

برآورد قابلیت تولید گاز از محلهای دفن شهری برای استانهای ایران

محمدعلی عبدلی^{**}، مهرداد عدل^{*}، عبدالرضا کرباسی^{**}

^{*} پژوهشگاه نیرو - پژوهشکده انرژی و محیط زیست

^{**} دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست

چکیده

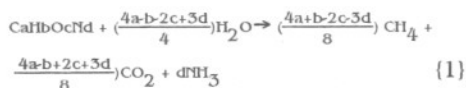
گاز دفنگاه یا LFG در اثر واکنشهای زیستی بر روی مواد آلی تجزیه پذیر زباله شهری پدید می آید و از آنجا که حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد از آن را متان تشکیل می دهد میتواند به عنوان یک منبع انرژی مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله نخست قابلیت تولید بیوگاز از دیدگاه نظری بر اساس ترکیب اجزاء زباله شهری استانهای ایران برآورد شده است. سپس به کمک یک برنامه رایانه ای و با در نظر گرفتن پاره ای مفروضات، مقادیر عملی بیوگاز قابل تولید از محلهای دفن زباله و روند آن در طول زمان محاسبه شده است. بیشترین بازده نظری گاز از واحد جرم زباله خام مربوط به استان کرمان و کمترین آن مربوط به استان کهگیلویه و بویراحمد می باشد. نتایج نهایی براساس جمعیت شهری به تفکیک هر استان محاسبه شده است. در عمل از هر تن زباله شهری خام بین ۵ تا ۲۰ متر مکعب گاز دفنگاه در هر سال قابل بازیافت خواهد بود و افزایش این مقدار با طراحی و مدیریت درست محل دفن امکان پذیر می باشد.

مقدمه

زباله های شهری یکی از معضلات گریبانگیر جوامع شهری می باشند که دفع آنها برای جلوگیری از به خطر افتادن تندرستی انسانها و آلودگی و تخریب محیط زیست، یک ضرورت است. روشهای گوناگونی برای دفن زباله مانند دفن در زمین، بازیافت و تبدیل مواد، سوزاندن و تخلیه به دریا ابداع شده اند اما در کشور ایران هنوز دفن در زمین اولین و گاه تنها گزینه به شمار می آید که متأسفانه نزدیک به تمام شهرهای ایران از داشتن یک محل دفن بهداشتی که با اصول مهندسی طراحی و راهبری شده باشد، محرومند.

از سوی دیگر دفنگاه زباله، آسبیهاو زیانهایی برای محیط زیست به همراه دارد که شامل آلودگی خاک، آلودگی آبهای زیرزمینی و سطحی و انتشار گازهای زیانبار می باشد. گازی که از دفنگاه به بیرون پخش می شود آمیخته ای از متان، گازکربنیک، سولفید هیدروژن، آمونیاک و ترکیبات آلی فرار^۱ با مقادیر اندک است. دو ماده اول، هر دو از گازهای گلخانه ای عمده هستند که امروزه محدود نمودن انتشار آنها بسیار مورد تاکید است و بقیه مواد یاد شده نیز جملگی از ترکیبات خطرناک برای تندرستی به شمار می روند. بنابراین مهار گاز دفنگاه از دیدگاه زیست محیطی یک اجبار است و از سوی دیگر این گاز به خاطر داشتن مقدار قابل توجهی متان می تواند به عنوان یک سوخت مورد استفاده قرار گیرد. هم اکنون بیش از ۳۰۰ محل دفن در

جهان وجود دارند که از گاز محل دفن برای تولید انرژی و برق یا فروش به دیگر خریداران استفاده می نمایند. گاز دفنگاه^۲ یا بیوگاز به هم اختصار LFG هم نامیده می شود، از انجام مجموعه ای از واکنشهای زیست شیمیایی بر روی مواد آلی تجزیه پذیر موجود در زباله^۳ در شرایط بیهوازی بدست می آید. چگونگی رخداد این فرآیند به صورت رابطه نظری زیر نوشته می شود:



با دانستن ترکیب وزنی عناصر موجود در زباله، معادله بالا قابل استفاده بوده و مقادیر نظری گازهای متان و دی اکسیدکربن پیش بینی خواهند شد. براساس معادله بالا، یک مول از کربن آلی در اثر واکنشهای زیست شناختی به ۱ مول گاز دفنگاه (متان و گازکربنیک و اندکی آمونیاک) تبدیل می شود و ۱ مول از این گاز در شرایط متعارفی ۲۲/۴ لیتر حجم دارد، با توجه به وزن مولی کربن (۱۲ گرم بر مول) یک گرم کربن آلی معادل با ۱/۸۶۷ لیتر گاز (CH₄+CO₂) خواهد بود.

