Journal of Research in Environmental Health

Volume 6, Issue 2, Summer 2020

A Prospective Study on Methane Gas Emission from Saqqez Solid Waste Landfill

Shahram Sadeghi
* MSc, Environmental Health Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran. (Corresponding Author): Email: Shahram.snna@yahoo.com

Behzad Shahmoradi
Associate Professor, Environmental Health Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

Nammam Ali Azadi
Assistant Professor, Biostatistics Department, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Kazhal Karami
Student Research Committee, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

Mona Ghaslani
Student Research Committee, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

Mona Karami Cheshmeh Zangi
Student Research Committee, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

Bayan Hosseinzadeh
Student Research Committee, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

Received: 2019/06/11
Accepted: 2020/04/04

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: One of the main resources of methane emission is solid wastes buried in landfill sites. To control the negative effects of methane emission on the ozone layer known as the greenhouse effect, the routine is to capture methane and use it as an energy source. This study aimed to assess the quantitative and qualitative characteristics of Saqqez municipal solid wastes and estimate the potential methane gas emission from the city's landfill using LandGEM software over 2015-2034.

Materials and Methods: In this descriptive cross-sectional study, we measured solid waste generation, population, and landfill characteristics in Saqqez city and used the data to estimate the methane gas emission using LandGEM software. The initial population and population growth of Saqqez city were obtained from the last census of 2012.

Results: The annual waste generation equaled 62,050 tons with methane emission of 32 m^3/h in 2016, which is projected to increase to 108,805 tons with methane emission of 2.203 m^3/h in 2034.

Conclusion: In summary, the results of this study can assist the city managers in preparing the appropriate actions to control and manage methane emission and reduce its negative effects, especially on the environment.

Keywords: Municipal Solid Waste; Methane; Landfill; LandGEM software; Saqqez

▶ **Citation:** Sadeghi Sh, Shahmoradi B, Azadi NA, Karami K, Ghaslani M, Karami Cheshmeh Zangi M, Hosseinzadeh B. A Prospective Study on Methane Gas Emission from Saqqez Solid Waste Landfill. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2020; 6(2): 173-181.

پیش‌بینی ۲۰ ساله مقدار گاز متان تولیدی از محل دفن پسماند شهر سقز

شهرام صادقی
کارشناس ارشد، ، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، پژوهشکده توسعه سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران. (نویسنده مسئول):
پست الکترونیک:
Shahram.snna@yahoo.com

بهزاد شاهمرادی
دانشیار، گروه بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، پژوهشکده توسعه سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

نمامعلی آزادی
استادیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

کژال کرمی
کارشناسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

منا قصلانی
کارشناسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

منا کرمی چشمه زنگی
کارشناسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

بیان حسین‌زاده
کارشناسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶

نوع مقاله: مقاله اصیل پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مهم‌ترین منابع انتشار گاز متان، اماکن دفن بهداشتی زباله می‌باشد. اثرات گلخانه‌ای گاز متان را می‌توان با تبدیل آن به سوخت کنترل کرد. مطالعه حاضر با هدف بررسی خصوصیات کمی و کیفی پسماند شهر سقز و ظرفیت‌سنجی مقدار استحصال گاز متان ناشی از آن با استفاده از نرم‌افزار LandGEM در طی یک دوره ۲۰ ساله از سال ۱۳۹۴-۱۴۱۳ انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه توصیفی- مقطعی، اطلاعات اولیه مانند مقدار زباله تولیدی، جمعیت شهر و مشخصات محل دفن زباله شهر سقز جمع‌آوری شد. برای پیش‌بینی جمعیت شهر سقز در سال‌های متوالی پیش‌رو، از آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۰، جمعیت کنونی و نرخ رشد جمعیتی شهر سقز استخراج و مبنای محاسبه قرار گرفت. برای جمعیت‌های تخمین زده شده، با استفاده از بسته نرم‌افزاری LandGEM ۳،۰۲ پتانسیل تولید گاز متان از زباله‌های شهر سقز به‌دست آمد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که انتظار می‌رود، زباله تولیدی شهر از ۶۲۰۵۰ تن در سال ۱۳۹۵ به بیش ۱۰۸۸۰۵ تن در سال ۱۴۱۳ گردد. این مقدار معادل انتشار گاز متان از ۳۲ تن در ساعت در سال ۱۳۹۵ به بیش از ۲۲۰۳ تن در ساعت در سال ۱۴۱۳ است.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند مورد استفاده مدیران شهری برای کنترل و مدیریت انتشار گاز متان به‌منظور کاهش اثرات منفی آن به‌خصوص در حیطه محیط زیست قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: مواد زائد جامد شهری، متان، محل دفن، نرم افزار LandGEM سقز

◀ **استناد:** صادقی ش، شاهمرادی ب، آزادی ن، کرمی ک، قصلانی م، کرمی چشمه زنگی م، حسین‌زاده ب، پیش‌بینی ۲۰ ساله مقدار گاز متان تولیدی از محل دفن پسماند شهر سقز. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۳۹۹؛۶ (۲): ۱۷۳-۱۸۱.

