Evaluation of landfill gas generation for exploitation energy (case study: landfill of Shahinshahr)

Ehsan Rezaee
M.Sc in Environmental, Isfahan Islamic Azad University (khorasgan), Isfahan, Iran.

Mohammad Hadi Abolhasani
*Assistant Professor departeman of environmental science, waste and wastewater research center, Islamic azad of esfehan university (khorasgan), esfehan, iran. Corresponding Author
hadi.mha2001@yahoo.com

Received: 2018/06/16
Accepted: 2018/11/10
JREH-1806-1227(R5)

ABSTRACT

Background and Aim: The solid waste in landfill is transformed into landfill gas during a biochemical conversion process called bio-degradation. Landfill gas is a product of waste decomposition containing 40 to 60 percent of methane and various amounts of other gases. The present project aims to estimate the proportion of environmental gases of Landfill No. 1 in Shahin Shahr (total landfill gas, methane gas and carbon dioxide gas), compare gas emissions over a 30 year period, and assess the capacity of the landfill for energy extraction.
Materials and Methods: The field of research was Landfill No. 1 at Shahin Shahr Recycling Plant (Isfahan) located in Ja'farabad Mountains, whose capacity was completed in 2010 and landfill gas assessment was carried out. The total amount of produced gases including methane and carbon dioxide was calculated using the first-order degradation model over a 30 years period. The proportions of these gases in Landfill were calculated from 2013 to 2043.
Results: The results show that the amount of landfill gases production declined over the time. The maximum production of methane and carbon dioxide was about 350 and 950 thousand kilograms in 2013 and the minimum production of methane and carbon dioxide is estimated about 57 and 157 thousand kilograms, respectively, in 2043. The total volume of gases produced in this landfill has been estimated to be about 15 million cubic meters in 30 years, of which 27 percent is methane and 73 percent is carbon dioxide. The amount of methane and carbon dioxide gas is estimated to be about 5 million and 13 million kilograms in 30 years, respectivel.
Conclusion: Generally, the landfill gases production declined over the time. It is recommended to use energy recovery technologies for controlling greenhouse gas emissions and generation of required energy for the ShahinShahr recycling plant in order to use this volume of gas.
Document Type: Research article
Keywords: energy, environmental gas, Landfill, waste

▶ **Citation:** Rezaee E, Abolhasani MH. Evaluation of landfill gas generation for exploitation energy (case study: landfill of shahinshahr). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Fall 2018;4 (3) : 204-214 .

ارزیابی میزان تولید گازهای زیست محیطی در لندفیل جهت استحصال انرژی (مطالعه موردی لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر)

احسان رضایی
کارشناس ارشد محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
محمدهادی ابوالحسنی
* استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
نویسنده مسئول:
hadi.mha2001@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۹

چکیده

زمینه و هدف: پسماندهای جامد شهری در لندفیل در طول یک فرآیند تبدیل بیوشیمیایی که تجزیه زیستی نامیده می‌شود، به گاز لندفیل تبدیل می‌شوند. گاز لندفیل محصول فساد زباله قابل تجزیه است که حاوی ۶۰-۴۰ درصد متان و مقادیر مختلفی از دیگر گازها می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف تخمین گازهای زیست محیطی در لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر (کل گاز لندفیل، گازهای متان و دی‌اکسیدکربن)، مقایسه میزان گازها در طول ۳۰ سال و همچنین بررسی توان این لندفیل جهت استحصال انرژی انجام شد.
مواد و روش‌ها: محیط مورد پژوهش، لندفیل شماره ۱ در کارخانه بازیافت شاهین‌شهر (اصفهان) واقع در کوه‌های جعفرآباد بود که ظرفیت آن در سال ۱۳۸۹ تکمیل شده و ارزیابی گازهای لندفیل در آنها صورت گرفته است. در این مطالعه میزان کل گازهای تولیدی، متان و دی‌اکسیدکربن با استفاده از مدل تخریب مرتبه اول در طول ۳۰ سال و میزان این گازها در لندفیل از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱۴۲۲ محاسبه شد.
یافته‌ها: بر اساس نتایج به‌دست آمده، میزان گازهای لندفیل در طول زمان کاهش یافته است. بیشترین گاز متان و دی‌اکسیدکربن تولید شده به ترتیب در حدود ۳۵۰ و ۹۵۰ هزار کیلوگرم در سال ۱۳۹۲ و کمترین مقدار متان و دی‌اکسیدکربن تولید شده به ترتیب در حدود ۵۷ و ۱۵۷ هزار کیلوگرم در سال ۱۴۲۲ برآورد شده است. حجم کل گازهای تولید شده در این لندفیل طی ۳۰ سال حدود ۱۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است، که ۲۷ درصد جرم آن را متان و ۷۳ درصد آن را دی‌اکسیدکربن تشکیل می‌دهد. میزان گاز متان و دی‌اکسیدکربن در طول ۳۰ سال به ترتیب حدود ۵ و ۱۳ میلیون کیلوگرم پیش‌بینی شده است.
نتیجه‌گیری: به‌طور کلی با گذشت زمان میزان گازهای لندفیل کاهش یافته است. پیشنهاد می‌شود جهت استفاده از این حجم گاز، از تکنولوژیهای استحصال انرژی برای کنترل گازهای گلخانه‌ای و تولید انرژی مورد نیاز کارخانه بازیافت شاهین‌شهر استفاده شود.
نوع مقاله: مقاله پژوهشی
کلید واژه‌ها: انرژی، پسماند، گاز زیست محیطی، لندفیل

◀ **استناد:** رضایی الف، ابوالحسنی م. ارزیابی میزان تولید گازهای زیست محیطی در لندفیل جهت استحصال انرژی (مطالعه موردی لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر). *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۳۹۷؛ ۴ (۳):۲۰۳-۲۱۴.

