# 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 تجزیه‌پذیر زباله شهری پدید می‌آید و از آنجا که حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد از آن را متان تشکیل می‌دهد 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 رایانه‌ای و با در نظر گرفتن پاره‌ای 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 استان‌کرمان و کمترین آن مربوط به استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. 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 خواهدبود وافزایش این مقدار با طراحی و مدیریت درست محل دفن امکان‌پذیر می‌باشد.



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

## مقدمه

زباله های شهری یکی از معضلات گریبانگیر جوامع شهری می‌باشند 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 شده‌اند اما در کشور ایران هنوز دفن در زمین اولین و گاه تنها گزینه به شمارمی 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، آسیبهاو زیانهایی برای محیط زیست به همراه دارد که شامل آلودگی خاک، آلودگی آبهای زیرزمینی و سطحی و انتشار گازهای زیانبار می‌باشد. گازی که از دفنگاه به بیرون پخش می‌شود آمیخته‌ای از متان، گازکربنیک، سولفید هیدروژن، آمونیاک و ترکیبات آلی فرار[1] با مقادیر اندک است. دو ماده اول ،هر دو از گازهای گلخانه‌ای 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 می‌روند. بنابراین مهار گاز دفنگاه از دیدگاه زیست محیطی یک اجبار است و از سوی دیگر این گاز به خاطر داشتن مقدار قابل توجهی متان می‌تواند 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 می‌نمایند. گاز دفنگاه[2] یا بیو گاز به هم اختصار LFG هم نامیده می‌شود، از انجام مجموعه‌ای از واکنشهای زیست شیمیایی بر روی مواد آلی تجزیه‌پذیر موجود در زباله[3] در شرایط بیهوازی بدست می‌آید. چگونگی رخداد این فرآیند به صورت رابطه نظری زیر نوشته می‌شود :

$$C_aH_bO_cN_d + \left(\frac{4a-b-2c+3d}{4}\right)H_2O \rightarrow \left(\frac{4a+b-2c-3d}{8}\right)CH_4 + \frac{4a-b+2c+3d}{8}CO_2 + dNH_3 \quad \{1\}$$

با دانستن ترکیب وزنی عناصر موجود در زباله، معادله بالا قابل استفاده بوده و مقادیر نظری گازهای متان و دی‌اکسیدکربن پیش‌بینی خواهند شد. براساس معادله بالا، یک مول از کربن آلی در اثر واکنشهای زیست شناختی به ۱ مول گاز دفنگاه (متان و گاز کربنیک و اندکی آمونیاک) تبدیل می‌شود 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

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

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

**برآورد توان تولید گاز در دفنگاه**

در عمل، زباله شهری از اجزای مختلفی تشکیل شده که پاره‌ای از آنها آلی نیستند (فلزات -شیشه -نخاله)و پاره‌ای دیگر با وجود اینکه از دسته مواد آلی به شمار می‌روند، 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 می‌گیرد:

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

ضریب ۱/۸۶۷ نسبت حجمی گاز به جرم کربن آلی برحسب گرم می‌باشد که در بالا بدان اشاره شد.

$Y_{LFG}$=بازده‌نظری گاز دفنگاه از واحد جرم زبالهٔتر ($m3/kg_{MSW}$)

OCi= مقدار کربن آلی موجود در جزء i ام ($kgC/kgM_{MSW}$)

fbi= قابلیت تجزیه پذیری زیستی جزء i ام ($kg/kg_{dry}$)

$\omega i$ = رطوبت موجود در جزء i ام ($kg/kg_{MSW}$)

$P_i$=نسبت‌وزنی‌جزءiام‌درکل زباله ($kg/kg_{MSW}$)

اجزاء عمده موجود در زباله شهری به شکل مندرج در جدول زیر دسته بندی شده‌اند و جدول زیر میانگین قابلیت تجزیه پذیری و سایر ویژگیهای شیمیایی‌اجزاء زباله راارائه می‌دهد:

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

| جزء i | OCi | $\omega i$ | (fb)i | %C | %H | %O | %N | %S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| موادغذایی | 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 |
| کاغذومقوا | 0.44 | 0.08 | 0.5 | 44 | 6 | 44.2 | 0.3 | 0.2 |
| پلاستیک ولاستیک | 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 55%و75% در نظر گرفته می‌شود. به کمک