این حجم گاز بیشترین مقداری است که از

1- Volatile Organic Compounds

2-Landfill Gas

3-Bio-Chemical Reactions

آلی برحسب گرم می باشد که در بالا بدان اشاره شد.

Y_{LFG} = بازده نظری گاز دفنگاه از واحد جرم

زباله^{تر} (m³/kg_{MSW})

OC_i = مقدار کربن آلی موجود در جزء i ام

(kgC/kg_{MSW})

f_{bi} = قابلیت تجزیه پذیری زیستی جزء i ام

(kg/kg_{dry})

ω_i = رطوبت موجود در جزء i ام (kg/kg_{MSW})

P_i = نسبت وزنی جزء i ام در کل زباله (kg/kg_{MSW})

اجزاء عمده موجود در زباله شهری به شکل مندرج در جدول زیر دسته بندی شده اند و جدول زیر میانگین قابلیت تجزیه پذیری و سایر ویژگیهای شیمیایی اجزاء زباله را ارائه می دهد:

تجزیه کربن آلی موجود در مواد تجزیه پذیر می تواند بدست آید. در عمل نسبت ترکیب گاز دفنگاه: ۶۰-۵۵٪ متان و ۴۵-۴۰٪ دی اکسید کربن فرض می شود.

برآورد توان تولید گاز در دفنگاه

در عمل، زباله شهری از اجزای مختلفی تشکیل شده که پاره ای از آنها آلی نیستند (فلزات - شیشه - خاله) و پاره ای دیگر با وجود اینکه از دسته مواد آلی به شمار می روند، اما توانایی تجزیه به روش زیست شناختی را ندارند (مانند پلاستیک و لاستیک) پس برای برآورد بازده نظری گاز دفنگاه از زباله شهری، رابطه زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

$$Y_{LFG} = 1.867 \sum_{i=1}^n OC_i (f_{bi})_i (1 - \omega_i) P_i \quad (2)$$

ضریب ۱/۸۶۷ نسبت حجمی گاز به جرم کربن

جدول (۱) - کربن آلی، رطوبت، تجزیه پذیری و درصد عناصر شیمیایی اجزاء موجود در زباله

جزء i	OC_i	ω_i	$(f_{bi})_i$	%C	%H	%O	%N	%S
مواد غذایی	0.48	0.6	0.8	48	6.4	37.6	2.6	0.4
زایدات باغبانی	0.48	0.5	0.7	48	6.2	38	3.4	0.4
کاغذ و مقوا	0.44	0.08	0.5	44	6	44.2	0.3	0.2
پلاستیک و لاستیک	0.7	0.02	0.0	70	8.6	11.4	2	-
منسوجات	0.55	0.1	0.2	55	6.6	31.2	4.6	0.15
چوب	0.5	0.2	0.5	50	6	42	0.2	-
فلزات	0.0	0.03	0.0	-	-	-	-	-
شیشه	0.0	0.03	0.0	-	-	-	-	-

مأخذ (3,6)

با توجه به جدول بالا، میانگین رطوبت و قابلیت تجزیه پذیری زیست شناختی برای مواد فسادپذیر (زائدات غذایی + باغبانی) به ترتیب ۵۵٪ و ۷۵٪ در نظر گرفته می شود. به کمک

مقادیر مندرج در جدول فوق و درصد اجزاء مختلف در زباله شهری (Pi)، بازده نظری گاز دفنگاه با استفاده از معادله (۲) برای هر شهر قابل محاسبه خواهد بود. این محاسبات برای استانهای ایران انجام گرفته و به این منظور از اطلاعات مربوط به ترکیب زباله شهری و

سرانه تولید زباله شهری مندرج در گزارش طرح جامع زباله شهری ایران (2) استفاده شده است پس از برآورد بازده نظری گاز دفنگاه، با ضرب این عدد در حجم زباله تولید شده در هر استان، کل مقدار نظری گاز قابل تولید از زباله حاصل از یک مدت معین در یک استان یا یک شهر بدست خواهد آمد. در این پژوهش با استفاده از اعداد سرانه، تولید زباله خانگی - تجاری و جمعیت ساکن در نقاط شهری

(براساس آمار سرشماری ۱۳۷۵) جرم زباله تولید شده در مدت یکسال برآورد گردیده و مبنای محاسبات قرار گرفته است و اطلاعات مربوط به زباله‌های شهری برخی از استانهای کشور برای نمونه در جدول (۲) منعکس شده است.

در پایین جدول (۲) داده‌های مربوط به زباله‌های شهرهای بسیار بزرگ کشور درج شده‌اند. این نکته گفتنی است که تعیین درصد اجزاء تشکیل دهنده زباله شهری کرج از راه نمونه برداری و تفکیک زباله در مناطق ۷ گانه این شهر در تابستان و پاییز ۱۳۷۷ توسط مهندس افشین فرهادی و با همکاری مهرداد عدل و کمک سازمان بازیافت کرج انجام گرفته است.

