

## بررسی پتانسیل تولید برق از پسماندهای تولیدی در روستاهای استان بوشهر

محمدعلی عبدلی<sup>۱</sup>

رضا سمیعی فرد<sup>۲</sup>

مهدی جلیلی قاضی زاده<sup>۳</sup>

### چکیده

استخراج گاز ناشی از گوارش بی‌هوازی زباله در محل‌های دفن، جمع‌آوری و انتقال آن به نیروگاه‌های بیوگاز سوز فرآیندی است که علاوه بر حفظ محیط زیست می‌تواند با تولید انرژی باعث صرفه‌جویی در مصرف مواد اولیه شود. تولید انبوه زیست‌توده (به‌عنوان مهم‌ترین عنصر بیوگاز) در مناطق روستایی عاملی است که بررسی پتانسیل تولید بیوگاز و به تبع آن تولید انرژی در سطح روستاها را ضروری می‌نماید. در این تحقیق از ۶۹۱ روستای موجود در سطح استان بوشهر ۲۱ روستا به‌عنوان روستای نمونه برای بررسی پتانسیل تولید انرژی در سطح استان انتخاب شدند. در هر روستا کمیت زباله تولیدی محاسبه گردیده و همچنین جهت تعیین کیفیت پسماند تولیدی، نمونه‌گیری در چهار فصل انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که به‌ازاء هر تن زباله تولیدی در سطح روستاهای استان ۱۹۰ مترمکعب بیوگاز تولید می‌شود. ارزش حرارتی بیوگاز حاصله در حدود یک میلیون کیلوکالری برای هر تن پسماند می‌باشد. در صورت استفاده از موتور بیوگازسوز با راندمان الکتریکی ۳۷ درصد می‌توان از این مقدار بیوگاز ۴۲۱/۸ کیلووات برق برای هر تن پسماند تولید کرد.

کلمات کلیدی: پسماند روستایی، زیست توده، بیوگاز، بوشهر، انرژی.

mabdoli@ut.ac.ir

r\_samifard@yahoo.com

mjalili@ut.ac.ir

۱. استاد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران

۳. دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران

## مقدمه

امروزه بیوگاز تولیدی در محل‌های دفن زباله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اثرات سوء دفن پسماندها شناخته شده است. استحصال و مدیریت بیوگاز در محل‌های دفن بهداشتی نه تنها می‌تواند از پیامدهای خطرناک زیست‌محیطی آن بکاهد بلکه بیوگاز تولیدی پتانسیل تولید انرژی نیز دارد. استحصال و انتقال بیوگاز تولیدی به نیروگاه‌های بیوگازسوز، ضمن تولید برق نقش به‌سزایی در حفظ محیط زیست دارد.

در توصیف سیستم بیوگازسوز به صورت اجمال می‌توان گفت که این سیستم‌ها زیست توده را در اثر فعالیت‌های میکروبیولوژیکی تثبیت کرده، گاز متان و کود غنی عاری از عوامل بیماری‌زا و علف‌های هرز تولید می‌کنند. زیست توده یا زائدات زیستی (Biowaste) شامل کلیه پسماندهایی است که سرچشمه آنها موجودات زنده هستند، به این مواد بقایای آلی (Organic Residues) و یا پسماندهای آلی (Organic refuses) هم می‌گویند. موادی که در گستره زائدات زیستی قرار دارند عبارتند از: الف- بقایای محصولات کشاورزی، باغبانی و جنگلی؛ ب- پسماندها؛ ج- فاضلابهای شهری؛ د- فضولات دامی.

