فصلنامه مطالعات محیط زیست، منابع طبیعی و توسعه پایدار
سال هفتم، شماره ۴ (پیاپی: ۲۶)، زمستان ۱۴۰۲
ISSN: 2588-4255

طرح توجیهی محیط‌زیستی بازیافت لاستیک به روش پیرولیز

مریم نصری نصرآبادی[۱]، پروانه پیکانپور فرد*[۲]، زهرا جوهری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰
کد مقاله: ۸۸۷۸۵

چکـیده

ازآنجایی‌که لاستیک‌ها به علت ساختار شیمیایی خود در مقابل تجزیه بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی دارای مقاومت بالا هستند و رهاسازی آنها در محیط زیست ایجاد مشکلات زیادی اعم از بیماری‌ها، مناظر بد آنها در طبیعت و آتش سوزی های مهیب ناشی از تلنبار آنها و آلودگی زیست‌محیطی می‌شود، باید مدیریت لاستیک–های فرسوده در رئوس کار قرار گیرد. بازیافت و تجزیه این مواد علاوه بر کاهش آلودگی محیطزیست، می‌تواند منافع اقتصادی فراوانی را برای کشور به ارمغان آورد. بازیابی انرژی از تایرهای فرسوده به وسیله فرآیندهایی از قبیل سوزاندن، پیرولیز و گازیفیکیشن یکی از پرکاربردترین و بهترین گزینه های مدیریتی این مواد در جهان است. پژوهش حاضر یک طرح توجیهی زیست محیطی می‌باشد که به بازیافت باطری های فرسوده به روش پیرولیز پرداخته و سپس به آلاینده‌های تولیدی در هر مرحله و اثر بر محیط سه‌گانه فیزیکی–شیمیایی، اقتصادی–اجتماعی و بیولوژیکی اشاره کرده است و بالطبع آن به ارائه راهکارهای کاهشی و کنترل اثرات بر این محیط‌ها پرداخته است

واژگـان کلـیدی: لاستیک، بازیافت لاستیک، روش پیرولیز

۱- دانشجوی دکتری گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- عضو هیات علمی گروه محیط زیست، نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. (نویسنده مسئول)
۳- دانشجوی دکتری گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان، اصفهان، ایران.

