

تعیین نرخ بازگردش شیرابه در خاکچال جدید شهر مشهد به منظور افزایش نرخ تولید و استحصال بیوگاز از پسماند شهری

مهدی جلیلی قاضی زاده^۱، محمدعلی عبدلی^۲، رضا سمیعی فرد^۳

دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست^۱

mjalili@ut.ac.ir

دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست^{۲و۳}

mabdoli@ut.ac.ir

چکیده

از آنجا که بازگردش شیرابه باعث افزایش نرخ تولید گاز شده و زمان تثبیت مواد قابل تجزیه را کاهش می‌دهد، لذا به منظور استحصال هرچه بیشتر گاز و به تبع آن تولید انرژی، اجرای سامانه بازگردش شیرابه در خاکچال جدید شهر مشهد (واقع در ۳۵ کیلومتری جاده میامی) ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور یک زمین ۱۲ هکتاری در قسمت جنوبی خاکچال که سیستم‌های اولیه دفن بهداشتی در آن اجرا شده است، برای طراحی سامانه بازگردش شیرابه در نظر گرفته شد. مطابق با برنامه‌ریزی انجام شده این طراحی برای دفن روزانه ۸۰۰ تن پسماند در یک دوره سه ساله انجام شده است. در این تحقیق پس از تعیین مشخصات کیفی پسماند و محاسبه شیرابه تولیدی آن به کمک مدل موازنه جرمی، نرخ بازگردش شیرابه مشخص شده و پس از بررسی روش‌های مختلف شیرابه‌رسانی، روش تزریق شیرابه به کمک چاهک‌های عمودی انتخاب شد. نتایج مدل تخمین گاز تولیدی نشان می‌دهد که در صورت تزریق شیرابه محاسبه شده، نرخ تولید گاز نسبت به حالت متداول ۱/۵ برابر شده و دفن‌گاه در پایان دوره سه ساله توان تولید ۳/۷ مگاوات برق را دارد.

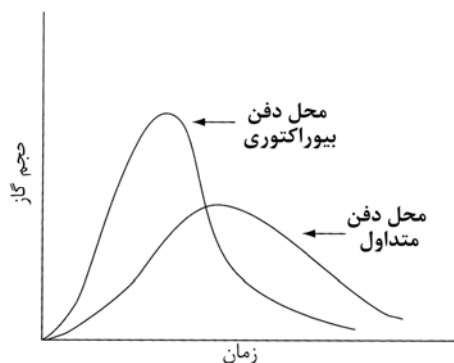
واژه‌های کلیدی: بازگردش شیرابه، بیوگاز، خاکچال، مشهد

۱- مقدمه

دفن پسماندهای شهری همواره با تولید گاز همراه است زیرا مواد آلی فسادپذیر موجود در زباله‌های خانگی و شهری پس از دفن شدن در شرایط بی‌هوایی قرار گرفته و توسط باکتری‌های گوناگون تجزیه می‌شوند. تجزیه مواد آلی تجزیه‌پذیر در گام نهایی منجر به تولید گازی می‌گردد که آمیخته‌ای از متان، دی‌اکسیدکربن، هیدروژن و سولفیدهیدروژن است و بیوگاز خوانده می‌شود. این گاز به دلیل پدید آوردن اثرات شدید گلخانه‌ای و آلاینده‌گی محیط، باید به دقت کنترل و جمع‌آوری گردد. در صورتی که این گاز به صورت اصولی کنترل و جمع‌آوری گردد، علاوه بر آنکه مانع از ایجاد مشکلات زیست محیطی می‌گردد، می‌توان از آن به عنوان یک منبع تولید انرژی نیز استفاده کرد. در محاسبه و برآورد کمیت گاز تولیدی همواره با سه عدد روبرو هستیم که عبارتند از: پتانسیل گاز تولیدی ناشی از زباله دفنی؛ مقدار گازی که عملاً تولید می‌شود؛ و مقدار گازی که استحصال می‌شود. مورد اول با توجه به خصوصیات زباله و نحوه دفن قابل محاسبه است. در این محاسبات ابتدا کل گازی که واحد جرم زباله می‌تواند تولید کند محاسبه شده و سپس با توجه به شرایط داخلی محل دفن، نرخ تولید گاز در طول زمان محاسبه می‌گردد. باید دقت کرد که مورد اول در شرایط ایده‌آل محاسبه شده است. لذا میزان گازی که در واقعیت تولید می‌شود، همواره کمتر از مقدار تئوریک است. بنابراین بسته به شرایط مقدار گازی که تولید می‌شود متفاوت است. مورد سوم در واقع کمیتی است که برای طراحی سامانه انتقال گاز و بهره‌برداری از آن و تولید انرژی مورد نیاز است. از آنجا که در حالت متداول مدت زمان زیادی طول می‌کشد که تمامی پتانسیل تولید گاز به فعل تبدیل شود، لذا همواره این کمیت به مقدار قابل توجهی کمتر از مقدار گاز تولیدی است. بدیهی است در صورت تخمین نادرست میزان گاز قابل استحصال، بهره‌برداری از بیوگاز تولیدی با شکست مواجه می‌شود. از آنجا که بازگردش شیرابه عاملی است که باعث می‌شود این سه کمیت تا حد زیادی به یکدیگر نزدیک شوند، لذا بازگردش شیرابه در محل‌های دفن پسماند (به خصوص خاکچال‌های بهداشتی که مدیریت استحصال بیوگاز از اهمیت زیادی برخوردار است)، امری ضروری می‌باشد. بازگردش یا بازچرخش شیرابه به محل دفن، یک محیط مناسب جهت سرعت بیشتر تجزیه بیولوژیکی را فراهم می‌کند. آزمایش‌ها و مطالعات پایلوتی به وضوح نشان می‌دهد که اجرای یک محل دفن بیوراکتوری باعث می‌شود [1]:

