مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره دوازده، اسفند ماه ۱۴۰۲ (۱۵-۱)

نگرشی پویا بر بهبود صنعت بازیافت لاستیک با استفاده از رویکرد پویایی سیستم

سید محمد رضا داودی [1*]

smrdavoodi@ut.ac.ir

منا بیرانوند [2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵**

چکیده

زمینه و هدف: بازیافت مواد امروزه یکی از مهم ترین مسائل مطرح در سیستم مدیریت مواد زائد شهری است. لاستیک‌های فرسوده خودرو یکی از مهم‌ترین انواع پسماندها یا مواد زائد جامد به شمار می‌روند، زیرا خارج شدن آنها از چرخه تولید و مصرف، به معنای آغاز یک تعهد زیست محیطی است. با این‌که طول عمر تایرهای ماشین نسبت به گذشته بیشتر شده، اما این واقعیت نیز غیرقابل‌انکار است که جاده‌های کشورهای مختلف امروزه تحت سیطره تعداد بیشتری خودرو قرار دارند.این تحقیق باهدف یافتن عوامل مؤثر بر توسعه بازیافت لاستیک انجام شد.

روش بررسی: در این مقاله از رویکرد پویایی سیستم استفاده‌شده است. در این پژوهش از مقالات، منابع کتابخانه‌ای و اینترنت استفاده‌شده است و بر اساس آن به ترسیم نمودارهای علت و معلولی و موجودی و جریان پرداخته است. استخراج معادلات مربوط به روابط متغیرهای مدل و وارد ساختن آن‌ها در نرم‌افزار Vensim ple 6.4 منجر به شبیه‌سازی مدل گردید؛ و رفتارهای متغیرهای مهم مدل پیاده‌سازی شد که در تحقیق به‌طور مفصل موردبررسی قرارگرفته است.

یافته ها: یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد مجموعه ای از عوامل با تاثیر و تاثر متقابل بر بازیافت لاستیک تاثیر دارد و تا به کل این عوامل و نقش آنها توجه نشود توسعه بازیافت لاستیک رخ نخواهد داد. بدین ترتیب که در بازیافت محصول لاستیک، دو دسته عوامل فزآینده و بازدارنده نقش دارند. استفاده دوباره از محصول و باز تولید محصول بر افزایش بازیافت لاستیک تاثیر می گذارد و موجب گسترش بازیافت می شود که البته این ها در گذر زمان معنا پیدا می کند.

بحث و نتیجه گیری: همچنین نتایج نشان داده با افزایش حمایت از شرکت های بازیافتی و نیز فرهنگ سازی در مردم نسبت به این موضوع به عنوان متغیرهای اهرمی، بازیافت لاستیک توسعه خواهد یافت. همجنین نتایج نشان داد که با افزایش حمایت از شرکت‌های بازیافتی و نیز فرهنگ سلزی در مردم نسبت به موضوع بازیافت لاستیک به عنوان متغیرهای اهرمی، بازیافت لاستیک توسعه خواهد یافت. دولت باید از این صنعت با تخصیص اعتبار حمایت کند. در بعد دیگر، با استفاده مجدد از لاستیک، عدم دور ریز لاستیک و زباله فرض کردن لاستیک باید در جامعه فرهنگ سازی شود.

واژه‌های کلیدی: بازیافت، بازیافت لاستیک، شیوه های مدیریتی، ونسیم.

۱- دانشیار، گروه مدیریت، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۲- دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گرایش مالی، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No.12, March, 2024

A dynamic approach to improving the rubber recycling industry using the dynamics of the system

Sayyed Mohammadreza Davoodi[1] *

smrdavoodi@ut.ac.ir

Mona Beyranvand[2]

Admission Date: February 14, 2024 Date Received: January 7, 2024

Abstract

Background and Objective: Recycling of materials is one of the most important issues in urban waste management system today. The worn out tires are one of the most important types of solid wastes or solids, because their departure from the cycle of production and consumption means starting a commitment to the environment. Although the longevity of car tires has grown more than before, it is also unrealistic that the roads of different countries are now dominated by more cars. This study aimed to find the factors affecting the development of rubber recycling.

Material and Methodology: In this paper, the dynamics of the system is used. In this research, articles, library resources and the Internet have been used and based on it, it has been used to draw up causal, inventory and flow charts. Extracting the equations for the relationship between model variables and introducing them into Vensim ple 6.4 software led to simulation of the model; and the behaviors of the important variables of the model were implemented, which was studied in detail in the research.

Fidings: The findings of this study indicate that a combination of factors with mutual impact and effect on rubber recycling affects not all of these factors and their role, the development of rubber recycling will not occur. Thus, the recycling of rubber products are two of the increasing and deterrent factors.

Discussion & Conclusion: The reuse of the product and the re-production of the product will affect the increase in the recycling of rubber and lead to the expansion of recycling, which, of course, will make sense over time.

Keyword: recycling, rubber recycling, management practices, vanisim.

1- Associte Professor. Department of Management, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran.
*(*Corresponding Author*)
2- Phd Student in Industrial Management- Financial, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran.

مقدمه

مسئله زباله یا به عبارت دیگر مواد زاید، امروزه به یکی از معضلات زیست محیطی تبدیل شده است.نظر به اینکه میزان زیادی از مواد زاید جامد را می توان مورد پردازش و بازیافت قرار داد،دفن یا رهاسازی این مواد راه و روش منطقی به نظر نمیرسد. لذا امروزه در کشورهای توسعه یافته بازیافت و استفاده مجدد از ضایعات مورد توجه خاص قرار گرفته و به یک صنعت تبدیل شده است که این نشان دهنده اهمیت بازیافت موتد است(۱).

اختراع لاستیک ۱۶۰۰سال قبل از میلاد توسط قوم مایا صورت گرفت. قوم مایا از لاتکس برای ساخت توپ های لاستیکی، پیکره ها و کاربردهای دیگر استفاده می کردند. در سال ۱۷۸۰ میلادی تایر برای نخستین بار به صورت رینگ های چوبی با پوششی از کائوچوی طبیعی به بازار عرضه گردید. در سال ۱۹۴۵نخستین تایر بادی توسط رابرت ویلیام تامسون تولید شد.در طی سال های بعد تایرهای توپر، تایرهای بدون تیوب و تایرهای بلت دار در ادامه روند نکامل تایر تولید گردید و موفقیت بزرگ این صنعت با تولید تایرهای رادیال توسط شرکت میشلن فرانسه به وقوع پیوست(۲).

