Journal of Urban Management & Environmental Engineering

Journal homepage: https://jumee.kgut.ac.ir
Vol.1, No.2; 2023.pp: 16-33

Research paper

(Received May 31, 2023 Accepted Aug. 23, 2023)

Estimating the amount of recoverable gases at the Alborz landfill site in Qom Province using LandGem software

Amin Jalayer*[1], Ramezan Heydari[1]

[1] *Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran*

Abstract

Waste management is a global issue whose importance is increasing day by day. Neglecting proper waste management has caused special problems that can be solved through the coordination of science and experience within the framework of proper management, and in this way pollution caused by landfills, including air pollution, can be minimized. In addition, optimal use of the gases produced in the landfill can be made; therefore, estimating the amount of gases that can be extracted from landfills can help in proper waste management.

The purpose of this research was to estimate the amount of extractable gases in the Alborz landfill site in Qom Province. For this purpose, the amount of waste in the landfill, the composition of the waste, and the environmental and climatic conditions of the region were entered into the LandGem software, and an estimate of the amount of extractable gases at this site was made. Considering the number of remaining cells from the Alborz site and the amount of waste production, the useful life of the Alborz site is considered to be 15 years.

After estimating the production waste, the necessary inputs for the software to estimate the recoverable gas in the period of 5 and 15 years from 2021 to 2035 have been prepared. According to the calculations made with LandGem software, the maximum amount of gas that can be extracted from the Alborz site per year for a period of 5 years is 11 million cubic meters for rapidly decomposing waste and 0.5 million cubic meters for slowly decomposing waste. Also, the maximum amount of gas that can be extracted from the landfill per year for a period of 15 years for rapidly decomposing waste is calculated at 31 million cubic meters and for slowly decomposing waste at 1.6 million cubic meters, which can be managed and used optimally with proper planning.

Keywords: Waste, Landfill, Methane, Qom, LandGem

* *Corresponding Author: Amin Jalayer*
Email: Amin.jalayer@ut.ac.ir
Phone:09380894501

Doi:10.48306/jumee.2023.399904.1008

نشریه علمی مدیریت شهری و مهندسی محیط زیست

آدرس نشریه:https://jumee.kgut.ac.ir

سال اول/شماره دوم/تابستان ۱۴۰۲/صفحه ۱۶-۳۳

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲ /۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۶/۸

برآورد میزان گازهای قابل استحصال در سایت دفن پسماند البرز استان قم با استفاده از نرم‌افزار لندجم

امین جلایر*[۱]، رمضان حیدری[۲]

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دکتری مدیریت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست،دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

مدیریت پسماند یک موضوع جهانی است که اهمیت آن روزبه‌روز افزایش می‌یابد. بی‌توجهی به امر مدیریت مناسب پسماند باعث ایجاد مشکلات ویژه‌ای شده است که رفع آن‌ها از طریق هماهنگی علم و تجربه در چارچوب یک مدیریت صحیح امکان‌پذیر است و از این طریق می‌توان آلودگی‌های ناشی از محل‌های دفن پسماند از جمله آلودگی هوا را به حداقل رساند و علاوه بر آن از گازهای تولیدشده در لندفیل استفاده مطلوب نمود؛ لذا برآورد میزان گازهای قابل استحصال از محل‌های دفن پسماند می‌تواند در مدیریت صحیح پسماند کمک کند. هدف از این تحقیق برآورد میزان گازهای قابل استحصال در سایت دفن پسماند البرز استان قم بوده است. برای این منظور، میزان پسماند تولیدشده، ترکیب پسماند و شرایط محیطی و اقلیمی منطقه وارد نرم‌افزار لندجم شده و برآوردی از میزان گازهای قابل استحصال این سایت انجام‌شده است. با توجه به میزان سلول‌های باقیمانده از سایت البرز و میزان پسماند تولیدی، عمر مفید سایت البرز ۱۵ سال در نظر گرفته‌شده است. پس از تخمین پسماند تولیدی، ورودی‌های لازم برای نرم‌افزار برای برآورد گاز قابل استحصال در دوره ۵ و ۱۵ ساله از سال ۲۰۲۱ الی ۲۰۳۵ تهیه‌شده است. با توجه به محاسبات انجام‌شده با نرم‌افزار لندجم حداکثر میزان گاز قابل استحصال از سایت البرز در سال برای یک دوره ۵ ساله برای پسماندهای سریع تجزیه شونده برابر ۱۱ میلیون مترمکعب و برای پسماندهای کند تجزیه شونده برابر ۰.۵ میلیون مترمکعب است. همچنین حداکثر میزان گاز قابل استحصال از محل دفن در سال برای یک دوره ۱۵ ساله برای پسماندهای سریع تجزیه شونده برابر ۳۱ میلیون مترمکعب و برای پسماندهای کند تجزیه شونده برابر ۱.۶ میلیون مترمکعب محاسبه‌شده است که با برنامه‌ریزی صحیح می‌تواند مدیریت و استفاده مطلوب داشته باشد.

کلمات کلیدی: پسماند، لندفیل، متان، قم، لندجم

Doi:10.48306/jumee.2023.399904.1008

* نویسنده مسئول: امین جلایر

ایمیل: Amin.Jalayer@ut.ac.ir

شماره تماس:۰۹۳۸۰۸۹۴۵۰۱

۱- مقدمه

تولید پسماند یک موضوع جهانی است که اهمیت آن روزبه‌روز افزایش می‌یابد. این امر خود محصول دو عامل اصلی افزایش جمعیت و مصرف‌گرایی است.

مشکل دفع پسماند همواره گریبان گیر بشر بوده و او را وادار نموده تا همواره برای مقابله با آن چاره‌اندیشی کند. بی‌توجهی به امر مدیریت مناسب مواد زائد جامد باعث ایجاد مشکلات ویژه‌ای شده است که رفع آن‌ها از طریق هماهنگی علم و تجربه در چارچوب یک مدیریت صحیح امکان‌پذیر است.

گسترش مداوم شهرها از یک‌سو و ازدیاد و توسعه فعالیت‌های صنعتی، تجاری و خدماتی از سوی دیگر منجر به تولید مقادیر زیادی مواد زائد در شهرها شده است که اگر سیستم مدیریتی این پسماندها مطابق با استانداردهای زیست‌محیطی و بهداشتی انجام نگردد مواجه با مشکلاتی از جمله آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، پرورش حشرات ناقل بیماری‌ها، آلودگی هوا، آلودگی خاک و شیوع بیمارهای مختلف خواهند شد. علاوه بر مسائل بهداشتی و زیست‌محیطی برنامه‌ریزی صحیح در ارتباط با مدیریت مواد زائد جامد از نظر اقتصادی، اجتماعی و زیبایی‌شناختی نیز اهمیت دارد.

استان قم با در برگرفتن مساحتی کمتر از یک درصد مساحت کل کشور در سال ۱۳۷۳ از استان مرکزی جدا و مستقل گردید و شهر قم نیز به‌عنوان مرکز آن تعیین گردید. شهر قم در پهنه بسیار کم شیب دشت قم بر روی مخروط افکنه قم رود واقع‌شده است. این پهنه شامل اراضی با ارتفاع حدود ۱۰۰۰ متر و با شیب عمومی شمال شرقی است که در بخش‌های غربی و شرقی عمدتاً شیب در خلاف جهت رودخانه بوده و درواقع سواحل رودخانه در خط الراس شهر قرار دارد.

سایت دفن پسماند شهری البرز در استان قم در ۸ کیلومتری شمال شرقی شهر قم و در مختصات ۳۴۴۴۵۳ طول شرقی و ۵۰۵۱۲۱ عرض شمالی در سال ۱۳۶۲ با وسعت ۱۴۲ هکتار شروع به کارکرده است.

شهر قم به‌عنوان یکی از شهرهای مهم و مرکزی ایران، با مسئله پسماند و مدیریت آن مواجه است. پسماند تولیدشده در این شهر از منابع مختلفی ازجمله خانوارها، مراکز تجاری، ادارات و صنایع تولیدی و خدماتی جمع‌آوری می‌شود و به سایت دفن پسماند البرز در شمال شرقی شهر منتقل می‌شود. بااین‌حال، مدیریت پسماند در شهر قم با چالش‌هایی مانند عدم توانایی در جمع‌آوری و دفع پسماند، عدم رعایت استانداردهای زیست‌محیطی در سایت دفن پسماند و نظارت نامناسب بر فعالیت‌های سایت دفن پسماند مواجه است.

برای مدیریت بهتر پسماند در شهر قم، نیاز به اجرای روش‌های مناسب جمع‌آوری، جداسازی و دفن پسماند، ارتقای ظرفیت سامانه‌های جمع‌آوری و دفع پسماند و نظارت صحیح بر فعالیت‌های سایت دفن پسماند البرز است. همچنین، اجرای مقررات زیست‌محیطی و پایش دوره‌ای برای کنترل آلودگی محیطی نیز می‌تواند به بهبود وضعیت مدیریت پسماند در شهر قم کمک کند.

برای بهبود وضعیت سایت دفن پسماند البرز، نیاز به کارگیری روش‌های مناسب جمع‌آوری، جداسازی و دفن پسماند و نظارت صحیح بر فعالیت‌های سایت دفن پسماند و ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی آن است. همچنین، اجرای مقررات زیست‌محیطی و پایش دوره‌ای برای کنترل آلودگی محیطی می‌تواند به بهبود وضعیت سایت دفن پسماند البرز کمک کند.

بهبود وضعیت سایت دفن پسماند البرز از اهمیت بالایی برخوردار است و اجرای روش‌های مناسب جمع‌آوری، جداسازی و دفن پسماند و نظارت صحیح بر فعالیت‌های سایت دفن پسماند و ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی آن می‌تواند به بهبود کیفیت محیط‌زیست و بهداشت عمومی منطقه کمک کند.

در کل، پسماند شهر قم مسئله‌ای مهم است که نیازمند توجه و اقدامات جدی برای مدیریت بهتر آن است. اجرای روش‌های مناسب جمع‌آوری، جداسازی و دفن پسماند، ارتقای ظرفیت سامانه‌های جمع‌آوری و دفع پسماند و نظارت صحیح بر فعالیت‌های سایت دفن پسماند البرز، می‌تواند به بهبود وضعیت مدیریت پسماند در شهر قم کمک کند.

لندجم یک نرم‌افزار تخصصی برای برآورد میزان گازهای تولیدشده در سایت‌های دفن پسماند است. این نرم‌افزار توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده آمریکا توسعه داده‌شده است و به‌منظور بهبود مدیریت گازهای دفن پسماند و تولید انرژی از آن‌ها به کار می‌رود.

