محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۷۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸
صفحات ۵۲۹ تا ۵۴۲

طراحی مدیریت پسماندهای صنعتی با رویکرد تجزیه‌وتحلیل جریان مواد (MFA)، مطالعه موردی‌شهرک صنعتی نظرآباد استان البرز

فرزانه میرزابیاتی[۱]؛ رضا رفیعی[۲*]و مظاهر معین الدینی[۲]

۱- دانشجوی دوره دکتری مهندسی محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت۹۷/۱۱/۲۳-تاریخ پذیرش۹۸/۰۱/۱۹)

چکیده:

توسعه طرح جامع مدیریت پسماند های صنعتی با در نظر گرفتن جنبه های اقتصادی و زیست محیطی، می تواند به استفاده بهینه از منابع کمک کند. هدف از انجام این تحقیق بررسی ارزیابی وضعیت موجود مدیریت پسماند شامل مقدار و ترکیب پسماند و نحوه جمع‌آوری آن در شهرک صنعتی نظرآباد و ارایه سناریوها برای بهبود وضعیت سامانه مدیریت پسماند شهرک است. سناریو ۱: جمع‌آوری پسماند و انتقال آن به یک تاسیسات بازیافت، سناریو ۲: جمع‌آوری پسماند و دفن مستقیم در لندفیل تعریف شد. بعد از تعیین سناریوها، با استفاده از مفهوم موازنه جرم (MFA) میزان پسماند در هر یک از سناریوها محاسبه شد. محاسبات موازنه جرم و نیز برآورد عدم قطعیت محاسبات در نرم‌افزار STAN انجام شد. تحلیل جریان مواد در یک بازه زمانی ۵ ساله برای پسماندهای تولید شده در شهرک انجام شد. در مرحله بعد این داده‌ها در تحلیل ارزیابی چرخه‌زندگی مورد استفاده قرار گرفت و اثرات زیست‌محیطی هر یک از سناریوها برآورد گردید. نتایج حاصل از چرخه زندگی در پنج طبقه اثر موجود در سناریو اول کمتر از سناریو دوم بود به جز میزان گازهای اسیدی که در سناریو اول بیشتر است و آن هم ممکن است به دلیل واحد تولید RDF در این سناریو است که با جمع‌بندی کل نتایج، سناریو اول بار زیست‌محیطی کمتری داشت. در بخش نتایج اقتصادی، سناریو اول هزینه اولیه بیشتری نسبت به سناریو دوم داشت اما در طی بازه زمانی چند ساله میزان سود حاصل از فروش RDF و همچنین مشکلات حاصل از دفن و به طبع هزینه‌های ناشی از این مشکلات در لندفیل کمتر خواهد بود که در انتها با جمع‌بندی کل نتایج، سناریو اول به عنوان سناریو برتر انتخاب گردید.

کلید واژگان: شهرک صنعتی نظرآباد، مدیریت پسماند صنعتی، تجزیه و تحلیل جریان مواد (MFA)، ارزیابی چرخه زندگی

* نویسنده مسؤل؛ تلفن: ۰۲۶۳۲۲۲۹۶۸۳ ایمیل: rrafiee@ut.ac.ir

۱. مقدمه

مدیریت پسماندهای صنعتی یکی از شیوه‌های بسیار مناسب برای ایجاد تعامل و پیوند بین صنعت و محیط‌زیست و کاهش اثرگذاری‌های سوء فعالیت‌های صنعتی در محیط‌زیست است. برای تدوین یک طرح و برنامه جامع مدیریت پسماند باید تمامی‌شرایط و نیازهای جامعه در نظر گرفته شود و سپس با ترکیب آنها مؤثرترین و مناسب‌ترین روش‌ها و راهکارها برای شرایط مورد نظر تعریف و تبیین گردد. این راهکارها باید شامل کلیه فعالیت‌های مدیریت پسماندها اعم از کاهش تولید پسماند، تفکیک از مبدأ، بازیافت و دفع (کمپوست، زباله‌سوزی و دفن بهداشتی) باشد. در تجزیه‌وتحلیل یک سیستم ابتدا باید فرایندها و واحدهای عملیاتی مطالعه شوند، داده‌ها جمع‌آوری شوند و نقاط ضعف سیستم و گپ‌ها شناسایی شوند و سپس راه‌حل‌های امکان‌پذیر ارائه شود. ارزیابی مدیریت پسماند جامد با استفاده از تکنیک-های تحلیل سیستمی به تصمیم‌گیرندگان این اجازه را می‌دهد تا پیچیدگی سیستم را درک کنند (Pries *et al.*, 2011). مدیریت مؤثر پسماند نمی‌تواند بدون دانش کاملی از جریان ورودی و خروجی به درون سیستم مدیریت پسماند انجام شود. از این رو، استفاده از رویکرد تجزیه وتحلیل جریان مواد یک پیش‌نیاز برای مدیریت موفق پسماند است (Brunner & Tang, 2014).

با توجه به قانون بقا ماده، مدل‌های بر پایه MFA یک تعادل بین تمام ورودی‌ها، ذخیره‌ها و خروجی‌های یک فرآیند را بر قرار می‌کنند و لذا از این طریق می‌توان کلیه ورودی‌ها و خروجی‌ها را در یک سامانه که مرزهای آن مشخص است (مانند سامانه مدیریت پسماند) را ردگیری و برآورد نمود. این خصوصیت بارز MFA باعث می‌شود به عنوان یک ابزار و روش حمایتی در مدیریت منابع، مدیریت پسماند و مدیریت زیست‌محیطی اطلاعات ارزشمندی را در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد. پارامترهای اساسی در مطالعه جریان مواد، تعیین مرزهای سامانه مورد نظر و تعیین سطح مطالعه است. در تعیین مرزها باید به هدف مطالعه توجه کرد. به عنوان مثال چنانچه هدف از انجام MFA برآورد میزان پسماند تولید شده در یک شهر باشد، مرزها به نحوی تعیین می‌شود که میزان خروجی و ورودی مواد و پسماند به داخل شهر را در بربگیرد. استفاده از ابزار MFA در مدیریت پسماند برای مدل‌سازی عناصر ترکیبی از ضایعات، ارزیابی عملکرد مدیریت مواد در صورت امکان بازیافت کاربرد دارد و دیگر کاربردهای MFA شامل مدیریت منابع، تجزیه‌وتحلیل، برنامه‌ریزی و تخصیص بهره‌برداری و ارتقاء منابع، بیان کردن اثرات محیط‌زیستی، بازسازی محل‌های دفع پسماندهای خطرناک، طراحی استراتژی‌های کنترل آلودگی هوا، برنامه‌ریزی سیستم‌های پایش خاک، مدیریت لجن فاضلاب و ... می‌باشد. هدف اصلی در این تحقیق استفاده از رویکرد تجزیه‌وتحلیل جریان مواد برای مدیریت پسماندهای صنعتی در شهرک صنعتی نظرآباد است. سایر اهداف شامل شناسایی دقیق پسماندها و طبقه‌بندی آن در شهرک صنعتی نظرآباد؛ تعیین مهمترین و بیشترین منابع تولیدی پسماند در بین صنایع مستقر در شهرک صنعتی نظرآباد؛ تعیین پسماندهایی که بیشترین میزان بازیافت شوندگی را دارند و بررسی مناسب‌ترین روش جهت دفع پسماندها در شهرک صنعتی می‌باشد.