با صنعتی شدن جهان، استفاده از محصولات لاستیکی از جمله تایرهای لاستیکی رشد گسترده ای یافته است. به دلیل اندازه، شکل و ترکیب شیمیایی - فیزیکی تایر، تخریب یا بازیافت آنها مشکل است. بنابراین، مقدار زیاد مواد لاستیکی فرسوده، مشکل جدی زیست محیطی به شمار می آید. از این بازیافت تایرهای فرسوده اهمیت می یابد(۳). طبق تعریف یک لاستیک فرسوده تایری می باشد که آماده به کار بردن در یک وسیله نقلیه نیست و برای استفاده به عنوان چرخ وسیله نقلیه نامناسب است(۴). از آنجایی که لاستیک و پلاستیک سالیان سال در محیط باقی مانده و قابل تجزیه بیولوژیکی نیستند، زیان های وسیعی را متوجه محیط زیست خواهند کرد. با توجه به رشد شهرنشینی آسایش طلبی انسان ها، استفاده از اتومبیل افزایش یافته است و به علاوه متوسط کیلومتر پیمایش هر خودرو نیز روز به روز بیشتر می شود(۴). بر خلاف سایر مواد زائد جامد، تایرهای زائد را نمی توان بدون انجام عملیات مقدماتی، دفن نمود. از طرف دیگر، تایرهایی که در طبیعت رها می شوند خطرات جدی برای محیط زیست و سلامت انسان دارند. همچنین محل های تجمع و دفع تایر ها، آمادگی و قابلیت زیادی برای آتش سوزی دارند(۵) دفع نامناسب این مواد زائد منجر به ایجاد تهدید های بسیاری برای محیط زیست و به دنبال آن برای انسان ها شده است(۴) به همین دلیل در سراسر جهان روش های گوناگونی به منظور بازیافت و جلوگیری از آلوده سازی محیط زیست توسط این مواد ارائه شده است که از آن جمله می توان به روکش کردن مجدد لاستیک و استفاده از پودر لاستیک مستعمل به عنوان یک جاذب برای بازیابی لکه های نفتی نام برد.

۱- روش های بازیافت لاستیک

دلایل بازیافت تایر متعدد می باشد اما در ابتدا کمبود کائوچوی طبیعی و بعدها مشکل زیست محیطی و آلودگی مهمترین علل آن گردیدند.

روش ها به ۳ دسته متداول؛ سوزاندن تایر در کوره ها برای بازیافت انرژی- دفن تایرها- روکش کردن تایر و استفاده مجدد از آن تقسیم می شوند.

روش اول (سوزاندن) به دلیل هزینه بالا و اثرات نامطلوب بر محیط زیست و روش دوم به دلیل تأثیر مخرب و تجدد ناپذیری آن در محیط مورد استقبال قرار نگرفت.

اما روش سوم : لاستیک تایر معمولا شامل ۴۰ تا ۵۰٪ لاستیک، ۲۵ تا ۴۰٪ کربن سیاه و ۱۰ تا ۱۵٪ افزودنی های سبک است. به علت عملیات متعددی که در پردازش مجدد تایر صورت می پذیرد. خصوصیات مواد بدست می آید. با مواد اولیه تا حدودی متفاوت است که موجب محدودیت هایی در مصرف می گردد. در این شیوه تایر مستعمل به پودر لاستیک و کائوچوی احیاشده تبدیل می شود و در صنایع مختلف بعنوان مواد اولیه مورد استفاده قرار می گیرد. کائوچوی احیا شده در تولید قطعات لاستیکی کوچک در صنایع مختلف، روکش کابل تخت و پاشنه کفش، نوارهای نقاله، ایزولاسیون، بات، لوله ها، کفپوش ها، کفپوشهای اتومبیل، لاستیک اسفنجی تایرهای دوچرخه ای و موتوری، تایرهای توپرچرخهای صنعتی و .... استفاده می شود(۵).

۱- ۲-مراحل استفاده مجدد از تایر

۱- جمع آوری: این مرحله تا حدود زیادی وابسته به حس مسئولیت پذیری در استفاده کنندگان می باشد، که با یک برنامه ریزی صحیح و ایجاد امکانات مناسب می-توان این مرحله را به خوبی مدیریت نمود. ایجاد تسهیلات لازم برای مالکین تایرهای فرسوده به این امر کمک می‌کند (۷).

۲- پردازش: مرحله پردازش با توجه به نوع استفاده نهایی متفاوت است. عموما تایرها خرد و ریز می شوند. قبل از این لازم است انواع آلودگی ها از تایرها حذف شوند. پس از آن تایرها برای خرد شدن آماده هستند(۹).

۳- استفاده نهایی: استفاده جدید از تایرهای فرسوده راه حل مناسبی برای کاهش مواد زائد،کم کردن قیمت ها و توسعه کیفیت و امنیت در پروژه های عمومی است.

پردازش بنابر استفاده های آن متفاوت می باشد. قبل از این مرحله انواع آلودگی های از تایر حذف می شوند. این آلودگی ها شامل سنگ ریزه، ارگانیسم ها، پیچ ها و سایر مواد فلزی است. پس از این مرحله، جداسازی قلمه های فلزی از لبه های تایر می باشد. در این مرحله تایر برای خرد شدن آماده می گردد. مرحله خرد کردن بنا به نیاز اندازه مختلف ومصارف گوناگون متغیر است(۴)

۲-۲- استفاده نهایی عمده تایرهای فرسوده

۱- تولید انرژی: در سال ۲۰۰۰ بیشترین استفاده نهایی از تایرهای فرسوده،بازیافت انرژی بود.وسایل و تجهیزات مخصوصی برای این منظور در اطراف شهرها تعبیه می شود. از این انرژی در تولید برق هم می‌توان استفاده نمود.از معایب آن امکان اشتعال در انبارهای ذخیره تایرهاست.