۱- مقدمه

به دلیل تولید روزافزون قطعات لاستیکی و خصوصا تایر در این قرن، ضایعات لاستیکی و تایر به یکی از بزرگترین مشتکلات در حال حاضر بشر تبدیل شده است. طبق آمارهای گرفته شده سالانه حدود ۴میلیون تن زباله های لاستیکی تولید می‌شود که یک میلیون تن آن تایرهای دورریخته می‌باشد و به دلیل اینکه این ضایعات زیست تخریب پذیر نیستند تبدیل به یک معضل و یک خطر بزرگ برای محیط زیست شده‌اند. با توجه به رشد شهرنشینی و آسایش طلبی انسان‌ها استفاده از اتومبیل افزایش یافته است و به علاوه متوسط کیلومتر پیمایش هر خودرو نیز روز به روز بیشتر می‌شود. در این میان، مقدار زیادی ضایعات لاستیک به دلیل آسیب های مکانیکی، کهنگی، سوختگی آتش و غیره تولید می شود که باعث شده توجه فزاینده ای به دفع زباله های لاستیک معطوف شود (چن و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از آسیب‌های زیست محیطی این موضوع تولید تایرهای فرسوده ای است که قابل پذیرش توسط محیط زیست نیست و همه به دنبال یافتن روش‌هایی برای مدیریت این موضوع هستند. از آنجایی که ضایعات لاستیک و پلاستیک سالیان سال در محیط باقی مانده و قابل تجزیه بیولوژیکی نیستند، زیان‌های وسیعی را متوجه محیط زیست خواهند کرد. خدمات اکوسیستمی مزایایی هستند که مردم از طبیعت دریافت می کنند. بقا و رفاه انسان به این خدمات بستگی دارد بنابراین، انسان ها باید حفاظت و بهترین مدیریت را برای اکوسیستم ها فراهم کنند (اکباس و یوهانا، ۲۰۲۱) از همین رو امر بازیافت لاستیک‌های فرسوده نه تنها آثار مخرب بر محیط زیست ندارد بلکه منشا توسعه صنعتی و سودآوری اقتصادی و فرآوری و تولید محصولات دیگری نیز می‌باشد. به طور کلی، دفن زباله، سوزاندن و تجزیه در اثر حرارت روش های اصلی برای دفع چنین زباله های جامد هستند. با این حال، دفن زباله مقدار زیادی از زمین های ارزشمند را اشغال می کند و میزان تخریب زباله های جامد به طور قابل توجهی پایین است. سوزاندن گازهای خطرناکی را برای محیط زیست آزاد می کند. پیرولیز، که به عنوان یک روش امیدوارکننده برای دفع زباله های جامد در غیاب اکسیژن در نظر گرفته می شود، نه تنها می تواند بر معایب دفن زباله و سوزاندن غلبه کند، بلکه می تواند زباله های جامد را برای سوخت ارزشمند یا مواد اولیه شیمیایی بازیافت کند، بنابراین، پیرولیز به طور گسترده ای برای بازیافت ضایعات لاستیک استفاده می شود (چن و همکاران، ۲۰۱۹). پیرولیز یک فناوری تبدیل زباله به انرژی است که می تواند برای تخریب حرارتی لاستیک های ضایعاتی و تولید محصولات جانبی مفید به شکل مایع، گاز و زغال استفاده شود. محصولات مشتق شده را می توان فیلتر کرد و در صنایع دیگر به عنوان مواد سوخت زیستی مورد استفاده قرار داد، روغن پیرولیتیک دارای ارزش حرارتی بالا ۴۵ MJ/kg – ۳۵است و می تواند به عنوان جایگزینی برای سوخت دیزل برای خودروهای خاص استفاده شود (افش و همکاران، ۲۰۲۳). در کنار مساله حفاظت از محیط زیست، دستیابی به یک انرژی ارزان و کارآمد یکی از دغدغه‌های دائمی جامعه و صنایع است. از جمله این مصارف می‌توان به نیروگاه‌های برق، کارخانجات تولیدی پر مصرف مثل: صنایع سیمان و ذوب فلزات، سوخت اتومبیل ها، منازل و ... اشاره کرد. این موضوع باعث شده استفاده از تایرهای فرسوده به عنوان یک سوخت مورد توجه ویژه قرار می‌گیرد. قدرت و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی ارزش حرارتی بالقوه زباله های پلاستیکی به منظور استفاده به عنوان منبع انرژی و تولید مواد با ارزش افزوده از زباله پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که در صورت جمع‌آوری، حمل و نقل و تحویل رایگان پلاستیک در محل بازیافت، می‌توان به نرخ بازگشت سرمایه دست یافت. بنابراین، نتایج این تحقیق تأیید می‌کند که تصفیه حرارتی پلاستیک‌های زباله در استرالیا از نظر فنی و همچنین اقتصادی قابل اجرا است. (افش و همکاران، ۲۰۲۳) در پژوهشی با عنوان بازیافت ضایعات تایر با استفاده از پیرولیز به تشریح پارامترهای یک راکتور کوره‌ای دوار با بررسی مطالعات ارزیابی چرخه حیات قبلی و به‌کارگیری روش‌شناسی برای یک کارخانه تولید حرارت در مقیاس صنعتی در قبرس شمالی پرداختند. نتایج نشان داد که حداکثر بازده تولید ۴۵/۶ درصد روغن، در دمای بهینه ۵۰۰ درجه سانتیگراد است. پارامترهایی مانند دما، زمان اقامت و نرخ گرمایش بر اساس سهم کلی آنها در بازده تولید و محیط تاثیرگذار است . طرح حاضر عبارت است از بازیافت لاستیک‌های فرسوده و تبدیل آن‌ها به محصولات با ارزش افزوده بالاتر. با توجه به حجم زیاد تایرها و لاستیک‌های ضایعاتی و رهاسازی آن‌ها در محیط زیست و طبیعت، اجرای این طرح می‌تواند کمک قابل توجهی به محیط زیست کشور باشد. در حدود ۴۵ درصد وزن تایرها را لاستیک، ۲۲ درصد آن دوده (کربن بلک)، ۱۷ درصد سیم فلزی، ۵ درصد الیاف تقویت کننده و مابقی افزودنی‌های مورد نیاز می‌باشد. پس از اجرای فازهای مختلف این طرح، روزانه بیش از ۳۰ تن لاستیک فرسوده به محصولات با ارزش و قابل استفاده تبدیل می‌شود. از جمله ویژگی‌های طرح می‌توان به در دسترس بودن مواد اولیه، کمک به کاهش زائدات، کاهش قیمت محصولات، امکان صادرات محصولات در صورتی که استانداردهای لازم در آن رعایت شود و همچنین سودآوری، بازده و دوره برگشت مناسب سرمایه گذاری، کمک به محیط زیست و مدیریت بحران ابقا ضایعات لاستیکی اشاره کرد.

از اهداف این طرح می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تولید انبوه و با صرفه
- کاهش حجم ضایعات لاستیکی و استفاده بهینه از ضایعات و کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی

- کاهش مصرف نفت و مشتقات آن
- ایجاد اشتغال حدود ۴۰ نفر به صورت مستقیم و غیرمستقیم
- رونق بخشی به سطح معیشتی مردم شهرستان
- ورود ارز به کشور از طریق صادرات محصولات و جلوگیری از خروج ارز

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان چهار محال و بختیاری با وسعت ۱۶،۴۲۱ کیلومتر مربع و جمعیت ۹۴۷،۷۶۳ نفر یکی از استان‌های مرتفع کشور در قلب رشته‌کوه زاگرس است. این استان جزو استان‌های کوهستانی کشور محسوب می‌شود و در منطقه مرکزی رشته کوه زاگرس واقع شده است مرکز این استان با مساحتی درحدود ۲۰۰۸ کیلومتر مربع و جمعیت ۲۸۳۲۱۰ نفر (سالنامه آماری، ۱۳۹۵) است. شهرکرد یکی از شهرهای مرکزی ایران و مرکز شهرستان شهرکرد و استان چهارمحال و بختیاری است شهرکرد در ۹۷ کیلومتری جنوب غرب اصفهان قرار دارد. ولی در کل، شهرکرد جزو ۲۰ شهر مرتفع ایران است که با ارتفاع ۲۰۶۰ متر از سطح دریا، ۴۷۰ متر پایین‌تر از مرتفع‌ترین شهر ایران، فریدون‌شهر (۲۵۳۰ متر) قرار دارد. این شهر از لحاظ جغرافیایی در بخش شمالی رشته‌کوه زاگرس قرار گرفته است. این شهر دارای آب و هوای نیمه مرطوب، تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد است.