۲. مواد و روش ها

۲-۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرک صنعتی نظرآباد در محور تهران- قزوین (کیلومتر ۷۵ بزرگراه تهران-قزوین) بعد از شهر جدید هشتگرد جنب شهر نظرآباد در استان البرز واقع شده است. تعداد واحدهای فعال در این شهرک حدود ۹۰ عدد است که اکثر آن‌ها مربوط به صنایع غذایی و آشامیدنی است. فاصله این شهرک تا فرودگاه ۸۰ کیلومتر و تا راه آهن ۶۵ کیلومتر و تا مرکز استان ۵۵کیلومتر و فاصله تا نزدیکترین شهرستان ۵ کیلومتر و تا گمرک ۷۰ کیلومتر است (Alborz Industrial Estate Company, 2017).

۲-۲. واحدهای صنعتی مستقر در شهرک

به‌منظور بررسی وضعیت موجود تولید پسماندهای صنعتی در شهرک صنعتی نظرآباد، دسته‌بندی صنایع امری ضروری محسوب می‌گردد. تقسیم‌بندی وزارت صنایع بر اساس نوع محصولات تولیدی در صنایع گوناگون هست. از این رو در تحقیق پیش‌رو با تمرکز بر پسماند تولیدی و از دیدگاه مدیریت پسماند که بر کمیت و کیفیت پسماند تولیدی صنایع متکی است، دسته‌بندی صنایع در شهرک شامل صنایع غذایی، صنایع فلزی، صنایع شیمیایی، صنایع نساجی، صنایع سلولزی و خدمات ارائه گردیده است.

۲-۳. میزان و ترکیب پسماند در شهرک صنعتی

در مدیریت کنونی، پسماندها پس از جمع‌آوری توسط ماشین حمل در شهرک به حلقه دره که مرکز دفن پسماندهای شهرستان کرج می‌باشد منتقل می‌شود. بخشی از زائدات تولیدی که در خود واحدهای صنعتی دوباره وارد فرایند شده و مورد استفاده مجدد قرار می گیرد بازیافت داخلی محسوب می‌شود و بخشی که از واحد خارج شده و به عنوان پسماند مورد استفاده قرار می‌گیرد بازیافت خارجی تلقی می‌گردد. از این رو نمی-توان زائداتی را که تحت عنوان بازیافت داخلی مصرف ی‌شوند جزء پسماند تولیدی واحد محسوب نمود. در حال حاضر در شهرک صنعتی نظرآباد، بازیافت خارجی به دلایل اقتصادی به صورت فعال و موثری توسط خود واحدهای صنعتی از طریق فروش زائدات انجام می‌شود، اجزای قابل بازیافت پسماند تولیدی در شهرک شامل فلزات، پلاستیک، کاغذ و مقوا می‌باشد. با استفاده از اطلاعات اخذ شده از واحد فنی شهرک صنعتی و مشاهده مستقیم از نحوه و میزان جمع‌آوری پسماندها از واحد های صنعتی و همچنین با استفاده از اطلاعاتی که توسط خود واحدهای صنعتی در طی مراحل تکمیل پرسشنامه بدست آمده است میانگینی از میزان پسماند جمع‌آوری شده به صورت روزانه از داخل شهرک مشخص شد. ماشین حمل پسماند به طور میانگین روزانه ۳۱۰۰ کیلوگرم پسماند را جمع‌آوری کرده و به محل دفن منتقل می‌کند. با استفاده از مصاحبه‌های حضوری با مسؤلین جمع‌آوری و همچنین عکسبرداری‌های انجام شده و تجزیه و تحلیل آن‌ها (Wagland *et al.*, 2012) ترکیب پسماندها شناسایی شد و مواد زائد به چهار دسته کاغذ، پلاستیک، فلزات و مواد آلی طبقه‌بندی شدند. با توجه به اینکه بیشتر صنایع در شهرک مربوط به صنایع غذایی هستند اما پسماندهای موجود در محل‌های ذخیره و جمع‌آوری بیشتر جزء همین چهار دسته بودند با داشتن میانگین روزانه پسماند و درصد اجزای آن، مقدار پسماند

در دسته‌بندی یاد شده محاسبه گردید. لذا با تعیین کیفیت فیزیکی جریان پسماندها در شهرک، دو سناریو جهت مدیریت پسماندهای تولیدی، طراحی گردید که شامل ۱- جمع‌آوری پسماند و انتقال آن به یک تاسیسات بازیافت (این مرکز از سایر شهرک‌ها نیز پسماند دریافت می‌کند). در این مرکز، در مرحله اول، به صورت دستی بخش‌های قابل بازیافت مانند کاغذ، پلاستیک و موادی مانند آلومینیوم جداسازی می‌شود. در مرحله بعد، فلزات توسط یک آهنربا جدا می‌شوند و نهایتا پسماند با استفاده از یک ترومل پردازش می‌شود تا مواد آلی و غیر آلی از یکدیگر جدا شوند.

در این سناریو پنج مرحله اساسی وجود دارد که شامل جداسازی فلزات با استفاده از میدان مغناطیسی (۹۰ ٪) از سهم ۱۰ درصدی کل پسماند، جداسازی کاغذ و پلاستیک قابل بازیافت و فروش آن‌ها (۱۰٪) از سهم ۷۰ درصدی کل پسماند، استفاده از ترومل و سرند کردن مواد و دفن مواد آلی همراه با دیگر پسماندها (۲۰ ٪) و در نهایت تولید RDF (۶۰ ٪) که در مدل گرافیکی STAN مراحل رسم می شوند. لذا در هر مرحله لازم است درصد و یا ضریب انتقال جریان پسماند وارد شود تا نرم‌افزار محاسبات مربوطه را انجام دهد. ۲- ادامه دادن روش کنونی مدیریت پسماند که در آن پسماند جمع‌آوری شده و مستقیما در لندفیل دفن می‌شود. در این سناریو دو مرحله وجود دارد که مرحله اول شامل جداسازی فلزات قابل بازیافت و فروش آن (۱۰٪) و مرحله دوم جداسازی کاغذ و پلاستیک قابل بازیافت و فروش آن (۱۰٪) نسبت به میزان پسماند ورودی به فرآیند و باقیمانده پسماند در لندفیل بدون پردازش روی آن دفن می‌شود (۸۰ ٪).

