ارزیابی بیوگاز تولیدی از لندفیل مشهد به‌منظور تعیین بهترین زمان نصب تجهیزات استحصال بیوگاز

حجت مروی بهادران[۱]، محمدعلی اکبرنیا[۲] و امین نیکخواه[۳]

۱و۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

ایمیل نویسنده مسئول: hojjat.marvi@um.ac.ir

چکیده

لندفیل‌های زباله شهری به عنوان یکی از منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای شناخته شده‌اند. این درحالی است که نصب تجهیزات بیوگاز، ضمن تولید انرژی منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از لندفیل‌ها می‌شود. در این راستا، تعیین زمان مناسب نصب این تجهیزات در محل دفن زباله‌های شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این رو، این مطالعه به ارزیابی تولید بیوگاز و همچنین پیش‌بینی میزان تولید آن در لندفیل مشهد پرداخته است. از نرم افزار LandGEM برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که از سال شروع به کار لندفیل جدید مشهد در یک بازه ۱۴۰ ساله، بیشینه مقدار تولید متان بالغبر ۲۲۰۰۰Mg در سال ۲۰۳۳ می‌باشد. در مجموع، در یک محدوده‌ی ۳۰ ساله (از سال ۲۰۵۳-۲۰۲۳) تولید متان توسط لندفیل مقداری بالغ بر ۵۰ درصد کل متان تولیدی لندفیل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیشینه تولید متان، لندفیل مشهد، محل دفن زباله، نرم‌افزار LandGEM

مقدمه

یکی از روش‌های مدیریت مواد زایدجامد، دفن بهداشتی زباله‌ها می‌باشد. یکی از روش‌های مدیریت لندفیل‌های زباله شهری، نصب تجهیزات تولید بیوگاز می‌باشد که در صورت هدایت صحیح عملکرد، می‌توان آن رابه روش اقتصادی تبدیل نمود. به‌طوری‌که باکتری‌های بی‌هوازی در لایه‌های مختلف زباله‌های دفن شده، پس از گذشت مدتی بر اثر فعالیت‌های رشد و نمو خود موجب تولید وانتشار گازهایی نظیر متان وکربن‌دی‌اکسید درمقادیر بیشتر وگازهایی نظیر هیدروژن‌سولفید وانواع اکسیدهای نیتروژن در مقادیر کمتر می‌شوند (عمرانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ EPA, 1995).

بیوگاز حاصله از لندفیل می‌تواند اثرات مخرباز جملهخورندگی و زنگ‌زدگی بر روی تجهیزات استحصال بیوگاز داشته‌باشد. از طرف دیگر گذشت زمان خود نیز باعث کاهش بهره‌وری تجهیزات می‌شود که این دو عامل باعث افزایش هزینه‌ی نگهداری تجهیزات بیوگاز می‌شود. لذا با توجه به هزینه‌های بالای نگهداری تجهیزات و از طرف دیگر کاهش بهره‌وری تجهیزات به مرور زمان، مسئله

نصب تجهیزات در زمانی که استحصال بیوگاز در مقدار بیشینه‌ی خود باشد بسیار حائزاهمیت است.حال باتوجه این‌که گاز متان دارای ارزش حرارتی بسیاربالایی می‌باشد (ارزش حرارتی هر مترمکعب گاز متان تقریبامعادل ارزش حرارتی یک لیتر نفت‌سفید است). می‌توان به اهمیت بهره‌وری واقتصادی بودن آن پی‌برد واز طرفی قابلیت انفجار گاز متان در اثر تراکم ۵ الی ۱۵ درصدی این گاز در محیط، اثرگلخانه ای ۲۵ تا۳۰ برابر گاز کربن‌دی‌اکسید و خطرات بهداشتی،تخریب گیاهی، آلودگی آب‌های زیرزمینی مشکلات ایجاد بو، براهمیت بازیافت و جمع‌آوری گاز متان از اماکن دفن زباله و لندفیل می‌افزاید (سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد، ۱۳۹۵).

روش‌های مختلفی برای برآورد مقدار انتشار گاز متان وجود دارد که عبارت‌اند از ارزیابی محل‌دفن (site evaluation)، آزمایش‌های میدانی(field testing) و مدل‌سازی ریاضی (mathematical modeling). در این راستا، مدل‌های ریاضی مختلفی دردنیا توسعه یافته‌است که مهم‌ترین و انعطاف‌پذیرترین آن‌ها، landGEM می‌باشد. این مدل توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا ابداع شده‌است و برآورد نسبتا دقیقی ازمیزان گازمتان تولیدی درسالیان مختلف را ارائه می‌دهد.این مطالعه برروی لندفیل شهر مشهدواقع در استان خراسان رضوی، دومین کلان شهر ایران صورت گرفت که دارای دولندفیل قدیم و جدید می‌باشد که به ترتیب درجاده-های نیشابور و میامی قرارگرفته‌اند. لندفیل قدیم مشهد ازسال ۱۹۷۵ شروع به کارنموده و هم‌اکنون ۳۰ درصد از زباله‌های روزانه شهر به این محل دفن منتقل می‌شود و لندفیل جدید از سال۲۰۰۷ شروع به کار کرده که باتوجه به نرخ افزایش ۳/۵ درصدی زباله ورودی به این لندفیل در هر سال برای ۲۵ سال طراحی شده‌است که تا سال۲۰۳۲ دفن زباله در آن صورت می‌گیرد.

