

بررسی مقایسه‌ای و مدل‌سازی میزان تولید گازهای آلاینده از محل دفن پسماندهای شهرهای واقع در مناطق گوناگون ایران با استفاده از نرم‌افزار لندجم

فرید علی‌زاد اقیانوس، هانیه شکرکار*⁺

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

چکیده: دفن بهداشتی، از روش‌های دفع پسماند، مشکل‌های زیانباری برای محیط‌زیست به ویژه آلودگی هوا را به دنبال دارد. در نتیجه تجزیه مواد آلی پسماندها، گازهای آلاینده و گلخانه‌ای شامل بیوگاز، کربن‌دی‌اکسید و گاز متان تولید می‌شوند که گاز متان بیش‌ترین اثر آلاینده‌گی را در بین گازهای تولید شده، دارد. در این مطالعه، هفت شهر تبریز، تهران، شیراز، مشهد، بندرعباس، خوی و آستارا به دلیل برخورداری از شرایط اقلیمی متفاوت، برای ارزیابی و مدل‌سازی میزان گاز متان قابل تولید با استفاده از نرم‌افزار لندجم از دفن‌گاه پسماند هر شهر، انتخاب شدند. یافته‌های این مطالعه، نشان داد که بالاترین نرخ تولید متان در بین شهرهای مورد مطالعه، با در نظر گرفتن منطقه مرطوب و معمولی برای شهرستان آستارا و منطقه خشک برای سایر شهرها، در سال ۱۴۱۵ در شهر تهران اتفاق خواهد افتاد. با استفاده از نتیجه‌های به دست آمده در این پژوهش، می‌توان سامانه‌های جمع‌آوری گاز متان را برای هر محل دفنی طراحی و اجرا کرد. بنابراین، افزون بر به کارگیری گازهای آلاینده، از انباشتگی آن در محل‌های دفن و ایجاد انفجار، از نشست‌های احتمالی نیز جلوگیری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا؛ بیوگاز؛ گاز آلاینده؛ گاز متان؛ مدل‌سازی، لندجم.

KEYWORDS: Air pollution; Biogas; Pollutant gas; Methane; Simulation; Land GEM.

مقدمه

از بهترین به بدترین عبارت است از: پیش‌گیری از تولید پسماند، کاهش مقدار تولید پسماند، استفاده از فرآوردهایی که چندین بار قابل استفاده باشند، بازیافت، مصرف پسماند به عنوان منبع تولید انرژی با سوزاندن آن و دفن پسماند هستند. در کشور ایران حدود ۲۳ درصد از پسماندهای تر و خشک بازیافت و ۷۷ درصد با دفن بهداشتی، دفع می‌شود. دفع غیربهداشتی پسماند مانند رها کردن آن در دریاها، دریاچه‌ها و زمین‌های بایر در آلودگی‌های محیط‌زیست و

بوی بدی که هر روز بشر در هنگام عبور از محل‌های دفن پسماند احساس می‌کند هر چند بی‌اهمیت می‌انگارد ولی در طول زمان می‌تواند مشکل‌های جبران‌ناپذیری را برای او به وجود بیاورد. این بو می‌تواند با استفاده از فرایندهایی مورد استفاده قرار گرفته و در تولید فرآورده‌های دیگر از آن استفاده شود. هر چند شیوه مدیریت پسماند در کشورهای گوناگون با یکدیگر متفاوت است ولی به طور کلی ۶ شیوه برخورد با پسماند وجود دارد که به ترتیب

*عهدہ دار مکاتبات

+E-mail: h_shokrkar@sut.ac.ir

عبارتند از: تخمیر، اسیدسازی و متان‌سازی. در مرحله اول مواد آلی توسط مخمرها هیدرولیز شده و به کربن‌دی‌اکسید و الکل و اسیدهای چرب فرار تبدیل می‌شود. در مرحله دوم، باکتری‌های اسیدساز، فرآورده‌های تولید شده در مرحله اول را به استیک اسید و باکتری‌های تولید کننده متان که ترکیبی از باکتری‌های اسید دوست و هیدروژن دوست می‌باشند، استیک اسید به عنوان سوسترا خود مصرف کرده و متان تولید می‌کنند [۸]. در حال حاضر می‌توان پسماندهایی را که از نوع پسماند خشک است، با جداسازی مناسب و بازیافت آن‌ها به سلامتی جامعه و کاهش آلودگی هوا کمک کرد. پسماندهای از نوع تر قابلیت تبدیل شدن به کمپوست - کمپوست به دست آمده فعالیت زیستی میکروارگانیسم‌هایی است که توانایی شکستن مولکول‌های درشت مواد آلی را دارا می‌باشند - را دارند [۹]. بر این اساس هر تن پسماند در حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ لیتر شیرابه تولید می‌کند که با توجه به فصل سال و تغییر دما متغیر است و با احتمال نفوذ آن به سفره‌های زیر زمینی، موجب آلودگی آب و خاک می‌شود. هم‌چنین هر تن پسماند با تولید بیش از ۴۰۰ متر مکعب گاز گلخانه‌ای افزون بر آلودگی هوا، موجب تخریب لایه اوزون و به تبع آن گرم شدن زمین می‌شود. با نگاهی کوتاه به آمار و ارقام می‌توان به عمق فاجعه زیست محیطی که در کمین ایران در شرف وقوع است پی برد [۱۰]. روش‌ها و نرم‌افزارهای گوناگونی برای تخمین میزان تولید گازهای آلاینده از لندفیل وجود دارد که بیشتر آن‌ها از روی مدل معادله مونود و مدل تجزیه‌ای مرتبه اول (FOD) شکل گرفته است که از آن جمله می‌توان به IPCC، TNO، GASSIM، Afvalzorg، EPER، MTM، LFGGEN و LandGEM اشاره کرد [۱۱].

با توجه به مطالعه‌های صورت گرفته در این زمینه، لاقوس و همکاران [۱۲] با بررسی تاثیر سرعت تجزیه شدن پسماندهای موجود در لندفیل شهر مونترال کانادا نتیجه گرفتند که در صورتی که مواد آلی لندفیل بیشتر باشد، گاز متان بیش‌تری نسبت به حالتی که لندفیل محتوی مواد تجزیه پذیر با سرعت کم باشد، تولید می‌شود و در هر حالت یکسال پس از بسته شدن لندفیل بیش‌ترین گاز تولید می‌شود که نتیجه‌های واقعی با نتیجه‌های به دست آمده از نرم‌افزار لندجم مطابقت داشت. لانوو و همکاران [۱۳] برای اعتبارسنجی نرم‌افزار لندجم با بهینه سازی پارامترهای به کار رفته در نرم‌افزار برای تخمین گازهای آلاینده تولیدی از لندفیل شهر ساسکاچوان و رجینا کانادا توانستند میزان خطای نرم‌افزار با نتیجه‌های واقعی را به زیر ۱۵٪ در هر دو شهر برسانند. پیلائی و همکاران [۱۴] میزان گازهای تولید شده از لندفیل

گسترش بیماری‌های واگیردار نقش اساسی دارد. در شهرهای به نسبت بزرگ روزانه مقادیرهای چشمگیری پسماند خانگی تولید می‌شود که این میزان پسماند افزون بر هزینه‌های سرسام‌آور جمع‌آوری، تفکیک، حمل و دفع آن، حجم عظیمی از مشکل‌های زیست محیطی نگران کننده‌ای نظیر آلودگی آب، هوا، خاک، رشد و تکثیر حشره‌ها، جوندگان و ناقلان بیماری‌ها را به دنبال داشته و افزون بر ایجاد چهره زشت برای شهر، سلامتی میلیون‌ها انسان را به مخاطره می‌اندازد. تولید مواد زاید جامد فرآورده‌ی فعالیت‌های گوناگون انسانی است که با پیشرفت تکنولوژی نوع پسماندهای به وجود آمده نیز متنوع‌تر شده و به همین دلیل روش‌های نوینی برای دفع این پسماندها نیاز است [۱].

یکی از روش‌های دفع پسماند، دفن بهداشتی مواد زاید جامد می‌باشد. دفن پسماند یکی از ابتدایی‌ترین شیوه‌های برخورد با پدیده پسماند است که در حال حاضر نیز در بیشتر کشورهای جهان معمول‌ترین روش برای حل مشکل پسماند است. به مکان‌هایی که پسماندها را در آن دفن می‌کنند، لندفیل گفته می‌شود. از خطرهای محل دفن پسماند که به خوبی ساخته یا اداره نمی‌شود می‌توان به جذب حشره‌های موزی، آلوده کردن آب‌های زیرزمینی و حتی سطح زمین به واسطه تولید شیرابه و تولید گاز از محل دفن پسماند اشاره کرد. گاز لندفیل از طریق فعالیت زیستی بی‌هوازی میکروارگانیسم‌های موجود در خاک محل دفن و استفاده از مواد آلی پسماندها تولید می‌شود. جز بیشتری از گاز تولیدی لندفیل را دو گاز متان و کربن‌دی‌اکسید و جز اندکی را نیز ترکیب‌های آلی فرار و سایر گازها تشکیل می‌دهد. گازهای متان و کربن‌دی‌اکسید به عنوان یکی از گازهای گلخانه‌ای به لایه اوزون نیز آسیب می‌رسانند [۳،۲]. گاز متان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای است که از نظر پتانسیل، بیشترین اثر (۲۵ تا ۳۰ برابر گاز کربن‌دی‌اکسید) را در پدیده گرمایش جهانی دارد این در حالی است که از نظر کمی نیز با سهم ۱۸ درصد در رتبه دوم گازهای گلخانه‌ای قرار دارد [۴]. از آنجایی که گاز کربن‌دی‌اکسید به عنوان یک گاز گلخانه‌ای اثرهای زیادی در پدیده گرمایش جهانی و نیز آلودگی هوا را به دنبال دارد [۵] در نتیجه، مطالعه‌های زیادی در زمینه‌ی حذف گاز کربن‌دی‌اکسید به دست آمده از سوخت‌های فسیلی کارخانه‌ها و صنایع با استفاده از روش‌های جذبی انجام گرفته است [۶،۷]. در حالی که میزان گاز کربن‌دی‌اکسید تولید شده از لندفیل‌ها نیز چشمگیر می‌باشد [۲]. گاز متان و کربن‌دی‌اکسید فرآورده‌ی یک واکنش سه مرحله‌ای هستند که واکنش‌دهنده‌ها همان مواد آلی پسماندها بوده و این سه مرحله