برای برآورد میزان گازهای تولیدی در لندفیل، ابتدا باید ویژگی‌های زیر را در نظر گرفت:

——میزان پسماند تولیدشده در سایت دفن
——ترکیب پسماند
——شرایط محیطی و اقلیمی منطقه

سپس با استفاده از لندجم، با واردکردن این ویژگی‌ها، میزان گازهای تولیدی در سایت دفن پسماند برآورد می‌شود. این نرم‌افزار با استفاده از مدل‌های ریاضیاتی و تجربی، میزان تولید گازهای مختلف ازجمله متان، کربن دی‌اکسید، هیدروژن و... را در طول زمان پیش‌بینی می‌کند.

برای استفاده از لندجم، ابتدا باید اطلاعات ورودی مانند میزان پسماند تولیدی، ترکیب پسماند و شرایط محیطی منطقه را جمع‌آوری کرد و به‌صورت دقیق و کامل وارد نرم‌افزار کرد. سپس نرم‌افزار با استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی، میزان گازهای تولیدی را برآورد می‌کند.

به‌عنوان‌مثال، با واردکردن اطلاعاتی مانند میزان پسماند تولیدشده در سایت لندفیل، ترکیب پسماند، شرایط آب و هوایی و دیگر ویژگی‌های محیطی، لندجم می‌تواند پیش‌بینی کند که در چه زمانی و به چه میزان، گازهایی مانند متان، کربن دی‌اکسید و هیدروژن در سایت دفن تولید خواهند شد. با استفاده از این پیش‌بینی‌ها، می‌توان برنامه‌ریزی‌های مناسبی برای مدیریت گازهای دفن پسماند و تولید انرژی از آن‌ها انجام داد. همچنین، با استفاده از لندجم، می‌توان اثرات مخرب زیست‌محیطی تولید گازهای دفن پسماند را کاهش داد و برنامه‌های مناسبی برای کنترل آلودگی هوا و آب زیرزمینی ناشی از این گازها را اجرا کرد.

برآورد میزان تولید گاز در محل دفن پسماند شهری با استفاده از نرم‌افزار لندجم، موضوعی است که در سال‌های اخیر موردتوجه قرارگرفته است. در تحقیقی که توسط راستی‌کردار[1] در سال ۲۰۱۸ انجام‌شده است، برآورد تولید گاز در محل دفن پسماند شهری با استفاده از نرم‌افزار لندجم و با توجه به شرایط محیطی متفاوت، انجام‌شده است [۱]. همچنین، در تحقیقی که توسط حسینی[2] و همکارانش در سال ۲۰۱۸ انجام‌شده است، با استفاده از نرم‌افزار لندجم، میزان تولید گاز در محل دفن پسماند شهری در شهرستان همدان برآورد شده است [۲].

در تحقیقی دیگر که توسط فلاحی‌زاده[3] و همکارانش در سال ۲۰۱۹ انجام‌شده است، از نرم‌افزار لندجم برای برآورد میزان تولید گاز متان در محل دفن پسماند شهری در منطقه یاسوج استفاده‌شده است [۳]. همچنین، در سال ۲۰۱۴ در تحقیقی که توسط رضائی[4] و همکارانش انجام‌شده است، با استفاده از نرم‌افزار لندجم، میزان تولید گاز در محل دفن پسماند شهری در سنندج برآورد شده است و نشان داده است که مدیریت موثر می تواند آلودگی هوای ناشی از لندفیل را کاهش داده و توسعه پایدار را ارتقا دهد [۴].

مختاری[5] و همکارانش در سال ۲۰۲۰ در تحقیقی به نحوه استفاده از نرم افزار لندجم برای بررسی تأثیر شرایط محیطی بر تولید گاز در محل دفن پسماند پرداخته‌اند. در این مطالعه، با استفاده از داده‌هایی از محل دفن پسماند شهر یزد، تأثیر شرایط محیطی مانند درجه حرارت، رطوبت، و میزان بارش بر تولید متان و دی اکسید کربن در آن محاسبه شده است. نتایج نشان داده‌اند که تغییر در شرایط محیطی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر تولید گاز در محل دفن پسماند داشته باشد [۵].

ورما و برونگان[6] در سال ۲۰۲۲ در مطالعه‌ای به نحوه استفاده از نرم افزار لندجم برای پیش‌بینی تولید گاز در محل دفن پسماند در شهر هوشی مین[7] پرداخته‌اند. در این مطالعه، با استفاده از داده‌هایی از محل دفن پسماند در هوشی مین، تولید متان و دی اکسید کربن در آن محاسبه شده است. نتایج نشان داده‌اند که استفاده از نرم افزار لندجم می‌تواند به بهبود مدیریت پسماند و کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای کمک کند [۶].

---

[1] Rastikerdar
[2] Hosseini
[3] Fallahizadeh
[4] Rezaee
[5] Mokhrari
[6] Verma and Borongan
[7] Ho Chi Minh City

چاندرا و گانگولی[8] در سال ۲۰۲۳ نیز به نحوه استفاده از نرم افزار لندجم برای مدل‌سازی تولید متان در محل دفن پسماند پرداخته‌اند. در این مطالعه، با استفاده از داده‌هایی از محل دفن پسماند شهر کان‌پور[9]، تولید متان در طول زمان مورد مدل‌سازی قرار گرفته است. همچنین، تأثیر عوامل مؤثر بر تولید متان، مانند دما، رطوبت، و مقدار بیوماس پسماند، بررسی شده است. نتایج نشان داده‌اند که استفاده از نرم افزار لندجم به مدیران محل دفن پسماند کمک می‌کند تا بهبود مدیریت پسماند و کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را دنبال کنند [۷].

در کل، استفاده از لندجم برای برآورد میزان گازهای تولیدی در سایت دفن پسماند لندفیل، می‌تواند به بهبود مدیریت پسماند و کاهش آلودگی زیست‌محیطی در منطقه کمک کند.

به‌طورکلی، تحقیقات انجام‌شده در این زمینه نشان می‌دهند که استفاده از شبیه‌سازی‌های مولکولی با استفاده از نرم‌افزار لندجم، می‌تواند به دقیق‌تر و کامل‌تر شدن مدل‌های مربوط به خواص گاز لندفیل پسماند شهری کمک کند. این مدل‌ها می‌توانند در برنامه‌ریزی بهینه‌تر بهره‌برداری از گاز لندفیل، ارزیابی ریسک‌های مربوط به آن و همچنین طراحی فرآیندهای استخراج استفاده شوند.

تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که استفاده از نرم‌افزار لندجم می‌تواند به برآورد دقیق‌تر میزان تولید گاز در محل دفن پسماند شهری کمک کند. این اطلاعات می‌توانند در برنامه‌ریزی بهینه‌تر استفاده از پسماند شهری، طراحی سیستم‌های بهره‌برداری از گازهای دفنی و کاهش آلودگی محیطی مورداستفاده قرار بگیرند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- میزان پسماند تولیدی

میانگین سالانه و روزانه انواع مختلف پسماندی که در سایت البرز دفن می‌شود به شرح جدول ۱ است.

علاوه بر پسماندهایی که در سایت البرز دفن می‌شوند، به‌طور میانگین روزانه ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ تن (۵۱۸۴ مترمکعب) انواع نخاله‌های ساختمانی در ۴ سایت ویژه دفع نخاله‌های ساختمانی شامل کوه سفید، شادقلی، جمکران و پردیسان نیز دفن می‌گردد.

جدول ۱- پسماند دفن شده در سایت البرز بین سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ (کیلوگرم در سال[۸]

سال	پسماند عادی	پسماند سبز	پسماند شهرک‌ها و صنایع	لجن فاضلاب	پسماند پزشکی	فضولات کشتارگاهی	خونابه کشتارگاه	میانگین کل پسماند دفع شده	
								در سال	در روز
۱۳۹۵	۲۳۰۵۶۷۲۴۷	۸۴۳۶۳۰	۲۳۵۷۳۹۰	۱۶۵۲۳۵۰	۹۰۸۹۴۰	۲۵۸۴۸۷۰	۴۰۰۴۱۱۲۰	۲۳۸۹۱۴۴۲۷	۶۵۴۵۶۰
۱۳۹۶	۲۶۲۱۴۵۸۳۰	۱۹۲۲۴۳۰	۵۸۸۵۵۳۰	۱۶۸۶۹۱۰	۲۷۲۹۲۰۰	۳۴۵۶۰۰۰	۵۲۶۲۲۷۷۰	۳۳۰۴۴۸۶۷۰	۹۰۵۳۳۹
۱۳۹۷	۲۴۲۸۰۲۲۶۰	۲۰۹۱۱۵۳	۴۷۷۲۰۴۰	۱۷۱۴۰۰	۱۳۰۲۴۲۰	۳۵۸۸۰۰۰	۴۵۲۷۹۷۰۰	۳۰۱۰۰۶۹۷۳	۸۲۴۶۷۷
۱۳۹۸	۲۳۲۲۶۲۳۰۸	۲۲۳۲۰۸۵	۵۳۳۹۶۰۰	۵۷۴۶۳۰	۱۳۴۳۹۸۰	۱۹۵۶۰۰۰	۳۵۵۳۸۱۴۰	۲۷۹۲۴۶۷۴۳	۷۶۵۰۶۰

بر اساس تناژ، چگالی و در نظر گرفتن ضریب تراکم، حجم پسماندی که روزانه در اثر دفن پسماند اشغال می‌گردد برآورد شد. میانگین تناژ پسماند عادی که روزانه در سایت البرز دفن می‌گردد عبارت است از ۶۳۶۳۳۵ کیلوگرم. همچنین مجموع انواع مختلف پسماندی که در سایت البرز دفن می‌گردد ازجمله عادی، سبز، لجن فاضلاب، پسماند پزشکی، فضولات و خونابه کشتارگاهی برابر با ۷۶۵۰۶۰ کیلوگرم در روز است. میانگین چگالی پسماند کل شهر قم برابر با ۱۸۰ کیلوگرم در مترمکعب است. لذا با در نظر گرفتن ۶۳۶۳۳۵ کیلوگرم

[8] Chandra and Ganguly
[9] Kanpur city

پسماند خانگی که روزانه در سایت البرز دفن می‌شود، حجم پسماند عادی غیرمتراکم برابر است با ۳۵۳۵ مترمکعب. حجم مجموع انواع پسماند دفنی در سایت البرز نیز با در نظر گرفتن تناژ ۷۶۵۰۵۹ کیلوگرم در روز، برابر است با ۴۲۵۰ مترمکعب.