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و رشد شهرنشینی، باعث افزایش تولید مواد زائد و آلاینده گردیده است. یکی از مهم‌ترین مواد آلاینده محیط زیست، مواد زائد جامد شهری است که هر روزه میلیونها تن از آن در سراسر جهان تولید می‌گردد. با توجه به محدودیت‌های اقتصادی و تکنولوژیکی، امکان بازیافت همه زباله‌ها میسر نیست و دفن، همچنان مرسوم‌ترین روش دفع زباله‌های شهری در جهان است. یکی از مهم‌ترین مسائلی که در طراحی، اجرا و بهره‌برداری یک مدفن بهداشتی مهندسی زباله باید مورد توجه قرار گیرد، تجزیه مواد زائد و تولید گاز در محل‌های دفن می‌باشد (۱).

تغییر شیوه زندگی و افزایش جمعیت، باعث افزایش تولید پسماندهای جامد شهری شده است و مدیریت پسماندها، یک مشکل اصلی برای سازمان‌های دولتی و غیردولتی می‌باشد (۲).

پسماندهای جامد شهری در لندفیل در طول یک فرآیند تبدیل بیوشیمیایی که تجزیه زیستی نامیده می‌شود، به گاز لندفیل تبدیل می‌شوند که این فرآیند شامل چندین مرحله پیوسته می‌باشد (۳).

محل دفن زباله، نقش مهمی را در شبکه دفع پسماندها بازی می‌کند و جزئی از استراتژی جدید مدیریت مواد زائد جامد محسوب می‌شود. زباله‌های آلی در محل دفن تحت شرایط بی‌هوازی قرار می‌گیرند که نتیجه آن، تولید گازهای لندفیل مانند متان، دی‌اکسیدکربن، گازهای هیدروژن، هیدروژن سولفاید، ترکیبات آلی فرار و ... می‌باشد. عمده‌ترین گاز ناشی از محلهای دفن گاز، متان است. گاز متان حاصل فساد زباله قابل تجزیه است که حاوی ۶۰-۴۰ درصد متان می‌باشد و یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (۴).

بویاغچی و همکاران در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی تولید آلاینده‌های زیست محیطی در لندفیل و تکنولوژی استحصال انرژی (مطالعه موردی: لندفیل آراد کوه) با استفاده از مدل‌های ریاضی، میزان گازهای متان و دی‌اکسیدکربن را در لندفیل جهت استحصال انرژی محاسبه کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد بیشترین گاز متان و دی‌اکسیدکربن تولید شده در لندفیل آرادکوه به ترتیب ۶ و ۱۶ میلیون کیلوگرم در سال ۱۳۹۴ و کمترین مقدار به ترتیب ۰/۳ و ۰/۸ میلیون کیلوگرم در سال ۱۴۲۳ پیش‌بینی می‌شود، حجم کل گازهای تولید شده در این لندفیل طی ۳۰ سال، ۲۱۳ میلیون مترمکعب است که ۲۷ درصد جرم آن را متان و ۷۳ درصد آن را گاز دی‌اکسیدکربن تشکیل می‌دهد (۵).

طلایی خوزانی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن، متان و مجموعه گازهای آلی غیرمتانی از محل دفن زباله‌های شهر بندرعباس را محاسبه کردند. در این مطالعه میزان گازهای منتشره از لندفیل زباله شهر بندرعباس واقع در روستای تل سیاه در جاده تازیان به بندرعباس با استفاده از نرم‌افزار لندجم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که حجم قابل توجهی از گاز متان و دی‌اکسیدکربن از محل تخلیه زباله‌های شهر بندرعباس به اتمسفر تخلیه می‌گردد که در صورت بازیافت آن علاوه بر تولید انرژی، به ارتقاء کیفیت هوا نیز کمک خواهد نمود (۶).

بیچلتی و لاتوشکینا در پیش‌بینی انتشار بیوگاز از لندفیل، تخمین پتانسیل تولید بیوگاز در دو لندفیل روسیه را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه نمونه‌برداری، انتقال و ذخیره‌سازی بیوگاز، نمونه‌های خاک، تحقیقات آزمایشگاهی و روشهای تجزیه و تحلیل اندازه‌گیری پروتئین، کربوهیدرات و چربی در بخش آلی خاک توسط مدلهای آماری انجام گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق شامل تعیین غلظت ترکیبات بیوگاز مانند: متان، کربن دی اکسید، نیتروژن، هیدروژن و اکسیژن بود که این اطلاعات جهت ارزیابی پتانسیل بیوگاز در لندفیل برای تولید انرژی گرمایی و الکتریکی در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد (۷). عمرانی و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی فنی و بهداشتی استحصال گاز متان از محل دفن زباله شهر شیراز، به ارزیابی این گاز پرداختند. در این پژوهش با استفاده از بسته نرم‌افزاری لندجم و با در نظر گرفتن درصد حجمی محتوای متان ۶۱ درصد و محاسبه ۱۶۴ میلی‌گرم بر مترمکعب به عنوان ضریب پتانسیل تولید گاز

و ثابت نرخ تولید متان ۰/۰۶، انتشار گاز و آلاینده‌ها از مرکز دفن زباله شهر شیراز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که با شیوه لوله‌گذاری صحیح و مهندسی و به موقع، از وقوع حوادث جلوگیری شده، ضمن آن‌که سالانه از انتشار ۳۳۰۰۰ متر گاز متان در این سایت جلوگیری می‌شود. با احداث نیروگاه بیوگاز ضمن جمع‌آوری و کنترل آلاینده‌های زیست محیطی و کمک به حفظ بهداشت جامعه، می‌توان بخشی از انرژی الکتریکی و حرارتی مورد نیاز را تأمین نمود. با توجه به آنالیز فیزیکی زباله شهر شیراز و همچنین آنالیز گاز دفنگاه برمشور میزان متان و دی‌اکسیدکربن تولیدی از این محل هر کدام به ترتیب ۱/۵×۱۰۶ مترمکعب بر سال و ۹/۶×۱۰۵ مترمکعب بر سال می‌باشد (۸). انوار در یک پژوهش انتشار گاز متان در لندفیل پنینسولار در مالزی را محاسبه و برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ پیش‌بینی کردند و به این نتیجه رسیدند که میزان انتشار گاز متان در این لندفیل در سال ۲۰۱۰، ۳۱۰۲۲۰ تن برآورد شده است و انتظار می‌رود برای سال ۲۰۲۰، حداقل ۳۷۰ هزار تن گاز متان تولید شود(۹). در مطالعه کاپلیا و همکاران که به ارزیابی انتشار سطحی از لندفیل با هدف اندازه‌گیری انتشار گازها از پسماندهای جامد شهری لندفیل در شمال ایتالیا پرداختند، دو روش نمونه‌برداری اتاق فشار و محفظه ایستا مورد استفاده قرار گرفت. قبل از شروع آزمایشات در سطح لندفیل از مدل لندجم جهت ارزیابی تولید متان استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، میزان تولید گاز لندفیل در سال ۲۰۱۴ برابر ۲۸۵۳۰ میلی‌گرم بر سال محاسبه گردید. میزان گازهای لندفیل توسط هر دو روش یاد شده محاسبه و مقایسه گردید (۱۰). دیپام و همکاران در تحقیقی با عنوان تخمین تولید گازهای لندفیل از پسماندهای جامد شهری در شهرهای هند با استفاده از ۴ مدل ریاضی (مدل چندفازی، مدل لندجم[1]، مدل ایپر[2] و مدل تی ان او[3])، میزان انتشار گازهای لندفیل را برآورد و به این نتیجه رسیدند که تخمین گازهای لندفیل با استفاده از مدل چندفازی، کمترین مقدار را دارد. در مدل ایپر میزان انتشار ۵۰۰-۳۰۰ درصد و در مدل تی ان او ۲۰۰ درصد محاسبه گردید (۱۱).

