



مدیریت پسماندهای شهری در وضعیت بروز بحران های طبیعی بر اساس مدل LCA_IWM (مطالعه موردی: منطقه ۱ شهرداری تهران)

فرشاد کفایی

مشاور و مدرس HSE

علی مولایی

سرپرست HSE سازمان آبیای غرب تهران

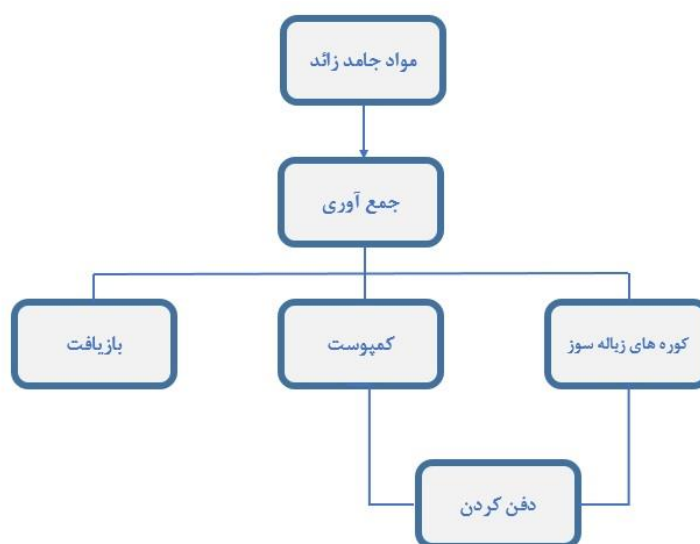
چکیده

مدیریت پسماند جامد شهری از جمله مهم ترین مباحث زیست محیطی شهری است که امروزه با افزایش میزان جمعیت کلانشهرها و متعاقبا افزایش حجم زباله های تولیدی، به یکی از بزرگترین معضلات شهری مبدل شده است. بنابراین اتخاذ تصمیمات صحیح و رویکردهای مناسب در دفع پسماند بسیار حیاتی است. در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از روش LCA به تحلیل چرخه حیات پسماند شهری در منطقه ۱ شهرداری تهران در شرایط اضطراری از جمله سیل، زلزله و طوفان پرداخته شود. در روش تحلیل چرخه حیات، سناریوهای مختلفی که جهت مدیریت پسماندها بکار گرفته می شوند به تفکیک مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرند و با توجه به شرایط مطالعه موردی، گزینه بهینه از دیدگاه زیست محیطی برگزیده می شود. همچنین جهت جمع آوری اطلاعات از اسناد و مدارک موجود در سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران و همچنین مصاحبه های حضوری استفاده شد. روش LCA از نرم افزار تخصصی IWM-2 بهره می برد که طی ۵ مرحله داده هایی واردسازی می شود و در نهایت شاخص بیولوژیکی هر یک از سناریوهای دفع پسماند محاسبه می گردد و رتبه بندی منطقی از آنها ارائه می دهد. نرم افزار IWM-2 نیز به منظور وارد کردن داده های گردآوری شده استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص اکولوژیکی نشان داد که بهترین سناریو در زمان بروز شرایط اضطراری در راستای دفع پسماندها شهری، رویکرد ۳۰٪ بازیافت، ۶۰٪ کمپوست و ۱۰٪ دفن بهداشتی است که از نقطه نظر زیست محیطی، اقتصادی و بهداشتی بهتر از سایر سناریوها می باشد. در زمان بروز شرایط اضطراری روش های کمپوست و بازیافت می تواند منجر به استفاده حداکثری از مواد اتلاف شده باشد.

واژگان کلیدی: شرایط اضطراری، مدیریت پسماند جامد شهری، تحلیل چرخه حیات پسماند، نرم افزار مدیریت جامع مواد زائد

مقدمه

در طی چند دهه اخیر رشد بی رویه فعالیت های صنعتی، بالا رفتن سطح درآمدها، گسترش شهرنشینی و تمرکز جمعیت در شهرهای بزرگ موجب تولید و انباشته شدن حجم عظیمی از پسماندها با ترکیبات فیزیکی متفاوت در معابر و دفنگاه های پسماند شهری شده است، به نحوی که طراحان و برنامه ریزان شهری در اکثر کشورها با مشکلات و بحران های جدی زیست محیطی روبرو شده اند (Sharma et al., 2014; Eriksson et al., 2005; Haile, 2014). شدت بحران به قدری زیاد است که در مورد مدیریت صحیح پسماندهای جامد شهری (MSW^1) با هدف حفاظت از سلامت انسان و جلوگیری از اثرات زیست محیطی آن اجماع جهانی وجود دارد (Eriksson et al., 2005). به عنوان مثال، دستورالعمل های مجلس اروپا (EC/98/2008) و شورای ۱۹ نوامبر در مورد پسماند، قانون بهترین فناوری های در دسترس (BAT^2) (که با در نظر گرفتن دو دستورالعمل EC/1/2008 (مجمع بین المللی تغییرات اقلیمی ($IPCC^3$)) و دستورالعمل انتشارات صنعتی (IED^4) تصویب شد)، دستورالعمل حفاظت از منابع و بهبود عملکرد ($RCRA^5$) (جهت مدیریت مناسب پسماند در آمریکا)، قانون پردازش و دفع پسماند در ژاپن، سیاست های ملی پسماند در استرالیا و غیره از جمله قوانین سختگیرانه در این زمینه هستند. البته باید توجه داشت، هر چند از نظر منطقه جغرافیایی و نام قوانین تفاوت هایی وجود دارد، اما در کل تاکید همه آنها بر جلوگیری از تولید پسماند، پردازش جهت بازیافت و بازاستفاده (قانون 4R)، تبدیل پسماند به انرژی (بیوگاز و الکتریسیته) و دفن بهداشتی پسماند است (Fernandez-Nava et al., 2014; Rajaeifar et al., 2015). به عبارتی بهتر، هدف اصلی این قوانین حفاظت از سلامت انسان و محیط زیست در برابر اثرات مخرب تولید و مدیریت نامناسب پسماند و بهره گیری از پتانسیل های موجود است. مدیریت نامناسب MSW از جمله عوامل بسیار مهمی است که از سهم قابل توجهی در مشکلات عدیده زیست محیطی مانند تغییرات اقلیمی، نقصان لایه اوزون، آسیب به سلامتی انسان ها، آسیب به اکوسیستم و تقلیل منابع برخوردار است. بنابراین، افزایش دلهره آور حجم پسماندهای تولیدی و خطرات ناشی از آن، سامانه های مدیریت پسماند را مجاب به یافتن راه حلی جامع می کند که در نهایت محیط زیست را به سمت پایداری کامل سوق دهد (Laurent et al., 2014).



شکل ۱- سامانه مدیریت مواد زائد جامد شهری (نادری و همکاران، ۱۳۹۴)

¹ Municipal Solid Waste

² Best Available Technology

³ Intergovernmental Panel on Climate Change

⁴ Industrial Emissions Directive

⁵ Resource Conservation and Recovery Act

استفاده از روش های ارزیابی برای استفاده در تصمیم گیری های کلان امری اجتناب ناپذیر است. از این رو با وجود تاثیرگذاری پارامترهای غیر زیست محیطی در نتایج ارزیابی، همانند پارامترهای اجتماعی، سیاسی و غیره، نقش انکارناپذیر این ارزیابی ها کاملاً مشهود است. تکنیک های ارزیابی زیست محیطی مانند ارزیابی بر اساس اثرات زیست محیطی و ارزیابی بر اساس بهترین گزینه اجرایی زیست محیطی و ارزیابی بر اساس شاخص های اثرات زیست محیطی از روش های متداول ارزیابی می باشند که هر یک با دارا بودن مزایا و معایب خاص در موارد متعدد کاربرد خوبی از خود نشان داده اند. با این حال روش جدید ارزیابی مبتنی بر چرخه حیات فرآیندی، روشی جامع بوده و معایب روش های ارزیابی پیشین را پوشش می دهد (Osanloo & Keynezhad, 2008). در چند دهه اخیر، آگاهی در مورد مسائل زیست محیطی به شدت افزایش یافته و عموم مردم بر این باورند که مصرف محصولات و استفاده از انواع خدمات تاثیرات زیادی بر منابع و کیفیت محیط زیست خواهد داشت و این اثرات می توانند در کلیه مراحل عمر یک محصول از استخراج مواد خام تا تولید، توزیع، مصرف و مدیریت ضایعات آن روی دهد. ارزیابی چرخه عمر از ۳۰ سال گذشته به عنوان ابزار تجزیه تحلیل اثرات زیست محیطی توسعه یافت (Lundie et al., 2005). از این ابزار حتی می توان جهت برنامه ریزی و تعیین نقاط ضعف چرخه حیات فرآیند تولید محصول و انتخاب گزینه مناسب و بهینه در بین انواع گزینه ها استفاده نمود.

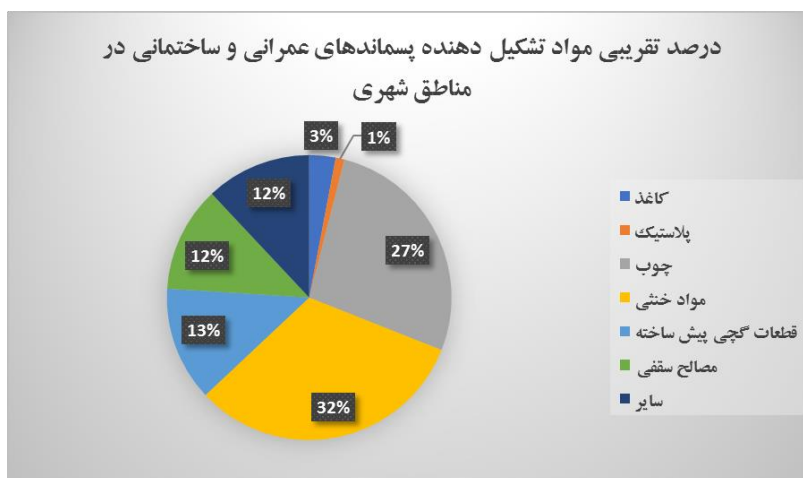
در همین راستا، از اوایل سال ۱۹۹۰ میلادی، روش ارزیابی چرخه زندگی (LCA^۶) به عنوان ابزاری سودمند جهت تصمیم سازی و تحلیل عملکرد زیست محیطی سامانه های پردازش و دفع پسماند مطرح شده است که با فراهم آوردن داده های ورودی کارآمد، روش مناسب جهت مدیریت MSW را ارائه می دهد، به طوری که در این روش تمام مراحل زندگی فرآیند مورد نظر شامل استخراج منابع، تولید مواد، قطعات تولیدی و تولید آنها، مدیریت مصرف تولید و مدیریت پسماند (دور ریز، بازیافتی یا دفع نهایی) مورد بررسی قرار می گیرد (Guinee, 2002; Anderson et al., 2015). ارزیابی چرخه حیات (LCA) روش استاندارد است که مطابق با استانداردهای ISO در سال ۱۹۹۸ و ۲۰۰۶ میلادی ایجاد شد.

حوادث در اشکال مختلف رخ می دهند؛ به صورت طبیعی یا انسان ساخت که می توانند کوتاه مدت از جمله سیل، سونامی، طوفان و آتشفشان و یا بلندمدت مانند جنگ داخلی و خشکسالی باشند و هر یک می توانند درجات و انواع مختلفی از تاثیرات فیزیکی و اجتماعی را به وجود بیاورند (Brown et al., 2011). بلایای طبیعی رویدادی غیرمعمول می باشند که ظرفیت منطقه تحت تاثیر برای پاسخ به آن، از قبیل ارائه خدمات به افراد، حفظ شرایط اجتماعی، ثبات سیاسی و اقتصادی را به چالش می کشد. با توجه به ماهیت و شدت بلایا حجم بسیار زیادی از تلفات و خرابی ها به وجود می آید؛ نظیر سونامی هند در سال ۲۰۰۴ میلادی و یا حوادثی که در سال ۱۹۹۹ میلادی در آمریکا باعث به وجود آمدن حجم زیاد پسماند در حدود ۵ الی ۱۵ برابر تولید سالانه پسماندهای این مناطق بوده است (Brown et al., 2011). به گزارش UNISDR در فاصله سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ میلادی بلایای طبیعی سبب مرگ ۱/۲ میلیون نفر و خسارتی معادل ۱/۷ تریلیون دلار در سطح جهان گردیده اند. همچنین در دهه گذشته، بیش از ۲۰۰ میلیون نفر از زیان های اقتصادی و یا صدمات بدنی مربوط به پدیده های طبیعی دچار آسیب شده اند که هفت برابر بیشتر از مردم متحمل جنگ و درگیری های محلی است (حیدرزاده و رمضانی خوجین، ۱۳۹۴). مطالعات اخیر نشان می دهد که آسیا و استرالیا مناطق حساس به بلایای طبیعی در جهان هستند و معمولاً با طیف وسیعی از تهدیدات طبیعی مانند سیل، زلزله، طوفان و غیره رو به رو می شوند. از ۱۰ بلایای طبیعی بسیار شدید در سال ۲۰۰۴ میلادی، ۵ مورد آن در آسیا و استرالیا رخ داده و باعث ایجاد خسارت ۵۵ میلیارد دلاری شده است. بنابراین تلفات ناشی از حوادث طبیعی کاملاً در آسیا و استرالیا قابل توجه بوده و اثرات مخربی دارد (Rafee et al., 2008; Lauritzen, 1998). پسماندهای بلایا باعث تاثیر بر واکنش های اضطراری و عملیات بهبود و بازسازی می شود چرا که ممکن است سبب بسته شدن راه ها و کاهش سرعت امداد رسانی شود (Brown et al., 2011). در بلایای طبیعی، پسماندهای آلی و مکان هایی که آب در آن ها جمع می شود، می توانند زمین های برای رشد ناقل های بیماری باشد. این عوامل باعث ایجاد بیماری های

⁶ Life Cycle Assessment

مسری می شوند و معمولاً بعد از حادثه و به خصوص زمانی که تعداد زیادی از مردم آواره وجود داشته باشند، رخ می دهند. با این حال در مجموع خطر شیوع نسبتاً کم و پایین ارزیابی گردیده است (Watson et al., 2007; Rouse and Reed, 2011). تجزیه و تحلیل نتایج بررسی ها نشان می دهد که بسیاری از استراتژی های مهم در توجه به توسعه طرح مدیریت شامل؛ تخمین دقیق حجم، وزن و نوع آوار زلزله، تقویت ساختارها و طراحی مناسب ساختمان های در دست ساخت، استفاده از تجارب دیگر کشورهای مستعد زلزله، بازیافت و استفاده مجدد از پسماندهای ساختمانی و شناسایی محل های موقت انبار خرابی ها، نقش مهمی در کاهش آسیب حوادث دارد (حیدرزاده و رضانی خوجین، ۱۳۹۴). مدیریت ضعیف در پاکسازی منطقه در دراز مدت می تواند منجر به آهستگی فرآیند بهبود و افزایش هزینه ها شود. همچنین قرار گرفتن طولانی مدت در معرض پسماندها برای سلامت عمومی و محیط زیست مخاطره آمیز می باشد (Rouse and Reed, 2011). درحالیکه اگر مدیریت به صورت موثر صورت بگیرد، پسماندها می توانند یک منبع ارزشمند در بازیابی و بازسازی خرابی ها بوده و اثر مثبت بر بهبود مسائل اجتماعی و اقتصادی داشته باشند. افزایش شهرنشینی و وابستگی به شبکه های پیچیده زیرساخت ها باعث افزایش آسیب پذیری جامعه به حوادث شده است. بنابراین برنامه ریزی خوب و هماهنگ برای پاسخ به رویدادهای جامعه برای به حداقل رساندن اختلالات ضروری می باشد (Brown et al., 2011).

با توجه به نوع بلایای طبیعی و محیط ساخته شده (ساحلی، داخلی/ شهری، روستایی)، انواع مختلفی از پسماندها تولید می شود که مراحل مدیریتی آنها (از جمله قابلیت بازیافت، سطح خطرات، جمع آوری و پردازش مورد نیاز و غیره) را تحت تاثیر قرار می دهد. ترکیب متوسط پسماند حوادث در کشورهای توسعه یافته در شکل زیر نشان داده شده است. در کشورهای در حال توسعه درصد مواد بی اثر یا خنثی می تواند تا ۹۰٪ از پسماندهای ساختمانی برسد (Ashmore et al., 2004).