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

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، باضرب 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 ۷گانه 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 بسیاربزرگ(2)

| استان | سرانه Kg/نفر.روز | فلزات % | شیشه % | کاغذو مقوا% | پلاستیک‌و 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 |
| کهگیلویه‌وبویراحمد | 1.2 | 7.5 | 8.8 | 14.2 | 22 | 5.7 | 7.2 | 34.7 |



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

| استان | سرانه Kg/نفر.روز | فلزات % | شیشه % | کاغذ و مقوا % | پلاستیک و 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 |

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 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**[1] 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**[2] 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**[3]تولید گاز است

1-Lag Time 2-Lag Phase

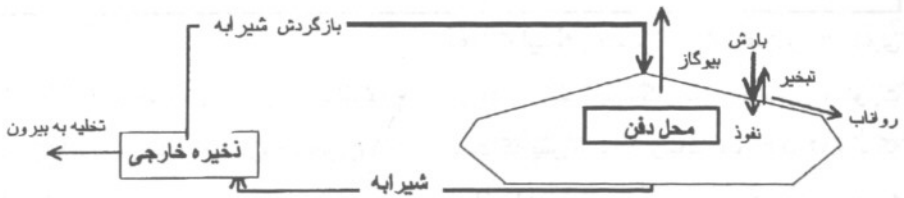
3-Half Life



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

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 می نمایند.

گاز متان به طور طبیعی در اثر فرآیند گوارش بیهوازی در دفنگاه زباله تولید شده و آزاد می‌شود. برای مهار و استخراج گاز، نیاز به طراحی و راهبری یک دفنگاه مهندسی از نوع خود پالاینده[1] داریم. به این نوع دفنگاه بیورآکتور نیز می‌گویند. شکل زیر نمایی از گردش کار چنین دفنگاهی را نشان می‌دهد:




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

1-Bioreactor Landfill



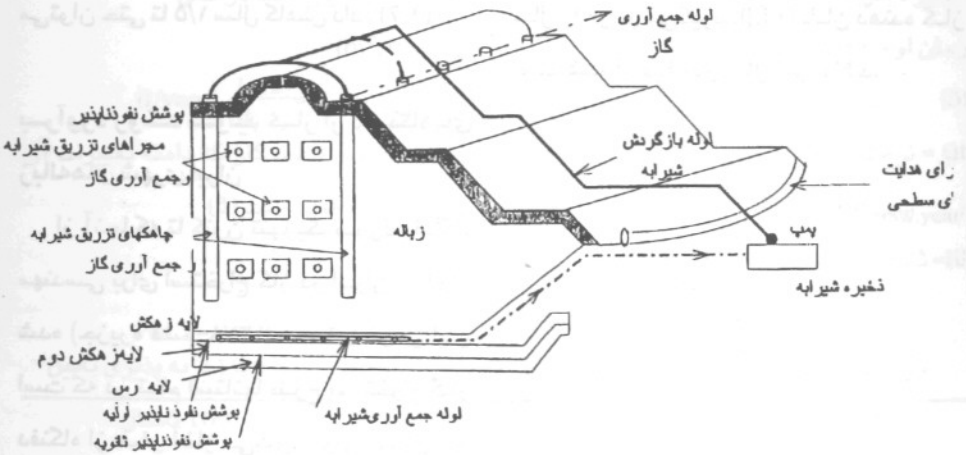
[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

مهمترین اجزاء این مجموعه عبارتند از: پوشش نفوذناپذیر کف -لایه زهکش - مجراهای تخلیه شیرابه - محل جمع آوری و ذخیره شیرابه - تجهیزات بازگردش شیرابه پوشش ناتراوای 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،CODشیرابه را نیز تا حد چشمگیری 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 تاثیرخوبی 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 پالاینده را نمایش می‌دهد:




شکل (۲)- اجزای مهم یک محل دفن مهندسی‌از نوع خود پالاینده با امکان بازیافت گاز[7]

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

دفنگاه 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 دفنگاه‌های معمولی رخ می‌دهد، می‌توان دفنگاه 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 دفنگاههای زباله‌های شهری ایران

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

- برای هر استان یک دفنگاه فرضی درنظر گرفته شده و به مدت ۵ سال زباله‌های تولید شده در این محل دفن می‌شوند و پس از ۵ سال دفنگاه پوشیده شده و تنها عملیات باز گردش شیرابه و استخراج گاز ادامه خواهند یافت.

- با توجه به اینکه زباله‌های ایران از نظر کیفیت تجریه 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 لایهٔ i در سال j می باشد.