یکی از پرجمعیت‌ترین استان‌های کشور در شرایط اقلیمی گرم و خشک می‌باشد. طبق گزارش‌های سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران، روزانه بیش از ۹۰۰۰ تن پسماند تولید می‌شود که حدود ۴۰ درصد از آن را پسماندهای خشک تشکیل می‌دهند. آرادکوه مرکز دفن پسماندهای شهر تهران، در جنوب شهر کهریزک و ابتدای جاده تهران - قم واقع شده است. این مرکز با مساحتی نزدیک به ۱۴۰۰ هکتار از سال ۱۳۳۵ پذیرای پسماند شهر تهران است. با توجه به آمارهای موجود هر روز به‌طور متوسط ۸۴۰۰ تن پسماند وارد این مرکز می‌شود. وسعت شهر تبریز، واقع در استان آذربایجان شرقی، حدود ۳۲۴ کیلومتر مربع و جمعیت آن در حدود ۱/۵ میلیون نفر (در سال ۹۵) می‌باشد که یکی از پرجمعیت‌ترین شهرهای کشور به‌شمار می‌آید. از نظر شرایط آب و هوایی شهر تبریز در زمره منطقه‌های گرم و خشک است. طبق گزارش سازمان مدیریت پسماند شهر تبریز روزانه بیش از ۱۲۰۰ تن پسماند تولید می‌شود که تنها ۳۰ درصد آن‌ها از نوع پسماند خشک و قابل بازیافت است. از سال ۱۳۹۲ دفن پسماندهای شهر تبریز در ارتفاعات شیرینجه تبریز صورت می‌گیرد که این مکان در ۱۲ کیلومتری جاده تبریز به سمت روستای اسپیران واقع شده است که روزانه به‌طور متوسط ۱۱۰۰ تن پسماند در این محل دفن می‌شود. مساحت شهر شیراز که مرکز استان فارس نیز می‌باشد، حدود ۲۴۰ کیلومتر مربع بوده که جمعیتی به تقریب ۱/۵ نفر (در سال ۹۵) را در خود جای داده است. آب و هوای شهر شیراز نیز گرم و خشک است. طبق گزارش‌های روزانه بیش از ۱۰۰۰ تن پسماند در شهر شیراز تولید می‌شود که از این مقدار تنها ۷ درصد را پسماندهای خشک و قابل بازیافت تشکیل می‌دهد و مابقی برای دفن یا تولید کود و برق به بازیافت می‌رود. سایت دفن پسماند در ۱۸ کیلومتری جنوب شرقی شیراز در محور شیراز - سروستان در منطقه‌ای بنام برمشور با ارتفاع حدود ۱۶۰۰ متر از سطح دریا و مساحت کل ۵۰۰۰ هکتار واقع شده است. مساحتی در حدود ۴۰ هکتار به منظور دفن در نظر گرفته شده که روزانه حدود ۴۰۰ تن پسماند در این محل دفن می‌شود. شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران است که وسعتی حدود ۳۲۸ کیلومتر مربع دارد. شهر مشهد دارای آب و هوای گرم و خشک است. جمعیت شهر مشهد در سال ۱۳۹۵ از سوی مرکز آمار ایران حدود ۳/۳ میلیون نفر گزارش شده است. این جمعیت طبق گزارش سازمان مدیریت پسماند شهر مشهد روزانه ۱۹۰۰ تن پسماند تولید می‌کنند که از این مقدار پسماند تولیدی حدود ۱۲۰۰ تن، در محور ۳۵ کیلومتری مشهد در مسیر

کشور ترینداد و توباگو را با نرم‌افزار لندجم مدل‌سازی کرده و نتیجه گرفتند که نتیجه‌های به دست آمده از نرم‌افزار ۳٪ خطا با نتیجه‌های واقعی گزارش شده دارد. بنابراین از این نرم‌افزار برای مدل‌سازی تولید گازهای آلاینده از لندفیل تازه احداث شده استفاده کرده و گزارش کردند که یکسال پس از بسته شدن لندفیل بیش‌ترین تولید گاز آلاینده را خواهد داشت. گلاپلی و همکاران [۱۵] از سه مدل نرم‌افزاری IPCC، MTM و LandGEM برای مدل‌سازی میزان تولید گاز متان از لندفیل شهر گواهای هندوستان استفاده کردند و گزارش کردند که هر سه مدل‌های نرم‌افزاری خطای افزایشی داشته ولی مدل‌های به‌کار رفته در نرم‌افزار لندجم و مدل IPCC به نتیجه‌های واقعی نزدیک‌ترند. غش و همکاران [۱۶] برای اعتبارسنجی نرم‌افزارهای تخمین تولید گازهای آلاینده از لندفیل شهر دهلی هندوستان، از سه مدل نرم‌افزاری IPCC، FOD و LandGEM استفاده کردند و با مقایسه نتیجه‌های عملی به دست آمده، نتیجه گرفتند که مدل نرم‌افزار لندجم کمترین خطا را در تخمین تولید گاز متان از لندفیل دارد. بارس و همکاران [۱۷] در برزیل، چو و همکاران [۱۸] نیز در کره گازهای آلاینده تولید شده از لندفیل را با نرم‌افزار لندجم مدل‌سازی کرده و گزارش کردند که نرم‌افزار لندجم از اعتبار کافی برخوردار است.

با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته برای اعتبارسنجی نرم‌افزار لندجم و اطمینان از اعتبار کافی نتیجه‌های به دست آمده از این نرم‌افزار، در این کار پژوهشی که با هدف تخمین میزان تولید گاز متان و کل گازهای آلاینده غیر متانی از مرکز دفن بهداشتی پسماند شهرهای تهران، تبریز، مشهد، شیراز، بندرعباس، شهرستان خوی و آستارا که با توجه به برخورداری از شرایط اقلیمی متفاوت از هم انتخاب شده‌اند، انجام گرفته، از مدل نرم‌افزاری لندجم استفاده شده است. با توجه به این‌که، تاکنون مطالعه مقایسه‌ای در بین شهرهای ایران از نظر تولید گازهای آلاینده از لندفیل با استفاده از نرم‌افزار لندجم، که یک مدل ریاضی طراحی شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا است، صورت نگرفته است، بنابراین نتیجه‌های به دست آمده از این پژوهش می‌تواند در پیشگیری از وقوع رویدادهای ناگوار در کشور جلوگیری به عمل آورده و در به‌کارگیری سامانه‌های استفاده از گازهای آلاینده نیز مفید واقع شود.

بخش تجربی

بررسی مناطق مورد مطالعه

شهر تهران با وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع و جمعیتی در حدود ۸/۷ میلیون نفر (طبق گزارش مرکز آمار ایران در سال ۹۵)

در شهر بندرعباس ۷۰۰ گرم، طبق گزارش‌های مدیریت پسماند هر شهر است.

روش پژوهش و معرفی نرم‌افزار

برای انجام این مطالعه نخست عملیات نمونه برداری از پسماند انجام و ویژگی‌های کمی و کیفی پسماندها تعیین شد. نتیجه‌های به‌دست آمده از این مرحله در بخش یافته‌ها آمده است. نرم افزار LandGEM که بر اساس معادله درجه ۱ طراحی شده، افزون بر محاسبه و تخمین میزان تولید گاز متان از محل دفن بهداشتی پسماند، قابلیت تخمین ۴۶ مورد از انواع آلاینده‌های هوا را نیز دارا می‌باشد. معادله (۱) به صورت پیش فرض، که برای انجام محاسبات در نرم‌افزار LandGEM تعریف شده است، به صورت زیر است [۱۹]:

$$Q_{CH_4} = \sum_{(i=1)}^n \sum_{(j=0.1)}^1 K.L_0 \cdot \left[\frac{M_i}{10} \right] \cdot e^{-k t_{ij}} \quad (1)$$

که در این معادله، Q_{CH_4} مقدار متان تولیدی محاسبه شده بر حسب متر مکعب بر سال، i برابر یک سال افزایش زمان، n اختلاف سال مورد نظر برای محاسبه تولید گاز و سال تأسیس محل دفن پسماند، j نشانگر افزایش زمان سالانه (۰/۱ سال)، M_i جرم دفن پسماند در سال اول تأسیس محل دفن پسماند بر حسب مگاگرم (Mg)، t_{ij} سن زمین بخش از پسماند دفن شده در زمین سال بر حسب سال i ام می‌باشد [۱۹]. k نرخ تولید گاز متان بر حسب معکوس سال است که با توجه به شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی منطقه تعیین می‌شود. مقدار k برای مناطق سرد و نیمه‌خشک در بازه‌ی ۰/۰۶ تا ۰/۰۲ معکوس سال و برای مناطق گرم‌تر در بازه‌ی ۰/۰۴ تا ۰/۲۱ معکوس سال در نظر گرفته می‌شود [۲۱، ۲۰]. L_0 پتانسیل ظرفیت تولید متان بر حسب متر مکعب بر مگاگرم (m^3/Mg) که فقط تابع ترکیب درصد پسماند موجود در لندفیل است، به طور پیش فرض هم برای مناطق خشک و هم برای مناطق معمولی، چون بیشتر پسماند را مواد آلی تشکیل می‌دهد، $170 m^3/Mg$ در نظر گرفته می‌شود [۲۰]. از آن جایی که درصد زیادی از بیوگازهای آلاینده انتشار یافته از لندفیل را ۲ گاز متان و کربن‌دی‌اکسید تشکیل می‌دهند (حدود ۹۹/۹ درصد) در نتیجه معادله‌ای که برای تخمین تولید گاز کربن‌دی‌اکسید در نرم‌افزار به کار می‌رود را می‌توان به صورت زیر بیان کرد [۲۲]:

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \times \left\{ \left[\frac{1}{(P_{CH_4} / 100)} \right] \right\} \quad (2)$$

جاده میامی، دفن می‌شود که با توجه به مطالعه‌های این محل تا سال ۱۴۰۸ گنجایش پسماندهای روزانه شهر مشهد را دارد. شهر خوی با وسعتی بالغ بر ۵۵۴۴ کیلومتر مربع در شمال غربی‌ترین نقطه ایران و آذربایجان و در مرز کشور ترکیه واقع شده است. شهر خوی دارای آب و هوای خشک می‌باشد. جمعیت این شهر در سال ۹۵ از سوی مرکز آمار ایران حدود ۳۸۰ هزار نفر گزارش شده است که این جمعیت در وسعتی بالغ بر ۵۰۰۰ هکتار پراکنده شده‌اند. محل دفن پسماند شهر خوی در ۲۰ کیلومتری شهر و در نزدیکی روستای آغ بلاغ قرار گرفته است. مساحت کل در نظر گرفته شده برای طرح ۴۹ هکتار و احداث لندفیل به سال ۱۳۷۷ می‌باشد. این لندفیل طبق برنامه ریزی‌ها تا ۸۰ سال می‌تواند جوابگوی دفن پسماندهای شهرستان خوی باشد که به طور میانگین روزانه ۱۳۰ تن پسماند تولید می‌شود. آستارا از شهرستان‌های ساحلی استان گیلان در شمال ایران است که طبق گزارش‌های مرکز آمار ایران وسعت آن در حدود ۱۵۰ کیلومتر مربع و جمعیت آن حدود ۹۱/۰۰۰ نفر می‌باشد. آب و هوای این شهر مرطوب است. طبق گزارش‌های سازمان مدیریت پسماند استان گیلان، در آستارا روزانه بیش از ۱۰۰ تن پسماند تولید می‌شود که ۱۰ درصد از پسماند تولیدی قابل بازیافت است. پسماندهای تولیدی شهرستان آستارا در منطقه داداش آباد در نزدیکی ساحل خزر قرار دارد که روزانه حدود ۶۰ تن پسماند در این محل دفن می‌شود. شهر بندرعباس مرکز استان هرمزگان و در جنوب کشور واقع شده و از شمال به ارتفاعات و کوه‌ها و از شمال غربی به تپه ماهورها و جنوب به دریا منتهی می‌شود. گستردگی این شهر حدود ۲۷۳۱۶ کیلومتر مربع و دارای آب و هوای گرم و مرطوب است. جمعیت شهر بندرعباس طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ حدود ۶۸۰ هزار نفر گزارش شده است که این جمعیت روزانه بیش از ۴۰۰ تن پسماند تولید می‌کنند. پسماندهای جمع‌آوری شده در این شهر به منطقه‌ای در مسیر جاده تازیان به بندرعباس موسوم به تل سیاه منتقل می‌شود و در این جایگاه که در فاصله‌ای ۳ کیلومتری از جاده اصلی قرار دارد دفن می‌شود. مساحت کلی محل دفن ۱۸۰ هکتار و در فاصله ۱۲ کیلومتری تا شهر بندرعباس قرار دارد. نزدیک‌ترین روستاها به محل دفن روستاهای تل سیاه و جمال احمد می‌باشند. استاندارد تولید پسماند در کشور ۶۵۰ گرم برای هر شهروند ایرانی که این مقدار به طور متوسط در شهر تهران ۸۵۰ گرم، در شهر تبریز ۷۲۵ گرم، در شهر شیراز ۶۹۰ گرم، در شهر مشهد ۵۵۰ گرم، در شهر خوی بین ۷۲۵ گرم، در شهر آستارا ۷۵۰ گرم و

می‌باشد. دوره طرح انتخابی برای مرکز دفن پسماند شهر تهران نیز بر اساس طرح جامع مدیریت پسماند شهر تهران ۱۰۰ سال برآورد می‌شود. نرخ رشد جمعیت شهرهای تبریز، شیراز، مشهد، خوی، آستارا و بندرعباس نیز به ترتیب برابر ۰/۹۷، ۱/۰۸، ۱/۴، ۱، ۰/۴ و ۱/۳۹ درصد بر اساس نتیجه‌های سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ گزارش شده است. از معادله (۴) برای محاسبه جمعیت در طی سال‌های طرح استفاده شده است. میزان پسماند تولیدی در طی دوره براساس گزارش‌های سرانه تولید پسماند برای هر شهر محاسبه شده است.

از مهم‌ترین اثر افزایش جمعیت می‌توان به کاهش استانداردهای زندگی اشاره کرد که با افزایش تعداد انسان‌ها، میزان آلودگی تحمیل شده بر زمین، آب، فضا و هوا افزایش می‌یابد. آلودگی هوا سالانه زندگی صدها میلیون انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و افزایش این آلودگی‌ها، در اثر افزایش جمعیت بشر است که منجر به استفاده‌ی بیشتر از مواد شیمیایی، مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی، اتومبیل‌های بیشتر و تولید پسماند بیشتر شده است [۲۵]. چنان‌که از جدول ۳، هم نتیجه می‌شود نرخ رشد جمعیت در هر شش شهر مورد مطالعه مثبت بوده و در شهر تهران این میزان بسیار بالاتر از سایر شهرهاست در نتیجه، برای جلوگیری از به وجود آمدن مشکل‌های ناشی از افزایش جمعیت در تولید پسماند، نیازمند آموزش برای شهروندان در راستای تفکیک از مبداء و همچنین استفاده از سامانه‌های بازیافت پیشرفته برای بازگردانی پسماندهای تولید شده و حتی تولید انرژی از آن‌ها می‌تواند تا حدودی شریط زندگی را بهبود بخشد و از به وجود آمدن بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا پیش‌گیری کند.

مقدارهای تولید گاز متان در سال‌های گوناگون دوره در محل دفن پسماندها

گاز متان تولیدی از محل دفن پسماندهای شهر تبریز در طی دوره با استفاده از اطلاعات محاسبه شده و به‌دست آمده از ویژگی‌های محل دفن، جمعیت و وزن پسماندهای تولیدی، طبق معادله (۱) محاسبه شده است.

مهم‌ترین جز تشکیل دهنده گازهای انتشار یافته از محل دفن، گاز متان است که حدود ۷۰-۶۰ درصد کل گاز محل دفن پسماند را که در اثر تجزیه‌ی بی‌هوازی پسماند تولید می‌شود را تشکیل می‌دهد [۲]. گاز متان به عنوان یک گاز گلخانه‌ای به طور مسقیم در مسئله‌ی گرم شدن جهانی تأثیرگذار است. بخشی از گرم شدن

در معادله بالا، Q_{CO_2} بیانگر مقدار گاز کربن‌دی‌اکسید تولید شده بر حسب مترمکعب بر سال، Q_{CH_4} مقدار متان تولیدی محاسبه شده بر حسب متر مکعب بر سال و P_{CH_4} درصد متان تولید شده را بیان می‌کند [۲۲].

$$L_0 = MCF \times DOC \times DOC_f \times F \times 16 / 12 \times (1 - OX) \quad (3)$$

که در این معادله MFC ضریب تصحیح متان می‌باشد که این ضریب در صورتی که عمق لندفیل تا ۵ متر باشد برابر با ۱ و برای لندفیل با عمق بیش از ۵ متر برابر ۰/۸ است (در این مطالعه ۰/۸)، DOC درصد کربن آلی تجزیه پذیر، DOC_f ضریب عدم تشابه می‌باشد که برابر است با ۰/۷۷ و F درصد حجمی متان در گاز تولیدی در محل دفن پسماند می‌باشد که مابین ۶۰٪-۴۰٪ در نظر گرفته می‌شود. OX بیانگر میزان اکسایش در لایه‌های محل دفن (در این مطالعه) [۲۲].

برای محاسبه جمعیت شهرها نیز در طی دوره‌ی طرح از معادله (۴) استفاده شده است:

$$P_n = P_0 (1 + r)^n \quad (4)$$

در معادله‌ی فوق r نرخ رشد جمعیت، P_0 جمعیت شهر در شروع دوره و P_n جمعیت شهر در سال n ام می‌باشد [۲۳]. برای انجام مدل‌سازی در نرم‌افزار LandGEM V 3/02 ثابت‌های و ویژگی‌های محل دفن هر شهر، طبق جدول ۱، تهیه و به سامانه وارد شد.

نتیجه‌ها و بحث

اجزا تشکیل دهنده پسماندهای محل دفن

نتیجه‌های آنالیز فیزیکی پسماندهای شهری نشانگر این است که بیش از ۶۵ درصد پسماندهای شهری را مواد زیست تخریب‌پذیر تشکیل می‌دهند [۲۴].

عملیات نمونه‌برداری و تعیین درصد اجزا تشکیل دهنده پسماند، در فصل تابستان سال ۱۳۹۷ و با استفاده از روش توزین و به مدت یک هفته از پسماندهای لندفیل شهرهای تبریز، تهران، مشهد، شیراز، بندرعباس، آستارا و خوی انجام گرفته و طبق جدول ۲، تهیه شد.

محاسبه جمعیت و پسماند تولیدی شهرهای مورد بررسی در طی سال‌های دوره‌ی طرح

نرخ رشد جمعیت برای شهر تهران بر اساس نتیجه‌های سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ برابر ۱/۷۲ درصد

جدول ۱- ویژگی‌های محل دفن پسماند به همراه ضریب‌های مورد استفاده در نرم‌فزار.