۲- آج گذاری: یکی از روش هایی که امروزه متداول است آج گذاری مجدد تایرهای فرسوده است. در این روش آج های ساییده شده تایرها طی مراحلی برداشته شده و آج با کیفیت مناسب در دما و فشار مناسب طی مدت زمان مشخصی بر روی تایرها نصب می‌شود. لاستیک های آماده شده با این روش ۳۰ تا ۵۰ درصد ارزان تر از لاستیک های نو هستند. استفاده از تایرهای با آج جدید به خصوص در وسایل نقلیه سنگین بسیار متداول است.

۳- تهیه محصولات از خرده های لاستیک: به صورت عمده سه نوع استفاده نهایی رایج است. در کفپوش ها، در محصولاتی که قالب‌گیری می شوند و برای اصلاح خاک.

۴- استفاده در پروژه های عمرانی: در بسیاری از پروژه های عمرانی به دلایل مختلف مجبور به کاهش وزن سازه هستند. برای این منظور معمولا از فوم و نظایر آن استفاده می شود. تایرهای خرد شده پرکننده هایی با وزن سبک برای انواع پروژه های عمرانی هستند.

۵- استفاده از روشهای بازی: به منظور افزایش امنیت کودکان در حین بازی با وسایل بازی در پارک ها و مکان های عمومی می توان از تایرهای فرسوده در ساخت وسایل ایمنی استفاده نمود.

۶- استفاده جهت تولید تایر جدید: از دیگر راه های بازیافت تایر استفاده مجدد در ساخت تایرهای جدید می باشد.لاستیک تایر معمولا شامل ۴۰ تا ۵۰ در صد لاستیک، ۲۵ تا ۴۰ درصد کربن سیاه و ۱۰ تا۱۵ درصد افزودنی های سبک است. ترکیب دقیق مواد بالا بستگی به نوع تایر و پروسه طراحی کاخانه سازنده دارد. از آنجا که هنگام پردازش تایرهای فرسوده به منظور استخراج اجزای مفید آن، عملیات متعددی روی آن انجام میگیرد، خصوصیات لاستیک به دست آمده با مواد خام اولیه متفاوت است. به همین دلیل محدودیت هایی در استفاده از این نوع لاستیک در تولید لاستیک های جدید داریم. در شروع این طرح حدود ۱درصد از مواد لاستیک های جدید را تایرهای بازیافت شده تشکیل می دادند. با مطالعات انجام گرفته این عدد در برخی موارد تا ۵درصد نیز افزایش یافته است (۴).

۳-۲- وضعیت بازیافت در ایران

الف) تولید تایر روکشی در ایران به حدود ۴۰ سال قبل بر می-گردد که بخشی از آن در قبل از انقلاب دارای تکنولوژی قدیمی بوده و کارخانجات ایجاد شده در بعد از انقلاب نیز رشد قابل توجهی از حیث تکنولوژی یا بهبود روشهای مورد مصرف در صنعت روکش تایر نداشته اند. عمده این کارخانجات در زمان جنگ ایران و عراق به لحاظ محدودیت تایر فعالیت خوبی داشته اما پس از جنگ به لحاظ موارد زیر باعث شده که کارخانجات فعلی زیر سقف ظرفیت اسمی فعالیت کنند و بیشتر مردم ترجیح میدهند که به جای تایر روکشی از تایر نو استفاده کنند . لذا فعالیت واحدهای روکش تایر عمدتاً محدود به تایرهای سنگین می باشد(۹).

- قدیمی بودن تکنولوژی مورد استفاده و عدم کیفیت مطلوب تایرهای روکش شده در حد استانداردهای بین المللی

- بی توجهی مردم به صنعت روکش و عدم آشنایی نسبت به مزایا و اهمیت تایرهای روکشی

- گرانی قیمت تایرهای روکشی در مقایسه با تایرهای نو فاقد کیفیت و استوکی وارداتی از مبدأ امارات یا چین که انگیزه های لازم را برای مصرف کننده بوجود نمی آورد.

- پایین بودن قدرت خرید در مصرف کننده که باعث استفاده ی بیش از حد از یک تایر نو شده و سبب می شود که تایرهای مستعمل (ماده اولیه عمده صنعت روکش) که باید روکش شوند از کیفیت مطلوبی برخوردار نباشند (۹).

ب) تولید کائوچوی احیاء شده ریکلیم (RECLAIM)در ایران به روش احیاء (حرارتی دستی) انجام می گیرد محصول تولید شده در این روش به لحاظ محدودیت خواص فیزیکی و شیمیایی دامنه کاربرد محدودی دارد و در برخی تولیدات با شرایط خاص استفاده می شود(۹).

ج) تولید پودر لاستیک عمدتاً در کشور به وسیله کراشرها و آسیابها می باشد که چندین کارگاه کوچک به صورت پراکنده با ماشین آلات ساخت داخل و فاقد پروانه از وزارت صنایع و معادن (عمدتاً صنفی) مشغول هستند.

پودر لاستیک صنعتی تولید کارخانه یزد با روش حرارتی می باشد که پودر تولیدی خواص محدودی دارد زیرا دمای بالا در خط تولید باعث از دست دادن خاصیت لاستیکی می گردد. پودر لاستیک با کیفیت بالا، به پودری اطلاق می گردد که دانه بندی مش ۲۰۰ به بالا باشد، کلاً پودر لاستیک با کیفیت بالا به دو روش زیر تولید می گردد. روشCRYOGENIC استفاده از روش سرد کردن با مایع نیتروژن که به ازاء هر تن پودرM3 1/2 NORMALنیتروژن مایع استفاده می شود) که در این روش به علت انجماد سریع (تا دمای ۸/۱۹۵(- c^o مصرف انرژی الکتریکی بالا می باشد . بنابراین محصول با مش پایین و هزینه بالا تولید شده و مقرون به صرفه نبوده و این روش در حال حاضر در جهان کاربرد ندارد. روش AMBIENT در این روش با استفاده از هوای سرد (AIR TURBO)قطعات لاستیکی توسط توربین ها سرد و خشک شده و آماده آسیاب می گردند. در مقایسه با روش CRYOGENIC"یا ازت مایع " در این روش انرژی کمتر و مصرف هوا زیادتر که توسط کمپرسورها و از طرق مخزن حجیم هوا تامین خواهد شد. بطور کلی روش انجماد تدریجی و بازیابی مواد لاستیکی (AMBIENT) موثرترین و ارزانترین روش برای بازیافت تایرهای فرسوده می باشد.