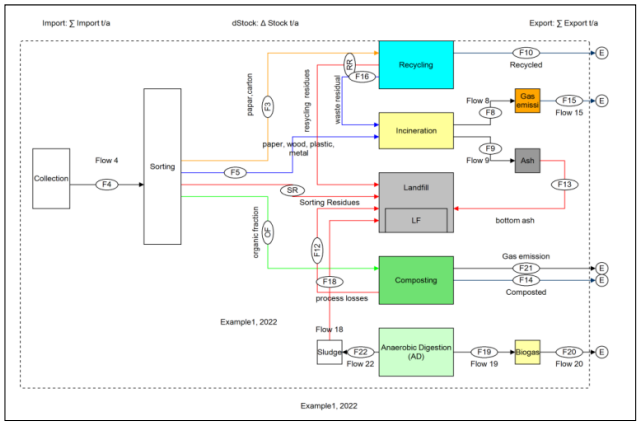
برای انجام مدل‌سازی لازم است ابتدا میزان کل پسماند ورودی به جریان را مشخص نمود و سپس با استفاده از شاخص ضریب انتقال[1] مشخص شود چند درصد از پسماند در هر فرآیندی وارد می‌شود که این درصد بنا به سناریو تعریف شده مشخص می‌گردد و با توجه به مدل گرافیکی ترسیم شده میزان پسماند در هر مرحله و فرآیند، همراه با عدم اطمینان آن به صورت خودکار محاسبه شده و خروجی‌های حاصل از این مدل برای انجام ارزیابی‌های زیست‌محیطی وارد نرم‌افزار IWM می‌شود.

۲-۴. تجزیه و تحلیل جریان مواد (MFA) در مدیریت پسماندها

تجزیه وتحلیل جریان مواد، روشی برای ردیابی حرکت ماده به داخل و خارج از سیستم و به محیط‌زیست می باشد، یکی از اهداف ایجاد سیستم تجزیه وتحلیل جریان مواد، بررسی جریان‌ها برای دستیابی به حجم متعادلی از مواد در کل فرایند می‌باشد که مستلزم ثبت میزان مواد و جریان آن ها در بخش‌های مختلف فرآیند است. (Brunner & Rechberger, 2004). در طی ۲۰ سال گذشته تجزیه و تحلیل جریان مواد به یک ابزار قابل اعتماد برای توصیف جریان مواد و موجودی‌ها در سیستم های مختلف تبدیل شده است (Cencic & Rechberger, 2008). شکل ۱ مدل طراحی شده از کل جریان پسماند و هدایت آن در بخش‌های مختلف در نرم افزار STAN را نشان می‌دهد. به دلیل نداشتن کارشناس مربوطه جهت ثبت اطلاعات دقیق و میزان پسماند تولیدی و ترکیب آن در هر واحد و همچنین امتناع از

2- Transfer Coefficient

دادن اطلاعات آماری دقیق و درست از میزان و نوع پسماند در هر واحد، داده‌های دقیقی موجود نبود لذا در چنین شرایطی که دستیابی به مقدار دقیق و ترکیب پسماند فراهم نباشد و نتوان اجزای پسماند در هر صنعت را به تفکیک و با اطمینان بیان کرد استفاده از روش MFA می‌تواند راه‌حل مناسبی باشد چون اساس و پایه این رویکرد بدین گونه است که با اطلاعات کم اما منطقی می‌توان به هدف مورد نظر دست یافت. لذا برای انجام این رویکرد به بررسی میدانی، بصری و استفاده از عکس و آنالیز آن در سطح شهرک پرداخته شد و مصاحبه‌های حضوری با مسؤل جمع‌آوری انجام شد و با تأمل و بررسی‌های لازم میزان و ترکیب پسماند در شهرک بدست آمد. سپس اطلاعات کسب شده را در نرم‌افزار STAN وارد کرده و محاسبات مربوطه صورت گرفت.



شکل ۱- مدل گرافیکی از کل جریان پسماند و هدایت آن در بخش‌های مختلف در نرم افزار STAN

۲-۵. تحلیل ارزیابی چرخه‌زندگی

ارزیابی چرخه زندگی فنی است که به کمک آن جنبه های زیست‌محیطی مرتبط با یک محصول یا فرآیند یا خدمات، در تمام طول عمر آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. رویکرد حاکم بر انجام مطالعه چرخه زندگی، گهواره تا گور می‌باشد (SETAC, 1998، Shafeei *et al.*, 2018،2016 Turner *et al.*). به این مفهوم که مراحل مختلف انجام یک فرآیند (مانند سیستم مدیریت شهری) یا تولید یک محصول، از استخراج مواد اولیه تا دفع نهایی مورد بررسی قرار می‌گیرد (Sohrab & Samadi, 2015، Banar *et al.*, 2009، Powell, 2000). چنین فرآیندی به عنوان یک سیستم در نظر گرفته می‌شود. ورودی‌ها (منابع) و خروجی‌ها (آلاینده‌ها)، سیاهه‌نویسی و در نهایت مورد ارزیابی و تفسیر قرار می‌گیرد. استفاده از LCA به این دلیل پیشنهاد می‌شود که امکان مقایسه چند برنامه، پروسه یا فعالیت مختلف با یکدیگر و انتخاب بهترین آن‌ها (با توجه به تاثیرات محیطی، اجتماعی و اقتصادی آن‌ها) را به ما می‌دهد. در این روش کلیه اثرات زیست‌محیطی مرتبط با محصولات، فرایندها و فعالیت‌ها که بصورت مستقیم و یا غیر مستقیم اثرات زیست محیطی متنوعی از خود نشان می‌دهند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. استخراج و پردازش مواد اولیه، ساخت و فرایندهای تولید محصول، توزیع محصولات، استفاده از محصول توسط مشتری، تعمیر و نگه داشت محصول بازیافت و استفاده مجدد از محصول و دفع نهایی از