مقدمه

امروزه یکی از عمده مشکلات زیست‌محیطی، تغییرات آب‌وهوا است. در این راستا، کشورهای در حال توسعه با بالاترین آسیب و تهدید مواجه شده‌اند. یکی از مهم‌ترین دلایل تغییر آب‌وهوا، سوء مدیریت مواد زائد جامد است که هر روزه میلیون‌ها تن از آن در سراسر جهان تولید می‌گردد (۱، ۲). در سال ۲۰۰۰، کشورهای در حال توسعه مسئول انتشار ۲۹٪ از گازهای گلخانه‌ای در جهان بودند که پیش‌بینی می‌شود این مقدار در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به‌ترتیب به ۶۴٪ و ۷۶٪ افزایش یابد. انتشار گازهای گلخانه‌ای از محل‌های دفن زباله، یکی از دلایل اصلی چنین سرعت رشدی محسوب می‌شود (۱، ۳). انتشار گازهای گلخانه‌ای نقش قابل توجهی در تغییرات آب‌وهوا و پدیده‌های مخرب از قبیل گرم شدن کره زمین، ذوب شدن یخ‌های قطبی، توفان‌های قوی و خشکسالی‌های پی‌درپی دارد (۴-۹). از نظر درصد نیز گاز متان با ۱۸٪ در رده دوم گازهای گلخانه‌ای قرار دارد و از نظر آسیب وارده به آن، این ماده ۲۵-۳۰ برابر بیشتر از دی‌اکسید کربن است که باعث گرم شدن کره زمین می‌شود (۱۰، ۱۱). گاز تولید شده از محل دفن زباله یا بیوگاز (LFG)[1] از فرآیندهای بیولوژیکی و شیمیایی است که هنگام دفن زباله در محل دفن ایجاد می‌شود. اجزای اصلی بیوگاز (LFG) را گازهای متان (۵۰-۶۰٪) و دی‌اکسید کربن (۴۰-۵۰٪) تشکیل می‌دهند (۱۲-۱۵). بیوگاز معمولاً شامل متان (CH_4)، دی‌اکسید کربن (CO_2)، مقادیر کمی ازت (N_2)، اکسیژن (O_2)، آمونیاک (NH_3)، سولفید هیدروژن (H_2S)، هیدروژن (H_2)، سولفید (S_2)، مونوکسیدکربن (CO) و همچنین ترکیبات آلی غیرمتان (NMOCs)[2] مانند تری کلر اتیلن، بنزن و وینیل کلرید می‌باشد (۳، ۵، ۱۶). بیوگاز با فعالیت میکروبی بر روی مواد آلی تجزیه‌پذیر در غیاب اکسیژن تولید می‌شود (۱۷، ۱۸). یکی از شناخته شده‌ترین مدل‌ها برای برآورد میزان و ترکیب گاز متان تولید شده در محل‌های دفن زباله مدل LandGEM می‌باشد. این مدل بر اساس معادله مرتبه اول نرخ تجزیه برای تعیین میزان انتشار گازها از تجزیه پسماندهای شهری در محل‌های دفن زباله می‌باشد و توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)[3] ابداع شده است (۱۹)، لذا هدف از انجام این تحقیق بررسی خصوصیات کمی و کیفی پسماند شهر سقز و ظرفیت‌سنجی مقدار استحصال گاز متان ناشی از آن با استفاده از نرم‌افزار LandGEM در طی یک دوره ۲۰ ساله از سال ۱۳۹۴-۱۴۱۳ می‌باشد.

روش کار

در این مطالعه توصیفی- مقطعی جامعه مورد مطالعه، زباله‌های تولیدی شهروندان و نیز محل دفن بهداشتی زباله شهر سقز بود. ابتدا جمع‌آوری اطلاعات مربوط به محل دفن بهداشتی زباله شهر سقز و برآورد جمعیت شهر در سال‌های مختلف دوره طرح با توجه به ضریب رشد انتخابی و با در نظر گرفتن فاکتورهای مؤثر در نرخ رشد انجام شد، سپس عملیات تعیین مقدار ثابت انتشار گاز متان و مقدار پتانسیل تولید متان در محل دفن بهداشتی زباله شهر سقز با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در محل نظیر سطح آب زیرزمینی، جنس خاک، نوع مدیریت مرکز دفن، میزان بارش و نوع خاک پوششی مورد استفاده و همچنین مرتب کردن و وارد کردن اطلاعات به برنامه با مدل LandGEM و محاسبه میزان گاز متان تولیدی در طی سال‌های مختلف دوره طرح صورت گرفت.

این برنامه (LandGEM MODEL) توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا ابداع شده است (۱۹) و برآورد بسیار دقیقی از میزان گاز متان تولیدی در سالیان مختلف را ارائه می‌دهد.

LandGEM از معادله FIRST-ORDER DECOMPOSITION جهت برآورد مقدار انتشار گاز در محل دفن زباله استفاده می‌کند. LandGEM از معادله درجه اول تجزیه برای تخمین سالانه گاز استفاده می‌کند. فرمول مورد استفاده در آن در معادله (۱) نشان داده شده است.