هسیه و همکاران (۲۰۲۴) صنعت بازیافت لاستیک را با توجه به عوامل کلیدی زنجیره تامین دایره ای مورد بررسی قرار دادند.این مطالعه ۵ جنبه و ۱۹ معیار را برای مرجع ارائه می کند، به طوری که شرکت های صنعت بازیافت لاستیک می توانند هنگام ساخت زنجیره تامین دایره ای برای محصولات بازسازی شده به وضوح مسیر اجرا را بدانند. این مطالعه نظرات کارشناسان را با روش دلفی فازی و آزمایش و ارزیابی تصمیم‌گیری فازی فاکتورهای کلیدی پیشنهادی را ادغام کرد و رتبه‌بندی اهمیت را انجام داد . نتایج نشان داده اند که جنبه های کلیدی شامل مدل کسب و کار دایره ای، افزایش ارزش منابع در زنجیره تامین و مدیریت ریسک زنجیره تامین دایره ای است .عواملی که صنعت بازیافت لاستیک باید به آنها توجه کند عبارتند از: بهینه سازی فرآیند تولید، به اشتراک گذاری داده ها در چرخه عمر محصول، ردیابی

و بازیافت موثر محصولات، طراحی مجدد محصولات بازسازی شده، افزایش منابع .کارایی، و شناسایی ترکیب زباله و جداسازی مواد (۱۰).

باریسویک و همکاران[1](۲۰۱۸) در مقاله ای تحت عنوان "تاثیر الیاف پلیمر تایر بازیافت بر خواص بتن" یک بررسی تجربی از الیاف پلیمر تایر بازیافت (RTPF) که به عنوان جایگزینی برای فیبرهای پلی پروپیلن مورد استفاده قرار می گیرد انجام می دهند.و به این نتیجه رسیدند که RTPF رفتار بتنی را در اوایل اوایل و در معرض محیط های پرخاشگرانه افزایش می دهد(۱۱).

دی لو پرستی و همکاران[2](۲۰۱۸) بیان می کنند اضافه کردن ذرات لاستیک خرده خرده به عنوان اصلاح کننده قیر در حال حاضر می تواند به عنوان یک جایگزین مناسب برای پلیمر های معمول برای تغییر قیر در نظر گرفته شود(۱۲).

پن سانگ و همکاران[3](۲۰۱۸) در مقاله ای با عنوان بازیافت کربن نانوساختار یافته از تایرهای زباله بازیافت نانو ذرات کربن ساختار یافته از هسته پوسته از تایرهای زباله به ترتیب با دمای بالا ۳۰۰ درجه سانتیگراد و درجه حرارت متوسط ۱۴۰ درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که CSCB دارای تعامل بین فازی بالاتر با زنجیره لاستیک بوده و لایه جدیدی از لاستیک مرطوب تقویت شده شکل گرفته است(۱۳).

اسکندرصفت و همکاران(۲۰۱۸) مقاله ای با عنوان "پیاده سازی آسفالت و رطوبت لاستیک: مطالعه کامل آزمایشگاهی"، ارائه داشت. که آزمایش های تجربی نشان داد در حالی که تفاوت نتایجRLAT ناچیز بود، مقادیرITS و ITSM به روش موثر تغییر کرد. از سوی دیگر، تحقیقات در محل بر روی بافت با استفاده از پچ شن و پاندول انگلیس، شهادت برای اثربخشیCR در مخلوط های مرتب شده متراکم مجدد را ارائه می دهد. در نهایت، اندازه گیری های سر و صدای تایر / پیاده رو در بخش‌های آزمایشی با استفاده از نزدیکی نزدیک (CPX)، تفاوت معنی داری بین روسپی های مورد آزمایش با و بدون لاستیک نشان نداد (۱۴).

کاشانی(۲۰۱۸) استفاده پایدار از خرده حلقه های تایر بازیافت شده به عنوان عایق در بتن سلولی سبک وزن به علت مشکلاتی که در زمینه دفع و بازیافت آنها وجود دارد، اثرات زیست محیطی و زیست محیطی تاثیر منفی بر روی سطوح زباله دارد. استفاده از رطوبت تایر بازیافت شده (RTC) به عنوان یک جزء از مواد ساختمانی به عنوان یک راه حل بالقوه پایدار برای این مسئله محیط زیست تبدیل شده است. این مطالعه به بررسی اثرات محتویات مختلف RTC بر مقاومت فشاری، تخلخل، هدایت حرارتی، عایق صدا و نفوذپذیری آب LCC به عنوان یک مقره می پردازد(۱۵).

آندرا ری دیپاوولین و همکاران[4](۲۰۱۷) مقاله ای تحت عنوان"خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه های نمونه برداری از لا ستیک های بازیافت شده از لا ستیک های پایان عمر" ارائه دادند (۱۶).

درخشان و همکاران(۲۰۱۷) در مقاله ای تحت عنوان " یک روش بازیافت جدید برای استفاده از لاستیک زباله"به این نتیجه رسیدند که RWT ها برای حمایت از فعالیت های بیولوژیکی برای انواع برنامه های کاربردی برای تصفیه فاضلاب به عنوان یک اپراتور بیوفیلم دارای پتانسیل بالایی هستند که عملکرد بهتر آن ها به عنوان تخلیهCOD و TSS و رسوب گذاری لجن و کیفیت پساب اینیافته ها را پشتیبانی می کند(۱۷).

کار کار یا و هم کاران (۲۰۲۴) یک رویکرد مبتنی بر یادگیری ماشینی را برای تخمین عمر پوشش تایر و قابلیت بازیابی پیشنهاد می‌کنند. این رویکرد می تواند طول عمر لاستیک را افزایش دهد و زباله های دفن را کاهش دهد. با استفاده از مجموعه داده‌های بازرسی تاریخی و مدل‌سازی اجزا محدود (FEM) به این چالش‌ها می‌پردازند. یک مدل جنگل تصادفی برای تخمین وضعیت پوشش تایر و احتمال حذف پوشش، با بهینه‌سازی بیزی برای تنظیم فراپارامتر استفاده می‌شود و دقت مدل را افزایش می‌دهدبا کمک این مدل یادگیری ماشینی، می‌توان به اهمیت و حساسیت پارامترهای مختلف استفاده از

1- Baricevic
2- Presti
3- Song
4- Depaolin

لاستیک دست یافت که برای به حداکثر رساندن عمر لاستیک مفید است (۱۸).

