مقایسه سناریوهای دفع پسماندهای جامد شهری منطقه نفتی بهرگان از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای

مرتضی کاشفی الاصل، رضا مرندی و علیرضا افراسیابی[1*]

گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۵

چکیده

پسماندهای جامد شهری حاوی آلاینده های مختلفی است که هر روز برمیزان و تنوع آنها افزوده می‌شود. با اعمال مدیریت واحد و اصولی می‌توان خسارت های ناشی از آلاینده ها برمنابع اصلی محیط زیست (آب، خاک و هوا) را به حداقل رساند. در این پژوهش پس از بررسی میدانی جریان پسماندهای جامد شهری در یکی از مناطق نفتی جنوب کشور (منطقه نفتی بهرگان)، چهار سناریوی دفع پسماند ارایه گردید. میزان انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از اجرای هریک از سناریوها شامل ۱) بازیافت،کمپوست هوازی و دفن بدون استحصال LFG (Landfill Gas) ۲) بازیافت، کمپوست هوازی و دفن با استحصال LFG ۳) بازیافت، کمپوست بی هوازی و دفن بدون استحصال LFG و ۴) بازیافت، کمپوست بی هوازی و دفن با استحصال LFG ، با استفاده از روش ارزیابی چرخه عمر مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از برتری سناریوی بازیافت کمپوست بی هوازی و دفن با استحصال LFG را دارد. همچنین بررسی‌ها نشان دادکه روش کمپوست بی هوازی به دلیل تولید کمتر گازهای گلخانه ای نسبت به کمپوست هوازی روش مطلوب‌تری می باشد. درصورت استحصال گاز مرکز دفن نیز می‌توان شاهد کاهش چشمگیری در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی هر یک از سناریوها بود.

واژگان کلیدی: پسماند جامد شهری، دفع، گازهای گلخانه‌ای، ارزیابی چرخه عمر، منطقه نفتی بهرگان

مقدمه

به منظور پیاده سازی سیستم مدیریت جامع پسماندهای جامد شهری، ابتدا شرایط محیطی و کمیت و کیفیت زواید تولید شده در محدوده مورد مطالعه، شناسایی شده و در گام بعدی لازم است سناریوهای دفع زیست محیطی مورد ارزیابی قرار گیرند. بر اساس سلسله مراتب توسعه یافته دفع پسماندهای شهری، سناریوهای دفع می تواند شامل مراحل سیاست های کاهش از مبدا تولید و استفاده مجدد، ذخیره سازی موقت، جمع آوری و حمل، بازیافت، تولیدکودآلی، زباله سوزی و دفن بهداشتی باشد. برخی از مراحل فوق همچون ذخیره سازی، حمل و دفن بهداشتی

* نگارنده پاسخگو: alireza.afrasiabi@gmail.com

از جمله موارد الزامی در ساختار سناریوی دفع بوده و مابقی را می توان با انجام ارزیابی ها ، حذف ویا ترکیبی از آنها در نظر گرفت. گزینه دفن پایین ترین طبقه هرم مدیریتی پسماند بوده و بنا به دلایل کاهش زمین در دسترس جهت دفن زباله، آلودگی خاک و آب های سطحی و زیر زمینی و هزینه های بالای متناسب با نگهداری مراکز دفن پس از اتمام ظرفیت آنها، همواره سعی مدیران بر این است که صرفا" بخش اندکی از جریان پسماند به این گزینه منتهی شود (پوی و همکاران ، ۱۳۸۵ ؛ چوپانوگلوس و کریث ، ۱۳۸۹).

روش ارزیابی چرخه عمر (Life Cycle Assessment) LCA امروزه به عنوان روش استاندارد بین المللی که قادر است ورودی ها و انتشارات خروجی از یک سیستم مدیریت پسماند را متناسب با چرخه عمر محصولات یا فرآیندها مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد، در کانون توجه متخصصان زیست محیطی قرار گرفته است. (*et al.*, 2009 Cherubini; Arena *et al.*، 2003). در ارزیابی های مبنی بر LCA ، تمام چرخه عمر یک محصول از مرحله استخراج مواد خام اولیه تا مراحل تولید، استفاده و در نهایت دورریز آن مدنظر بوده و آثار بالقوه متناسب با این مراحل، مطابق با استاندارد ISO 14001-3، به صورت کمی بیان می شود (Liamsanguan and Ghee wala , 2007). ارزیابی LCA در زمینه ی مدیریت مواد زاید جامد از چهار مرحله تعریف اهداف و قلمرو مطالعات، تهیه فهرست چرخه عمر یا تعیین ورودی ها و خروجی ها، ارزیابی آثار بالقوه در چرخه عمر و تفسیر نتایج در ارتباط با هدف، تشکیل می شود.(Weitz, 1999; White, *et al*., 1995; Rieradevall, *et al*., 1997).