1. Landfill Gas
2. Nonmethane Organic Compounds (NMOCs),
3. United States Environmental Protection Agency

معادله ۱:
$$QCH4 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{i=0}^{1} KL0\left(\frac{Mi}{10}\right)e^{-Ktij}$$

که در آن:

QCH_4 = میزان متان تولیدی سالیانه در سال انجام محاسبات برحسب متر مکعب در سال

I = فواصل زمانی یک سال یک سال

n = سال انجام محاسبات – اولین سال پذیرش زباله در محل دفن

j= فواصل زمانی یک‌سال یک‌سال

K = نرخ تولید متان برحسب عکس سال

Lo = ظرفیت بالقوه تولید متان برحسب متر مکعب بر مگاگرم

Mi = وزن زباله پذیرفته شده در سال iام برحسب مگاگرم

tij = سن بخش j ام جرم Mi زباله پذیرفته شده در سال i ام (مثلاً ۳/۲ سال)

پارامترهای مجهول در معادله فوق tij و Lo، Mi، K می‌باشد.

برای محاسبه متان تولید شده از دو پارامتر k (ثابت نرخ تولید متان) و Lo (پتانسیل ظرفیت تولید متان) استفاده گردید. پارامتر kتابعی از ترکیبات زباله، توانایی مواد مغذی برای تولید متان، pH و درجه حرارت و مقدار آن بین ۰/۰۰۳ تا ۰/۲۱ متغیر است. جهت محاسبه میزان کربن آلی تجزیه بیولوژیکی مواد زائد از معادله (۲) استفاده شد.

معادله ۲:
$$(Ocb)i = (Oci)(fb)i(1-Ui)Pi$$

که در آن:

(Ocb)i = میزان کربن آلی قابل تجزیه بیولوژیکی i امین جزء ماده زائد مرطوب

(fb)i= قابل جزء تجزیه بیولوژیکی Oci، Kg کربن کل / Kg کربن قابل تجزیه

Ui = مقدار رطوبت جزء iام ماده زائد، Kg جزء iام ماده زائد مرطوب / Kg آب

Pi = مرطوب جزء وزن iام ماده زائد، Kg ماده وزن کل زائد / Kg وزن جزء iام

در محاسبه کربن قابل تجزیه مواد زائد محل دفن بایستی توجه داشت این مقدار به دمای داخل محل‌های دفن نیز بستگی دارد. این وابستگی به‌صورت معادله (۳) بیان می‌شود که در آن T دمای داخل محل دفن برحسب درجه سانتی گراد است.

معادله ۳:
$$(Ocb)i = (Oci)(0.014T+0.28)$$

همچنین در تخمین میزان کربن آلی قابل تجزیه بیولوژیکی می‌بایست دقت داشت که مقدار کمی از این مواد توسط شیرابه از محل دفن خارج می‌شود (به‌خصوص فاز اسیدی که تولید شیرابه آن بسیار بالاست). بنابراین مقدار کربن خروجی می‌بایست از میزان کربن آلی اولیه قابل تجزیه کم گردد. از طرف دیگر، به ازای هر مول کربن آلی مصرفی، یک مول گاز تولید می‌شود. یک مول گاز نیز در شرایط فشار و دمای استاندارد، ۲۲/۴ لیتر حجم اشغال می‌کند و بنابراین یک مول کربن آلی، ۲۲/۴ لیتر گاز تولید می‌کند که اگر آن را به‌صورت وزنی بیان کنیم خواهیم داشت:

معادله ۴:

litgas ($CH_4 + CO_2$) (در شرایط دمای و فشار استاندارد) = ۱ گرم کربن ماده آلی

با ترکیب (۳) و (۴) می‌توان رابطه محاسبه میزان گازهای تولیدی محل های دفن را به شکل رابطه (۵) نمایش داد.

معادله ۵:
$$YLFG = 1.867(Oci)(fb)i(1-Ui)Pi(litgas/KgMSW)$$

معادلاتی که در آن YLFG معرف میزان گازهای تولیدی است، زمان تولید گاز همان پریود زمانی تولید گاز در محل‌های دفن می‌باشد. تمام پارامترهای فوق برای اجزای مختلف مواد زائد و محاسبه میزان گاز تولیدی در محل دفن در جدول ۱ آورده شده است.