- سرعت تجزیه زباله بالا رود؛
- محل دفن به‌عنوان یک سیستم تصفیه درجا شیرابه کار کند؛
- نرخ تولید گاز افزایش یابد؛ و
- تثبیت محل دفن سریع‌تر اتفاق می‌افتد.

هدف اصلی محل دفن بیوراکتوری تثبیت کردن هر چه سریعتر اجزاء قابل تجزیه زباله با کنترل فرایندهای میکروبی می‌باشد. به طور کلی، دفنگاه بیوراکتوری شامل سیستمی جهت اضافه کردن رطوبت می‌باشد. چرا که مقدار رطوبت مهم‌ترین عامل افزایش تجزیه زیستی می‌باشد. به دلیل افزایش سرعت تجزیه زباله، نرخ تولید گاز به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. شکل ۱ نرخ تولید گاز در محل دفن معمول را با دفنگاه بیوراکتوری مقایسه می‌کند.



شکل ۱: مقایسه نرخ تولید گاز در دفنگاه متداول و بیوراکتوری در شرایط ایده‌آل

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، در محل دفن بیوراکتوری تولید گاز با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتد. هر چه تولید گاز زودتر اتفاق بیفتد، مدیریت، جمع‌آوری و استحصال آن ساده‌تر و تأثیرات سوء آن بر محیط زیست (هوا) کمتر خواهد بود. از آنجا که مدیریت بیوگاز تولیدی در خاکچال جدید شهر مشهد مورد توجه مسوولین قرار گرفته است، لذا با توجه به اهمیت استحصال گاز تولیدی و نقش بازگردش شیرابه در این زمینه، هدف از انجام این تحقیق تعیین نرخ بازگردش در خاکچال جدید شهر مشهد و مقایسه میزان گاز و انرژی تولیدی در دو حالت با و بدون بازگردش می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- خاکچال میامی

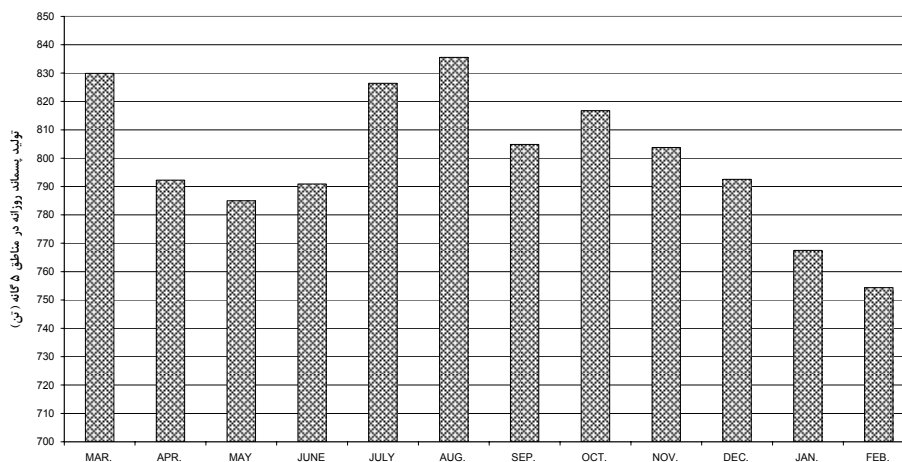
محل جدید دفن زباله مشهد در ضلع شمالی جاده مشهد- میامی و در ۳۰ کیلومتری شرق مشهد قرار گرفته است. مساحت کل زمین اختصاص یافته به طرح دفنگاه زباله جدید مشهد، ۴۹۴ هکتار است که ۱۰۰ هکتار برای عرصه (سایت) اصلی دفنگاه کنار نهاده شده و ترانشه‌های مرحله اول پهنا ۱۲ هکتاری را می‌پوشانند. خصوصیات کلی محل دفن جدید شهر مشهد در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: چکیده داده‌ها و ویژگی‌های دفنگاه جدید زباله شهر مشهد

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	وسعت کلی زمین	وسعت محدوده دفن
59°59'30" ~ 60°00'05" E	36°13'39" ~ 36°14'25" N	900 ~ 960 m	494 ha.	100 ha.
عمق آبهای زیرزمینی	جنس بستر	وسعت فضای سبز	نحوه تأمین آب	طول خط انتقال آب
بیش از ۱۵۰ متر	رسوبات مارنی	334 ha.	چاه عمیق در حاشیه کشف رود	5670 m
میانگین دمای سالانه	میانگین بارش سالانه	حداکثر بارش روزانه	میانگین رطوبت نسبی سالانه	مجموع تبخیر سالانه
13.5 ° C	254 mm	52 mm	13.9 %	1806 mm