در حال حاضر این مواد در زمینهای کشاورزی و یا اطراف روستاها پراکنده می‌شوند و به غیر از موارد محدود از آنها استفاده نمی‌شود. ضایعات فسادپذیر و فضولات دامی وقتی که در محیط روستا پراکنده شوند، میکروارگانیسمهای بیماری‌زا را در محیط منتشر کرده و باعث زاد و ولد و تکثیر عوامل بیماری‌زا، مگس و حیوانات موذی می‌شوند. این موجودات به نوبه خود باعث انتشار انواع بیماریهای واگیردار و عفونی در محیط روستا می‌شوند. توسعه بیوگاز در روستاهای کشور علاوه بر حفظ محیط زیست و بهداشت محیط روستا باعث ارتقاء بهداشت و سلامتی روستائیان خواهد شد (عبدلی، ۱۳۸۶). نکته‌ای که باید بدان توجه شود عدم وجود سیستم جمع‌آوری فاضلاب و همچنین پراکندگی تولید فضولات دامی و محصولات کشاورزی در استان بوشهر است. به‌عنوان مثال مطابق با مطالعه انجام شده، با توجه به گرمسیر بودن منطقه بالغ بر ۷۵ درصد از فضولات دامی، خارج از آغل‌ها تولید می‌شود (عدل، ۱۳۷۸). لذا با توجه به جمع‌آوری مشکل فضولات دامی و بقایای محصولات کشاورزی، در این مقاله تولید انرژی از زائدات زیستی جامد حاصل از پسماندهای روستایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

## مواد و روشها

یکی از منابع بالقوه زیست توده در مناطق روستایی، زباله تولیدی می‌باشد که دارای مقادیر زیادی مواد آلی و تجزیه‌پذیر است. میزان گاز تولیدی و به‌تبع آن بررسی پتانسیل تولید برق از پسماندهای روستایی در استان بوشهر بدون آشنایی از اجزای تشکیل‌دهنده زباله غیرممکن و بسا ناممکن می‌باشد. این آشنایی از طریق نمونه‌گیری از زباله‌های این منطقه و پیدا نمودن آنالیز فیزیکی زباله میسر خواهد شد. استان بوشهر دارای ۸ شهرستان و ۶۹۱ روستا می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵). به دلیل ازدیاد روستاها و کمبود امکانات و وقت تعداد ۲۱ روستا به‌عنوان روستاهای نمونه انتخاب

گردیدند. از آنجا که می‌بایست در روستاهای نمونه آنالیز فیزیکی زباله صورت پذیرد، لازم است که یک حداقل سازماندهی در روستا وجود داشته باشد، بنابراین یکی از پارامترهای انتخاب روستاهای نمونه، تحت پوشش قرار گرفتن آن روستا توسط دهیاری می‌باشد.

در انتخاب روستاهای نمونه دقت شده است تا از هر بخش حداقل یک روستا به‌عنوان نمونه انتخاب شده باشد. همچنین انتخاب روستای نمونه از مناطق با بافتها و کاربری‌های متفاوت الزامیست. همچنین میزان علاقه‌مندی دهیاری‌ها به انجام مطالعه و نیز سطح همکاری ایشان در انتخاب روستاها موثر خواهد بود. روستاهای نمونه از بین بازه‌های مختلف جمعیتی انتخاب شدند. ۷ روستا با جمعیت بالای ۲۰۰۰ نفر، ۲ روستا با جمعیت مابین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ نفر، ۸ روستا با جمعیت ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ نفر و ۴ روستا با جمعیت بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ نفر برگزیده شده‌اند. در روند انتخاب این روستاها همچنین سعی شده است تا پراکندگی بازه‌های مختلف جمعیتی در شهرستان‌های مختلف رعایت شود، به‌عنوان مثال در انتخاب روستاهای با جمعیت بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ نفر سعی شده است تا حتی الامکان دو روستا از یک شهرستان انتخاب نشود. بنابراین با توجه به نحوه انتخاب روستاهای نمونه برای انجام آنالیزهای مورد نظر، می‌توان گفت که نتایج به‌دست آمده تا حدود زیادی نشان دهنده وضعیت کل روستاها در سطح استان است. اسامی و جمعیت روستاهای نمونه در سال ۱۳۸۵ در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: اسامی روستاهای نمونه استان بوشهر و جمعیت آنها در سال ۱۳۸۴