یافته‌ها

در این مطالعه نرخ رشد جمعیت برای شهر سقز بر اساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ برابر ۱/۰۲٪ بود. همچنین دوره طرح انتخابی برای مرکز دفن زباله نیز بر اساس طرح جامع مدیریت پسماند زباله شهر سقز ۲۰ ساله می‌باشد. برای

جدول ۱. اجزای مختلف مواد زائد شهر سقز و محاسبه میزان گاز تولیدی در محل دفن

اجزای ترکیبی مواد زائد	Ui جزء مرطوب (KgH_2O/Kg)	Oci جزء خشک (Kgc/Kg)	(fb)i (Kgbiodeg.c/Kg)	P_i (٪)	Yi = (Litgas/KgMSW) هر جزء	YLFG
مواد آلی و فسادپذیر	۰/۶	۰/۴۸	۰/۸	۷۲/۶	۷۰۰	۱۴۵/۷۴
کاغذ و مقوا	۰/۰۸	۰/۴۴	۰/۵	۶/۸	۲۵۰	۶/۴۳
لاستیک و پلاستیک	۰/۰۲	۰/۷	۰/۰	۶/۸	۰/۰	۰/۰
منسوجات	۰/۱	۰/۵۵	۰/۲	۳/۳۶	۱۵۰	۰/۹۴
شیشه	۰/۰۳	۰/۰	۰/۰	۲	۰/۰	۰/۰
فلزات و ...	۰/۰۳	۰/۰	۰/۰	۸/۴۴	۰/۰	۰/۰

YLFG = 1.867(Oci)(fb)i(1-Ui)PiYi ۳۵۱/۱۱ m^3 / Mg = ۱۶۸/۵ ton

محاسبه کردن مقدار تولید گاز متان از طریق برنامه LandGEM باید وزن زباله‌های تولید شده در سال‌های مختلف دوره طرح به نحوی مناسب برآورد گردد. بر اساس دستورالعمل‌های پیشنهادی در کتاب waste management practices اثر John Pitchel نرخ تولید سرانه زباله در کشورهای در حال توسعه در یک افق ۲۰ ساله، سالیانه ۲ تا ۵ درصد است که بستگی به میزان جمعیت شهر دارد، لذا جمعیت، سرانه تولید زباله و در نتیجه وزن کل زباله تولیدی شهر سقز در طی سال‌های دوره طرح به شرح جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲. سرانه تولید زباله و وزن کل زباله تولیدی شهر سقز در طی سال‌های دوره طرح

سال	جمعیت	سرانه تولید زباله (گرم)	وزن زباله سالیانه به تن	سال	جمعیت	سرانه تولید زباله (گرم)	وزن زباله سالیانه به تن
۱۳۹۴	۱۷۲۸۵۱	۹۸۳/۵۰۶	۶۲۰۵۰	۱۴۰۴	۱۹۱۳۱۴	۱۱۹۴/۱۹	۸۳۳۹۰
۱۳۹۵	۱۷۴۶۱۴	۱۰۰۲/۷۸	۶۳۹۱۱/۵	۱۴۰۵	۱۹۳۲۶۵	۱۲۱۷/۶	۸۵۸۹۱/۷
۱۳۹۶	۱۷۶۳۹۵	۱۰۲۲/۴۴	۶۵۸۲۸/۸	۱۴۰۶	۱۹۵۲۳۶	۱۲۴۱/۴۷	۸۸۴۶۸/۵
۱۳۹۷	۱۷۸۱۹۴	۱۰۴۲/۴۸	۶۷۸۰۳/۷	۱۴۰۷	۱۹۷۲۲۷	۱۲۶۵/۸	۹۱۱۲۲/۵
۱۳۹۸	۱۸۰۰۱۲	۱۰۶۲/۹۱	۶۹۸۳۷/۸	۱۴۰۸	۱۹۹۲۳۹	۱۲۹۰/۶۱	۹۳۸۵۶/۲
۱۳۹۹	۱۸۱۸۴۸	۱۰۸۳/۷۴	۷۱۹۳۳	۱۴۰۹	۲۰۱۲۷۱	۱۳۱۵/۹۱	۹۶۶۷۱/۹
۱۴۰۰	۱۸۳۷۰۳	۱۱۰۴/۹۸	۷۴۰۹۰/۹	۱۴۱۰	۲۰۳۳۲۴	۱۳۴۱/۷	۹۹۵۷۲
۱۴۰۱	۱۸۵۵۷۷	۱۱۲۶/۶۴	۷۶۳۱۳/۷	۱۴۱۱	۲۰۵۳۹۸	۱۳۶۸	۱۰۲۵۵۹
۱۴۰۲	۱۸۷۴۷۰	۱۱۴۸/۷۲	۷۸۶۰۳/۱	۱۴۱۲	۲۰۷۴۹۳	۱۳۹۴/۸۱	۱۰۵۶۳۶
۱۴۰۳	۱۸۹۳۸۲	۱۱۷۱/۲۴	۸۰۹۶۱/۲	۱۴۱۳	۲۰۹۶۱۰	۱۴۲۲/۱۵	۱۰۸۸۰۵

محل دفن بهداشتی (لندفیل) شهر سقز با وسعت حدود ۸/۵ هکتار با قدمتی ۲۷ ساله واقع در ۴ کیلومتری جاده سقز- دیواندره در محلی به نام روستای بدرآباد و در آنجا به‌صورت روزانه با پوششی از خاک به روش سراشیبی دفن بهداشتی می‌گردد. بر اساس آنالیزهای انجام شده، درصد زباله‌های آلی خشک و زباله‌های آلی سریع‌التجزیه (فرار) در زباله‌های شهر سقز به‌طور متوسط به‌ترتیب برابر ۲۷/۴ و ۷۲/۶ می‌باشد. بنابراین در مطالعه حاضر حجم و دانسیته زباله شهروندان سقزی به‌ترتیب برابر با ۳۷۷/۷۸