جدول (۲) - ترکیب زباله شهری و سرانه تولید زباله خانگی و تجاری چند استان ایران

و شهرهای بسیار بزرگ (2)

استان	سرانه نفر/روز Kg	فلزات %	شیشه %	کاغذ مقوا %	پلاستیک و لاستیک %	منسوجات %	چوب %	فسادپذیر
آذربایجان شرقی	1.1	5	5	10	10	6	10	54
اردبیل	1	4	3.1	13.6	10.7	3.6	5.6	59.41
بوشهر	0.7	2	3.5	9.4	5.5	3	7.2	69.4
تهران	0.8	4.6	5.6	10.5	9.8	3.1	5.2	62
کرمان	0.8	1.6	3.3	14.1	6.3	1.3	1.7	78.1
کهگیلویه و بویراحمد	1.2	7.5	8.8	14.2	22	5.7	7.2	34.7

استان	سرانه نفر/روز/Kg	فلزات %	شیشه %	کاغذ مقوا %	پلاستیک لاستیک %	منسوجات %	چوب %	فسادپذیر
یزد	0.6	3.5	5.8	16	11.5	5	8	50.2
تهران	0.83	1.08	2.33	8.91	5.12	2.82	0.31	79.43
مشهد	0.53	3.97	2.84	14.40	5.07	4	2.13	67.3
اصفهان	0.64	1.3	9.24	5.67	2.35	3.27	2.07	76.1
تبریز	1.13	3	3	10	4	2	1.5	76.5
شیراز	0.67	5	4	11	7	2	1	70
کرج	0.8	1.5	1.8	6	6.8	4	1.2	73.3
اهواز	0.53	2.4	2.3	2.7	2.6	1.3	1.3	87.2
قم	0.5	2.3	2.3	5.2	6.5	1	0.7	82
کرمانشاه	0.6	3	3	10	20	-	-	64

آغاز تولید گاز مدتی پس از دفن زباله روی

می‌دهد. روند تولید گاز در عمل بدین صورت است که پس از مدت زمانی بین ۶ تا ۱۴ ماه که زمان تاخیر^۱ نامیده می‌شود، گاز شروع به تولید می‌کند و نرخ تولید آن رفته رفته افزایش می‌یابد تا در زمانی معین به بیشترین حد خود می‌رسد. این زمان به نام زمان اوج^۲ شناخته شده است. پس از آن تولید گاز شروع به کاهش می‌کند تا اینکه به حد کاملاً ناچیز می‌رسد.

در مورد روند تولید گاز شاخص دیگری نیز تعریف شده و آن نیمه عمر^۳ تولید گاز است

با قراردادن درصدهای بالا و اعداد مندرج در جدول (۱)، در رابطه (۲)، بازده نظری گاز دفن‌گاه برای هر استان قابل محاسبه است، به عنوان مثال در استان کرمان بازده نظری گاز برابر ۰/۲۹۸ متر مکعب بر تن زباله خام می‌باشد.

توجه به این نکته ضروری است که در عمل تمام این مقدار گاز قابل دستیابی نیست و این به دلیل همگن نبودن بافت زباله در دفن‌گاه، عدم توزیع یکنواخت رطوبت، نحوه استخراج گاز و کیفیت مدیریت دفن‌گاه است.

از سوی دیگر مقدار گاز محاسبه شده در طول زمانی معادل چند سال تولید می‌گردد و

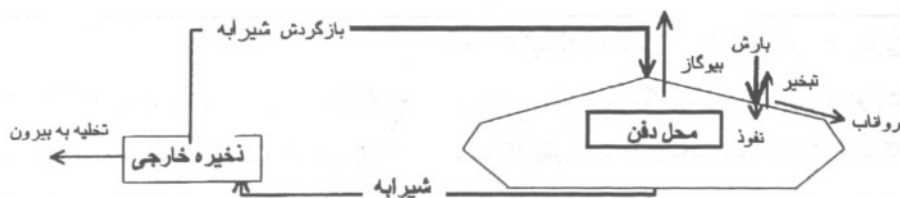
1-Lag Time

2-Lag Phase

3-Half Life

و بستگی به نوع زباله و درجه تجزیه پذیری آن دارد و از سوی پژوهشگران مختلف، اعداد بسیار متنوعی برای آن ارائه شده است و نتایج تجربی بدست آمده از محلهای دفن، زمان نیمه عمر را بین ۶ تا ۹ سال نشان می‌دهند نیمه عمر زمانی است که نیمی از گاز تولید شده رها می‌شود و از روی این زمان ثابتهای نرخ واکنش را محاسبه می‌نمایند.