نمودار ۱- درصد تقریبی مواد تشکیل دهنده پسماندهای عمرانی و ساختمان ها در مناطق شهری (حیدرزاده و رضانی خوجین، ۱۳۹۴)

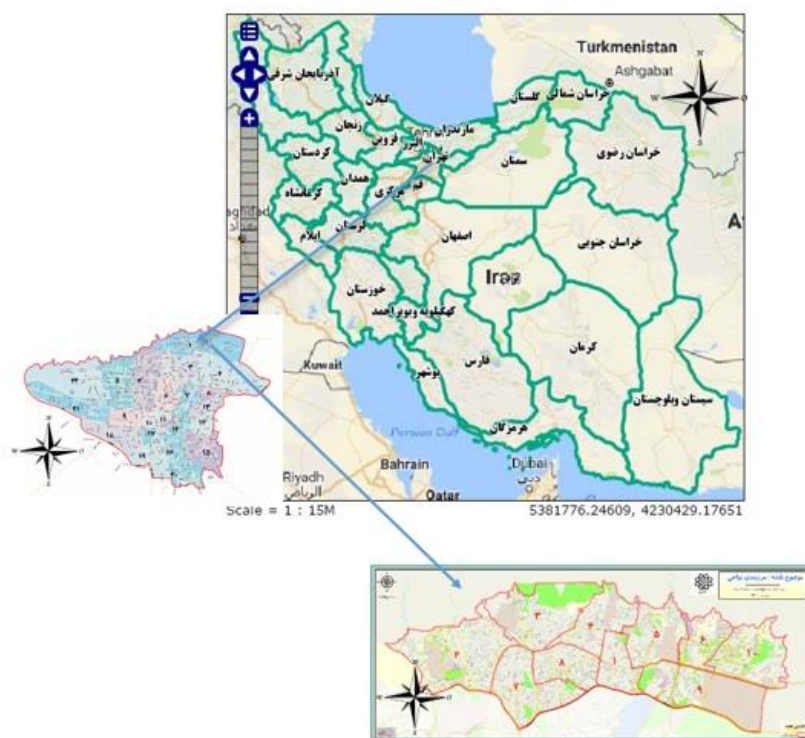
همانطور که از نمودار فوق برمی آید، بالغ بر ۳۲٪ مواد تشکیل دهنده پسماندهای عمرانی و ساختمانی در مناطق شهری از مواد خنثی تشکیل شده است و پس از آن ۲۷٪ را چوب و مواد چوبی و ۱۳٪ مصالح ساختمانی مانند مواد گچی تشکیل می دهند. سهم مصالح سقفی و سایر مواد هر کدام ۱۲٪ از کل مواد می باشد. با یک نگاه و بررسی اجمالی می توان به امکان بازیافت یا استفاده مجدد این مواد پی برد که در واقع دو جزء از هرم 4R را پوشش می دهد. استفاده مجدد از مصالح سالم و دست نخورده و بازیافت آنها در جهت تولید مصالح تازه.

علاوه بر پسماندهای ایجاد شده در زمان حادثه، مقداری از پسماندها نیز به صورت غیر مستقیم بعد از حادثه ایجاد می شوند، که شامل مقادیر بسیار زیاد پسماندهای مراقبت های بهداشتی و پزشکی، مواد غذایی فاسد شده به علت قطعی برق و بسته بندی مواد غذایی کمک های اضطراری می باشند. مدیریت پسماندهای شهری نیز هنگام برنامه ریزی برای پسماندهای حوادث

باید در نظر گرفته شوند، و اگر نه پسماندهای شهری با پسماندهای به وجود آمده در طی حادثه با هم مخلوط شده و باعث ایجاد مخاطرات بهداشتی-زیست محیطی و همچنین باعث سخت شدن جداسازی پسماندها از یکدیگر می شود (حیدرزاده و رمضانی خوجین، ۱۳۹۴). کلانشهر تهران به دلیل قرارگیری بر روی گسل های فعال و نیمه فعال زلزله و همچنین وجود پتانسیل در بروز سیل در حومه شهر و طوفان های شدید و قدرتمند که توانایی ایجاد خسارات در محیط شهری را دارند و از طرفی وجود نقص و مشکلاتی در سیستم مدیریت پسماندهای شهری و به ویژه در شرایط اضطراری مانند بروز بلایای طبیعی (سیل، زلزله و طوفان) لازم است تا با بکارگیری مدل کاربردی LCA-IMW روش های صحیح و مناسب جهت مدیریت پسماندهای تولید شده در زمان بروز بلایای طبیعی در این کلانشهر شناسایی، انتخاب و اتخاذ گردند.

روش تحقیق

مطالعه موردی در این پژوهش منطقه ۱ شهرداری تهران در نظر گرفته شد. منطقه یک شهرداری، در بلندای تهران و با وسعتی حدود ۴۹/۶ کیلومتر مربع بر اساس داده های آماری بیش از ۴۸۷ هزار نفر جمعیت را در خود جای داده است. این در حالی است که انبوه ساختمان های آماده و نیمه وقت در آینده ای نزدیک جمعیت منطقه را به مرز ۵۰۰ هزار نفر خواهد رساند. مختصات جغرافیایی این منطقه از طرف شمال محدود به ارتفاعات ۱۸۰۰ متری دامنه جنوبی کوه های البرز، از جنوب به بزرگراه شهید چمران حد فاصل دو راهی هتل آزادی و بزرگراه مدرس و پل آیت الله صدر و از غرب به اراضی رودخانه درکه و از شرق نیز به انتهای بزرگراه ارتش - کارخانه سیمان و منبع نفت شمال شرق تهران محدود می شود.



شکل ۲- مرزبندی نواحی منطقه ۱ شهرداری تهران (وبسایت شهرداری منطقه ۱ تهران)



همچنین جامعه آماری پژوهش شامل نواحی زلزله خیز منطقه ۱ شهرداری تهران (شامل نیاوران، تجریش، زعفرانیه، الهیه و فرمانیه) است که در مواقع بروز بلایای طبیعی از جمله زلزله، با تولید ناخواسته پسماندهای شهری مواجه می شوند. در این مطالعه سعی شد ابتدا با گردآوری داده های مربوط به پسماند شهری تهران، بار زیست محیطی و اقتصادی حاصل از پسماندها برای هر یک از سناریوهای بلایای طبیعی با استفاده از نرم افزار IWM-2 محاسبه شود. همچنین هر یک از سناریوها طبقه بندی و وزن دهی شده تا سناریوهایی که در اولویت هستند، مشخص شوند. در انتها، برنامه های راهبردی جهت پیشبرد استراتژی ها و خط مشی ها تدوین شد.

ارزیابی چرخه حیات (LCA)

در این مطالعه از روش LCA جهت تحلیل اثرات زیست محیطی پسماندها در زمان وقوع بلایا استفاده گردید. ارزیابی چرخه حیات، رهیافتی است که به کمک آن جنبه های محیط زیستی در ارتباط با یک محصول یا فرآیند یا خدمات، در تمام طول حیات آن مورد بررسی قرار می گیرد. رویکرد حاکم بر انجام مطالعه چرخه حیات، گهواره تا گور می باشد (Setac, 1998). به این مفهوم که مراحل مختلف انجام یک فرآیند (مانند سامانه مدیریت شهری) یا تولید یک محصول (مانند تلویزیون از استخراج مواد اولیه تا دفع نهایی مورد بررسی قرار می گیرد). ارزیابی چرخه حیات یکی از این ابزارهای پشتیبان تصمیم گیری می باشد که در دهه اخیر معرفی شده و مورد استفاده قرار گرفته است. افزایش آگاهی در زمینه اهمیت حفاظت زیست محیطی و پیامدهای احتمالی در ارتباط با محصولات، هم ساخته شده و هم مصرف شده موجب افزایش علاقه به توسعه روش هایی برای درک بهتر و پرداختن به این پیامدها گردیده است. ابزارهای زیادی برای ارزیابی اثرات زیست محیطی روش های مختلف مدیریت پسماند وجود دارد، اما یکی از رایج ترین روش های مورد استفاده، ارزیابی چرخه حیات (LCA) است. از روش ارزیابی اثرات چرخه حیات و مدل های مختلفی که برای انجام این ارزیابی وجود دارد می توان برای انتخاب و مقایسه گزینه های مختلف مدیریت پسماند استفاده کرد و بهترین و مؤثرترین گزینه را برای اجرا، هم از لحاظ زیست محیطی و هم اقتصادی، انتخاب کرد. هدف از مدیریت جامع پسماند (IWM)، بهینه کردن سامانه مدیریت پسماند است. انتخاب اجزای سامانه مدیریت جامع و تعیین درصد سهم هریک از اجزاء در سامانه مدیریت مواد زائد جامد به عوامل مختلف وابسته است. هدف از ارزیابی روش LCA برای زباله شهری، بررسی اثرات زیست محیطی احتمالی و سناریو های مدیریت مواد زائد جامد مختلف که در نهایت منجر به انتخاب بهترین سیستم دفع می شود است. با توجه به نتایج این تحقیق سطح آگاهی تصمیم گیرندگان و مسولان محیط زیست روش های دفع زباله برای محیط های شهری افزایش می یابد. به این ترتیب احتمال وقوع اثرات نامطلوب زیست محیطی در آینده کاهش خواهد یافت (وبسایت بهداشت محیط ایران).

نرم افزار IWM-2

نرم افزار IWM میزان انتشار آلاینده و میزان انرژی مصرفی هر سناریو را مشخص می کند. یکی از مدل های LCA است که با کمک آن می توان سناریوهای مختلف را تعریف و سپس آثار زیست محیطی هر سناریو را با هم مقایسه کرد. این مدل در سال ۱۹۹۶ میلادی، توسط انجمن حمایت از مواد بازیافتی (CSR) انجمن صنعتی پلاستیک و محیط زیست کانادا (EPIC) و دانشگاه محیط زیست واترلو کانادا بر پایه ارزیابی چرخه حیات مدیریت پسماند شهری طرح ریزی و ارائه شد. این مدل توسط کمیته های مربوطه همزمان با پیشرفت تکنولوژی های جدید مورد استفاده در مدیریت پسماند شهری، توسعه و به روز شده و در اختیار کاربران قرار می گیرد. این مدل از دو زیر مدل اقتصادی و محیط زیستی تشکیل شده است. در زیر مدل محیط زیستی چرخه حیات، جریان پسماند شهری از نقطه تولید تا نقطه دفع نهایی دنبال می شود، آثار زیست محیطی هر مرحله توسط مدل فهرست نویسی می شود. هر یک از مرحله های چرخه حیات سیستم مدیریت زباله توسط پنجره ای که شامل تعدادی سوال است، تشریح می شود. با پاسخ به هر یک از این سوالات سیستم مدیریت زباله مربوطه تعریف یا تشریح می

گردد (استیپکا، ۲۰۰۱). هدف این مدل کمک به شهرداران و تصمیم گیران مدیریت پسماند شهری است. در زیر مدل محیط زیستی چرخه حیات، جریان پسماند شهری از نقطه تولید تا دفع نهایی دنبال می شود. هر مرحله از چرخه حیات مدیریت پسماند در یک کادر گفتگو ارائه می شود پاسخ به پرسش های ارائه شده وضعیت سامانه مدیریت مورد بررسی را مشخص می کند. نتایج نهایی ارائه شده توسط مدل، سیاهه چرخه حیات سامانه مورد بررسی است که شامل کل انرژی مصرف یا تولید شده، مواد بازیافت شده یا کمپوست تولید شده و آلاینده های ورودی به آب و هوا است (وبسایت بهداشت محیط ایران). در ادامه به شرح مراحل و گام های پژوهش در محیط نرم افزاری IWM-2 پرداخته شده است:

۱- انتخاب یا ایجاد یک سناریوی جدید مدیریت پسماند

در سرتاسر مدل، مسیر یا گردش زباله جمع آوری شده را می توان با استفاده از دکمه مسیرها که در گوشه سمت چپ هر پنجره ورودی وجود دارد، را مشاهده کرد. در داخل هر پنجره، مواد بازیافت شده؛ از کل جریان زباله باقی مانده کم می شوند و به کل جریان مواد بازیافت شده، اضافه می شوند. هزینه کل سیستم مدیریت زباله، در کل چرخه حیات آن، با انجام ارزیابی اقتصادی محاسبه می شود. یک سناریو تعریف کننده سیستم مدیریت زباله است که در برنامه IWM-2 ذخیره می شود. با این مدل می توان سناریوهای جدید را توسعه و سناریوهای موجود را ویرایش یا اصلاح کرد. همه سناریوها در فهرست راهنمای برنامه IWM-2 ذخیره شده اند.

۲- گردآوری و وارد سازی داده ها

در اولین گام از روند مطالعاتی پژوهش، نیاز است تا اطلاعات مورد نیاز از سیستم های مدیریت پسماند، شبکه های آب و فاضلاب، تجهیزات حمل و نقل پسماند، حجم تولیدی پسماندها، نوع پسماندها و همچنین روش های دفع و امحاء آن ها گردآوری شود. اما مهم ترین بخش از اطلاعات مورد نیاز آلاینده های زیست محیطی از پسماندها، پساب ها و شبکه های آب و فاضلاب است. اینکه ماهیت آن ها چه هست، به چه میزان تولید و انتشار می یابند و چگونه به مکان دفع، حمل و نقل می شوند و همچنین سازوکار امحاء آنها چگونه است. در واقع ورودی داده های مورد نیاز به نرم افزار IWM-2 مشخصات و جزئیات آلاینده ها و پسماندها و پساب های شهری است.

۳- تعیین بار زیست محیطی و اقتصادی سناریوهای پیش فرض

در دومین بخش از فرآیند مطالعاتی، پس از واردسازی کلیه داده های مورد نیاز از خصوصیات جمعیت شناسی، حجم تولید پسماند، نوع پسماندها و روش های حمل و نقل و امحاء و بازیافت آنها و میزان انرژی مورد نیاز، میزان اثرات مخرب زیست محیطی برای پنج دسته سناریوی کلی در این نرم افزار برآورد می شوند. این پنج سناریوی پیش فرض شامل موارد ذکر شده در جدول ۱ می باشد (شاه نظری و همکاران، ۱۳۹۶):

جدول ۱- پنج سناریوی پیش فرض در نرم افزار IWM-2 (شاه نظری و همکاران، ۱۳۹۶)

سناریوهای نرم افزار IWM-2 جهت مدیریت پسماند یکپارچه	
کلیه پسماندهای شهری بدون پردازش به محل دفن انتقال یابد (بدون آستر نفوذناپذیر)	دفن بهداشتی
کلیه پسماندهای شهری بدون پردازش به محل دفن انتقال یابد (همراه با آستر نفوذناپذیر)	
۴۰٪ پسماند برای تولید کمپوست و ۶۰٪ به محل دفن بهداشتی منتقل شود.	کمپوست و دفن بهداشتی
۶۰٪ پسماند برای تولید کمپوست و ۴۰٪ به محل دفن بهداشتی منتقل شود.	
۸۰٪ پسماند برای تولید کمپوست و ۲۰٪ به محل دفن بهداشتی منتقل گردد.	
۲۰٪ پسماند برای کمپوست و ۸۰٪ به محل دفن بهداشتی منتقل گردد.	