منصوری راد و همکاران(۱۳۹۳)مقاله ای تحت عنوان احیای زیستی لاستیک بازیافتی و اثر آن بر خواص مکانیکی لاستیک ولکانش شده نو ارائه دادند.امروزه به دلایل مسائل زیست محیطی، بازیافت واحیای لاستیک و تایر اهمیت زیادی پیدا کرده است. از روش هایی که در آن گوگردزدایی از لاستیک بدون تخریب ساختار پلیمری آن انجام می شود روش های زیستی است.در این پژوهش قابلیت و امکان استفاده از باکتری گرمادوست اسکنده گوگرد، اسیدیانوس بریرلی مطالعه شده است(۳).

رضائی و همکاران(۱۳۹۳) در مقاله ای تحت عنوان مروری بر نحوه بازیافت تایر در جهان و ایران به صورت اجمالی به بررسی چگونگی بازیافت تایر و موارد مصرف مختلف برای تایرهای فرسوده در کشورهای جهان از جمله ایران پرداخته است(۴).

عبدلی و همکاران(۱۳۸۴) در مقاله ای تحت عنوان بازیافت تایرهای فرسوده،سعی کردند چگونگی بازیافت تایر و موارد مصرف مختلف برای تایرهای فرسوده را شرح دهند(۵).

کاربرد و پیشینه SD در سیستم‌های پیچیده

SD[1] یک روش معتبر برای مدل‌سازی و درک رفتار سیستم‌های پیچیده است فورستر[2] (۱۹۵۸)(۱۹). از این مدل به‌طور گسترده‌ای برای مدل سازی رفتار پویای سیستم‌های غیرخطی پیچیده مورداستفاده قرارگرفته است. گلرودباری و زهرایی[3] (۲۰۱۵) از SD برای ارزیابی رفتار سیستمی یک شرکت تولیدکننده برق استفاده کردند(20). لیائو، وانگ[4](۲۰۱۵) یک مدل کامپیوتری SD برای ارزیابی روابط پویا بین استراتژی سرمایه‌گذاری فناوری اطلاعات یک سازمان و عملکرد بازار توسعه دادند. در مطالعه آن‌ها، SD یک ابزار پشتیبانی مفید برای تجزیه‌وتحلیل استراتژی های سرمایه گذاری فناوری اطلاعات است(21).

مواد و روش ها

پژوهش حاضر در چهارچوب رویکرد کیفی و با به کارگیری روش نظریه داده بنیاد انجام گرفته است و داده های مورد نیاز با به کارگیری مصاحبه های نیمه ساختار یافته، جمع آوری شده است. جامعه آماری این پژوهش از آن دسته از کارشناسان و خبرگان مطلع صنعت لاستیک تشکیل شده است که می توانستند اطلاعات با ارزشی را در اختیار پژوهشگر قرار دهند. در این پژوهش همان طورکه گفته شد، رویکرد داده بنیاد جهت استخراج عوامل و تاثیر و تاثر آنها بر روی یکدیگر استفاده شده است، روش کار به این صورت بوده که ابتدا با اجرای روش داده بنیاد، عوامل از ادبیات نظری، نظرات خبرگان و مصاحبه های قبلی و موجود در رابطه با موضوع با اجرای کدگذاری های سه گانه کدگذاری باز، کدگذاری محوری و کدگذاری انتخابی، مطابق مدل اشتراوس و کوربین، عوامل اصلی اثرگذار بر رفتار سیستم استخراج شد. در گام بعدی با استفاده از پنل خبرگان که شامل ۶ نفر است، ارتباط میان عوامل و نحوه تاثیر بر اساس متغییرهای کلامی پس از بحث و بررسی تعیین شد و سپس نمودارهای علی و جریان ترسیم گردید و مدل سازی در ونسیم صورت گرفت و در نهایت با تغییرات در پارامترهای مدل، رفتارهای مختلف سیستم مورد تحلیل قرار گرفت.

معادلات اصلی سیستم این مدل در ادامه بیان می شوند:

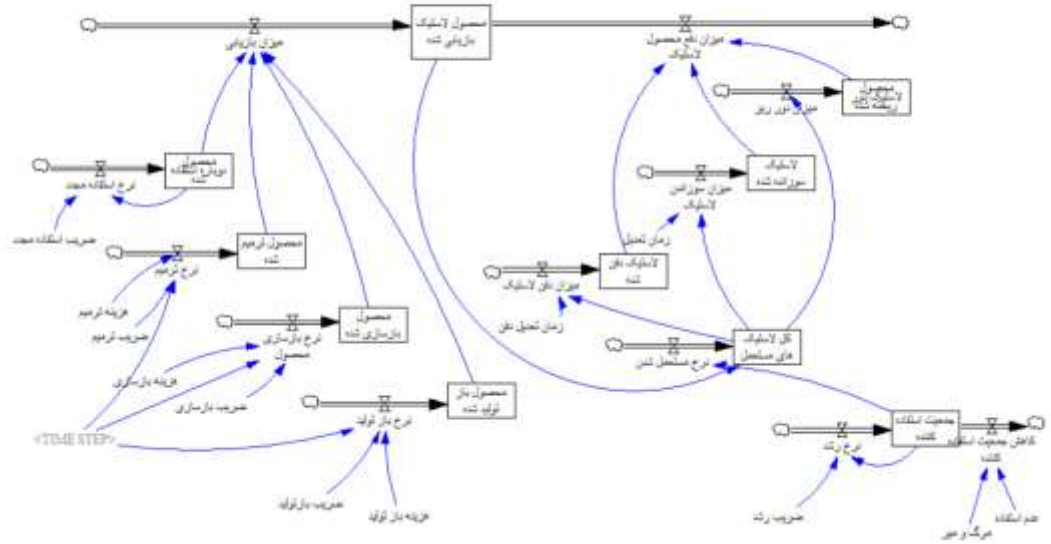
1- System Dynamics
2- Forreser
3- Golroudbary & Zahraee
4- Liao & Wang