درمرحله اول ازروش LCA، علاوه برتعیین اهداف تحقیق، تعریف واحد عملیاتی در محاسبات وچگونگی کاربرد نتایج حاصل درتصمیم گیری های مدیریتی آتی ذکر می شود. فهرست چرخه عمر، جریان های ورودی وخروجی سیستم را به سه دسته عوامل مستقیم (عواملی که باگزینه ها وتاسیسات دفع پسماند در ارتباط مستقیم هستند)، غیرمستقیم(مواردی که با آنها انرژی یا مواد مورد نیاز تاسیسات دفع پسماند تهیه وتولید می شود) و تخفیف دهنده(فعالیت هایی که منجر به کاهش آثار سو زیست محیطی سیستم به واسطه استحصال انرژی، و یا مواد می شوند) تقسیم بندی کرده وکلیه انتشارات خروجی، مصرف انرژی و مواد و به طورکلی جریانات ورودی و خروجی سیستم را ترسیم می کند. از جمله آثار زیست محیطی که بصورت شاخص در مرحله سوم LCA استفاده شده است، می توان به مواردی همچون آثارگرمایش جهانی، پدیده اسیدی شدن و بارش باران های اسیدی، غنی شدن منابع آب،کاهش منابع تجدید ناپذیر و انرژی، آثار اکولوژیکی، اکسیداسیون فتوشیمیایی و آثارسمی آن بر انسان، اشاره داشت (Arena, *et al*.,2003; Banar, *et al*., 2008; Cherubini, *et al*., 2009). درمرحله آخر روش ارزیابی چرخه عمر نیز نتایج حاصل درارتباط با هدف تحقیق تفسیرشده و راهکارهای مدیریتی ارایه خواهد شد. بر اساس باور عمومی بین متخصصان زیست محیطی، با حرکت از راس هرم مدیریت پسماند یعنی کاهش از مبداء تولید، به سمت قاعده آن(دفن بهداشتی)، میزان انتشار و آلاینده های خروجی از سیستم دفع افزایش خواهد یافت(Kirkeby, 2005). حال آنکه تحقیقات اخیر نشان داده است که این مساله می تواند متناسب با نوع زواید تولیدی وسیستم مدیریتی منتخب، حالت عکس داشته باشد. برای نمونه در تحقیقی که توسط Blengini درناحیه ای در شمال ایتالیا انجام شد، آثار زیست محیطی متناسب باعملکرد یک کارخانه کمپوست با ظرفیت ۱۶۰۰۰ تن درسال با مرکز دفن

مورد مقایسه قرار گرفت. از جمله نتایج درخور توجه این بررسی، منفی بودن اثرتفکیک ازمبداء (به عنوان پیش نیاز گزینه بازیافت) بر مشخصه های زیست محیطی موردمطالعه بوده است(Blengini, 2008).

به عوامل موثر در تعیین فاکتورهای انتشارگازهای گلخانه ای در هر یک از روش های دفع ، در زیر اشاره شده است.

۱- دفن : گازهای گلخانه‌ای منتشر شده طی پروسه دفن مخلوط پسماند و خصوصا پسماند غذایی، حاصل سه عامل ۱) میزان انتشار CH_4 از سلول دفن ۲) میزان انتشار CO_2 در حین حمل و نقل و فعالیت های مربوط به مدیریت مرکز دفن و ۳) میزان ذخیره و نگهداشت کربن در سلول دفن، می‌باشد. میزان CH_4 تولیدی به عواملی همچون نوع طراحی محل دفن، وجود سیستم جمع آوری متان و ترکیبات پسماند وابسته می‌باشد. در صورتی که استحصال انرژی و تولید برق از سایت دفن ممکن باشد، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد.

۲- بازیافت : بازیافت می‌تواند میزان مصرف مواد خام را کاهش داده و از این رو باعث کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای شود(کاهش مصرف انرژی در کارخانه تولید مواد). فاکتورهای موثر و محاسبه شده در کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در اثر بازیافت شامل ۱) کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای طی تولید از مواد بازیافتی در مقایسه با تولید از مواد خام ۲) مقدار نگهداشت کربن درجنگل ها ۳) انرژی استفاده شده برای حمل مواد خام و ۴) عدم تولید گازهای گلخانه‌ای در کارخانه تولید کننده، می‌باشد.

۳- کمپوست : فاکتورهای موثر در تولید گازهای گلخانه‌ای در مراحل مختلفی در نظر گرفته شده اند که عبارتند از: ۱) متان تولیدی حین تولید کمپوست ۲) تثبیت کربن در کمپوست تولیدی ۳) تولید N_2O از مواد آلی حاوی نیتروژن در پسماند ۴) CO_2 غیرآلی تولیدی در حین نقل و انتقال کمپوست تولیدی به مراکز مصرف.

لازم بذکر است CO_2 آلی(ناشی از پسماندهای غذایی و زایدات باغبانی و چوب) تولید شده در کمپوست باعث بروز اثرات گلخانه‌ای نبوده و وارد محاسبات نمی‌شود (IPCC, 2006). در پژوهش حاضر، سناریوهای دفع پسماندهای جامد شهری در منطقه نفتی بهرگان از نظر انتشار گازهای گلخانه ای مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش ها

منطقه نفتی بهرگان در کنار بندرامام حسن، از توابع استان بوشهر در حد فاصل بندر دیلم (۴۰ کیومتری شمال غربی گناوه و ۲۸ کیلومتری بندر دیلم) واقع می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است. با اکتشاف نفت در خلیج فارس در اواسط دهه ۱۳۳۰ و فعال شدن شرکت نفتی سیریب، استخراج نفت برای اولین بار از این منطقه آغاز شد. این منطقه در حال حاضر از ظرفیت تولیدی به میزان ۲۳۵ هزار بشکه در روز از میادین هندیجان، بهرگانسر، سروش و نوروز تشکیل شده است.

در این پژوهش به منظور تخمین کمیت پسماند، باتوجه به فقدان امکانات توزین ماشین آلات حمل درمنطقه، ازروش ثبت حجم ورودی به سایت دفع استفاده شد. (Liu *et al*., 1997). در این حالت کمیت پسماند با استفاده از حجم گزارش شده مربوط به ظرفیت پر ماشین حمل و پس از تعیین چگالی در محل، با معادله (۱) ، تعیین گردید.

$$M=V*D \qquad \text{معادله (۱)}$$

که درآن M وزن پسماند(تن)، V حجم ماشین حمل(مترمکعب) و D چگالی پسماند در داخل ماشین(تن برمترمکعب) است.