۱۰٪ مواد قابل بازیافت، بازیافت گردیده و باقی مانده به محل دفن بهداشتی منتقل گردد. تمام مواد قابل بازیافت، بازیافت گردیده و باقی مانده به محل دفن منتقل گردد.	دفن بهداشتی و بازیافت
۳۰٪ بازیافت، ۶۰٪ کمپوست و ۱۰٪ دفن بهداشتی ۱۰٪ بازیافت، ۸۰٪ کمپوست، ۱۰٪ دفن بهداشتی ۳۰٪ بازیافت، ۱۰٪ کمپوست، ۶۰٪ دفن بهداشتی ۳۰٪ بازیافت، ۳۰٪ کمپوست، ۴۰٪ دفن بهداشتی	دفن بهداشتی و بازیافت و کمپوست
۷۰٪ دفن بهداشتی و ۳۰٪ بازیابی انرژی ۵۰٪ دفن انرژی و ۵۰٪ بازیابی انرژی	دفن بهداشتی، کمپوست و بازیابی انرژی

در این مرحله پارامترهای زیست محیطی برای هر یک از این پنج سناریو محاسبه می گردد و نشان می دهد هر یک از این سناریوها با توجه به داده های وارد شده به نرم افزار IWM-2، به چه میزان خروجی و انتشار آلاینده دارند و همچنین به چه میزان انرژی مصرف می کنند. این پارامترها که تحت عنوان طبقه اثر نیز شناخته می شوند و واحد معادل آنها در جدول ۲ نیز ذکر شده است (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۳):

جدول ۲- طبقات اثر و واحد معادل هر طبقه در نرم افزار IWM-2 (Tukker et al., 2006)

واحد معادل (Equivalent)	طبقه اثر
Gj	مصرف منابع انرژی
Kg CO ₂	گازهای گلخانه ای
Kg SO ₂	گازهای اسیدی (اسیدیته شدن)
Kg C ₂ H ₄	گازهای فتوشیمیایی (مه دود)
Kg 1-4 DCB	خروجی سمی

هر یک از طبقات اثر خود دارای مجموعه ای از اجزا هستند که نشان می دهد چه آلاینده هایی در این طبقه می توانند حضور داشته باشند. این اجزا در جدول ۳ نیز آمده اند:

جدول ۳- اجزاء تشکیل دهنده طبقات اثر در نرم افزار IWM-2 (Tukker et al., 2006)

واحد معادل (Equivalent)	طبقه اثر
میزان مصرف انرژی بر حسب گیگا ژول (GJ)	مصرف منابع انرژی
CO ₂ -NOX-CH ₄	گازهای گلخانه ای
NOX-SOX-HCL	گازهای اسیدی (اسیدیته شدن)
PM-NOX-VOCS	گازهای فتوشیمیایی (مه دود)
PbAir-HgAir-CdAir-DioxinsAir-PbWater-HgWater-CdWater-DioxinsWater	خروجی سمی

در مرحله بعدی طبقات اثر فهرست شده با استفاده از فرمول اساسی ویژگی سازی، محاسبه می شوند و شاخص طبقه هر اثر بدست می آید. هدف ویژگی سازی، در ارزیابی اثرات چرخه حیات، تخمین تاثیر بالقوه تنش های مختلف در اثر و جمع بندی

مقادیر مختلف در یک عدد، در هر یک از طبقات است. در ارزیابی چرخه حیات فرمول اساسی ویژگی سازی و محاسبه شاخص های طبقه اثر به صورت رابطه زیر است (رفیعی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Hong et al., 2010; Bousted et al., 2000):

$$I_i = \sum C_{ij} \times X_j \quad \text{معادله ۱}$$

در رابطه بالا:

I_i = شاخص طبقه اثر

C_{ij} = فاکتورهای ویژگی سازی

X_j = مقدار ماده j

به این ترتیب، در پایان ویژگی سازی برای هر طبقه اثر نمایه ای محاسبه می شود که نشان دهنده مجموع اثر بار محیط زیستی ایجاد شده در طبقه یاد شده خواهد بود. در این پژوهش از فاکتورهای ویژگی سازی طبقات که توسط مرکز علوم محیط زیست دانشگاه لیدن هلند برای تمام جهان تهیه شده است، استفاده شده است. فاکتورهای ویژگی سازی مواد مختلف در هر یک از طبقات اثر مطابق جداول ۴ الی ۷ است و در این جدول ها M_i مقدار آلاینده های تولیدی می باشد (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۳):

جدول ۴- ضرایب ویژگی سازی طبقه اثر گازهای گلخانه ای (Tukker et al., 2006)

ضرایب ویژگی سازی معادل CO2	ماده سیاهه نویسی شده
۱	CO2
۲۱	CH4
۳۲۰	N2O
۴۰۰۰	CFC11
۲	CO
۱۱	TCA
$IGGP = \sum GGPI \times M_i$	

جدول ۵- ضرایب ویژگی سازی طبقه اثر گازهای اسیدی (Tukker et al., 2006)

ضرایب ویژگی سازی	ماده سیاهه نویسی شده
۱/۰۷	NOX
۱	SOX
۰/۸۸	HCL
$IGGP = \sum GGPI \times M_i$	

جدول ۶- ضرایب ویژگی سازی طبقه اثر مه دود فتوشیمیایی (Tukker et al., 2006)

ضرایب ویژگی سازی معادل اتیلن C ₂ H ₄	ماده سیاهه نویسی شده
۰/۶	VOC
۰/۳	CO
۰/۰۰۷	CH ₄
۰/۰۲۸	NOX
۰/۰۷	PM
$IGGP = \sum GGPI \times Mi$	

جدول ۷- ضرایب ویژگی سازی طبقه اثر خروجی های سمی (Tukker et al., 2006)

ضرایب ویژگی سازی معادل	ماده سیاهه نویسی شده
Kg 1-4 DCB	
۴/۷E۲	سرب در هوا
۶E۲	جیوه در هوا
۱/۵E۵	کادمیوم در هوا
۱/۵E۲	دی اکسین در هوا
۱/۲E۱	سرب در آب
۱/۴E۳	جیوه در آب
۲/۳E۱	کادمیوم در آب
۱/۰۸E۱	دی اکسین در آب
۱/۶E۲	اکسیژن خواهی زیستی
$IGGP = \sum GGPI \times Mi$	

در ادامه کار طبق رابطه ذکر شده مقادیر در ضرایب ویژگی سازی (C_{ij}) ضرب شدند تا در هر یک از طبقات اثر مد نظر سیاهه شده بر اساس واحد معادل محاسبه گردد. در نتیجه آن، بار زیست محیطی هر یک از طبقات بر اساس واحد معادل محاسبه می شود. به این ترتیب، در پایان مرحله ویژگی سازی برای هر طبقه شاخص طبقه اثر، محاسبه می شود که نشان دهنده طبقات اثرات زیست محیطی است، و باید اهمیت نسبی آن مورد شناسایی قرار گیرد.

طبقه بندی و وزن دهی سناریوها بر اساس روش مدل سازی MET

در سومین گام مطالعاتی پژوهش، می بایست سناریوهای پنجگانه در نرم افزار IWM-2 و بر اساس داده ها وارد شده و پیامدهای زیست محیطی محاسبه شده، وزن دهی شده و سپس با یکدیگر به صورت زوجی مورد مقایسه قرار گیرند و در آخر رتبه بندی بین این پنج سناریو نیز انجام شود. در این پژوهش وزن های نسبی محاسبه شده بر اساس روش مدل سازی نسبی MET که در جدول ۸ ارائه شده است، محاسبه شده اند:

جدول ۸- وزن های نسبی محاسبه شده طبقات اثر در روش مدل سازی MET (Bousted et al., 2000)

وزن	طبقه اثر
۰/۸۸	مصرف منابع انرژی
۰/۸۹	گازهای گلخانه ای
۰/۴۰	گازهای اسیدی
۰/۳۹	مه دود فتوشیمیایی
۰/۱۳	خروجی های سمی

همچنین به منظور محاسبه مقدار کل اثر ناشی از یک سامانه از رابطه ۲ استفاده می شود. شاخص بدست آمده، معیار کمی برای مقایسه دو سناریو است. هر چه شاخص I کوچکتر باشد، بار زیست محیطی سناریو کمتر خواهد بود:

$$I = \sum_{i=1}^N W_i I_n$$

معادله ۲

در رابطه فوق:

I = معیار کمی مقایسه دو سناریو

Wi = وزن نسبی طبقات اثر

In = شاخص طبقه اثر

بدین ترتیب برای هر یک از پنج سناریوی پیش فرض در نرم افزار، یک نمایه بوم شناختی بدست می آید. نمایه بوم شناختی به عنوان معیاری کمی برای مقایسه بار زیست محیطی هر یک از سناریوها در نظر گرفته شده و در نهایت هر سناریویی که امتیاز پایین تری را از آن خود کرد، بار زیست محیطی کمتری دارد و در نتیجه به عنوان سناریوی برتر شناخته می شود. همچنین علاوه بر اثرات زیست محیطی هر سناریو، می توان آنها را از دیدگاه اقتصادی-زیست محیطی نیز مورد بررسی قرار داد. مقایسه سناریوهای مختلف بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی چرخه حیات صرفا بر مبنای شاخص های زیست محیطی می باشد. حال آنکه نکته حائز اهمیت در اجرایی شدن یک راهبرد در سیستم های مدیریت شهری در نظر گرفتن مسائلی چون هزینه های احداث و وجود فناوری های مطمئن در خصوص یک سیستم است. لذا علاوه بر انتخاب بهترین سناریو از لحاظ زیست محیطی، لازم است سناریوهای تعریف شده از نظر اقتصادی نیز مورد بررسی قرار گیرند و در نهایت سناریوی منتخب با لحاظ نمودن جمیع جهات مشخص می گردد. بدین منظور لازم است ابتدا هزینه مربوط به گزینه های مختلف دفع پسماند به ازای مقدار واحد پسماند مشخص گردد. از این رو با مطالعه منابع مختلف ابتدا هزینه تقریبی هر یک از گزینه های دفع پسماند شامل بازیافت، کمپوست، دفن بهداشتی و زباله سوز مشخص شده و بر اساس آن هزینه های اقتصادی هر یک از سناریوها محاسبه می شوند (جدول ۹):

جدول ۹- هزینه اقتصادی سناریوها به ازای هر کیلوگرم پسماند

سناریو	هزینه (به ازای هر تن پسماند)
دفن بهداشتی	۲۲ £ (ریال ۱۰۱۰۰۰۰)
کمپوست	۲۴ £ (ریال ۱۱۰۰۰۰۰)
بازیافت	۳۳ £ (ریال ۱۵۲۸۰۰۰)
دریافت انرژی از زباله	۷۱ £ (ریال ۳۲۶۰۰۰۰)



از جمله بهترین ابزار جهت مقایسه همزمان زیست محیطی و اقتصادی سناریوهای مختلف، شاخص Eco-efficiency می باشد. بر این اساس ابتدا یکی از سناریوها به عنوان مرجع در نظر گرفته می شود. سپس برای تک تک سناریوها، درصد تغییرات بار زیست محیطی (که از فرآیند ارزیابی چرخه حیات محاسبه شده است) و هزینه های اقتصادی نسبت به سناریو مرجع مطابق با معادله ۳ محاسبه می شود:

$$V = \frac{CS - BS}{BS} \times 100$$

(معادله ۳)

در رابطه فوق:

CS = سناریوی مد نظر

BS = سناریوی مرجع

V = درصد تغییرات

تدوین برنامه راهبردی جهت پیشبرد اهداف سناریوی منتخب

در آخرین گام مطالعاتی از پژوهش پس از طبقه بندی و وزن دهی سناریوهای مختلف و انتخاب سناریوی برتر با توجه به شرایط موجود در سامانه مدیریت پسماند، لازم است تا با همکاری اعضای تیم پژوهشی برنامه هایی جهت پیشبرد اهداف سناریو تدوین و سپس ارائه شوند. در این برنامه نحوه تخصیص منابع، زمان بندی، منابع انسانی و اطلاعاتی و غیره مشخص می شوند. در این پژوهش سعی شده است سامانه مدیریت پسماند در شرایط اضطراری یعنی بروز بلایای طبیعی مانند سیل، زلزله و طوفان در منطقه ۱ شهرداری تهران مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد و سناریوی برتر در این زمینه بر اساس روش های LCA-IWM و MET انتخاب شود تا در جهت تدوین برنامه ای راهبردی مورد استفاده قرار گیرد.

یافته ها

بر اساس خروجی حاصله از مصاحبه های حضوری با مسئولین در واحد مدیریت پسماند اداره مدیریت پسماند استان تهران و واحد پسماند شهری در اداره شهرداری منطقه ۱ تهران، اطلاعات کامل در مورد ترکیب شناسی پسماندهای شهری گردآوری شد. جمعیت این منطقه بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ ایران، ۴۸۷۵۰۸ نفر شامل ۲۳۸۶۹۳ مرد و ۲۴۸۸۱۵ زن می باشد. تعداد خانوارها بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۱۶۶۸۸۱ خانوار می باشد. متوسط تعداد افراد تشکیل دهنده هر خانوار بر اساس آخرین سرشماری های انجام شده در سال ۱۳۹۵، سه نفر می باشد. بر اساس اسناد و مدارک موجود در واحد مدیریت پسماند شهری، میزان درصد یا سهم از ۱۰۰ درصد شهرداری منطقه ۱ تهران از اتومبیل ها و کامیون های بنزینی و گازوئیلی در سامانه حمل و نقل زباله شامل بنزین و گازوئیل می باشد.

بر اساس آخرین آمارهای موجود از سازمان مدیریت پسماند تهران در سال ۱۳۹۶، میزان تولید زباله به ازای هر فرد در منطقه ۱ شهرداری تهران در یک روز بالغ بر ۰/۸۹ کیلوگرم است که اگر در تعداد نفرات یک خانوار ضرب شود، میزان خروجی زباله به ازای هر خانوار در هر روز بدست می آید. همچنین آمارها نشان می دهد میزان تولید زباله به ازای هر نفر در یک سال در این منطقه در حدود ۳۲۸ کیلوگرم می باشد. به این ترتیب میزان تولیدی زباله به ازای هر خانوار در منطقه ۱ شهرداری تهران

در حدود ۲/۶۷ کیلوگرم می باشد. میزان تولید زباله به ازای هر نفر و هر خانوار در شرایط اضطراری می تواند به چندین برابر افزایش یابد که به تفکیک سه بلای طبیعی سیل، طوفان و زلزله در جدول ۱۰ نیز قید شده است:

جدول ۱۰: میزان تولید زباله به ازای هر خانوار در شهرداری منطقه ۱ در سال ۱۳۹۶

طوفان	زلزله	سیل	در شرایط عادی	
۱/۳۳	۳/۱۱	۴	۰/۸۹	میزان تولید زباله روزانه به ازای هر فرد در منطقه ۱ شهرداری تهران (کیلوگرم)
۴	۹/۳۴	۱۲/۰۱	۲/۶۷	میزان تولید زباله روزانه به ازای هر خانوار در منطقه ۱ شهرداری تهران (کیلوگرم)
۴۹۲	۱۱۴۸	۱۴۷۶	۳۲۸	میزان تولید زباله یکساله به ازای هر فرد در منطقه ۱ شهرداری تهران (کیلوگرم)
۱۴۷۶	۳۴۴۴	۴۴۲۸	۹۸۴	میزان تولید زباله یکساله به ازای هر خانوار در منطقه ۱ شهرداری تهران (کیلوگرم)

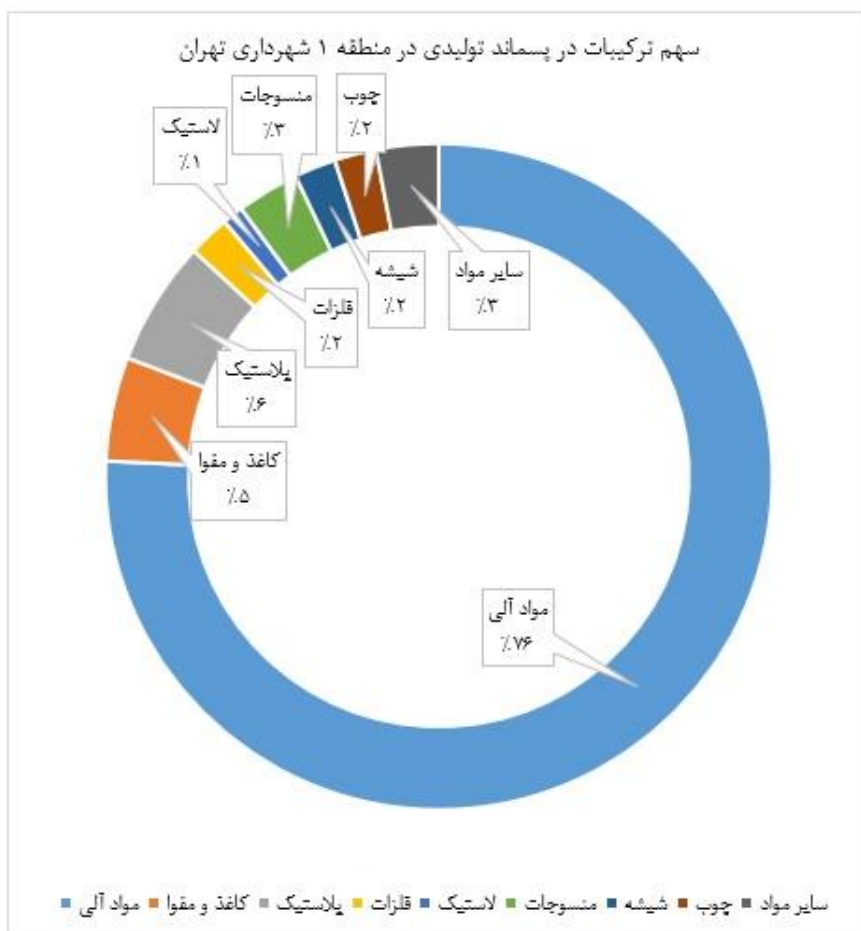
همچنین تخمین زده شد در شرایط وقوع سیل میزان تولید زباله روزانه به ازای هر نفر در منطقه ۱ شهرداری تهران به بیش از ۴ کیلوگرم برسد که به ازای هر خانوار این مقدار به ۱۲ کیلوگرم می رسد. همچنین این مقدار در یکسال از ۳۲۸ کیلوگرم به ۱۴۷۶ کیلوگرم می تواند برسد. به دلیل حجم بالای کمک های امدادی و نیاز بیشتر مردم به اقلام خوراکی در تعداد بالا انتظار می رود این مقدار تولیدی زباله به ۴/۵ برابر افزایش یابد. این مقدار همچنین برای وقوع زلزله و طوفان که بیشتر از سایر بلایای طبیعی در تهران محتمل هستند، پیش بینی شده است که نسبت به سیل دارای مقادیر کمتری نیز هستند.