اهداف ارزیابی چرخه زندگی می‌باشند (Hauschild, & Lasvaux *et al.*, 2016. Huijbregts 2015 .Sepahvand, 2018). IWM[۲] یکی از مدل‌های ارزیابی چرخه زندگی است که با کمک آن می‌توان سناریوهای مختلف را تعریف و سپس آثار زیست‌محیطی هر یک از سناریوها را با هم مقایسه و ارزیابی کرد. سپس سناریو ها بر اساس بار محیط‌زیستی خود با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند (Rafiee *et al.*, 2010). جنبه‌های مورد ارزیابی در برآورد بار محیط‌زیستی شامل آلودگی آب، آلودگی هوا، انرژی مصرفی و پسماند به جا مانده است. این مدل شامل ۱۲ پنجره یا کادر گفتگو برای ورود داده‌ها است، که پاسخ به پرسش‌های ارائه شده وضعیت سامانه مدیریت مورد بررسی را مشخص می‌کند. داده‌های مورد نیاز برای سیاهه‌نویسی چرخه زندگی با توجه به بررسی وضعی حمل و نقل و نحوه جمع‌آوری و تجهیزات و امکانات مورد استفاده در سطح شهرک بدست آمد و همچنین با استفاده از داده‌های تعریف شده استاندارد موجود در مدل IWM می‌توان میزان مواد آلاینده ناشی از هر کدام از سناریوها و نیز انرژی مصرفی در آن‌ها را به دست آورد. این داده‌ها به طور کلی برآوردی عمومی از وضعیت مصرف انرژی و تولید آلاینده-ها را نشان می‌دهند که برای ارزیابی تخصصی‌تر این موارد، لازم است در شرایط محلی دوباره به اندازه‌گیری آنها پرداخته شود. البته قابل ذکر است که داده‌های تعریف شده مدل نیز پرت نیستند و بر اساس آن‌ها می توانیم تخمینی از شرایط کلی به دست آوریم. در مرحله فهرست نویسی کمیت همه مواد ورودی (مواد و منابع انرژی مصرفی) و همه خروجی‌های سیستم (آلاینده‌های منتشر شده و محصولات مفید) تعیین و شناسایی گردیدند.

۳- نتایج

با توجه به میزان جمع‌آوری روزانه پسماند در سطح شهرک که میانگین آن معادل ۵۰۰±۳۱۰۰ کیلوگرم در روز می‌باشد و روزهای پنج شنبه و جمعه جمع‌آوری وجود ندارد، لذا می‌توان میزان پسماند در طول سال را برآورد نمود. پس از محاسبات صورت گرفته میزان پسماند در بازه زمانی ۵ ساله تعیین شد. اکثر پسماندهای صنایع غذایی مربوط به مواد بسته بندی و دورریز آن‌ها و واحدهایی مانند تولید سبزی منجمد و اسانس‌های گیاهی پسماند حاصل از محصولات خود را به واحدهای دیگر برای تغذیه دام به فروش می‌رسانند و یا واحدهای فرآوری محصولات گوشتی استخوان و یا مواد گوشتی زائد خود را به فروش می‌رسانند و وارد چرخه پسماند نمی‌شوند. صنایع فلزی هم مواد قابل بازیافت خود را به واحدهای مشخصی به فروش می‌رسانند لذا در چرخه پسماند وارد نمی‌شوند و این مقدار وارد نرم‌افزار STAN شد. عدم قطعیت با سطح اطمینان در داده‌های ورودی به نرم‌افزار برای هر فرآیند یا جریان محاسبه شد. زائدات پس از تولید، در مکان مناسب به صورت موقت ذخیره-سازی شده و پس از آن توسط نهاد مربوطه جمع‌آوری و حمل خواهد شد. دو نوع پسماند صنعتی و شبه شهری در شهرک تولید می‌شود. جمع‌آوری به صورت روزانه توسط یک دستگاه خاور پرس صورت می‌گیرد که پس از

2- Integrated Waste Management

تکمیل ظرفیت به محل دفع، انتقال داده می‌شود. لازم به ذکر است که تمام پسماندهای صنعتی و شبه شهری همگی با هم جمع‌آوری می‌شوند و جداسازی و یا اینکه مخازن جداگانه‌ای برای تفکیک آن‌ها در نظر گرفته شود، وجود ندارد.

جدول ۱ - جمع‌بندی کلی میزان پسماند جمع‌آوری شده از سطح شهرک

انواع پسماند جمع‌آوری شده	پلاستیک ۳۵٪	کاغذ ۳۵٪	مواد آلی ۲۰٪	فلزات ۱۰٪
وزن (تن/ ۵سال)	۱۴۱۰	۱۴۱۰	۸۰۷	۴۰۳
وزن (تن/سال)	۲۸۲	۲۸۲	۱۶۱	۸۱

۳-۱. آنالیز سناریو اول

با توجه به مراحل موجود در سناریو که قبلا توضیح داده شد لازم است در هر مرحله درصد و یا ضریب انتقال جریان پسماند وارد شود تا نرم افزار محاسبات را انجام دهد لذا در جدول ۲ ضرایب انتقال در هر فرآیند و درصد کل جریان پسماند در هر مرحله ذکر شده است. در مرحله اول که شامل جداسازی مغناطیسی است ۹۰٪ از فلزات قابل جداسازی هستند و این مسئله در نظر گرفته شده است که سهم فلزات از کل میزان پسماند ورودی شامل ۱۰ درصد است لذا برای تعیین ضریب انتقال عدد ۰/۰۹ بدست آمده است. همچنین ۱۰٪ از کاغذ و پلاستیک از سهم ۷۰ درصدی آن قابل بازیافت است لذا ضریب انتقال آن نسبت به میزان پسماند ورودی باید محاسبه شود که با توجه به میزان پسماند جداشده از قسمت کاغذ و پلاستیک و تقسیم آن بر میزان سهم جداشده فلزات برابر با عدد ۰/۰۸ می‌شود. مقدار محاسبات انجام شده همراه با رعایت موازنه و تعادل در ورودی و خروجی مواد بازیافتی و پردازش شده در هر مرحله در شکل ۲ نشان داده شده است و در جدول۳ بیان شده است.