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

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

– معادلات زیر به عنوان بهترین معادلات موجود برای برآورد روند تولید گاز بکار گرفته شده‌اند:(5)

آ)**دوره افزایشی تولید گاز** (از زمان صفر تا زمان اوج t=t1)

$$G_t = G_{tmax} \cdot e^{-k1(t_1 - t)} \quad \{3\}$$

$G_t$ = نرخ تولید گاز در زمان t $(m^3/ton_{MSW.year})$

$K_1$= ثابت نرخ واکنش $= \frac{\ln(G_{tmax}) - \ln A}{t_1}$

$Gt_{max}$= نرخ بیشینه تولید گاز که از معادله (۴) محاسبه می‌شود $(m^3/ton_{MSW.year})$

$$G_{tmax} = G_e \cdot K \quad \{4\}$$

$G_e$= کل گاز قابل تولید در عمل $(m^3/ton_{MSW})$

K= ضریب تبدیل $= \frac{\ln(2)}{t_{0.5}}$ (1/year)

$t_{0.5}$= نیمه عمر تولید گاز که دامنه تغییرات آن در زیر آورده شده است (5)

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

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





[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

A= نرخ تولید گاز در زمان آغاز به کار دفنگاه (این مقدار برای ایران 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) دوره‌کاهش تولید گاز** (بعد از زمان اوج $t>t_1$)

$$G_t = G_{t\,max}.e^{-k(t_1-t)} \quad (5)$$

K= همان مقداری است که در بالا توضیح داده شد.

اعداد کاربردی مربوط به محاسبات برای ایران:

$G_e=0.6Y_{LFG}$

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

$t_{0.5}=7 \quad year$

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

$G_{t\,max}=0.099\ K.Ge = 0.0594\ Y_{LFG}$

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 ($m^3/ton_{MSW}$):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 درسالهای دوم تا پنجم را محاسبه می‌کند)
- زمان رسیدن به حداکثر تولید گاز برحسب سال (در اینجا ۲/۵ سال فرض شده) نیمه عمرتولید 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 ($m^3$/tMSW)

| Time from start (years) | Gas production rate ($m^3$/year) |
|---|---|
| 0.0 | 822.7 |
| 0.5 | 5614.0 |
| 1.0 | 38308.1 |
| 1.5 | 261400.7 |

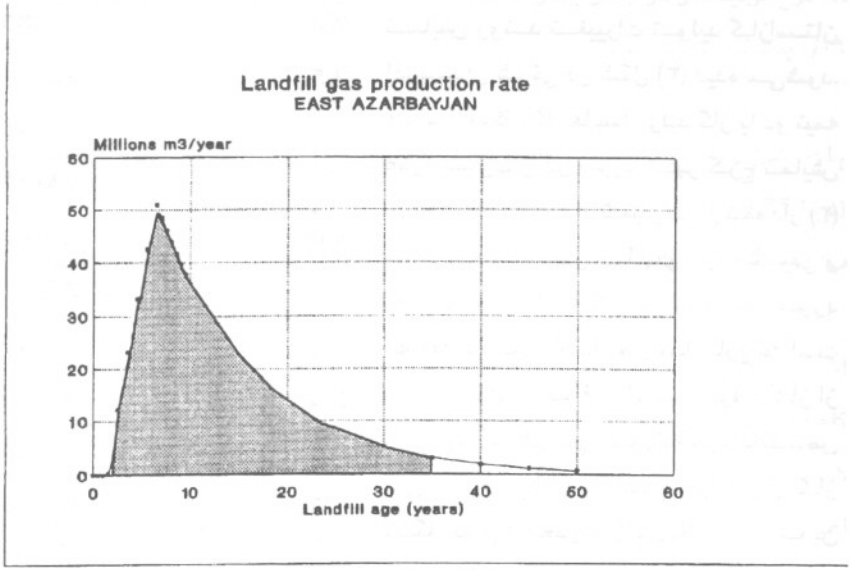


[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

| | |
|---|---|
| 2.0 | 1783701.9 |
| 2.5 | 12171326.0 |
| 3.0 | 13141343.0 |
| 3.5 | 23137442.0 |
| 4.0 | 23601096.0 |
| 4.5 | 33251292.0 |
| 5.0 | 33249372.0 |
| 5.5 | 42590272.0 |
| 6.0 | 42126560.0 |
| 6.5 | 50965808.0 |
| 7.0 | 48503908.0 |
| 7.5 | 46160936.0 |
| 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 |