۲-۲- کمیت پسماند دفنی

مطابق با برنامه‌ریزی‌های انجام شده یک پهنا ۱۲ هکتاری به منظور دفن بهداشتی پسماندهای تولیدی در مناطق ۲، ۴، ۵، ۶ و ۱۰ شهر مشهد با سیستم بازگردش شیرابه در نظر گرفته شده است. مطابق با آمار ارائه شده توسط سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهر مشهد، به‌طور میانگین تولید پسماند در این مناطق ۸۰۰ تن در روز می‌باشد. روند تغییرات کمیت زباله تولیدی در مناطق ۲، ۴، ۵، ۶ و ۱۰ در شکل ۲ دیده می‌شود. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، پسماند تولیدی در این مناطق در ماه‌های مختلف متفاوت بوده و در ایام نوروز و ماه‌های تابستان کمیت پسماند تولیدی افزایش می‌یابد که مهم‌ترین دلیل آن افزایش جمعیت مسافر در این زمان‌ها می‌باشد. این مساله می‌بایست در طراحی سیستم بازگردش شیرابه لحاظ شود و لذا میزان شیرابه برگشتی به سلول‌ها برای ماه‌های مختلف متفاوت می‌باشد.



شکل ۲: میانگین پسماند تولیدی روزانه در مناطق ۲، ۴، ۵، ۶ و ۱۰ شهر مشهد به تفکیک ماه در سال ۱۳۸۷

۲-۳- کیفیت زباله ورودی

ترکیب زباله تولیدی در مناطق ۲، ۴، ۵، ۶ و ۱۰ شهر مشهد مطابق با استاندارد ASTM تعیین گردید [2]. میانگین درصد اجزای زباله تولیدی با تقسیم‌بندی استاندارد در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: میانگین ترکیب زباله ورودی به محل دفن جدید بر اساس استاندارد

اجزاء	درصد اجزاء (بر حسب وزن مرطوب)	اجزاء	درصد اجزاء (بر حسب وزن مرطوب)
مواد غذایی	۵۶/۳۳	زائدات باغبانی	۵/۱۱
کاغذ و مقوا	۱۰/۲۷	چوب	۱/۰۷
پلاستیک	۸/۲۹	چرم	۰/۶۲
شیشه	۴/۶۰	لاستیک	۲/۵۲
فلزات	۳/۰۸	پارچه و منسوجات	۸/۱۳

همچنین اندازه‌گیری‌های میدانی نشان می‌دهد که متوسط رطوبت زباله تولیدی ۳۸/۹۲ درصد و دانسیته زباله ورودی به محل دفن ۱۳۴/۳ کیلوگرم بر مترمکعب است.

۲-۳- فرمول شیمیایی پسماند

به‌منظور تعیین نرخ بازگردش شیرابه، می‌بایست آب مصرفی در فرایند تولید گاز محاسبه گردد. یکی از پارامترهای مهم زباله در تعیین گاز تولیدی و به تبع آن مقدار آب مصرفی در داخل محل دفن فرمول شیمیایی زباله می‌باشد. برای تعیین فرمول شیمیایی روش‌های مختلفی وجود دارد که با توجه به اینکه زباله چه پروسه‌ای را طی خواهد کرد، روش مناسب انتخاب می‌شود. برای آنکه در اینجا هدف از محاسبه فرمول شیمیایی تعیین مقدار گاز و شیرابه تولیدی و در نهایت تعیین نرخ بازگردش شیرابه می‌باشد، لذا فرمول شیمیایی زباله قابل تجزیه محاسبه شده است. فرمول شیمیایی زباله قابل تجزیه ورودی به محل دفن جدید به‌صورت زیر می‌باشد.



۲-۴- تعیین نرخ بازگردش شیرابه

یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که بر تجزیه بیولوژیکی مواد زاید جامد تاثیر دارد مقدار رطوبت است. مقدار رطوبت می‌تواند به‌وسیله بازگردش شیرابه کنترل شود. تحقیقات آزمایشگاهی و میدانی نشان می‌دهند که افزایش رطوبت باعث تسریع در تجزیه زباله می‌شود. در واقع دسترسی به رطوبت فاکتور کلیدی در اجرای محل دفن بیوراکتوری است. در بحث بازگردش شیرابه دو نکته بسیار حائز اهمیت است.

۱- مقدار رطوبت موجود در محل دفن

۲- توزیع یکنواخت رطوبت و دسترسی به آن

در محاسبه رطوبت موجود در محل دفن، باید دقت کرد که رطوبت اجزای تجزیه‌پذیر زباله محاسبه گردد. چراکه در واقع این اجزای تجزیه‌پذیر هستند که آب را مصرف می‌کنند. مقدار رطوبت متداول اجزای تجزیه‌پذیر زائدات شهری در محل‌های دفن معمول بین ۲۰-۳۰ درصد می‌باشد. این در حالی است که حداقل رطوبت لازم برای دفن‌گاه بیوراکتوری ۴۰ درصد است [3]. بنابراین افزایش رطوبت، فعالیت‌های میکروبی را افزایش بخشیده و به دنبال آن تولید گاز را سرعت می‌بخشد و لذا استحصال گاز به مقدار بیشتری صورت می‌گیرد. فعالیت‌های میکروبی در محل دفن موجب تغییر شرایط محل دفن در ۵ فاز می‌شود که بازگردش باعث می‌شود زمان هر فاز (به‌خصوص فاز I) کوتاه شود.