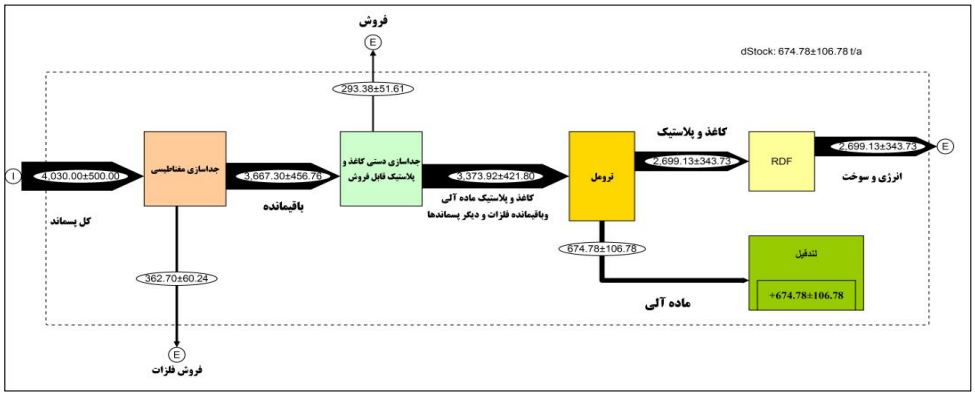
جدول ۲ - ضرایب و درصدهای مربوط به فرایندها در سناریو اول

فرآیند	ضریب انتقال (در هر مرحله)	درصد از کل جریان پسماند
بازیافت و فروش فلزات	۰/۰۹ ±۰/۰۱	٪ ۱۰ ± ۲
بازیافت و فروش کاغذ و پلاستیک	۰/۰۸ ±۰/۰۱	٪ ۱۰ ± ۲
دفن در لندفیل	۰/۲ ±۰/۰۲	٪ ۲۰ ± ۴
تولید RDF	۰/۸ ±۰/۰۸	٪ ۶۰ ±۱۰

جدول ۲ - مقدار ماده خروجی از فرآیند سناریو اول

مواد موجود در هر مرحله	وزن (تن)
فلزات جدا شده توسط آهنربا و میدان مغناطیسی	۳۶۲/۷ ± ۶۰
جداسازی کاغذ و پلاستیک قابل بازیافت	۲۹۳/۳ ± ۵۱/۶

دفن در لندفیل	۶۷۴/۷۸ ± ۱۰۶/۷۸
تولید RDF و دریافت انرژی	۲۶۹۹/۱۳ ± ۳۴۳/۷۳



شکل ۲- مدل گرافیکی سناریو اول همراه با محاسبات مربوطه در نرم‌افزار STAN

۳-۲ .آنالیز سناریو دوم

با استفاده از رویکرد تحلیل موازنه جرم (MFA) میزان پسماند در این سناریو محاسبه شد. محاسبات موازنه جرم و نیز برآورد عدم قطعیت محاسبات در نرم‌افزار STAN انجام شد. مرزهای تحلیل موازنه جرم به گونه‌ای تعیین شد که پسماند را از زمانی که تولید می‌شود (در سطل-های زباله در جلوی واحدهای صنعتی) تا زمانی که در لندفیل دفن می‌شود یا در بازار به فروش می‌رسد، دنبال می‌کند. در این سناریو دو مرحله وجود دارد که مرحله اول شامل جداسازی فلزات قابل بازیافت و فروش آن (۱۰٪) و مرحله دوم جداسازی کاغذ و پلاستیک قابل بازیافت و فروش آن (۱۰٪) نسبت به میزان پسماند ورودی به فرآیند و باقیمانده پسماند در لندفیل بدون پردازش روی آن دفن می‌شود (۸۰ ٪). درصد و ضرایب تعیین شده برای این سناریو مطابق جدول ۴ می‌باشد.

جدول۳ - ضرایب و درصدهای مربوط به فرایندها در سناریو دوم

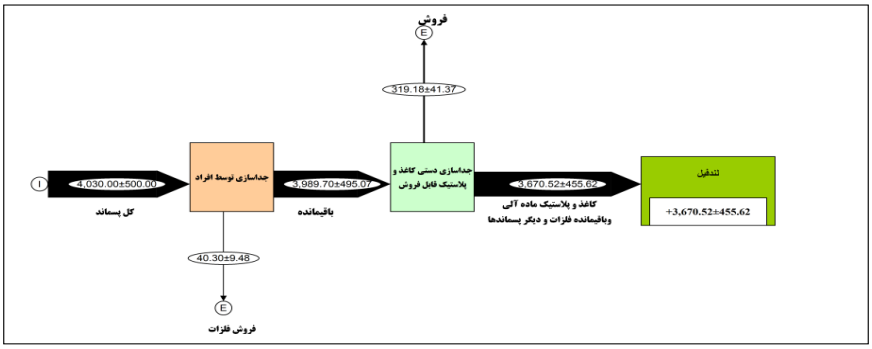
فرآیند	ضریب انتقال	درصد از کل جریان پسماند
بازیافت و فروش کاغذ و پلاستیک	۰/۰۸ ±۰/۰۱	٪ ۱۰ ± ۲
بازیافت و فروش فلزات	۰/۰۱ ±۰/۰۰۲	٪ ۱۰ ± ۲
دفن در لندفیل	۱ ±۰/۱	٪ ۸۰ ±۱۰

مقدار محاسبات انجام شده همراه با رعایت موازنه و تعادل در ورودی و خروجی مواد بازیافتی و دفن شده شده در هر مرحله در شکل ۳ نشان داده شده است و در جدول۵ بیان شده است. مطابق تصویر گرافیکی به دست آمده تمام مواد در ترکیب با یکدیگر به محل دفن برده می‌شوند و استفاده‌ای از آن در بخش استحصال انرژی نمی‌شود. لذا برای بررسی اثرات محیط‌زیستی هر کدام از این سناریوها سیاهه‌نویسی چرخه زندگی به کمک مدل

IWMو ارتباط گرافیکی با کاربر در ویژوال بیسیک، انجام شد.