جدول۱- تقسیمات کشوری در محدوده مورد مطالعه (سالنامه آماری استان چهار محال و بختیاری- ۱۳۹۵)

شهرستان	مرکز شهرستان	بخش	مرکز بخش	دهستان	مرکز دهستان	شهر
بروجن	بروجن	مرکزی	بروجن	حومه	نقنه	بروجن، سفید دشت، نقنه، فرادنبه
		گندمان	گندمان	دوراهان	کردشامی	گندمان
				گندمان	گندمان	
		بلداجی	بلداجی	امامزاده حمزه علی	آقبلاغ	بلداجی
				چغاخور	اورگان	

شکل ۱- نقشه موقعیت طرح بر روی تصاویر ماهواره‌ای

شکل ۲- نقشه تقسیمات سیاسی و موقعیت محل اجرای طرح

بروجن نیز با ارتفاع ۲۱۹۷ متر از سطح دریا نیز یکی از شهرهای مرتفع این استان و ایران است شهرستان بروجن با مساحتی حدود ۲۲۵۶ کیلومتر مربع بین ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. که با ارتفاع ۲۱۹۷ متر از سطح دریا به بام ایران معروف است. بر اساس تقسیمات کشوری سال ۱۳۹۵، شهرستان بروجن دارای ۳ بخش، ۶ شهر، ۵ دهستان می باشد سایت مورد مطالعه در بخش حومه شهرستان بروجن و در شهر سفید دشت واقع شده است(سالنامه آماری، ۱۳۹۵). زمین محل اجرای طرح پیرولیز لاستیک در زمینی به مساحت ۱۰۰۰۰ متر مربع در سایتی به مساحت ۸،۵ هکتار واقع در شهرک صنعتی سفید دشت در حومه شهرستان بروجن در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد.

جدول۲- مختصات utm سایت

	X	Y
A	۵۱۸۷۳۹.۷	۳۵۵۸۶۶۰،۸۴
B	۵۱۸۷۲۹.۳	۳۵۵۸۵۱۶،۲۲
C	۵۱۸۷۳۰.۹	۳۵۵۸۵۱۰،۸۷
D	۵۱۹۲۹۳.۳	۳۵۵۸۶۲۰،۷۵
E	۵۱۹۲۸۲.۶	۳۵۵۸۴۷۶،۱۳
F	۵۱۹۲۷۷.۸	۳۵۵۸۴۷۱،۵۱

۲-۲- تشریح فرآیند تولید و نوع محصولات تولیدی با ارائه فلودیاگرام

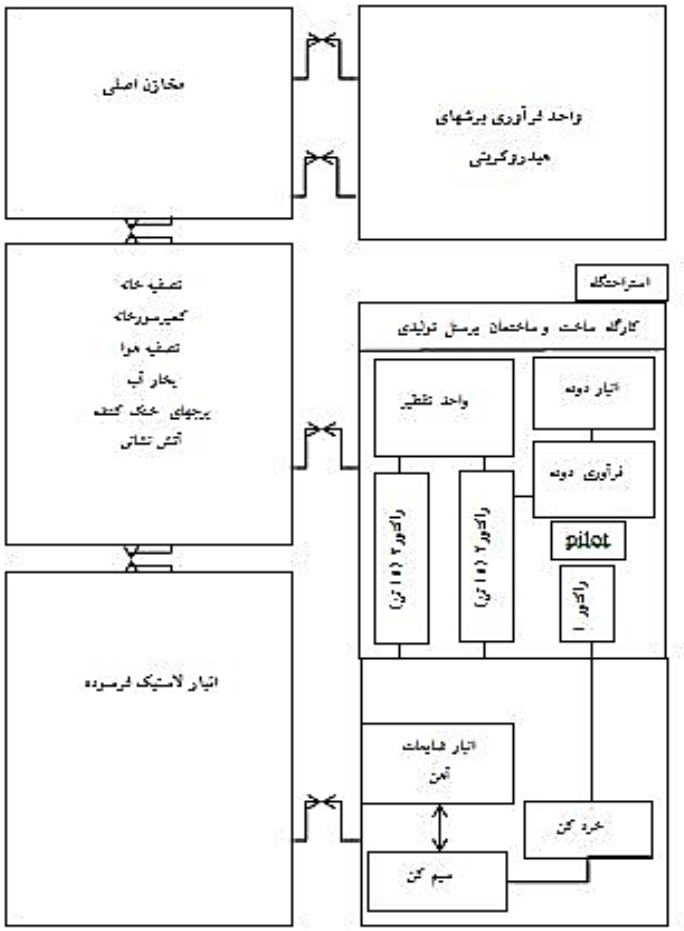
فرایند پیرولیز واکنش به شدت گرماگیر است که از احتراق تایرهای فرسوده محصولات ثابتی به وجود خواهد آمد. محصولات احتراق عبارت خواهند بود از بخار آب، اکسیدهای کربن و گوگرد، خاکستر و نیز مقداری حرارت که می‌توان مصرف یا از مجموعه خارج کرد. با استفاده از این روش می‌توان ۵۴ تا ۵۷ درصد وزنی تایرها، روغن هیدروکربن به دست آورد و این روغنی خواهد بود که خواص بسیار مشابهی با سوخت‌های سبک موجود در بازار و سوخت دیزل دارد. یکی دیگر از مزایای روش پیرولیز آن است که سوختی تولید می‌کند که ارزش حرارتی نسبتا خوبی دارد (۲۲ مگاژول/کیلوگرم) میزان گوگرد آن بسته به شرایط فرآیندی بین ۰,۵ تا ۰ درصد وزنی است. به علاوه روغن حاصل از این روش را نیز می‌توان به طور مستقیم برای سوخت مصرف کرد یا به سوخت-های مشتق شده از نفت خام افزود (ملک حسینی،۱۴۰۱). امروزه با افزایش قیمت سوخت، بسیاری از کشورها به دنبال افزایش سهم بازیافت انرژی از تایرهای فرسوده هستند، چون غیر از مسائل فوق دانسته اند که ارزش حرارتی تایرها بیشتر از زغال سنگ است. به علاوه بازیافت آن باعث کاهش ۹۰ درصدی حجم ضایعات خواهد شد. گازهای حاصل از این روش عمدتا شامل هیدروژن، متان و دیگر هیدروکربن‌ها است و میزان ارزش حرارتی آن به حدی است که می‌توان از قسمتی از آن برای تامین انرژی همین فرایند پیرولیز بهره جست (علی محمدی و کریم زاده،۱۳۹۸).