مشخصات محل دفن	تبریز	تهران	شیراز	آستارا	خوی	مشهد	بندرعباس
اولین سال ورود پسماند	۱۳۹۲	۱۳۳۵	۱۳۷۶	۱۳۶۵	۱۳۷۷	۱۳۹۰	۱۳۸۵
سال بسته شدن محل دفن (محدودیت ۸۰ سال)	۱۴۴۲	۱۴۱۵	۱۴۲۶	۱۴۱۵	۱۴۵۷	۱۴۰۸	۱۴۰۵
ظرفیت محل دفن (تن)	۱۵۰۰۰۰۰۰	۳۰۶۶۰۰۰۰	۷۳۰۰۰۰۰	۱۰۹۵۰۰۰	۳۷۰۲۴۰۰	۷۸۸۴۰۰۰	۲۹۲۰۰۰۰
نرخ تولید گاز متان (سال/ک)	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
پتانسیل ظرفیت تولید متان بر حسب L_0 (m^3/mg)	۱۷۰	۱۷۰	۱۷۰	۱۷۰	۱۷۰	۱۷۰	۱۷۰
غلظت کل گازهای آلی غیر متانی (ppm)	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰
حجم متان (درصد حجمی)	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰

جدول ۲- اجزا تشکیل دهنده پسماند هر شهر بر حسب درصد.

شهر	جداسازی پسماند	مواد آلی	کاغذ و چوب	فلزات	شیشه	پلاستیک و چرم	منسوجات	مصالح ساختمانی و سایر موردها
تبریز	۷۰	۱۲/۴	۴/۸	۲/۶	۴	---	۶/۲	
تهران	۶۸/۴۶	۱۱/۲۴	۱/۵۳	۱/۸۸	۶/۵۴	۳/۲۱	۷/۱۴	
مشهد	۶۵/۷۳	۱۶/۵۴	۳/۹۷	۲/۸۴	۵/۹	---	۵/۰۲	
شیراز	۶۹	۹/۵۶	۶/۲	۲/۳	۵/۶	۲/۰۱	۵/۳۳	
بندرعباس	۶۷	۸/۵	۱/۴	۴/۸	۶	۵	۷/۳	
آستارا	۷۳/۵	۹	۲/۰۶	۱/۱	۸/۵	۱/۷	۴/۱۴	
خوی	۷۲/۶	۵/۸	۱	۱/۵	۱۱/۲	۲/۴	۵/۵	

پیدا می‌کند ولی تداوم دارد که دلیل این کاهش می‌تواند به نرسیدن مواد مغذی جدید به میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی باشد. همان‌گونه که لاقوس و همکاران [۱۲] پیلائی و همکاران [۱۴] نیز گزارش کرده‌اند، بیش‌ترین تولید گاز متان پس از بسته شدن لندفیل اتفاق می‌افتد که این مقدار طبق نتیجه‌های به دست آمده از نرم‌افزار، برای شهر تبریز در سال ۱۴۴۵ با مقداری برابر $۵/۵۳۸ \times ۱۰^۷$ متر مکعب، برای شهر تهران در سال ۱۴۱۵ با مقدار $۳۲/۹۳۳ \times ۱۰^۷$ متر مکعب، برای شهر شیراز در سال ۱۴۳۰ مقدار $۴/۵۹۱ \times ۱۰^۷$ متر مکعب، برای شهرستان آستارا در سال ۱۴۳۵ با مقدار $۰/۲۱۵۴ \times ۱۰^۷$ متر مکعب، برای شهرستان خوی در سال ۱۴۴۵ برابر با مقدار $۰/۹۲۳۹ \times ۱۰^۷$ متر مکعب، سال ۱۴۱۰ در مشهد برابر با $۳/۸۱۸ \times ۱۰^۷$ متر مکعب و سرانجام برای بندرعباس در سال ۱۴۰۵ برابر با $۰/۹۰۸۴ \times ۱۰^۷$ متر مکعب خواهد بود.

کره‌ی زمین به دلیل تجمع گازهای گلخانه‌ای متفاوت در اتمسفر است که متان و کربن دی‌اکسید از بیش‌ترین و تاثیرگذارترین این گازها هستند به طوری که متان در یک دوره‌ی صد ساله ۲۳-۲۱ برابر بیش‌تر از کربن دی‌اکسید پتانسیل گرمایشی زمین را دارد. مسئله‌ی خطرناک دیگر احتمال بالای انفجار گاز متان انتشار یافته از محل دفن پسماند می‌باشد که کم‌ترین حد انفجار برای متان وجود پنجاه درصد از آن در هواست. البته انفجار زمانی رخ می‌دهد که در مناطق محبوس مانند شکاف‌های پی ساختمان‌ها جمع شود که در این حالت پس از اختلاط با هوا و تأمین حداقل انرژی فعال‌سازی انفجار رخ می‌دهد [۲۶]. از نتیجه‌های به دست آمده از جدول ۵. مشخص است که هرچه به زمان بسته شدن لندفیل نزدیک می‌شود، میزان تولید گاز متان نیز به همان اندازه بالاتر می‌رود و پس از بسته شدن لندفیل میزان تولید گاز متان کاهش

جدول ۳- جمعیت و وزن پسماندهای تولیدی شهرهای طرح در طی سال‌های دوره.

سال	تبریز		تهران		شیراز		آستارا		خوی		مشهد		بندر عباس	
	جمعیت (هزار نفر)	وزن پسماند سالیانه (کیلوگرم)	جمعیت (هزار نفر)	وزن پسماند سالیانه (کیلوگرم)	جمعیت (هزار نفر)	وزن پسماند سالیانه (کیلوگرم)	جمعیت (هزار نفر)	وزن پسماند سالیانه (کیلوگرم)	جمعیت (هزار نفر)	وزن پسماند سالیانه (کیلوگرم)	جمعیت (هزار نفر)	وزن پسماند سالیانه (کیلوگرم)	جمعیت (هزار نفر)	وزن پسماند سالیانه (کیلوگرم)
۱۳۹۰	۱۴۹۴/۹	۳۹۵/۶	۸۰۲۳/۳	۲۴۸۹/۲	۱۴۶۰/۶	۳۶۷/۸	۴۸/۴	۱۳/۲	۳۵۴/۳	۹۳/۷	۳۴۴۶/۱	۶۳۱/۵	۵۸۸/۲	۱۵۰/۳
۱۳۹۵	۱۵۶۸/۹	۴۱۵/۱	۸۷۳۷/۵	۲۳۱۲/۱۶	۱۵۳۸/۹	۳۸۷/۵	۴۹/۴	۱۳/۵	۳۸۴/۶	۱۰۱/۷	۳۳۷۲/۶	۸۹۲/۴	۶۵۵/۵	۱۶۷/۴
۱۴۰۰	۱۶۴۶/۵	۴۳۵/۷	۹۵۱۵/۲	۲۵۱۷/۹	۱۶۲۱/۴	۴۰۸/۳	۵۰/۴	۱۳/۸	۴۱۵/۳	۱۰۹/۸	۳۶۱۵/۴	۹۵۶/۷	۷۳۷/۷	۱۸۸/۴
۱۴۰۵	۱۷۲۷/۹	۴۵۷/۲	۱۰۳۶۲/۱	۲۷۴۲	۱۷۰۸/۴	۴۳۰/۲	۵۱/۴	۱۴	۴۴۹/۵	۱۱۸/۹	۳۸۷۵/۷	۱۰۲۵/۶	۸۳۰/۲	۲۱۲/۱۲
۱۴۱۰	۱۸۱۳/۳	۴۷۹/۸	۱۱۲۸۴/۵	۲۹۸۶/۱	۱۸۰۰	۴۵۲/۳	۵۲/۵	۱۴/۳	۴۸۶/۶	۱۲۸/۷	۴۱۵۴/۷	۱۰۹۹/۴	۹۳۴/۲	۲۳۸/۷
۱۴۱۵	۱۹۰۳	۵۰۳/۵	۱۲۲۸۴/۸	۳۲۵۰/۸	۱۸۹۶/۵	۴۷۷/۶	۵۳/۵	۱۴/۶	۵۲۶/۸	۱۳۹/۴	۴۴۵۳/۸	۱۱۷۸/۵	۱۰۵۱/۳	۲۶۸/۶
۱۴۲۰	۱۹۹۷/۱	۵۲۸/۴	۱۳۳۲۸/۷	۳۵۴۱/۴	۱۹۹۸/۲	۵۰۳/۲	۵۴/۶	۱۴/۹	۵۷۰/۴	۱۵۰/۹	۴۷۷۴/۴	۱۲۶۳/۴	۱۱۵۴/۸	۲۹۵
۱۴۲۵	۲۰۹۵/۹	۵۵۴/۶	۱۴۵۸۳/۷	۳۸۵۹/۲	۲۱۰۵/۳	۵۳۰/۲	۵۵/۷	۱۵/۲	۶۱۷/۵	۱۶۳/۴	۵۱۱۸/۱	۱۳۵۴/۳	۱۲۴۴/۶	۳۱۸
۱۴۳۰	۲۱۹۹/۵	۵۸۲	۱۵۸۷۱/۲	۴۱۹۹/۹	۲۳۱۸/۲	۵۵۸/۶	۵۶/۸	۱۵/۵	۶۶۸/۵	۱۷۶/۹	۵۴۸۶/۵	۱۴۵۱/۸	۱۳۵۳/۱	۳۴۵/۷
۱۴۳۵	۲۳۰۸/۳	۶۱۰/۸	۱۷۲۸۳/۹	۴۵۷۳/۷	۲۳۳۷/۱	۵۸۸/۶	۵۸	۱۵/۸	۷۲۳/۷	۱۹۱/۵	۵۸۸۱/۵	۱۵۵۶/۴	۱۴۴۲/۸	۳۶۸/۶
۱۴۴۰	۲۴۲۲/۴	۶۴۱	۱۸۸۲۲/۳	۴۹۸۰/۸	۲۴۶۲/۴	۶۲۰/۱	۵۹/۱	۱۶/۱	۷۸۳/۵	۲۰۷/۳	۶۳۰۴/۹	۱۶۶۸/۴	۱۵۵۶/۳	۳۹۷/۶
۱۴۴۵	۲۵۴۲/۲	۶۷۲	۲۰۴۹۷/۷	۵۴۲۴/۲	۲۵۹۴/۴	۶۵۳/۴	۶۰/۳	۱۶/۵	۸۴۸/۲	۲۲۴/۴	۸۱۳/۶۵	۱۷۸۶/۹	۶۵۳/۱۶۶	۴۲۵/۷

جدول ۴- مقدارهای تولید گاز متان در سال‌های گوناگون دوره در محل دفن پسماندها (متر مکعب بر سال).