مترمکعب و ۴۴۹/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، متوسط بارندگی سالیانه در شهر سقز ۵۰۰ میلی‌متر و همچنین میزان رطوبت سالیانه ۵۰٪ می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی و دانه‌بندی خاک، در منطقه مورد مطالعه خاک‌ها رسی بوده و خاصیت تورم قوی دارد و لایه زیر خاک غیرقابل نفوذ می‌باشد. سطح آب‌های زیرزمینی منطقه حدود ۲۰ متر می‌باشد. همچنین حدود ۱۰۰ متر جاده دسترسی به عرض ۵ متر در داخل مرکز دفن ایجاد شده است. اندیس الکنو بر اساس شرایط میدانی برای این محل دفن نیز ۲۷ به‌دست آمد که چون بین ۲۴-۴۲ قرار داشت، بنابراین محل انتخابی مناسب است.

جدول ۳. اطلاعات ورودی برای برنامه LandGEM برای شهر سقز

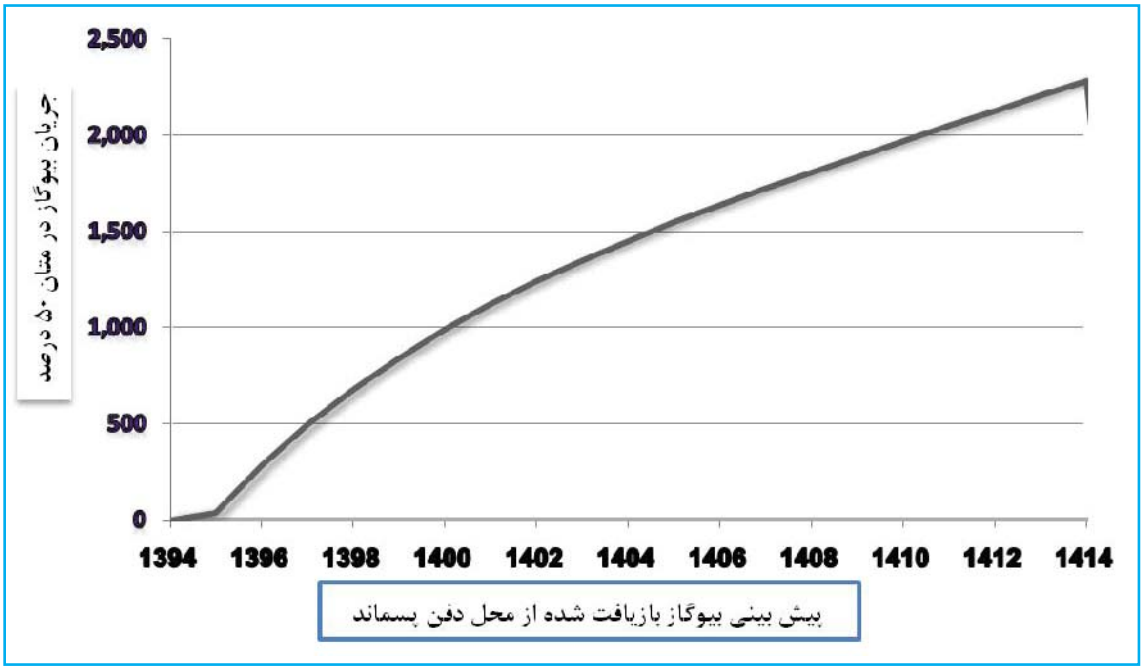
سال	تن دفع شده	تن تجمعی	راندمان سیستم جمع آوری
۱۳۹۴	۱۵۶۰۰۰	۱۵۶۰۰۰	٪۰
۱۳۹۵	۱۶۰۶۸۰	۳۱۶۶۸۰	٪۰
۱۳۹۶	۱۶۵۵۰۰	۴۸۲۱۸۰	٪۰
۱۳۹۷	۱۷۰۴۶۵	۶۵۲۶۴۶	٪۰
۱۳۹۸	۱۷۵۵۷۹	۸۲۸۲۲۵	٪۰
۱۳۹۹	۱۸۰۸۴۷	۱۰۰۹۰۷۲	٪۰
۱۴۰۰	۱۸۶۲۷۲	۱۱۹۵۳۴۴	٪۰
۱۴۰۱	۱۹۱۸۶۰	۱۳۸۷۲۰۴	٪۰
۱۴۰۲	۱۹۷۶۱۶	۱۵۸۴۸۲۱	٪۰
۱۴۰۳	۲۰۳۵۴۵	۱۷۸۸۳۶۵	٪۰
۱۴۰۴	۲۰۹۶۵۱	۱۹۹۸۰۱۶	٪۰
۱۴۰۵	۲۱۵۹۴۰	۲۲۱۳۹۵۷	٪۰
۱۴۰۶	۲۲۲۴۱۹	۲۴۳۶۳۷۵	٪۰
۱۴۰۷	۲۲۹۰۹۱	۲۶۶۵۴۶۷	٪۰
۱۴۰۸	۲۳۵۹۶۴	۲۹۰۱۴۳۱	٪۰
۱۴۰۹	۲۴۳۰۴۳	۳۱۴۴۴۷۳	٪۰
۱۴۱۰	۲۵۰۳۳۴	۳۳۹۴۸۰۸	٪۰
۱۴۱۱	۲۵۷۸۴۴	۳۶۵۲۶۵۲	٪۰
۱۴۱۲	۲۶۵۵۸۰	۳۹۱۸۲۳۱	٪۰
۱۴۱۳	۲۷۳۵۴۷	۴۱۹۱۷۷۸	٪۰