مطالعه حاضر با هدف بررسی لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر واقع در استان اصفهان و ارزیابی میزان گازهای انتشار یافته از آن انجام شد. در این لندفیل میزان تولید کل گازهای لندفیل، متان و دی‌اکسیدکربن با استفاده از مدل تخریب مرتبه اول و روابط مربوط به آن در طی ۳۰ سال محاسبه و بررسی شد.

روش کار

لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر واقع در کوه‌های جعفرآباد شمال شاهین‌شهر در محل کارخانه بازیافت کیلومتر ۸ جاده چرمشهر واقع در کوه‌های جعفرآباد می‌باشد. زمین این کارخانه ۳۸ هکتار می‌باشد که ۱۴ هکتار آن فضای سبز، ۸ هکتار محل‌های دفن، ۳ هکتار سایت پردازش و تخمیر و ۲۸۰۰ متر مربع سوله پردازش را تشکیل می‌دهد. ۴ لندفیل در این کارخانه پر شده و لندفیل ۵ در حال پر شدن می‌باشد. پسماندهای ۱۱ شهر در اطراف شاهین‌شهر به این محل انتقال داده می‌شود. روزانه در حدود ۲۵۰ تن پسماند به این کارخانه انتقال می‌یابد.

شکل ۱. موقعیت شهر و کارخانه بازیافت شاهین‌شهر

مشخصات این لندفیل به شرح زیر ارائه شده است:

1. landgem
2. Epper
3. TNO

جدول ۱. مشخصات لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر

ردیف	مشخصات	لندفیل ۱
۱	سال شروع دفن	۱۳۸۷
۲	سال پر شدن	۱۳۸۹
۳	مدت زمان پر شدن (سال)	۲
۴	طول (متر)	۲۰۰
۵	عرض (متر)	۴۰
۶	ارتفاع (متر)	۸
۷	شیب (درصد)	۱
۸	حجم (متر مکعب)	۶۴۰۰۰
۹	میزان پسماند دفن شده (تن)	۶۶۰۰۰

برآورد میزان گاز لندفیل بدون استحصال انرژی

محاسبه میزان گازهای لندفیل:

در این روش از روابط زیر جهت برآورد گاز لندفیل[1] و همچنین گازهای متان و دی‌اکسیدکربن استفاده شده است:

کل گاز تولید شده در لندفیل در سال T که در زمان X دفن شده است را می‌توان بر اساس مدل تخریب مرتبه اول با استفاده از رابطهٔ زیر تخمین زد (۱۴-۱۲).

$$LFG_{T,X}=2KR_XL_0e^{-K(T-X)} \qquad (۱)$$

$LFG_{T,X}$: تولید گاز لندفیل در سال T که در سال X دفن شده است (برحسب مترمکعب).

K: نرخ تولید گاز متان (معکوس سال) که به شرایط آب‌وهوایی منطقه‌ای که لندفیل در آن قرار دارد، بستگی دارد. مقدار K برای شرایط آب‌وهوایی مرطوب، نیمه مرطوب و خشک به ترتیب ۰/۲۲۵ و ۰/۱ و ۰/۰۶ پیشنهاد شده است. به علت اینکه شاهین‌شهر، جزء مناطق خشک می‌باشد، میزان نرخ تولید گاز متان ۰/۰۶ در نظر گرفته می‌شود.

Rx: مقدار زبالهٔ دفن شده (بر حسب کیلوگرم) که میزان آن در حدود ۶۶۰۰۰ تن می‌باشد.

L_0: پتانسیل تولید متان از زباله برابر ۰/۱۶۰۱۳ (کیلوگرم بر مترمکعب)

در این روش میزان تولید گاز در بازهای زمانی مختلف و به صورت تابعی از زمان به‌دست می‌آید.

محاسبه میزان گاز متان:

میزان انتشار گاز متان در لندفیل را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد (۱۵).

$$U_{CH4}=(0.5)(0.6567)(LFG_T) \qquad (۲)$$

در این رابطه مقدار ۰/۵ درصد تخمینی از گاز متان در گاز لندفیل و ۰/۶۵۶۷ مقدار متان بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب از گاز لندفیل است.

محاسبه میزان گاز دی‌اکسیدکربن:

انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در لندفیل با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود (۱۴-۱۲).

$$U_{CO_2}=(0.5)(1.794)(LFG_T) \qquad (۳)$$

در این رابطه مقدار ۰/۵ درصد تخمینی گاز دی‌اکسیدکربن از گاز لندفیل، ۱/۷۴۹ مقدار دی‌اکسیدکربن بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب از گاز لندفیل و LFG_T مقدار کلی گاز لندفیل بر حسب مترمکعب که در سال T تولید شده است.