۲-۲-۱- شرح فرآیند و تجهیزات مورد نیاز پیرولیز

مراحل بازیافت لاستیک‌های فرسوده(روش پیرولیز) در کارخانه، در مرحله اول سیم‌های تایر توسط دستگاه سیم‌کش خارج می‌شود و پس از آن تایرها وارد آسیابهای تیز و برنده شده و سپس توسط نقاله به ورودی راکتور انتقال داده می‌شوند. در ادامه از طریق یکسری شیر وارد قسمت فوقانی رآکتور پیرولیز می‌شوند. در رآکتور لاستیک خرد شده و مواد افزودنی در تماس با گازهای (فاقد اکسیژن) حاصل از پیرولیز، گرم می‌شوند. طراحی رآکتور به گونه ای است که از ورود اکسیژن جلوگیری می‌کند از قسمت فوقانی رآکتور، گاز و بخار آب و نیز بخارات نفتی جمع آوری می‌شوند تا سپس از یکدیگر جدا شوند. در ستون جداسازی نیز دو برش نفتی جداگانه (روغن پیرولیز و گاز متان) حاصل می‌شود که قبل از ذخیره سازی خنک و خشک می‌شوند. در مرحله فرایند با استفاده از کاتالیست هایی که در برج ها تعبیه شده بوی بد لاستیک گرفته می‌شود و از اسکرابرها برای شست و شوی بو استفاده می‌شود. محصولات جامد تولیدی(کربن و قطعات فولادی) نیز توسط یک مارپیچ مورب بزرگ از رآکتور خارج شده و از مارپیچ‌های دیگری عبور داده می‌شوند تا کربن سرد شده و از شعله ور شدن آن جلوگیری شود.

در ادامه این مواد وارد یک جداکننده مغناطیسی شده تا مواد فولادی آن جدا شوند. کربن تولیدی پیش از ورود به انبار سرد می‌شود. روغن‌های تولیدی دارای کاربردهای صنعتی هستند. برش‌های سبک آن را می‌توان به عنوان خوراک کارخانه‌های شیمیایی(تصفیه و تولید روغن‌های صنعتی و حلال‌ها) مورد استفاده قرار داد. یا اینکه به عنوان سوخت برای صنایع مختلف اعم از نیروگاه‌های برق، کارخانجات تولید سیمان، صنایع ذوب فلزات، سوخت اتومبیل ها و ... مورد استفاده قرار داد.

پسماندهای جامد کربنی تولیدی را نیز می‌توان به نیروگاه های زغال سنگی فروخته تا جایگزین زغال سنگ شوند. یا این که برای تولید دوده مصرفی در صنایع به کارخانه‌های صنعتی فروخت. از طرفی کربن فشرده شده به عنوان سوخت مصرفی کوره‌های ذوب فلزات و یا سوخت منازل نیز استفاده می‌شوند. استفاده از تایرهای فرسوده علاوه بر کمک به پاکسازی محیط زیست و راهی برای دستیابی به زمین پاک، می‌تواند مزایای دیگری همچون کاهش قیمت تمام شده و افزایش کارآیی را به دنبال داشته باشد که نیازمند مدیریت قوی در بخش مواد زاید و جامد است. برای گوگرد زدایی هم از روش اکسیداسیونی استفاده می‌شود که یکی از روشهای موثر در زمینه حذف و تبدیل ترکیبات گوگردی از ترکیبات نفتی است. گوگردزدایی اکسایشی شامل واکنش شیمیایی بین ماده اکسیدکننده و گوگرد است که به طور کلی این روش شامل دو مرحله است، مرحله اول اکسایش گوگرد که در آن ماهیت ترکیبات گوگرد دار تغییر می‌کند و مرحله دوم حذف گوگرد است. در گوگردزدایی اکسایشی ترکیبات گوگردی به سولفوکساید و سولفون (بدون شکسته شدن پیوند کربن-گوگرد) اکسید می‌شوند. سپس این ترکیبات اکسید شده به‌دلیل افزایش نسبی قطبیت از نفت سبک استخراج می‌شوند در این فرآیند پس از تبدیل ترکیبات گوگرددار به سولفون‌های معادل آنها عملیات جداسازی مانند استخراج، تقطیر و جذب برروی آنها صورت می‌گیرد. اکسایش مشتقات تیوفنی به سولفون، قطبیت و وزن مولکولی آنها را افزایش می‌دهد که سبب تسهیل در جداسازی از طریق استخراج، تقطیر و جذب می شود که به عنوان یک محصول جانبی به فروش می-رسد.



