

# ارزیابی میزان تولید گازهای زیست محیطی در لندفیل جهت استحصال انرژی (مطالعه موردی لندفیل شماره ۲ شاهین شهر)

احسان رضایی<sup>۱</sup>، محمد هادی ابوالحسنی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

<sup>۲</sup> استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

## چکیده

**زمینه و هدف:** افزایش روز افزون جمعیت و رشد شهرنشینی، باعث افزایش تولید مواد زائد و آلاینده گردیده است. یکی از مهم ترین مواد آلاینده محیط زیست، مواد زائد جامد شهری است که هر روزه میلیون‌ها تن از آن در سراسر جهان تولید می‌گردد. با توجه به محدودیت های اقتصادی و تکنولوژیکی امکان بازیافت همه زباله‌ها میسر نیست و دفن در زمین یکی از روش‌های دفع زباله های شهری در جهان است. پسماندهای جامد شهری در لندفیل در طول یک فرآیند تبدیل بیوشیمیایی که تجزیه زیستی نامیده می‌شود به گاز لندفیل تبدیل می‌شوند. گاز لندفیل محصول فساد زباله قابل تجزیه است که حاوی ۴۰ تا ۶۰ درصد متان و مقادیر مختلفی از دیگر گازها می‌باشد. در کشورهای پیشرفته دنیا، طراحی مراکز دفن با دید بهره برداری از حداکثر انرژی قابل استحصال از آن‌ها انجام می‌شود. بطور کلی بازیافت گاز لندفیل دارای منافع مختلفی از جمله در زمینه های زیست محیطی، اقتصادی و از همه مهمتر انرژی می باشد. این مقاله با هدف تخمین گازهای زیست محیطی در لندفیل شماره ۲ شاهین شهر (کل گاز لندفیل، گازهای متان و دی اکسید کربن)، مقایسه میزان گازها در طول ۳۰ سال و همچنین بررسی توان این لندفیل جهت استحصال انرژی تهیه و تدوین گردیده است.

**مواد و روش ها:** محیط مورد پژوهش لندفیل شماره ۲ در کارخانه بازیافت شاهین شهر (اصفهان) واقع در کوه‌های جعفر آباد می‌باشد که ظرفیت آن در سال ۱۳۹۱ تکمیل شده و ارزیابی گازهای لندفیل در آنها صورت گرفته است. میزان کل گازهای تولیدی، متان و دی اکسید کربن با استفاده از مدل تخریب مرتبه اول در طول ۳۰ سال محاسبه شده است.

**یافته ها:** میزان این گازها در لندفیل از سال ۱۳۹۴ تا سال ۱۴۲۴ محاسبه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میزان گازهای لندفیل در طول زمان کاهش یافته است. بیشترین گاز متان و دی اکسید کربن تولید شده به ترتیب در حدود ۱۰۵۰۰۰ و ۲۸۷۰۰۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۴ و کمترین مقدار متان و دی اکسید کربن تولید شده به ترتیب در حدود ۱۷۴ و ۴۷۶ هزار کیلوگرم در سال ۱۴۲۴ برآورد شده است. حجم کل گازهای تولید شده در این لندفیل طی ۳۰ سال حدود ۴۶ میلیون مترمکعب برآورد شده است، که ۲۷ درصد جرم آن را متان و ۷۳ درصد آن را دی اکسید کربن تشکیل می‌دهد. میزان گاز متان و دی اکسید کربن در طول ۳۰ سال به ترتیب حدود ۱۵ میلیون و ۴۲ میلیون کیلوگرم پیش بینی شده است.

**نتیجه گیری:** به طور کلی با گذشت زمان میزان گازهای لندفیل کاهش یافته است. پیشنهاد می‌گردد جهت استفاده از این حجم گاز از تکنولوژی‌های استحصال انرژی برای کنترل گازهای گلخانه ای و تولید انرژی مورد نیاز کارخانه بازیافت شاهین شهر استفاده گردد.

\* نویسنده مسئول: گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران  
ایمیل: hadi.mha2001@yahoo.com - تلفن تماس: ۰۹۱۳۱۷۰۵۰۳۳

## کلمات کلیدی: لندفیل، گاز زیست محیطی، پسمانده، انرژی

## مقدمه

افزایش جمعیت و صنعتی شدن جوامع همراه با رشد اقتصادی باعث افزایش تولید زباله‌های جامد شهری شده است. آمارها نشان می‌دهد که ۶۶ درصد جمعیت دنیا در شهرها زندگی می‌کنند و کل زباله‌های جامد شهری تولید شده در سال ۱۹۹۷ حدود ۰/۴۹ میلیارد تن برآورد شده است. همچنین پیش بینی می‌شود که نرخ رشد سالانه در جوامع توسعه یافته ۳/۲ تا ۴/۵ درصد و در جوامع در حال توسعه ۲ تا ۳ درصد باشد<sup>۱</sup>.

تغییر شیوه زندگی و افزایش جمعیت باعث افزایش تولید پسماندهای جامد شهری شده است و مدیریت پسماندها یک مشکل اصلی برای سازمانهای دولتی و غیر دولتی می‌باشد<sup>۲</sup>. پسماندهای جامد شهری در لندفیل در طول یک فرآیند تبدیل بیوشیمیایی که تجزیه زیستی نامیده می‌شود به گاز لندفیل تبدیل می‌شوند که این فرآیند شامل چندین مرحله پیوسته می‌باشد<sup>۳</sup>.

در حدود ۱/۳ بیلیون تن پسماند جامد شهری سالانه در سراسر جهان تولید می‌شود و پیش بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵ میزان آن به ۲ برابر برسد<sup>۴</sup>.

مشکل دیگر پسماندهای جامد شهری در لندفیل تجزیه زیستی بخش آلی پسماندها می‌باشد که منجر به انتشار گاز متان و گازهای دیگر می‌شود<sup>۵</sup>.

بیوگاز یک ترکیبی می‌باشد که از گازهای متنوعی تشکیل شده است. در حدود ۴۰-۷۵ درصد متان، ۱۵-۵۰ درصد دی اکسیدکربن، مقدار کمی بخار آب (۱۰-۵ درصد)، ۲-۰/۰۰۵ درصد هیدروژن سولفید، کمتر از ۶ درصد هیدروکربن‌ها، کمتر از ۱ درصد آمونیاک، کمتر از ۶/۰ درصد کربن مونواکسید، ۲-۰ درصد نیتروژن و مقدار کمی ترکیبات آلی غیر متانی تشکیل شده است<sup>۶</sup>.