تکنولوژی کنترل گاز لندفیل به منظور استحصال انرژی

استفاده از تکنولوژی کنترل گاز با دو هدف استحصال انرژی و کاهش میزان انتشار گاز آلاینده متان که به منزلهٔ یکی از عوامل اصلی گرمایش جهانی است، صورت می‌گیرد (۱۶). استفاده از تکنولوژی کنترل گاز به علت فرآیند احتراق، سبب تولید گاز دی اکسید گوگرد و تبدیل بخش زیادی از متان به دی اکسید گوگرد می شود. میزان انتشار این گازها به اتمسفر از روابط ۴ تا ۶ به‌دست می‌آید (۱۵).

$$C_{CH_4}=(1-\mu_{col})(U_{CH_4})(kg) \qquad (۴)$$

در این رابطه بازده جمع‌آوری، μcol ۸۵ درصد در نظر گرفته شده است (۱۵).

$$C_{CO_2}=U_{CO_2}+(\mu_{col})(U_{CH_4})(2.75)(kg) \qquad (۵)$$

در این رابطه مقدار ۲/۷۵ نسبت وزن مولکولی در اکسید کربن به وزن مولکولی متان است.

1. Landfill gas (LFG)

میزان دی اکسید گوگرد تولیدی در لندفیل کنترل شده از رابط زیر محاسبه می‌گردد (۱۵).

$$C_{SO_2}=2(122.54\times10^{-8})(LFG_T)(\mu_{COI}) \qquad (۶)$$

در این رابطه عدد ۲ نسبت وزن مولکولی دی اکسید گوگرد به وزن مولکولی گوگرد و ۱۲۲/۵۴×۱۰^۸ مقدار ترکیبات سولفور کاهش یافته بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب است (در این رابطه فشار و دمای استاندارد به ترتیب ۱ اتمسفر و ۲۵ °C در نظر گرفته شده است).

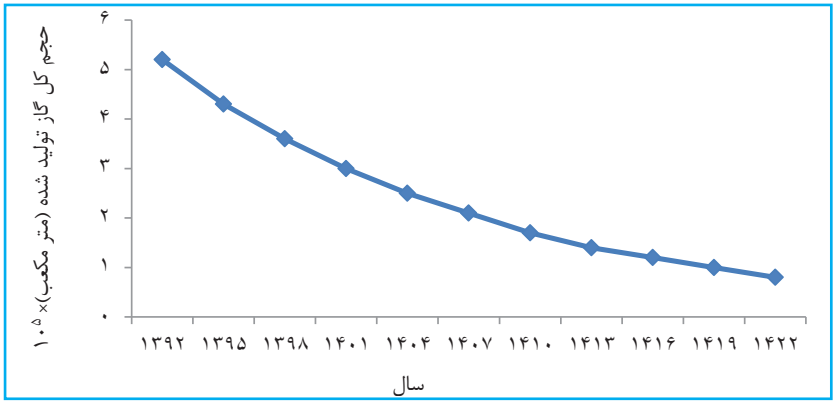
یافته‌ها

لندفیل شماره ۱ دارای ظرفیت ۶۶۰۰۰ تن بوده که در سال ۱۳۸۷ عملیات دفن پسماند در این لندفیل شروع شده است و در اواخر سال ۱۳۸۹ ظرفیت آن کامل شده است.

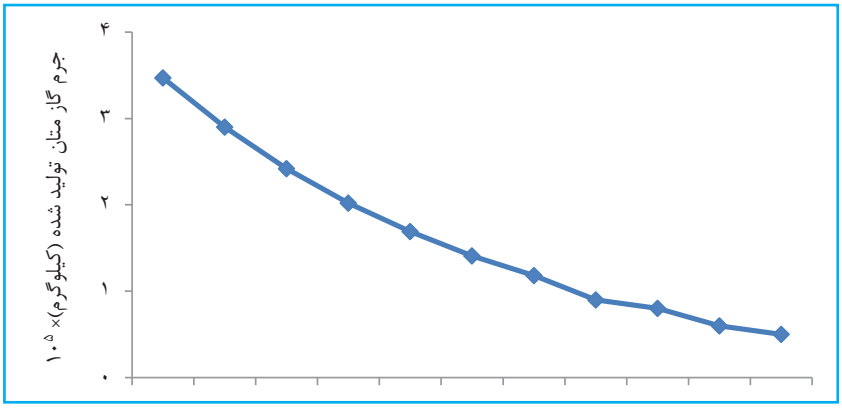
میزان کل گازهای لندفیل، گاز متان و گاز دی‌اکسیدکربن با استفاده از مدل تخریب مرتبه اول و روابط مربوط به آن محاسبه و میزان این گازها طی ۳۰ سال پیش‌بینی شد. نمودارهای ۱ تا ۳ میزان محاسبه این گازها را نشان می‌دهد.

بر اساس نمودار ۱، بیشترین حجم گاز لندفیل در طول ۳۰ سال مربوط به سال ۱۳۹۲ چیزی در حدود ۱۰۵۰۰۰۰مترمکعب و کمترین مقدار گاز مربوط به سال ۱۴۲۲ چیزی در حدود ۱۷۵۰۰۰ مترمکعب برآورد شده است. میزان تولید گاز در این ۳۰ سال در حدود ۱۷ میلیون مترمکعب محاسبه شده است.

بر اساس نمودار ۲، بیشترین جرم متان تولید شده در این لندفیل، در سال ۱۳۹۲ حدود ۳۴۷۰۰۰ کیلوگرم و کمترین میزان جرم متان در سال ۱۴۲۲ بعد از ۳۰ سال، حدود ۵۷۰۰۰ کیلوگرم محاسبه شده است.