شکل ۳- دیاگرام فرایند تولید

۲-۲-۲-معرفی محصول

محصول جانبی طرح حاضر دوده می‌باشد. دوده یا کربن سیاه ماده‌ای است که از سوختن ناقص هیدروکربن های سنگین تولید می‌شود. دوده عمدتا در محصولات لاستیکی، رنگدانه ها و جوهر چاپگر ها کاربرد دارد. کربن سیاه شکل آمورف کربن است که به صورت تجاری از تجزیه حرارتی یا اکسایشی هیدروکربن‌ها حاصل می‌شود. دوده حاصل از این فرآیند با گرید N-220 به خاطر داشتن خاصیت تقویت کنندگی، مقاومت بالا در مقابل پاره شدن و قابلیت فرآیندی خوب، در تایرهای سواری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. ضایعات فلزی»پ از دیگر محصولات جانبی طرح سیم های فولادی موجود در تایر است که ابتدا از لاستیک ها خارج می‌شود.

۲-۲-۳- مراحل و روشهای کنترل کیفیت محصول

این واحد اولین واحد بازیافت به روش پیوسته در ایران است و توسط یک تیم علمی و با هدف بهینه سازی محصولات اجرا می‌شود و لذا کنترل کیفیت محصولات از اهمیت بالایی برخوردار است. در همین راستا تمام تست‌های کنترل کیفیت محصولات مایع شامل نقطه اشتعال، گرانروی، دانسیته، رنگ و ... به صورت روزانه در آزمایشگاه کنترل کیفیت واحد انجام می شود. آزمون-های دوده عبارتند از میزان گوگرد، میزان خاکستر، دانسیته، عدد یدی، سختی، تست حلال که با همکاری آزمایشگاه‌های مرجع انجام می‌شود.

جدول ۳- ظرفیت تولید سالانه

نام محصول	واحد	ظرفیت تولید (سالانه)
هیدروکربن سنگین	هزار لیتر	۳۶۰۰
دوده	تن	۳۰۰۰
ضایعات فلزی	تن	۱۳۰۰

۳- بررسی اجمالی آلاینده ها و پسماندهای مهم تولید شده طی فرآیند

الف- آلاینده های هوا: آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت در راستای تولید انرژی لازم برای دستگاه‌های موجود در کارگاه و گرمایش و سرمایش فضای کارگاهی و اداری، افزایش آلودگی هوا در اثر افزایش حمل و نقل، گازهای قابل احتراق نظیر هیدروژن، متان، مونواکسید کربن، هیدروکربن‌های فرار و سبک حاصل از روش پیرولیز (حدود ۸ درصد) که می‌توان از آن برای تامین انرژی فرآیند پیرولیز استفاده کرد، بوی نامطبوع مخازن نگهداری محصول.

ب-آلاینده های آب: آلودگی حاصل از دفع فاضلاب بهداشتی کارکنان، آلودگی آب در اثر سموم مورد استفاده در فضای سبز، پساب واحد خنک‌کننده

ج- آلاینده های خاک: نفوذ آلاینده‌های بهداشتی، نفوذ شیرابه پسماند، نشت و نفوذ سوخت‌های فسیلی از قسمت‌های مختلف خودروهای حمل مواد اولیه و محصول، نشت از مخازن، مسمومیت خاک به وسیله سموم و کودهای مورد استفاده در فضای سبز مجموعه.

د- آلاینده های صدا: منابع صوتی ناشی از احتراق در بخش‌های مختلف فرآیند در رآکتور و همین‌طور فعالیت پمپ‌ها، برج خنک کننده، فعالیت خرد کردن لاستیک‌ها، حمل و نقل مواد اولیه و محصول.

ه- مواد زائد جامد: پسماند عادی ناشی از حضور کارکنان، کربن بلک (دوده) تولیدی حاصل از فرآیند (حدود ۲۲ درصد) ، سیم‌های فولادی و فلزی (حدود ۱۷ درصد)، باقیمانده ته نشینی و فیلتراسیون روغن سوخته

۴-بررسی اجمالی اثرات محتمل و قطعی طرح روی محیط های سه گانه فیزیک و شیمیایی، اقتصادی- اجتماعی و بیولوژیک

در اثر عملیات ناشی از اجرای طرح، موارد مشروحه ذیل قابل بررسی و ایجاد راهکار در قسمت مدیریت پایش می‌باشد:

الف- اثر بر هوا: در مرحله بهره‌برداری انتشار آلاینده‌های مختلف در اثر فعالیت راکتور نظیر هیدروژن، متان، مونواکسید کربن، هیدروکربن‌های فرار و سبک سبب کاهش کیفیت هوا خواهد شد، همچنین سوخت در راستای گرمایش فضاها و مواد انتشاریافته از حمل‌ونقل به دلیل عدم رعایت اقدامات مدیریت محیط‌زیست از منابع دیگر آلاینده‌های هوا در این مرحله خواهند بود. لازم به ذکر است که می‌توان با مدیریت بهینه خروجی‌ها باعث جلوگیری از آلودگی هوا شده و اثرات سوء آن را تقلیل داد.