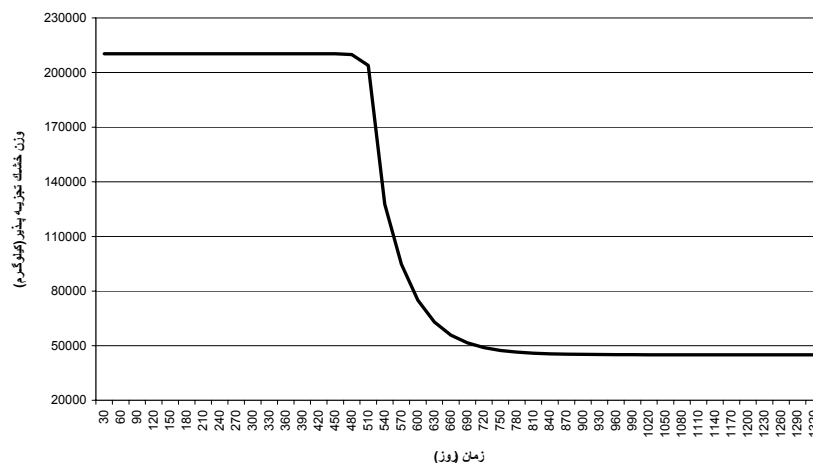
نکته مهم دیگر دسترسی میکروارگانیزمها به رطوبت موجود در محل دفن است. امروزه بارزترین پدیده‌ای که در اکثر محل‌های دفن در ایران اتفاق می‌افتد، پدیده مسیریابی جریان^۲ می‌باشد. ناهمگونی زباله (اختلاف زیاد بین اندازه ذرات)، وجود اجزا حجیم نظیر فرش و شیت‌های پلاستیکی و عدم پردازش و بازیافت زباله قبل از دفن، مهم‌ترین عوامل ایجاد این پدیده می‌باشد. بنابراین هرچند مقدار آبی که میکروارگانیزمها برای تجزیه مواد آلی زباله نیاز دارند، در محل دفن موجود است (به دلیل درصد بالای مواد فسادپذیر در ترکیب زباله‌های شهر مشهد و به تبع آن رطوبت بالای زباله)، اما این رطوبت در اختیار میکروارگانیزمها قرار نمی‌گیرد و لذا تثبیت زباله مدت زمان زیادی به طول می‌انجامد.

لذا هدف اصلی از بازگردش شیرابه در محل دفن میامی، توزیع یکنواخت رطوبت در محل می‌باشد. جهت محاسبه میزان شیرابه‌ای که می‌بایست بازگردش شود، ابتدا تغییرات اجزای فسادپذیر در طول زمان برای یک سلول زباله برآورد شده و سپس تغییرات میزان رطوبت در طی زمان برای یک سلول محاسبه می‌شود. سپس میزان شیرابه‌ای که در یک سلول بازگردش می‌شود محاسبه می‌گردد و این محاسبات به کل ترانشه تعمیم داده می‌شود.

۳- نتایج

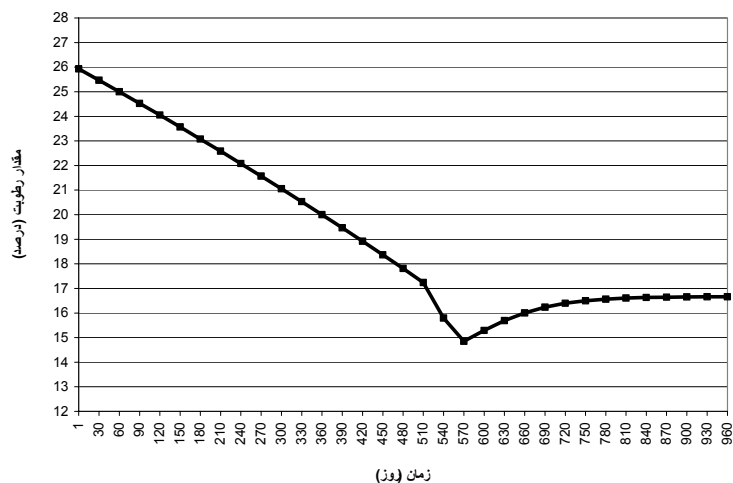
۳-۱- بازگردش شیرابه

با توجه به ترکیب زباله ورودی به محل دفن و فرمول شیمیایی زباله قابل تجزیه، هر یک کیلوگرم زباله دارای ۲۸۳ گرم اجزای فسادپذیر می‌باشد. بدیهی است با تولید گاز، قسمت تجزیه‌پذیر زباله کاهش می‌یابد. شکل ۳ تغییرات وزن اجزای فسادپذیر زباله را در یک سلول نسبت به زمان نشان می‌دهد.