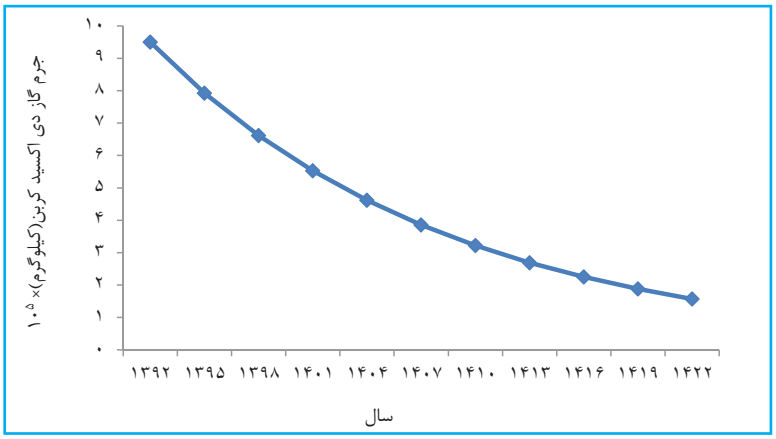


نمودار ۱. میزان کل گاز کنترل نشده در لندفیل شماره ۱



نمودار۲. میزان تولید گاز متان کنترل نشده در لندفیل شماره ۱

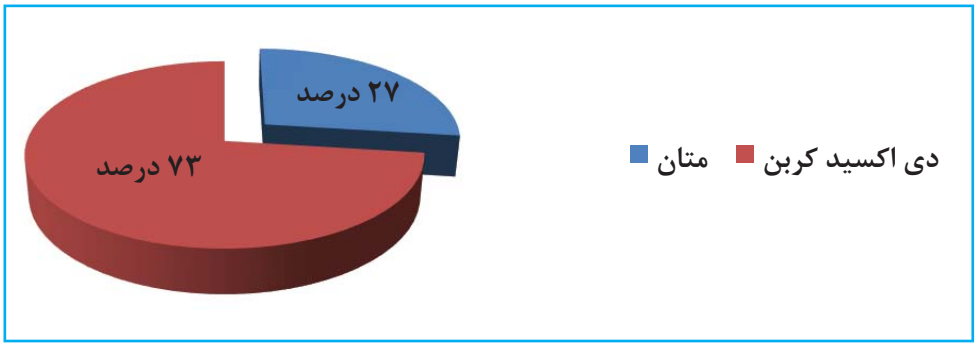
بر اساس نمودار ۳، بیشترین جرم دی‌اکسیدکربن تولید شده در این لندفیل، در سال ۱۳۹۲ حدود ۹۵۰۰۰۰ کیلوگرم و کمترین میزان جرم متان در سال ۱۴۲۲ بعد از ۳۰ سال، حدود ۱۵۷۰۰۰ کیلوگرم محاسبه شده است.



نمودار۳. میزان تولید گاز دی‌اکسیدکربن کنترل نشده در لندفیل شماره ۱

نمودار ۴ درصد جرمی گازهای متان و دی‌اکسیدکربن در کل گازهای تولیدی در این لندفیل را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، در هر سال جرم گاز متان تقریباً یک سوم جرم کل گاز لندفیل است.

از آنجا که حجم گاز دی‌اکسیدکربن ۴۹ درصد حجم کل گازهای تولیدی را شامل می‌شود، با توجه به نمودار دایره‌ای زیر، در نتیجه نرخ کاهش گاز دی‌اکسیدکربن طی این ۳۰ سال با نرخ کاهش کل گاز تولید شده در لندفیل تقریباً برابر است.



نمودار ۴. درصد جرمی گازهای متان و دی اکسید کربن پیش بینی شده در گاز لندفیل شماره ۱ شاهین شهر

اعتبارسنجی

با استفاده از روابط ۱ تا ۳، روند تولید گاز در ۳۰ سال محاسبه شد. به منظور بررسی صحت و ارزیابی دقت نتایج حاصل از مدل تخریب مرتبه اول، از روش موازنه جرم به شرح زیر استفاده شد. در روش موازنه، جرم گاز لندفیل تولید شده در اثر تجزیه بی‌هوازی را می‌توان با واکنش ساده زیر نشان داد:

۴) $C_6H_{10}O_4$ ۲/۷۵ + زباله یا اسیدچرب $\rightarrow$ CH_4 ۳/۲۵ + CO_2 ۲/۷۵ + H_2O ۱/۵

طبق موازنه فوق، گاز لندفیل شامل ۵۴-۵۰ درصد متان و ۴۶-۴۰ درصد دی‌اکسیدکربن و سایر محصولات جزئی دیگر مانند آمونیاک و سولفات هیدروژن است (۱۷).

رابطه فوق نشان می‌دهد به ازای هر یک کیلوگرم $C_6H_{10}O_4$ (با جرم مولکولی ۱۴۶)، ۰/۳۵۶ کیلوگرم متان و ۰/۵۲۷ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود. این مدل برای

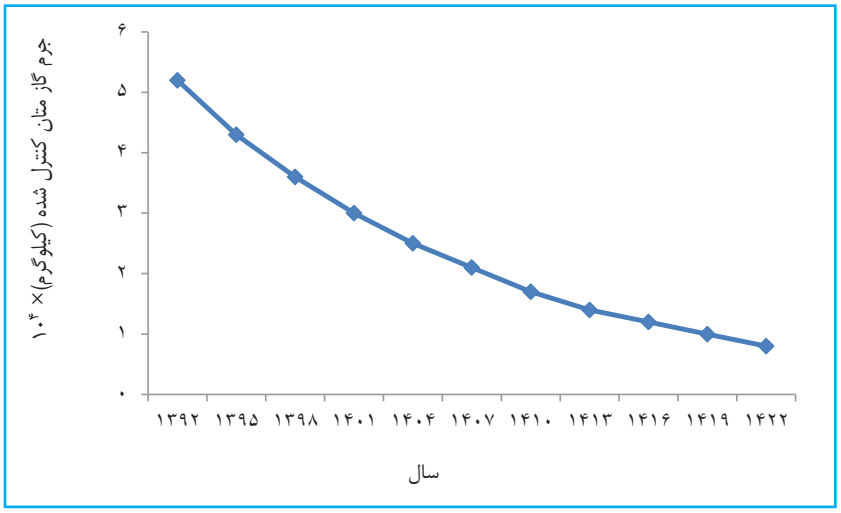
لندفیلهای مختلف از طریق نتایج تجربی و تحلیلی ارزیابی شده است.