بر اساس آخرین آمارهای بدست آمده از ترکیب بندی پسماندهای خروجی در منطقه ۱ شهرداری تهران، به شرح نمودار حلقوی ۱ است. بر اساس نمودار حلقوی فوق، سهم اعظم ترکیبات پسماندهای شهری در منطقه ۱ شهرداری تهران را مواد آلی (موادی دارای ترکیبات هیدروکربنی مانند پسماندهای مواد غذایی) تشکیل می دهند. به عبارتی پسماندهای تر که حاوی مواد غذایی دور ریخته هستند، دارای بیشترین سهم از پسماندهای شهری هر خانوار در این منطقه از استان تهران می باشد. در جایگاه های بعدی، پسماندهای خشک قرار می گیرند که شامل کاغذ و مقوا، پلاستیک، لاستیک، فلزات، شیشه، منسوجات، چوب و سایر مواد می باشد. در این بین سهم کاغذ و مقوا با ۵٪ بیش از سایر پسماندهای خشک می باشد.

در ادامه همچنین مقدار پسماند خانگی تحویلی به ایستگاه های جمع آوری زباله (ایستگاه های بازیافت زباله) در حالت عادی و حالت شرایط اضطراری مشخص می شود. بر اساس آمار بدست آمده از واحد مدیریت پسماند شهرداری منطقه ۱ تهران در سال ۱۳۹۶، مقدار پسماندهای تحویلی به واحدهای بازیافت پسماند در این منطقه (که به دو بخش زباله های حجیم و زباله های باغبانی تقسیم بندی می شوند) در جدول ۱۱ نیز قید شده است:

جدول ۱۱- مقدار زباله های تحویلی در سال به ازای هر خانوار در منطقه ۱ شهرداری تهران در سال ۱۳۹۶

طوفان	زلزله	سیل	در شرایط عادی	
۲۹۴	۶۸۶	۸۸۲	۱۹۶	مقدار زباله های حجیم تحویلی به ازای هر خانوار در یکسال در منطقه ۱ شهرداری تهران در سال ۱۳۹۶ (کیلوگرم)
۷۳/۸	۱۷۲/۲	۲۲۱/۴	۴۹/۲	مقدار زباله های باغبانی تحویلی به ازای هر خانوار در یکسال در منطقه ۱ شهرداری تهران در سال ۱۳۹۶ (کیلوگرم)



نمودار ۲- سهم ترکیبات در پسماند تولیدی در منطقه ۱ شهرداری تهران

چیزی بالغ بر ۲۰۰ کیلوگرم پسماند حجیم (شامل اسباب و اثاثیه منزل) به ازای هر خانوار در یک سال در منطقه ۱ تهران تولید شده و تحویل واحدهای بازیافتی پسماند می شود. این مقدار در حدود ۲۰ درصد کل مقدار پسماندهای تولیدی به ازای هر خانوار می باشد. پسماندهای باغبانی نیز چیزی بیش از ۵ درصد این مقدار را تشکیل می دهند که نزدیک به ۵۰ کیلوگرم در یکسال می باشد. در شرایط وقوع سیل، مقدار زباله های حجیم به ازای هر خانوار بیش از ۸۸۲ کیلوگرم خواهد بود و به ترتیب برای شرایط بروز زلزله و طوفان این مقدار ۶۸۶ و ۲۹۴ کیلوگرم برآورد می شود. رهاسازی وسایل و اسباب اثاثیه در هنگام شرایط اضطراری غیرقابل کتمان است که این امر مقدار تولید زباله های حجیم را به طرز چشمگیری بالا می برد. همچنین استفاده از چادر در کمپ های هلال احمر نیز می تواند به عنوان نمونه ای بارز از زباله های حجیم در هنگام وقوع سیل، زلزله یا طوفان به شمار رود.

همچنین نتایج حاصل از میزان پسماندهای تحویل داده شده به مراکز بازیافت زباله از سوی مراکز تجاری (شامل مال ها، پاساژها و سایر مغازه های مستقر در منطقه ۱ شهرداری تهران) در حالت عادی و شرایط اضطراری در جدول ۱۳ ذکر شد. اطلاعات جمع آوری شده از واحد مدیریت پسماند شهرداری منطقه ۱ تهران در سال ۱۳۹۶ نشان می دهد چیزی بالغ بر ۵ تن (معادل ۴۰۰۰ کیلوگرم) به ازای هر روز پسماند خشک از کلیه مراکز تجاری در منطقه ۱ شهرداری تهران توسط وسایل حمل و نقل شهرداری این منطقه جمع آوری شده و به واحد بازیافت انتقال داده می شوند.

جدول ۱۲- مقدار زباله های تولیدی مراکز تجاری در یک سال در منطقه ۱ شهرداری تهران در سال ۱۳۹۶

طوفان	زلزله	سیل	شرایط عادی	
۷۴۲۵۰۰	۹۹۰۰۰۰	۱۲۳۷۵۰۰	۴۹۵۰۰۰	مقدار زباله های تولیدی مراکز تجاری در یک سال در منطقه ۱ شهرداری تهران در سال ۱۳۹۶ (کیلوگرم)

مقدار تولیدی زباله از مراکز تجاری چیزی کمتر از ۵۰۰ تن در سال است اما این مقدار در شرایط اضطراری می تواند فراتر نیز برود. در شرایط بروز سیل این مقدار می تواند به ۱ میلیون تن، در شرایط بروز زلزله ۹۹۰ تن و در شرایط بروز طوفان به ۷۴۲ تن نیز برسد. اقلام موجود در مغازه ها و مراکز تجاری می توانند به عنوان پسماند یا زباله محسوب گردند که در هنگام بروز شرایط اضطراری رها می شوند.

هر یک از سناریوهای پنجگانه (شامل دفن بهداشتی، کمپوست و دفن بهداشتی، دفن بهداشتی و بازیافت، دفن بهداشتی و بازیافت و کمپوست، دفن بهداشتی و کمپوست و بازیافتی انرژی) دارای مقادیری انتشار آلاینده می باشند که اساس کار مقایسات زوجی و تعیین سناریوی بهینه است. بنابراین به تفکیک هر یک از ۵ سناریوی یاد شده پارامترهای زیر به تفکیک مورد محاسبه قرار گرفتند:

- مصرف منابع انرژی؛
- میزان انتشار گازهای گلخانه ای؛
- میزان انتشار گازهای اسیدی؛
- میزان انتشار مه دود فتوشیمیایی؛
- میزان خروجی های سمی؛
- هزینه در روز؛
- هزینه در سال.

در نرم افزار IWM-2 دو نوع سیستم جمع آوری زباله از خیابان های شهر ارائه می شود که شامل سیستم جمع آوری کنار خیابانی (KCS) و سیستم جمع آوری کانتینری (MBCS) می باشد. در این بخش سهم درصدی هر یک از این دو روش در پروسه جمع آوری پسماند در منطقه ۱ شهرداری تهران و تعداد خانوارهای پوشش داده شده برای هر کدام در شرایط عادی و شرایط اضطراری نیز مشخص شد.

جدول ۱۳- سهم درصدی روش های جمع آوری زباله KCS و MBCS و تعداد خانوارهای تحت پوشش در منطقه ۱ شهرداری تهران

طوفان		زلزله		سیل		در شرایط عادی		
تعداد خانوارهای تحت پوشش	سهم درصدی	تعداد خانوارهای تحت پوشش	سهم درصدی	تعداد خانوارهای تحت پوشش	سهم درصدی	تعداد خانوارهای تحت پوشش	سهم درصدی	عنوان روش گردآوری زباله
۷۵۱۰	۵٪	۴۵۰۶	۳٪	۱۵۰۲	۱٪	۱۵۰۱۹۲	۱۰٪	روش کنارخیابانی (KCS)
۹۱۷۹	۵۵٪	۷۵۱۰	۴۵٪	۴۱۷۳	۲۵٪	۱۶۶۸۹	۹۰٪	روش کانتینری (MBCS)

با توجه به اینکه سیستم جمع آوری پسماند در منطقه ۱ شهرداری تهران شامل کانیتنرهای جمع آوری زباله است که در دو شیفت ظهر و شب مشغول سرویس دهی نواحی مختلف در این منطقه (در مجموع ۱۰ ناحیه) هستند. ماشین های جمع آوری پسماند که مخصوص پسماندهای بازیافتی مانند شیشه، فلزات، پلاستیک و لاستیک هستند، به همین روش مشغول جمع آوری نیز هستند. تنها ۱۰ درصد به روش کنارخیابانی انجام می شود که توسط کارگران شهرداری اقدام به جمع آوری باقی پسماندهای پخش شده یا رها شده و لایروبی جوب های کنار خیابان انجام می شود. اما وضعیت در شرایط اضطراری کاملاً متفاوت خواهد بود چرا که در زمان بروز سیل و پس از وقوع آن، شرایط جهت اقدام جمع آوری زباله ها و پسماندهای رها شده همراه با حجم بالایی از گل و لای به صورت کنار خیابانی میسر نخواهد بود و بیشتر با دخالت ماشین آلات عمرانی انجام می شود. این امر برای زلزله و طوفان با درجات کمتر صادق است. بنابراین تعداد نفرات پوشش داده نیز به طبع کاسته می شود. همچنین سهم درصدی مشارکت کارگران و ماشین های حمل پسماند به دلیل محدودیت های دسترسی و حرکت کاهش می یابد.

در این بخش نیز نتایج حاصل از مقدار کل پسماندهای شهری در منطقه ۱ شهرداری تهران بر حسب واحد کیلوگرم/خانه/سال در شرایط عادی و شرایط اضطراری نمایش داده شد. همچنین درصد مواد قابل بازیافت خشک، درصد مواد جمع آوری شده بر حسب کیلوگرم/خانه/سال از کاغذ، شیشه، فلزات آهنی، فلزات غیر آهنی، پلاستیک نرم، پلاستیک سخت و پارچه بر اساس آمار و ارقام مستند در اداره مدیریت پسماند استان تهران ارائه شد. لازم به ذکر است که این منطقه در حین جمع آوری زباله ها، اقدام به تفکیک و جداسازی پسماندهای تر و خشک می کند. این امر بار آلودگی های مواد بازیافتی را به طرز اثربخشی کاهش می دهد:

جدول ۱۴- مقدار کل پسماندهای تولیدی در منطقه ۱ شهرداری تهران در سال ۱۳۹۶ به تفکیک مواد تشکیل دهنده بر حسب درصد

مقدار کل زباله های تولیدی (کیلوگرم/خانه/سال)	مقدار کاغذ (%)	مقدار شیشه (%)	مقدار فلزات آهنی (%)	مقدار فلزات غیر آهنی (%)	مقدار پلاستیک نرم (%)	مقدار پلاستیک خشک (%)	مقدار پارچه (%)
۲۳۶/۱۶	۲۹٪	۱۲٪	۱۵٪	۹٪	۶٪	۱۷٪	۱۲٪
۱۰۶۲/۷۲	۴٪	۱٪	۴۴٪	۱٪	۲۰٪	۷٪	۲۳٪
۸۲۶/۵۶	۱۰٪	۵٪	۴۱٪	۲٪	۱۸٪	۵٪	۱۹٪
۳۵۴/۲۴	۱۵٪	۷٪	۳۴٪	۷٪	۱۵٪	۹٪	۱۳٪

مجموع مقدار پسماندهای قابل بازیافت به ازای هر خانه در یکسال در منطقه ۱ شهرداری تهران چیزی معادل ۲۳۶/۱۶ کیلوگرم می باشد که از این مقدار ۶۸/۴۸ کیلوگرم سهم کاغذ و مقوا، ۲۸/۳۳ کیلوگرم سهم شیشه، ۳۵/۴۲ کیلوگرم سهم فلزات آهنی، ۲۱/۲۵ کیلوگرم سهم فلزات غیر آهنی، ۱۴/۱۶ کیلوگرم سهم پلاستیک نرم، ۴۰/۱۴ کیلوگرم سهم پلاستیک خشک و ۳۳/۲۸ کیلوگرم سهم پارچه و منسوجات می باشد. همچنین بر اساس آمار و مستندات، مقدار کل مواد کاغذی، مقوایی و مواد آلی مخلوط شده در یک سال و برای هر خانه در منطقه ۱ شهرداری تهران چیزی معادل ۴۸۹/۷۹ کیلوگرم (به طور تقریبی ۵۰۰ کیلوگرم برای هر خانه در یکسال) می باشد. این مقدار برای کل منطقه ۱ شهرداری تهران چیزی در حدود ۸۱۷۳۶۹۷۸/۷۵۲ کیلوگرم (۸۱ تن) محاسبه شده است که کمتر از نصف مقدار کل پسماند تولیدی یکساله در این منطقه (۱۵۹۹۰۲۶۲۴ کیلوگرم) می باشد. اما در شرایط بروز سیل مقدار تولید زباله به بیش از ۵/۴ برابر می رسد که ناشی از امدادسانی مواد غذایی، دارویی و مواد شوینده است که اقلام پلاستیکی و فلزی بسیاری بر جای می گذارد. این امر برای شرایط

زلزله و بروز طوفان با درجات کمتر نیز صدق می کند. به ترتیب برای شرایط بروز سیل، زلزله و طوفان مقدار کل زباله تولیدی به ازای هر خانه سال ۱۰۶۲/۷۲، ۸۲۶/۵۶ و ۳۵۴/۲۴ کیلوگرم می باشد که میزان درصد نوع زباله ها متفاوت می باشد که این امر به نوع امداد رسانی مواد غذایی، دارویی و بهداشتی بستگی دارد که متغیر است.