درصورتی‌که نسبت تراکم (نسبت حجم مواد دریافتی به حجم مواد دفن شده بعد از فشرده شدن) ۲ در نظر گرفته شود، حجم پسماند متراکم دفن شده روزانه شهر قم معادل ۱۷۶۸ مترمکعب و حجم مجموع انواع پسماند متراکم دفن شده در سایت البرز ۲۱۲۵ مترمکعب در روز برآورد می‌گردد.

تجربیات موجود نشان می‌دهد که حجم مواد پوششی سلول‌های دفن از ۱۷ درصد برای ترانشه‌ها و گودال‌های عمیق تا ۳۳ درصد برای محل‌های دفن کم‌عمق، متغیر است. با توجه به اینکه در شرایط فعلی دفن پسماند در سایت البرز به‌صورت ارتفاعی و گودال عمیق انجام می‌گیرد، حجم مواد پوششی ۱۷ درصد در نظر گرفته می‌شود. لذا برای تعیین حجم اشغالی مرکز دفن درنتیجه دفن روزانه پسماند باید ۱۷ درصد به برآورد اولیه اضافه گردد. درنتیجه حجم اشغالی روزانه از مرکز دفن ۲۴۸۶ مترمکعب (۲۴۸۶=۰.۱۷×۲۱۲۵+۲۱۲۵) برآورد می‌گردد.

از اراضی ۱۴۲ هکتاری سایت البرز حدود ۶۰ درصد مورد دفن قرارگرفته و نزدیک به ۴۰ درصد معادل ۵۶/۲ هکتار همچنان جزو ظرفیت دفن به شمار می‌رود. در صورت دفن در سلول‌های با عمق ۱۵ متر مطابق روال معمول فعلی، روزانه به ۱۶۶ مترمربع و سالانه ۶۰۵۹۰ مترمربع (حدود ۶ هکتار) زمین جهت دفن نیاز است. می‌توان برای احداث تأسیسات و زیرساخت‌ها به این وسعت ۲۰ درصد نیز اضافه نمود که برآورد اراضی موردنیاز برای دفن هرسال را به ۷/۲ هکتار می‌رساند. لذا ۵۶/۲ هکتار باقی‌مانده از مرکز دفن برای دست‌کم ۷ سال آینده کافی است. با توجه به اینکه می‌توان بعد از ۳ سال دفن را بر روی ترانشه‌های قبل انجام داد، به نظر می‌رسد اراضی فعلی جوابگوی نیاز شهر قم برای دفن پسماند جامد بر اساس روش فعلی دفن باشد.

روش دیگری برای محاسبه حجم اشغال‌شده از مرکز دفن توسط پسماند وجود دارد که مبنای آن پسماند تولیدی توسط هر نفر است. در این روش حجم موردنیاز برای دفن پسماند هر نفر در یک سال از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V = \frac{R}{D}(1 - \frac{P}{100}) \times C_v \qquad (۱)$$

حجم موردنیاز برای دفن پسماند هر نفر در یک سال برحسب مترمکعب=V

R= وزن پسماند تولیدی برای هر نفر در سال برحسب کیلوگرم

D= چگالی متوسط پسماند برحسب کیلوگرم بر مترمکعب

P= درصد کاهش حجم مواد براثر تراکم

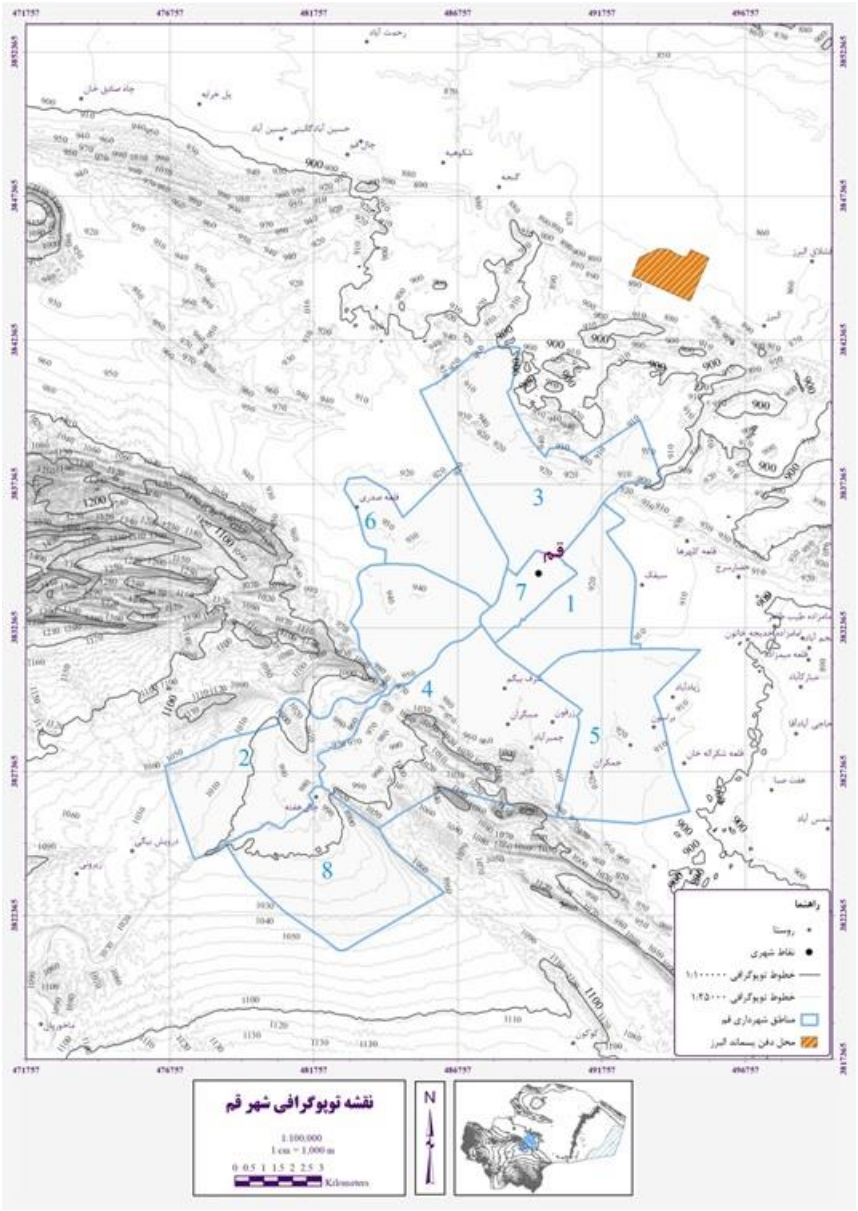
C_v= حجم مواد پوششی برحسب مترمکعب

بر این اساس برآورد حجم موردنیاز برای دفن پسماند یک شهروند قمی به شرح زیر است:

حجم موردنیاز برای دفن پسماند یک شهروند قمی 197/1÷180 (1- 50÷100)×1/17=1/095 (مترمکعب در سال)

حجم مجموع پسماند جامد دفن شده در شهر قم در سال 1/095 × 1201158 = 1315268 (مترمکعب در سال)

درصورتی‌که به روش فعلی پسماند در گودال‌های با عمق ۱۵ متر دفن شود، اراضی موردنیاز برابر خواهند بود با ۸۷۶۸۵ متر مربع. لذا می‌توان نتیجه گرفت در صورت بهره‌گیری از گودال‌های ۱۵ متری برای دفن پسماند جامد شهر قم به روش فعلی، سالانه به حدود ۹ هکتار زمین تنها برای سلول‌های دفن نیاز است. با احتساب ۲۰ درصد اراضی موردنیاز برای تأسیسات و زیرساخت‌ها این عرصه به ۱۰/۸ هکتار افزایش می‌یابد. با این حساب ۵۶/۲ هکتار باقی‌مانده از مرکز دفن برای دست‌کم ۵ سال آینده کافی است. با توجه به اینکه می‌توان بعد از ۳ سال دفن را بر روی ترانشه‌های قبل انجام داد، به نظر می‌رسد اراضی فعلی جوابگوی نیاز شهر قم برای دفن پسماند جامد بر اساس روش فعلی دفن باشد.



شکل ۱- توپوگرافی شهر قم و محل دفن پسماند البرز

۲-۲- بررسی و ارائه سرانه پسماند تولیدی

در مطالعات حاضر به جهت اشراف دقیق بر شاخص‌های کمی پسماند تولیدی در شهر قم، نمونه‌برداری مستقیم از پسماند تولیدی، بررسی تناژ و آنالیز فیزیکی و شیمیایی صورت پذیرفته است. بر این اساس به ازای هر شهروند ساکن قم روزانه حدود ۳۳۵ گرم پسماند تولید می‌شود. البته ازآنجایی‌که این مقدار به‌دست‌آمده از برداشت زباله از درب منازل است، سرانه یادشده نمایانگر سهم شهروندان از پسماند خانگی یا مسکونی است و پسماند تولیدشده در اصناف، ادارات و غیره را شامل نمی‌شود.

برای محاسبه سرانه مجموع پسماندهای تولیدی در شهر قم، باید دیگر انواع پسماند ازجمله پسماند سبز را نیز در نظر گرفت. بر این اساس و با توجه به پژوهش انجام شده سرانه مجموع پسماند تولیدی به ازای هر شهروند قمی برای پسماندهای تر، خشک و سبز معادل ۵۴۰ گرم در روز برآورد می‌گردد.

۳-۲- ساختار جمعیت در محدوده موردمطالعه

در آبان ۹۵، بر طبق سرشماری صورت گرفته جمعیت قم ۱۲۰۱۱۵۸ هست که از این تعداد ۵۰.۷ درصد مرد و ۴۹.۳ درصد زن هستند. بر اساس تغییرات جمعیتی و خانوار شهر قم در فاصله دو سرشماری آخر مابین سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ نشان‌دهنده ۱۲.۸ درصد رشد جمعیت و ۱۹.۶ درصد رشد تعداد خانوار است. متوسط نرخ سالانه شهر قم ۲.۴ درصد است. بیشترین نرخ رشد سالانه جمعیت مربوط به منطقه ۸ شهر قم با ۲۵.۴ درصد و کمترین نرخ متوسط رشد سالانه با نرخ ۱.۵- درصد مربوط به منطقه ۷ شهر قم است.