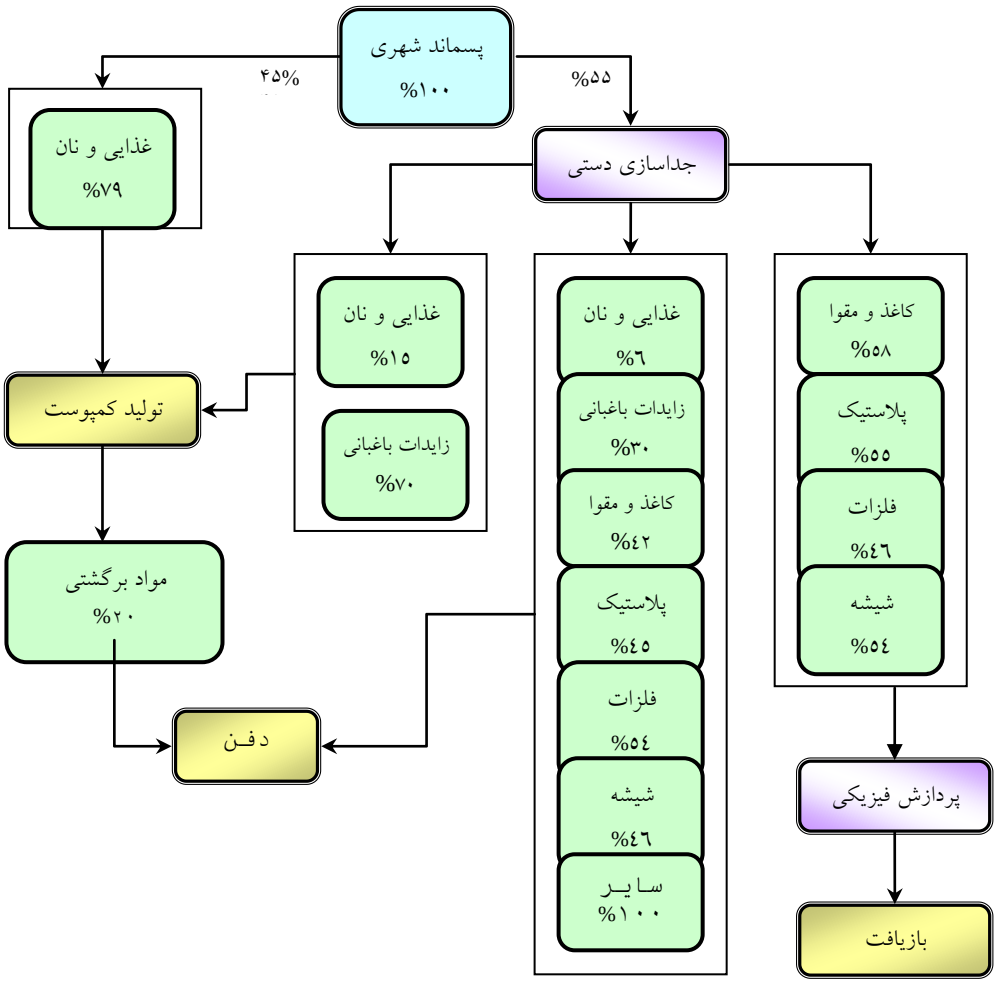
شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه نفتی بهرگان ، استان بوشهر- ۱۳۹۱

جهت تعیین چگالی از استاندارد ASTM5231 استفاده شده است. در این تحقیق با توجه به اوضاع بازار فروش اقلام بازیافت در کشور و نیز به منظورتعیین مشخصه های تاثیرگذار در فرآیندهای مختلف دفع، جداسازی در هفت دسته ۱)کاغذ و مقوا ، ۲)انواع پلاستیک، ۳) فلزات، ۴)شیشه، ۵)پسماندهای غذایی، ۶)زواید باغبانی و چوب و ۷)سایر موارد، انجام شد.

در این پژوهش نمونه‌برداری در اواسط فصل بهار صورت گرفت و با توجه به ترکیب فیزیکی پسماند، درصد رطوبت بطور غیر مستقیم با استفاده از جدول های ارایه شده در کتب مرجع بدست آمد. با توجه به ثابت بودن ترکیب جمعیتی وتعداد و نوع فعالیت آنها، چنین استنباط شد که نوع و میزان پسماندهای تولیدی در طول سال تغییر چندانی نداشت و از طرف دیگر با انتخاب فصل بهار بعنوان زمان نمونه‌برداری، بیشترین میزان پسماند محوطه و فضای سبز در محاسبات وارد شد (افراسیابی، ۱۳۹۲).

با توجه به اینکه استفاده از تکنولوژی‌های متفاوت در هر یک از روش های امحا، اثرهای متفاوت زیست محیطی را در بر خواهد داشت، چهار سناریوی زیر انتخاب و جهت مقایسه براساس میزان انتشار گازهای گلخانه ای ،مورد ارزیابی قرار گرفته است:

- ✓ سناریو A1: بازیافت، کمپوست هوازی و دفن بدون استحصال LFG
- ✓ سناریو A2: بازیافت، کمپوست هوازی و دفن با استحصال LFG و تولید برق
- ✓ سناریو A3: بازیافت، کمپوست بی هوازی و دفن بدون استحصال LFG
- ✓ سناریو A4: بازیافت، کمپوست بی هوازی و دفن با استحصال LFG و تولید برق



شکل۲- سناریوی دفع پسماند جامد شهری منطقه نفتی بهرگان – ۱۳۹۱

در این تحقیق ، ۵۵ درصد از پسماندهای شهری پس از ورود به سایت دفع پسماند به صورت دستی جداسازی شده و ۴۵ درصد از پسماندها که کل پسماندهای تولیدی بخش آشپزخانه و رستوران می‌باشد، مستقیما وارد پروسه تهیه کمپوست می‌گردد. در سایت جداسازی، بخشی از پسماندهای قابل بازیافت (۵۸ درصد از مقدار کل کاغذ و مقوا، ۵۵ درصد از مقدار کل پلاستیک، ۴۶ درصد از مقدار کل فلزات و ۵۴ درصد از مقدارکل شیشه) جداسازی شده و برای انجام عملیات پردازش فیزیکی(شامل فشرده سازی، عدل بندی و خرد کردن) به سایت‌های مربوطه منتقل می‌شوند. از پسماندهای باقی مانده ۱۵ درصد از پسماندهای غذایی و ۷۰ درصد از پسماندهای باغبانی مجموعه پسماند شهری که از بخش شبه شهری و سکوها جمع آوری شده اند، جداسازی شده و به پروسه تهیه کمپوست ارسال می‌گردند و در پایان باقیمانده پسماندها دفن می‌شود (شکل ۲). لازم به ذکر است که ۲۰ درصد از مجموع پسماندهای ارسالی به کارخانه کمپوست نیز به عنوان مواد روسرندی از پروسه تهیه کمپوست خارج شده و به سایت دفن فرستاده می‌شود. نکته قابل توجه یکسان بودن سناریوی نشان داده شده در شکل (۲) برای هر چهار سناریوی تعریف شده می باشد و تنها تفاوت موجود، در انتخاب تکنولوژی کمپوست (هوازی یا بی هوازی) و استحصال یا عدم استحصال انرژی از سایت دفن زباله می باشد(افراسیابی، ۱۳۹۲) .