گاز متان به طور طبیعی در اثر فرآیند



شکل (۱) - نمودار گردش کار یک محل دفن خودپالاینده^۱ (7)

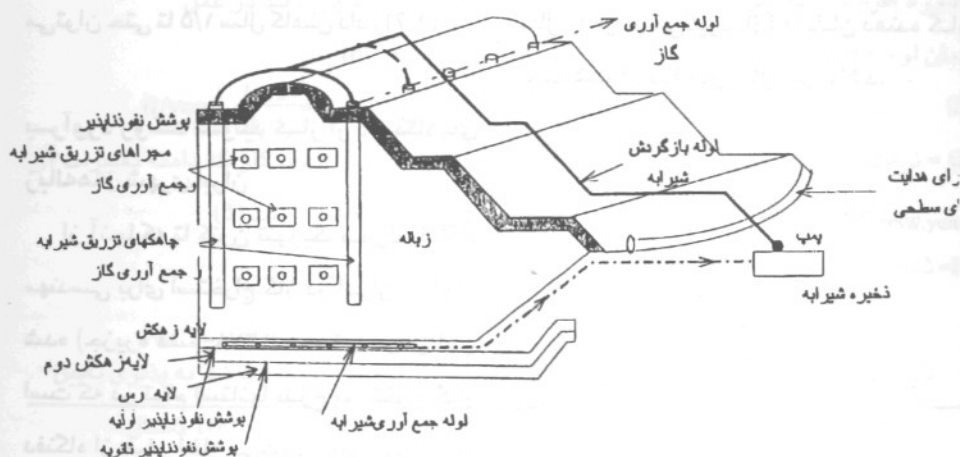
می‌کاهد. تجربیات آزمایشگاهی و عملی نشان داده‌اند که انجام کارهای زیر همراه با بازگردش شیرابه در افزایش سرعت و مقدار تولید گاز و تجزیه تثبیت مواد آلی زباله تاثیر خوبی دارند:

- افزودن لجن بیهوازی فاضلاب
- افزودن محلول بافر و تنظیم pH در حد خنثی
- گرم کردن شیرابه در حد ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد.

شکل زیر نمایی از اجزای یک دفنگاه خود
یالاننده را نمایش می‌دهد:

مهمترین اجزاء این مجموعه عبارتند از: پوشش نفوذناپذیر کف - لایه زهکش - مجراهای تخلیه شیرابه - محل جمع آوری و ذخیره شیرابه - تجهیزات بازگردش شیرابه پوشش ناتراوی روی دفنگاه - لوله‌های جمع آوری گاز - مجراهای هدایت رواناب سطحی - مخازن نگهداری گاز .

عمل بازگردش شیرابه، سرعت تجزیه مواد
آلی زباله و تولید گاز را افزایش می‌دهد و غلظت
BOD, COD شیرابه را نیز تا حد چشمگیری



شکل (۲) - احزای مهم یک محل دفن مهندسی از نوع خود پالاینده با امکان بازیافت گاز (۷)

دفعگاه خود پالاینده علاوه بر تولید گاز و تسریع تجزیه و تثبیت مواد آلی زباله، این مزیت را دارد که پس از پایان دوره تثبیت که بسیار زودتر از دفعگاه‌های معمولی رخ می‌دهد، می‌توان دفعگاه را تخلیه نمود و مواد درون آن را که شامل مواد بازیافتی مانند شیشه و فلزات و همچنین کمپوست تولید شده به روش بیهوازی هستند، بازیابی کرد و دوباره از آن برای دفن زباله بهره جست.

تجربیات گوناگون در آلمان، آمریکا و سوئد نشان داده‌اند که طول دوره تجزیه تثبیت زباله را به کمک راهبری مناسب در بازگردش شیرابه، تنظیم pH و تنظیم عوامل محیطی می‌توان حتی تا ۱/۵ سال کاهش داد. (4,7)

برآورد روند تولید گاز از دفعگاه‌های زباله‌های شهری ایران

از آنجا که تا کنون تنها یک مورد دفعگاه مهندسی برای استخراج گاز در ایران ساخته شده (جزیره قشم-۱۳۷۸) نخستین فرض این است که در تمام استانها طرح استخراج گاز دفعگاه از صفر آغاز می‌شود. برای سادگی در کار محاسبه، فرضهای ساده کننده و کاربردی زیرمورد استفاده قرار گرفته است.

- برای هر استان یک دفعگاه فرضی در نظر گرفته شده و به مدت ۵ سال زباله‌های تولید

شده در این محل دفن می‌شوند و پس از ۵ سال دفعگاه پوشیده شده و تنها عملیات بازگردش شیرابه و استخراج گاز ادامه خواهند یافت. - با توجه به اینکه زباله‌های ایران از نظر کیفیت تجزیه پذیری در رده متوسط مایل به خوب قرار می‌گیرند (بدلیدل وفور پسمانده‌های فسادپذیر) نیمه عمر ۷ سال انتخاب می‌گردد. - گاز تولید شده در هر سال بطور مجزا مورد تحلیل قرار می‌گیرد و برای برآورد روند کلی تولید گاز از اصل جمع آثار قوا استفاده می‌شود. ماتریس زیر راهنمای خوبی برای روش کار ماست: در این ماتریس پنج لایه در نظر گرفته شده و هر لایه، زباله مربوط به یک سال را در بر می‌گیرد. $G(i,j)$ نشان دهنده گاز تولید شده از لایه i در سال j می‌باشد.