| ردیف | شهرستان | نام روستا       | جمعیت | میانگین نرخ تولید پسماند خانگی (g/ca.d) |
|------|---------|-----------------|-------|-----------------------------------------|
| ۱    | بوشهر   | دویره           | ۲۶۱۹  | ۱۰۵۷/۵                                  |
| ۲    |         | تل اشکی         | ۶۰۵   | ۵۷۷/۵                                   |
| ۳    |         | چاه کوتاه       | ۱۶۹۵  | ۹۳۰                                     |
| ۴    |         | آبطویل          | ۱۲۵۹  | ۶۱۷/۵                                   |
| ۵    | تنگستان | آباد            | ۳۳۳۵  | ۹۵۲/۵                                   |
| ۶    |         | عالی حسینی      | ۲۰۶۲  | ۵۵۰                                     |
| ۷    |         | خورشهاب         | ۱۰۷۹  | ۴۶۷/۵                                   |
| ۸    | دشتستان | جتوط            | ۱۰۵۵  | ۵۰۰                                     |
| ۹    |         | چهار برج        | ۱۳۶۴  | ۹۵۲/۵                                   |
| ۱۰   |         | دهقاید          | ۵۶۶۸  | ۷۹۷/۵                                   |
| ۱۱   |         | زیارت           | ۲۸۱۸  | ۵۱۰                                     |
| ۱۲   | دشتی    | بنیاد           | ۸۷۶   | ۵۲۲/۵                                   |
| ۱۳   |         | درازی           | ۱۴۴۶  | ۴۴۲/۵                                   |
| ۱۴   | دیر     | لمبه‌دان بالایی | ۸۹۱   | ۶۶۲/۵                                   |
| ۱۵   |         | شهنیا           | ۱۵۸۹  | ۴۷۷/۵                                   |
| ۱۶   | ديلم    | عامری           | ۱۱۱۴  | ۴۵۲/۵                                   |
| ۱۷   | کنگان   | تشان            | ۱۳۹۷  | ۶۴۵                                     |
| ۱۸   |         | بیدخون          | ۶۰۰۰  | ۷۹۷/۵                                   |
| ۱۹   |         | انارستان جم     | ۲۰۸۹  | ۷۳۲/۵                                   |
| ۲۰   | گناوه   | شول             | ۱۲۸۵  | ۴۴۵                                     |
| ۲۱   |         | پوزگاه          | ۵۵۲   | ۴۸۵                                     |

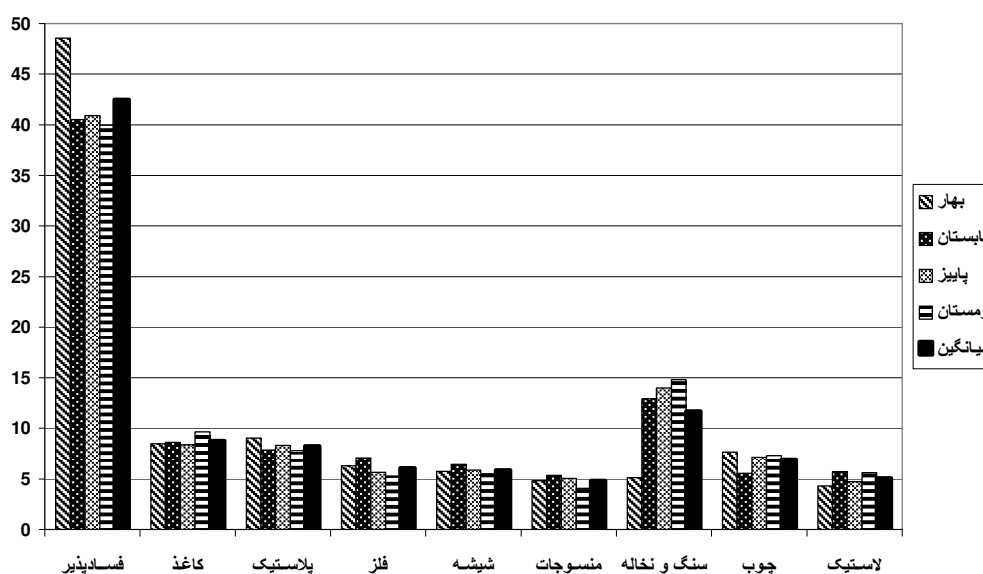
جهت انجام نمونه‌گیری از زباله‌های روستایی در اواسط چهار فصل سال، در هر روستا تعداد ۶۵ خانوار با همکاری دهیار و با در نظر گرفتن اقشار مختلف ساکن در روستا انتخاب شدند. نمونه‌گیری از زباله‌های این خانوارها به مدت ۷ روز متوالی صورت پذیرفت، بدین نحو که پس از توزیع کیسه زباله بین خانوارها (۷ کیسه به هر خانوار)، به مدت یک هفته زباله‌های تولیدی خانگی از درب منازل تحویل گرفته شد. لازم به ذکر است که از خانوارها خواسته شد تا در طول مدت این یک هفته از دادن مواد فسادپذیر به دام‌های درون منزل خودداری کرده و نیز از ریختن فضولات دامی و خاکروبه حیاط در کیسه‌ها بپرهیزند. زباله‌های تحویلی در سه مرحله توزین گردیدند:

- مرحله اول (۶۵ بار در هر روز): توزین زباله به هنگام تحویل، جهت ثبت زباله تولیدی توسط هر خانوار.

- مرحله دوم (یکبار در هر روز): توزین زباله دریافتی در ظرفی با وزن و حجم مشخص، جهت محاسبه جرم حجمی زباله.

- مرحله سوم (یکبار در هر روز): جمع‌آوری ۶۵ کیسه از سطح کل روستا و انجام عملیات جداسازی زباله‌ها توسط کارگران آموزش دیده و توزین اجزاء مختلف زباله.

میانگین سرانه تولید پسماندهای خانگی روستایی استان بوشهر در چهار فصل در جدول شماره ۱ آمده است. مطابق با محاسبات انجام شده متوسط سرانه تولید پسماندهای خانگی در روستاهای منتخب استان بوشهر ۷۱۲/۷ گرم در روز می‌باشد. پس از تعیین کمیت زباله تولیدی در روستاهای استان، کیفیت پسماندهای تولیدی در روستاهای استان بوشهر تعیین گردید. مواد مختلف موجود در پسماندهای روستایی به مواد فسادپذیر، شیشه، فلز، پلاستیک، لاستیک، کاغذ، منسوجات، سنگ و نخاله ساختمانی و چوب تقسیم شده است. متوسط درصد اجزا در هر فصل و میانگین کل فصول در شکل شماره ۱ دیده می‌شود.

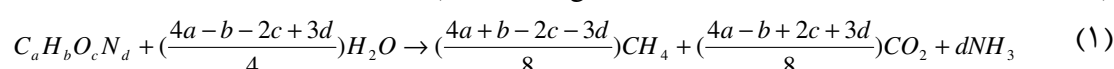


شکل ۱: متوسط درصد اجزای تشکیل دهنده پسماندها به تفکیک فصل در روستاهای منتخب استان بوشهر

همچنین میانگین درصد اجزای قابل اشتعال در کل روستاهای استان ۷۶/۲۲ درصد، درصد رطوبت ۴۶/۵ درصد و فرمول شیمیایی به صورت  $C_{841.8}H_{1288.7}O_{365}N_{19.9}S$  می باشد. در کل استان بر اساس شکل شماره ۱ زباله های فسادپذیر و منسوجات به ترتیب با میانگین ۴۲/۵ و ۴/۸۳ درصد، بیشترین و کمترین درصدهای وزنی را به خود اختصاص داده اند.