همچنین در این بخش نیاز است تا تخمینی از میزان سوخت مصرف شده در سامانه های MRF، RDF، کارخانه کمپوست، واحد زباله سوزی، ایستگاه های موقت و سایت لندفیل بر حسب لیتر بر سال در شرایط عادی و اضطراری انجام شود. در کلیه نواحی ۱۰ گانه منطقه ۱ شهرداری تهران در مجموع ۴۰ کانتینر حمل و نقل پسماند و ۲۰ ماشین حمل کنار خیابانی برای جمع آوری پسماندهای بازیافتی مشغول به تردد و خدمات رسانی هستند. سوخت مورد استفاده در کانتینرهای حمل و نقل پسماند گازوئیل و در ماشین های حمل پسماندهای بازیافتی بنزین است. گنجایش باک سوخت برای هر کانتینر حمل پسماند ۵۰۰ لیتر است و برای ماشین های حمل بازیافتی در حدود ۸۰ لیتر می باشد. به طور میانگین به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر تردد ۱۰ لیتر گازوئیل توسط کانتینرها و ۷ لیتر برای ماشین های حمل پسماندهای بازیافتی مصرف می شود. هر کانتینر در هر سال در مجموع ۱۵۰۰۰ لیتر گازوئیل و هر ماشین بازیافتی در مجموع ۲۸۸۰ لیتر بنزین مصرف می کنند که در مجموع شامل ۱۷۸۸۰ لیتر سوخت می شود. در جدول ۱۵ مقدار سوخت مصرفی بر حسب لیتر بر سال به تفکیک پروسه های مدیریت چرخه حیات پسماند ذکر شده است:

جدول ۱۵- میزان سوخت مصرفی وسایل حمل و نقل پسماند در منطقه ۱ شهرداری تهران در سال ۱۳۹۶

سایت لندفیل	ایستگاه های موقت نگهداری	واحد زباله سوزی	کارخانه کمپوست	RDF	MRF	در شرایط عادی
۶۴۲۷	۸۴۲	۳۲۰۸	۳۷۶۱	۲۴۳۳	۱۲۰۹	سیل
۱۶۰۶۸	۲۱۰۵	۸۰۲۰	۹۴۰۳	۶۰۸۳	۳۰۲۳	زلزله
۱۲۸۵۴	۱۶۸۴	۶۴۱۶	۷۵۲۲	۴۸۶۶	۲۴۱۸	طوفان
۹۶۴۱	۱۲۶۳	۴۸۱۲	۵۶۴۲	۳۶۵۰	۱۸۱۴	

بیشترین مقدار سوخت مصرفی در سال به ترتیب مربوط به حمل و نقل به سایت لندفیل، کارخانه کمپوست، واحد زباله سوزی، جایگاه های تولید انرژی از زباله، جایگاه های بازیافتی و ایستگاه های نگهداری موقت می باشد. این مقدار بر اساس تخمین های زده شده توسط کارشناسان مدیریت پسماند، برای شرایط سیل به بیش از ۲/۵، در شرایط زلزله ۲ و در شرایط طوفان ۱/۵ برابر افزایش می یابد که به دلیل اختلال در مسیرهای اصلی، ترافیک راه ها و در نتیجه بالا رفتن مصرف سوخت در کانتینرهای حمل پسماند می باشد. در نهایت هزینه کلی سیستم جمع آوری کنار خیابانی و کانتینر بر حسب دلار بر سال محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۱۶ نیز آمده است:

جدول ۱۶- هزینه کلی سیستم های جمع آوری کنار خیابانی و کانتینری در منطقه ۱ شهرداری تهران در سال ۱۳۹۶

هزینه کلی سیستم جمع آوری کنار خیابانی در یکسال (دلار بر سال)	هزینه کلی سیستم جمع آوری کانتینری در یکسال (دلار بر سال)	در شرایط عادی
۶۸۵/۷۱	۱۴۲۸/۵۷	سیل
۱۷۱۴/۲۷۵	۳۵۷۱/۴۲۵	زلزله
۱۳۷۱/۴۲	۲۸۵۷/۱۴	طوفان
۱۰۲۸/۵۶۵	۲۱۴۲/۸۵۵	

در مجموع ۲۱۱۴/۲۸ دلار هزینه حمل و نقل پسماند تا جایگاه های بازیافت، کمپوست، زباله سوزی، دفن بهداشتی و نگهداری موقت است که بر اساس نرخ دلار دولتی (۴۲۰۰۰ ریال در سال ۱۳۹۶) و نرخ بنزین (۱۰۰۰۰ ریال به ازای هر لیتر) و نرخ گازوئیل (۴۰۰۰ ریال به ازای هر لیتر) برای شرایط عادی محاسبه شده است. این مقدار بنا بر ضرایب گفته شده در شرایط سیل، زلزله و طوفان نیز افزایش می یابد.

اولین مقصد پسماندهای بازیافتی، جایگاه های بازیافت پسماند یا MRF ها هستند. روزانه مقداری از پسماندهای جمع آوری شده که قابل بازیافت هستند، به این جایگاه ها وارد می شوند تا مواد بازیافتی آنها مجدداً مورد استفاده قرار گیرد. همچنین ممکن است به دلیل عدم تفکیک دقیق یا کامل مواد بازیافتی از مواد غیربازیافتی، مقداری از آن برگشت داده شود که به اصطلاح ریجکت پسماند می گویند. میزان جرم ورودی و خروجی و ریجکت شده پسماندها در این جایگاه MRF در منطقه ۱ شهرداری تهران در جدول ۱۷ قید شده است که بر اساس آمار رسمی از اداره مدیریت پسماند استان تهران اقتباس شده است (در سال ۱۳۹۶ برآورد شده است که چیزی در حدود ۲۰٪ از پسماندهای تولیدی در استان تهران بازیافت می شود).

جدول ۱۷- میزان زباله ورودی، خروجی و ریجکت شده در جایگاه MRF در منطقه ۱ شهرداری تهران

میزان کل پسماند تولیدی قابل بازیافت بر حسب کیلوگرم بر سال	میزان ورودی پسماندها به واحد MRF بر حسب کیلوگرم بر سال	میزان خروجی پسماندها به واحد MRF بر حسب کیلوگرم بر سال	میزان پسماندهای ریجکت شده از واحد MRF بر حسب کیلوگرم بر سال
در شرایط عادی	۳۹۹۷۵۶۵۶	۶۳۹۶۱۰۴۹/۶	۳۵۹۷۸۰۹۰/۴
سیل	۵۹۹۶۳۴۸۴	۹۵۹۴۱۵۷۵	۳۵۹۷۸۰۹۱
زلزله	۵۱۹۶۸۳۵۳	۸۳۱۴۹۳۶۵	۴۶۷۷۱۵۱۸
طوفان	۴۳۹۷۳۲۲۲	۷۰۳۵۷۱۵۵	۳۹۵۷۵۹۰۰

در مجموع انتظار می رود بیش از ۴۰ تن پسماندهای قابل بازیافت شامل شیشه، فلزات، کاغذ و مقوا، پلاستیک و لاستیک در طول یکسال در منطقه ۱ شهرداری تهران تولید شود. به دلیل خطاهای انسانی و عدم تفکیک سازی کامل و با دقت بین پسماندهای تر و خشک و قابل بازیافت و غیرقابل بازیافت، مقادیر ورودی پسماند به جایگاه های بازیافتی بیش از مقدار قابل انتظار باشد و این مقدار نیز در پایان و پس از انجام پروسه بازیافت و استخراج مشتقات، به عنوان پسماندهای غیرقابل بازیافت از این جایگاه ریجکت می شوند. همچنین مقادیر اندکی ممکن است به عنوان پسماندهای اتلاف شده به حساب آیند که این امر مقدار خروجی را کمتر از مقدار ورودی نشان می دهد. از سویی این مقدار به ترتیب در شرایط سیل، زلزله و طوفان ۶۰، ۵۱ و ۴۳ تن در سال شده است که به علت مصارف بالای اقلام ضروری در مواد غذایی، دارویی و بهداشتی توسط حادثه دیدگان می باشد. به طبع مقدار ورودی پسماندها به واحدهای MRF و مقدار خروجی از آن و همچنین مقدار ریجکت شده افزایش می یابد.

در این مرحله مواد تشکیل دهنده پسماندها یا زباله های ورودی به جایگاه MRF در طول یکسال در منطقه ۱ شهرداری تهران در شرایط عادی و اضطراری نیز مشخص شده اند که بر اساس آمار بدست آمده از سازمان مدیریت پسماند استان تهران می باشد. این مواد شامل شیشه، فلزات آهنی و غیرآهنی، پلاستیک، لاستیک، کاغذ، مقوا، چوب و مواد آلی می باشد. مقدار این مواد نیز بر حسب درصد مشخص شده است:

جدول ۱۸- میزان مواد تشکیل دهنده زباله های ورودی به جایگاه های بازیافتی (MRF) در منطقه ۱ شهرداری تهران

مواد آلی	لاستیک	پلاستیک	فلزات غیر آهنی	فلزات آهنی	شیشه	چوب	مقوا	کاغذ	در شرایط عادی
۴٪	۸٪	۳۲٪	۶٪	۱۲٪	۷٪	۶٪	۱۵٪	۱۰٪	
۴٪	۳٪	۳۶٪	۹٪	۲۴٪	۱٪	۳٪	۱۸٪	۳٪	سیل
۴٪	۵٪	۳۲٪	۱۴٪	۲۰٪	۳٪	۴٪	۱۵٪	۳٪	زلزله
۴٪	۵٪	۳۳٪	۱۳٪	۲۰٪	۵٪	۳٪	۱۴٪	۳٪	طوفان

بیشترین مقدار مواد تشکیل دهنده مواد ورودی به جایگاه های بازیافتی به ترتیب شامل پلاستیک، کاغذ، فلزات آهنی، مقوا، لاستیک، شیشه، چوب و فلزات غیر آهنی و مواد آلی است که از این بین مواد آلی و چوب جزو مواد غیر قابل بازیافتی به حساب می آیند. در شرایط بروز سیل بیشترین ماده تشکیل دهنده زباله ها شامل پلاستیک، فلزات آهنی و مقوا می باشد که این امر برای شرایط بروز زلزله و طوفان با درصدهای کمتر صادق است. مصرف اقلام ضروری مواد غذایی، دارویی و بهداشتی تولید زباله های پلاستیکی، کاغذی و و فلزی را چندین برابر افزایش می دهد.

پسماندهایی که غالباً ماهیت مواد آلی و هیدروکربنی دارند، جهت بازیافت به تصفیه بیولوژیکی وارد می شوند. در این بخش مشخص شده است که چه میزان از پسماندهای شهری در سال در منطقه ۱ شهرداری تهران جهت تصفیه بیولوژیکی وارد این قسمت می شوند که در این نرم افزار بر حسب کیلوگرم بر سال و درصد از کل پسماندها بیان شده است:

جدول ۱۹- میزان زباله های ورودی به بخش تصفیه بیولوژیکی در منطقه ۱ شهرداری تهران

مقدار کل پسماندهای تولیدی در سال (کیلوگرم بر سال)	مقدار زباله های ورودی به بخش تصفیه بیولوژیکی (کیلوگرم بر سال)	درصد زباله های ورودی به بخش تصفیه بیولوژیکی (درصد)	شرایط عادی
۱۵۹۹۰۲۶۲۴	۱۲۱۵۲۵۹۹۴/۲۴	۷۴٪	
۷۱۹۵۶۱۸۰۸	۳۳۰۹۹۸۴۳۱/۶۸	۴۶٪	سیل
۵۵۹۶۵۹۱۸۴	۲۹۶۶۱۹۳۶۷/۵۲	۵۳٪	زلزله
۲۳۹۸۵۳۹۳۶	۱۶۵۴۹۹۲۱۵/۸۴	۶۹٪	طوفان

مقدار کل پسماندهای تولیدی در یک سال در منطقه ۱ شهرداری تهران چیزی بالغ بر ۱۶۰ تن می باشد که در حدود ۷۶٪ آن را زباله های تماماً آلی تشکیل می دهند که وارد بخش تصفیه بیولوژیکی می شوند. این مقدار معادل ۱۲۱ تن و ۷۴٪ است که ۲٪ باقی مانده معمولاً به اشتباه وارد بخش بازیافت پسماندهای جامد می شود که ناشی از عدم تفکیک پسماندهای تر و خشک به صورت کامل می باشد. در شرایط بروز سیل مقدار پسماندهای ورودی به بخش تصفیه بیولوژیکی کاسته می شود که این امر به دلیل افزایش استفاده از پک های مواد غذایی، دارویی و بهداشتی است که بیشتر شامل مواد بازیافتی می شود و در نتیجه قسمت اعظم آن وارد بخش بازیافتی می شود. این شرایط برای بروز زلزله و طوفان در منطقه ۱ شهرداری تهران به همین روال می باشد که درصدهای آن متغیر خواهد بود. در شرایط عادی نیز پسماندهای تر بیشتر مصرف می شوند که غالب آنها جهت کمپوست سازی وارد بخش تصفیه بیولوژیکی می شوند.

در این بخش نیز مقدار زباله های ورودی به بخش کمپوست سازی و تفکیک مقدماتی (پیش تفکیک) بر حسب کیلوگرم بر سال در شرایط عادی و شرایط اضطراری مشخص شد. این نرم افزار فرض می کند تمامی مواد به جزء ۲/۵ درصد کاغذ و ۲/۵ درصد مواد آلی به دلیل آلودگی در مرحله تفکیک مقدماتی از جریان زباله بیولوژیکی جدا می گردد. همچنین مقدار درصد کاهش وزن ناشی از تبخیر رطوبت پسماندهای تر و درصد کمپوست نهایی که به فروش می رسد محاسبه می شود. مقدار انرژی مصرفی به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوگرم (تن) در کارخانه کمپوست سازی مشخص می گردد. مقدار پسماندهای ریجکت شده از کارخانه کمپوست سازی و هزینه و فاصله حمل و نقل آنها تا محل لندفیل یا زباله سوزها مشخص می گردد. درآمد حاصل از فروش مواد کمپوست شده بر حسب دلار بر سال و هزینه کل کمپوست سازی در کارخانه در این نرم افزار مشخص می شوند که همگی در غالب جدول ۲۰ نیز ذکر شده اند:

جدول ۲۰- مشخصات کمی فرآیند کمپوست سازی پسماندهای شهری در منطقه ۱ شهرداری تهران

مقدار زباله های ورودی به کارخانه کمپوست سازی (کیلوگرم بر سال)	مقدار درصد کاهش وزن کمپوست نهایی	مقدار انرژی مصرفی به ازای هر تن کمپوست سازی (کیلوژول بر سال)	مقدار پسماندهای ریجکت شده (کیلوگرم بر سال)	هزینه حمل و نقل پسماندهای ریجکت شده تا لندفیل (دلار بر سال)	فاصله کارخانه کمپوست سازی تا لندفیل (کیلومتر)	هزینه حمل و نقل پسماندهای ریجکت شده تا زباله سوزها (دلار بر سال)	فاصله کارخانه کمپوست سازی تا زباله سوزها (کیلومتر)	درآمد حاصل از فروش کمپوست (دلار بر سال)	هزینه کل کمپوست سازی پسماندها (دلار بر سال)
۹۱۴۴۹۵/۶۸	٪۳۸/۷	۷۰۱۸۱۲۶۱۶۷۳/۶	۴۵۵۷۲۴۱/۸۴	۲۳۶۱۶۰	۱۲/۳ کیلومتر	۴۳۲۰۰۰	۲۲/۵ کیلومتر	۳۳۵۹۰۴۰/۱۵۵	۱۱۰۸۴۸۳/۲۵۱
۷۵۶۴۹۹۳۱/۴۲	٪۳۸/۷	۷۰۱۸۱۲۶۱۶۷۳/۶	۳۷۸۲۴۹۴/۵۷۱	۸۲۶۵۶۰	۱۲/۳ کیلومتر	۱۵۱۲۰۰۰	۲۲/۵ کیلومتر	۹۲۰۰۴۱۰/۹۸	۹۲۰۰۴۱۰/۹۸
۷۷۴۷۲۸۲۱/۳۳	٪۳۸/۷	۷۰۱۸۱۲۶۱۶۷۳/۶	۳۸۷۳۶۴۱/۰۶۶	۵۹۰۴۰۰	۱۲/۳ کیلومتر	۱۰۸۰۰۰۰	۲۲/۵ کیلومتر	۲۸۵۵۱۸۴/۱۳۱	۹۴۲۲۱۰/۷۶۳
۸۲۰۳۰۰۴۶/۱۲	٪۳۸/۷	۷۰۱۸۱۲۶۱۶۷۳/۶	۴۱۰۱۵۰۲/۳۰۶	۲۵۴۲۴۰	۱۲/۳ کیلومتر	۶۴۸۰۰۰	۲۲/۵ کیلومتر	۲۰۲۳۱۳۶/۱۳۹	۹۹۷۶۳۴/۹۲۵

بر اساس نتایج حاصل از نرم افزار در قسمت کمپوست، در مجموع ۹۱ هزار تن پسماند به کارخانه کمپوست سازی از سوی منطقه ۱ شهرداری تهران روانه می شود که پس از سپری کردن مراحل اولیه کمپوست سازی، در حدود ۳۸/۷٪ وزن آن به دلیل از دست رفتن رطوبت کاسته می شود. مقدار انرژی مصرف شده به ازای هر تن کمپوست سازی معادل ۷۷۰ کیلوژول می