سال	تبریز ۲-۱.۰x	تهران ۲-۱.۰x	شیراز ۲-۱.۰x	آستارا ۲-۱.۰x	خوی ۲-۱.۰x	مشهد ۲-۱.۰x	بندر عباس ۲-۱.۰x
۱۳۹۵	۰/۳۹۵	۲۲/۰۱۲	۱/۸۹۱	۰/۱۷۱۰	۰/۴۶۴۲	۱/۰۵۹	۰/۴۶۱۹
۱۴۰۰	۱/۰۳۱	۲۲/۴۷۸	۲/۳۵۶	۰/۱۸۴۶	۰/۵۸۳	۲/۰۸۰	۰/۶۸۶۲
۱۴۰۵	۱/۶۳۹	۲۷/۰۹۸	۲/۸۰۷	۰/۱۹۶۳	۰/۶۹۸۷	۳/۰۹۲	۰/۹۰۸۴
۱۴۱۰	۲/۲۲۴	۲۹/۹۶۳	۳/۲۵۶	۰/۲۰۶۴	۰/۸۱۲۱	۳/۸۱۸	۰/۸۷۹۵
۱۴۱۵	۲/۷۸۹	۳۲/۹۳۳	۳/۷۰۱	۰/۲۱۵۴	۰/۹۲۳۹	۳/۴۲۸	۰/۷۹۵۸
۱۴۲۰	۳/۳۴۰	۲۹/۸۰۴	۴/۱۴۵	۰/۱۷۷۷	۱/۰۳۵	۳/۱۵۰	۰/۷۲۰۰
۱۴۲۵	۳/۸۷۸	۲۶/۹۶۰	۴/۵۹۱	۰/۱۳۸۴	۱/۱۴۵	۲/۸۲۸	۰/۶۵۱۵
۱۴۳۰	۴/۴۰۸	۲۴/۳۹۳	۴/۴۹۳	۰/۱۰۷۸	۱/۲۵۶	۲/۵۵۹	۰/۵۸۹۵
۱۴۳۵	۴/۹۳۱	۲۲/۰۷۱	۴/۰۶۵	۰/۰۸۳۹	۱/۳۶۷	۲/۳۱۵	۰/۵۳۳۴
۱۴۴۰	۵/۴۵۲	۱۹/۹۷۵	۳/۶۷۹	۰/۰۶۵۳	۱/۴۷۹	۲/۰۹۵	۰/۴۸۲۷
۱۴۴۵	۵/۵۳۸	۱۸/۰۷۱	۳/۳۲۹	۰/۰۵۰۹	۱/۵۹۳	۱/۸۹۵	۰/۴۳۶۷

جدول شماره ۵ - غلظت آلاینده‌های موجود در محل دفن پسماند بر حسب مترمکعب بر سال در سال ۱۴۱۰.

بندر عباس	مشهد	خوی	آستارا	شیراز	تهران	تبریز	گاز/آلاینده
۱۸۹۶۴۷۳۱	۷۹۵۲۵۷۷۸	۲۰۳۴۱۷۹	۳۸۰۹۸۰۴	۷۰۵۲۵۶۹۱	۷/۰۳×۱۰ ^۱	۴۹۵۲۵۵۱۰	Total landfill gas
۸۵۰۴۹۰۲	۳۶۸۲۵۷۷۸	۱۱۵۴۷۸۱	۱۴۰۴۹۰۲	۳۲۲۵۷۵۷۱	۳/۱۶×۱۰ ^۱	۲۰۷۶۲۷۵۵	Methane
۸۵۰۴۹۰۲	۳۶۸۲۵۷۷۸	۱۱۵۴۷۸۱	۱۴۰۴۹۰۲	۳۲۲۵۷۵۷۱	۳/۱۶×۱۰ ^۱	۲۰۷۶۲۷۵۵	Carbon dioxide
۸۹۳۳۱	۶۳۰۲۲۲۵	۹۸۶۲	۱۱۲۳۹/۲۲	۴۱۸۰۶۰/۶	۳۰۹۰۹۶۷	۲۳۰۱۰۲	NMOC
۱۰/۷۲۵۸	۷۵/۲۱۶۳	۱/۰۰۵۷	۱/۳۴۸۷	۵۰/۱۶۷۲	۳۷۰/۹۱۶	۲۷/۶۱۲۲۴	1,1,1-Trichloroethane - HAP
۲۴/۵۷۹۸	۳۷۳/۳۲۱۴	۱/۲۱۴۸	۳/۰۹۰۷	۱۱۴/۹۶۶۷	۸۵۰/۰۱۵۸	۶۳/۲۷۸۰	1,1,1,2-Tetrachloroethane - HAP/VOC
۵۳/۶۰۶۰	۳۷۸/۱۴۵۸	۴/۲۱۴۷	۶/۷۴۳۵	۲۵۰/۸۳۶۳	۱۸۵۴/۵۸	۱۳۸/۰۶۱۲	1,1-Dichloroethane - HAP/VOC
۴/۴۶۷۱	۳۱/۵۱۴۸	۰/۳۲۱۵	۰/۵۶۱۹	۲۰/۹۰۳۰	۱۵۴/۵۴۸۳	۱۱/۵۰۵۱	1,1-Dichloroethene - HAP/VOC
۹/۱۵۶۲	۶۴/۶۰۲۱	۰/۷۱۷۸	۱/۱۵۲۰	۴۲/۸۵۱۲	۳۱۶/۸۲۴۱	۲۳/۵۸۵۴	1,2-Dichloroethane - HAP/VOC
۴/۰۲۰۰	۲۸/۳۶۵۸	۰/۲۴۸۷	۰/۵۰۵۷	۱۸/۸۱۲۷	۱۰/۰۹۳۵	۱۰/۳۵۴۵	1,2-Dichloropropane - HAP/VOC
۱۱۱۷/۳۳۹۵	۷۸۷۸/۶۶۵۵	۷۸/۱۲۸۹	۱۴۰/۴۹۰۲	۵۳۲۵/۷۵۷	۳۸۶۳۷/۰۸	۲۸۷۶/۲۷۵	2-Propanol - VOC
۵۶/۳۶۴۸	۱۱۰۳/۵۶۸۹	۸/۴۷۶۱	۱۹/۶۶۸۶	۷۳۱/۶۰۶	۵۴۰۹/۱۹۲	۴۰۲/۶۷۸۶	Acetone
۴۲/۴۳۴۵	۲۹۹/۳۲۱۴	۳/۲۷۹۵	۵/۳۳۸۶	۱۹۸/۵۷۸۸	۱۴۶۸/۲۰۹	۱۰۹/۲۹۸۵	Benzene - HAP/VOC
۲۴۵/۷۱۰۲	۱۷۳۳/۰۹۱۴	۲۳/۵۴۲۳	۳۰/۹۰۷۸	۱۱۴۹/۶۶۷	۸۵۰۰/۱۵۸	۶۳۲/۷۸۰۶	Benzene - Co-disposal - HAP/VOC
۱۱۱/۷۴۵۱	۷۸۷/۲۵۴۷	۹/۱۲۸۴	۱۴/۰۴۹۰	۵۲۲/۵۷۵۷	۳۸۶۳/۷۰۸	۲۸۷/۶۲۷۵	Butane - VOC
۱۲/۹۵۰۱	۹۱/۳۸۷۴	۰/۹۱۸۹	۱/۶۲۹۶	۶۰/۶۱۸۷	۴۴۸/۱۹۰۲	۳۳/۳۶۴۸	Carbon disulfide - HAP/VOC
۳۱۲/۷۷۴۱	۲۲۰۶۱/۰۱۱۴	۲۵۱/۲۱۹۸	۳۹۳/۳۷۲۶	۱۴۶۳۲/۱۲	۱۰۸۱۸۳/۸	۸۰۵۳/۵۷۱	Carbon monoxide
۰/۰۸۹۳	۰/۶۳۰۲	۰/۰۰۹۳	۰/۰۱۱۲	۰/۴۱۸۰	۳/۰۹۰۹	۰/۲۳۰۱	Carbon tetrachloride - HAP/VOC
۱۰/۹۴۱۰	۷۷/۲۰۱۴	۰/۶۵۴۷	۱/۳۷۶۸	۵۱/۲۱۲۴	۳۷۸/۶۴۳۴	۲۸/۱۸۷۵	Carbonyl sulfide - HAP/VOC
۵/۵۸۳۱	۳۹/۳۹۸۷	۱/۴۸۶۱	۰/۷۰۲۴	۲۶/۱۲۸۷	۱۹۳/۱۸۵۴	۱۴/۳۸۱۳	Chlorobenzene - HAP/VOC
۲۹/۰۳۲۱	۲۰۴/۸۷۴۹	۱/۲۴۱۶	۳/۶۵۲۷	۱۳۵/۸۶۹۷	۱۰۰۴/۵۶۴	۷۴/۷۸۳۱	Chloroethane - HAP/VOC
۰/۶۷۰۰	۴/۷۲۷۹	۰/۰۲۴۸	۰/۰۸۴۲	۳/۱۳۵۴	۲۳/۱۸۲۲	۱/۷۲۵۷	Chloroform - HAP/VOC
۲۶/۸۰۱۲	۱۸۹/۱۸۷۵	۱/۳۸۴۷	۳/۳۷۱۷	۱۲۵/۴۱۸۲	۹۲۷/۲۹	۶۹/۰۳۰۶	Chloromethane - VOC
۶۰۳/۱۲	۴۲۲۴/۱۲۴	۵۷/۳۲۱۷	۷۵/۸۶۴۷	۲۸۲۱/۹۰۹	۲۰۸۶۴/۰۲	۱۵۵۳/۱۸۹	Ethanol - VOC
۵۱/۳۷۸۴	۳۶۲/۴۹۷۱	۴/۲۱۸۴	۶/۴۶۶۵	۲۴۰/۳۸۴۸	۱۷۷۷/۳۰۶	۱۳۲/۳۰۸۷	Ethyl mercaptan (ethanethiol) - VOC
۱۰۲/۷۷۴۱	۷۲۴/۷۰۳۲	۸/۳۳۴۷	۱۲/۹۲۵۱	۴۸۰/۷۶۹۷	۳۵۵۴/۶۱۲	۲۶۴/۶۱۷۳	Ethylbenzene - HAP/VOC
۰/۰۲۲۳	۰/۱۵۷۶	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۲۸	۰/۱۰۴۵	۰/۷۷۲۷	۰/۰۵۷۵	Ethylene dibromide - HAP/VOC
۱۶/۹۷۴۱	۱۱۹/۷۸۴۱	۰/۹۵۴۷	۲/۱۳۵۴	۷۹/۴۳۱۵	۵۸۷/۲۸۳۷	۴۳/۷۱۹۳	Fluorotrichloromethane - VOC
۱۴۷/۷۴۶۱	۱۰۴۰/۱۰۷۳	۱۱/۲۱۱۸	۱۸/۵۴۴۷	۶۸۹/۷۹۹۹	۵۱۰۰/۰۹۵	۳۷۹/۶۶۸۴	Hexane - HAP/VOC