## نتایج

از انجام مجموعه ای از واکنشهای زیست شیمیایی بر روی مواد آلی تجزیه پذیر موجود در زباله در شرایط بی هوازی، بیوگاز حاصل می شود. چگونگی این رخداد در رابطه ۱ نشان داده شده است (Tchobanoglous et al., 1977, Ham and Barlaz, 1987):



با دانستن ترکیب وزنی عناصر موجود در زباله، معادله بالا قابل استفاده بوده و مقادیر نظری گازهای متان و دی اکسید کربن پیش بینی خواهند شد. بر اساس معادله بالا، یک مول کربن در اثر واکنشهای زیست شناختی به یک مول گاز دفنگاه (متان، گاز کربنیک و اندکی آمونیاک) تبدیل می شود و یک مول از این گاز در شرایط متعارفی ۲۲/۴ لیتر حجم دارد. از آنجا که هر مول کربن ۱۲ گرم وزن دارد لذا تجزیه یک گرم کربن آلی معادل تولید ۱/۸۶۷ لیتر گاز ( $CH_4 + CO_2$ ) می باشد. این حجم بیشترین مقداری است که از تجزیه کربن آلی موجود در مواد تجزیه پذیر می تواند به دست آید. در عمل نسبت ترکیب گاز دفنگاه ۶۰-۵۵ درصد متان و ۴۵-۴۰ درصد دی اکسید کربن فرض می شوند (Willumsen, 1996). ترکیب زباله در روستاهای مختلف استان بوشهر نشان می دهد که زباله ها در این استان از اجزای مختلفی تشکیل شده است که پاره ای از آنها آلی نیستند (فلزات، شیشه و نخاله) و پاره ای دیگر با وجود آنکه از دسته مواد آلی به شمار می روند، اما توانایی تجزیه به روش زیست شناختی را ندارند (مانند لاستیک و پلاستیک). سپس برای برآورد بازده نظری گاز دفنگاه از زباله شهری، رابطه ۲ مورد استفاده قرار می گیرد (Cossu et al., 1996):

$$Y_{LFG} = 1.876 \sum_{i=1}^n OC_i (f_{bi})_i (1 - W_i) P_i \quad (2)$$

$Y_{LFG}$  = بازده نظری گاز دفنگاه از واحد جرم زباله تر ( $m^3/Kg$  MSW)

$OC_i$  = مقدار کربن آلی موجود در جزء  $i$  ام زباله ( $Kg/Kg$  MSW)

$f_{bi}$  = قابلیت تجزیه پذیری زیستی جزء  $i$  ام زباله ( $Kg/Kg$  dry)

$W_i$  = رطوبت موجود در جزء  $i$  ام زباله ( $Kg/Kg$  MSW)

$P_i$  = نسبت وزنی جزء  $i$  ام در کل زباله ( $Kg/Kg$  MSW)

با توجه به رابطه بالا مقدار گاز تولیدی از زباله تولیدی در روستاهای سطح استان بوشهر در جدول ۲ محاسبه شده است.

جدول ۲: بازده نظری گاز دفنگاه از زباله‌های تولیدی در روستاهای استان بوشهر

| جزء i            | $O_{C_i}^*$ | $w_i^{**}$ | $(f_b)_i^{***}$ | $P_i$ | $Y_{LFGi}$<br>( $m^3/Kg$ ) |
|------------------|-------------|------------|-----------------|-------|----------------------------|
| فسادپذیر         | ۰/۴۸        | ۰/۶۰       | ۰/۸۰            | ۰/۴۳  | ۰/۱۲                       |
| زایدات باغبانی   | ۰/۴۸        | ۰/۵۰       | ۰/۷۰            | ۰/۰۰  | ۰/۰۰                       |
| کاغذ و مقوا      | ۰/۴۴        | ۰/۰۸       | ۰/۵۰            | ۰/۰۹  | ۰/۰۳                       |
| لاستیک و پلاستیک | ۰/۷۰        | ۰/۰۲       | ۰/۰۰            | ۰/۱۳  | ۰/۰۰                       |
| منسوجات          | ۰/۵۵        | ۰/۱۰       | ۰/۲۰            | ۰/۰۵  | ۰/۰۱                       |
| چوب              | ۰/۵۰        | ۰/۲۰       | ۰/۵۰            | ۰/۰۷  | ۰/۰۳                       |
| فلزات            | ۰/۰۰        | ۰/۰۳       | ۰/۰۰            | ۰/۰۶  | ۰/۰۰                       |
| شیشه             | ۰/۰۰        | ۰/۰۳       | ۰/۰۰            | ۰/۰۶  | ۰/۰۰                       |
| جمع              |             |            |                 |       | ۰/۱۹                       |