.جدول ۴ - مقدار ماده خروجی از فرآیند سناریو دوم

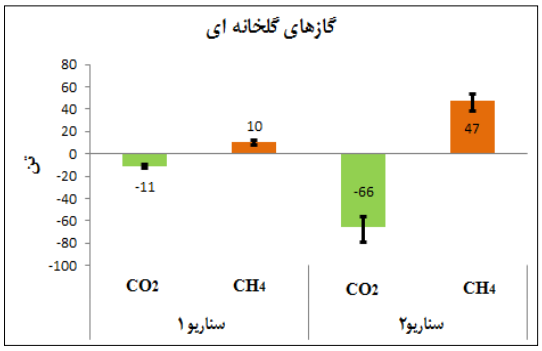
مواد موجود در هر مرحله	وزن (تن)
جداسازی فلزات قابل بازیافت	۴۰/۳ ± ۷۸/۸۴
جداسازی کاغذ و پلاستیک قابل بازیافت	۳۱۹/۱۸ ± ۴۱/۳۷
دفن در لندفیل	۳۶۷۰/۵۲ ± ۴۵۵/۶۲



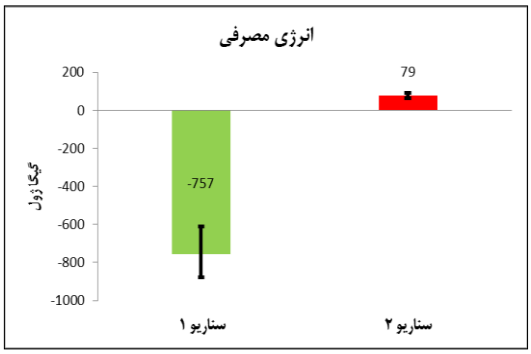
شکل ۳ - مدل گرافیکی سناریو دوم همراه با محاسبات مربوطه در نرم‌افزار STAN

۳-۳. آنالیز اثرات زیست‌محیطی

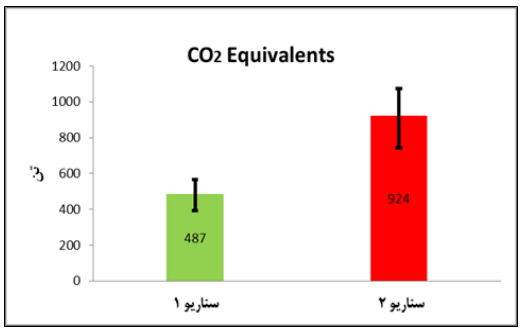
مدل IWM برای هر یک از سناریوهای مورد نظر اجرا شد و نتایج بدست آمده از سیاهه‌نویسی به ۵ طبقه اثر شامل مصرف انرژی، گازهای گلخانه‌ای، گازهای اسیدی، عامل ایجاد مه دود فتوشیمیایی و خروجی‌های سمی تخصیص داده شد. با بررسی نتایج و مقایسه سناریو اول و دوم نشان می‌دهد در اکثر موارد میزان آلاینده‌های تولیدی در سناریو اول کمتر از سناریو دوم بوده است به جز مواردی که آن هم به دلیل استفاده از واحد تولید RDF در سناریو اول آلاینده‌هایی تولید می‌شود. اما در موارد دیگر مانند مصرف انرژی، سناریو اول علاوه بر اینکه انرژی مصرف نمی‌کند بلکه حدود ۷۵۷ گیگاژول انرژی هم تولید می‌کند اما در سناریو دوم ۷۹ گیگاژول انرژی مصرف می‌شود و در مورد پسماند باقیمانده هم سناریو اول پسماند کمتری نسبت به سناریو دیگر باقی می‌گذارد. شکل‌های ۸ تا ۱۶ به مقایسه این دو سناریو در طبقات مورد نظر پرداخته است. به دلیل اینکه داده‌ها از اطمینان کافی برخوردار نیستند برای آن‌ها عدم قطعیت تعریف شده است به صورتی که میزان پسماند جمع‌آوری شده در حدود ۳/۶- ۲/۵ تن در روز تغییر می‌کند لذا برای محاسبات از میانگین آن یعنی ۳/۱ تن استفاده شده است. و برای تعیین خطای معیار از اعداد بالا استفاده شده است و در شکل‌های ۴ تا ۱۲ قابل مشاهده است.



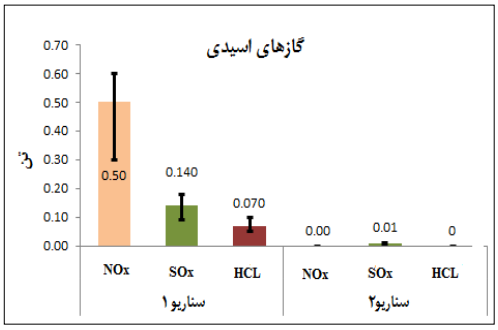
شکل۴- میزان گازهای گلخانه ای تولید شده



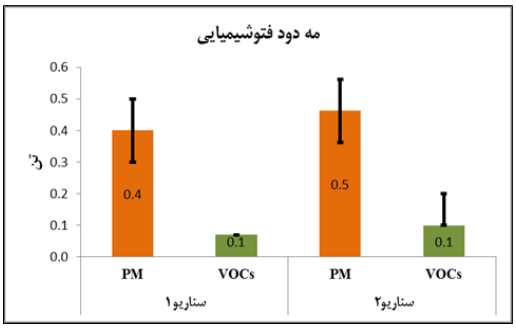
شکل ۵-میزان مصرف منابع انرژی در سناریو های موجود



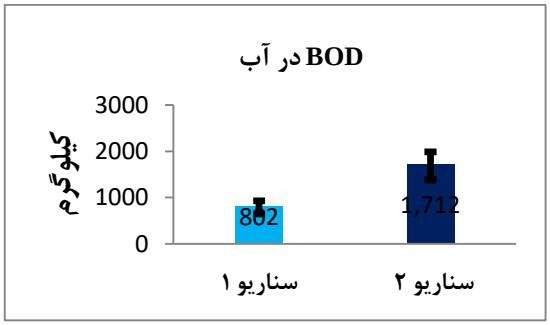
شکل۶-میزان کربن دی اکسید معادل



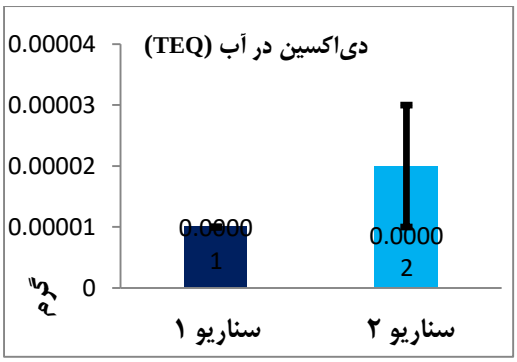
شکل۷-میزان گازهای اسیدی تولید شده در فرایندها



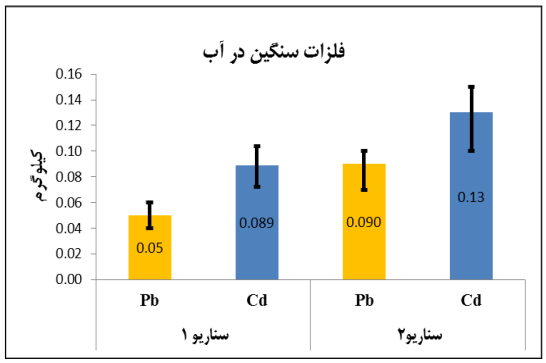
شکل۸-میزان گازهای عامل ایجاد مه دودفتوشیمیایی