امروزه با توجه به افزایش جمعیت جهان و به دنبال آن نرخ رشد تولید زباله شهری و از طرف دیگر نیاز روز افزون به منابع انرژی در دسترس، تعداد لندفیل‌های مدرن با هدف استفاده از گاز تولیدی آنها در حال افزایش است. این روند در طول ۲۵ سال اخیر رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است و براساس آمارگیری انجام شده در سال ۲۰۰۱ حدود ۹۵۰ لندفیل مدرن در دنیا وجود دارد که گاز تولیدی توسط آنها به کمک تکنولوژی‌های مختلف استفاده می‌گردد<sup>۷</sup>.

از لندفیل‌ها و محل‌های دفن زباله قدیمی در سراسر زمین ۶۰-۴۰ میلیون تن متان آزاد می‌شود. به عبارت دیگر حدود ۱۱-۱۲ درصد متان تولید شده از طریق فعالیت‌های انسانی از لندفیل‌ها به دست می‌آید. بدین ترتیب لندفیل‌ها در رده سوم تولید متان قرار می‌گیرند<sup>۸</sup>.

گاز لندفیل محصول فساد زباله قابل تجزیه (هر ماده آلی که بتواند به وسیله میکرواگانیزم‌ها شکسته شود مثل چوب و ته مانده غذاها) و شامل ۶۰-۴۰ درصد متان، دی اکسیدکربن و مقادیر مختلفی از نیتروژن، اکسیژن، بخار آب، سولفور و ... می‌باشد<sup>۹</sup>.

به مرور زمان با گسترش فعالیت‌های جمع‌آوری و کنترل گاز قوانین و استانداردهای مربوط به انتشار و جمع‌آوری این گازها تدوین شده است. امروزه جمع‌آوری و مدیریت گاز به جز منافع اقتصادی، به لحاظ منافع بهداشتی از جمله کنترل و حذف گازهای سرطان‌زای منتشر شده از محل‌های دفن و هم چنین به لحاظ منافع جهانی از جمله کنترل گازهای گلخانه‌ای و جلوگیری از گرم شدن جهانی زمین حائز اهمیت است<sup>۱۰</sup>.

عمرانی و همکاران در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی فنی و بهداشتی استحصال گاز متان از محل دفن زباله شهر شیراز به ارزیابی این گاز پرداختند. در این پژوهش با استفاده از بسته نرم افزاری لندجم و با در نظر گرفتن درصد حجمی محتوای

طلائی خوزانی و همکاران در تحقیقی با موضوع بررسی میزان انتشار دی اکسید کربن، متان و مجموعه گازهای آلی غیر متانی از محل دفن زباله‌های شهر بندرعباس در این مطالعه میزان گازهای منتشره از لندفیل زباله شهر بندرعباس واقع در روستای تل سیاه در جاده تازیان به بندرعباس با استفاده از نرم افزار لندجم مورد بررسی قرار گرفته است. نرخ تولید متان با در نظر گرفتن منطقه خشک برای بندرعباس ۰/۰۲ و پتانسیل تولید متان (۱۷۰ معمولی) در نظر گرفته شد. بیشترین گاز تولیدی از لندفیل در سال ۲۰۲۷ یعنی یک سال بعد از پایان پروژه به مقدار  $۱۰^۷ * ۱/۶$  تن خواهد بود. این میزان در سال ۲۰۱۶ به مقدار  $۱۰^۶ * ۶$  تن رسیده است. نتایج این مطالعه نشان داد که حجم قابل توجهی از گاز متان و دی اکسید کربن از محل تخلیه زباله‌های شهر بندرعباس به اتمسفر تخلیه می‌گردد که در صورت بازیافت آن علاوه بر تولید انرژی به ارتقاء کیفیت هوا نیز کمک خواهد نمود<sup>۱۴</sup>.

پازوکی و همکاران در پژوهشی تحت عنوان پتانسیل تولید گاز در لندفیل تهران به وسیله برنامه توسعه متان لندفیل (LMOP)، انجام گردید. هدف از این مطالعه مشخص کردن حجم گاز لندفیل توسط برنامه توسعه متان لندفیل و رابطه بین زمان جمع آوری گاز و حجم گاز لندفیل می‌باشد. میزان مواد آلی موجود در لندفیل در حدود ۶۷/۸ می‌باشد که پتانسیل بیشتری جهت تولید متان دارند. میزان متان لندفیل از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۳۰ روند صعودی دارد و در سال ۲۰۳۰ دارای نقطه پیک می‌باشد و میزان آن در حدود ۳۸۹۹۷ متر مکعب بر ساعت است. از سال ۲۰۱۵ موقعی که سیستم جمع آوری گاز در این لندفیل شروع گردید تا سال ۲۱۰۰ در حدود ۵۰۱۴۸۲ متر مکعب متان خارج خواهد شد که مساوی ۸۳۰ مگا وات انرژی می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰، ۵۵۸ متر مکعب بر ساعت از میزان متان خارج شده از لندفیل کاسته می‌شود که چیزی حدود ۲۳۵۴ مگاوات انرژی می‌باشد<sup>۱۵</sup>.

متان ۶۱٪ و محاسبه  $m^3/Mg$  ۱۶۴ به عنوان ضریب پتانسیل تولید گاز، و ثابت نرخ تولید متان ۰/۰۶ انتشار گاز و آلاینده‌ها از مرکز دفن زباله شهر شیراز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که با شیوه لوله گذاری صحیح و مهندسی و به موقع از وقوع حوادث جلوگیری شده، ضمن آن که سالانه از انتشار  $m^3$  ۳۰۰۰ گاز متان در این سایت جلوگیری می‌شود. با احداث نیروگاه بیوگاز ضمن جمع آوری و کنترل آلاینده‌های زیست محیطی و کمک به حفظ بهداشت جامعه می‌توان بخشی از انرژی الکتریکی و حرارتی مورد نیاز را تامین نمود. با توجه به آنالیز فیزیکی زباله شهر شیراز و هم چنین آنالیز گاز دفنگاه برمشور میزان متان و دی اکسید کربن تولیدی از این محل هر کدام به ترتیب  $m^3/year$   $۱۰^۶ * ۱/۵$  و  $m^3/year$   $۹/۶ * ۱۰^۵$  می‌باشد<sup>۱۱</sup>.