جدول شماره ۵ - غلظت آلاینده‌های موجود در محل دفن پسماند بر حسب مترمکعب بر سال در سال ۱۴۱۰. (ادامه)

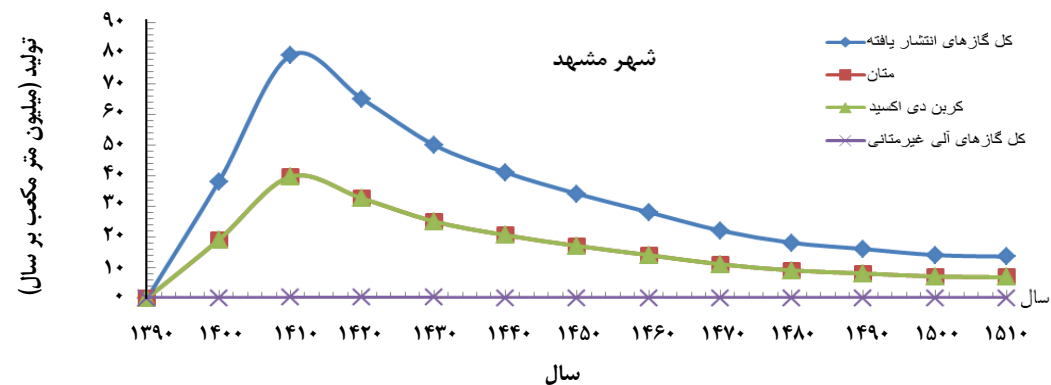
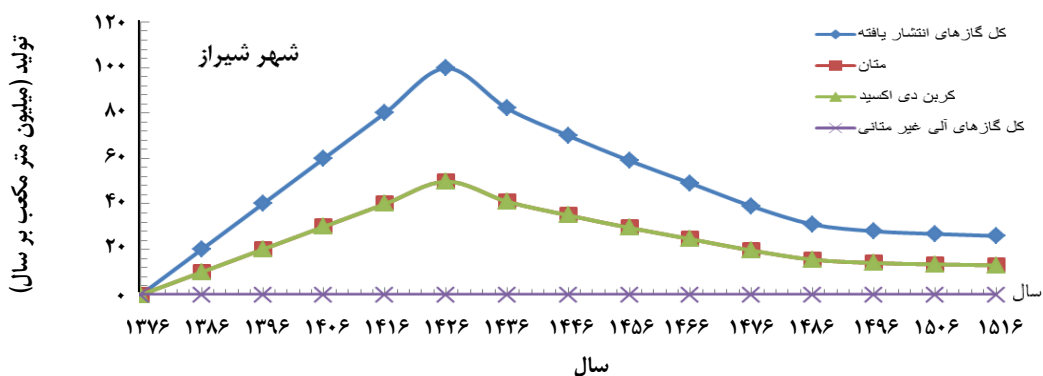
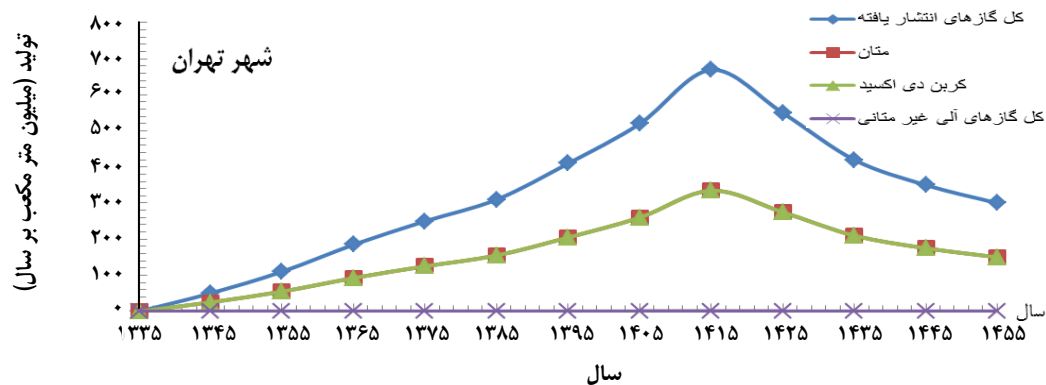
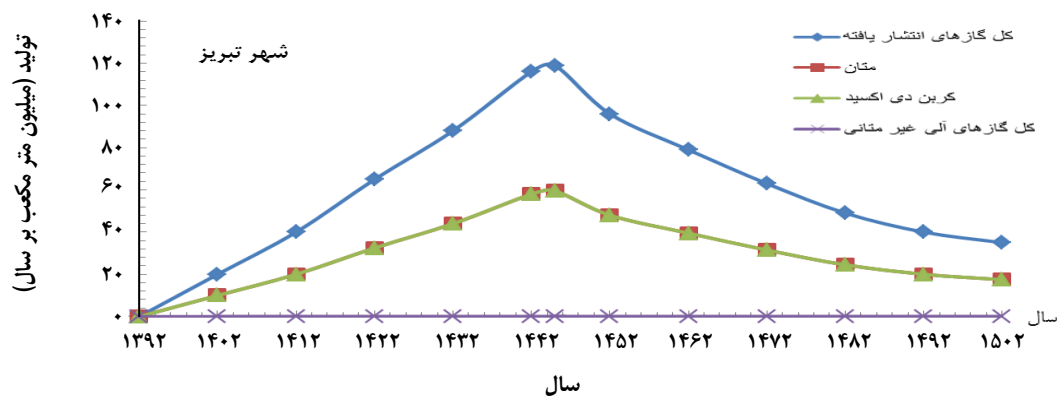
بندر عباس	مشهد	خوی	آستارا	شیراز	تهران	تبریز	گاز/آلاینده
۸۰۴/۰۰۲	۵۶۷۲/۸۴۷۸	۶۷/۱۰۰۹	۱۰۱/۱۵۳	۳۷۶۲/۵۴۵	۲۷۸۱۸/۷	۲۰۷۰/۹۱۸	Hydrogen sulfide
۰/۰۰۶۴	۰/۰۴۵۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۸	۰/۰۳۰۳	۰/۲۲۴۰	۰/۰۱۶۶	Mercury (total) - HAP
۱۵۸/۶۱۲۳	۱۱۱۹/۲۳۶۵	۱۰/۵۱۷۹	۱۹/۶۴۹۶	۷۴۲/۰۵۷۵	۵۴۸۶/۴۶۶	۴۰۸/۴۳۱۱	Methyl ethyl ketone - HAP/VOC
۴۱/۴۳۲۱	۲۹۹/۳۲۱۴	۳/۳۷۸۴	۵/۳۳۸۶	۱۹۸/۵۷۸۸	۱۴۶۸/۲۰۶	۱۰۹/۲۹۸۵	Methyl isobutyl ketone - HAP/VOC
۵۵/۸۳۰۱	۳۹۳/۹۵۴۷	۴/۰۰۱۵	۷/۰۲۴۵	۲۶۱/۲۸۷۹	۱۹۳۱/۸۵۴	۱۴۳/۸۱۳۸	Methyl mercaptan - VOC
۷۳/۷۰۴۰	۵۹۹/۹۵۱۰	۵/۱۴۷۹	۹/۲۷۲۳	۳۴۴/۹	۲۵۵۰/۰۴۷	۱۸۹/۸۳۴۲	Pentane - VOC
۸۲/۶۳۲۱	۵۸۲/۱۰۰۷	۶/۱۳۸۶	۱۰/۳۹۶۲	۳۸۶/۷۰۶	۲۸۵۹/۱۴۴	۲۱۲/۸۴۴۴	Perchloroethylene - HAP
۲۵۴/۷۰۲۳	۱۷۳۳/۰۰۰۲	۱۷/۹۹۷۴	۳۰/۹۰۷۸	۱۱۴۹/۶۶۷	۸۵۰۰/۱۵۸	۶۳۲/۷۸۰۶	Propane - VOC
۶۲/۵۳۲۱	۴۱۱/۱۲۳۴	۴/۸۸۴۱	۷/۸۶۷۴	۱۹۲/۶۴۲۴	۲۱۶۳/۶۷۷	۱۶۱/۰۷۱۴	t-1,2-Dichloroethene - VOC
۱۶۳/۰۰۲۱	۱۱۵۰/۵۷۸۹	۱۳/۵۶۶۴	۲۰/۵۱۱۵	۷۶۲/۹۶۰۵	۵۶۴۱/۰۱۴	۴۱۹/۹۳۶۲	Vinyl chloride - HAP/VOC
۲۶۸/۰۲۱۴	۲۶۷۸/۰۱۲۸	۲۱/۶۳۰۵	۳۳/۷۱۷۶	۱۲۵۴/۱۸۲	۹۲۷۲/۹	۶۹۰/۳۶۶۱	Xylenes - HAP/VOC