دراین مطالعه که بر روی لندفیل میامی صورت گرفته‌است با استفاده از نرم‌افزار لندجم مقدار تولید شده‌ی بیوگاز، شامل متان و کربن‌دی‌اکسید طی سال‌های متمادی تخمین زده‌شد و با توجه به مقادیر و نمودارها، سال‌های بیشینه‌ی تولید گازهای ذکر شده و به خصوص متان تخمین زده می‌شود و با استفاده از این اطلاعات، بهترین سال‌ها برای نصب تجهیزات استحصال بیوگاز برای لندفیل میامی مشهد پیشنهاد می‌گردد.لازم به ذکر است که از سال۲۰۲۶زباله‌سوزی با ظرفیت روزانه ۱۰۰۰۰۰۰ کیلوگرم شروع به کار می‌کندکه خروجی آن با وجود تخلیه در لندفیل آکنده از مواد آلی است.لذا این مقدار زباله در تولید متان نقشی ندارد. همچنین، میزان زباله‌ی سالانه‌ی ورودی به لندفیل میامی از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۵ توسط سازمان مدیریت پسماند اندازه‌گیری شده‌است و از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۲ با توجه به نرخ افزایش زباله پیش بینی شده‌است که در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: تناژ سالانه زباله لندفیل مشهد از ۲۰۰۷ تا ۲۰۳۲

مقدار زباله لندفیل جدید (کیلوگرم)	سال میلادی	سال شمسی
۴۰۰،۷۸۸،۰۷۳	۲۰۰۷	۱۳۸۶
۴۰۸،۱۹۶،۸۰۳	۲۰۰۸	۱۳۸۷
۴۴۰،۴۲۰،۱۵۵	۲۰۰۹	۱۳۸۸

۱۳۸۹	۲۰۱۰	۴۴۱،۶۲۴،۷۱۵
۱۳۹۰	۲۰۱۱	۴۵۳،۷۶۶،۳۹۷
۱۳۹۱	۲۰۱۲	۴۵۶،۴۶۹،۷۶۲
۱۳۹۲	۲۰۱۳	۴۳۷،۳۲۱،۶۲۶
۱۳۹۳	۲۰۱۴	۴۶۴،۱۲۹،۱۲۷
۱۳۹۴	۲۰۱۵	۴۸۸،۱۴۴،۳۹۸
۱۳۹۵	۲۰۱۶	۵۰۵،۲۲۹،۴۵۲
۱۳۹۶	۲۰۱۷	۵۲۲،۹۱۲،۴۸۳
۱۳۹۷	۲۰۱۸	۵۴۱،۲۱۴،۴۲۰
۱۳۹۸	۲۰۱۹	۵۶۰،۱۵۶،۹۲۴
۱۳۹۹	۲۰۲۰	۵۷۹،۷۶۲،۴۱۷
۱۴۰۰	۲۰۲۱	۶۰۰،۰۵۴،۱۰۱
۱۴۰۱	۲۰۲۲	۶۲۱،۰۵۵،۹۹۵
۱۴۰۲	۲۰۲۳	۶۴۲،۷۹۲،۹۵۵
۱۴۰۳	۲۰۲۴	۶۶۵،۲۹۰،۷۰۸
۱۴۰۴	۲۰۲۵	۶۸۸،۵۷۵،۸۸۳
۱۴۰۵	۲۰۲۶	۳۴۷،۶۷۶،۰۳۹
۱۴۰۶	۲۰۲۷	۳۵۹،۸۴۴،۷۰۰
۱۴۰۷	۲۰۲۸	۳۷۲،۴۳۹،۲۶۵
۱۴۰۸	۲۰۲۹	۳۸۵،۴۷۴،۶۳۹
۱۴۰۹	۲۰۳۰	۳۹۸،۹۶۶،۲۵۱
۱۴۱۰	۲۰۳۱	۴۱۲،۹۳۰،۰۷۰
۱۴۱۱	۲۰۳۲	۴۲۷،۳۸۲،۶۲۲

مواد و روش‌ها

برای محاسبه‌ی میزان گاز تولیدی در مراکز دفن زباله روش های مختلفی وجود دارد که تمامی این روش‌ها شامل مدل‌سازی تولید گازها در لندفیل می‌باشند، در اکثر این روش‌ها از معادلات درجه‌اول یک یا چندمرحله‌ای استفاده شده‌است. در این مطالعه، مقدار گاز متان تولیدی از دفن زباله‌های شهر مشهد توسط نرم‌افزار LandGEM مورد بررسی قرار گرفت (پاپلی یزدیو وثوقی، ۱۳۸۳). مشخصات کمی و کیفی زباله‌ها مطابق مطالعه پاپلی یزدی و وثوقی، (۱۳۸۳) در نظر گرفته شد (EPA. 1995).