۰۱	at= 3 Units: **undefined**	زمان تعدیل
۰۲	b at= 4 Units: **undefined**	
۰۳	burninglastic= INTEG (burningrate, 10) Units: **undefined**	لاستیک های سوزانده شده
۰۴	burningrate= wellwormlastic/b at Units: **undefined**	نرخ سوزاندن لاستیک
۰۵	d r= 0.3 Units: **undefined**	
۰۶	(06) FINAL TIME = 100 Units: Month The final time for the simulation.	زمان نهایی
۰۷	g at= 4 Units: **undefined**	زمان تعدیل رشد
۰۸	gconstant= 0.4 Units: **undefined**	ضریب ثابت رشد بازیافت
۰۹	grate= gconstant*using popul Units: **undefined**	نرخ رشد
۱۰	gravelastic rate= wellwormlastic/g at Units: **undefined**	نرخ لاستیک های دفن شده
۱۱	gravinglastic= INTEG (gravelastic rate, 10) Units: **undefined**	لاستیک های دفن شده
۱۲	INITIAL TIME = 0 Units: Month The initial time for the simulation.	زمان اولیه
۱۳	lasticrecycle= INTEG (recyclerate-pert, 100) Units: **undefined**	بازیافت لاستیک
۱۴	out of use= d r*sell r*using popul Units: **undefined**	لاستیک های غیر قابل استفاده

۱۵	overhaul= INTEG (overhaul rate, 10) Units: **undefined**	بازیابی لاستیک
۱۶	overhaul constant= 100 Units: **undefined**	مقدار ثابت بازیابی
۱۷	overhaul cost= 1000 Units: **undefined**	هزینه بازیابی
۱۸	overhaul rate= (overhaul constant*overhaul cost)/TIME STEP Units: **undefined**	نرخ بازیابی
۱۹	pert= burninglastic+gravinglastic+throwproduct Units: **undefined**	دفع لاستیک
۲۰	recyclerate= overhaul*Repare*Reprouduct*Reuse Units: **undefined**	نرخ بازیافت
۲۱	Repare= INTEG (Repare rate, 10) Units: **undefined**	ترمیم لاستیک
۲۲	Repare constant= 0.3 Units: **undefined**	ضریب ترمیم
۲۳	Repare cost= 10 Units: **undefined**	هزینه ترمیم
۲۴	Repare rate= (Repare constant*Repare cost)/TIME STEP Units: **undefined**	نرخ ترمیم
۲۵	Reproduct constant= 0.4 Units: **undefined**	ضریب ثابت بازتولید
۲۶	Reproduct cost= 100 Units: **undefined**	هزینه بازتولید
۲۷	Reprouduct= INTEG (Reprouduct rate, 10) Units: **undefined**	بازتولید
۲۸	Reprouduct rate= (Reproduct constant*Reproduct cost)/TIME STEP Units: **undefined**	نرخ بازتولید
۲۹	Reuse= INTEG (Reuse rate,	استفاده مجدد از لاستیک

	10) Units: **undefined**	
۳۰	Reuse constant= 0.2 Units: **undefined**	ضریب استفاده مجدد
۳۱	Reuse rate= Reuse*Reuse constant Units: **undefined**	نرخ استفاده مجدد
۳۲	SAVEPER = TIME STEP Units: Month [0,?] The frequency with which output is stored.	گام زمام
۳۳	sell r= 0.2 Units: **undefined**	نرخ فروش
۳۴	throwproduct= INTEG (throwrate, 10) Units: **undefined**	دورریز لاستیک
۳۵	throwrate= wellwormlastic/at Units: **undefined**	نرخ دورریز
۳۶	TIME STEP = 1 Units: Month [0,?] The time step for the simulation.	گام زمان
۳۷	using popul= INTEG (grate-out of use, 100) Units: **undefined**	مردم استفاده کننده از لاستیک
۳۸	wellworm rate= using popul+lasticrecycle Units: **undefined	نرخ مستعمل شدن لاستیک
۳۹	wellwormlastic= INTEG (wellworm rate,	مستعمل شدن لاستیک ها