در جدول ۳ اطلاعات مربوط به مقدار وزنی زباله‌های تولیدی در سال‌های مختلف دوره طرح بر حسب متر یک تن وارد گردید. همچنین ستونی با عنوان راندمان سیستم جمع‌آوری وجود دارد که مربوط به اماکن دفنی است که دارای یک سیستم فعال جمع‌آوری گاز می‌باشند. از آنجایی‌که در محل دفن شهر سقز چنین سیستم جمع‌آوری گازی وجود ندارد، لذا مقدار آن برای سال‌های مختلف، صفر منظور می‌گردد. جدول ۳ نتایج برآورد مقدار تولید گاز متان در سال‌های مختلف دوره طرح در محل دفن بهداشتی زباله‌های شهر سقز را نشان می‌دهد.

جدول ۴. نتایج برآورد مقدار تولید گاز متان در سال‌های مختلف دوره طرح در محل دفن بهداشتی زباله‌های شهر سقز

	دفع	بازیافت	LFG		
	مقدار	در محل	تولید		
سال	(مگا گرم در سال)	مگا گرم	(مترمکعب در ساعت)	(cfm)	(mmBtu/hr)
۱۳۹۴	۱۵۶۰۰۰	۱۵۶۰۰۰	۰	۰	۰/۰
۱۳۹۵	۱۶۰۶۸۰	۳۱۶۶۸۰	۳۲	۱۹	۰/۶
۱۳۹۶	۱۶۵۵۰۰	۴۸۲۱۸۰	۲۷۶	۱۶۲	۴/۹
۱۳۹۷	۱۷۰۴۶۵	۶۵۲۶۴۶	۴۸۸	۲۸۷	۸/۷
۱۳۹۸	۱۷۵۵۷۹	۸۲۸۲۲۵	۶۷۴	۳۹۷	۱۲/۰
۱۳۹۹	۱۸۰۸۴۷	۱۰۰۹۰۷۲	۸۳۸	۴۹۳	۱۵/۰
۱۴۰۰	۱۸۶۲۷۲	۱۱۹۵۳۴۴	۹۸۴	۵۷۹	۱۷/۶
۱۴۰۱	۱۹۱۸۶۰	۱۳۸۷۲۰۴	۱۱۱۶	۶۵۷	۱۹/۹
۱۴۰۲	۱۹۷۶۱۶	۱۵۸۴۸۲۱	۱۲۳۵	۷۲۷	۲۲/۱
۱۴۰۳	۲۰۳۵۴۵	۱۷۸۸۳۶۵	۱۳۴۵	۷۹۲	۲۴/۰
۱۴۰۴	۲۰۹۶۵۱	۱۹۹۸۰۱۶	۱۴۴۷	۸۵۱	۲۵/۸
۱۴۰۵	۲۱۵۹۴۰	۲۲۱۳۹۵۷	۱۵۴۲	۹۰۸	۲۷/۶
۱۴۰۶	۲۲۲۴۱۹	۲۴۳۶۳۷۵	۱۶۳۲	۹۶۱	۲۹/۲
۱۴۰۷	۲۲۹۰۹۱	۲۶۶۵۴۶۷	۱۷۱۹	۱۰۱۲	۳۰/۷
۱۴۰۸	۲۳۵۹۶۴	۲۹۰۱۴۳۱	۱۸۰۳	۱۰۶۱	۳۲/۲
۱۴۰۹	۲۴۳۰۴۳	۳۱۴۴۴۷۳	۱۸۸۵	۱۱۰۹	۳۳/۷
۱۴۱۰	۲۵۰۳۳۴	۳۳۹۴۸۰۸	۱۹۶۵	۱۱۵۶	۳۵/۱
۱۴۱۱	۲۵۷۸۴۴	۳۶۵۲۶۵۲	۲۰۴۴	۱۲۰۳	۳۶/۵
۱۴۱۲	۲۶۵۵۸۰	۳۹۱۸۲۳۱	۲۱۲۳	۱۲۵۰	۳۷/۹
۱۴۱۳	۲۷۳۵۴۷	۴۱۹۱۷۷۸	۲۲۰۳	۱۲۹۶	۳۹/۴

نمودار ۱ نیز روند تولید گاز متان در سال‌های مختلف دوره طرح را در محل دفن بهداشتی زباله شهر سقز را نشان می‌دهد.