باتوجه به اینکه تمامی گزینه های سناریوهای فوق در یک محل مستقر می باشند، لذا می توان با تقریب خوبی از آثار ناشی از بخش ذخیره سازی موقت و جمع آوری و حمل تا محل دفع نهایی(بدلیل تشابه در سناریوها) در انجام

مقایسه ها چشم پوشی کرد. هدف کلی از اجرای سیستم LCA در این پژوهش، ارزیابی و تعیین میزان تاثیر سناریوهای مختلف بر روند تولید گازهای گلخانه‌ای(GHGs(Greenhouse Gases)می‌باشد. قلمرو سیستم مورد مطالعه و اجرای LCA نیز در دو بخش ذیل بیان می‌گردد.

تعیین واحد وزنی مورد مطالعه: در این بخش واحدی به عنوان مبنا در نظر گرفته شده و محاسبات بر اساس آن صورت می‌پذیرد. واحد مورد مطالعه برای مقایسه بین روش های مختلف دفع پسماند، یک تن از پسماند تولید شده می‌باشد.

شرایط مرزی سیستم: با توجه به یکسان بودن مراحل ذخیره سازی، جمع آوری وحمل ، نتیجه می‌شود که تنها مرحله امحا پسماند در سناریوهای مطرح شده متفاوت بوده و طی آن میزان متفاوتی گازهای گلخانه‌ای تولید خواهد شد. بنابراین برای مقایسه سناریوهای مختلف، می‌توان محدوده سیستم مورد مطالعه را به روش های امحا محدود نمود.

گازهای CO_2، N_2O و CH_4 گازهای گلخانه‌ای هستند که به میزان زیاد در اثر روش های مختلف مدیریت پسماند متصاعد می‌شوند. با توجه به اینکه ترکیبات گازی کربن‌دار مهم ترین گازهای گلخانه‌ای می‌باشند، برای برآورد میزان فاکتور انتشار گازهای گلخانه‌ای، گازهای موثر مختلف بر مبنای وزن گاز معادل بیان شده و هر یک از گازهای نامبرده با ضریب تعادلی به گاز معادل تبدیل شده و در محاسبه ها وارد شده است. ضرایب تعادل در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول۱- ضریب تعادل گازهای گلخانه‌ای

GHGs	ضریب تعادل
CO_2	۱
N_2O	۲۹۶
CH_4	۲۵

منبع : (EPA, 2002; IPCC, 2006; Liu,*et al*., 1997)

انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از دفن پسماندهای جامد شهری را در مرکز دفن می توان با معادلات (۲) و (۳) محاسبه کرد.

معادله (۲) $E = A+C+D$ فاکتور انتشار گازهای گلخانه ای بدون استحصال LFG

معادله (۳) $F = B+C+D$ فاکتور انتشار گازهای گلخانه ای با استحصال LFG

جدول۲- مشخصه های مورداستفاده در معادله های (۲)و(۳) برای مواد مختلف موجود در ترکیب پسماند درعملیات دفن پسماندهای منطقه نفتی بهرگان- سال ۱۳۹۱

اجزای پسماند	A	B	C	D	E	F
کاغذ و مقوا	۰/۵۳	۰/۰۷	-۰/۲۳	۰/۰۱	۰/۳۱	-۰/۱۵
پلاستیک	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
فلزات	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
شیشه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
پسماند غذایی	۰/۳۰	۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۰۳
زایدات باغبانی و چوب	۰/۱۷	۰/۰۲	-۰/۲۱	۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۱۸
خاکستر	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
سایر	۰/۲۶	۰/۰۳	-۰/۱	۰/۰۱	۰/۱۷	-۰/۰۶

A : تولید متان بدون استحصال انرژی (MTEC/ton)
B : تولید متان با استحصال انرژی و تولید الکتریسیته(MTEC/ton)
C : اثر نگهداشت کربن(MTEC/ton)
D : تولید گازهای گلخانه‌ای در حین حمل و نقل(MTEC/ton)
E : مقدار کل گازهای گلخانه ای تولید شده در عملیات دفن بدون استحصال انرژی(MTEC/ton)
F : مقدار کل گازهای گلخانه ای تولید شده در عملیات دفن با استحصال انرژی و تولید الکتریسیته(MTEC/ton)
MTEC : Metric Ton of Carbon Equivalent (مقدار دی اکسید کربن انتشار یافته برحسب متریک تن)
منبع : (EPA, 2002; IPCC, 2006; Liu *et al*., 1997)

انتشار GHGs ناشی از دفن زوایدکه در پدیده گرمایش جهانی مشارکت دارند را می تـوان در سـه دسـته زیـر طبقـه بندی کرد:

۱- زمانی که پسماندهای غذایی، چوب و زواید باغبانی وکاغذ و مقوا دفن می شوند، باکتری های بی هوازی شروع به تجزیه آنها کرده و متان و دی اکسیدکرین تولید خواهد شد. در اینجا متان جزء گازهای گلخانه ای به حساب می آید حال آنکه منشا بیولوژیکی دارد. درتوضیح شایان ذکر است اگر چنانچه مواد بیولوژیک در طبیعت رها شوند، تجزیه آنها به صورت هوازی اتفاق افتاده وگاز متان تولید نمی شود، بنابراین متان خروجی از مرکز دفن در نتیجه دخالت انسان درطبیعت بوجود آمده و منجر به گرمایش جهانی خواهد شد. برهمین اساس CO_2 موجود در LFG جزء GHGs بشمار نمی رود. دیگرانواع پسماند شامل فلزها، شیشه و انواع پلاستیک، به دلیل عدم تجزیه، تولید GHGs نخواهند کرد.