بیچلندی و لائوشکینا در تحقیق دیگری پیش بینی انتشار بیوگاز از لندفیل، با هدف تخمین پتانسیل تولید بیوگاز در دو لندفیل در روسیه را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه نمونه برداری، انتقال و ذخیره سازی بیوگاز، نمونه‌های خاک، تحقیقات آزمایشگاهی و روش‌های تجزیه و تحلیل اندازه گیری پروتئین، کربوهیدرات و چربی در بخش آلی خاک توسط مدل‌های آماری انجام گردید. نتایج حاصل از این تحقیق شامل تعیین غلظت ترکیبات بیوگاز مانند: متان، کربن دی اکسید، نیتروژن، هیدروژن و اکسیژن بوده است، که این اطلاعات جهت ارزیابی پتانسیل بیوگاز در لندفیل برای تولید انرژی گرمایی و الکتریکی در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد<sup>۱۲</sup>.

انوار در یک پژوهش انتشار گاز متان در لندفیل پنینسولار در مالزی را در سال ۲۰۱۰ محاسبه و برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ پیش بینی کرد. و به این نتیجه رسیدند که میزان انتشار گاز متان در این لندفیل در سال ۲۰۱۰، ۳۱۰۲۲۰ تن برآورد شده است و انتظار می‌رود برای سال ۲۰۲۰ حداقل ۳۷۰ هزار تن گاز متان تولید شود<sup>۱۳</sup>.

لندفیل از پسماندهای جامد شهری در شهرهای هند با استفاده از ۴ مدل ریاضی (مدل چندفازی، مدل لندجم، مدل ایپر و مدل تی ان او) میزان انتشار گازهای لندفیل را برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که تخمین گازهای لندفیل با استفاده از مدل چندفازی کمترین مقدار را دارد، در مدل ایپر میزان انتشار ۳۰۰-۵۰۰٪ و در مدل تی ان او ۲۰۰٪ درصد محاسبه گردیده است.<sup>۱۸</sup>

در این تحقیق به بررسی لندفیل شماره ۲ شاهین شهر واقع در استان اصفهان و ارزیابی میزان گازهای انتشار یافته از آن پرداخته شده است. در این لندفیل میزان تولید کل گازهای لندفیل، متان و دی اکسید کربن با استفاده از مدل تخریب مرتبه اول (First order decay)، و روابط مربوط به آن، در طی ۳۰ سال محاسبه و بررسی شده است.

### مواد و روش ها

لندفیل شماره ۲ شاهین شهر واقع در کوههای جعفر آباد شمال شاهین شهر در محل کارخانه بازیافت می باشد. پسماندهای ۱۱ شهر در اطراف شاهین شهر به این محل انتقال داده می شود. روزانه در حدود ۲۵۰ تن پسماند به این کارخانه انتقال می یابد.

مشخصات این لندفیل به شرح جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات لندفیل شماره ۲ شاهین شهر

ردیف	مشخصات	لندفیل شماره ۲
۱	سال شروع دفن	۱۳۸۹
۲	سال پر شدن	۱۳۹۱
۳	مدت زمان پر شدن (سال)	۲
۴	طول (متر)	۲۰۰
۵	عرض (متر)	۶۰
۶	ارتفاع (متر)	۱۸
۷	شیب (درصد)	۱

احمدی بویاغچی و همکاران در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی تولید آلاینده های زیست محیطی در لندفیل و تکنولوژی استحصال انرژی (مطالعه موردی: لندفیل آراد کوه) با استفاده از مدل های ریاضی میزان گازهای متان، دی اکسید کربن و دی اسید گوگرد را در لندفیل جهت استحصال انرژی محاسبه کردند. نتایج به دست آمده نشان داد بیشترین گاز متان و دی اکسید کربن تولید شده در لندفیل آرادکوه به ترتیب ۶ و ۱۶ میلیون کیلوگرم در سال ۱۳۹۴ و کمترین مقدار به ترتیب ۰/۳ و ۰/۸ میلیون کیلوگرم در ۱۴۲۳ پیش بینی می شود، حجم کل گازهای تولید شده در این لندفیل طی ۳۰ سال ۲۱۳ میلیون متر مکعب است که ۲۷ درصد جرم آن را متان و ۷۳ درصد آن را گاز دی اکسید کربن تشکیل می دهد.<sup>۱۶</sup>

کاپلی و همکاران ارزیابی انتشار سطحی از لندفیل با هدف اندازه گیری انتشار گازها از پسماندهای جامد شهری لندفیل در شمال ایتالیا را انجام دادند. ۲ روش نمونه برداری اتاق فشار، محفظه ایستا مورد استفاده قرار گرفت. قبل از شروع آزمایشات در سطح لندفیل از مدل لندجم جهت ارزیابی تولید متان استفاده می شود. بر اساس نتایج بدست آمده میزان تولید گاز لندفیل در سال ۲۰۱۴ برابر ۲۸۵۳۰ مگا گرم بر سال محاسبه گردید. میزان گازهای لندفیل توسط هر دو روش یاد شده محاسبه و مقایسه گردید.<sup>۱۷</sup>

دیپم و همکاران در تحقیقی با عنوان تخمین تولید گازهای

۲۱۶۰۰۰	حجم (متر مکعب)	۸
۲۰۰۰۰۰	میزان پسماند دفن شده (تن)	۹

## برآورد میزان گاز لندفیل بدون استحصال انرژی

### محاسبه میزان گازهای لندفیل

در این روش از روابط زیر جهت برآورد LFG و همچنین گازهای متان و دی اکسید کربن استفاده گردیده است:

کل گاز تولید شده در لندفیل در سال T که در زمان X دفن شده است را می توان بر اساس مدل تخریب مرتبه اول (رابطه ۱) تخمین زد<sup>۲۱،۲۰،۱۹</sup>.

$$LFG_{T,x} = 2KR_x L_0 e^{-K(T-X)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$LFG_{T,x}$ : تولید گاز لندفیل در سال T که در سال X دفن شده است (برحسب متر مکعب).

K: نرخ تولید گاز متان (معکوس سال).

۲۰،۱۱۲۲۲+۲۷۵،۰: که به شرایط آب و هوایی منطقه ای، که لندفیل در آن قرار دارد، بستگی دارد. مقدار K برای شرایط آب و هوایی مرطوب، نیمه مرطوب و خشک به ترتیب ۰/۲۲۵ و ۰/۱ و ۰/۰۶ پیشنهاد شده است.

Rx: مقدار زباله دفن شده (بر حسب کیلوگرم)

$L_0$ : پتانسیل تولید متان از زباله برابر ۰/۱۶۰۱۳ (متر مکعب بر کیلو گرم)

در این روش میزان تولید گاز در بازه های زمانی مختلف و به صورت تابعی از زمان به دست می آید.