نمودار ۱. روند تولید گاز متان شهر سقز در سال‌های مختلف دوره طرح

بحث

بر اساس نمودار ۱ در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۴۰۱، ۱۴۰۷ و ۱۴۱۳ به‌ترتیب حدود ۳۲، ۱۱۱۶، ۱۷۱۹ و ۲۲۰۳ متر مکعب بر ساعت گاز در این محل دفن تولید می‌شود. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مقدار تولید گاز متان در محل دفن بهداشتی زباله شهر سقز با مقدار زباله سالیانه بین ۶۲۰۵۰ تا ۱۰۸۸۰۵ تن بین ۳۲ تا ۲۲۰۳ متر مکعب در ساعت متغیر می‌باشد. در مطالعه فلاحی‌زاده و همکاران، مقدار تولید گاز متان در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به‌ترتیب برابر ۲۵۰، ۲۷۵، ۳۰۳ و ۳۳۰ متر مکعب در ساعت به‌دست آمد. بنابراین حداکثر میزان تولید گاز متان در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ رخ داده بود و سپس با شیب نرم از سال ۲۰۱۲ کاهش یافته بود (۲۰). همچنین بر اساس نتایج مطالعه عمرانی و همکاران، پتانسیل تولید گاز متان در شیراز ۱۶۴ متر مکعب در تن است (۲۱). مطالعه بیگلری و همکاران نشان داد پتانسیل تولید گاز متان از محل دفن زباله‌های استان سیستان و بلوچستان، ۱۴۷ متر مکعب در تن است. آنها با استفاده از مدل نرم‌افزاری LandGEM میزان تولید گاز متان با وزن ۳۴۱۶۷/۵ تا ۶۱۸۹۰/۴ تن پسماند برابر ۵۲ تا ۴۸۸ متر مکعب بر ساعت تخمین زدند (۲۲). در صورتی که در مطالعه صادقی و همکاران که با هدف ظرفیت‌سنجی مقدار استحصال گاز متان از محل دفن زباله شهر سنندج انجام گردید، مقدار تولید گاز متان در طی سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۲۳، ۲۰۲۸ و ۲۰۳۳ به‌ترتیب حدود ۴۱۰، ۲۰۵، ۵۴۹ و ۶۷۱ متر مکعب بر ساعت بود. همچنین ظرفیت بالقوه تولید گاز متان برای محل دفن بهداشتی زباله شهر سنندج برابر ۱۷۰ متر مکعب بر تن به‌دست آمد (۲۳). در مطالعه دیگر که در السالوادور انجام گرفت، مقدار تولید گاز متان در مرکز دفن بهداشتی زباله این شهر با مقدار زباله سالیانه بین ۱۷۵۰۰۰ تا ۲۶۲۰۰۰ تن بین ۳۸۰ تا ۳۶۸۰ متر مکعب متغیر بود. مقدار گاز متان محاسبه شده برای السالوادور بیشتر از سقز می‌باشد که دلیل

آن نیز مقدار بارش بیشتر در السالوادور و افزایش میزان رطوبت در توده زباله و در نتیجه افزایش پتانسیل تولید متان می‌باشد. همچنین افزایش مقدار رطوبت در توده زباله در السالوادور منجر به شیب بیشتر منحنی تولید گاز متان در سال‌های مختلف شده است. راندمان جمع‌آوری گاز در این مطالعه صفر درصد منظور شده است که دلیل آن نیز در نظر نگرفتن و تعبیه نکردن سیستم‌های جمع‌آوری فعال گاز در مرحله دفن می‌باشد (۲۴). این مقدار در مطالعات سنندج، السالوادور، مکزیکو، بلیز، کاستاریکا، گواتمالا و هندوراس نیز صفر درصد منظور شده است که نشان‌دهنده فراهم نبودن سیستم‌های جمع‌آوری فعال گاز متان در مراکز دفن بهداشتی این مناطق می‌باشد (۲۴). برنامه توسعه سازمان ملل متحد[1] سرانه زباله برای شهروندان کشورهای در حال توسعه را بین ۵۰۰ تا ۹۰۰ گرم در روز پیشنهاد کرده است (۱۹) که در این مطالعه نیز سرانه تولید زباله برای شهروندان سقزی تقریباً برابر ۹۸۴ گرم به‌دست آمد که با مقادیر پیشنهادی برنامه توسعه سازمان ملل متحد مطابقت ندارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه بخش عمده پسماند تولیدی شهر سقز را مواد آلی فسادپذیر تشکیل می‌دهند، لذا پتانسیل بالایی جهت تولید بیوگاز وجود خواهد داشت. از طرفی در صورت عدم جمع‌آوری و مدیریت بیوگاز تولیدی، حجم بالایی از متان وارد اتمسفر خواهد شد که به نوبه خود می‌تواند در پدیده گرمایشی جهانی مشارکت داشته باشد. بنابراین نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند مورد استفاده مدیران شهری برای کنترل و مدیریت انتشار گاز متان به‌منظور کاهش اثرات منفی آن به‌خصوص در حیطه محیط زیست قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام 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