جدول ۲: درصد و میزان اجزای موجود در زباله مشهد

اجزا	مواد فسادپذیر	کاغذ و مقوا	پلاستیک	pet	شیشه	لاستیک	فلزات	منسوجات	خاک و نخاله	سایر
درصد سالانه	۷۶/۵۲	۴/۸۷	۶/۷۱	۰/۲۸	۱/۶۹	۰/۶۶	۲/۱۸	۲/۳۴	۱/۵۹	۳/۱۶

در این مطالعه و در نرم‌افزار LandGEM از معادله‌ی نرخ تجزیه درجه اول برای محاسبه و تخمین انتشار سالانه‌ی گازهای حاصل از محل‌های دفن زباله استفاده می‌نماید. این نرم‌افزار علاوه‌بر محاسبه و تخمین میزان گاز متان تولیدی در لندفیل، قابلیت تخمین ۴۶ مورد از انواع آلاینده های هوا را نیز دارد (Watzinger *et al.*, 2005).

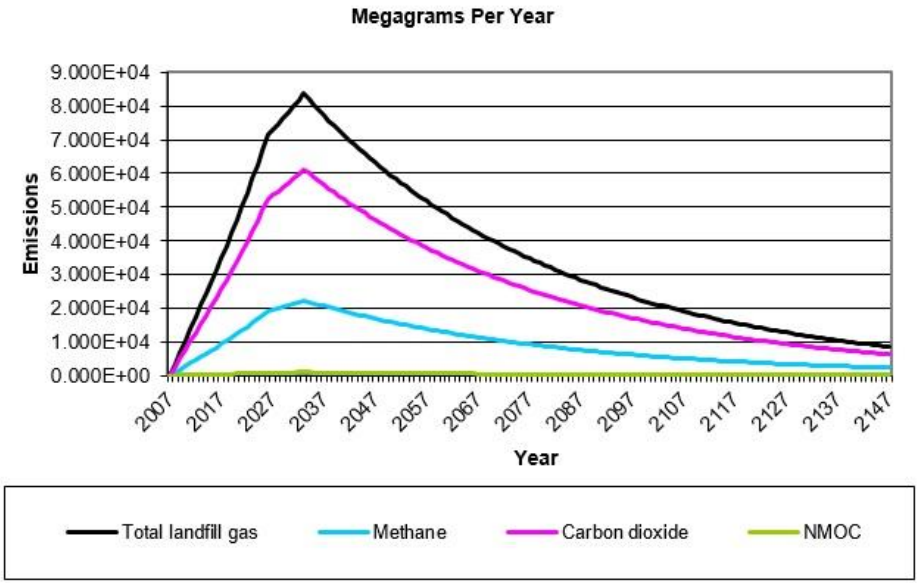
$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}}$$

در معادله‌ی فوق Q_{CH4} مقدار متان تولیدی محاسبه شده برحسب متر مکعب بر سال، i برابر یک سال افزایش زمان، n اختلاف سال مورد نظر برای محاسبه‌ی تولید گاز و سال تاسیس محل دفن زباله، J زمان برحسب ۰,۱ سال، k نرخ تولید متان برحسب معکوس سال (در این مطالعه $0.02\ year^{-1}$)، L_0 پتانسیل ظرفیت تولید متان برحسب متر مکعب بر مگاگرم (در این مطالعه $170\ m^3/ton$)،M_i جرم دفن زباله در سال اول تاسیس محل دفن زباله برحسب مگاگرم،t_{iJ} جرم J مین بخش از زباله دفن شده در J مین سال برحسب دهم سال (به طور مثال ۳,۲ سال) می‌باشد.