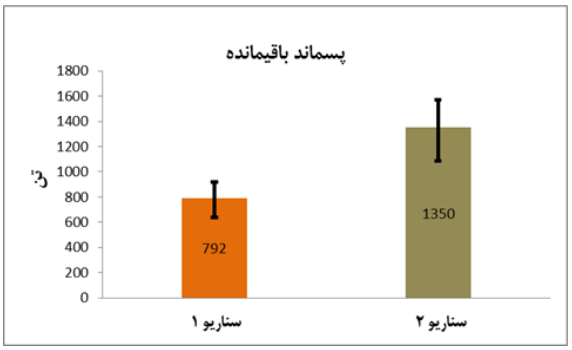
شکل۹-میزان BOD در آب



شکل۱۰-خروجی های سمی در آب در طی فرایند



شکل ۱۱- میزان دی اکسید موجود در آب



شکل ۱۲ - میزان پسماندهای باقیمانده

نتایج حاصل از محاسبات مربوط به آلاینده‌های زیست-محیطی هر دو سناریو تأثیرات معادلی را هم بیان می‌کند. لذا با مقایسه این موارد می‌توان نتیجه گرفت سناریو اول از نظر بار زیست‌محیطی آلودگی کمتری ایجاد می‌کند و انتخاب آن به عنوان سناریو برتر منطقی است.

۴. بحث و نتیجه گیری

پسماند های صنعتی به عنوان منبع مهمی از مواد مطرح هستند و بنابراین در مدیریت این نوع پسماند باید به نوعی از مدیریت برپایه چرخه مواد تاکید شود. در این مطالعه ترکیب پسماند تولیدی نشان داد که بیشتر سهم پسماند تولید شده شامل پلاستیک و کاغذ بود که مقادیر زیادی از آن‌ها در خود شهرک جهت بازیافت به فروش می‌رسد. با این وجود بخش قابل توجهی از پسماند جمع آوری شده در شهرک قابل بازیافت است. مطالعات در سایر شهرک های صنعتی در کشور نیز نشان می دهد که بخش بزرگی از پسماندهای شهرک های صنعتی در ایران قابل بازیافت هستند. Shahbazi و Safaniyan در سال ۲۰۱۶ در راستای شناسایی کمیت و کیفیت پسماندها در واحدهای صنعتی اصفهان پژوهشی انجام دادند که نتایج نشان داد مقدار کل پسماند تولیدی در ۲۰ صنعت فعال ۲۱۲۸۵/۴۸ تن در سال است که ۲۰۳۴۰/۸ تن آن مربوط به خط تولید است و از این مقدار ۹۱ درصد آن بازیافت می‌شود. Yaghmaeian و همکاران در سال ۲۰۱۴ با هدف طراحی و اجرای الگوی مدیریت یکپارچه زائدات صنعتی در شهرک صنعتی شاهرود مطالعه‌ای انجام دادند که نتایج حاکی از این است که راه‌اندازی عملیات تفکیک، ظرفیت‌سازی و تکمیل چرخه صنایع مستقر در شهرک موجب کاهش مشکلات مدیریت پسماند شد. Ghoshayeshi و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی کمی و کیفی پسماندهای صنعتی در سمنان پرداختند و نتایج حاکی از آن است که پسماندهای قابل بازیافت شهرک ۳۲ نوع می‌باشد که از بین آن‌ها ضایعات پلاستیک، انواع ضایعات کاغذ و مقوا، انواع ضایعات آهنی و انواع ضایعات چوبی از نظر کمی قابل توجه هستند. برای ضایعات کاغذ و مقوا احداث کارخانه بازیافت و برای ضایعات پلاستیک و آهنی، بسته‌بندی و انتقال به کارخانه‌های بازیافت مجاور و برای ضایعات چوبی استفاده مجدد توصیه می‌شود. در این مطالعه از روش شناسی بر پایه جریان مواد و انرژی برای تعیین سامانه مدیریت پسماند متناسب با ویژگی های پسماند و تکنولوژی های موجود استفاده شد. روش آنالیز جریان مواد و انرژی در ترکیب با سایر روش ها مانند ارزیابی چرخه زندگی اجازه

بررسی جامع سناریوهای مختلف مدیریتی را به مدیران می‌دهد. این روش شناسی در مطالعات دیگر در مناطق مختلف و برای صنایع مختلف به کار گرفته شده است. Ahaneku و Njemanze در سال ۲۰۱۵ تجزیه‌وتحلیل جریان مواد را یک ابزار عالی جهت توصیف وضعیت جریان مواد مختلف بین زیرسیستم‌های مختلف تعریف کردند. این مطالعه به برآورد مقدار سالانه تولید پسماند در کشتارگاه بزرگ مینا در نیجریه پرداخته است. جریان پسماند کشتارگاه با استفاده از رویکرد MFA برای نشان دادن میزان و مدیریت آن مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه نشان داده که چگونه مواد پسماند موجود در کشتارگاه را می‌توان مدیریت و به محصولات با ارزش افزوده برای استفاده مؤثر تبدیل کرد. پسماند جامد تولید شده را می‌توان به‌عنوان کود مورد استفاده قرار داد و یا برای دیگر فعالیت‌های درآمدزا مانند خوراک دام و آبزیان بازیافت کرد. Allesch و Brunner در سال ۲۰۱۵ به بررسی، طبقه‌بندی و ارزیابی اهداف، معانی و نتایج حاصل از استفاده از تجزیه‌وتحلیل جریان مواد در مدیریت پسماندها می‌پردازد و تمرکز آن بر روی تفاوت MFA بین سطح کالاها و سطح مواد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که MFA در سطح کالا، ابزاری برای درک چگونگی عملکرد سیستم‌های مدیریت پسماند، تسهیل ارتباطات با سهامداران، مقامات و شرکت‌های مدیریت پسماند می‌باشد و در سطح ماده، جنبه‌های کیفی در رابطه با منابع و محیط‌زیست را بررسی می‌کند. از این رو MFA در هر دو سطح کالاها و مواد برای تصمیم‌گیری در مدیریت پسماندها کاربرد بالایی دارد.