ب- اثر برخاک: نصب و ساخت سیستم‌های جمع‌آوری و انتقال پساب‌ها و همچنین جلوگیری از تجمع ضایعات و پسماندهای جامد اثر سوء چندانی بر خاک منطقه ندارد؛ اما در صورت بروز نقایص ناخواسته در سیستم‌های جمع‌آوری پساب یا چرخه‌های جمع‌آوری و دفع پسماند ممکن است به شکل غیر ارادی و ناخواسته سطحی از آلودگی به خاک محدوده طرح سرایت نماید. در بحث تأسیسات و حمل‌ونقل محصولات تولیدی در صورت بروز نقص و یا حوادث غیرمترقبه احتمال نشت و ورود محصولات مایع تولیدی به خاک از مخازن و یا خودروهای حمل‌ونقل به خاک محیط وجود دارد. همچنین سموم و کودهای مورداستفاده در فضای سبز منجر به آلودگی خاک می‌شود. لذا اثرات ناشی از طرح بر این مؤلفه منفی، شدت کم و در محدوده بلافصل پیش‌بینی می‌گردد.

ج- اثر بر آب: در فرآیند خنک کردن مقادیر قابل‌توجهی آب مصرف می‌شود که سبب تولید فاضلاب می‌شود. پساب خنک‌کننده‌ها از سیستم خنک‌کننده کندانسورها و دیگر فعالیت‌ها تولید می‌گردد. همچنین پساب‌های بهداشتی کارکنان نیز در صورت رهاسازی سبب آلودگی آب خواهد گردید که در این طرح سپتیک تانک جهت دفع پساب در نظر گرفته شده است.

د- آلودگی صوتی: در طرح بازیافت لاستیک به روش پیرولیز احتراق در بخش‌های مختلف فرآیند در رآکتورهای تولید و همینطور فعالیت پمپ‌ها، برج خنک کننده، خرد کردن لاستیک‌ها و همچنین حمل و نقل مواد اولیه و محصول دارای آلودگی صوتی هستند. لذا پرسنل شاغل در منطقه می‌بایست در مقابل این سطح از آلودگی صوتی محافظت شوند. اثرات منفی سروصدا را می‌توان با مدیریت صحیح صدا در بخش‌های موجود کاهش داد. اثر فعالیت‌های فاز بهره‌برداری بر تراز صوت منطقه دارای شدت و اهمیت کم تا متوسط خواهد بود.

ه- باطله مواد زائد و نخاله: با توجه به احداث این واحد و ایجاد اشتغال در این منطقه در آینده، تولید مواد زائد شبه خانگی ناشی از فعالیت نیروی انسانی برای منطقه پیش‌بینی می‌شود که بایستی مکاتبات لازم با تنظیم موافقت نامه با شهرک صنعتی، جهت جمع‌آوری و دفن اصولی زایدات این منطقه صورت گیرد. همچنین دوده کربن بلک و سیم‌های فولادی دیگر مواد زائد تولیدی هستند که در صنایع مختلف از جمله واکس سازی، مرکب، لاستیک، پلاستیک، قطعات خودرو، ایزوگام، آسفالت، قیر و

... به فروش می‌رسد. همچنین باقیمانده ته نشینی و فیلتراسیون روغن به عنوان سوخت در کارخان‌های سیمان و آجرپزی مصرف می‌گردد.

۴-۱-۶- اثر بر محیط بیولوژیکی

در فاز بهره‌برداری با توجّه به تردّد وسایل نقلیه در منطقه از یک‌سو و انتشار آلاینده‌ها از سوی دیگر، اثراتی بر پوشش گیاهی و جانوری اعمال می‌گردد. با توجه به این‌که پوشش گیاهی محدوده طرح و اطراف آن از نوع مرتع با تاج پوشش فقیر می‌باشد لذا تأثیر بهره‌برداری طرح بر پوشش گیاهی منطقه، کم خواهد بود. همزمان با بهره‌برداری از پروژه، برنامه‌هایی جهت ایجاد و توسعه فضای سبز اجرا می‌شود که سبب ایجاد پوشش گیاهی جدید در منطقه می‌گردد. لذا ایجاد فضای سبز، از اثرات مثبت طرح در محدوده بلافصل می‌باشد که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، علاوه بر افزایش ارزش‌های زیست‌شناسی، پارامترهایی مانند تلطیف هوا و پالایش آن، جذب جانوران، کاهش فرسایش خاک و افزایش تثبیت خاک را به دنبال خواهد داشت.