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی مصوب کمیته تحقیقات دانشجویی با کد IR.MUK.REC.1395/268 دانشگاه علوم پزشکی کردستان می‌باشد. بدین‌وسیله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه به‌خاطر حمایت مالی و همچنین از کلیه عزیزانی که نهایت همکاری را بر ما ارزانی داشتند و ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Tian H, Gao J, Hao J, Lu L, Zhu C, Qiu P. Atmospheric pollution problems and control proposals associated with solid waste management in China: a review. J Hazard Mater. 2013; 252-253: 142-54.
2. Kreith F, Tchobanoglous G. Handbook of solid waste management. 2nd ed. Philadelphia, PA: McGraw-Hill Professional; 2002.
3. Pazoki, M, Delarestaghi R M, Rezvanian M R, Ghasemzade R and Dalaei P. Gas production potential in the landfill of Tehran by landfill methane outreach program. Jundishapur J Health Sci. 2015: 7(4).
4. Zerbock O. Urban solid waste management: waste reduction in developing nation. Michigan, U.S.A. 2003
5. Thompson S, Tanapat S. Modeling waste management options for greenhouse gas reduction. Journal of Environmental Informatics. 2005; 6(1): 16-24.
6. Buchdahl J. ACE Information Program, climate change. Manchester. 2000
7. IPCC., 2007. Climate Change 2007, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning (Eds.)].
8. Lazar B, Williams M. Climate change in western ski areas: Potential changes in the timing of wet avalanches and snow quality for the Aspen ski area in the years 2030 and 2100. Cold Reg Sci Technol. 2008; 51(2): 219-28.
9. Hegerl, G.C., Zwiers, P., Braconnot, N.P., Gillett, Y., Luo, J.A., Marengo Orsini, N. Nicholls, J.E., Penner and P.A. Stott. Understanding and Attributing Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007
10. Nolasco D, Lima RN, Hernández PA, Pérez NM. Non-controlled biogenic emissions to the atmosphere from Lazareto landfill, Tenerife, Canary Islands. Environ Sci Pollut Res Int. 2008; 15(1): 51-60.
11. Aydi A. Energy recovery from a municipal solid waste (MSW) landfill gas: A tunisian case study. Hydrol Current

1. United Nations Development Program

Res. 2012; 3(4):1-3.
12. Amini HR, Reinhart DR, Mackie KR. Determination of first-order landfill gas modeling parameters and uncertainties. Waste Manag. 2012; 32(2): 305-16.
13. Spokas K, Bogner J, Chanton JP, Morcet M, Aran C, Graff C, Moreau-Le Golvan Y, Hebe I. Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems? Waste Manag. 2006; 26(5): 516-25.
14. Aghdam EF, Scheutz C, Kjeldsen P. Impact of meteorological parameters on extracted landfill gas composition and flow. Waste Manag. 2019; 87: 905-14.
15. Pasalari H, Farzadkia M, Gholami M, Emamjomeh MM. Management of landfill leachate in Iran: valorization, characteristics, and environmental approaches. Environ Chem Lett. 2019; 17(1): 335-48.
16. Saral A, Demir S, Yıldız Ş. Assessment of odorous VOCs released from a main MSW landfill site in Istanbul-Turkey via a modelling approach. J Hazard Mater. 2009; 168(1): 338-45.
17. Couth R, Trois C, Vaughan-Jones S. Modelling of greenhouse gas emissions from municipal solid waste disposal in Africa. Int J Greenh Gas Control. 2011; 5(6): 1443-53.
18. Chiriac R, Carre J, Perrodin Y, Fine L, Letoffe JM. Characterisation of VOCs emitted by open cells receiving municipal solid waste. J Hazard Mater. 2007; 149(2): 249-63.
19. USEPA., 2012. Landfill gas emissions model (LandGEM) version 3.02 user's guide. United States Environmental Protection Agency, EPA-600/R-05/047
20. Fallahizadeh S, Rahmatinia M, Mohammadi Z, Vaezzadeh M, Tajamiri A, Soleimani H. Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran. Methods X. 2019; 6: 391-8.
21. Omrani GA, Mohseni N, Haghighat K, Javid AH. Technical and Sanitary assessment of Methane extraction from Shiraz Landfill. J Environ Sci Technol. 2009; 10(4): 175-82 [In Persian].
22. Biglari H, Rahdar S, Baneshi MM, Ahamadabadi M, Saeidi M, Narooie MR, Salimi A, Khaksefidi R. Estimating the amount of methane gas generated from the solid waste using the landGEM software, sistan and baluchistan. J Global Pharma Technol. 2017; 9(3): 35-41.
23. Sadeghi Sh, Shahmoradi B and Maleki A. Estimating Methane Gas Generation Rate from Sanandaj City Landfill Using LANDGEM Software. Res J Environ Sci. 2015; 9(6): 280-88.
24. Anderson TP. 1988. Politics in Central America: Guatemala, El Salvador, Honduras and Nicaragua. 2nd Edn., Greenwood Publishing Group, USA., ISBN-13: 978-0275928834, Pages: 263.