زباله‌های جامد شهری در آمریکا شامل ۶۹/۵ درصد بیوماس یا ۶۰ درصد بیوماس خشک و بقیه شامل رطوبت و مواد غیرآلی است؛ یعنی به ازای هر تن زباله جامد شهری، ۴۱۷ کیلوگرم (معادل ۲/۸۶ کیلومول $C_6H_{10}O_4$ وجود دارد. طبق رابطه ۵-۳ به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوگرم زباله جامد شهری، میزان متان تولید شده ۲۰۸ Nm^3 یا ۱۴۹ کیلوگرم (کیلومول متان برابر ۲۲/۴ Nm^3) و دی‌اکسیدکربن تولید شده ۳۴۵ کیلوگرم است (۱۹). مقادیر تجربی میزان متان تولید شده را ۱۵۳ کیلوگرم و دی‌اکسیدکربن را ۳۵۰ کیلوگرم نشان می‌دهد (۱۹).

با محاسبه انتگرال زیر سطح در نمودارها، میزان کل گاز لندفیل، متان و دی‌اکسیدکربن به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوگرم زباله جامد شهری پیش‌بینی می‌شود. از طریق این محاسبات میزان کل گاز لندفیل، متان و دی‌اکسیدکربن به ترتیب ۳۷۲ / ۲۳۲ متر و ۷۶/۴۱ کیلوگرم و ۲۰۸/۷۵ کیلوگرم برآورد گردید.

پس از اعتبارسنجی مدل، میزان تولید آلاینده‌های متان، دی‌اکسیدکربن و دی اکسید گوگرد در تکنولوژیهای استحصال انرژی، طی ۳۰ سال آینده به ترتیب با استفاده از روابط ۴ تا ۶ که توسط روابط ۱ تا ۳ به‌دست آمده‌اند محاسبه و به ترتیب در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده‌اند. در محاسبه میزان آلاینده‌ها، احتراق متان به صورت استوکیومتری در نظر گرفته شده است.

بر اساس نمودار ۵ پیش‌بینی می‌شود بیشترین انتشار گاز متان کنترل شده تقریباً ۵۲ هزار کیلوگرم در سال ۱۳۹۲ و کمترین مقدار پس از گذشت ۳۰ سال تقریباً ۸۶۰۰ کیلوگرم باشد.

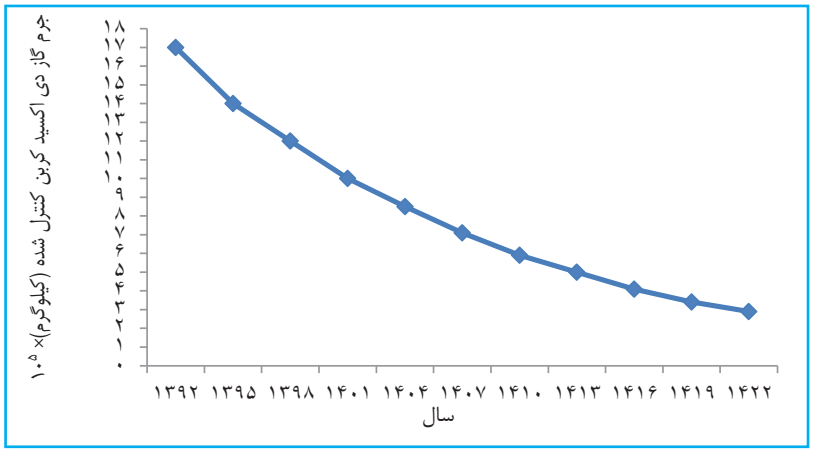


نمودار۵. میزان تولید گاز متان کنترل شده در لندفیل شماره ۱

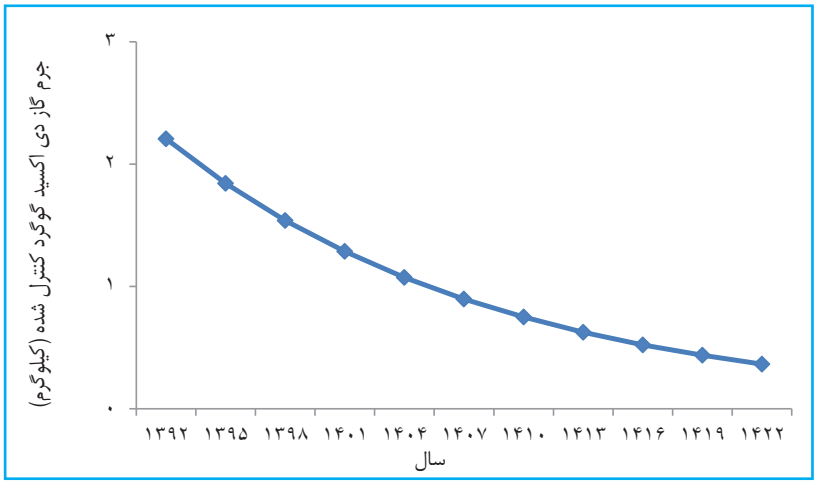
با در نظر گرفتن احتراق استوکیومتری، ۱ مولکول گاز متان پس از احتراق در تکنولوژی‌های استحصال انرژی به ۱ مولکول دی‌اکسیدکربن و ۲ مولکول آب تبدیل می‌شود. در نتیجه مطابق نمودار ۶، میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در حالت کنترل نشده بیشتر است. طبق محاسبات صورت گرفته، بیشترین انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به محیط تقریباً ۱/۷ میلیون کیلوگرم در سال ۱۳۹۲ و کمترین مقدار تقریباً ۲۹۰ هزار کیلوگرم پس از ۳۰ سال خواهد بود.

علاوه بر تولید دو گاز متان و دی‌اکسیدکربن در تکنولوژی‌های استحصال انرژی، گاز دی اکسید گوگرد نیز تولید می‌شود. مطابق نمودار ۷، بیشترین میزان انتشار گاز دی اکسید گوگرد تقریباً ۲/۲ کیلوگرم در سال ۱۳۹۲ و کمترین مقدار پس از گذشت ۳۰ سال تقریباً ۰/۳۶ کیلوگرم خواهد بود.

با مقایسه نمودارهای ۵ و۶ و ۷، استفاده از تکنولوژیهای استحصال انرژی به انتشار زیاد گاز دی‌اکسیدکربن و کاهش انتشار گاز متان در مقایسه با حالت کنترل نشده منجر می‌شود.