### محاسبه میزان گاز متان

میزان انتشار گاز متان در لندفیل را می توان از رابطه (۲) به دست آورد<sup>۲۲</sup>.

$$U_{CH_4} = (0.5)(0.6567)(LFG_T) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه مقدار ۰/۵ درصد تخمینی از گاز متان در گاز لندفیل و ۰/۶۵۶۷ مقدار متان بر حسب کیلوگرم در متر مکعب از گاز لندفیل است.

### محاسبه میزان گاز دی اکسید کربن

انتشار گاز دی اکسید کربن در لندفیل با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می شود<sup>۱۹،۲۰،۲۱</sup>.

$$U_{CO_2} = (0.5)(1.794)(LFG_T) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه مقدار ۰/۵ درصد تخمینی گاز دی اکسید کربن از گاز لندفیل، ۱/۷۴۹ مقدار دی اکسید کربن بر حسب کیلوگرم در متر مکعب از گاز لندفیل و  $LFG_T$  مقدار کلی گاز لندفیل بر حسب متر مکعب که در سال T تولید شده است.

### تکنولوژی کنترل گاز لندفیل به منظور استحصال انرژی

استفاده از تکنولوژی کنترل گاز با دو هدف استحصال انرژی و کاهش میزان انتشار گاز آلاینده متان که به منزله یکی از عوامل اصلی گرمایش جهانی است صورت می گیرد<sup>۲۳</sup>. استفاده از تکنولوژی کنترل گاز به علت فرایند احتراق سبب تولید گاز دی اکسید گوگرد و تبدیل بخش زیادی از متان به دی اکسید گوگرد می شود. میزان انتشار این گازها به اتمسفر از روابط ۴ تا ۶ به دست می آید<sup>۲۲</sup>.

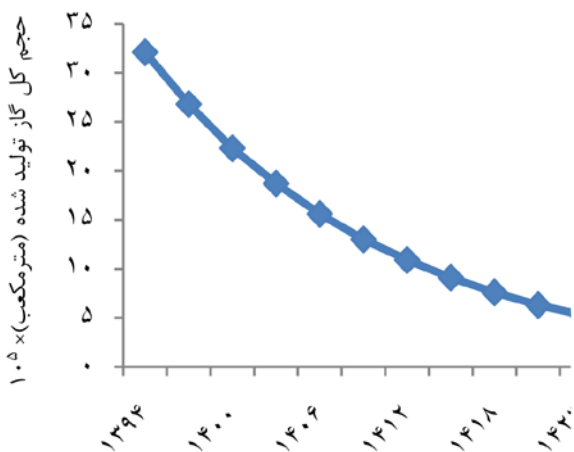
$$C_{CH_4} = (1 - \mu_{col})(U_{CH_4})(kg) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه بازده جمع آوری  $\mu_{col}$  ۸۵ درصد در نظر گرفته شده است<sup>۲۲</sup>.

رابطه (۵)

$$C_{CO_2} = (U_{CO_2}) + (\mu_{col})(U_{CH_4})(2.75)(kg)$$

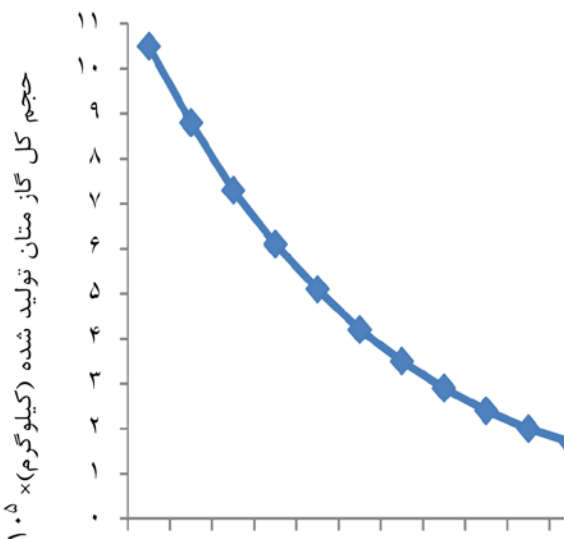
در این رابطه مقدار ۲/۷۵ نسبت وزن مولکولی در اکسید کربن به وزن مولکولی متان است.



نمودار ۱: میزان کل گاز تولید شده در لندفیل شماره ۲

طبق نمودار ۲ بیشترین جرم متان تولید شده در این لندفیل، در سال ۹۴ حدود ۱۰۵۰۰۰۰ کیلوگرم و کمترین میزان جرم متان در سال ۱۴۲۴ بعد از ۳۰ سال، حدود ۱۷۴۰۰۰ کیلوگرم محاسبه شده است.

براساس نمودار ۳ بیشترین جرم دی اکسید کربن تولید شده در این لندفیل، در سال ۹۴ حدود ۲۸۷۰۰۰۰ کیلوگرم و کمترین میزان جرم متان در سال ۱۴۲۴ بعد از ۳۰ سال، حدود ۴۷۶۰۰۰ کیلوگرم محاسبه شده است.



نمودار ۲: میزان تولید گاز متان در لندفیل شماره ۲

میزان دی اکسید گوگرد تولیدی در لندفیل کنترل شده از رابط زیر محاسبه می گردد<sup>۲۲</sup>.

$$C_{SO_2} = 2(122.54 \times 10^{-8})(LFG_T)(\mu_{col}) \quad (6)$$

در این رابطه عدد ۲ نسبت وزن مولکولی دی اکسید گوگرد به وزن مولکولی گوگرد و  $10^8 \times 122/54$  مقدار ترکیبات سولفور کاهش یافته بر حسب کیلوگرم در متر مکعب است (در این رابطه فشار و دمای استاندارد به ترتیب ۱ اتمسفر و ۲۵ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است).

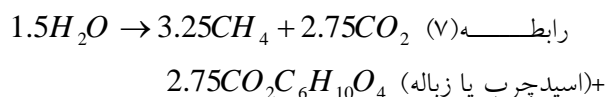
## یافته‌ها

لندفیل شماره ۲ دارای ظرفیت ۲۰۰۰۰۰ تن بوده، در سال ۱۳۸۹ عملیات دفن پسماند در این لندفیل شروع شده است و در اواخر سال ۱۳۹۱ ظرفیت آن کامل شده است.

میزان کل گازهای لندفیل، گاز متان، گاز دی اکسید کربن با استفاده از مدل تخریب مرتبه اول و روابط مربوط به آن محاسبه شده است و میزان این گازها طی ۳۰ سال پیش بینی شده است. نمودارهای ۱ تا ۳ میزان محاسبه این گازها را نشان می دهد.