۵- ارائه برنامه عملیاتی و قابل اجرا مدیریت اعم از راهکارهای کاهش و کنترل اثرات و آلودگی ها، پایش و نظارت بر حسن اجرای ملاحظات زیست محیطی

۵-۱- راهکارهای کاهشی هوا

- گسترش فضای سبز به شکل کمربندهای حفاظتی و دارای اشکوب بندی در سایت
- طراحی مناسب پارکینگ و مبادی ورودی و خروجی به جهت عدم ایجاد ترافیک مضاعف و انتشار عوامل آلاینده
- نصب فیلترهای تصفیه مناسب به‌خصوص در محل انبار
- نصب دودکش با ارتفاع بلند
- طراحی و پیاده‌سازی مناسب ایستگاه موقت و انتقالی پسماندهای جامد با در نظر گرفتن باد غالب و ... و همچنین ایجاد کمربند سبز در اطراف آنها

جدول ٤- برنامه پایش زمان‌دار و مکان‌دار هوا

محیط پذیرنده یا آلاینده تولیدشده	فاز	منبع آلودگی	پارامتر موردسنجش	استاندارد مرجع	تناوب پایش	محل انجام پایش	مسئول انجام پایش
هوا	بهره‌برداری	فعالیت فرایند تولید و حمل و نقل مواد اولیه و محصول	گازهایی نظیر هیدروکربن، ناکس‌ها، SOx ،CO	استاندارد هوای پاک	هر ۳ ماه یک‌بار	محوطه سایت	سرپرست واحد HSE

۵-۲- راهکارهای کاهشی صوت

- انجام معاینات دوره‌ای پرسنل و پوشش بیمه‌ای مناسب در این بخش
- معاینه فنی و روغنکاری منظم تجهیزات مورداستفاده
- به‌کارگیری اتصالات انعطاف‌پذیر در محل اتصال خطوط لوله به پمپ‌ها به‌منظور جلوگیری از انتقال ارتعاش به خط لوله و تشدید صدا

جدول ٥- برنامه پایش زمان‌دار و مکان‌دار صوت

محیط پذیرنده یا آلاینده تولیدشده	فاز	منبع آلودگی	پارامتر موردسنجش	استاندارد مرجع	تناوب پایش	محل انجام پایش	مسئول انجام پایش
صوت	بهره‌برداری	تردد وسایل نقلیه، فعالیت واحدها	تراز صوت	استاندارد صدا در محیط کار و هوای آزاد ایران	هر سه ماه یک‌بار	– در محدوده اجرای طرح	سرپرست واحد HSE

۵-۳- راهکارهای کاهشی آب و پساب

- ضد آب و دارای سیستم زهکش بودن محوطه و مناطق ذخیره‌سازی محصولات
- مدیریت استفاده از کود و سموم شیمیایی در مجموعه و جلوگیری از مصرف بیش‌ازحد آن‌ها

۵-۴-راهکارهای کاهشی خاک

- دپوی تفکیک‌شده ضایعات و برگزاری دوره‌ای مزایده فروش
- نظارت بر جمع‌آوری پسماندها و مدیریت
- جلوگیری از تخلیه روغن‌ها و گریس‌ها بر خاک و تخصیص محوطه مخصوص برای تعمیرات تجهیزات

جدول ٦- برنامه پایش زمان‌دار و مکان‌دار خاک

محیط پذیرنده یا آلاینده تولیدشده	فاز	منبع آلودگی	پارامتر موردسنجش	استاندارد مرجع	تناوب پایش	محل انجام پایش	مسئول انجام پایش
خاک	بهره‌برداری	دفع پسماند، نشت و ریزش	pH EC Oil	-	هر سال یک‌بار	محل مخازن، انبار، ذخیره موقت پسماند	سرپرست HSE

۵-۵- راهکارهای کاهشی مواد زائد

- جلوگیری حتی‌الامکان از تولید پسماند (کاهش ظروف یک‌بارمصرف، استفاده از مواد باکیفیت بالا و دورریز اندک و غیره) از طریق آموزش نیروهای کاری
- استفاده از سطل‌های کیسه‌ای مناسب با کیسه‌های مناسب و ضخیم
- استقرار مکان‌های مناسب و درب‌دار جهت ذخیره موقت پسماند
- کاهش حجم پسماندهای تولیدی از طریق حداکثر بازیابی و فروش
- جلوگیری از انباشت زباله‌ها و دفع روزانه زباله تولیدی توسط کارکنان با هماهنگی با شهرک صنعتی.

جدول ۷- برنامه پایش زمان دار و مکان دار پسماند

محیط پذیرنده یا آلاینده تولیدشده	فاز	منبع آلودگی	پارامتر موردسنجش	استاندارد مرجع	تناوب پایش	محل انجام پایش	مسئول انجام پایش
پسماند	بهره‌برداری	فعالیت پرسنل شاغل، فعالیت واحدها و تولید پسماند	سیستم مدیریت پسماند	-	هفتگی	محل انجام فعالیت و جمع‌آوری پسماندها	سرپرست واحد HSE

همچنین لازم است که صحت عملکرد شیرهای اطمینان در مسیر خطوط لوله و تجهیزات دریافت و سایر محل‌های دارای پتانسیل نشت احتمالی، مخازن ذخیره، تجهیزات آتش‌نشانی و ... به صورت ماهیانه توسط HSE مجموعه پایش گردد.