باشد که این مقدار در یک سال برای منطقه ۱ تهران معادل ۷۰ میلیارد کیلوژول محاسبه شده است. همواره مقدار ۵٪ از کلیه زباله های ورودی به کارخانه ریجکت می شوند که این درصد برابر با ۴ میلیون کیلوگرم در سال است. این مقدار زباله ریجکت شده جهت لندفیل یا زباله سوزی توسط کانتینرهای حمل پسماند مجددا حمل و نقل می شوند. مسافت تا جایگاه لندفیل به طور تقریبی ۱۲/۳ کیلومتر است که هزینه مصرف سوخت آن بر حسب دلار بر سال معادل ۲۳۶ هزار دلار می شود. این مقدار جهت حمل و نقل به واحدهای زباله سوزی بیشتر بوده و نزدیک به ۴۳۲ هزار دلار می باشد. هزینه کلی که جهت کمپوست برای یکسال پرداخت می شود معادل ۱ میلیون دلار می باشد. برای شرایط اضطراری (شامل سیل، زلزله و طوفان) اعداد ارقام به صورت تخمینی وارد نرم افزار شد و تنها در پارامترهای مقدار درصد کاهش وزن کمپوست، فاصله کارخانه کمپوست سازی تا لندفیل و زباله سوزها اعداد و ارقام بدون تغییر ماندند. همانطور که از نتایج مشخص است مقدار پسماندها به واحد کمپوست سازی در شرایط بروز سیل، زلزله و طوفان نسبت به حالت عادی کمتر پیش بینی شده است که این امر به دلیل افزایش حجم پسماندهای بازیافتی و کاهش حجم پسماندهای تر و از جنس مواد آلی است که قابلیت کمپوست سازی نیز دارند. در این مرحله نیز مقدار رطوبت گرفته شده از پسماندهای آلی بیشتر است و حالت فشرده تر و متراکم تری به خود گرفته اند. مقدار درصد قراردادی جهت کاهش وزن بیش از ۶۰٪ در نرم افزار تعریف شده است و همچنین مقدار انرژی مصرفی در این مرحله بیش از مرحله کمپوست سازی است. مقدار انرژی تولیدی در این مرحله و قیمت فروش این انرژی بر حسب کیلوژول در سال محاسبه می شود که نتایج در جدول ۲۱ نیز آمده است:

جدول ۲۱- مشخصات کمی فرآیند گازی سازی پسماندهای شهری در منطقه ۱ شهرداری تهران

مقدار زباله های ورودی به کارخانه کمپوست سازی (کیلوگرم بر سال)	مقدار انرژی مصرفی به ازای هر تن گازی سازی (کیلوژول بر سال)	مقدار انرژی تولیدی در گازی سازی (کیلوژول بر سال)	قیمت فروش هر کیلوژول انرژی تولیدی (دلار بر کیلوژول)
در شرایط عادی	۹۱۱۴۴۹۵/۶۸	بیش از ۶۳٪	۲۴۵۶۳۴۴۱۵۸۶
سیل	۷۵۶۴۹۹۳۱/۴۲	بیش از ۶۳٪	۲۰۳۸۷۵۶۵۱۸
زلزله	۷۷۴۷۲۸۲۱/۳۳	بیش از ۶۳٪	۲۰۸۷۸۹۲۵۳۴۹
طوفان	۸۲۰۳۰۰۴۶/۱۲	بیش از ۶۳٪	۲۲۱۰۷۰۹۷۴۳۰

مقدار درصد کاهش وزن در مرحله گازی سازی چیزی بیش از ۶۰٪ است که باعث می شود در این مرحله پسماندها متراکم و فشرده تر از حالت کمپوست شوند. بنابراین مقدار انرژی صرف شده برای آن بیش از مرحله قبل یعنی در حدود ۲۴ تریلیون کیلوژول در یک سال است. از طرف مقابل مقدار انرژی تولید شده ۲۰٪ بیش از این مقدار است که قیمت برآورد شده به ازای هر کیلوژول معادل ۶۵ سنت می باشد. در شرایط بروز اضطراری نیز کاملاً مشخص است که میزان کل تولید انرژی در یکسال به طرز چشمگیری کاهش می یابد و از ۲۹ تریلیون کیلوژول به ۲۶ تریلیون کیلوژول تغییر پیدا کرده است. در بخش بعدی نیز میزان ورودی و خروجی ها در بخش تصفیه حرارتی در شرایط عادی و شرایط اضطراری نیز مشخص می شود که معمولاً بر حسب درصد نیز بیان می شوند که در جدول ۲۲ ذکر شده است:

جدول ۲۲- مشخصات کمی فرآیند تصفیه حرارتی پسماندهای شهری در منطقه ۱ شهرداری تهران

مقدار کل زباله های ورودی به بخش تصفیه حرارتی (کیلوگرم بر سال)	درصد خروجی زباله ها به واحدهای زباله سوز قدیمی	درصد خروجی زباله ها به واحدهای زباله سوز مدرن	شرایط عادی
۴۱۰۱۵۰۲۳/۰۵۶	۶۵٪	۳۵٪	سیل
۳۴۰۴۲۴۶۹/۱۳۷	۶۵٪	۳۵٪	زلزله
۳۴۸۶۲۷۶۹/۵۹۸	۶۵٪	۳۵٪	طوفان
۳۶۰۹۳۲۲۰/۲۹	۶۵٪	۳۵٪	

چیزی در حدود بیش از ۳۰٪ از مقدار زباله های ورودی به بخش کمپوست سازی در این بخش وارد می شوند که برابر ۴۱ تن در یکسال برای منطقه ۱ شهرداری تهران می باشد. از این مقدار ۶۵٪ به واحدهای زباله سوز با تجهیزات قدیمی و ۳۵٪ به واحدهای زباله سوز با تسهیلات مدرن وارد می شوند. این در حالیکه این مقدار به ترتیب برای شرایط بروز سیل، زلزله و طوفان ۳۴، ۳۶ و ۳۴ تن در سال می باشد.

در ادامه، مقدار کل زباله های ورودی و ریجکت شده، درصد کارایی بازیافت، مقدار درصد فلزات آهنی بازیافتی از داخل خاکستر و درصد تولید خاکستر کف، فاصله حمل زباله های خطرناک (خاکستر فرار و گرد و غبار تولید شده از فیلترها) و زباله های غیرخطرناک (خاکستر کف) و مقدار انرژی تولیدی و میزان هزینه های واحدهای زباله سوز قدیمی و همچنین درآمد حاصل از فروش آنها محاسبه می شوند که در جدول ۲۳ همه آن ها قید شده اند:

جدول ۲۳- مشخصات کمی زباله سوزهای قدیمی در منطقه ۱ شهرداری تهران

مقدار کل زباله های ورودی به بخش زباله سوز قدیمی (کیلوگرم بر سال)	مقدار کل زباله های ریجکت شده از زباله سوز قدیمی (کیلوگرم بر سال)	درصد کارایی بازیافت	درصد فلزات آهنی بازیافتی از داخل خاکستر	درصد تولید خاکستر کف	فاصله حمل زباله های خطرناک (کیلومتر)	فاصله حمل زباله های غیرخطرناک (کیلومتر)	مقدار انرژی تولیدی (کیلوژول بر سال)	قیمت فروش واحد انرژی تولیدی (دلار بر کیلوژول)	در شرایط عادی	سیل
۲۲۵۵۸۲۶۲/۶۸	۲۷۰۶۹۹۱/۵۲	۴۵٪	۱۵٪	۸۵٪	۲۲/۵	۱۳	۷۳۶۹۰۳۲۴۷۵/۸	۶۵ سنت بر کیلوژول		۲۰۳۰۲۴۳۶/۴۱۲
	۲۴۳۶۲۹۲/۳۶۸	۴۵٪	۱۵٪	۸۵٪	۲۲/۵	۱۳	۶۶۳۲۱۲۹۲۲۸/۲۲	۶۵ سنت بر کیلوژول		

زلزله	طوفان
۶۷۶۷۴۸/۸۰۴	۱۱۲۷۹۱۳/۳۴
۸۱۲۰۹۷/۴۵۶	۱۳۵۳۴۹۵/۷۶
۴۵٪	۴۵٪
۱۵٪	۱۵٪
۸۵٪	۸۵٪
۲۲/۵	۲۲/۵
۱۳	۱۳
۲۲۱۰۷۰۹۷۴۲/۴	۳۶۸۴۵۱۶۳۷/۹
۵۵ سنت بر کیلوژول	۵۵ سنت بر کیلوژول

همانطور که از نتایج برمی آید، مقدار انرژی تولید شده در مرحله زباله سوزی نسبت به مرحله گازی سازی کمتر است و به طور تقریبی ۲۵٪ آن را شامل می شود چرا که بسیاری از مواد در مرحله قبل به انرژی تبدیل شده اند و مقدار باقی آن در زباله سوزها به صورت انرژی برق استخراج می شوند. درصد کارایی بازیافت در واحدهای زباله سوز قدیمی چیزی در حدود ۴۵٪ پیش بینی شده است که این مقدار در واحدهای زباله سوز مدرن بسیار بیشتر است. ۱۵٪ از خاکسترهای تولیدی را فلزات بازیافتی تشکیل می دهند و ۸۵٪ باقیمانده تولید خاکستر کف می کند. همچنین لازم به ذکر است مقدار زباله های ریجکت شده از زباله سوزها چیزی کمتر از ۱۰٪ است که در باقی موارد به زیر ۱۰٪ نیز می رسد. همچنین آمار و ارقام در شرایط بروز اضطراری (سیل، زلزله و طوفان) حاکی از آن است که مقدار ورودی زباله ها در این شرایط به بخش زباله سوزهای قدیمی به اندازه ۰/۱۷ تا ۰/۵ برابر کاهش یابد. در شرایط اضطراری اهداف و سیاست ها بیشتر به سمت بازیافت مواد و استفاده مجدد از آنها سوق پیدا می کند و بنابراین میزان تولید انرژی نیز به طبع کاهش خواهد آمد.

در قسمت بعد نیز مقدار CRDF و dRDF سوخته شده در شرایط عادی و اضطراری مشخص شده و همچنین درصد کارایی انرژی ناخالص بازیافتی، فاصله و هزینه حمل و نقل و دفن ریجکت های خطرناک و غیرخطرناک تا لندفیل، هزینه های مربوط به عملیات و درآمد حاصل از آن به ازای هر کیلوژول انرژی تولیدی مورد محاسبات قرار می گیرند. در جدول ۲۴ نتایج این محاسبات آمده است:

جدول ۲۴- مشخصات کمی RDF سوزها در منطقه ۱ شهرداری تهران

مقدار CRDF ورودی به RDF سوز (کیلوگرم بر سال)	مقدار dRDF ورودی به RDF سوز (کیلوگرم بر سال)	درصد کارایی انرژی ناخالص بازیافتی	فاصله حمل و نقل و دفن ریجکت های خطرناک تا لندفیل (کیلومتر)	هزینه حمل و نقل و دفن ریجکت های خطرناک تا لندفیل (دلار بر سال)	فاصله حمل و نقل و دفن ریجکت های غیرخطرناک تا لندفیل (کیلومتر)	هزینه حمل و نقل و دفن ریجکت های غیرخطرناک تا لندفیل (دلار بر سال)	هزینه عملیات RDF سوز (دلار بر سال)	قیمت واحد انرژی تولیدی (دلار بر کیلوژول)
۱۰۶۶۳۹۰۵/۹۹۱	۶۹۱۷۵۵۳/۹۱۷	۳۴٪	۶/۷	۸۵۷/۶	۴/۳	۱۳۷/۶	۸۳۱۳۶۲/۴۳	۵۵ سنت بر کیلوژول
۹۰۶۴۳۲۰/۰۹۳	۵۹۱۶۶۷۰/۸۲۹	۳۴٪	۶/۷	۲۱۴۴	۴/۳	۳۴۵	۷۰۶۶۵۸/۰۶	۵۵ سنت بر کیلوژول
۹۲۷۷۵۹۸/۲۱۳	۶۰۶۶۱۲۱/۹۰۸	۳۴٪	۶/۷	۱۷۱۶	۴/۳	۲۷۵	۷۲۳۳۸۵/۳۱	۵۵ سنت بر کیلوژول
۹۴۹۰۸۷۶/۳۳۲	۶۲۰۵۵۷۲/۹۸۶	۳۴٪	۶/۷	۱۲۸۷	۴/۳	۲۰۶	۷۳۹۹۰/۶۶	۵۵ سنت بر کیلوژول

همانطور که از جدول ۲۴ مشخص است، میزان درصد کارایی انرژی ناخالص بازیافتی معادل ۳۴٪ است، به این معنا که ۳۴٪ از کل پسماندهای ورودی به این RDF سوز تبدیل به سوخت پسماندی می شود که می توان از آن در موارد مختلف استفاده نمود. کل هزینه RDF سوز برای پسماندهای حمل شده از منطقه ۱ تهران در یکسال برابر با ۸۳۰ هزار دلار است و قیمت واحد تولید سوخت به ازای هر کیلوژول معادل ۵۵ سنت می باشد. لازم به ذکر است که مقدار CRDF ورودی به RDF سوز در حالت عادی بالغ بر ۱۰ میلیون تن در یکسال می باشد و در شرایط سیل، زلزله و طوفان به طور تقریبی ۹ میلیون تن تخمین زده شده است. در بخش بعدی کلیه پارامترهای جدول ۲۵ نیز وارد می شود اما با این تفاوت که پسماندهای ورودی به این بخش از کاغذ و مقوا هستند. PPDF سوزها از تکنولوژی پیچیده تری برخوردار هستند و بنابراین انتظار می رود هزینه مشتقات سوختی از آن و همچنین قیمت واحد انرژی بیشتر از RDF سوزها باشد.

جدول ۲۵- مشخصات کمی PPDF سوزها در منطقه ۱ شهرداری تهران

مقدار پسماندهای کاغذی ورودی به PPDF سوز (کیلوگرم بر سال)	مقدار drDF ورودی به PPDF سوز (کیلوگرم بر سال)	درصد کارایی انرژی ناخالص بازیافتی	فاصله حمل و نقل و دفن ریجکت های خطرناک تا لندفیل (کیلومتر)	هزینه حمل و نقل و دفن ریجکت های خطرناک تا لندفیل (دلار بر سال)	فاصله حمل و نقل و دفن ریجکت های غیر خطرناک تا لندفیل (کیلومتر)	هزینه حمل و نقل و دفن ریجکت های غیر خطرناک تا لندفیل (دلار بر سال)	هزینه عملیات PPDF سوز (دلار بر سال)	قیمت واحد انرژی تولیدی (دلار بر کیلوژول)
۵۳۳۱۹۵/۲۹۹	۳۴۸۶۲۷/۶۹۵	۸۶٪	۶/۷	۸۵۷/۶	۴/۳	۱۳۷/۶	۱۱۲۳۳۹/۲۸	۷۵ سنت بر کیلوژول
۴۵۳۲۱۶/۰۰۵	۲۹۶۳۳۳/۵۴۱	۸۶٪	۶/۷	۲۱۴۴	۴/۳	۳۴۴	۹۵۳۹۸۸/۳۸	۷۵ سنت بر کیلوژول
۴۶۳۸۷۹/۹۱۱	۳۰۳۳۰۶/۰۹۵	۸۶٪	۶/۷	۱۷۱۵	۴/۳	۲۷۶	۹۷۶۴۳۵/۱۷	۷۵ سنت بر کیلوژول
۴۷۴۵۴۳/۸۱۷	۳۱۰۳۷۸/۶۴۹	۸۶٪	۶/۷	۱۲۸۶	۴/۳	۲۰۶	۹۹۸۸۸۱/۹۶	۷۵ سنت بر کیلوژول

مقدار پسماندهای کاغذی و مقوایی ورودی به PPDF سوز معادل ۵ درصد مقدار کل پسماندهای ورودی به RDF سوز هستند، چرا که قسمت اعظم آن بازیافت می شود و به این مرحله وارد نمی شوند. به دلیل به روز و مدرن بودن تسهیلات PPDF سوز کارایی آن بسیار بیشتر از RDF سوزها می باشد که برابر با ۸۶٪ است. هزینه عملیاتی در PPDF سوز بیش از ۳۵٪ افزایش دارد و قیمت واحد به ازای هر کیلوژول انرژی ۷۵ سنت است. مقدار پسماندهای ورودی به واحد PPDF سوز در شرایط عادی معادل ۵ میلیون تن است و در شرایط بروز سیل، زلزله و طوفان بیش از ۴ میلیون تن در یکسال برآورد شده است.