طبق نمودار ۱ بیشترین حجم گاز لندفیل در طول ۳۰ سال مربوط به سال ۹۴ چیزی در حدود ۳۲۰۰۰۰۰ متر مکعب و کمترین مقدار گاز مربوط به سال ۱۴۲۴ چیزی در حدود ۵۳۰۰۰۰ متر مکعب برآورد شده است. میزان تولید گاز در این ۳۰ سال در حدود ۴۶ میلیون متر مکعب محاسبه شده است.

با استفاده از روابط ۱ تا ۳ روند تولید گاز در ۳۰ سال محاسبه گردیده است. به منظور بررسی صحت و ارزیابی دقت نتایج حاصل از مدل تخریب مرتبه اول، از روش موازنه جرم (رابطه ۷) استفاده شده است. در روش موازنه جرم گاز لندفیل تولید شده در اثر تجزیه بی هوازی را می توان با واکنش ساده زیر نشان داد:



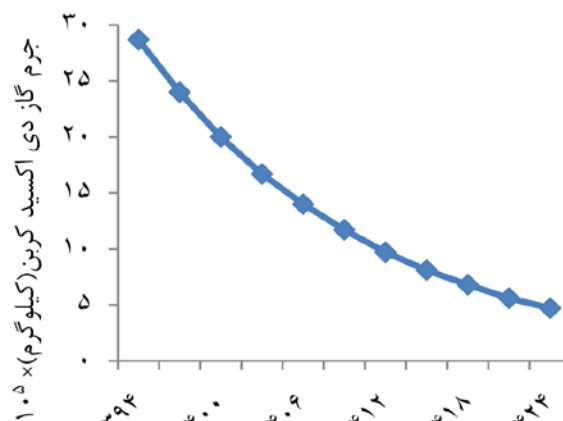
طبق موازنه فوق گاز لندفیل شامل ۵۴-۵۰ درصد متان و ۴۶-۴۰ درصد دی اکسید کربن و سایر محصولات جزئی دیگر مانند آمونیاک و سولفات هیدروژن است.<sup>۲۴</sup>

رابطه فوق نشان می دهد به ازای هر یک کیلوگرم  $C_6H_{10}O_4$  (با جرم مولکولی ۱۴۶) ۰/۳۵۶ کیلوگرم متان و ۰/۵۲۷ کیلوگرم دی اکسید کربن تولید می شود. این مدل برای لندفیل های مختلف از طریق نتایج تجربی و تحلیلی ارزیابی شده است.

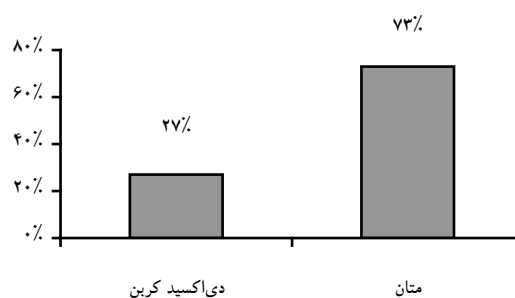
زباله های جامد شهری در آمریکا شامل ۶۹/۵ درصد بیوماس یا ۶۰ درصد بیوماس خشک و بقیه شامل رطوبت و مواد غیرآلی است. یعنی به ازای هر تن زباله جامد شهری ۴۱۷ کیلوگرم (معادل ۲/۸۶ کیلو مول)  $C_6H_{10}O_4$  وجود دارد. طبق رابطه (۷) به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوگرم زباله جامد شهری میزان متان تولید شده  $208 Nm^3$  یا ۱۴۹ کیلوگرم (۱ کیلو مول متان برابر  $22/4 Nm^3$ ) و دی اکسید کربن تولید شده ۳۴۵ کیلوگرم است.<sup>۲۵</sup>

مقادیر تجربی میزان متان تولید شده را ۱۵۳ کیلوگرم و دی اکسید کربن را ۳۵۰ کیلوگرم نشان می دهد.<sup>۲۶</sup>

با محاسبه انتگرال زیر سطح در نمودارها میزان کل گاز لندفیل، متان و دی اکسید کربن به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوگرم زباله جامد شهری پیش بینی می شود. از طریق این محاسبات میزان کل گاز لندفیل، متان و دی اکسید کربن به ترتیب  $232/72$  متر مکعب،  $76/41$  و  $208/75$  کیلوگرم برآورد



نمودار ۳: میزان تولید گاز دی اکسید کربن در لندفیل شماره ۲



نمودار ۴: درصد جرمی گازهای متان و دی اکسید کربن پیش بینی شده در گاز لندفیل شماره ۲ شاهین شهر

نمودار ۴ درصد جرمی گازهای متان و دی اکسید کربن در کل گازهای تولیدی در این لندفیل را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود در هر سال جرم گاز متان تقریباً یک سوم جرم کل گاز لندفیل است.

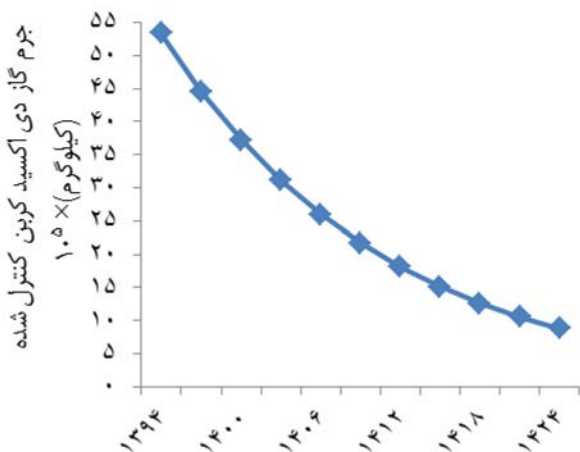
از آنجا که حجم گاز دی اکسید کربن ۴۹ درصد حجم کل گازهای تولیدی را شامل می شود با توجه به نمودار دایره ای زیر، در نتیجه نرخ کاهش گاز دی اکسید کربن طی این ۳۰ سال با نرخ کاهش کل گاز تولید شده در لندفیل تقریباً برابر است.

## اعتبار سنجی

گردیده است.