۲- از آنجاکه بخش فسادپذیر ترکیب پسماند(کاغذ و مقوا، زواید غذایی، باغبانی وچوب) عملا" بطور کامل در مرکز دفن تجزیه نمی شوند، مقداری از کربن درمرکز دفن نگاه داشته شده و واردچرخه جهانی کربن نخواهد شد. بدین ترتیب نگهداشت کربن را می توان به عنوان عامل تخفیف دهنده در سناریوی دفن درنظر گرفت.

۳- به منظور بهره برداری از مرکز دفن(لایه بندی پسماند تحویلی، متراکم کردن آن و اجرای پوشش های روزانه و نهایی) و جابجایی های داخلی، لازم است از ماشین آلاتی استفاده شود که با سوزاندن سوخت، CO_2 تولید خواهند کرد که منجر به گرمایش جهانی خواهد شد.

جدول ۳- مقادیر فاکتور انتشار گازهای گلخانه‌ای در روش بازیافت

اجزای پسماند	فاکتور انتشار(MTEC/t waste)
کاغذ و مقوا	-۰ /۷۶
پلاستیک‌ها	-۰ /۴۵
کن‌های فلزی	-۰ /۵۴
کن‌های آلومینیومی	-۴/۵۳
فلزات دیگر	-۲/۵۴
شیشه	-۰ /۰۹
سایر	-۱/۲۴

منبع : (EPA, 2002; IPCC, 2006; Liu *et al*., 1997)

جدول۴- مقادیر فاکتور انتشار گازهای گلخانه‌ای در روش کمپوست

فاکتورهای موثر	مقادیر تولید GHGs(MTEC/ton)	
	کمپوست هوازی	کمپوست بیهوازی
تولید متان	۰ /۱۰۰	۰ /۰۲۵
تولید N_2O	۰ /۰۸۸	۰/۰۰۰
CO_2 مربوط به حمل و نقل	۰ /۰۱۰	۰ /۰۱۰
میزان تثبیت کربن	-۰ /۰۵۸*	-۰ /۰۵۸*
کل GHG	۰ /۱۴۱	-۰ /۰۲۳

* با احتساب ۸۰ درصد پسماند غذایی و ۲۰ درصد پسماند باغبانی

منبع : (EPA, 2002; IPCC, 2006; Liu,et al., 1997)

علامت منفی فاکتور انتشار هر یک از اجزای پسماند، مبین تخفیف انتشارات گازهای گلخانه ای یا ذخیره انرژی است که اثر کاهشی روش دفع مربوطه در انتشار گازهای گلخانه ای را نشان می دهد. این کاهش نسبت به حالتی است که این روش اجرا نگردیده و پسماند مستقیم دفن شود. به عنوان مثال در جدول ۳ زمانی که ماده ای بازیافت می شود و مجددا به مصرف می رسد، نیاز به تولید ماده اولیه کمتر شده و در نتیجه انرژی کمتری هدر می رود. کاهش گرمایش جهانی ناشی از جلوگیری از قطع درختان در اثر بازیافت کاغذ و مقوا نمونه دیگری است که می تواند باعث منفی شدن فاکتور انتشار آن شود. مقدار تولید گازهای گلخانه ای از حاصل ضرب وزن پسماند در فاکتور انتشار مربوطه بدست می آید.

نتایج

منابع تولید پسماند شهری در منطقه نفتی بهرگان به شرح زیر است:

۱- زواید تولیدی در بخش آشپزخانه و رستوران

۲- پسماند شبه شهری تولیدی درسطح منطقه شامل کمپ‌ها، مسجد و مراکز مذهبی، اداره‌ها، کارگاه‌ها، فضای سبز و ... ۳- زواید تولیدی درسکوها که از طریق حمل و نقل دریایی به منطقه منتقل می شوند. جمعیت منطقه نفتی بهرگان ۱۰۳۳ نفر می باشد.

جدول ۵- وضعیت تولید زایدات جامد شهری در منطقه بهرگان در سال ۱۳۹۱

	پسماند آشپزخانه و رستوران (کیلوگرم در روز)	زایدات شبه شهری (کیلوگرم در روز)	پسماند سکوها (کیلوگرم در روز)	سرانه پسماند (کیلوگرم در روز به ازای هر نفر)	مقدارکل پسماند (درصد)
کاغذ و مقوا	۷۳/۰۲	۵۵/۱۱	۳۷/۸۰	۰/۱۶۰	۱۳/۸۳
انواع پلاستیک	۶۱/۰۳	۵۷/۶۰	۴۷/۱۶	۰/۱۶۰	۱۳/۸۲
فلزات	۰/۹۶	۰/۴۰	۵/۰۷	۰/۰۰۶	۰/۵۳
شیشه	۸/۱۵	۱۱/۴۲	۳/۶۶	۰/۰۲۲	۱/۹۳
پسماند غذایی	۵۳۹/۵۱	۱۰۷/۵۶	۳۹/۸۴	۰/۶۶۵	۵۷/۲۴
چوب و زایدات باغبانی	۰/۰۰	۱۲۵/۹۶	۰/۰۰	۰/۱۲۲	۱۰/۵۰
سایر	۲/۳۳	۶/۹۵	۱۶/۴۷	۰/۰۲۵	۲/۱۵
مجموع	۶۸۵/۰۰	۳۶۵/۰۰	۱۵۰/۰۰	۱/۱۶۰	۱۰۰

همانطور که در جدول مشاهده می شود، بخش عمده پسماند شهری تولیدی ناشی از فعالیت واحد آشپزخانه و رستوران منطقه می باشد. شایان ذکر است در حال حاضر قسمت عمده‌ای از بخش فساد پذیر زواید تولیدی درسکوهای دریایی به منظور جلوگیری از فساد و به تبع آن انتشار بوهای نامطلوب و اشاعه عوامل بیماری زا، به داخل دریا تخلیه شده و مابقی که بیشتر شامل کاغذ و مقوا، انواع پلاستیک و فلز است، در اسکیپ‌ها ذخیره‌سازی و به وسیله شناور به منطقه ارسال می‌گردد.