جدول ۲- تغییرات جمعیت و خانوار در دو سرشماری اخیر

شرح	۱۳۹۰		۱۳۹۵		تغییرات (درصد)		متوسط نرخ
	جمعیت	خانوار	جمعیت	خانوار	جمعیت	خانوار	رشد سالانه
کل شهر قم	۱۰۶۴۹۸۱	۲۹۸۴۸۸	۱۲۰۱۱۵۸	۳۵۶۹۷۶	۱۲.۸	۱۹.۶	۲.۴
منطقه ۱	۱۸۷۷۱۶	۵۴۵۵۷	۱۹۲۰۶۰	۶۰۷۱۶	۳.۲	۳.۱۱	۰.۵
منطقه ۲	۱۸۴۴۶۵	۴۹۱۷۴	۱۸۹۷۰۸	۵۴۱۸۵	۸.۲	۲.۰۱	۰.۶
منطقه ۳	۱۷۲۲۷۹	۴۹۴۱۹	۱۷۱۳۶۳	۵۲۴۹۴	-۵	۲.۶	-۰.۱
منطقه ۴	۱۶۱۵۵۰	۴۵۹۹۰	۱۹۲۷۵۵	۵۷۳۹۲	۳.۱۹	۸.۲۴	۳.۶
منطقه ۵	۷۱۴۳۳	۱۸۶۴۴	۷۸۴۰۱	۲۱۹۴۶	۸.۹	۷.۱۷	۱.۹
منطقه ۶	۲۰۳۲۹۲	۵۵۳۱۳	۲۱۳۳۵۶	۶۱۵۷۸	۰.۵	۳.۱۱	۱
منطقه ۷	۴۴۹۳۴	۱۳۴۷۱	۴۱۶۲۵	۱۲۷۴۳	-۴.۷	-۴.۵	-۱.۵
منطقه ۸	۳۹۳۱۲	۱۱۹۲۰	۱۲۱۸۹۰	۳۵۹۲۲	۱.۰۱۲	۴.۱۰۲	۲۵.۴

همچنین طبق آخرین سرشماری صورت گرفته از ۱۲۰۱۱۵۸ نفر جمعیت قم، ۶۰۹۵۴۱ مرد و ۵۹۱۶۱۷ زن بوده‌اند که درنتیجه نسبت جنسی برابر ۱.۳ به دست می‌آید. به عبارتی به ازای هر ۱۰۰ زن ۱۰۳ مرد وجود دارد و این نسبت برای کودکان ۰ تا ۱۴ سال ۱۰۵ و برای بزرگ‌سالان ۶۵ ساله و بیشتر ۹۹ هست. از جمعیت این بخش ۲۶ درصد در گروه سنی کمتر از ۱۵ ساله، ۶۹.۲ درصد در گروه سنی ۱۵-۶۴ ساله و ۴.۸ درصد در گروه سنی ۶۵ سال و بیشتر واقع‌شده است. با توجه به افق ۱۰ ساله طرح و با در نظر گرفتن عدد ۲.۴ درصد نرخ رشد جمعیت جدول زیر اطلاعات مربوط را در خصوص ۱۰ ساله آینده ارائه می‌دهد.

جدول ۳- اطلاعات مربوط به نرخ رشد جمعیت در افق تحقیق (۱۴۰۸)

منطقه	۱۳۹۵	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵	۱۴۰۶	۱۴۰۷	۱۴۰۸
منطقه ۱	۱۹۲۰۶۰	۱۹۶۶۷۰	۱۹۲۰۶۲	۱۹۶۶۷۱	۱۹۲۰۶۳	۱۹۶۶۷۳	۱۹۲۰۶۴	۱۹۶۶۷۴	۱۹۲۰۶۵	۱۹۶۶۷۵	۲۰۱۳۹۵	۲۰۶۲۲۸
منطقه ۲	۱۸۹۷۰۸	۲۰۳۶۹۷	۲۰۸۵۸۶	۲۱۳۵۹۲	۲۱۸۷۱۸	۲۲۳۹۶۸	۲۲۹۳۴۳	۲۳۴۸۴۷	۲۴۰۴۸۳	۲۴۶۲۵۵	۲۵۲۱۶۵	۲۵۸۲۱۷
منطقه ۳	۱۷۱۳۶۳	۱۸۴۰۰۰	۱۸۸۴۱۶	۱۹۲۹۳۸	۱۹۷۵۶۸	۲۰۲۳۱۰	۲۰۷۱۶۵	۲۱۲۱۳۷	۲۱۷۲۲۸	۲۲۲۴۴۲	۲۲۷۷۸۰	۲۳۳۲۴۷
منطقه ۴	۱۹۲۷۵۵	۲۰۶۹۶۹	۲۱۱۹۳۶	۲۱۷۰۲۳	۲۲۲۲۳۱	۲۲۷۵۶۵	۲۳۳۰۲۶	۲۳۸۶۱۹	۲۴۴۳۴۶	۲۵۰۲۱۰	۲۵۶۲۱۵	۲۶۲۳۶۵
منطقه ۵	۷۸۴۰۱	۸۴۱۸۲	۸۶۲۰۳	۸۸۲۷۲	۹۰۳۹۰	۹۲۵۶۰	۹۴۷۸۱	۹۷۰۵۶	۹۹۳۸۵	۱۰۱۷۷۰	۱۰۴۲۱۳	۱۰۶۷۱۴
منطقه ۶	۲۱۳۳۵۶	۲۲۹۰۸۹	۲۳۴۵۸۷	۲۴۰۲۱۸	۲۴۵۹۸۳	۲۵۱۸۸۶	۲۵۷۹۳۲	۲۶۴۱۲۲	۲۷۰۴۶۱	۲۷۶۹۵۲	۲۸۳۵۹۹	۲۹۰۴۰۵
منطقه ۷	۴۱۶۲۵	۴۴۶۹۵	۴۵۷۶۷	۴۶۸۶۶	۴۷۹۹۰	۴۹۱۴۲	۵۰۳۲۲	۵۱۵۲۹	۵۲۷۶۶	۵۴۰۳۲	۵۵۳۲۹	۵۶۶۵۷
منطقه ۸	۱۲۱۸۹۰	۱۳۰۸۷۸	۱۳۴۰۱۹	۱۳۷۲۳۶	۱۴۰۵۳۰	۱۴۳۹۰۲	۱۴۷۳۵۶	۱۵۰۸۹۳	۱۵۴۵۱۴	۱۵۸۲۲۲	۱۶۲۰۲۰	۱۶۵۹۰۸
کل شهر	۱۲۰۱۱۵۸	۱۲۸۰۱۸۱	۱۳۰۱۵۷۷	۱۳۳۲۸۱۵	۱۳۵۵۴۷۴	۱۳۸۸۰۰۵	۱۴۱۱۹۸۹	۱۴۴۵۷۸۶	۱۴۷۱۲۴۹	۱۵۰۶۵۵۹	۱۵۴۲۷۱۶	۱۵۷۹۷۴۱

۲-۳-۱-برآورد کمی گاز قابل استحصال از محل دفن برای دوره‌های ۵ و ۱۵ ساله (به ترتیب برای پسماندهای سریع تجزیه شونده و کند تجزیه شونده)

گاز محل دفن، متشکل از چندین گاز در مقادیر بالا (گازهای اصلی) و چندین گاز در مقادیر خیلی پایین (گازهای فرعی) هست. گازهای اصلی از تجزیه بخش مواد آلی قابل‌تجزیه بیولوژیکی (فسادپذیر) پسماند شهری، تولید می‌شوند. گازهای فرعی، اگرچه در مقادیر کم وجود دارند اما ممکن است سمی بوده و برای بهداشت عمومی خطرناک باشند. ازلحاظ حجمی، معمولاً گاز محل دفن شامل ۴۵ تا ۶۰ درصد متان (CH_4) و ۴۰ تا ۶۰ درصد دی‌اکسید کربن (CO_2) هست. هم‌چنین گاز محل دفن، شامل مقادیر کمی نیتروژن (N_2)، اکسیژن (O_2)، آمونیاک (NH_3)، سولفید هیدروژن (H_2S)، هیدروژن (H_2)، سولفیدها (S_2)، منواکسید کربن (CO) و ترکیبات آلی غیر متانی (NMOCs) مانند تری‌کلرواتیلین، بنزن و وینیل کلراید، هست. جدول زیر گازهای متداول محل دفن، درصدهای حجمی و ویژگی‌های آن‌ها را فهرست نموده است.

جدول ۴- ترکیبات متداول گاز محل دفن[۹]

گاز	درصد حجمی	خصوصیات
متان	۴۵ تا ۶۰	گازی است که به‌صورت طبیعی به وجود می‌آید. این گاز بدون رنگ و بو است. در ایالات‌متحده، محل‌های دفن، بزرگ‌ترین منبع انتشار متان مصنوعی است.
دی‌اکسید کربن	۴۰ تا ۶۰	به‌طور طبیعی در غلظت‌های پایین در اتمسفر (۰.۰۳ درصد) یافت می‌شود. این گاز بی‌رنگ، بی‌بو و کمی اسیدی است.
نیتروژن	۲ تا ۵	گاز نیتروژن حدود ۷۹ درصد اتمسفر را تشکیل می‌دهد. این گاز بی‌رنگ، بی‌بو و بدون طعم است.
اکسیژن	۰.۱ تا ۱	گاز اکسیژن تقریباً ۲۱ درصد اتمسفر را تشکیل می‌دهد. این گاز بی‌رنگ، بی‌بو و بدون طعم است.
آمونیاک	۰.۱ تا ۱	گازی بی‌رنگ با بوی تند و زننده است.
ترکیبات آلی بدون متان (NMOCs)	۰.۰۱ تا ۰.۶	ترکیبات آلی هستند (مانند ترکیباتی که شامل کربن هستند). (متان یک ترکیب آلی است اما به‌عنوان NMOCs مطرح نیست). این ترکیبات که به‌طور متداول در محل‌های دفن یافت می‌شوند شامل آکریلونیتریک بنزن، ۱ و ۱ دی‌کلرواتان، ۱ و ۲ سیس دی کلرواتیلن، دی کلرومتان، کربنیل سولفید، اتیل-بنزن، هگزان، متیل اتیل کتون، تترا کلرواتیلن، دی‌کلرومتان، تولوین، تری‌کلرواتیلن، کلرید وینیل و گزیلن‌ها.
سولفیدها	۰ تا ۱	سولفیدها (مانند سولفید هیدروژن، دی‌متیل سولفید، مرکاپتان‌ها) گازهایی هستند که به‌طور طبیعی ایجاد می‌شوند و بوی شبیه تخم‌مرغ فاسد شده دارند. سولفیدها، حتی در غلظت‌های پایین نیز باعث ایجاد بوهای ناخوشایند می‌شوند.
هیدروژن	۰ تا ۰.۲	گازی است بی‌رنگ و بی‌بو
مونوکسید کربن	۰ تا ۰.۲	گازی است بی‌رنگ و بی‌بو