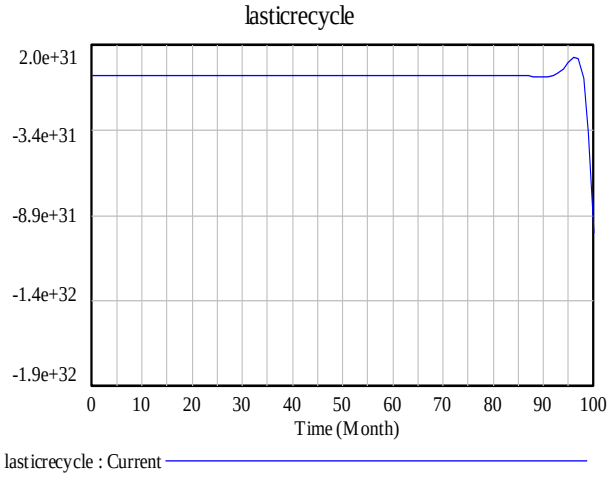
بحث ونتیجه گیری



شکل ۱-نمودار علی بهبود بازیافت لاستیک

Figure 1. Causal diagram for improving tire recycling

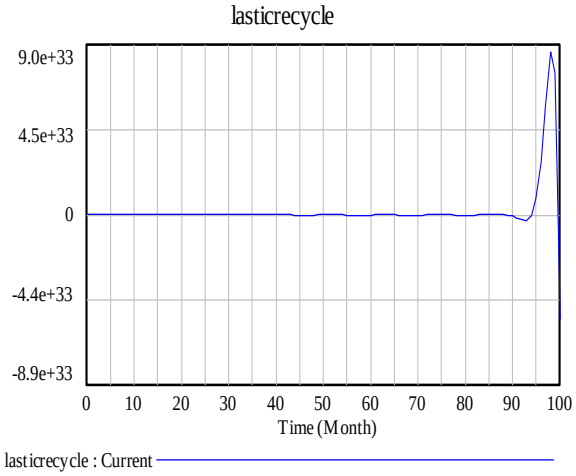
نمودار نشان می دهد که در بازیافت محصول لاستیک، دو دسته عوامل فزاینده و بازدارنده نقش دارند. استفاده دوباره از محصول، ترمیم محصول و بازتولید محصول بر افزایش بازیافت لاستیک تاثیر می گذارد و موجب گسترش بازیافت می شود که البته اینها در گذر زمان معنا پیدا می کند. همچنین، در موارد یاد شده هزینه هر کدام نیز نقش دارند. به عنوات نمونه، هزینه بازتولید، هزینه بازسازی و هزینه ترمیم ممکن است رغبت به آنها را کم کند. از طرف دیگر دفن لاستیک، سوزاندن لاستیک و دورریز لاستیک موجب کاهش بازیافت می شود که البته خود اینها تحت تاثیر کل لاستیک های مستعمل قرار دارند. از طرف دیگر، هر چه بازیافت لاستیک افزایش یابد کل لاستیک های مستعمل کاهش خواهد یافت و لذا دفن، سوزاندن و دورریز کمتر می شود و محیط زیست آسیب کمتری می بیند.



شکل ۲-نمودار رفتار بازیافت

Figure 2. Chart of recycling behavior

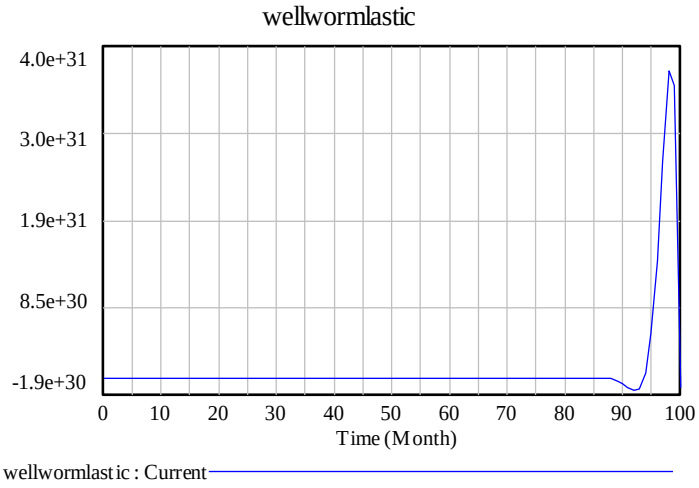
نمودار رفتار بازیافت در شرایط مدل نشان می دهد که بازیافت علی رغم ثبات اولیه و کمی افزایش در طول دوره زمانی، بدلیل عدم حمایت های کافی مانند افزایش هزینه ها و ... رفتار نزولی را در پیش می گیرد. با اصلاح سیاست ها در صورت تغییر در پارامترهای هزینه و حمایت و ... و همچنین فرهنگ سازی، به گونه ای که دفن، آتش زدن و ... کاهش یابد، رفتار مدل تغییر می کند و به سمت بهبود می رود.



شکل ۳-نمودار بهبود رفتار سیستم بازیافت لاستیک

Figure 3. Diagram of improving the behavior of the tire recycling system

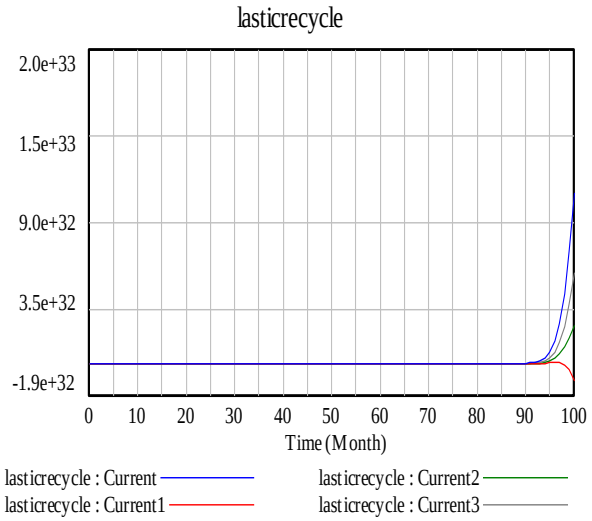
با فرهنگ سازی و کاهش دفن و دورریز و نیز کمک های حمایتی به نحوی که هزینه های بازیافت برای بازیافت کننده کاهش یابد، رفتار سیستم رفتاری افزایشی نشان می دهد که به معنای بهبود صنعت بازیافت لاستیک می باشد.



شکل ۴-نمودار رفتار لاستیک های مستعمل

Figure 4. Used tires behavior diagram

نمودار نشان می دهد در دوره زمانی مشخص شده، کل لاستیک-های مستعمل پس از یک دوره زمانی افزایش یافته و سپس کاهش پیدا می کند و این یا تغییر در پارامترهای افزایش ترمیم، استفاده مجدد و بازیابی و بازسازی لاستیک های مستعمل امکانپذیر می شود.



شکل۵- نمودار رفتار سناریوهای کاهش هزینه های بازیافت

Figure 5. Behavior diagram of scenarios for reducing recycling costs

با اجرای شبیه سازی های مختلف در سناریوهای کاهش هزینه های بازیافت توسط شرکت های بازیافتی در نتیجه حمایت های دولتی و نیز فرهنگ سازی برای عموم، با افزایش بازیابی، استفاده مجدد و ترمیم محصول، انتظار می رود روند بازیافت لاستیک بهبود یابد. تغییرات بهبود نشان داده شده در نمودار فوق در نتیجه بهبود هر کدام از این عوامل و در نهایت بهبود کلیه عوامل فوق الذکر اتفاق می افتد. البته سیستم با نوعی تاخیر همراه است و بهبود در بدو امر خود را نشان نمی دهد که این حالت می تواند بدین صورت تفسیر شود که سیاست های بهبود تا نتیجه خود را نشان دهد زمان می برد لذا سیاستگذاران نباید انتظار بهبود سریع در رفتار سیستم را داشته باشند بلکه باید با اجرای تدریجی سیاست ها، منتظر بمانند تا در طول زمان بهبود در رفتار بازیافت لاستیک رخ دهد.