سال	1	2	3	4	5	n	لایه
1	$Q(1,1)$	$Q(1,2)$	$Q(1,3)$	$Q(1,4)$	$Q(1,5)$	$Q(1,n)$	1
2	0	$Q(2,2)$	$Q(2,3)$	$Q(2,4)$	$Q(2,5)$	$Q(2,n)$	2
3	0	0	$Q(3,3)$	$Q(3,4)$	$Q(3,5)$	$Q(3,n)$	3
4	0	0	0	$Q(4,4)$	$Q(4,5)$	$Q(4,n)$	4
5	0	0	0	0	$Q(5,5)$	$Q(5,n)$	5
جمع	$Q(1,1)$	$Q(1,2)+Q(2,2)$	$\sum_{i=1}^5 Q(i,3)$	$\sum_{i=1}^5 Q(i,4)$	$\sum_{i=1}^5 Q(i,5)$	$\sum_{i=1}^5 Q(i,n)$	

- معادلات زیر به عنوان بهترین معادلات
 موجود برای برآورد روند تولید گاز بکار گرفته
 شده‌اند: (5)
 $G_{t_{max}} = G_e \cdot K$ (4)
 $G_t = G_{t_{max}} \cdot e^{-K \cdot I \cdot (t_1 - t)}$ (3)
 $K = \frac{\ln(2)}{t_{0.5} \cdot (l/year)}$
 $t_{0.5}$ = نیمه عمر تولید گاز که دامنه تغییرات آن
 در زیر آورده شده است (5)

(آ) دوره افزایشی تولید گاز (از زمان صفر تا
 زمان اوج $t=t_1$)
 G_e = کل گاز قابل تولید در عمل
 (m^3/ton_{MSW})
 K = ضریب تبدیل
 $(l/year)$
 $t_{0.5}$ = نیمه عمر تولید گاز که دامنه تغییرات آن
 در زیر آورده شده است (5)
 $KI = \frac{\ln(G_{t_{max}}) - \ln A}{t_1}$ = ثابت نرخ واکنش
 $(m^3/ton_{MSW} \cdot year)$

زباله با تجزیه پذیری خوب	زباله با تجزیه پذیری متوسط	زباله با تجزیه پذیری پایین
دامنه: 0.4-10 سال	2-25 سال	6-100 سال
مقدار معمول: 1 سال	12 سال	27 سال

برای این پژوهش $K = \frac{\ln(2)}{7} = 0.099$
 مقدار عملی گاز قابل تولید بستگی به چگونگی
 راهبری محل دفن و بازدهی جمع آوری گاز
 دارد (مقدار معمول آن بین ۴۰ تا ۹۰٪ است (5))
 برای ایران بازدهی استخراج گاز ۶۰٪ در نظر
 گرفته شده است.

$A =$ نرخ تولید گاز در زمان آغاز به کار دفنگاه
(۰/۰۱ پیشنهاد شده است)

$t_1 =$ زمان رسیدن به بیشترین نرخ تولید گاز
 $t_1 = 0.35 t_{0.5}$ پیشنهاد شده است (5)

(ب) دوره کاهش تولید گاز (بعد از زمان اوج
 $t > t_1$)

$$Q_t = Q_{t \max} \cdot e^{-k(t_1 - t)} \quad (5)$$

$K =$ همان مقداری است که در بالا توضیح داده
شده.

اعداد کاربردی مربوط به محاسبات برای ایران:

$$Q_e = 0.6 Y_{LFG}$$

$$K = 0.099 \text{ year}^{-1}$$

$$t_{0.5} = 7 \text{ year}$$

$$t_1 = 0.35 t_{0.5} = 2.5 \text{ year}$$

$$Q_{t \max} = 0.099 K \cdot Q_e = 0.0594 Y_{LFG}$$

برنامه ساده‌ای که به زبان QBASIC نوشته
شده است، محاسبات مربوط به نرخ تولید گاز
را در مقاطع زمانی مختلف از یک دوره ۵۰ ساله
انجام می‌دهد. این برنامه ورودیهای زیر را
دریافت می‌نماید:

- نام استان یا شهر

- بازده نظری گاز در استان یاد شده برحسب

$$(m^3/ton_{MSW}): \text{استخراج از رابطه (۲)}$$

- جرم مجموع زباله تولید شده در سال نخست

بهره برداری از دفنگاه (جمعیت شهری ضرب

در سرانه تولید زباله در ۳۶۵ روز)