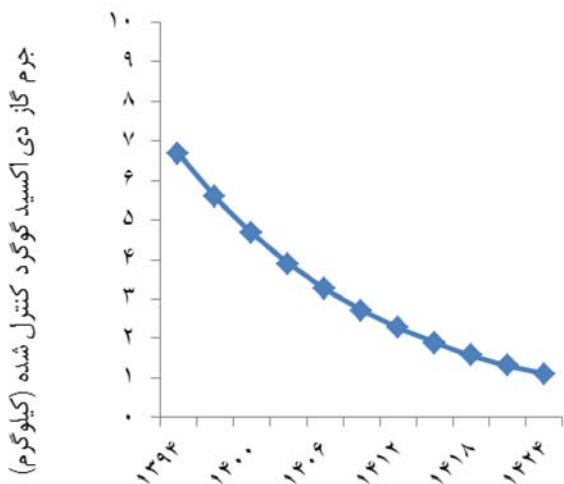
پس از اعتبارسنجی مدل، میزان تولید آلاینده‌های متان، دی اکسیدکربن و دی اکسید گوگرد در تکنولوژی‌های استحصال انرژی، طی ۳۰ سال آینده به ترتیب با استفاده از روابط ۴ تا ۶ که توسط روابط ۱ تا ۳ به دست آمده اند محاسبه و به ترتیب در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده اند. در محاسبه میزان آلاینده‌ها، احتراق متان به صورت استوکیومتری در نظر گرفته شده است.

براساس نمودار ۵ پیش‌بینی می‌شود بیشترین انتشار گاز متان کنترل شده تقریباً ۱۵۸ هزار کیلوگرم در سال ۹۴ و کمترین مقدار پس از گذشت ۳۰ سال تقریباً ۲۶ هزار کیلوگرم باشد.



**نمودار ۶:** میزان تولید گاز دی‌اکسید کربن کنترل شده در لندفیل شماره

۲

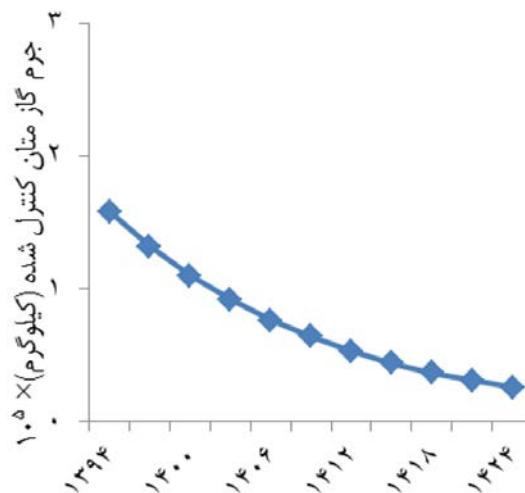


**نمودار ۷:** میزان تولید گاز دی‌اکسید گوگرد کنترل شده در لندفیل شماره

۲

علاوه بر تولید دو گاز متان و دی اکسید کربن در تکنولوژی‌های استحصال انرژی، گاز دی اکسید گوگرد نیز تولید می‌شود. مطابق شکل ۷ بیشترین میزان انتشار گاز دی اکسید گوگرد تقریباً ۶/۶۸ کیلوگرم در سال ۱۳۹۴ و کمترین مقدار پس از گذشت ۳۰ سال تقریباً ۱/۱۰ کیلوگرم خواهد بود.

با مقایسه نمودارهای ۵ و ۶ و ۷ استفاده از تکنولوژی‌های



**نمودار ۵:** میزان تولید گاز متان کنترل شده در لندفیل شماره

با در نظر گرفتن احتراق استوکیومتری، ۱ ملکول گاز متان پس از احتراق در تکنولوژی‌های استحصال انرژی به ۱ ملکول دی اکسید کربن و ۲ ملکول آب تبدیل می‌شود. در نتیجه مطابق شکل ۶ میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در حالت کنترل نشده بیشتر است. طبق محاسبات صورت گرفته بیشترین انتشار گاز دی اکسید کربن به محیط تقریباً ۵/۵ میلیون کیلوگرم در سال ۱۳۹۴ و کمترین مقدار تقریباً ۸۸۳ هزار کیلوگرم پس از ۳۰ سال خواهد بود.



شده کاهش یافته است ولی میزان گاز دی اکسید کربن افزایش یافته است.

استحصال انرژی به انتشار زیاد گاز دی اکسید کربن و کاهش انتشار گاز متان در مقایسه با حالت کنترل نشده منجر می شود. این موضوع با توجه به اینکه اثر گاز متان در گرمایش جهانی تقریباً ۲۵ برابر گاز دی اکسید کربن است دارای اهمیت است. جدول شماره ۲ حجم گازهای تولید شده در لندفیل شماره ۲ شاهین شهر را پس از ۳۰ سال نشان می دهد. با توجه به محاسبات مشاهده می شود که میزان گاز متان در حالت کنترل

جدول ۲: مقایسه حجم کل گازهای منتشر شده از لندفیل در ۳۰ سال

SO2 (Kg)	CO2 (Kg)	CH4 (Kg)	
-	۴۱۷۵۰۶۳۱	۱۵۲۸۲۹۶۵	کنترل نشده
۹۶۷۵۳	۷۷۴۷۴۵۶۲	۲۲۹۲۴۴۵	کنترل شده

## بحث

است. لندفیل آراد کوه ۶۰۰ هزار تن زباله را در خود جای داده است ولی میزان پسماند در لندفیل شماره ۲ شاهین شهر یک سوم این مقدار یعنی ۲۰۰ هزار تن بوده است. با مقایسه لندفیل آرادکوه با لندفیل شماره ۲ شاهین شهر موارد زیر را می توان نتیجه گیری کرد:

در لندفیل آرادکوه بیشترین و کمترین حجم گاز تولید شده به ترتیب ۱۸ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۹۴ و ۰/۹ میلیون مترمکعب ۳۰ سال بعد بر آورد شده است و همین مقادیر در لندفیل شماره ۲ شاهین شهر به ترتیب ۳۲۰۰۰۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۹۴ و ۵۳۰۰۰۰۰ متر مکعب در ۳۰ سال بعد محاسبه شده است.

در لندفیل آرادکوه بیشترین و کمترین جرم گاز متان تولید شده به ترتیب ۶ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۹۴ و ۰/۳ میلیون کیلوگرم ۳۰ سال بعد بر آورد شده است و همین مقادیر در لندفیل شماره ۲ شاهین شهر به ترتیب ۱۰۵۰۰۰۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۴ و ۱۷۴۰۰۰۰ کیلوگرم در ۳۰ سال بعد محاسبه شده است.

در لندفیل آرادکوه بیشترین و کمترین جرم گاز دی اکسید کربن تولید شده به ترتیب ۱۶ میلیون متر مکعب در سال

با توجه به نتایج به دست آمده نشان داده شده است که میزان گازهای لندفیل در طول ۳۰ سال کاهش می یابد. بیشترین گاز لندفیل، متان و دی اکسید کربن به ترتیب ۳۲۰۰۰۰۰ متر مکعب، ۱۰۵۰۰۰۰ و ۲۸۰۰۰۰۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۴ و کمترین گاز لندفیل، متان و دی اکسید کربن به ترتیب ۵۳۰۰۰۰۰ متر مکعب، ۱۷۴۰۰۰ و ۴۷۶۰۰۰ کیلوگرم در سال ۱۴۲۴ پیش بینی شده است.