میزان آلاینده‌های غیر متانی تولید شده در محل دفن پسماند

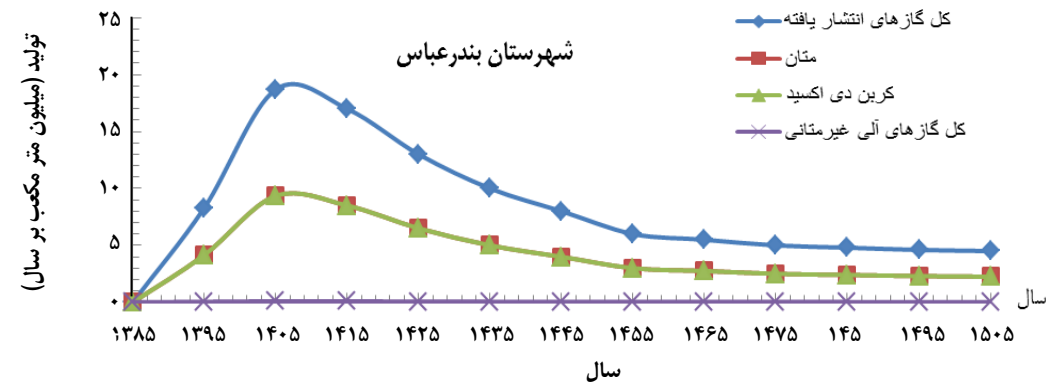
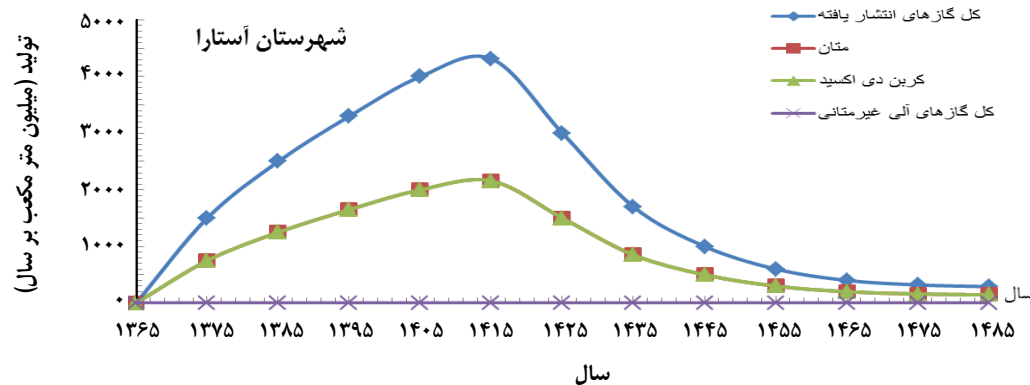
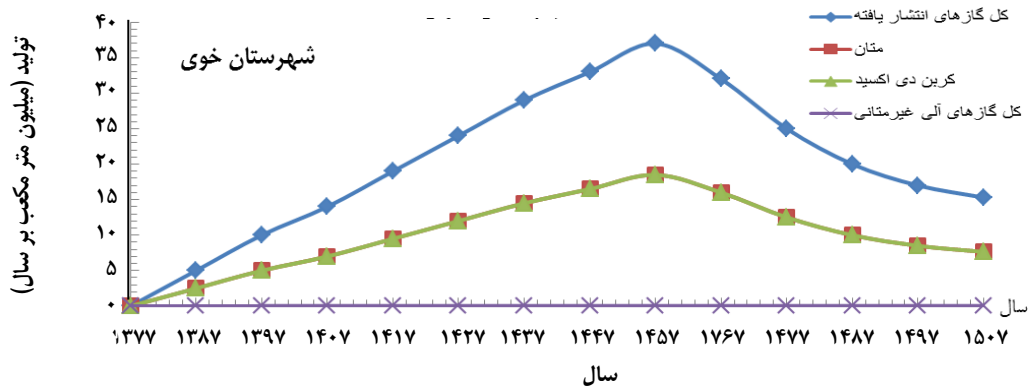
با استفاده از اطلاعات به دست از جمعیت و ظرفیت محل دفن پسماند در طی دوره طرح، میزان آلاینده‌های غیر متانی و بیوگاز تولید شده از محل دفن پسماندها با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲) که به صورت پیش فرض در نرم افزار تعریف شده است، در سال ۱۴۱۰ محاسبه شد. شایان ذکر است که سال ۱۴۱۰ به صورت انتخابی، به دلیل نزدیک بودن به بسته شدن لندفیل برخی از شهرهای مورد مطالعه، چندین سال پس از بسته شدن لندفیل سایر شهرها و نیز با در نظر گرفتن عمر متوسط لندفیل بعضی از شهرهای مورد مطالعه، انتخاب شده است.

از محل‌های دفن پسماند گازهای آلاینده بسیار زیادی انتشار می‌یابند که میزان انتشار این گازها بسته به نوع پسماند و مقدار مواد دفن شده می‌تواند متغیر باشد. انتشار گاز از محل‌های دفن پسماند از همان ماه‌های اولیه که دفن در آن صورت می‌گیرد، شروع به انتشار کرده و طبق گزارش‌های گلاپلی و همکاران [۱۵] و غش و همکاران [۱۶] حتی چندین سال پس از بسته شدن مرکز دفن نیز انتشار این گازها تداوم پیدا می‌کند [۲۷]. بسیاری از گازهای آلی غیرمتانی ترکیب‌های سرطان‌زا، جهش‌زا و سمی بوده که اهمیت بسیار بالایی در آلودگی هوا دارند [۲۸]. عامل‌های گوناگونی در تولید گازهای محل‌های دفن پسماند تاثیر گذارند که با در نظر گرفتن این عامل‌ها و اطلاعات کافی از آن‌ها می‌توان تا حدودی از انتشار

گازهای آلاینده جلوگیری کرد. اولین نکته در مورد پسماندهای محل دفن غیر یکنواخت بودن آن‌هاست که باعث می‌شود هر یک در مدت زمان‌های متفاوت تجزیه شوند در نتیجه عمل تفکیک از مبدا کمک بسیار زیادی در انتخاب محل دفن خواهد کرد. سایر عامل‌های مؤثر بر انتشار گاز آلاینده از محل دفن عبارتند از: اکسیژن، هیدروژن، pH، قلیائیت، مواد مغذی، دما و رطوبت که همه این عامل‌ها بر میزان فعالیت میکروارگانیسم‌ها و چگونگی متابولیسم آن‌ها برای تولید انواع گاز اهمیت به‌سزایی دارد [۲۹]. همان‌گونه که از نتیجه‌های جدول ۴ هم استنتاج می‌شود در سال ۱۴۱۰ حدود ۵ سال است که لندفیل شهر بندرعباس بسته شده است ولی تولید گازهای آلاینده غیر متانی همچنان ادامه دارد و میزان آن چشمگیر است. چون لندفیل تبریز در سال ۱۳۹۲ به بهره‌برداری رسیده و به نسبت جدید است در نتیجه مقدار تولید گازهای آلاینده در سال ۱۴۱۰ در مقایسه با شهرهای تهران و شیراز و مشهد کم‌تر است. در بین شهرستان‌ها نیز شهر آستارا با توجه به رطوبت هوا در سال ۱۴۱۰ میزان تولید آلاینده بیش‌تری نسبت به شهر خوی خواهد داشت. با توجه به پیش‌بینی‌های انجام گرفته لندفیل تهران تا سال ۱۴۱۴ بسته خواهد شد که باعث شده است در سال ۱۴۱۰ میزان تولید گازهای آلاینده به بیش‌ترین مقدار در بین شهرهای مورد مقایسه برسد. چون پیش‌بینی‌های انجام شده نشانگر آن است که لندفیل مشهد در سال ۱۴۰۸ بسته خواهد شد در نتیجه در سال ۱۴۱۰



شکل ۱- روند تولید سالیانه کل بیوگاز، متان، دی اکسید کربن و کل ترکیبات آلی غیر متانی در محل دفن پسماندها (آ) تبریز، (ب) تهران، (پ) شیراز، (ت) مشهد و (ث) خوی (ج) آستارا (چ) بندر عباس.



شکل ۱- روند تولید سالیانه کل بیوگاز، متان، دی اکسید کربن و کل ترکیبات آلی غیر متانی در محل دفن پسماندها (ا) تبریز، (ب) تهران، (پ) شیراز، (ت) مشهد و (ث) خوی (ج) آستارا (چ) بندر عباس. (ادامه)

شهرهای آستارا و خوی نسبت به سایر شهرهای مورد مطالعه و نیز عمر به نسبت کم لندفیل را می‌توان دلیل پایین بودن تولید گازهای آلاینده در شهرهای خوی و آستارا دانست. مهم‌ترین نکته در مورد شهر آستارا میزان بالا بودن رطوبت در این منطقه نسبت به سایر شهرها می‌باشد که عامل تأثیرگذاری در تولید گازهای آلاینده از محل دفن پسماند به‌شمار می‌آید.

مقدار چشم‌گیری از گازهای آلاینده از محل دفن پسماند تولید خواهد شد که سلامت شهروندان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با در نظر گرفتن عمر پنجاه ساله برای لندفیل شیراز که از سال ۱۳۷۶ مورد استفاده قرار می‌گیرد، در سال ۱۴۱۰ میزان تولید گازهای آلاینده به مقدار چشمگیر و تهدیدآمیزی برای آلودگی هوا خواهد رسید. جمعیت پایین و در نتیجه تولید پسماند کم‌تر در

مقدارهای تولید سالیانه کل بیوگاز، متان، دی اکسید کربن و کل ترکیب‌های آلی غیر متانی در محل دفن پسماندها

میزان کل آلاینده‌های تولیدی در طی سال‌های دوره طرح، با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از جمعیت و وزن پسماند، به صورت زیر به دست آمده است.