❖ تولید گاز محل دفن

گازهای اصلی محل دفن، در پنج مرحله متوالی (بیشتر یا کمتر) تولید می‌شوند که این مراحل در زیر تعریف شده‌اند:

- فاز اول-سازگاری و انطباق مقدماتی

در فاز اول تجزیه، باکتری‌های هوازی (باکتری‌هایی که فقط در حضور اکسیژن، زنده می‌مانند) اکسیژن موجود را مصرف نموده و زنجیره‌های مولکولی طویل و پیچیده کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و لیپیدهای موجود در پسماندهای آلی را می‌شکنند. اولین محصول جانبی این فرآیند، دی‌اکسید کربن است. در ابتدای این فاز، مقدار نیتروژن در حد بالایی است اما هرچه به سمت فاز چهارم پیش می‌رویم، مقدار آن کاهش می‌یابد. فاز اول آن‌قدر ادامه پیدا می‌کند تا اکسیژن موجود به اتمام برسد. تجزیه در فاز اول ممکن است چند روز تا چند ماه طول بکشد که این بستگی به مقدار اکسیژن موجود در هنگام دفن پسماندها در محل دفن دارد. مقدار اکسیژن موجود به عواملی همچون چگونگی دفن پسماندها (فشرده‌سازی یا بدون تراکم) در هنگام انجام عملیات دفن بستگی دارد.

- فاز دوم-فاز انتقال

تجزیه فاز دوم، پس از اتمام اکسیژن در محل دفن، شروع می‌شود. در این فاز طی فرآیند غیر هوازی (فرآیندی که نیاز به اکسیژن ندارد)، باکتری‌ها، ترکیبات ایجادشده به‌وسیله باکتری‌های هوازی را به اسید استیک، اسیدلاکتیک و اسید فرمیک و الکل‌هایی مانند متانول و اتانول، تبدیل می‌نمایند. در این حالت محل دفن شدیداً اسیدی می‌شود. هنگامی‌که اسیدها با رطوبت موجود در محل دفن ترکیب می‌شوند، باعث حل شدن مواد مغذی مشخص و در دسترس قرار گرفتن نیتروژن و فسفر برای گونه‌هایی از باکتری‌های موجود در محل دفن می‌شوند. محصولات گازی این فرآیند CO_2 و H_2 است. اگر پوشش محل دفن سوراخ شود و یا اکسیژن به هر طریقی وارد لایه‌های زیرین شود فرآیندهای میکروبی به فاز اول بر خواهند گشت. در این فاز، در صورت تولید شیرابه، PH آن به علت حضور اسیدهای آلی و مقادیر زیاد CO_2 در داخل لندفیل شروع به کاهش می‌نماید.

- فاز سوم-فاز اسید

تجزیه فاز سوم از زمانی شروع می‌شود که باکتری‌های بی‌هوازی، انواع مشخصی از اسیدهای آلی تولیدشده در فاز دوم را مصرف نموده و شکل استات و اسید آلی در می‌آورند. این فرآیند باعث خنثی شدن محیط محل دفن شده و امکان استقرار باکتری‌های تولیدکننده متان را فراهم می‌آورد. باکتری‌های متان ساز و اسیدساز دارای رابطه هم‌زیستی و کاملاً مفید با همدیگر می‌باشند. باکتری‌های اسیدساز، ترکیباتی را برای مصرف باکتری‌های متان ساز، به وجود می‌آورند، در عوض، باکتری‌های متان ساز، دی‌اکسید کربن و استات را (که قسمت عمده‌ای از آن‌ها برای باکتری‌های اسیدساز، سمی می‌باشند) مصرف می‌نمایند. واکنش در این فاز طی دو مرحله متوالی هیدرولیز و اسیدزایی انجام می‌گیرد؛ بنابراین به میکروارگانیسم‌های فعال در این فاز غیر متان‌زا می‌نامند و شامل باکتری‌های بی‌هوازی اجباری و اختیاری است. گاز اصلی این فاز CO_2 هست. مقادیر کمتری از گاز H_2 در این مرحله تولید می‌شود.

- فاز چهارم-فاز تخمیر متان

فاز چهارم تجزیه، زمانی شروع می‌شود که ترکیب و نرخ تولید گاز محل دفن در مقدار نسبتاً ثابتی، باقی می‌ماند. در این فاز گروه دوم میکروارگانیسم فعال غالب می‌شوند و اسیدهای استیک و گاز هیدروژنی که توسط اسیدسازها در مرحله اسیدی (فاز سوم) تولیدشده را به CH_4 و CO_2 تبدیل می‌نمایند. این میکروارگانیسم شدیداً بی‌هوازی‌اند و متان سازها نامیده می‌شوند. گاز فاز چهارم محل دفن معمولاً شامل تقریباً ۴۵ تا ۶۰ درصد حجمی، متان، ۴۰ تا ۶۰ درصد حجمی دی‌اکسید کربن و ۲ تا ۹ درصد حجمی سایر گازها (مانند سولفیدها) هست. در فاز چهارم، مقدار تولید گاز تا حدود ۲۰ سال، تقریباً با مقدار ثابت ادامه می‌یابد؛ هرچند گاز محل دفن تا حدود ۵۰ سال یا بیشتر، پس از زمان دفن پسماندها از محل دفن منتشر می‌گردد. تولید گاز ممکن است از این هم طولانی‌تر شود، به‌عنوان‌مثال درصورتی‌که مقادیر زیادی از مواد آلی (مانند پسماند حیوانات اهلی) در پسماندهای دفن شده موجود باشد. در این فاز، pH داخل لندفیل افزایش خواهد یافت و در مقادیر بیش از خنثی از ۸.۶ تا ۸ متغیر هست. برعکس pH شیرابه، اگر تشکیل شود، افزایش خواهد یافت. غلظت COD، BOD_5 و هدایت الکتریکی آن کاهش می‌یابد. در مقادیر زیادتر pH، اجزای معدنی بیشتری می‌توانند به‌صورت محلول باقی بمانند. هم‌چنین غلظت فلزات سنگین در شیرابه کاهش خواهد یافت.

- فاز پنجم-فاز بلوغ

فاز پنجم، به نام فاز بلوغ شناخته می‌شود و پس از تبدیل مواد آلی قابل‌تجزیه در فاز چهارم به متان و دی‌اکسید کربن، این فاز شروع می‌شود. با حرکت کردن رطوبت از میان پسماندها، آن قسمت از مواد قابل‌تجزیه بیولوژیکی که قبلاً در دسترس نبودند، نیز به متان و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شوند. در فاز پنجم، میزان تولید گاز به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد زیرا بیشتر مواد مغذی به‌وسیله شیرابه در فازهای قبلی حذف‌شده است و ماده‌ای که باقی‌مانده است، به‌کندی تجزیه می‌شود. گازهای اصلی در فاز پنجم، متان و دی‌اکسید کربن می‌باشند. بسته به روش‌های مسدود کردن محل دفن، مقادیر کمی از اکسیژن و نیتروژن نیز ممکن است در گاز محل دفن یافت شوند. در این فاز شیرابه حاوی اسیدفولیک و هیومیک هست چون تجزیه‌ی بیشتر بیولوژیک آن‌ها مشکل است.

علاوه بر فرآیند تجزیه باکتریایی در تولید گاز محل دفن، دو فرآیند دیگر نیز به نام‌های فرار سازی (Volatilization) و واکنش‌های شیمیایی وجود دارند.

فرار سازی:

گازهای محل دفن، زمانی ایجاد می‌شوند که پسماندهای معینی، به‌خصوص ترکیبات آلی، از شکل مایع یا جامد به شکل بخار درآیند؛ که این فرآیند، فرار سازی هست. ترکیبات آلی غیر متانی، موجود در محل دفن ممکن است از فرار سازی مواد شیمیایی دفن شده در محل دفن ناشی شود.

واکنش‌های شیمیایی:

گازهای محل دفن حاوی ترکیبات آلی غیر متانی، ممکن است از واکنش‌های مواد شیمیایی خاص موجود در پسماند به وجود بیایند. مثلاً، اگر ماده سفیدکننده کلردار و آمونیاک، با همدیگر مخلوط شوند، گاز مضری تولید خواهد شد. مقدار و حجم گاز تولیدی در یک محل دفن، به ویژگی‌های پسماند (مانند ترکیب و سن مواد) و برخی فاکتورهای زیست‌محیطی (مانند وجود اکسیژن در محل دفن، مقدار رطوبت و درجه حرارت) بستگی دارد.

ترکیب پسماند:

وجود هرچه بیشتر مواد آلی در محل دفن باعث تولید بیشتر گاز (مانند دی‌اکسید کربن، متان، نیتروژن و سولفید هیدروژن) توسط باکتری‌ها می‌شود. هرچه مواد شیمیایی بیشتری در محل دفن وجود داشته باشد، ترکیبات آلی غیر متانی و سایر گازها در حین واکنش‌های فرار سازی یا شیمیایی، بیشتر تولید می‌شوند.

سن پسماند:

معمولاً پسماندهای دفن شده جدید (مانند پسماندهای دفن شده در کمتر از ۱۰ سال) نسبت به پسماندهای دفن‌شده قدیمی (بیشتر از ۱۰ سال) در طول تجزیه باکتریایی، فرار سازی و واکنش‌های شیمیایی، گاز بیشتری تولید می‌نمایند. معمولاً بیشترین مقدار تولید گاز مربوط به ۵ تا ۷ سال بعد از دفن پسماندها هست.

وجود اکسیژن در محل:

گاز متان فقط زمانی تولید می‌شود که در محل دفن، اکسیژن وجود نداشته باشد.

مقدار رطوبت:

وجود رطوبت (شرایط غیراشباع) در محل دفن باعث افزایش تولید گاز می‌گردد زیرا رطوبت، عاملی برای انجام تجزیه باکتریایی است. هم‌چنین رطوبت ممکن است باعث گسترش واکنش‌های شیمیایی و تولید برخی گازها شود.