در سال ۲۰۰۵، EPA(سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا) از این مدل در برآورد انتشار گاز متان در آمریکای‌مرکزی استفاده و نتیجه‌گیری کرد که نرخ تولید متان (k) برای مناطق پرباران ۰/۲۳ و مناطق کم باران ۰/۲ و مناطق خشک ۰/۱۸ بر سال می‌باشد (Sanphotia *et al.*, 2005; Sanphotia *et al.*, 2006). طبق این تعریف نرخ تولید متان برای شهر مشهد ۰/۲در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

درصد بالای مواد آلی در محل دفن زباله سبب افزایش میزان تولید گاز می‌گردد. در نمودار ۱ مشاهده می شود که در سال‌های آغازین دفن زباله، با توجه به مواد آلی موجود سرعت تولید گاز بسیار بالا می‌باشد وبه تدریج با ورود زباله‌های جدید و با درنظر گرفتن کاهش سرعت تولید گاز در زباله‌های قبلی موجود در محل دفن، سرعت تجزیه‌ی مواد آلی به تدریج کاهش می‌یابد که در این حالت وجود زباله‌های قدیمی‌تر در محل دفن باعث کاهش سرعت تولید گاز می‌شود.با توجه به مقدار تناژ سالانه لندفیل میامی مشهد از سال ۱۳۸۶تا سال ۱۴۱۱ و با توجه به شرایط آب و هوایی مشهد و تاثیر آن در معادله نرخ متان، میزان تولید متان، کربن‌دی‌اکسید و آلاینده‌ها به صورت شکل ۱ می‌باشد.



شکل ۱. میزان انتشارات لندفیل جدید مشهد (مگاگرم)

نتایج نشان می دهد که سال ۱۴۱۲ (۲۰۳۳) بیوگاز تولیدی به‌مقدار بیشینه‌ی خود یعنی بیش‌از ۸۳۰۰۰۰۰۰ کیلوگرم‌درسال می‌رسد، که ازاین مقدار بیش‌از ۲۲۰۰۰۰۰۰ کیلوگرم‌درسال گاز متان تولیدی است. دراین مطالعه با درنظر گرفتن حدود ۷۰٪ مقدار بیشینه‌ی متان تولیدی یعنی ۱۵۰۰۰۰۰۰کیلوگرم‌درسال برای شروع به کار استحصال بیوگاز (نصب تجهیزات) این نتیجه حاصل‌شد که درمحدوده‌ی سال‌های (رسیدن به ۷۰٪ بیشینه‌ی متان تولیدی) تا سال ۲۰۵۳ (کاهش متان تولیدی از ۷۰٪ مقدار بیشینه) در یک محدوده‌ی ۳۰ ساله از ۱۴۰ سال تولید متان توسط لندفیل مقداری بالغبر ۵۰٪ کل متان تولیدی لندفیل تولید می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مقدار تولید متان در لندفیل شهر مشهد به استفاده از نرم افزار LandGEM برآورد شد که نتایج به دست‌آمده از آن می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های تولید انرژی و سایر کاربردها از گازهای حاصله از لندفیل شهر مشهد و استان خراسان رضوی مورد توجه قرار گیرد. نتایج حاصله نشان داد که مقدار بیشینه تولید متان درلندفیل جدید مشهد با میانگین تناژ سالانه بالغبر ۴۸۰ میلیون کیلوگرم بیش‌از ۳۷۰۰ مترمکعب درساعت خواهدبود. طبق بررسی‌هایی که انجام شد سال ۲۰۲۳ که مقدار متان تولیدی به بیش از ۷۰٪ بیشینه‌ی خود می‌رسد برای شروع‌به‌کار استحصال بیوگاز پیشنهاد می‌شود چرا که از این سال به مدت ۳۰ سال، بیش از۵۰ درصد کل متان لندفیل تولید می‌شود.

منابع

پاپلی یزدی م ح.، و وثوقی، ف. ۱۳۸۳. ساماندهی صنایع بازیافت مواد زاید جامد در شهر مشهد، مجله جغرافیا و توسعه، شماره سوم، صفحه: ۱۴۷-۱۶۶.

سازمان مدیریت چسماند شهرداری مشهد. قابل دسترس در http://www.wmo.mashhad.ir

عمرانی ق،ملکیا،شرافتمولاع. ۱۳۸۵. بررسیکمیتوکیفیتموادزائدوقابلیتبازیافتآندراستانسیستانوبلوچستان،علوموتکنولوژیمحیطزیست،دورههشتم،شماره۴، صفحه: ۱۷-۱۱.

EPA. 1995. U.S. Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emissions Factors,AP-42 ،Fifth

H.christensen ،Thomas ،et al. ،1996 ،"Lanfilling of Waste:Biogas"

http://www.epa.gov/ttn/catc/product.html#software

Sanphotia, N., Towprayoona, S., Chaiprasertc, P., Nopharatanad, A., 2006.The effects if leachate recirculation with supplemental water addition on methane production and waste decomposition inasimulated tropical landfill.journal of Environmental management81,27-35.

Watzinger, A., Re chenauer, T.G., Blum, W.E.H., Gerzabek, M.H., Zechmeister-Boltenstern, S., 2005.The effect of land fill leachate irrigation on soil gas position:methae oxidation and nitrous oxide formation.Water,Air,and Soil pollution 164,295-313.