جدول ۸- فعالیت نظارت و بازرسی در فاز بهره برداری پروژه

	نام فعالیت	مرجع نظارت و بازرسی	نوع نظارت	دوره زمانی
بهره‌برداری	میزان آلاینده‌های هوا	سازمان محیط‌زیست	حاکمیتی	۳ ماهه
	نحوه جمع‌آوری و دفع مواد زاید			
	نحوه جمع‌آوری و دفع پساب			
	ت اصول بهداشت کار، تأمین تسهیلات برای کارکنان	وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، وزارت کار و امور اجتماعی	حاکمیتی	۳ ماهه
	تعمیر و نگهداری از تجهیزات و تاسیسات، اجرای روشهای کاهش، اجرای مدیریت دفع مواد زائد	مجری پروژه	عملیاتی	۱ ماهه

۶- نتیجه گیری

آوومسو و همکارانش اظهار داشتندکه نگرانیهای زیست محیطی موجود،کشورهای توسعه یافته و کشورهای در حال توسعه را وادار به ارائه راهکارهایی جهت کاهش آلودگی برای رشد پایدارکرده است و لذا استفاده از تکنیک‌های مؤثر دفع مناسب زباله برای حفاظت از محیط زیست را برجسته کرده است. فناوریها، فرآیندها و منابع جدید برای دستیابی به چشم‌انداز جهانی انرژی در حال بررسی هستند. کاملاً واضع است که وابستگی زیاد به سوختهای فسیلی و میزان مصرف بالای آن در جامعه منجر به کاهش این سوختها و تأثیر منفی بر محیط زیست می‌شود که باعث گرم شدن کره زمین و انتشار آلاینده‌های مضری مانند NO_X،SO_2و ... می‌شود.

توده‌های تایر مستهلک، خطر آتش‌سوزی بالایی ایجاد می‌کنند و در صورت سوزاندن باعث انتشار گازهای خطرناک، سمی و فلزات سنگین می‌شوند و محیط، خاک و آبهای زیرزمینی را به شدت آلوده می‌کنند و به محیط زیست آسیب می رسانند (مارتینز و همکاران،۲۰۱۳). تایرهای مستهلک، حجیم هستند و به محل بزرگی برای دفن احتیاج دارند و لذا تعدادزیاد تایرهای دور ریخته شده میتوانند با مشکلاتی مانند نگهداری، دفن و آشغال کردن زمینهای با ارزش همراه باشد (مارتینز و همکاران،۲۰۱۳). با توجه به مشکلات ذکر شده، ذخیره‌سازی تایرها به صورت دفن زباله در اکثر کشورها ممنوع است. تایر به دلیل ساختار متقاطع آن و وجود مواد افزودنی مختلف به راحتی تجزیه نمی‌شوند و در شرایط سخت فیزیکی و شیمیایی در برابر فرسایش و تخریب مقاومت می-کنند. به همین دلیل طول عمر تایر در یک محل دفن زباله ۸۰–۱۰۰سال در نظر گرفته می‌شود(لئونگ و وانگ،۱۹۹۸). بنابراین امروزه دفع تایر مستهلک یک مشکل عمده زیست محیطی است (بتانسور و همکاران،۲۰۰۹). بهترین راه حل از نظر اقتصادی و زیست محیطی، بازیافت تایرهای مستهلک و استفاده از آنها به عنوان ماده‌ای برای محصولات با ارزش افزوده خواهد بود (بتانسور وهمکاران،۲۰۰۹). بنابراین بازیافت تایر مستهلک، سودمندترین روش برای حل مشکل دفع است. بازیابی نه تنها از زیستگاه ما محافظت می‌کند بلکه باعث ذخیره منابع غیر قابل تجدید نفت می‌شود که ماده اولیه از آن نشأت گرفته است.

منابع

۱. سالنامه آماری استان چهار محال و بختیاری، (۱۳۹۵).

۲. علی محمدی سامان، کریم زاده رامین،« اثر اندازه قطعات تایر و اضافه نمودن مازوت در پیرولیز همزمان تایر مستعمل و مازوت»،(۱۳۹۸)، فصلنامه علمی–پژوهشی بین رشته ای،سال سوم،شماره ۴، نسخه ۱،صص ۲۴–۱۳

۳. ملک حسینی حسین ،(۱۴۰۱)، «بررسی پیرولیز لاستیک های فرسوده به روغن پیرولیز و مواد شیمیایی مفید»، ششمین کنفرانس ملی شیمی و توسعه فناوری

4. Afash, H., Ozarisoy, B., Altan, H., and Budayan, C. (2023). Recycling of Tire Waste Using Pyrolysis: An Environmental Perspective. Sustainability, 15(19), 14178.
5. Akbas, A. and Yuhana, N. Y. (2021). Recycling of rubber wastes as fuel and its additives. Recycling, 6(4), 78.
6. Betancur, M., Martínez, J. D., and Murillo, R. (2009). Production of activated carbon by waste tire thermochemical degradation with CO2. Journal of Hazardous Materials, 168(2-3), 882-887.
7. Chen, R., Li, Q., Zhang, Y., Xu, X., and Zhang, D. (2019). Pyrolysis kinetics and mechanism of typical industrial non-tyre rubber wastes by peak-differentiating analysis and multi kinetics methods. Fuel, 235, 1224-1237.
8. Ghodrat, M. A. A. J., Abascall Alonso, J., Hagare, D., Yang, R., and Samali, B. (2019). Economic feasibility of energy recovery from waste plastic using pyrolysis technology: an Australian perspective. International journal of environmental science and technology, 16, 3721-3734.
9. Leung, D. Y. C., and Wang, C. L. (1998). Kinetic study of scrap tyre pyrolysis and combustion. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 45(2), 153-169.
10. Martínez, J. D., Puy, N., Murillo, R., García, T., Navarro, M. V., and Mastral, A. M. (2013). Waste tyre pyrolysis–A review. Renewable and sustainable energy reviews, 23, 179-213.