نمودار۶. میزان تولید گاز دی‌اکسیدکربن کنترل شده در لندفیل شماره ۱



نمودار ۷. میزان تولید گاز دی اکسید گوگرد کنترل شده در لندفیل شماره ۱

این موضوع با توجه به اینکه اثر گاز متان در گرمایش جهانی تقریباً ۲۵ برابر گاز دی‌اکسیدکربن است دارای اهمیت می‌باشد.

جدول ۲ حجم گازهای تولید شده در لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر پس از ۳۰ سال را نشان می‌دهد. با توجه به محاسبات مشاهده می‌شود که میزان گاز متان در حالت کنترل شده کاهش یافته است، ولی میزان گاز دی‌اکسیدکربن افزایش یافته است.

جدول ۲. مقایسه حجم کل گازهای منتشر شده از لندفیل در ۳۰ سال

نام گاز / نوع گاز	CH_4 (Kg)	CO_2 (Kg)	SO_2 (Kg)
کنترل نشده	۵۰۴۳۳۷۹	۱۳۷۷۷۷۰۸	-
کنترل شده	۷۵۶۵۰۶	۲۵۵۶۶۶۰۵	۳۱/۹۹

بحث

نتایج به‌دست آمده نشان داده‌اند که میزان گازهای لندفیل در طول ۳۰ سال کاهش می‌یابد. بیشترین گاز لندفیل، متان و دی‌اکسیدکربن به ترتیب ۱۰۵۰۰۰۰، ۳۴۷۰۰۰ مترمکعب و ۹۵۰۰۰۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۲ و کمترین گاز لندفیل، متان و دی‌اکسیدکربن به ترتیب ۱۷۵۰۰۰، ۵۷۰۰۰ مترمکعب و ۱۵۷۰۰۰ کیلوگرم در سال ۱۴۲۲ پیش‌بینی شده است.

حجم کل گازهای تولید شده در این لندفیل طی ۳۰ سال حدود ۱۵ میلیون مترمکعب است که ۲۷ درصد جرم آن را متان و ۷۳ درصد آن را گاز دی‌اکسیدکربن تشکیل می‌دهد. میزان گاز متان و دی‌اکسیدکربن در طول ۳۰ سال به ترتیب حدود ۵ و ۱۳

میلیون کیلوگرم پیش‌بینی شده است.

میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کنترل شده ۱/۸۵ برابر حالت کنترل نشده است. این افزایش در نتیجه تبدیل گاز متان به دی‌اکسیدکربن در تکنولوژی‌های مهار گاز لندفیل است.

میزان انتشار گاز متان در حالت کنترل شده ۰/۱۵ حالت کنترل نشده است. با توجه به اینکه اثر گرمایش هر مولکول گاز متان حدوداً ۲۵ درصد اثر گاز دی‌اکسیدکربن است، می‌توان نتیجه گرفت که تکنولوژی‌های کنترل گاز لندفیل علاوه بر تولید انرژی الکتریسته و گرما، نقش بسزایی در کاهش گازهای گلخانه‌ای دارند.

در پژوهش بویاغچی و همکاران در لندفیل آرادکوه در سال ۱۳۹۲، میزان گاز لندفیل، متان و دی‌اکسیدکربن به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوگرم پسماند به ترتیب ۳۱۸، ۱۱۰ مترمکعب و ۲۷۰ کیلوگرم پیش‌بینی شده است که این مقادیر در لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوگرم پسماند، ۲۳۲، ۷۶ مترمکعب و ۲۰۸ کیلوگرم پیش‌بینی شده است. لندفیل آرادکوه ۶۰۰ هزار تن زباله را در خود جای داده است، ولی میزان پسماند در لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر، یک نهم این مقدار یعنی ۶۴ هزار تن بوده است. با مقایسه لندفیل آرادکوه با لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر موارد زیر را می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

در لندفیل آرادکوه بیشترین و کمترین حجم گاز تولید شده به ترتیب ۱۸ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴ و ۰/۹ میلیون مترمکعب در ۳۰ سال بعد برآورد شده است و همین مقادیر در لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر به ترتیب ۱۰۵۰۰۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۹۲ و ۱۷۵۰۰۰ مترمکعب در ۳۰ سال بعد محاسبه شده است.

در لندفیل آرادکوه بیشترین و کمترین جرم گاز متان تولید شده به ترتیب ۶ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴ و ۰/۳ میلیون کیلوگرم در ۳۰ سال بعد برآورد شده است و همین مقادیر در لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر به ترتیب ۳۵۰۰۰۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۲ و ۵۷۰۰۰ کیلوگرم در ۳۰ سال بعد محاسبه شده است.

در لندفیل آرادکوه بیشترین و کمترین جرم گاز دی‌اکسیدکربن تولید شده به ترتیب ۱۶ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴ و ۰/۸ میلیون کیلوگرم در ۳۰ سال بعد برآورد شده است و همین مقادیر در لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر به ترتیب ۹۵۰۰۰۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۲ و ۱۵۷۰۰۰ کیلوگرم در ۳۰ سال بعد محاسبه شده است.

بر اساس مقایسات دو لندفیل فوق با کاهش میزان پسماند در لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر نسبت به لندفیل آرادکوه میزان تمام گازها در شروع و پایان ۳۰ سال کاهش یافته است. بر اساس نتایج فوق، میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن تقریباً ۳ برابر بیشتر از گاز متان برآورد شده است. به‌طور کلی میزان تمام گازها در طول زمان و با افزایش سن لندفیل کاهش یافته است (۵).