در بخش بعدی نیز، مقدار کل پسماندهای حمل شده از منطقه ۱ شهرداری تهران به ناحیه لندفیل به تفکیک پسماندهای خطرناک و غیرخطرناک بر حسب کیلوگرم و همچنین مقدار کل زباله باقی مانده و تصفیه نشده در شرایط عادی و اضطراری نیز مشخص می شود که نتایج آن در جدول ۲۶ نیز آمده است:

جدول ۲۶- نتایج حاصل از لندفیل پسماندهای منطقه ۱ شهرداری تهران

مقدار کل زباله های شده به مرحله لندفیل (کیلوگرم بر سال)	مقدار کل زباله های خطرناک وارد شده به مرحله لندفیل (کیلوگرم بر سال)	مقدار کل زباله های غیرخطرناک وارد شده به مرحله لندفیل (کیلوگرم بر سال)	مقدار کل پسماندهای باقی مانده و تصفیه نشده (کیلوگرم بر سال)
در شرایط عادی	۹۵۹۴۱۵۷/۴۴	۲۳۹۸۵۳۹/۳۶	۷۱۹۵۶۱۸/۰۸
سیل	۷۱۹۵۶۱۸/۰۸	۱۷۹۸۹۰۴/۵۲	۵۳۹۶۷۱۳/۵۶
زلزله	۷۶۷۵۳۲۵/۹۶	۱۹۱۸۸۳۱/۴۹	۵۷۵۶۴۹۴/۴۷
طوفان	۷۸۶۷۲۰۹/۱۱	۱۹۶۶۸۰۲/۲۷	۵۹۰۰۴۰۶/۸۳

مقدار کل پسماندهایی که وارد لندفیل می شوند معادل ۹ میلیون تن در یکسال برای منطقه ۱ شهرداری تهران می باشد که ۲ میلیون تن آن مربوط به پسماندهای خطرناک و ۷ میلیون تن آن برای پسماندهای غیرخطرناک برآورد شده است. همچنین مقدار کل پسماندهای باقی مانده و تصفیه نشده معادل ۱۹۱ هزار کیلوگرم در سال می باشد. این در حالیست که مقدار کل زباله های ورودی به مرحله لندفیل در شرایط بروز سیل، زلزله و طوفان حدود ۷ میلیون تن در سال پیش بینی شده است. مقدار کل زباله های خطرناک وارد شده به مرحله لندفیل از ۲ میلیون تن در سال در شرایط عادی به ۱ میلیون تن در شرایط اضطراری کاهش یافته است. همانطور که از قبل اشاره شد، انتظار می رود در شرایط اضطراری سیاست های مدیریت پسماند شهری به سمت بازیافت حداکثری پیش برود تا بتوان از هدر رفت مواد جلوگیری نمود. از طرفی میزان تولیدات زباله های شهری به ویژه از نوع مواد بازیافتی به طرز چشمگیری افزایش می یابد. بنابراین لازم است تا با اتخاذ رویکرد بازیافت علاوه بر حفظ محیط زیست در این شرایط سخت، به تولیدات بیشتر با استفاده از مواد بازیافتی نیز کمک نمود.

درصد زباله های غیرخطرناک و خطرناکی که از ایستگاه انتقال به لندفیل فرستاده می شوند و همچنین مقدار برق و گازوئیل مصرفی در ایستگاه های انتقال و فاصله حمل و نقل تا لندفیل در شرایط عادی و شرایط اضطراری نیز مشخص شوند که نتایج آن در جدول ۲۷ نیز قید شده است:

جدول ۲۷- نتایج حاصل از ایستگاه انتقال پسماندهای منطقه ۱ شهرداری تهران

درصد زباله های خطرناک ارسالی از ایستگاه انتقال به لندفیل	درصد زباله های غیرخطرناک ارسالی از ایستگاه انتقال به لندفیل	مقدار برق مصرفی جهت حمل و نقل پسماندها از ایستگاه انتقال به لندفیل (کیلووات بر سال)	مقدار گازوئیل مصرفی جهت حمل و نقل پسماندها از ایستگاه انتقال به لندفیل (لیتر بر سال)	فاصله مسافت بین ایستگاه انتقال تا محل لندفیل (کیلومتر)
در شرایط عادی	۱۲٪	۷۴۸۲۵۰	۱۰۴۷۵۵۰	۸/۲
سیل	۹٪	۶۵۹۵۶۳	۲۶۱۸۸۷۵	۸/۲
زلزله	۱۰٪	۶۸۷۰۱۲	۲۰۹۵۱۰۰	۸/۲
طوفان	۱۱٪	۷۱۹۹۷۴	۱۵۷۱۳۲۵	۸/۲

میزان درصد زباله های خطرناک ارسالی از ایستگاه های انتقال منطقه ۱ شهرداری تهران به مکان های لندفیل ۱۲٪ و برای زباله های غیرخطرناک ۸۸٪ است و می توان اظهار داشت تاکید اداره مدیریت پسماند استان تهران بر بی خطرسازی پسماندهای خطرناک و سپس لندفیل آنها است. مقدار برق مصرفی ۷۴۸ هزار وات بر سال است و مقدار گازوئیل مصرفی در

یکسال بالغ بر ۱ میلیون لیتر می باشد. این مقدار درصد در شرایط بروز اضطراری سیل ۹٪ و ۷۶٪ برای زلزله ۱۰٪ و ۷۹٪ و برای طوفان ۱۱٪ و ۸۴٪ می باشد. از طرف مقابل میزان مصرف سوخت انتظار می رود با افزایش بار ترافیکی در جاده ها و مسیرهای اصلی شهر و مسدود شدن های مکرر در میانه راه، بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر افزایش یابد.

در این بخش همچنین هزینه های لندفیل کردن و اداره کردن، مقدار انرژی برق و گاز مصرفی سایت لندفیل، درصد مقدار گاز لندفیل جمع آوری شده و رها شده سایت لندفیل، درصد انرژی بازیافت شده از گاز لندفیل و درصد کارایی این انرژی، قیمت فروش انرژی بازیافتی، درصد مقدار شیرابه تولیدی و درصد شیرابه رها شده، درصد کارایی جمع آوری و تصفیه شیرابه، هزینه های حمل و نقل زباله ها تا سایت لندفیل و هزینه کلی لندفیل کردن زباله های غیر خطرناک در شرایط عادی و اضطراری نیز وارد می شوند که نتایج آن در جدول ۲۸ نیز قید شده است. هزینه کلی لندفیل کردن برای یکسال در منطقه ۱ شهرداری تهران معادل ۷۳۰ میلیون دلار است که ۸۸٪ آن صرف زباله های غیرخطرناک می شود. همچنین هزینه های حمل و نقل پسماندها به مکان لندفیل معادل ۱۴ هزار دلار در سال است. درصد گازهای گلخانه ای جمع آوری شده و انتشار یافته به ترتیب ۶۶٪ و ۳۴٪ است که برآورد شده است تا ۷۲٪ آن بازیافت شود. میزان شیرابه های تولیدی در لندفیل ۲۶٪ است که ۷٪ از آن انتظار می رود که به محیط اطراف رها شود. همچنین درصد کارایی جمع آوری و تصفیه شیرابه نیز ۷۸٪ است. این در حالیست که هزینه کلی لندفیل در حالت بروز سیل، زلزله و طوفان به ترتیب ۶۰۰، ۶۱۴ و ۶۳۵ میلیون دلار پیش بینی شده است. این هزینه برای لندفیل کردن زباله های غیرخطرناک برای شرایط عادی و شرایط اضطراری به ترتیب ۶۴۳، ۵۲۷، ۵۴۰ و ۶۰۰ میلیون دلار برآورد شده است.

در آخرین بخش از نرم افزار که داده های مورد نیاز وارد می شوند، درصد زباله جامد نهایی ایجاد شده در طی پروسه بازیافت (ریجکت تولید شده در طی بازیافت) در شرایط عادی و شرایط اضطراری نیز مشخص می شود. همچنین فاصله حمل هر یک از مواد بازیافتی را از مراکز تفکیک و سورت تا کارخانه مصرف مجدد (باز چرخش) محاسبه شده و در نهایت هزینه های حمل و نقل و هزینه های فرآیند (باز چرخش) و قیمت مواد بازیافت شده تعیین گردید.

جدول ۲۸- نتایج حاصل از هزینه مدیریت لندفیل پسماندهای منطقه ۱ شهرداری تهران

هزینه کلی لندفیل کردن پسماندهای ورودی (دلار بر سال)	مقدار انرژی برق مصرفی لندفیل کردن (کیلووات بر سال)	مقدار گاز مصرفی لندفیل کردن (مترمکعب بر سال)	درصد مقدار گاز لندفیل جمع آوری شده	درصد انرژی بازیافت شده از گاز لندفیل	درصد کارایی انرژی قیمت فروش انرژی بازیافتی (دلار بر کیلوژول)	درصد مقدار شیرابه تولیدی	درصد شیرابه رها شده	درصد کارایی جمع آوری و تصفیه شیرابه	هزینه های حمل و نقل زباله ها تا سایت لندفیل	هزینه کلی لندفیل کردن زباله های غیرخطرناک
۷۳۰۹۸۳۴۴	۱۴۳۹۱۲۳۶۱/۶	۲۸۷۸۲۴۷/۳۳	۶۶٪	۷۲٪	۸۳٪	۲۶٪	۷٪	۷۸٪	۱۴۲۵۲۳۸	۶۴۳۲۶۵۴۱۳/۱۲
۵۹۹۴۰۶۴۰۸	۱۱۸۰۰۸۱۳۶/۵	۲۳۶۰۱۶۲۱/۳۱	۵۴٪	۶۰٪	۸۳٪	۲۱٪	۴٪	۷۸٪	۳۵۳۰۰۹۵	۵۲۷۴۷۷۶۳۹/۰۴

زلزله	طوفان
۶۱۴۰۲۶۰۷۶/۱۶	۶۳۵۹۵۵۵۷۹
۱۲۰۸۸۶۳۸۲/۷	۱۲۵۲۰۳۷۵۴/۶
۲۴۱۷۷۲۷/۶۷۴	۲۵۰۴۰۷۵/۰۹۲
۵۸٪	۶۰٪
۳۰٪	۳۳٪
۶۵٪	۶۶٪
۸۳٪	۸۳٪
۷۷ سنت بر کیلوژول	۷۷ سنت بر کیلوژول
۲۴٪	۲۵٪
۵٪	۶٪
۷۸٪	۷۸٪
۲۸۵۰۴/۷۶	۲۱۳۷۸/۵۷
۵۴۰۳۴۲۹۴۷/۰۲	۵۵۹۶۴۰۹۰۹/۵۲

جدول ۲۹- نتایج حاصل از مشخصات کمی بازیافت پسماندها در منطقه ۱ شهرداری تهران

درصد زباله جامد نهایی ایجاد شده در طی پروسه بازیافت	فاصله حمل هر یک از مواد بازیافتی را از مراکز تفکیک و سورت تا کارخانه مصرف مجدد (کیلومتر)	هزینه های حمل و نقل و هزینه های فرایند (دلار بر سال)	قیمت مواد بازیافت شده (دلار بر کیلوگرم)
۳٪	۵/۵	۹۵۵۹/۵۲	۱۰/۷۱
۰/۵٪	۵/۵	۲۳۸۹۸/۸	۱۰/۷۱
۰/۹٪	۵/۵	۱۹۱۱۹/۰۴	۱۰/۷۱
۱٪	۵/۵	۱۴۳۳۹/۲۸	۱۰/۷۱

کمتر از ۲٪ از کل مواد بازیافتی تبدیل به زباله های جامد غیرقابل بازیافت می شوند که این مقدار می تواند کمتر هم باشد. هزینه های حمل و نقل فرایند بازیافت در سال بالغ بر ۹ هزار دلار است و قیمت واحد هر کیلوگرم مواد بازیافتی بالغ بر ۱۰ دلار می باشد. با توجه به گفته های پیشین، مقدار درصد زباله های جامد نهایی ایجاد شده طی پروسه بازیافت در شرایط بروز سیل، زلزله و طوفان کمتر می شود و سعی بر بازیافت حداکثری در این شرایط بحرانی می شود تا بتوان از اتلاف مواد در شرایط کمبود مواد اولیه جلوگیری نمود.

پس از واردسازی کلیه داده های مورد نیاز در بخش های مختلف نرم افزار اعم از اطلاعات جمعیتی، تولید پسماند، میزان ورودی پسماند به مراحل تصفیه بیولوژیکی، حرارتی، لندفیل و بازیافت و هزینه ها و مسافت های مربوط به حمل و نقل و سایر موارد جزئی در شرایط عادی و اضطراری، نتایج نهایی مبنی بر انتخاب گزینه برتر و بهینه در اتخاذ رویکرد در سیستم مدیریت پسماند شهری ارائه شد. با توجه به نتایج، می توان ابتدا به تفکیک هر یک از سناریوهای پنجگانه، گزینه برتر را گزینش و سپس از بین ۱۵ گزینه کلی در پنج سناریوی متفاوت، برترین گزینه را استخراج نمود. نکته ای که لازم به ذکر است آن است که گزینه ای که دارای کمترین مقدار شاخص اکولوژیکی باشد، به عنوان برترین سناریو انتخاب می شود، این بدان معناست که هر چه مقدار شاخص اکولوژیکی کمتر باشد، میزان آلاینده های آن سناریو کمتر خواهد بود و بالعکس. شاخص اکولوژیکی از جمع جبری شاخص های انرژی مصرفی، میزان انتشار گازهای گلخانه ای، میزان انتشار گازهای اسیدی، میزان انتشار گازهای مه دود فتوشیمیایی و میزان خروج سموم پسماند بدست می آید که البته هر یک از آنها در ضرایب مشخص خود ضرب شده و سپس وارد عملیات جمع جبری می شوند. بنابراین این نکته قابل استخراج است که هر چه مقدار عددی پارامترهای ذکر شده کمتر باشد، در واقع شاخص اکولوژیکی آن سناریو کمتر خواهد بود. سناریوی برتر به سناریوی گویند که دارای کمترین مقدار انرژی مصرفی بر حسب GJ (گیگاژول) و کمترین میزان انتشار آلاینده های هوا بر د و آبی باشد.