این تحقیق باهدف یافتن عوامل مؤثر بر توسعه بازیافت لاستیک انجام شد. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد مجموعه ای از عوامل با تاثیر و تاثر متقابل بر بازیافت لاستیک تاثیر دارد و تا زمانی که به کل این عوامل و نقش آنها توجه نشود توسعه بازیافت لاستیک رخ نخواهد داد. با اجرای شبیه سازی های مختلف در سناریوهای کاهش هزینه های بازیافت توسط شرکت های بازیافتی با افزایش بازیابی، استفاده مجدد و ترمیم محصول، انتظار می رود روند بازیافت لاستیک بهبود یابد. تغییرات بهبود نشان داده شده، در نتیجه بهبود هر کدام از این عوامل و در نهایت بهبود کلیه عوامل فوق الذکر اتفاق می افتد. البته سیستم با نوعی تاخیر همراه است و بهبود در بدو امر خود را نشان نمی‌دهد، که این حالت می تواند بدین صورت تفسیر شود که سیاست های بهبود تا نتیجه خود را نشان دهد زمان می برد لذا سیاستگذاران نباید انتظار بهبود سریع در رفتار سیستم را داشته باشند مسئولین در صورتی که بخواهند بازیافت توسعه پیدا کند باید به نقش کلیه عوامل توجه کنند و نه یک یا چند عامل جدا از هم- همچنین نتایج نشان داده با افزایش حمایت از شرکت های بازیافتی و نیز فرهنگ سازی در مردم نسبت به این موضوع به عنوان متغیرهای اهرمی، بازیافت لاستیک توسعه خواهد یافت.

References

1. Omrani, Monvari, Jozzi, Zamani (2009), Glass Processing Management in Tehran, Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 11, No. 4. (In Persian)
2. Pazoki, Jafari (2017), Industrial Waste Management (Case Study: Abbas Abad Industrial Town), Journal of Environmental Science and Technology, Nineteenth, Special Issue No. 4. (In Persian)

3. Mansoori Rad, Razaghi Kashani, Mousavi, (2014). Biodegradable recycled rubber and its effect on the mechanical properties of new vulcanized rubber. Journal of Science and Technology Polymer, 27 (5), 395-407. (In Persian)
4. Rezaei, Ghorbani, Mohammadi (2014), Review of Tire Recycling in Iran and the World, Seventh National Conference and Environmental Exhibition, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran. (In Persian)
5. Abdoli, Jamshidi, Ebrahimi (2005), Recycling of worn tires, 2nd National Conference on Waste Management and its Position in Urban Planning, Tehran, Organization for the Recycling and Converting of Materials, Allameh Amini Branch, University of Tehran. (In Persian)
6. Yahed, Beqapur, Booshnei, Baram, (2012), Use of used tires of cars as a precursor for the production of activated carbon and removal of gasoline from water, The Sixth National Conference and the First International Management Conference on Waste Management, Mashhad, Organization Municipalities and Departments of the Country.
7. Saberi Bidgoli (2012), National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering. (In Persian)
8. Abbasi Dezfuli, Manabi, Soleimani Verpashti (2011), Survey of the process of production and use of worn-out crude rubbers in concrete, asphalt and concrete parts, The first national conference on civil and development, Rasht, Islamic Azad University. (In Persian)
9. Samadian (2006), Rubber Recycling, Ministry of Industry and Mines. (In Persian)
10. Hsieh, H.; Yao, K.; Wang, C.; Chen, C.; Huang, S. Using Circular Economy and Supply Chain as a Framework for Remanufactured Products in the Rubber Recycling Industry. *Preprints* 2024, 2024010824.
11. Baricevic, A., Pezer, M., Rukavina, M. J., Serdar, M., & Stirmer, N. (2018). Effect of polymer fibers recycled from waste tires on properties of wet-sprayed concrete. Construction and Building Materials, 176, 135-144.
12. Presti, D. L., Izquierdo, M. A., & del Barco Carrión, A. J. (2018). Towards storage-stable high-content recycled tyre rubber modified bitumen. Construction and Building Materials, 172, 106-111.
13. Song, P., Zhao, X., Cheng, X., Li, S., & Wang, S. (2018). Recycling the nanostructured carbon from waste tires. Composites Communications, 7, 12-15.
14. Eskandarsefat, S., Sangiorgi, C., Dondi, G., & Lamperti, R. (2018). Recycling asphalt pavement and tire rubber: A full laboratory and field scale study. Construction and Building Materials, 176, 283-294. (In Persian)
15. Kashani, A., Ngo, T. D., Hemachandra, P., & Hajimohammadi, A. (2018). Effects of surface treatments of recycled tyre crumb on cement-rubber bonding in concrete composite foam. Construction and Building Materials, 171, 467-473(In Persian).c
16. Depaolini, A. R., Bianchi, G., Fornai, D., Cardelli, A., Badalassi, M., Cardelli, C., & Davoli, E. (2017). Physical and chemical characterization of representative samples of recycled

rubber from end-of-life tires. Chemosphere, 184, 1320-1326.

17. Derakhshan, Z., Ghaneian, M. T., Mahvi, A. H., Conti, G. O., Faramarzian, M., Dehghani, M., & Ferrante, M. (2017). A new recycling technique for the waste tires reuse. Environmental research, 158, 462-469. (In Persian)
18. Karkaria, V., Chen, J., Siuta, C., Lim, D., Radulescu, R., and Chen, W. (November 13, 2023). "A Machine Learning–Based Tire Life Prediction Framework for Increasing Life of Commercial Vehicle Tires." ASME. *J. Mech. Des*. February 2024; 146(2): 020902.
19. Forreser, j. (1985). Industrial dynamics:A major breakthtough for decision makers.Havard Business Review, 36(4),37-66.
20. Golroudbary, S.R., & Zahraee., S.M.(2015).System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain.Simulation Modelling Practice and Theory,53,88-102.
21. Liao, y.-W., Wang, Y.-M., Wang, Y.-S., & Tu, Y.-m. (2015). An integrated system dynamics model developed for managing lake water quality at the watershed scale.Journal of Environmental Management,155, 11-23.