درجه حرارت:

با افزایش درجه حرارت، فعالیت باکتری‌ها افزایش می‌یابد که درنتیجه آن، تولید گاز نیز بیشتر می‌شود. افزایش درجه حرارت ممکن است باعث افزایش نرخ فرار سازی و واکنش‌های شیمیایی نیز بشود.

❖ پیش‌بینی تولید گاز در اماکن دفن

تولید گاز مهم‌ترین بخش ساختار سیستم تولید انرژی هست. شایان‌ذکر است که محاسبات ارائه‌شده در این بخش تنها تخمینی از میزان تولید گاز هست.

- **داده‌ها و مدل پیش‌بینی تولید گاز**

نرم‌افزاری که بیشترین کاربرد را در پیش‌بینی نرخ تولید گاز در محل‌های دفن پسماند شهری دارد، نرم‌افزار[10] LandGEM است که برای محاسبه میزان انتشار گازهای حاصل از محل‌های دفن پسماند به جو به کار گرفته می‌شود. این نرم‌افزار توسط مرکز کنترل تکنولوژی (CTC) سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (United States Environmental Protection Agency) تهیه‌شده است.

نرم‌افزار لندجم از معادله نرخ تجزیه درجه اول برای محاسبه و تخمین انتشار سالانه گازهای حاصل از محل‌های دفن پسماند در محدوده مشخص‌شده توسط کاربر استفاده می‌نماید. معادله مورداستفاده در این نرم‌افزار در زیر آمده است:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}} \qquad (۲)$$

در معادله فوق Q_{CH_4} مقدار متان تولیدی محاسبه‌شده برحسب مترمکعب در سال، i برابر یک سال افزایش زمان، n اختلاف سال موردنظر برای محاسبه تولید گاز و سال تأسیس محل دفن پسماند، J زمان‌بر حسب ۰.۱ سال، k نرخ تولید متان برحسب معکوس سال، L_0 پتانسیل ظرفیت تولید متان برحسب مترمکعب بر مگا گرم، M_i جرم دفن پسماند در سال اول تأسیس محل دفن برحسب مگا گرم و t_{ij} سن iمین بخش از پسماند دفن شده در jمین سال برحسب دهم سال هست.

به‌طورکلی اطلاعات زیر برای محاسبه میزان گاز تولیدی در محل دفن پسماند از طریق این نرم‌افزار موردنیاز هست:

- ظرفیت طرح محل دفن پسماند
- مقدار پسماند موجود در محل دفن یا میزان پسماند ورودی به آن در سال
- نرخ تولید متان (k)
- ظرفیت بالقوه تولید متان (L_0)
- تعداد سال‌هایی که محل دفن مورداستفاده قرارگرفته است.
- آگاهی از اینکه آیا محل دفن برای دفن مواد زائد خطرناک نیز مورداستفاده قرارگرفته است یا خیر.

ظرفیت بالقوه تولید متان (L_0) ثابتی است که نمایانگر میزان ظرفیت پتانسیل محل دفن برای تولید متان هست و تنها به نوع پسماند دفنی بستگی دارد. هرچه مقدار مواد آلی در پسماند دفنی بیشتر باشد L_0 نیز از مقدار بیشتری برخوردار خواهد بود. دامنه تغییرات L_0 بین ۶.۲ تا ۲۷۰ مترمکعب به ازای هر تن پسماند هست. مقدار L_0 پیشنهادی توسط USEPA ۱۷۰ مترمکعب به ازای هر تن پسماند هست. بانک جهانی نیز به‌منظور تخمین مقدار L_0 روشی را توصیه نموده است که در جدول زیر آمده است.

جدول ۵- مقدار L_0

تجزیه‌پذیری پسماند	مقدار L_0
تجزیه‌پذیری کند	۲۰

[10] Landfill Gas Emissions Model

تجزیه‌پذیری متوسط	۱۲۰
تجزیه‌پذیری سریع	۱۶۰

ثابت نرخ تولید گاز (k) که برای محاسبه نرخ تولید گاز در هر بخش از پسماند دفنی به کار می‌رود تابعی از نیمه‌عمر تجزیه پسماند است. هرچه مقدار k بیشتر باشد واکنش تجزیه زیستی بخش آلی پسماند سریع‌تر بوده و نرخ تولید متان بالاتر خواهد بود. مقدار k به عوامل زیر بستگی دارد:

- رطوبت پسماند
- در دسترس بودن مواد مغذی
- pH
- دما

ضریب k به‌وسیله آزمایش‌های پایلوت و اندازه‌گیری‌های دقیق صحرایی قابل‌محاسبه است. هم‌چنین برای تخمین مقدار آن می‌توان به مراجع و تجارب پژوهشگران مراجعه نمود. مراجع مختلف روش‌ها و مقادیر متفاوتی برای k پیشنهاد می‌نمایند. مقدار k بر اساس رهنمودهای USEPA بین ۰.۰۰۳ تا ۰.۲۱ بر سال هست. در اقلیم‌های مرطوب و با مقادیر بارش بالاتر از ۶۲۵ میلی‌متر، مقدار k ۰.۰۵ بر سال و در اقلیم‌های خشک ۰.۰۲ پیشنهاد می‌شود. مقدار اولیه پیشنهادی USEPA ۰.۰۵ بر سال هست. بانک جهانی نیز رهنمودهایی برای تخمین مقدار k ارائه نموده است. در روش پیشنهادشده توسط بانک جهانی علاوه بر پارامتر رطوبت، نرخ تجزیه بیولوژیکی اجزای موجود در ترکیب پسماند نیز در محاسبات مدنظر قرار می‌گیرند. در جدول زیر مقادیر پیشنهادی k برای شرایط مختلف و اجزای مختلف پسماند ارائه‌شده است.

جدول ۶- مقادیر k

بارش سالانه	مقادیر پیشنهادی		
	تجزیه‌پذیری کند	تجزیه‌پذیری متوسط	تجزیه‌پذیری سریع
کمتر از ۲۵۰ میلی‌لیتر	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳
۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌لیتر	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۵
۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌لیتر	۰.۰۲	۰.۰۵	۰.۰۸
بیش از ۱۰۰۰ میلی‌لیتر	۰.۰۲	۰.۰۶	۰.۰۹

۳- نتایج و بحث

با توجه به میزان سلول‌های باقیمانده از سایت البرز و میزان پسماند تولیدی، عمر مفید سایت البرز ۱۵ سال در نظر گرفته‌شده است. پس از تخمین پسماند تولیدی، ورودی‌های لازم برای نرم‌افزار برای برآورد گاز قابل استحصال در دوره ۱۵ ساله از سال ۲۰۲۱ الی ۲۰۳۵ به شرح جدول ۷ وجدول ۸ تهیه‌شده است.

جدول ۷- ورودی‌های نرم‌افزار برای دوره ۱۵ ساله برای پسماندهای کند تجزیه شونده

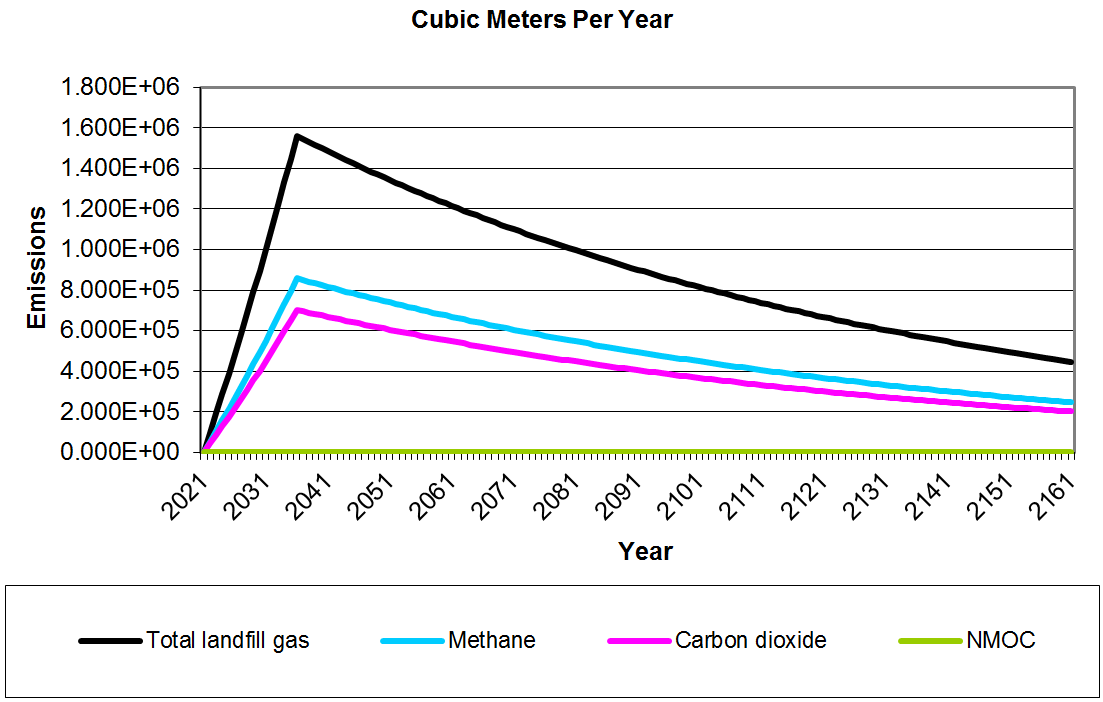
سال افتتاح لندفیل		۲۰۲۱
سال تعطیلی لندفیل (با محدودیت ۸۰ ساله)		۲۰۳۵
سال تعطیلی واقعی (بدون محدودیت)		۲۰۳۵
	پارامترهای مدل	
نرخ تولید متان، k	۰.۰۱	$year^{-1}$
ظرفیت بالقوه تولید متان، L_0	۲۰	m^3 /Mg
غلظت ترکیبات آلی غیرمتانی	۶۰۰	ppmv as hexane
محتوای متان	۵۰	% by volume
	گازها / آلاینده های انتخاب شده	
گاز / آلاینده شماره ۱:		گاز کل لندفیل

گاز / آلاینده شماره ۲:		متان
گاز / آلاینده شماره ۳:		کربن دی‌اکسید
گاز / آلاینده شماره ۴:		ترکیبات آلی غیر متانی