\* منبع : Tchobanoglous et al., 1993

\*\* منبع : Khan & Ahsan, 2003

\*\*\* منبع : Cossu et al., 1996

بنابراین مطابق با جدول ۲ به ازاء هر کیلوگرم زباله تولیدی در سطح روستاهای استان ۰/۱۹ مترمکعب بیوگاز تولید می‌شود. مطابق با آخرین سرشماری انجام شده توسط مرکز آمار ایران، توجه جمعیت ساکن در روستاهای استان بوشهر در سال ۱۳۸۵، ۳۰۳۴۰۹ نفر برآورد شده است. از آنجا که سرانه زباله تولیدی در روستاهای این استان روزانه ۷۱۲/۷ گرم برآورد شده است، لذا میزان کل زباله تولیدی در روستاهای استان بوشهر سالانه ۷۸۹۲۸ تن می‌باشد. بنابراین در صورت دفن تمامی این زباله‌ها در سال در حدود ۱۵ میلیون مترمکعب بیوگاز تولید می‌شود. از آنجا که موتور بیوگازسوز با راندمان ۳۷ درصد به ازاء هر مترمکعب بیوگاز، ۲/۲۲ کیلووات برق تولید می‌کند، لذا در صورت استفاده از موتور بیوگازسوز با راندمان الکتریکی ۳۷ درصد، می‌توان از این مقدار بیوگاز، سالانه ۳۳/۳ گیگاوات برق تولید کرد.

### نتیجه‌گیری

بیش از ۱۰۰ نوع ترکیبات مختلف در بیوگاز تولیدی از محل دفن زباله شناسایی شده است. بسیاری از این ترکیبات اثرات سمی، خورنده و خطرناک بر سلامتی انسان دارند. علاوه بر آن ۹۸ درصد بیوگاز تولیدی در محل‌های دفن زباله شامل متان و دی‌اکسیدکربن است که به‌عنوان دو گاز گلخانه‌ای مهم تأثیرات سوء فراوانی بر محیط زیست دارند. لذا مدیریت بیوگاز در محل دفن از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. ضمن آنکه نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بیوگاز تولیدی در محل‌های دفن پسماندهای روستایی در استان بوشهر، پتانسیل تولید انرژی را داشته و می‌تواند در کاهش مصرف مواد اولیه سهم به‌سزایی داشته باشد.

## منابع

عبدلی، م.ع.، ۱۳۸۶، مدیریت مواد زاید جامد روستایی در استان بوشهر، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، وزارت کشور.

عدل، م.، ۱۳۷۸، برآورد قابلیت‌های تولید انرژی از زائدات زیستی در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

مرکز آمار ایران، آمار و اطلاعات، ۱۳۸۵، [www.sci.org.ir](http://www.sci.org.ir)

Cossu, R., Andereottola, G. & Muntoni, A., 1996, Modeling Landfill Gas Production, In Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. (Eds.) "Landfilling of Waste: Biogas, E&FN SPON, 237-268.

Khan Iqbal, H. & Ahsan, N., 2003, Textbook of Solid Waste Management, CBS Publishers & Distributors, New Dehli, India.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Eliassen, R., 1977, Solid Waste Management, McGraw-Hill, New York.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S., 1993, Integrated Solid Waste Management (Engineering, Principles and Management Issues), McGraw-Hill, New York.

Willumsen, H.C., 1996, Actual Landfill Gas Yields, In Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. (Eds.) "Landfilling of Waste: Biogas, E&FN SPON, 293-295.