حجم کل گازهای تولید شده در این لندفیل طی ۳۰ سال حدود ۴۶ میلیون متر مکعب است که ۲۷ درصد جرم آن را متان و ۷۳ درصد آن را گاز دی اکسید کربن تشکیل می دهد. میزان گاز متان و دی اکسید کربن در طول ۳۰ سال به ترتیب حدود ۱۵ میلیون و ۴۱ میلیون کیلوگرم پیش بینی شده است. در پژوهش بویاغچی و همکارانش در لندفیل آراد کوه در سال ۱۳۹۲، میزان گاز لندفیل، گاز متان و دی اکسید کربن به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوگرم پسماند به ترتیب ۳۱۸ متر مکعب، ۱۱۰ و ۲۷۰ کیلوگرم پیش بینی شده است<sup>۲۷</sup>. که این مقادیر در لندفیل شماره ۲ شاهین شهر به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوگرم پسماند ۲۳۲ متر مکعب، ۷۶ و ۲۰۸ کیلوگرم پیش بینی شده

## نتیجه گیری

به طور کلی میزان کلیه گازها در طول زمان و با افزایش سن لندفیل کاهش یافته است. بنابراین هرگونه برنامه ریزی جهت استحصال و بهره برداری از گازهای لندفیل در سالهای اول پس از بسته شدن لندفیل باید انجام گیرد تا از لحاظ هزینه و بهره برداری از گاز محل دفن مقرون به صرفه باشد. با برنامه ریزی صحیح از ابتدای این ۳۰ سال و لوله گذاری در این مکان می توان از انتشار گازهای گلخانه ای به اتمسفر جلوگیری کرده و از این گازها جهت تامین انرژی مورد نیاز کارخانه بازیافت شاهین شهر استفاده کرد.

میزان انتشار گاز دی اکسید کربن کنترل شده  $1/85$  برابر حالت کنترل نشده است. این افزایش در نتیجه تبدیل گاز متان به دی اکسید کربن در تکنولوژی های مهار گاز لندفیل است. میزان انتشار گاز متان در حالت کنترل شده  $0/15$  حالت کنترل نشده است. با توجه به اینکه اثر گرمایش هر مولکول گاز متان حدودا ۲۵ درصد اثر گاز دی اکسید کربن است، می توان نتیجه گرفت که تکنولوژی های کنترل گاز لندفیل علاوه بر تولید انرژی الکتریسته و گرما نقش بسزایی در کاهش گازهای گلخانه ای دارند.

## تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسنده مقاله بر خود لازم میدانند از ریاست پژوهشکده پسماند و پساب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) و کارشناس پژوهشکده سرکار خانم مهندس پیرستانی به جهت کمک در انجام پروژه و در اختیار قرار دادن امکانات برای انجام این پژوهش، کمال تقدیر و تشکر را بنماید.

۱۳۹۴ و  $0/8$  میلیون کیلوگرم ۳۰ سال بعد بر آورد شده است و همین مقادیر در لندفیل شماره ۲ شاهین شهر به ترتیب  $2870000$  کیلوگرم در سال ۱۳۹۴ و  $476000$  کیلوگرم در ۳۰ سال بعد محاسبه شده است.

بر اساس مقایسات دو لندفیل فوق با کاهش میزان پسماند در لندفیل شماره ۲ شاهین شهر نسبت به لندفیل آرادکوه میزان کلیه گازها در شروع و پایان ۳۰ کاهش یافته است. میزان کل گاز لندفیل، گاز متان و گاز دی اکسید کربن در حدود  $5/6$  برابر از لندفیل آرادکوه در سال ۱۳۹۴ کاهش داشته و پس از گذشت ۳۰ سال این نسبت به حدود  $1/7$  برابر کاهش یافته است. بر اساس نتایج فوق میزان انتشار گاز دی اکسید کربن تقریبا ۳ برابر بیشتر از گاز متان برآورد شده است.

در پژوهشی از طلایی و همکارانش در لندفیل شهر بندرعباس در سال ۱۳۹۵، بیشترین گاز متان و دی اکسید کربن در سال ۱۴۰۵ یعنی یک سال بعد از بسته شدن لندفیل به ترتیب مقادیر ۴ میلیون و ۱۲ میلیون تن محاسبه گردیده است<sup>۱۴</sup>. که در لندفیل شماره ۲ شاهین شهر نیز بیشترین مقادیر متان و دی اکسید کربن در سال ۱۳۹۴ به ترتیب  $1050000$  و  $2870000$  کیلوگرم بر آورد گردیده است. کمترین مقادیر گاز متان و دی اکسید کربن در لندفیل بندر عباس پس از گذشت ۳۰ سال حدود  $2/3$  و  $6/5$  میلیون تن در سال ۱۴۳۵ بر آورد شده است که این مقادیر در لندفیل شماره ۲ شاهین شهر حدود ۱۷۴ و ۴۷۶ هزار کیلوگرم در سال ۱۴۲۴ بر آورد شده است. مشاهده می گردد مقادیر گازهای متان و دی اکسید کربن در هر دو لندفیل مورد مقایسه در طول ۳۰ سال کاهش یافته است.