نحوه محاسبه میزان گازهای گلخانه‌ای تولیدی در نتیجه اجرای سناریو A1(کمپوست هوازی و دفن بدون استحصال انرژی) در جدول (۶) ارائه شده است.

سناریو A3 مشابه سناریو A1 بوده با این تفاوت که در این سناریو کمپوست به روش بی هوازی مورد بررسی قرار گرفت، از این رو فاکتور انتشار MTEC/t ۰/۰۲۳- است و در نتیجه میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در این سناریو به MTEC ۰/۰۴۴- رسیده است.(بعلت مشابه بودن نحوه محاسبات جدول تکرار نشده است). همانطور که مشاهده می‌شود، کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای نتیجه تغییر تکنولوژی کمپوست بوده و نشان دهنده اثر مطلوب کمپوست بی هوازی بر روی کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد.

جدول۶- نحوه محاسبه میزان تولید GHGs در سناریو A1 منطقه بهرگان - ۱۳۹۱

روش دفع	ترکیب پسماند	وزن پسماند (تن)	فاکتور انتشار (MTEC/ton)	تولید GHGs (MTEC)
کمپوست هوازی	پسماند آلی	۰/۵۴۰	۰/۱۴۱	۰/۰۷۶
بازیافت	کاغذ و مقوا	۰/۰۷۱	-۰/۷۶۰	-۰/۰۵۴
	انواع پلاستیک	۰/۰۶۷	-۰/۴۵۰	-۰/۰۳۰
	فلزات	۰/۰۰۲	-۱/۵۰۰	-۰/۰۰۳۰
	شیشه	۰/۰۰۹	-۰/۰۹۰	-۰/۰۰۱
دفن بدون استحصال LFG	پسماند غذایی و نان	۰/۱۲۸	۰/۲۹۰	۰/۰۳۷
	چوپ و باغبانی	۰/۰۴۱	-۰/۰۳۰	-۰/۰۰۱
	کاغذ	۰/۰۵۲	۰/۳۱۰	۰/۰۱۶
	پلاستیک	۰/۰۵۶	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱
	فلزات	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰
	شیشه	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰
	سایر	۰/۰۱۹	۰/۱۷۰	۰/۰۰۳
جمع	-	۱/۰۰۰	-	۰/۰۴۴

در سناریو A2، کمپوست مطابق سناریو قبل(A1) به طریق هوازی تهیه شده ولی در روش دفن، استحصال انرژی (LFG) نیز مد نظر قرار گرفت. با توجه به اینکه با اعمال این تغییر فاکتورهای انتشار گازهای گلخانه‌ای تغییر می‌کند، نحوه محاسبات به منظور برآورد میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول۷- نحوه محاسبه میزان تولید GHGs در سناریو A2 منطقه بهرگان - ۱۳۹۱

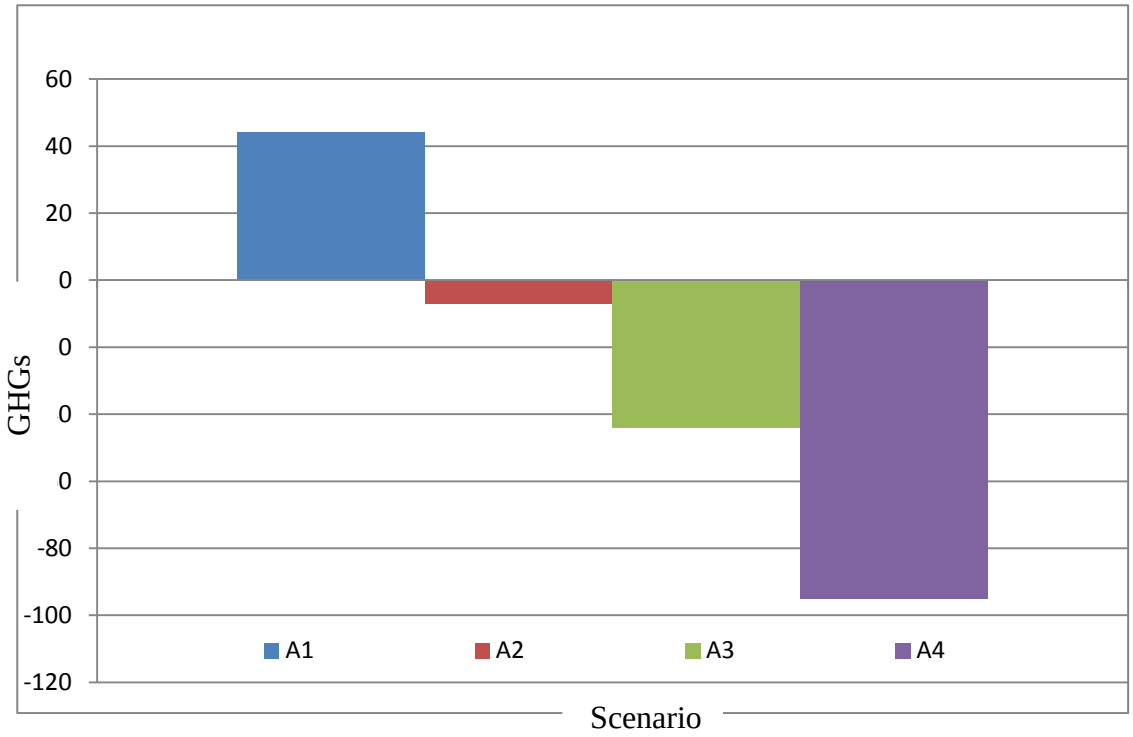
روش دفع	ترکیب پسماند	وزن پسماند (تن)	فاکتور انتشار (MTEC/ton)	تولید GHGs (MTEC)
کمپوست هوازی	پسماند آلی	۰/۵۴۰	۰/۱۴۱	۰/۰۷۶
بازیافت	کاغذ و مقوا	۰/۰۷۱	-۰/۷۶۰	-۰/۰۵۴
	انواع پلاستیک	۰/۰۶۷	-۰/۴۵۰	-۰/۰۳۰
	فلزات	۰/۰۰۲	-۱/۵۰۰	-۰/۰۰۳۰
	شیشه	۰/۰۰۹	-۰/۰۹۰	-۰/۰۰۱
دفن با استحصال LFG	پسماند غذایی و نان	۰/۱۲۸	۰/۰۳۰	۰/۰۰۴