شکل ۳: تغییرات وزن خشک پسماند تجزیه‌پذیر نسبت به زمان

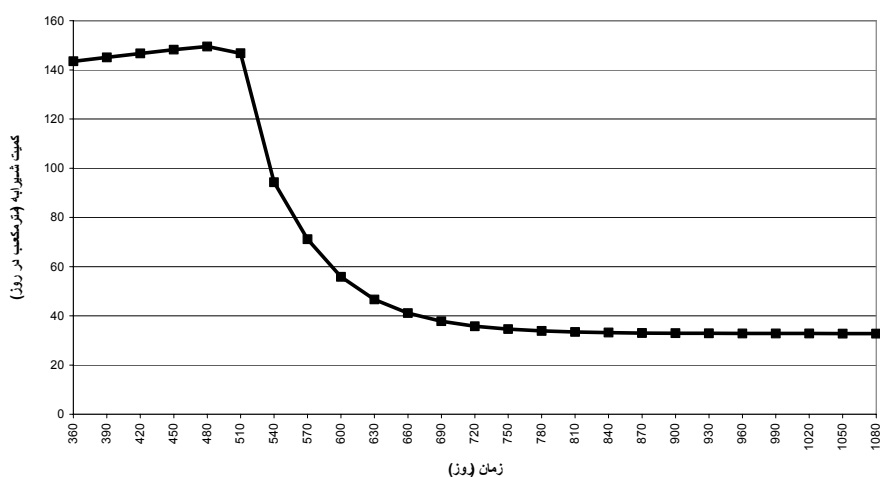
با توجه به شکل ۳، می‌توان تغییرات رطوبت اجزای فسادپذیر پسماند را در یک سلول از لایه اول محاسبه کرد (شکل ۴). شایان ذکر است که رطوبت به صورت وزنی و بر اساس وزن مرطوب برآورد شده است.



شکل ۴: تغییرات رطوبت موجود در اجزای تجزیه پذیر یک سلول زباله

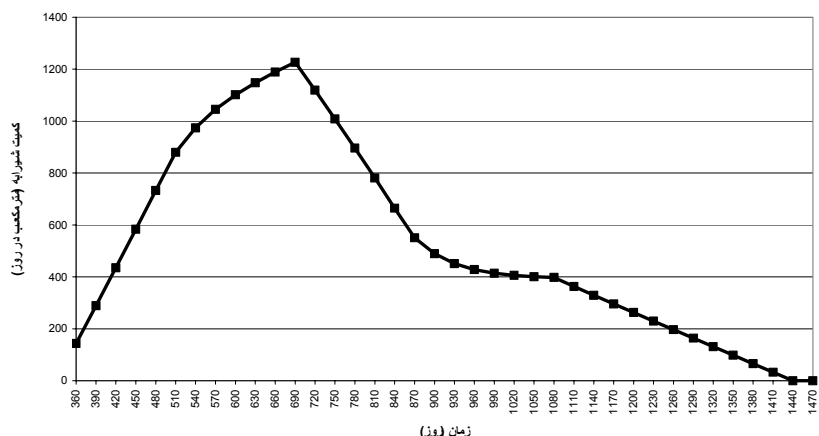
همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، درصد رطوبت موجود در محل در بیشترین حالت تقریباً ۲۶ درصد می باشد. با توجه به مطالعات انجام شده مقدار ایتیمم رطوبت در محل دفن برای انجام واکنش های بیولوژیکی، بین ۴۰ تا ۷۰ درصد متغیر می باشد [1,3]. البته باید دقت کرد که هرچه رطوبت در محل دفن افزایش یابد، پایداری استاتیکی محل در معرض خطر بیشتری قرار می گیرد. لذا با توجه به شرایط محل های دفن در ایران، توصیه شده که نرخ بازگردش، بین ۴۰ تا ۵۰ درصد رطوبت، متغیر باشد [۴]. در این تحقیق میزان رطوبت ۵۰ درصد برای بازگردش شیرابه مد نظر قرار گرفته است.

از طرف دیگر با توجه به احداث چاهک های استحصال گاز در محل (به فاصله تقریبی ۳۰ متر)، در صورتی که هم زمان با دفن زباله، لوله های عمودی تزریق شیرابه نصب شوند، فضایی برای حرکت سمی تریلرها در محل باقی نخواهد ماند و این مساله از لحاظ اجرایی دچار مشکل می شود. علاوه بر آن از آنجاکه حرکت شیرابه (به عنوان یک مایع) نسبت به حرکت گاز سخت تر صورت می گیرد، لذا فاصله چاهک های تزریق شیرابه نسبت به فاصله چاهک های گاز از یکدیگر کمتر خواهد بود. لذا می بایست تزریق شیرابه پس از خاتمه عملیات دفن صورت گیرد. لذا شیرابه رسانی از ۳۶۰ روز پس از اجرای اولین سلول شروع خواهد شد. میزان شیرابه ای که باید به یک سلول تزریق شود تا رطوبت آن را به ۵۰ درصد برساند، در شکل ۵ آمده است. مسلماً با تغییر رطوبت هر سلول نسبت به زمان، مقدار شیرابه بازگردش شده نیز تغییر می کند. بازگردش شیرابه تا دو سال (زمانی که عملاً تولید گاز متوقف می شود) ادامه می یابد.



شکل ۵: میزان شیرابه بازگردشی برای رسیدن به رطوبت ۵۰ درصد در یک سلول

جهت محاسبه تجهیزات پمپاژ می بایست مقدار شیرابه بازگردش شده جهت رسیدن به رطوبت ۵۰ درصد، در کل ترانشه را محاسبه نمود. شکل ۶ این محاسبات را نشان می دهد.