- نرخ رشد سالانه تولید زباله برحسب درصد

(این برنامه با استفاده از تصاعد هندسی

$m_i = m_1(1+r)^i$ تولید زباله در سالهای دوم تا پنجم
را محاسبه می‌کند)

- زمان رسیدن به حداکثر تولید گاز برحسب

سال (در اینجا ۲/۵ سال فرض شده)

نیمه عمر تولید گاز (در اینجا ۷ سال فرض شده)

سپس برنامه LFG5 با استفاده از معادلات (۳) و

(۴) و (۵) نرخ تولید گاز را برحسب متر مکعب در

سال در مقاطع زمانی ۰/۵ ساله از آغاز تا سال

دهم و در مقاطع ۵ سال از سال دهم تا سال

پنجاهم محاسبه نموده و نتایج را ارائه می‌دهد.

یک نمونه برگزیده از خروجی برنامه مربوط به

کل جمعیت شهری استان آذربایجان شرقی در

زیر آورده شده است:

LANDFILL GAS PRODUCTION RATE

by M.ADL

Province: EAST AZARBAJAN

Landfill Gas Yield = 249 (m^3/t_{MSW})

Time from Gas production rate

start (years) ($m^3/year$)

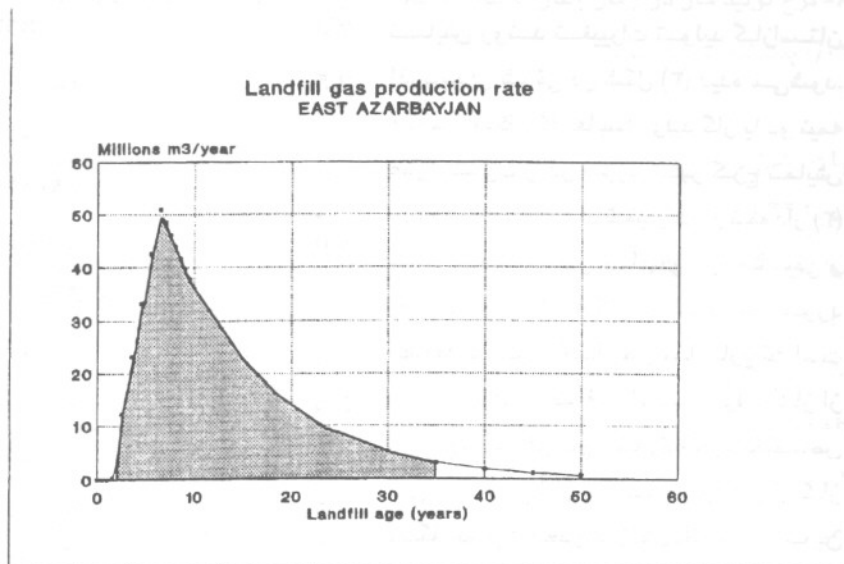
0.0 822.7

0.5 5614.0

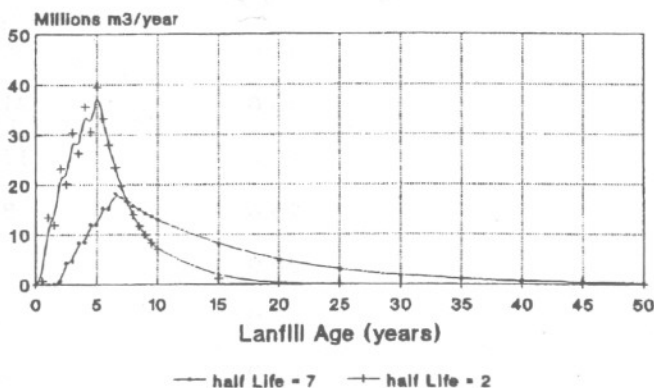
1.0 38308.1

1.5 261400.7

نمایش روند تغییرات تولید گاز استان	2.0	1783701.9
آذربایجان شرقی در شکل (۳) دیده می شود.	2.5	12171326.0
همچنین شکل (۴) مقایسه تولید گاز با دو نیمه	3.0	13141343.0
عمر متفاوت را در مورد شهر کرج نمایش	3.5	23137442.0
می دهد. بررسی روند تغییرات در نمودار (۳)	4.0	23601096.0
نشان می دهد که بین سالهای دوم تا سی و	4.5	33251292.0
پنجم پس از آغاز به کار دفنگاه فرضی مورد	5.0	33249372.0
مطالعه، بیشترین مقدار گاز قابل بازیافت است	5.5	42590272.0
و حدود ۹۵٪ از ظرفیت اسمی تولید گاز از	6.0	42126560.0
مجموع زباله های پنج ساله رابه خود اختصاص	6.5	50965808.0
می دهد. جمع آوری و بهره برداری از گاز	7.0	48503908.0
دفنگاه در این محدوده زمانی اقتصادی ترین	7.5	46160936.0
حالت به نظر میرسد.	8.0	43931140.0
	8.5	41809056.0
	9.0	39789472.0
	9.5	37867448.0
	10.0	36038268.0
	15.0	21965570.0
	20.0	13388165.0
	25.0	8160178.0
	30.0	4973684.0
	35.0	3031494.5
	40.0	1847716.6
	45.0	1126196.0
	50.0	686424.1