نمایش روند تغییرات تولید گازاستان آذربایجان شرقی در شکل (۳) دیده می‌شود. همچنین شکل (۴) مقایسه تولید گاز با دو نیمه عمر متفاوت را در مورد شهر کرج نمایش می‌دهد. بررسی روند تغییرات در نمودار (۳) نشان می‌دهد که بین سالهای دوم تا سی و پنجم پس از آغاز به کار دفنگاه فرضی مورد مطالعه، بیشترین مقدار گاز قابل بازیافت است و حدود ۹۵٪ از ظرفیت اسمی تولید گاز از مجموع زباله‌های پنج ساله رابه خود اختصاص می‌دهد. جمع آوری و بهره برداری از گاز دفنگاه در این محدوده زمانی اقتصادی ترین حالت به نظر میرسد.

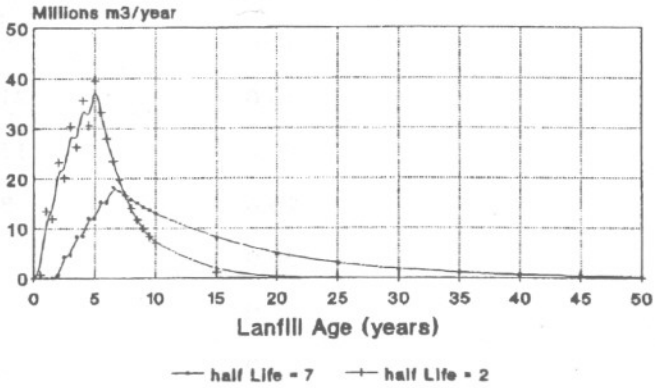
[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]




شکل(۳)-نمودار روند تولیدگازاز دفن مجموع زباله‌های ۵ سال در کل استان آذربایجان شرقی








شکل(۴)- مقایسه روند تولید گازاز زباله های ۵ سال شهرکرج در دونیمه عمر۷ سال و ۲ سال

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

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

$Y_{LFG}$=بازده‌نظری تولیدگازبرحسب $m^3$/kg MSW =MSW زباله تولید شده برحسب 1000ton /yr

Th.G.p= حجم نظری گاز قابل تولید بر حسب Milion $m^3$/yr

ستونهای (۵) تا (۱۱) = نرخ تولید گاز در سالهای مختلف از دوره بهره برداری ار دفنگاه زباله (برحسب Million $m^3$/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 | 17, 94 | 125.82 | 46.74 | 6.45 | 2.40 |
| چهارمحال‌وبختیاری | 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 |
| سیستان‌وبلوچستان | 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 |
| کهکلویه‌وبویراحمد | 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 |



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

## نتیجه گیری

نتایج مندرج درجدول (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 برعدد (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 تولیدمی شود که این رقم با نتایج تجربی که از دفنگاههای سراسر جهان گزارش شده همخوانی دارد (بین ۲ تا ۱۷ متر مکعب در سال)(5) 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 پازدهم 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 کتابخانه‌دانشکده‌محیط زیست دانشگاه‌تهران، پژوهشکده انرژی و محیط زیست ، پژوهشگاه نیرو و آقای مهندس سعید مردان قدردانی می‌گردد.

## منابع

۱- سازمان برنامه و رودجه - ۱۳۷۵- سالنامه آماری کشور

۲- عبدلی، محمد علی و عبدالرضا کرباسی و همکاران -۱۳۷۶-طرح جامع دفع و باز یافت زباله‌های کشور - وزارت کشور - معاونت عمرانی - دفتر برنامه ریزی شهری

3- Cossu.R& G.Andreottola et al -1996 - Modelling LFG Production-Landfillingof 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 - Landfillingof 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



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

```
landfill gas production
DIM m(5) ,gp(5), g (100) , D (100,100 )

INPUT ``province'',a$
INPUT ``Landfill Gas Yiled (m3/tMSU)='';ylg
INPUT ``Total mass of MSW in lst year(t)='';m(l)
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,"(m3/t MSW)"
LPRINT
LPRINT "Time from start(years)   Gas production rate(m3/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(-kl *(tm-z)):GOTO 150
```



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]

```
120 D(i,j)=gp(i) * EXP(-k * (z-tm))
150 g(j) =g(j)+D(i,j)
NEXTi
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
```





[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12 ]