شکل ۶: مقدار شیرابه بازگردشی در هر ترانشه برای رسیدن به رطوبت ۵۰ درصد

همان‌طور که از شکل پیداست در هر ترانشه بازگردش شیرابه از روز ۳۶۰ آغاز و بعد از گذشت یک سال به حداکثر مقدار خود می‌رسد. سپس مقدار شیرابه‌رسانی کاهش یافته به‌طوری‌که بعد از گذشت ۳ سال از شروع، بازگردش متوقف می‌شود.

۳-۲- میزان گاز تولیدی

مدل ریاضی LandGEM که یکی از مشهورترین مدل‌هایی است که برای برآورد روند تولید گاز دفن‌گاه و انتشار آلاینده‌ها توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا نگاشته شده است، برای تخمین میزان گاز تولیدی استفاده شده است. این مدل براساس معادله واکنش مرتبه اول تولید گاز تنظیم شده که آن معادله به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$G_{CH_4} = L_o R (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (1)$$

که در این رابطه داریم:

G_{CH_4} = مقدار گاز متان قابل تولید برحسب مترمکعب در سال t

L_o = توان تولید متان از واحد جرم زباله بر حسب m^3/ton Waste

R = میانگین جرم زباله دریافتی در طی عمر دفن‌گاه (تن)

k = ثابت بیوکینتیک تولید متان برحسب $1/yr$

c = زمان سپری شده از بستن دفن‌گاه (اجرای پوشش نهایی) برحسب سال

t = زمان سپری شده از آغاز بکار دفن‌گاه (پذیرش زباله) برحسب سال

با فرض وجود ۵۰٪ متان در گاز دفن‌گاه، برآورد کل حجم گاز دفن‌گاه از معادله زیر صورت می‌گیرد:

$$G_{LFG} = 2L_o R (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (2)$$

یکی از مهم‌ترین پارامترهای موثر در تولید گاز دفن‌گاه، ضریب کینتیک (k) است. مقدار ضریب k بستگی به قابلیت و سرعت تجزیه‌پذیری زباله، رطوبت و دمای محیط هضم بی‌هوازی و سایر شرایط محیطی فرایند مانند مواد مغذی و pH دارد. بالا بودن رطوبت درون زباله‌ها و بارش جوی در محل دفن‌گاه به بالا رفتن ضریب کینتیک تولید گاز می‌انجامد. در شرایط مرطوب، تولید گاز دفن‌گاه زودتر به اوج رسیده و حداکثر تولید گاز بالاتر خواهد بود و زودتر نیز به پایان می‌رسد، در مقابل، در شرایط خشک، تولید گاز دیرتر به اوج می‌رسد و زمان درازتری به طول می‌انجامد و اوج تولید گاز نیز کمتر خواهد بود. یک روش برآورد ضریب کینتیک تولید گاز (k)، استفاده از روش میانگین وزنی براساس مقادیر توصیه شده مندرج در جدول ۳ و با توجه به ترکیب اجزاء تجزیه‌پذیر زباله مشهد (جدول ۲) به‌وسیله روش میانگین-گیری وزنی، با فرضیات زیر برآورد شده است:

- ۲۵٪ از کاغذ و مقوای موجود در زباله بعنوان تجزیه‌پذیر متوسط در نظر گرفته می‌شوند [5].
- کل مواد فسادپذیر بعنوان تجزیه‌پذیر سریع فرض می‌شوند [5,6].
- ۷۵٪ از کاغذ و مقوای موجود در زباله بعنوان تجزیه‌پذیر آرام بشمار می‌روند [5].

جدول ۳: برآورد اولیه ضریب ثابت کینتیک تولید گاز دفن‌گاه (k) برای دفن‌گاه جدید مشهد

نوع اجزاء	درصد در زباله مشهد	ضریب k
تجزیه پذیر سریع	۵۱	۰/۱۱۶
تجزیه پذیر متوسط	۱/۷۱	۰/۰۷۶
تجزیه پذیر آرام	۵/۱۴	۰/۰۴۴
برآیند ضریب ثابت k		۰/۰۶۲۷

از سوی دیگر با توجه به آب و هوای خشک محل دفن مشهد و بارندگی سالانه پایین آن، توصیه مراجع برای ضریب k، بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ می باشد [7,8]. همچنین مقادیر پیشنهاد شرکت SCS که یکی از مشاورین خارجی صاحب نام در زمینه مهندسی دفن گاه و تولید انرژی از گاز دفن گاه می باشد، برای ضریب تولید متان (k) در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به اینکه میانگین ۳۰ ساله بارندگی مشهد، ۲۷۰ میلی متر در سال است، ضریب ثابت k می تواند ۰/۰۵ برگزیده شود.