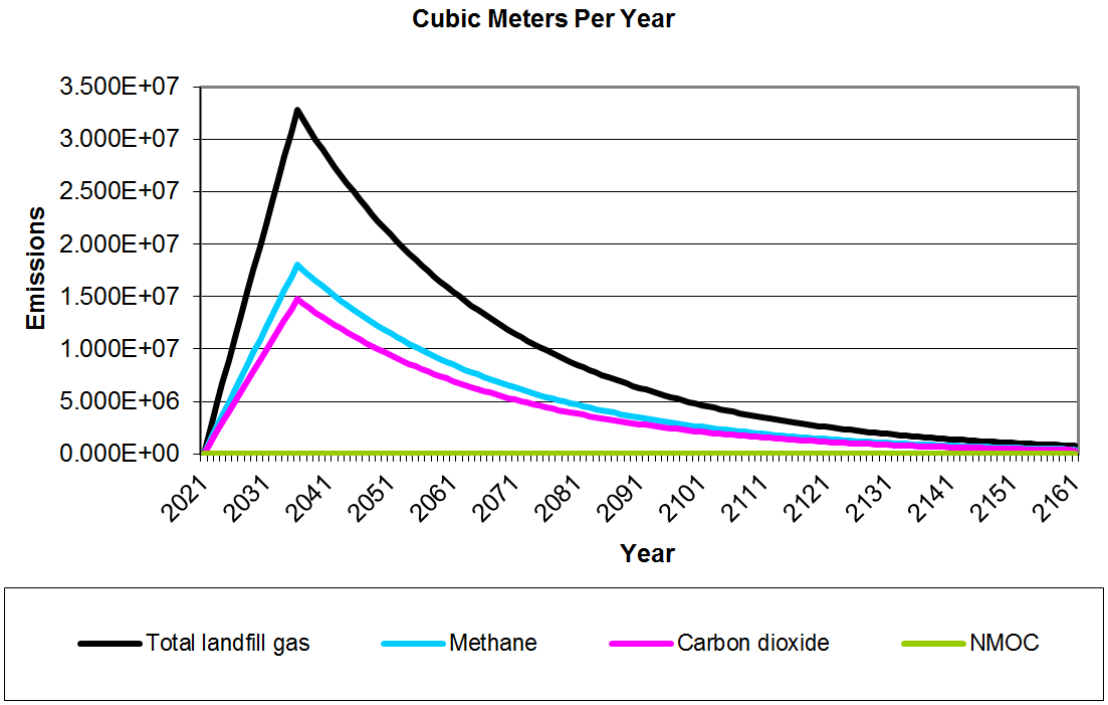
جدول ۸- ورودی‌های نرم‌افزار برای دوره ۱۵ ساله برای پسماندهای سریع تجزیه شونده

سال افتتاح لندفیل		۲۰۲۱
سال تعطیلی لندفیل (با محدودیت ۸۰ ساله)		۲۰۳۵
سال تعطیلی واقعی (بدون محدودیت)		۲۰۳۵
پارامترهای مدل		
نرخ تولید متان، k	۰.۰۳	$year^{-1}$
ظرفیت بالقوه تولید متان، L_0	۱۶۰	m^3 /Mg
غلظت ترکیبات آلی غیرمتانی	۶۰۰	ppmv as hexane
محتوای متان	۵۰	% by volume
گازها / آلاینده های انتخاب شده		
گاز / آلاینده شماره ۱:		گاز کل لندفیل
گاز / آلاینده شماره ۲:		متان
گاز / آلاینده شماره ۳:		کربن دی‌اکسید
گاز / آلاینده شماره ۴:		ترکیبات آلی غیر متانی

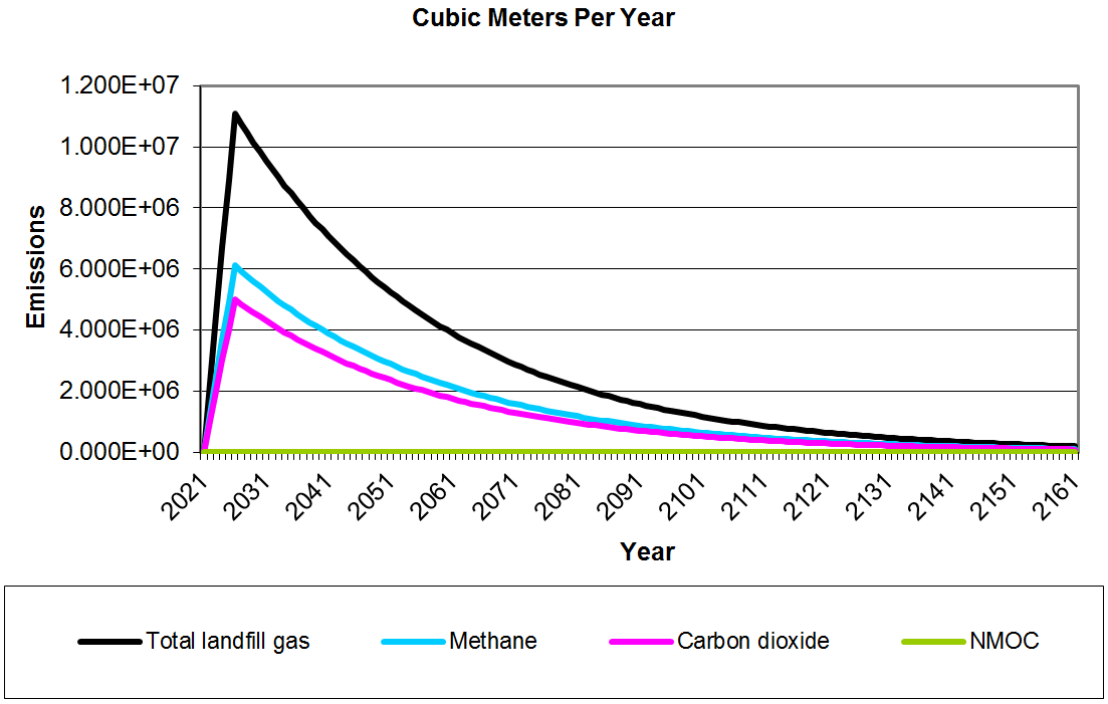
در شکل‌های ۱ الی ۴ نمودار گازهای محل دفن حاصل از نرم‌افزار لندجم ارائه‌شده است.



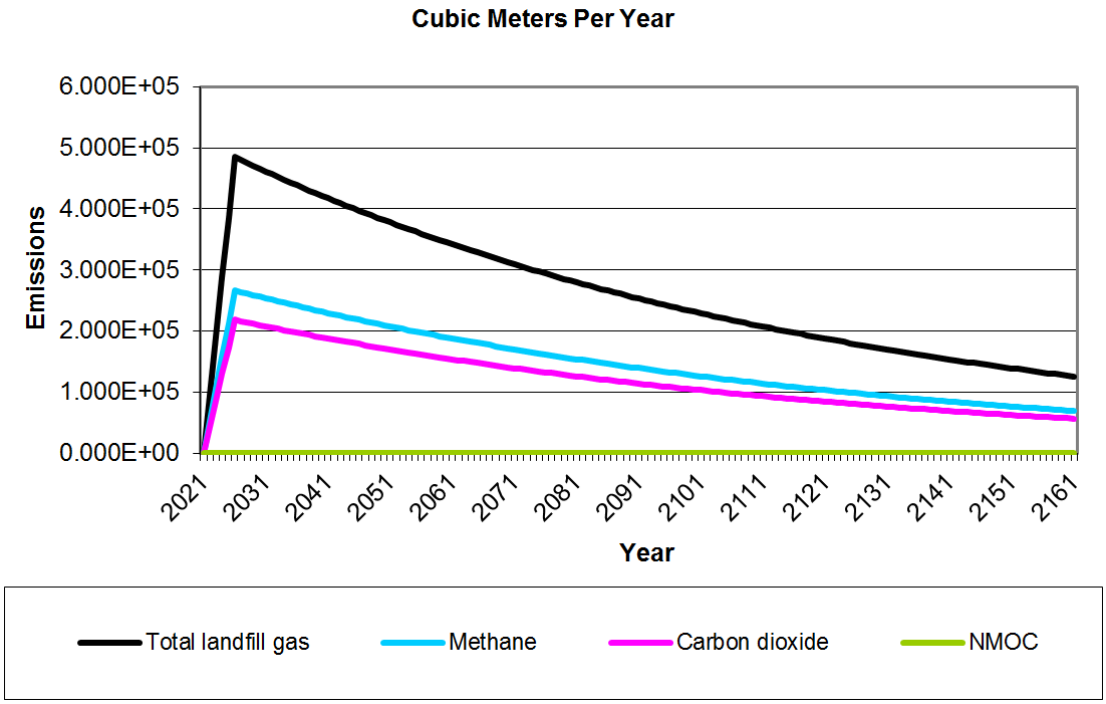
شکل ۲- برآورد کمی گاز قابل استحصال از محل دفن برای دوره ۱۵ ساله برای پسماندهای کند تجزیه شونده



شکل ۳- برآورد کمی گاز قابل استحصال از محل دفن برای دوره ۱۵ ساله برای پسماندهای سریع تجزیه شونده



شکل ۴- برآورد کمی گاز قابل استحصال از محل دفن برای دوره ۵ ساله برای پسماندهای سریع تجزیه شونده



شکل ۵- برآورد کمی گاز قابل استحصال از محل دفن برای دوره ۵ ساله برای پسماندهای کند تجزیه شونده

این نمودارها نشان می‌دهند که میزان انتشار گاز در لندفیل در طول زمان چگونه تغییر کرده است. محور افقی نمودار زمان و محور عمودی میزان انتشار گاز را نشان می‌دهد. با رصد این نمودار، می‌توان به طور دقیق بررسی کرد که گازهای مختلف در لندفیل در چه زمانی و به چه میزانی تولید شده‌اند. اگر میزان انتشار گاز در طول زمان به صورت مستقر و ثابت باشد، این به معنی عدم تغییر در میزان تولید گاز در طول زمان است. اما اگر میزان انتشار گاز در طول زمان افزایش یا کاهش پیدا کند، این به معنی افزایش یا کاهش در تولید گاز است.

همانطور که در نمودارها آمده است، محاسبات برای گازهای متان، کربن دی‌اکسید، ترکیبات آلی غیر متانی و نیز کل گاز لندفیل انجام شده است.طبق محاسبات انجام‌شده میزان تولید گاز در محل دفن به ازای هر تن پسماند در سال برابر ۱۱ مترمکعب برای پسماندهای سریع تجزیه شونده و ۰.۵ مترمکعب برای پسماندهای کند تجزیه شونده هست.

