials, 47(1-3), 277-293 (1996).
19. Tire Recycling Industry: A Global View. (2003). (http://www.irevna.com/pdf/Industry%20report.pdf)
20. Rombaldo, C. F. S., Lisbôa, A. C. L., Méndez, M. O. A., & Coutinho, A. D. R., Materials Research, 11(3), 359-363 (2008).
21. Wójtowicz, M. A., & Serio, M. A. Pyrolysis of scrap tires: Can it be profitable?. CHEMTECH-WASHINGTON DC-, 26, 48-53 (1996)
22. Reschner, K. Scrap Tire Recycling - A Summary of Prevalent Disposal and Recycling Methods (2008).
23. Roy C., Labrecque B. & Caumia B., Resources, conservation and recycling, 4, 203-213 (1990). 75
24. Sienkiewicz, M., Kucinska-Lipka, J., Janik, H., & Balas, A. Waste Management, 32(10), 1742-1751 (2012).
25. Tire Recycling Made Simple. Retrieved December 15 (2012), from http://www.scraptirenews.com/crumb.php

۲۶. بخشنده، غ؛ احسانی، م؛ کاووسی، ک؛ مجله صنعت لاستیک ایران. سال یازدهم، شماره ۴۲، ، ۹۴-۱۰۰، آبان ۱۳۸۵.