جدول ۴: پیشنهاد شرکت SCS برای تخمین ضریب ثابت تولید متان بر اساس بارش سالانه [9]

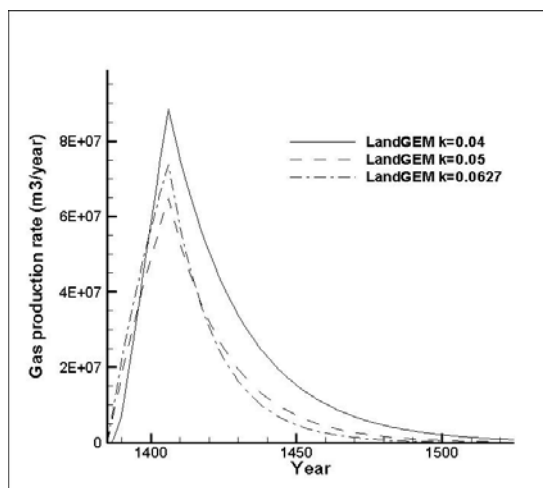
ضریب k (1/yr)	بارندگی سالانه mm
۰/۰۴	۰ - ۲۴۹
۰/۰۵	۲۵۰ - ۴۹۹
۰/۰۶۵	۵۰۰ - ۹۹۹
۰/۰۸	۱۰۰۰ و بالاتر

از طرف دیگر با توجه مطالعات انجام شده برای دفن گاه قدیم مشهد، مشاهده گردید که ضریب کینتیک ۰/۰۴ بیشترین تطابق را با آزمایشات صحرائی دارد. بنابراین در حالت بدون بازگردش سه ضریب ۰/۰۴، ۰/۰۵ و ۰/۰۶۲۷ برای انجام محاسبات در نظر گرفته شده است.

بر اساس تخمین میزان پسماند تولیدی در سال های ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۵، ترکیب زباله در طی این سال ها، تغییر می کند. بنابراین پتانسیل و توان نظری زباله ها نیز دستخوش تغییر می شود. بر این اساس و با انجام محاسبات می توان سه مقدار مختلف را برای توان نظری زباله ها در نظر گرفت:

- برای زباله های دفن شده در سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶: $157 \text{ m}^3/\text{ton}$
- برای زباله های دفن شده در طی سال های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹: $195 \text{ m}^3/\text{ton}$
- برای زباله های دفن شده در طی سال های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۵: $230 \text{ m}^3/\text{ton}$

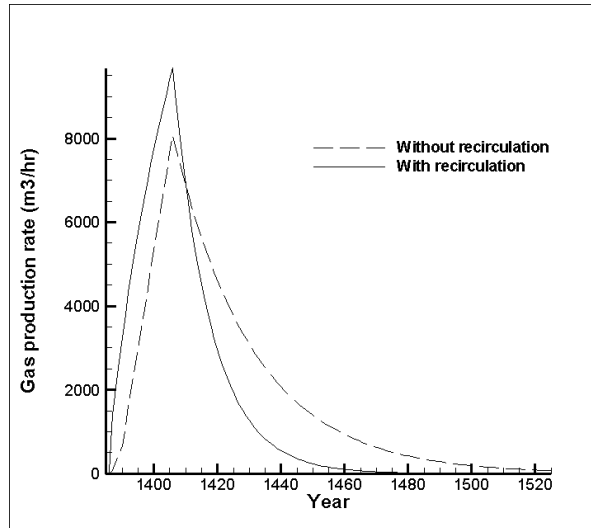
از آنجا که کدهای محاسباتی LandGEM دارای قابلیت یک ورودی برای توان نظری هستند، این کدها برای چندین ورودی تصحیح شدند. ماکروهای LandGEM تصحیح شده تا قابلیت دریافت چند ورودی برای توان نظری را داشته باشند. نتایج به دست آمده با استفاده از مدل تصحیح شده LandGEM به صورت شکل ۷ است.



شکل ۷: پیش بینی تولید گاز دفن گاه با استفاده از مدل تصحیح شده LandGEM و با k ها و l های متفاوت

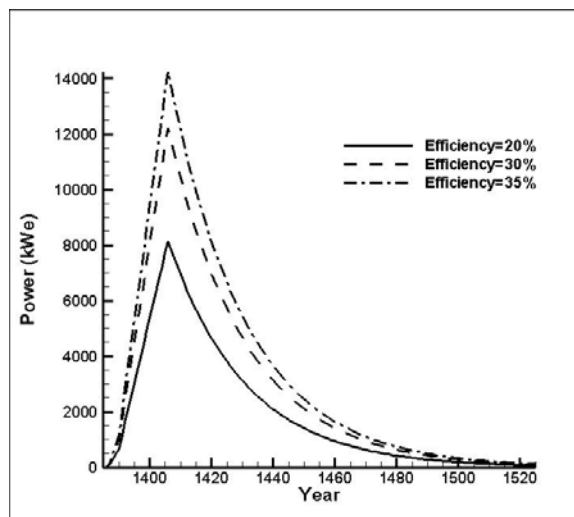
۳-۳- مقایسه روند تولید گاز دفن‌گاه در حالت با بازگردش و بدون بازگردش شیرابه

برای محاسبه و تخمین میزان گاز تولیدی از دفن‌گاه در حالتی که بازگردش شیرابه انجام می‌شود نیز می‌توان از مدل LandGEM استفاده نمود. از آنجا که بازگردش شیرابه تاثیر مستقیمی بر روی ضریب کینیتیک (k) دارد، لذا بر اساس محاسبات انجام شده مقدار ضریب کینیتیک در حالت بازگردش برابر 0.8474 در نظر گرفته شد و در مدل‌سازی از این مقدار استفاده گردید. شکل ۸، مقایسه‌ای بین نتایج به دست آمده برای تولید گاز در حالت با بازگردش و بدون بازگردش را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که روند تولید گاز در حالت با بازگردش در ابتدا بیشتر از حالت بدون بازگردش است ولی به تدریج و در سال‌های پایانی مقدار آن کمتر می‌گردد.