## References

1. Suocheng D.W.T, Kurt Y , Wu. Municipal solid waste management in China: using commercial management to solve growing problem. *Utilities policy* 2001; 10: 7-11.
2. Du M, Peng C, Wang X, Chen H, Wang M, Zhu Q. Quantification of methane emissions from municipal solid waste landfills in China during the past decade. *Renew Sustain Energ Rev* 2017, 78: 272-279.
3. Elina Dacea, Dagnija Blumbergaa, Girts Kuplaisa, Larissa Bozkob, Zauresh Khabdullinab, Aset Khabdullinb. Optimization of landfill gas use in municipal solid waste landfills in Latvia. *Energy Procedia* 2015, 72: 293 – 299.
4. David A, Turner Ian D, Williams Simon Kemp. Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making. *J Cleaner Prod* 2016, 129: 234-248.
5. Banks C.J, Salter A.M. Energetic and environmental benefits of co-digestion of food waste and cattle slurry: A preliminary assessment, *Resour Conserv Recy* 2011, 56: 71-79.
6. Amirreza Talaiekhosani<sup>1</sup>, Somaye Bahrami, Seyed Mohammad Javad Hashemi, Sahand Jorfi. Evaluation and analysis of gaseous emission in landfill area and estimation of its pollutants dispersion, (case of Rodan in Hormozgan, Iran). *Environ Health Eng Manag J* 2016, 3(3): 143-150.
7. Hans C, Willumsen. *Energy Recovery from Landfill Gas in Denmark and Worldwide*, 1999. Denmark. [www.lei.lt/Opet/pdf/Willumsen.pdf](http://www.lei.lt/Opet/pdf/Willumsen.pdf).
8. Lelieveld J, Crutzen P.J, Dentener F.J. Changing concentration, lifetime and climate forcing of atmospheric methane. *Tellus B* 1998, 50: 128-150.
9. Mike Ewall, 10th February 2000, primer on landfill gas as Green Energy, Energy Justice NetWork, Online, 26th November 2006, [http://www.landfill\(LFG\)EnergyJusticeNetwork.htm](http://www.landfill(LFG)EnergyJusticeNetwork.htm).
10. Ghareh,S, Shariatmadari N. Modeling of the landfill site in Mashhad to estimate the amount of gases produced. 2002. Third National Day of Clean Earth Day.
11. Omrani Gh, Mohseni N, Haghghat K, Javid A. Technical and sanitary assessment of methane extraction from the landfill site of Shiraz. *Sci Technol Environ* 2004, 4: 55-62.
12. Bicheldey T, Latushkina E. Biogas emission prognosis at the landfills. *Int J Environ Sci Technol* 2010, 7(4): 623-628.
13. Anwar J. Economic and environmental benefits of landfill gas from municipal solid waste in Malaysia. *Renew Sust Energ Rev* 2012, 16: 2907- 2912.
14. Talaiekhosani, A. Evaluation of Carbon Dioxide, Methane and Non-Methane Organic Compounds Emission from Solid Waste Landfill. The 6th National and 1th International Conference of Applications of Chemistry in Advanced Technologies, Isfahan, Iran. 2016.
15. Maryam Pazoki, Reza Maleki Delarestaghi, Mohammad, Reza Rezvanian, Reza Ghasemzade, and Peyman Dalaei. Gas Production Potential in the Landfill of Tehran by Landfill Methane Outreach Program. *Jundishapur J Health Sci* 2015, 7(4): 629-679. (In persian)
16. Ahmadi Boyaghchi F, Khanpour N, Ashrafi M. Emission Rate Assessment In Landfill And Energy Generation Technologies(Case Study: Aradkooh Landfill). *J Environ Stud* 2013, 3(67): 6-8.
17. Laura Capellia, Selena Sironia, Renato Del Rossoa, Enrico Magnanob. Evaluation of Landfill Surface Emissions. The Italian Association of Chemical Engineering 2014, 40.
18. Deepam D, Bijoy Kumar M, Soumyajit P, Tushar J. Estimation of land-fill gas generation from municipal solid waste in Indian Cities. *Energ Procedia* 2016, 90: 50 – 56.
19. EPA, 1996. Turning a liability into an asset landfill methane outreach program: U.S. Environmental Protection Agency, Government Printing Office: Washington, DC.
20. EPA, 1997. Energy project landfill gas utilization software (E-PLUS) Users Handbook, Landfill methane outreach program, U.S. Environmental Protection Agency, Government Printing Office: Washington, DC.
21. EPA, 1998. 42 Emission factor: Municipal solid waste landfills, Technology transfer network, Clearinghouse for inventories and emission factor; U.S. Environmental Protection Agency.
22. Jaramillo p, Matthews H.S. Landfill-Gas-to-Energy Projects: Analysis of Net Private and Social Benefits. *Environ Sci Technol* 2005, 39(19): 7365-7373.
23. Dudek J, et al . Landfill gas energy technology, User's Handbook. 2012.
24. Themelis N.J, Ulloa P.A. Methane generation in landfills. *Renew Energ* 2004, 32: 1243-257.
25. USEPA, US Environmental Agency. 2006. Global anthropogenic non-CO2 greenhouse gas emissions. PP:1990-2020. Washington, DC: USEPA, Editor.
26. Barlaz M.A, et al. 2002. A critical evaluation of factors required to terminate the post-closure monitoring period at solid waste landfills. *Environ Sci Technol* 36: 3457-64.
27. Boiaghchi and et al. Evaluation of landfill generation environmental pollutants and technology exploitation energy (case study arad kooh landfill). 2013.

## Evaluation of Landfill Gas Generation for Exploitation Energy (Case Study: Landfill No. 2 of Shahinshahr)

Ehsan Rezaee<sup>1</sup>, Mohammad Hadi Abolhasani<sup>\*2</sup>

1. M.Sc in Environmental, Isfahan Islamic Azad University (Khorasgan), Isfahan, Iran

2. Assistant Professor Departeman of Environmental Science, Waste and Wastewater Research Center,  
Islamic Azad of Esfahan University (Khorasgan), Esfahan, Iran

\* E-mail: hadi.mha2001@yahoo.com

Received: 17 Apr 2018 ; Accepted: 16 Jul 2018

### ABSTRACT

**Background and objective:** The paper aims to estimate the environmental gases of Landfill No. 2 in Shahin Shahr (total landfill gas, methane gas and carbon dioxide gas), comparison of gas emissions over a period of 30 years, and the availability of landfill for energy extraction.

**Methods:** The field of research is Landfill No. 2 at Shahin Shahr Recycling Plant (Isfahan) located in Ja'farabad Mountains, whose capacity was completed in 1391 and landfill gas assessment was carried out. The total amount of produced gases, methane and carbon dioxide has been calculated using the first-order degradation model over a period of 30 years.

**Results:** The amount of these gases in Landfill has been calculated from 1394 to 1424. The results show that the amount of landfill gases has declined over time. The most amounts of methane and carbon dioxide production is about 1050000 and 287000 kilograms in 1394 and the least amount of methane and carbon dioxide production is estimated about 174 and 476 thousand kilograms, respectively, in 1424. The total volume of gases produced in this landfill has been estimated to be about 15 million cubic meters in 30 years, of which 27 percent are methane and 73 percent are carbon dioxide. The amount of methane and carbon dioxide gas is estimated to be about 15 million and 42 million kilograms in 30 years, respectively.

**Conclusion:** Generally, landfill gases have declined over time. It is recommended to use energy recovery technologies for controlling greenhouse gas emissions and generation of required energy for the ShahinShahr recycling plant in order to use this volume of gas.

**Keywords:** Landfill, Environmental Gas, Waste, Energy