در پژوهش طلایی خزانی در لندفیل شهر بندرعباس در سال ۱۳۹۵، بیشترین گاز متان و دی‌اکسیدکربن در سال ۱۴۰۵ یعنی یک سال بعد از بسته شدن لندفیل به ترتیب مقادیر ۴ و ۱۲ میلیون تن محاسبه شده است (۶) که در لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر نیز بیشترین مقادیر متان و دی‌اکسیدکربن در سال ۱۳۹۲ به ترتیب ۳۵۰ و ۹۵۰ هزار تن برآورد شده است. کمترین مقادیر گاز متان و دی‌اکسیدکربن در لندفیل بندرعباس پس از گذشت ۳۰ سال حدود ۲/۳ و ۶/۵ میلیون تن در سال ۱۴۳۵ برآورد شده است که این مقادیر در لندفیل شماره ۱ شاهین‌شهر ۵۷ و ۱۵۷ هزار تن در سال ۱۴۲۲ برآورد شده است. مشاهده می‌گردد مقادیر گازهای متان و دی‌اکسیدکربن در هر دو لندفیل مورد مقایسه در طول ۳۰ سال کاهش یافته است. بنابراین هرگونه برنامه‌ریزی در جهت استحصال و بهره‌برداری از گازهای لندفیل در سالهای اول پس از بسته شدن لندفیل باید انجام گیرد تا از لحاظ هزینه و بهره‌برداری از گاز محل دفن مقرون به صرفه باشد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده و محاسبات انجام شده میزان گازها در طول ۳۰ سال کاهش یافته است و علت آن هم تجزیه شدن پسماند در این لندفیل در بازه زمانی ۳۰ سال می‌باشد. یافته‌ها نشان از حجم قابل توجه گاز متان و دی‌اکسیدکربن دارد که در صورت عدم استفاده از سیستمهای کنترل و بازیافت گاز به عنوان

گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر منتشر شده و اثرات مخرب زیست محیطی فراوانی به جای خواهد گذاشت. با احداث نیروگاه بیوگاز ضمن جمع‌آوری و کنترل آلاینده‌های زیست محیطی و کمک به حفظ بهداشت و سلامت عمومی جامعه، می‌توان بخشی از انرژی الکتریکی و حرارتی مورد نیاز کارخانه بازیافت شاهین‌شهر را نیز در این محل تأمین نمود.

نتیجه گیری

به طور کلی میزان کلیه گازها در طول زمان و با افزایش سن لندفیل کاهش یافته است. بنابراین هرگونه برنامه ریزی جهت استحصال و بهره برداری از گازهای لندفیل در سال های اول پس از بسته شدن لندفیل باید انجام گیرد تا از لحاظ هزینه و بهره برداری از گاز محل دفن مقرون به صرفه باشد. با برنامه ریزی صحیح از ابتدای این ۳۰ سال و لوله گذاری در این مکان می توان از انتشار گازهای گلخانه ای به اتمسفر جلوگیری کرده و از این گازها جهت تامین انرژی مورد نیاز کارخانه بازیافت شاهین شهر استفاده کرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از اساتید و کارشناسان دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان و همکاران در شهرداری و شرکت مدیریت پسماند شهرداری شاهین‌شهر در تکمیل پایان نامه به شماره ۲۳۸۵۰۵۰۸۸۷۲۰۰۱، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Ghareh, S, Shariatmadari, N. Modeling of the landfill site in Mashhad to estimate the amount of gases produced. Third National Day of Clean Earth Day. 2002.
2. Du, M, Peng, C, Wang X, Chen H, Wang M, Zhu Q. Quantification of methane emissions from municipal solid waste landfills in China during the past decade. Renew Sustain Energy Rev. 2017; 78, 272–279.
3. Elina Dacea, Dagnija Blumbergaa, Girts Kuplaisa, Larissa Bozkob, Zauresh Khabdullinab, Aset Khabdullinb. Optimization of landfill gas use in municipal solid waste landfills in Latvia. Energy Procedia. 2015; 72, 293 – 299.
4. Shariati, M, Farashi, A. Use of Landfill gas as an alternative energy source, National Conference on Human Beings. Environment and Sustainable Development. 2010.
5. Ahmadi Boyaghchi F, Khanpour N, Ashrafi M. Emission Rate Assessment In Landfill And Energy Generation Technologies(Case Study: Aradkooh Landfill). Journal Of Environmental Studies 2013; 39, 3(67), 6-8.
6. Talaiekhozani, A. Evaluation of Carbon Dioxide, Methane and Non-Methane Organic Compounds Emission from Solid Waste Landfill. The 6th National and 1th International Conference of Applications of Chemistry in Advanced Technologies. 2016. Isfahan. Iran.
7. Bicheldey T, Latushkina E. Biogass emission prognosis at the landfills. Int, J, Environ, Sci, Tech. 2010; 7 (4): 623-628.
8. Omrani, Gh., Mohseni, N., Haghighat, K., Javid, A. Technical and sanitary assessment of methane extraction from the landfill site of Shiraz. Science and technology of the environment. 2004; 4: 55-62.
9. Anwar J. Economic and environmental benefits of landfill gas from municipal solid waste in Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012; 16: 2907– 2912.
10. Laura Capellia, Selena Sironia, Renato Del Rossoa, Enrico Magnanob. Evaluation of Landfill Surface Emissions. The Italian Association of Chemical Engineering. 2014; 40.
11. Deepam Das, Bijoy Kumar Majhi, Soumyajit Pal, Tushar Jash. Estimation of land-fill gas generation from municipal solid waste in Indian Cities. Energy Procedia. 2016; 90: 50 – 56.
12. EPA. Turning a liability into an asset landfill methane outreach program: U.S. Environmental Protection Agency, Government Printing Office: Washington, DC.1996.
13. EPA. Energy project landfill gas utilization software (E-PLUS) Users Handbook, Landfill methane outreach program, U.S. Environmental Protection Agency, Government Printing Office: Washington, DC. 1997.
14. EPA. 42 Emission factor: Municipal solide waste landfills, Technology transfer network, Clearinghouse for inventories and emission factor; U.S. Environmental Protection Agency. 1998.
15. - Jaramillo p, H.S, Matthews. Landfill-Gas-to-Energy Projects: Analysis of Net Private and Social Benefits. Environ. Sci. Technol. 2005; 39(19): 7365-7373.
16. Dudek, J and et al. Landfill gas energy technology, User's Handbook. 2012.
17. Themelis, N.J, P.A, Ulloa. Methane generation in landfills.

Renewable energy. 2004; 32: 1243-257.

18. - USEPA, US Environmental Agency. Global anthropogenic non-CO2 greenhouse gas emissions. Washington, DC: USEPA, Editor. 2006; 1990-2020.

19. Barlaz, M.A. A critical evaluation of factors required to terminate the post-closure monitoring period at solid waste landfills. Environment science & technology. 2002; 36: 3457-64.