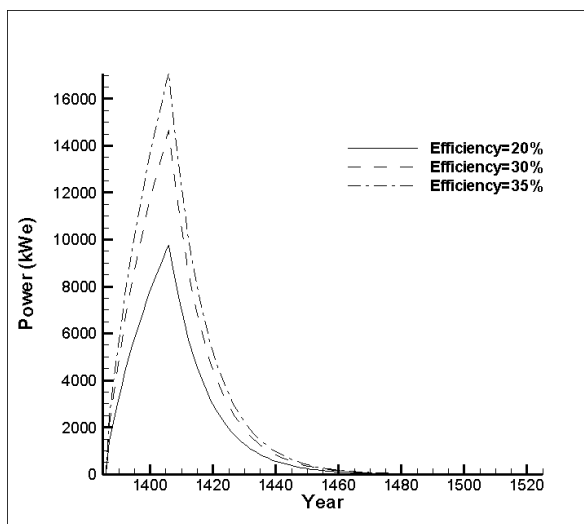


شکل ۸: مقایسه روند تولید گاز در حالت‌های با بازگردش و بدون بازگردش شیرابه

بر مبنای میزان گاز تولیدی می‌توان روند تغییرات توان قابل نصب در دفن‌گاه مشهد را در حالت با و بدون بازگردش محاسبه نمود. اشکال ۹ و ۱۰ تفاوت میزان توان تولیدی را در دو حالت با و بدون بازگردش نشان می‌دهد.



شکل ۹: روند تغییرات توان قابل نصب در دفن‌گاه جدید مشهد



شکل ۱۰: روند تغییرات توان قابل نصب در دفن‌گاه جدید مشهد در حالت با بازگردش

همان‌طور که در اشکال مشخص است توان تولیدی در حالتی که بازگردش شیرابه انجام می‌شود نسبت به حالت متداول (بدون بازگردش) بیشتر بوده و بر این اساس در سال ۱۳۹۱ دفن‌گاه مشهد پتانسیل تولید حدود ۳/۷ مگاوات برق را دارد.

۴- نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین اثرات سوء زیست‌محیطی محل دفن در بلندمدت انتشار بیوگاز می‌باشد. این گاز که ترکیبی از متان و دی‌اکسید کربن است، در صورتی که مهار نشود می‌تواند منجر به خسارات جبران‌ناپذیری به محیط زیست شود. کنترل گاز تولیدی و استحصال آن نه تنها از بروز مشکلاتی نظیر گرمایش جهانی می‌کاهد، بلکه می‌تواند به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر تولید انرژی بکار رود. یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در تولید گاز رطوبت می‌باشد. در صورتی که رطوبت به‌صورت یکنواخت و به میزان کافی در محل دفن پسماند وجود داشته باشد، واکنش‌های بی‌هوازی سریع‌تر اتفاق افتاده و کنترل و استحصال گاز راحت‌تر صورت می‌گیرد. متداول‌ترین روش کنترل رطوبت در محل دفن، بازگردش شیرابه می‌باشد. لذا در این تحقیق بازگردش شیرابه در قسمتی از دفن‌گاه جدید شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا با توجه به مشخصات کمی و کیفی پسماند دفنی، نرخ بازگردش شیرابه تعیین شده و سپس تاثیر بازگردش بر میزان گاز تولیدی محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در صورت بازگردش شیرابه میزان گاز قابل استحصال ۱/۵ برابر شده و امکان تولید ۳/۷ مگاوات برق از محل دفن پسماند وجود دارد.

منابع

۴. پژوهشگاه نیرو، مطالعات و طراحی سیستم مدیریت و بهره‌برداری بیوگاز در دفن‌گاه جدید زباله‌های شهر مشهد، شهرداری مشهد، ۱۳۸۷.
1. Reinhart, D.R. & Townsend, T.G., 1997, "Landfill Bioreactor Design and Operation", Lewis Publishers, CRC Press LLC, New York.
2. ASTM, 1992, "Standard Test Method for Determination of Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste", American Society of Testing and Materials, ASTM Method D 5231-92.
3. Bagchi, A., 2004, "Design of Landfills and Integrated Waste Management", 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, ISBN 0-471-25499-1, pp: 239-422.
5. Attenborough, G.M., R.G. Gregory, D.H. Hall & L. McGoochan- Development of a Landfill Gas Risk Assessment Model: GASSIM- the Environment Agency, UK-2002
6. Ehrig, H.J.- Prediction of Gas Production from Laboratory-Scale Tests - Landfilling of Wastes: Biogas- E & FN SPON- London- 1996
7. Nutting, Linda – US EPA, Landfill Methane Outreach Program (LMOP) – Part 5: Evaluating Landfill Gas Potentials – Training Workshop, Sao Paulo, Brazil – June 26, 2001
8. User's Manual, Landfill Gas Emissions Model, Version 2.0 – U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development – Feb. 1998
9. Stege, G. Alex et al. – User's Manual, Mexico Landfill Gas Model, Version 1.0 – SCS Engineers – Nov. 2003