شکل (۳)- نمودار روند تولید گاز از دفن مجموع زباله های ۵ سال در کل استان آذربایجان شرقی



شکل (۴)- مقایسه روند تولید گاز از زباله های ۵ سال شهر کرج در دو نیمه عمر ۷ سال و ۲ سال

جدول (۴) - خلاصه نتایج به دست آمده برای استانهای کشور

Y_{LFG} = بازده نظری تولید گاز برحسب $MSW \text{ m}^3/\text{kg}$ = زباله تولید شده برحسب 1000 ton/yr

$Th.G.p$ = حجم نظری گاز قابل تولید بر حسب $\text{Million m}^3/\text{yr}$

ستونهای (۵) تا (۱۱) = نرخ تولید گاز در سالهای مختلف از دوره بهره برداری از دفنگاه زباله (برحسب $\text{Million m}^3/\text{yr}$)

طول دوره دفن زباله شهری در دفنگاه = ۵ سال نیمه عمر تولید گاز = ۷ سال

استان	Y_{LFG}	MSW	Th.G.P	سال 2	سال 5	Max	سال 10	سال 20	سال 40	سال 50
آذربایجان شرقی	0.249	804.8	200.4	1.78	33.25	50.96	36.04	13.39	1.85	686
آذربایجان غربی	0.262	528	139.4	2.00	23.92	35.45	25.07	9.31	1.28	0.48
اردبیل	0.258	207.3	53.5	0.47	8.82	13.46	9.52	3.53	0.49	0.18
اصفهان	0.240	638.3	153.2	1.37	25.43	38.96	27.55	10.23	1.41	0.52
ایلام	0.237	104.2	24.7	0.22	4.10	6.28	4.44	1.65	0.23	0.08
بوشهر	0.278	100.7	28	0.24	4.64	7.12	5.04	1.87	0.26	0.09
تهران	0.252	2746	692	6.14	115.48	177.94	125.82	46.74	6.45	2.40
چهارمحال و بختیاری	0.255	100.1	25.5	0.22	4.23	6.49	4.59	1.70	0.23	0.087
خراسان	0.257	999.2	256.8	2.27	42.59	65.31	46.18	17.15	2.36	0.88
خوزستان	0.259	598.5	155	1.37	25.70	39.42	27.88	10.35	1.43	0.53
زنجان	0.269	133.9	36	0.23	4.47	6.87	4.85	1.80	0.25	0.09
سمنان	0.260	62.3	16.2	0.14	2.68	4.10	2.90	1.07	0.15	0.05
سیستان و بلوچستان	0.268	289.9	77.7	0.68	12.88	19.76	13.97	5.19	0.71	0.27
فارس	0.273	473.6	129.3	1.13	21.43	32.88	23.25	8.64	1.19	0.44
قزوین	0.269	44.7	12	0.105	1.99	3.05	2.16	0.80	0.11	0.04
قم	0.272	255.4	69.5	0.54	10.24	15.73	11.12	4.13	0.57	0.21
کردستان	0.266	257.5	68.6	0.60	11.35	17.42	12.32	4.57	0.63	0.23
کرمان	0.298	309.4	92.2	0.79	15.26	23.45	15.68	6.16	0.85	0.31
کرمانشاه	0.271	240.6	65.2	0.57	10.82	16.62	11.75	4.36	0.60	0.22
کهگیلویه و بویراحمد	0.195	93.3	18.2	17	3.025	4.62	3.26	1.213	0.167	0.06
گلستان	0.276	130.2	35.9	0.31	5.95	9.14	6.46	2.40	0.33	0.12
گیلان	0.260	306.5	79.7	0.70	13.22	20.27	14.33	5.32	0.73	0.27
لرستان	0.263	155.1	40.8	0.36	6.76	10.37	7.34	2.72	0.37	0.14
مازندران	0.276	390.5	107.8	0.70	13.40	20.56	14.54	5.40	0.74	0.28
مرکزی	0.252	204.7	51.6	0.46	8.56	13.12	9.28	3.45	0.47	0.17
هرمزگان	0.239	80.7	19.3	0.17	3.19	4.89	3.45	1.28	0.17	0.65
همدان	0.268	236.6	63.6	0.55	10.51	16.13	11.40	4.24	0.58	0.22
یزد	0.251	123.5	31	0.27	5.13	7.86	5.56	2.06	0.28	0.10