نتایج تحلیل جریان مواد به همراه ارزیابی چرخه زندگی در این مطالعه نشان داد که بازیافت پسماندها نقش بسیار اساسی در کاهش آلاینده های زیست محیطی ناشی از سامانه مدیریت پسماندها دارد. با این وجود باید دقت داشت که اگر چه بازیافت مواد منجر به کاهش بخش بزرگی از آلاینده ها می شود، این فرآیند می تواند منجر به افزایش برخی آلاینده ها دیگر گردد. سایر مطالعات در خصوص مقایسه سناریوهای مدیریت پسماند نیز نشان دادند که سناریوهای بازیافت پسماند همیشه منجر به کاهش تمامی آلاینده های ناشی از سامانه مدیریت پسماند نمی شود. به عنوان مثال در پژوهشی که Ghahramani و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی اثرات مثبت و منفی بازیافت کاغذ بر روی محیط زیست انجام دادند، همچنین Turner و همکاران در سال ۲۰۱۵ در مطالعه فاکتورهای انتشار گازهای گلخانه‌ای برای بازیافت مواد، Coelho و همکاران در سال ۲۰۱۸ به استفاده از ارزیابی چرخه زندگی به عنوان راهبرد مدیریت زیست محیطی پایدار در برزیل به این موضوع اشاره کرده اند. از این رو باید با یک نگاه جامع موازنه بین تغییر در انتشار الاینده ها در اثر تغییر در سامانه مدیریت پسماند دیده شود و بهترین موازنه با توجه به چاچوب های قانونی، چشم اندازهای سازمانی و نیز بودجه اختصاص یافته برقرار کرد.

References

Ahaneku, I. E., & Njemanze, C. F. (2015). Material flow analysis of Abattoir solid waste management system in Minna, Nigeria. The Journal of Solid Waste Technology and Management, 41(2): 165-172.

Allesch, A., & Brunner, P. H. (2015). Material flow analysis as a decision support tool for waste management: A literature review. Journal of Industrial Ecology, 19(5): 753-764.

Banar M., Cokaygil Z., Ozkan A. (2009). Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey Waste Management, 29. 54- 62

Brunner, P. H., and Rechberger H. (2004). Practical handbook of material flow analysis. 9(5): 337-338.

Brunner, P. H., Tang. J. (2014). Decision support for waste management in cities based on the software STAN. Institute of Water Quality, Resources and Waste Management.

Burgahi, M., Nasiri, P., Asghari, S., 2002. Environmental Studies of Industrial Towns of Iran, Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 4, No. 1, 12-1. In Persian

Cencic, O., & Rechberger, H., 2008. Material flow analysis with software STAN. *Journal of Environmental Engineering and Management*, *18*(1): 440-447.

Coelho, L. M. G., & Lange, L. C. (2018). Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil. Resources, Conservation and Recycling, 128, 438-450.

Ghanatian, R., Ghaffari, E., Taheri, M., 2012. Industrial Waste Management with AHP Hierarchy Process Analysis Approach for Industrial Towns, Sixth National Conference and First International Management Conference on Waste Management, Mashhad, Organization of Municipalities and Departments of the Country. In Persian

Ghahramani, S., Younesi, F., Shirazi, M., and Nowroozi, F. (2014). Positive and Negative Effects of Paper Recycling on the Environment, First National Conference on Geography, Tourism, Natural Resources and Sustainable Development, Tehran, Iran Institute of Science, Planning and Development Sustainable Tourism University of Tehran. In Persian

Ghanbarzadeh Lak, M., Mohammadzadeh, S., 2010. Evaluation of the life cycle of urban solid waste disposal scenarios in terms of greenhouse gas emissions and energy consumption. Case study of Siri Island, Journal of Environmental Studies, Vol. 36, No. 55, 67-78. In Persian

Ghoshayeshi, M., Ayati, B., and Ganji doust, H. (2011). Management of waste recycling in Semnan industrial town, Human and Environmental Quarterly, No. 4, 49-56. In Persian

Hauschild, M. Z., & Huijbregts, M. A. (2015). Introducing life cycle impact assessment. In Life Cycle Impact Assessment (pp. 1-16). Springer, Dordrecht.

Lasvaux, S., Achim, F., Garat, P., Peuportier, B., Chevalier, J., & Habert, G. (2016). Correlations in Life Cycle Impact Assessment methods (LCIA) and indicators for construction materials: What matters?. Ecological indicators, 67, 174-182.

Pires, A., Martinho, G., & Chang, N. B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of environmental management*, *92*(4): 1033-1050.

Powell, J., 2000. The potential for using life cycle inventory analysis inlocal authority waste management decision making. Journal of Environmental Planning and Management 43, 351–367.

Sepahand, L., 2018. Different Methods for Providing the Results of Life Cycle Effects Evaluation (LCIA), Fourth International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, Faculty of

Environment, University of Tehran. https://www.civilica.com/Paper-ESPME04-ESPME04_381.html. In Persian

Shafiee, A., Jafarzadeh, N., Taghavi, L., omrani, Gh., Shafiee, M., 2015. Use of Life Cycle Lifecycle with Multivariate Analysis in Urban Waste Management Case Study Shahin Shahr, First National Conference on Geography, Tourism, Natural Resources and Sustainable Development, Tehran, Iran. In Persian

Shahbazi, A., and Safaniyan, A. (2016). Qualitative and Quantitative Qualitative and Industrial Waste Management in Some Industrial Units of Isfahan Province, Journal of Environmental and Development, Vol. 6, No. 11, pp. 18-13. In Persian

Tika, S., Samadi, R., 2015 Application of LCA4 AFR model in environmental assessment of CO_2 life cycle (case study of cerman factory), third conference and international exhibition of cement, energy and environment, Tehran, University of Tehran, https: /www.civilica.com/Paper-CIEE03-CIEE03_014.html. In Persian

Turner, D. A., Williams, I. D., & Kemp, S. (2016). Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making. Journal of cleaner production, 129, 234-248.

Turner, D. A., Williams, I. D., & Kemp, S. (2015). Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials. Resources, Conservation and Recycling, 105, 186-197.

Wagland, S. T., Kilgallon, P., Coveney, R., Garg, A., Smith, R., Longhurst, P. J., Simms, N., 2011. Comparison of coal/solid recovered fuel (SRF) with coal/refuse derived fuel (RDF) in a fluidised bed reactor. *Waste Management*, *31*(6): 1176-1183

Wagland, S. T., Veltre, F., & Longhurst, P. J. (2012). Development of an image-based analysis method to determine the physical composition of a mixed waste material. Waste Management, 32(2), 245-248.

Yaghmaeian, K. Roudbari, A., and Nazemi, S. (2014). Design and Implementation of Integrated Solid Waste Management Plan for Industrial Towns, Case Study of Sharood Industrial Town, Journal of Health and Environment, Volume 6, Issue 3, 340-329. In Persian.