روش دفع	ترکیب پسماند	وزن پسماند (تن)	فاکتور انتشار (MTEC/ton)	تولید GHGs (MTEC)
	چوپ و باغبانی	۰/۰۴۱	-۰/۱۸۰	-۰/۰۰۷
	کاغذ	۰/۰۵۲	۰/۱۵۰	۰/۰۰۸
	پلاستیک	۰/۰۵۶	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱
	فلز	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰
	شیشه	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰
	سایر	۰/۰۱۹	-۰/۰۶۰	-۰/۰۰۱
جمع	-	۱/۰۰۰	-	-۰/۰۰۷

سناریو A4 نیز مشابه سناریو A2 بوده با این تفاوت که در این سناریو تکنولوژی کمپوست بی‌هوازی جایگزین نوع هوازی آن شد و همانطور که عنوان شد، تغییر فاکتور انتشار ناشی از این تغییر موجب شده تا میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در این سناریو به MTEC ۰/۰۹۵ -۰کاهش یابد(به علت مشابه بودن محاسبات با سناریو A2، جدول محاسبات تکرار نشده است).

بحث و نتیجه‌گیری

با بکارگیری روش LCA ارزیابی سناریوهای دفع پسماند از نقطه نظر انتشار گازهای گلخانه ای بررسی گردید و نتایج مطابق شکل (۳) بدست آمد. در بررسی های انجام شده بر روی چهار سناریوی تعریف شده مشاهده گردید که سناریوی A4 که شامل بازیافت،کمپوست بی‌هوازی و دفن با استحصال انرژی و تولید برق می باشد، بیشترین میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را نسبت به سه سناریوی دیگر دارد و بهترین گزینه دفع زیست محیطی در مقایسه با سناریوهای دیگر می باشد.



شکل ۳- مقادیر تولید GHGs طی سناریوهای دفع پسماندهای جامد منطقه بهرگان- ۱۳۹۱

در اولویت دوم ، سناریوی A3 قرار دارد که تنها تفاوت آن با سناریوی A4 در عدم استحصال LFG از سایت دفن می باشد. طبق جدول (۲) گزینه دفن بدون جمع آوری LFG نسبت به گزینه دفن با استحصال LFG انتشارات GHGs بیشتری دارد که مهم ترین دلایل آن وجود مقادیر زیادی از پسماندهای غذایی با عامل انتشار بالا و پس از آن زواید کاغذی است. اگرچه نگهداشت کربن در خصوص زواید کاغذی دفن شده تخفیف دهنده انتشارات گلخانه ای محسوب می شود(به دلیل وجود درصد بالایی از لاینن در کاغذ که به سختی تجزیه می شود)، با وجود این متان ناشی از تجزیه آن عامل افزایش GHGs خواهد بود. همین امر باعث برتری سناریوی A4 به سناریوی A3 است. در اولویت سوم ، سناریوی A2 قرار دارد که در آن علی رغم استحصال LFG از سایت دفن پسماند، از روش کمپوست هوازی جهت دفع پسماندهای آلی استفاده شده است. مطابق جدول (۴) نشان داده شده است که مهم ترین عامل انتشار گازهای گلخانه ای در روش کمپوست هوازی نسبت به روش کمپوست بی هوازی، زیاد بودن تولید متان و N_2O در روش کمپوست هوازی می باشد که دقیقا" بستگی به تکنولوژی این روش دارد. در اولویت چهارم نیز سناریوی A1 قرار دارد که در آن از روش کمپوست هوازی و دفن بدون استحصال LFG استفاده شده است و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با سناریوهای قبلی به حداکثر رسیده است. میزان انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از بازیافت در تمامی سناریوها یکسان بوده و اثری در مقایسه انتشار گازهای گلخانه ای سناریوها ندارد. البته نتیجه ذکرشده حاصل ارزیابی فقط زیست محیطی سناریوهای تعریف شده می باشد وانجام ارزیابی های فنی، اقتصادی و اجتماعی سناریوها از حدود این پژوهش خارج است.

نتایج پژوهش های دیگر محققان در بررسی میزان تاثیر امکانات دفن زباله و کمپوست کردن بر روی انتشار گازهای گلخانه ای نشان داده است که انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از دفن زباله به مراتب بیشتر از مقدار انتشار آن طی فعالیت های عملیاتی کمپوست می باشد (Nair *et al.*, 2009).

در تحقیق دیگری که بر روی گزینه های مختلف دفع پسماندهای جامد شد، نشان می دهد که در صورتی که سناریوی دفع به صورت بازیافت، زباله سوزی و دفن بدون استحصال انرژی اجرا گردد، مقدار تولید گازهای گلخانه ای به MTEC ۰/۰۴۸ ۰ خواهد رسید. نتایج بدست آمده نشان از برتری کامل گزینه کمپوست نسبت به زباله سوزی به دلیل تولید کمتر گازهای گلخانه ای دارد (افراسیابی، ۱۳۹۲).

در پژوهشی که برروی انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از دفن پسماندهای جامد آفریقا انجام شد، این نتیجه حاصل شد که در سال ۲۰۱۰ میلادی مقدار ۱/ ۸ درصد از کل گازهای گلخانه ای انتشار یافته آفریقا، مربوط به انتشار گازهای گلخانه ای حاصل از دفن پسماندهای جامد می باشد در حالیکه همین موضوع در سال ۲۰۰۴ میلادی مقدار ۸/ ۶ درصد بوده است و میانگین جهانی انتشار گازهای گلخانه ای ۳ درصد از طریق دفن در زمین می باشد که این افزایش، ناشی از ازدیاد جمعیت و در نتیجه افزایش مقدار پسماندها است. این پژوهش نشان داد که لزوم به کارگیری روش هایی همچون بازیافت، کمپوست و استحصال انرژی از گازهای تولید شده در زمین های دفن می تواند سهم بسزایی در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای حاصل از دفن پسماندها داشته باشد (Couth *et al*., 2011).