نتیجه گیری

نتایج مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهند که حجم قابل توجهی از بیوگاز در استانهای کشور قابل تولید از زباله‌های شهری می‌باشد. با توجه به شکل (۳)، بین سالهای دوم تاسی و پنجم، حدود ۰/۹۵ کل گاز قابل تولید را می‌توان استخراج نمود (مساحت سایه دار زیر منحنی) پس اگر عدد ۰/۹۵ تقسیم بر عدد (۲-۳۵) شود، میانگین نسبی سالانه تولید گاز: ۲/۸٪ از کل حجم گاز بدست می‌آید، یعنی اگر از هرتن زباله ۲۵۰ متر مکعب گاز قابل تولید باشد، هر سال به طور میانگین: ۷/۲ متر مکعب گاز تولید می‌شود که این رقم با نتایج تجربی که از دفنگاههای سراسر جهان گزارش شده همخوانی دارد (بین ۲ تا ۱۷ متر مکعب در سال) (۵) حال با این فرض که با بهره‌گیری از فنون بهینه بازگردش

شیرابه و تنظیم شرایط مؤثر بر روند تولید گاز (مانند pH و دما و افزودنی‌ها) نیمه عمر تولید گاز به ۲ سال کاهش داده شود (شکل ۴) دیده می‌شود که بین سالهای یکم تا پانزدهم ۹۵٪ کل گاز قابل بازیافت خواهد بود و میانگین سالانه تولید نسبی گاز به ۶/۸٪ افزایش خواهد یافت حجم گاز تولیدی سالانه در مثال بالا به میانگین ۱۷ متر مکعب در سال خواهد رسید.

سپاسگزاری: در اینجا از همکاری و همیاری کتابخانه دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو و آقای مهندس سعید مردان قدردانی می‌گردد.

منابع

- ۱- سازمان برنامه و بودجه - ۱۳۷۵ - سالنامه آماری کشور
- ۲- عبدلی، محمد علی و عبدالرضا کرباسی و همکاران - ۱۳۷۶ - طرح جامع دفع و بازیافت زباله‌های کشور - وزارت کشور - معاونت عمرانی - دفتر برنامه ریزی شهری
- 3- Cossu.R& G.Andreottola et al -1996 - Modelling LFG Production-Landfilling of Wastes: Biogas- E& FN SPON - London
- 4-Christensen & Kjeldsen -1996- Landfilling of Wastes: Biogas- E & FN SPON - London
- 5- Ehrig H.J -1996 - Prediction of Gas Production From Laboratory - Scale Tests - Landfilling of Wastes : Biogas - E & FN SPON - London
- 6-Tchobanoglous.G et al -1993-Integrated Solid Waste Management-McGraw Hill
- 7- Reinhart D.R & T.G. Townsend -1997 - Landfill Bioreactor Design and Operation - LEWIS Publishers-New York

landfill gas production

DIM m(5), gp(5), g (100), D (100,100)

INPUT "province", a\$

INPUT "Landfill Gas Yiled ($m^3/tMSU$)="; ylg

INPUT "Total mass of MSW in 1st year(t)="; m(1)

INPUT "MSW Growth rate per year (%)" ; r

INPUT "time of max production (years) =" ; tm

INPUT "half life (years) =" ; t.5

k= LOG(2)/t.5 : gtm =.6* ylg*k

k1=((LOG(gtm) - LOG (.001))/tm

LPRINT

LPRINT "LANDFILL GAS PRODUCTION RATE"

LPRINT "by M.ADL"

LPRINT

LPRINT "Province:"; a\$

LPRINT "Landfill Gas Yield="; ylg, "(m^3/t MSW)"

LPRINT

LPRINT "Time from start(years) Gas production rate($m^3/year$)"

j=0

FOR t=0 TO 9.5 STEP.5

j=j+1

g(j)=0

FOR i=1 TO 5

m(i)=m(1) * (1+r/100) ^ (i-1)

gp(i)=m(i) * gtm

l=i-l: z=t-l

IF z<0 THEN D(i,j)=0

IF z>tm THEN GOTO 120

D(i,j)=gp(i) * EXP(-k1 * (tm-z));GOTO 150

120 $D(i,j)=gp(i) * EXP(-k * (z-tm))$

150 $g(j) = g(j)+D(i,j)$

NEXT i

LPRINT " ";t," ";g(j)

NEXT t

FOR t=10 TO 50 STEP 5

i=j+1

g(j)=0

FOR i=1 TO 5

gp(i)=m(i) * gtm

l=i-l: z=t-l

$D(i,j)=gp(i) * EXP(-k * (z-tm))$

$g(j)=g(j)+D(i,j)$

NEXT i

LPRINT " ";t," ";g(j)

NEXT t

END