با توجه به محاسبات انجام‌شده با نرم‌افزار لندجم حداکثر میزان گاز قابل استحصال از محل دفن در سال برای یک دوره ۵ ساله برای پسماندهای سریع تجزیه شونده برابر ۱۱ میلیون مترمکعب و برای پسماندهای کند تجزیه شونده برابر ۰.۵ میلیون مترمکعب است. همچنین حداکثر میزان گاز قابل استحصال از محل دفن در سال برای یک دوره ۱۵ ساله برای پسماندهای سریع تجزیه شونده برابر ۳۱ میلیون مترمکعب (۴۰۰۰۰ تن) و برای پسماندهای کند تجزیه شونده برابر ۱.۶ میلیون مترمکعب (۲۰۰۰ تن) محاسبه‌شده است.

محسنی و همکاران در سال ۱۳۹۹ در تحقیقی با عنوان برآورد پتانسیل تولید گاز متان از محل‌های دفن زباله در کلان‌شهرهای ایران (تهران، شیراز، مشهد، اصفهان، کرج) نشان داد که میزان گاز متان و کربن دی‌اکسید تولیدی از کل این ۵ محل دفن زباله به ترتیب ۱۱.۱۵×۱۰^{۷} و ۸.۲۵×۱۰^{۷} متر مکعب در سال و در سایت کهریزک ۹۳۴۵۵۴ تن دی اکسید کربن، در شیراز و کرج، متان و دی اکسید به ترتیب۱.۵×۱۰^{۶}و ۹.۶×۱۰^{۵} ، آنالیز گاز متان در سایت اصفهان ۸.۴۶×۱۰^{۶} و در مشهد به ترتیب گاز متان و دی‌اکسید کربن هر کدام ۳.۳۷×۱۰^{۷} و ۱.۷۲×۱۰^{۷} متر مکعب در سال برآورد گردیده است [۱۰] بنابراین میزان گازهای قابل استحصال از محل دفن شهر قم قابل توجه بوده و نیازمند برنامه‌ریزی صحیح برای مدیریت است.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه سایت دفن پسماند البرز در شهر قم با مشکلاتی مانند آلودگی هوا و آب زیرزمینی مواجه است، اندازه‌گیری و برآورد گازهایی که در فرآیند دفن پسماند تولید می‌شوند از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، از روش‌هایی مانند لندجم برای برآورد حجم و نوع گازهای تولیدشده در سایت دفن استفاده می‌شود.

برآورد انجام‌شده از گاز تولیدشده در لندفیل با استفاده از لندجم، به ما اطلاعاتی مفید در مورد حجم و نوع گازهای تولیدشده در فرآیند دفن پسماند می‌دهد. این اطلاعات می‌تواند به مدیران سایت دفن پسماند البرز در ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های سایت کمک کند و اقدامات مناسبی را برای کاهش آلودگی هوا و آب زیرزمینی اتخاذ کنند. همچنین، این اطلاعات می‌تواند به محققان و دانشمندان در زمینه مدیریت پسماند و کنترل آلودگی هوا و آب زیرزمینی کمک کند.

با توجه به محاسبات انجام‌شده با نرم‌افزار لندجم میزان گاز قابل استحصال از محل دفن برای یک دوره ۵ ساله برای پسماندهای سریع تجزیه شونده برابر ۱۱ میلیون مترمکعب و برای پسماندهای کند تجزیه شونده برابر ۰.۵ میلیون مترمکعب است. همچنین میزان گاز قابل استحصال از محل دفن برای یک دوره ۱۵ ساله برای پسماندهای سریع تجزیه شونده برابر ۳۱ میلیون مترمکعب و برای پسماندهای کند تجزیه شونده برابر ۱.۶ میلیون مترمکعب محاسبه‌شده است.

تولید گازهای آلاینده در سایت دفن پسماند البرز در استان قم، به دلیل فعالیت‌های پسماندی، می‌تواند با سایر شهرها و مناطق مختلف مقایسه شود. برای این منظور، می‌توان میزان تولید گازهای آلاینده در سایر شهرها را در نظر گرفت و با میزان تولید گاز در سایت دفن پسماند البرز مقایسه کرد.

با توجه به آمارهای منتشر شده، در برخی شهرهای ایران از جمله تهران، اصفهان، شیراز و مشهد، میزان تولید گاز در سایت‌های دفن پسماند بسیار زیاد است. برای مثال، میزان تولید متان در سایت دفن پسماند شهر تهران، بسیار بیشتر از سایت دفن پسماند البرز در استان قم است. با این حال، میزان تولید گاز در سایت دفن پسماند البرز نیز به شرایط محیطی و نحوه مدیریت پسماند وابسته است. برای مثال، در برخی شهرهای ایران مانند تهران و اصفهان، سایت‌های دفن پسماند در نزدیکی شهر قرار دارند و به دلیل اینکه تعداد جمعیت شهرها بسیار بالا است، میزان پسماند تولیدی نیز بسیار زیاد است. در نتیجه، میزان تولید گاز در این شهرها بیشتر است.

از طرفی می‌توانیم میزان تولید گاز در سایر شهرهای بزرگ مانند لندن، نیویورک، توکیو و شانگهای را با میزان تولید گاز در سایت دفن پسماند البرز مقایسه کنیم. در این مقایسه، می‌توان متغیرهایی مانند میزان تولید دی اکسید کربن، اکسید نیتروژن و متان را در نظر گرفت.

با توجه به مطالعات انجام شده، میزان تولید گاز در سایت دفن پسماند البرز در استان قم، در مقایسه با برخی از شهرهای بزرگ جهان، نسبتاً کمتر است. برای مثال، میزان تولید متان در سایت دفن پسماند البرز در استان قم، نسبت به شهرهایی مانند لندن و نیویورک کمتر است.

با این حال، میزان تولید گاز در سایت دفن پسماند البرز نیز به شرایط محیطی و نحوه مدیریت پسماند وابسته است. بنابراین، از آنجا که سایت دفن پسماند البرز در یک منطقه خشک و کم آب قرار دارد، ممکن است در برخی شرایط، میزان تولید گاز بیشتر از سایر مناطق باشد.

بنابراین، بهتر است برای مقایسه میزان تولید گاز در سایت دفن پسماند البرز با سایر شهرها، به شرایط محیطی و نحوه مدیریت پسماند در هر منطقه توجه شود. در کل، مدیریت پسماند با استفاده از فناوری‌های پیشرفته و روش‌های صحیح می‌تواند به کاهش تولید گازهای آلاینده کمک کند و به بهبود کیفیت هوای منطقه کمک کند.

به‌طورکلی، برآورد انجام‌شده از گاز تولیدشده درسایت دفن پسماند البرز با استفاده از لندجم، یکی از روش‌های مهم در اندازه‌گیری و برآورد حجم و نوع گازهای تولیدشده در فرآیند دفن پسماند است که در برنامه ریزی برای مدیریت گازهای حاصل از لندفیل و نیز استفاده از آن کمک می کند. بااین‌حال، برای بهبود وضعیت مدیریت پسماند و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در سایت دفن پسماند البرز، نیاز به اجرای روش‌های مناسب جمع‌آوری، جداسازی و دفن پسماند و نظارت صحیح بر فعالیت‌های سایت دفن پسماند البرز و

اجرای مقررات زیست‌محیطی است. همچنین، ارتقای ظرفیت سامانه‌های جمع‌آوری و دفع پسماند نیز می‌تواند به بهبود وضعیت مدیریت پسماند و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در شهر قم کمک کند.

گاز قابل استخراج در سایت البرز استان قم می‌تواند برای مصارف مختلفی مورد استفاده قرار گیرد. به‌هنگامی که گاز مستخرج از سایت البرز به عنوان یک منبع انرژی استفاده شود، می‌تواند به عنوان سوخت برای تولید برق و گرمایش ساختمان‌ها و صنایع مختلف استفاده شود. همچنین، گاز طبیعی می‌تواند به صورت خام فروخته شده و در صنایع شیمیایی و پتروشیمی، به عنوان ماده اولیه استفاده شود.

۵- منابع و مراجع

[1]. Rastikerdar, A. Estimation and Modeling of Biogas Production in Municipal Landfill. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 2018; 5(1): 43-50. https://doi.org/10.30501/jree.2018.88511

[2]. Hosseini, S., Yaghmaeian, K., Yousefi, N., Mahvi, A. Estimation of landfill gas generation in a municipal solid waste disposal site by LandGEM mathematical model. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2018; 4(4): 493-506. https://doi.org/10.22034/gjesm.2018.04.009

[3]. 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. *MethodsX*. 2019 Feb 15;6:391-398. https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.02.013

[4]. Rezaee, R., Nasseri, S., Mahvi, A. H., Jafari, A., Mazloomi, S., Gavami, A., Yaghmaeian, K. Estimation of gas emission released from a municipal solid waste landfill site through a modeling approach: A case study, Sanandaj, Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 2014; 2(1): 13-21. https://doi.org/10.22102/jaehr.2014.40139

[5]. Mokhtari, M., Ebrahimi, A A., Rezaeinia, S. Prediction of Greenhouse Gas Emissions in Municipal Solid Waste Landfills Using LandGEM and IPCC Methods in Yazd, Iran. J*ournal of Environmental Health and Sustainable Development*, 2020; 5 (4) :1145-1154. http://dx.doi.org/10.18502/jehsd.v5i4.4964

[6]. Verma, R.L.; Borongan, G. Emissions of Greenhouse Gases from Municipal Solid Waste Management System in Ho Chi Minh City of Viet Nam. *Urban Sci.* **2022**, *6*, 78. https://doi.org/10.3390/urbansci6040078

[7]. Chandra, S., Ganguly, R. Assessment of landfill gases by LandGEM and energy recovery potential from municipal solid waste of Kanpur city, India. *Heliyon*. 2023 Apr 5;9(4):e15187. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15187

[8]. شیوه نامه اجرایی احداث و راهبری محل دفن بهداشتی پسماندهای عادی شهری، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری های کشور، ۱۳۹۴.

[9]. Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S.A. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue, 1993. McGraw Hill Inc., New York.

[10]. محسنی، ن. عمرانی، ق و هراتی، س. برآورد پتانسیل تولید گاز متان از محل‌های دفن زباله در کلان‌شهرهای ایران (تهران، شیراز، مشهد، اصفهان و کرج)، ۱۳۹۹. *پایداری توسعه و محیط‌زیست ۴۹-۳۵:(۲)۱.* *https://dorl.net/dor/20.1001.1.24233846.1399.1.2.3.9*