پس از تعیین تکلیف گزینه ها به تفکیک پنج سناریوی موجود، در این بخش به انتخاب برترین گزینه در میان ۱۵ گزینه موجود پرداخته شده است که در واقع اساس و خط کش قیاس شاخص اکولوژیکی است که در پایان هر سناریو محاسبه می شوند. در این بخش شاخص دیگری پس از شاخص اکولوژیکی مطرح می شود که از آن به درصد تغییرات یاد می شود. درصد تغییرات نشان دهنده میزان تفاوت های ۴ گزینه بهینه هر سناریو نسبت به گزینه بهینه سناریوی اول یعنی دفن بهداشتی است. این شاخص بر حسب درصد بیان می شود و از حاصل تقسیم شاخص اکولوژیکی در گزینه دوم، سوم، چهارم و پنجم بر شاخص اکولوژیکی گزینه اول (معروف به گزینه مرجع) بدست می آید. به این ترتیب که میزان شاخص اکولوژیکی در گزینه اول (گزینه مرجع) نسبت به گزینه های بعدی (دوم تا پنجم) چه مقدار افزایش یا کاهش داشته است که این مقدار افزایش یا کاهش بر حسب درصد بیان می شود. اگر این مقدار افزایش باشد، درصد مثبت است و اگر مقداری کاهش داشته است، این مقدار منفی خواهد بود. همچنین لازم به ذکر است که اولین ردیف از جدول ۳۰ که با رنگ زرد مشخص شده است، نشان دهنده سناریوی مرجع در بین پنج سناریوی منتخب می باشد که بر حسب ۱۰۰٪ در نظر گرفته می شود. نتایج گزینش برترین و بهینه ترین گزینه در جدول ۳۰ نیز آمده است:

جدول ۳۰- مقایسه سناریوهای منتخب از دیدگاه زیست محیطی و تعیین درصد تغییرات نسبت به سناریوی مرجع

عنوان سناریو	مصرف منابع انرژی (Gj)	گازهای گلخانه ای	گازهای اسیدی	مه دود فتوشیمیایی	خروجی های سمی	شاخص اکولوژیکی	نسبت تغییرات (درصد)
دفن بهداشتی با آستر نفوذناپذیر	۵۱۰۰۰	۵۰۷۰/۰۶	۴۹/۰۸	۱۱/۰۲	۷۷۳۶۰/۹۴	۵۹۴۷۲/۰۹	۰
کمپوست ۴۰٪ دفن بهداشتی ۶۰٪	۵۱۱۰۰	۴۰۱۶/۶۹	۴۹/۰۸	۱۱/۰۲	۵۳۳۰۶/۸۶	۱۰۵۳۱/۹۵	-۸۵/۸۱
بازیافت ۱۰٪ دفن بهداشتی ۹۰٪	۶۰	۵۷۲۶/۶۸	۵۳/۷۱	۱۳	۱۷۵۴۹۹/۸	۲۷۹۸۹/۷۶	-۶۲/۲۷
بازیافت ۱۰٪ کمپوست ۸۰٪ دفن بهداشتی	۸۵۵۴	۱۰۲۳/۲۶	۷/۷۳	۲/۰۳	۷۰۸۶/۱	۹۳۶۳/۰۸	-۸۷/۳۸

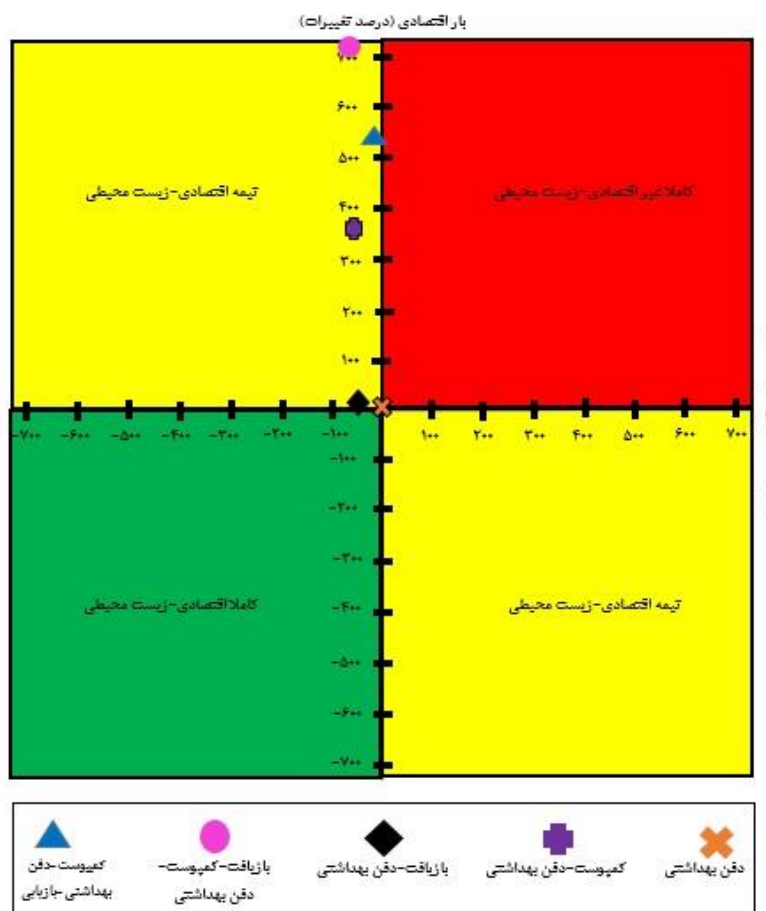
۱۰٪							
دفعه بهداشتی ۵۰٪، بازیابی انرژی ۲۰٪، کمپوست ۳۰٪	۵۰۸۴۲	۴۳۳۲/۷۲	۴۶/۵۷	۱۲/۶۹	۱۰۹۲۸۸/۸۲	۶۲۸۲۶/۹۹	-۱۵/۳

با نگاهی به میزان تغییرات درصدی می توان به راحتی متوجه شد که گزینه بازیافت ۱۰٪، کمپوست ۸۰٪، دفن بهداشتی ۱۰٪ با مقدار ۸۷/۳۸- درصد دارای بیشترین تفاوت است و بنابراین به عنوان برترین سناریوی مدیریت پسماند در چرخه حیات در شرایط عادی در منطقه ۱ شهرداری تهران انتخاب می شود. این سناریو همچنین از کمترین میزان شاخص اکولوژیکی نیز برخوردار است که از همین شاخص هم می توان به این نتیجه دست یافت. در نهایت می توان اظهار داشت که این سناریو از کمترین میزان انتشار آلاینده های زیست محیطی برای منطقه ۱ شهرداری تهران برخوردار است. در جدول ۳۱ نیز رتبه بندی نهایی بین ۵ سناریوی منتخب انجام شده است:

جدول ۳۱- رتبه بندی ۵ سناریوی منتخب بر اساس میزان شاخص اکولوژیکی در شرایط عادی در منطقه ۱ شهرداری تهران

رتبه	شاخص اکولوژیکی	عنوان سناریو
۱	۹۳۶۳/۰۸	بازیافت ۱۰٪، کمپوست ۸۰٪، دفن بهداشتی ۱۰٪
۲	۱۰۵۳۱/۹۵	کمپوست ۴۰٪، دفن بهداشتی ۶۰٪
۳	۲۷۹۸۹/۷۶	بازیافت ۱۰٪، دفن بهداشتی ۹۰٪
۴	۶۲۸۲۶/۹۹	دفن بهداشتی ۵۰٪، بازیابی انرژی ۲۰٪، کمپوست ۳۰٪
۵	۵۹۴۷۲/۰۹	دفن بهداشتی با آستر نفوذناپذیر

بنابراین سناریوهای بازیافت ۱۰٪، کمپوست ۸۰٪، دفن بهداشتی ۱۰٪، کمپوست ۴۰٪، دفن بهداشتی ۶۰٪، بازیافت ۱۰٪، دفن بهداشتی ۹۰٪، دفن بهداشتی ۵۰٪، بازیابی انرژی ۲۰٪، کمپوست ۳۰٪ و دفن بهداشتی با آستر نفوذناپذیر رتبه های اول تا پنجم را کسب نمودند. جهت درک بهتر از انتخاب گزینه ای مقرون به صرفه و همچنین پاک تر از دیدگاه زیست محیطی نقاط درصد تغییرات هر پنج سناریو بر روی جدول مختصات رسم می شود. این نمودار مختصات دارای دو محور افقی و عمودی می باشد که به ترتیب نماینده درصد تغییرات زیست محیطی و درصد تغییرات اقتصادی می باشد. میزان درصد تغییرات برای هر سناریو بر روی دو محور افقی و عمودی مشخص شده و سپس نقطه ای بر روی نمودار ترسیم می گردد که نشان می دهد این سناریو از دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی در چه جایگاهی قرار می گیرد. نمودار ۳ تحلیل زیست محیطی و اقتصادی است که برای سناریوی منتخب مدیریت پسماند در شرایط عادی و برای منطقه ۱ شهرداری تهران رسم گردیده است:



نمودار ۳- موقعیت گزینه های منتخب سناریوهای پنجگانه در مدیریت پسماند شهری در شرایط عادی در منطقه ۱ شهرداری تهران از دیدگاه های زیست محیطی و اقتصادی

بحث و نتیجه گیری

به طور کلی می توان اظهار داشت که در شرایط اضطراری تولیدات زباله و همچنین نوع زباله های تولیدی دستخوش تغییراتی محسوس می شوند که این امر موجب می شود تا در انتخاب سناریوهای مدیریت پسماند بازنگری شود. در شرایط عادی بهترین سناریو می بایست هم از دیدگاه اقتصادی و هم از دیدگاه زیست محیطی حائز اهمیت قرار بگیرد که این امر موجب شد تا سناریوی بازیافت ۱۰٪، کمیوست ۸۰٪، دفع بهداشتی ۱۰٪ به عنوان برترین سناریو انتخاب شود. اما در شرایط اضطراری بر اساس دلایلی که بارها به آن اشاره شد، به دلیل وجود احتمال کمبود منابع، مواد اولیه و از نقطه مقابل افزایش میزان زباله های بازیافتی، گزینه بازیافت بیش از پیش مورد توجه قرار می گیرد. این امر موجب شد تا سناریویی که در حالت عادی پیشنهاد می شد، به سناریوی دیگری چون بازیافت ۳۰٪، کمیوست ۶۰٪، دفع بهداشتی ۱۰٪ تغییر یابد. بنابراین رویکرد بازیافتی بیشتر و رویکرد کمیوستی کمتر شده است و این دلالت بر تاکید بیشتر بر فرآیند بازیافت در این شرایط دارد. به علاوه فرآیند بازیافت همواره هزینه های بیشتری را می تواند تحمیل کند که می تواند از دیدگاه اقتصادی آن را کمتر مقرون به صرفه کند. جانمایی نقاط پنج سناریو در شرایط عادی و شرایط اضطراری شامل سیل، زلزله و طوفان گوا بر این ادعاست. از نقطه نظر زیست محیطی تغییرات محسوس ایجاد نشد اما از دیدگاه اقتصادی این تغییرات قابل بحث است. در واقع در شرایط عادی سناریوی برتر از دیدگاه اقتصادی مقرون به صرفه به نظر نمی رسد اما سناریوی مرجع یعنی دفع بهداشتی به دلیل پایین هزینه ها، اقتصادی است اما خسارات زیست محیطی آن بسیار زیاد است. در شرایط اضطراری نقطه نظر اقتصادی هم

بهبود یافته است چرا که رویکرد بازیافت بیشتر می تواند تحت این شرایط ویژه هم مقرون به صرفه و هم زیست محیطی نیز باشد. بنابراین تجمع نقاط سناریوها در نمودار مختصات به پایین کشیده است.

منابع

- Sharma, Yogesh C, Singh Bhaskar, Madhu Devarapaga, Liu Yun, Yaakob Zahira. (2014). Fast synthesis of high-quality biodiesel from 'waste fish oil' by single step transesterification. *Biofuel Research Journal*. Vol. 1. No. 3. 78-80.
- Eriksson, O, Reich, M. Carlsson, Frostell, B, Björklund, A, Assefa, G, Sundqvist, J-O, et al. (2005). Municipal solid waste management from a systems perspective. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 13. No. 3. 241-52.
- Haile, Mebrahtu. (2014). Integrated volarization of spent coffee grounds to biofuels. *Biofuel Research Journal*. Vol. 1. No. 2. 65-69.
- Fernandez, Yolanda, Rodriguez-Iglesias, Julio, Maria Castrillon, Luisa. (2014). Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: A case study of Asturias (Spain), *Journal of Cleaner Production*. Vol. 81. 178-189.
- Rajaeifar, Mohammad Ali, Tabatabaei, Meisam, Ghanavati, Hossein, Khoshnevisan Benyamin, Rafiee Shahin. (2015). Comparative life cycle assessment of different municipal solid waste management scenarios in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 51. 886-98.
- Laurent, Alexis, Bakas, Ioannis, Clavreul, Julie, Bernstad, Anna, Niero, Monia, Gentil, E, et al. (2014). Review of LCA studies of solid waste management systems–Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management*. Vol. 34. No. 3. 573- 88.
- Alizadeh Esonloo, KeyNezhad, Mohamad. (2008). Lifecycle environmental impact assessment process and its application in petrochemical industry, Fourth National Congress on Civil Engineering, Tehran, Tehran University.
- Lundie, Sven, Peters, Greg, Beavis, Paul. (2005). Life Cycle Assessment for Sustainable Metropolitan Water Systems Planning, *Environmental Science and Technology*. Vol. 38. No. 13. 3465-3473.
- Guinee, Jeroen B. (2002). Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards, *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 7. 311-313.
- Anderson, John E, Wulfhorst, Gebhard, Lang, Werner. (2015). Expanding the use of life-cycle assessment to capture induced impacts in the built environment, *Building and Environment*. Vol. 94. No. 1. 403-416.
- Brown, Charlotte, Milke, Mark, Seville, Erico. (2011). Disaster waste management: A review article, *Waste Management*. Vol. 31. No. 6. 1085-1098.
۱۲. رمضانی خوجین، علیرضا، حیدرزاده، نیما، ۱۳۹۴. بررسی مراحل و راهکارهای مدیریت پسماندهای تخریب و ساخت در بلایای طبیعی، نشریه انسان و محیط زیست، دوره ۱۳، شماره ۱ (۳۲-پیاپی ۴۳)، ۵۷-۷۰.
- Rafee, N, Karbassi, A.R, Nouri, J, Safari, E. and Mehrdadi, M. (2008). Strategic management of municipal debris aftermath of an earthquake, *International Journal of Environmental Re-search*, Vol. 2. No. 2. 205–214.
- Lauritzen, E.K. (1998). Emergency construction waste management, *Safety Science*, Vol. 30. No. 1. 45-53.
- Watson, Matt, Bulkeley, Harriet, Hudson, Ray. (2007). Modes of Governing Municipal Waste, *Sage Journals*, Vol. 39. No. 11.
- Rouse, J and Reed, B. (2011) Technical Notes on Drinking-Water, Sanitation and Hygiene in Emergencies. Solid Waste Management in Emergencies. World Health Organization, Geneva.
- Ashmore, Joseph, Bassiouni, Maoya, Bjerregard, Martin, et al. (2004). Planning Centralised Building Waste Management Programmes in Response to Large Disasters. *SPHERE Handbook, Shelter and Settlement Standard 6, Guidance note 5*.

18. Bretz, Rolf. (1998). SETAC LCA Workgroup: data availability and data quality, The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 3. 121-123.
۱۹. شاه نظری، مریم. جلیلی قاضی زاده، مهدی. شهبازی، افسانه. ۱۳۹۶. بررسی گزینه های دفع پسماند شهری با رویکرد ارزیابی چرخه حیات (مطالعه موردی: شهر توریستی رامسر)، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، دوره ۴۷، شماره ۲، ۳۸-۲۹.
۲۰. نقشه نواحی منطقه ۱ استان تهران، لینک دسترسی: www.map.tehran.ir
۲۱. مدیریت یکپارچه پسماند (IWM)، لینک دسترسی: <http://www.environmentalhealth.ir/page-362>
22. Tukker, Arnold, Huppes, Gjalte, Guinee, Jeroen, Heijungs, Reinout. (2006). Environmental Impact of Products (EIPRO) Analysis of the life cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25, Publications Office of the European Union.
۲۳. شفیعی، اصغر، جعفرزاده حقیقت فر، نعمت الله، تقوی، لعبت، عمرانی، قاسمعلی. (۱۳۹۳). ارزیابی چرخه حیات پسماند شهری با استفاده از نرم افزار IWM و تحلیل اثرات با استفاده از روش MET (مطالعه موردی: شاهین شهر)، اولین همایش ملی ارزیابی مدیریت و آمایش محیط زیستی در ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

Urban Wastes Management in the event of Natural Disasters Occurrence based on LCA_IWM (Case Study: Tehran District 1)

Farshad kafeai

HSE Consultant and Trainer

Ali Molaei

HSE Supervisor of West Tehran Province Water and Wastewater
Company

Abstract

Urban solid waste management is one of most important urban environmental topics which in have been one of greatest urban problems according to metropolises population increasement and wastes production increment consequently. Thus, making correct decisions and selecting proper procedures for waste disposal is so vital. In this research has tried to analyze urban waste life cycle for Tehran District 1 in emergency situation including flood, earthquake and storm. All documents available at Tehran Waste Management Office and Tehran District 1 Municipality and also interviews have been used for data gathering. IWM-2 software has been used for importing gathered data. The result based on calculated ecological index shown that best scenario for urban waste disposal in emergency situation is 30% recycling, 60% composting and 10% landfilling which is better than others environmentally, economically and hygienically. In emergency situation, composting and recycling approaches maximumly could cause to utilize wasted materials.

Keywords: Emergency Situation, Urban Solid Waste Management, Waste Life Cycle Analysis, MSW, LCA, IWM-2