در تحقیقی دیگر ، با ارزیابی چرخه عمر (LCA) دفع پسماندهای جامد شهر تسالونیکی ، این نتیجه حاصل شد که بازیافت کاغذ و کمپوست بی هوازی پسماندهای غذایی بهتر از دفن این نوع پسماندها بوده و در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای بسیار موثر بوده و آلودگی کمتری ایجاد می کند (koroneos & Nanaki , 2012).

درتحقیقی با آنالیز پسماندهای جامد شهری ایران در سال ۱۳۸۳ این نتیجه بدست آمد که میزان تولید پسماندهای جامد شهری ایران ۱۰۳۷۰۷۹۸ تن در سال بوده و میزان سرانه تولید پسماندهای جامد شهری به ازای هرنفر به طور متوسط ۰,۶۴ کیلوگرم در روز می باشد. از کل تولید تنها ۶ درصد بازیافت و ۱۰ درصد به کمپوست تبدیل گردیده و حدود۸۴ درصد آن از طریق دفن دفع می گردد. با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه و مقایسه خصوصیات پسماندهای جامد شهری ایران با کشورهای دیگر ، مشخص گردید که خصوصیات پسماندهای جامد شهری در ایران به خصوصیات پسماند جامد شهری کشورهای کم درآمد نزدیک است. از طرف دیگر با توجه به اینکه قسمت اعظم پسماندهای جامد شهری در ایران را پسماندهای آلی تشکیل می دهد ، پتانسیل بالایی جهت توسعه صنعت کمپوست در ایران وجود دارد (حسنوند و همکاران، ۱۳۸۳).

باتوجه به حجم بالای پسماندهای آلی منطقه بهرگان که طبق جدول (۵) حدود ۶۸ درصد می باشد، گزینه کمپوست می تواند انتخاب بسیار خوبی جهت دفع این نوع از پسماندها باشد زیرا در صورت دفع پسماندهای آلی به روش کمپوست ، تولید و انتشار گازهای گلخانه ای کاهش می یابد. همچنین با توجه به بالابودن سطح آب های زیرزمینی در محدوده ساحلی بهرگان و امکان سرایت آلودگی های ناشی از دفن مستقیم زایدات (شیرابه پسماند) ، لزوم به کارگیری روش هایی همچون کمپوست کاملا" احساس می گردد.

منابع

افراسیابی، ع.ر. ۱۳۹۲. بررسی کمی و کیفی پسماندهای جامد منطقه نفتی بهرگان و ارایه روش مناسب دفع زیست محیطی آنها. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی ، دانشگاه آزاداسلامی، دانشکده فنی ومهندسی، واحد تهران شمال. ایران.

پوی، ه.س.، روو، د.ر. و چوبانوگلوس، ج.۱۳۸۵.مهندسی محیط زیست(جلد دوم)، ترجمه: کی نژاد، م.ع. و ابراهیمی، س.، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، سهند.

چوبانوگلوس، ج. و کریث، ف.۱۳۸۹.راهنمای کاربردی مدیریت پسماند(جلداول و دوم)، ترجمه: خانی،م.ر.، مهدی پور عطایی، خ.، محمودخانی، ر.، ملتی، م. و خلیلی، ا.، انتشارات سازمان شهرداری ها و دهیاری های کشور، تهران.

حسنوند، م، نبی زاده، ر. و حیدری، م. ۱۳۸۷. آنالیز پسماندهای جامد شهری در ایران، مجله سلامت و محیط. ۱ (۱):۱۸- ۹.

Arena, U., Mastellone, M.L. & Perugini, F. 2003. The environmental performance of alternative solid waste management options: A life cycle assessment study. Chemical Engineering journal, 96: 207-222.

Banar, M., Cokaygil, Z. & Ozkan, A. 2008. Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. Waste Management, 29: 54-62.

Blengini, G.A. 2008. Using LCA to evaluate impact and resources conservation potential of composting: A case study of the Asti District in Italy, Resources. Conservation and Recycling, 52: 1373-1381.

Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. 2009. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. Energy, 34:2116-2123.

koroneos, C. J. & Nanaki, E. 2012. Integrated solid waste management and energy production - a life cycle assessment approach: the case study of Thessaloniki. Journal of Cleaner Production, 27: 141-150.

Couth, R., Trois, C. & Vaughan, J. 2011. Modeling of greenhouse gas emissions from municipal solid waste disposal in Africa. International Journal of Greenhouse Gas Control, 5: 1443-1453.

Environmental Protection Agency (EPA). 2002. Solid waste management and greenhouse gases. A life cycle assessment of emissions and sinks, second edition. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, (EPA530-R-02-006).

IPCC. 2006. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. National Greenhouse Inventories Program, IGES. Japan.

Kirkeby, J.T. 2005. Modeling of life cycle assessment of solid waste management systems and technologies, Ph.D. Thesis, Institute of Environmental & Resources, and Technical, University of Denmark, Denmark.

Liamsanguan, C. & Gheewala, S.H. 2007. LCA: A decision support tool for environmental assessment of MSW Management Systems. Journal of Environmental Management, 87: 132-138.

Liu, D.H.F., Liptak, B.G. & Bouis, P.A. 1997. Environmental engineer's handbook, chapter10: Solid Waste, CRC Press LLC. USA.

Nair, J. & Lou, X.F. 2009. The impact of land filling and composting on greenhouse gas emission – a review. Bio resource Technology, 100: 3792-3798.

Rieradevall, J., Domenech, X. & Fullana, P. 1997. Application of life cycle assessment to land filling. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2(3):141-144.

Weitz, K. 1999. Life cycle management of municipal solid waste. The International Journal of Life Cycle Assessment, 4(4): 193-201.