در طی سال‌های استفاده از لندفیل براساس تجزیه‌ی فاز حاکم یا به عبارت دیگر براساس این که کدام‌یک از مواد دفن شده سریع‌تر تجزیه شود، ترکیب گاز انتشار یافته از محل دفن متفاوت بوده و شامل گازهای آمونیاک، کربن مونواکسید، کربن دی‌اکسید، متان، هیدروژن، سولفید هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن می‌باشد [۲۵]. از نتیجه‌های به‌دست آمده از شکل ۱. می‌توان دید که در همه محل‌های دفن، حدود ۳-۱ سال پس از بسته شدن، میزان انتشار گازهای آلاینده به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد که نتیجه‌های به دست آمده با گزارش‌های میزان انتشار گاز متان از لندفیل شهر مونترال واقع در کشور کانادا، توسط لاقوس و همکاران [۱۲] و پیلا و همکاران [۱۴] در مورد لندفیل کشور ترینداد و توباگو نیز مطابقت دارد. طبق پیش‌بینی‌های انجام گرفته لندفیل شهر تهران در سال ۱۴۱۴، تبریز ۱۴۴۲، شیراز ۱۴۲۶، شهر آستارا در سال ۱۴۳۵، شهر خوی در سال ۱۴۵۷، شهر مشهد در سال ۱۴۰۸ و شهر بندر عباس در سال ۱۴۰۵ به بیش‌ترین ظرفیت انتهایی خود رسیده و در این سال‌ها بسته خواهند شد. بنابراین، در سال ۱۴۱۵ در شهر تهران، ۱۴۴۵ در تبریز، ۱۴۲۵ در شیراز، سال ۱۴۱۰ در مشهد، سال ۱۴۱۵ در آستارا، سال ۱۴۶۰ در خوی و سال ۱۴۰۵ در بندر عباس میزان تولید کل گازهای آلاینده غیر متانی از لندفیل به ترتیب به مقدار $۶/۶۹۳ \times ۱۰^۸$ ، $۱/۱۸۹ \times ۱۰^۸$ ، $۹/۹۸۱ \times ۱۰^۷$ ، $۷/۹۱۸ \times ۱۰^۷$ ، $۴/۳۱۵ \times ۱۰^۶$ و $۱/۸۷۱ \times ۱۰^۷$ مترمکعب خواهد رسید.

نتیجه گیری

هدف این مطالعه برآورد مقدار تولید بیوگاز، متان، کربن دی‌اکسید و کل ترکیب‌های آلی غیر متانی در اماکن دفن پسماند در شهرهای تهران، تبریز، شیراز، مشهد، بندرعباس، شهرستان‌های خوی و آستارا بود که نشان داد بیش‌ترین مقدار گاز آلاینده تولیدی در بین شهرهای مورد مطالعه، در سال ۱۴۱۵ در شهر تهران با حجمی برابر $۶/۶۹۳ \times ۱۰^۸$ مترمکعب اتفاق خواهد افتاد. نتیجه‌های به‌دست آمده از این مطالعه بیانگر تداوم تولید گازهای آلاینده حتی چندین سال پس از بسته شدن لندفیل می‌باشد که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های تولید انرژی و سایر کاربردها از گازهای محل دفن و نیز تعیین سهم ایران در انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای مرتبط با پسماند مورد توجه قرار گیرد. اصلی‌ترین راه کاهش انتشار گازهای آلاینده از محل دفن پسماندها، کاهش دفن مواد زاید با بازیافت کردن پسماندها می‌باشد. بخشی از ضایعات باقی‌مانده هم برای کوره‌های پسماند سوز استفاده شده که به ما اجازه بازیابی انرژی را می‌دهد. مواد زاید دارای مقدارهای بالایی از انرژی هستند که می‌توان با استفاده از فناوری‌های مناسب از آن‌ها استفاده نمود که اکنون نیز از دستگاه‌های پسماند سوز در برخی از شهرها به صورت محدود استفاده می‌شود. در اقدام‌های بعدی نیز می‌توان سطح نهایی محل دفن پسماند را توسط یک لایه‌ی ضخیم خاک پوششی پوشاند، می‌توان از پوشش‌های زیستی برای کاهش متان تولیدی در لندفیل‌ها استفاده کرد. در نتیجه این اقدام‌ها می‌توان کیفیت زندگی شهروندان، به ویژه در مناطق نزدیک محل دفن را بهبود بخشید.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۳

مراجع

- [1] Herbert F., Lund P.E., The McGraw-Hill Recycling Handbook, Environmental Protection Agency Washington DC. (1993).
- [2] Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S.A., "Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues", 1st ed., McGraw-Hill., New York, 381-417, (1993).
- [۳] سالار، یاسر؛ معطر، فرامرز؛ خضری، مصطفی؛ عوامل مؤثر بر تولید گازها از محل دفن زباله، فصلنامه انسان و محیط زیست، (۱) ۲۸: ۳۱ تا ۳۹، (۱۳۹۳).

- [4] Barlaz M, Chanton J., Green R., Controls on Landfill Gas Collection Efficiency: Instantaneous and Lifetime Performance, *Journal of the Air & Waste Management Association*; **59(12)**: 373–80, (2009).
- [۵] شکرکار، هانیه؛ ابراهیمی، سیروس؛ زمانی، مهدی؛ بررسی تجربی و مدل‌سازی هیدرولیز آنزیمی ریز جلبک به منظور تولید اتانول با استفاده از شبکه عصبی، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، **۳۶(۲)**: ۱۸۱ تا ۱۹۱، (۱۳۹۶).
- [۶] بیگم مختاری حسینی، زهرا؛ شنوائی زارع، تکتم؛ حذف کربن دی‌اکسید از گاز دودکش کارخانه سیمان توسط کلینوپتیلولیت طبیعی منطقه سبزوار، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، **۳۴(۲)**: ۶۳ تا ۷۲، (۱۳۹۴).
- [۷] رضایی، فاطمه؛ صدرعاملی، سید مجتبی؛ توفیقی داریان، جعفر؛ مفرحی، مسعود؛ جداسازی مخلوط گازی کربن‌دی‌اکسید و نیتروژن با روش جذب سطحی با تناوب فشار - خلا، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، **۳۲(۳)**: ۳۹ تا ۴۵، (۱۳۹۲).
- [8] US Environmental Protection Agency (EPA). "Biosolids Technology Fact Sheet: Multi-Stage Anaerobic Digestion. Report", Washington, DC: Office of Water, EPA; (2006).
- [9] Zhang S., Forssberg E., Mechanical Recycling of Electronics Scrap - the Current Status and Prospects, *Waste Management Research*; **16(2)**: 119-128 (1998).
- [10] Das A., Vidyadhar A., Mehrotra S.P., A Novel Flowsheet for The Recovery of Metal Values from Waste Printed Circuit Boards, *Resources, Conservation and Recycling* **53(8)**: 464–469 (2009).
- [11] Kamalan H., Sabour M., Shariatmadari N., A Review on Available Landfill Gas Models, *Journal of Environmental Science and Technology*, **4(2)**: 79-92, (2011).
- [12] Lagos D.A., Héroux M., Gosselin R., Cabral A.R., Optimization of a Landfill Gas Collection Shutdown Based on an Adapted First-Order Decay Model, *Waste Management*, **63**: 238–245 (2017).
- [13] Lan Vu H., Wai Ng K.T., Richter A., Optimization of First Order Decay Gas Generation Model Parameters for Landfills Located in Cold Semi-Arid Climates, *Waste Management*, **69**: 315-324 (2017).
- [14] Pillai P., Riverol C., Estimation of Gas Emission and Derived Electrical Power Generation from Landfills. Trinidad and Tobago as Study Case, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, **29**: 139–146 (2018).
- [15] Gollapalli M., Kota H.S., Methane Emissions from a Landfill in North-East India: Performance of Various Landfill Gas Emission Models, *Environmental Pollution* **234**: 174-180 (2018).
- [16] Ghosha P., Shah G., Chandra R., Sahota S., Kumar H., Vijay K.V., Thakur S.I., Assessment of Methane Emissions and Energy Recovery Potential from the Municipal Solid Waste Landfills of Delhi, India, *Bioresource Technology*, **272**: 611–615 (2019).

- [17] Barros R.M., Filho T., Moura J.S., Pieronib M.F., Vieirab C.F., Lage R.L., Mohr G.S., Bastos A.S., Design and Implementation Study of a Permanent Selective Collection Program (PSCP) on a University Campus in Brazil, *Resources, Conservation and Recycling*, **80**: 97–106 (2013).
- [18] Cho H.S., Moon H.S., Kim J.Y., Effect of Quantity and Composition of Waste on the Prediction of Annual Methane Potential from Landfills, *Bioresource Technology*, **109**: 86–92 (2012).
- [19] EPA: United States Environmental Protection Agency, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, *Volume 1: Stationary Point And Area Sources*, 5th ed., (1995).
- [20] Thompson, S., Sawyer, L., Bonam, R., Valdivia, J., Building a Better Methane Generation Model: Validating Models with Methane Recovery Rates from 35 Canadian Landfills, *Waste Management*, **29**: 2085–2091 (2009).
- [21] Ishii, K., Furuichi, T., Estimation of Methane Emission Rate Changes Using Age-Defined Waste in a Landfill Site, *Waste Management*, **33**: 1861–1869 (2013).
- [22] Alexander A., Burklin C., Singleton A., “Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) version 3/02 User's Guide, US Environmental Protection Agency”, Office of Research and Development, (2005).
- [۲۳] کاظمی‌پور، شهلا؛ “مبانی جمعیت‌شناسی”، تهران، مرکز مطالعات و پژوهش‌های جمعیتی آسیا و اقیانوسیه، چاپ دوم، ص ۱۰۹، (۱۳۸۳).
- [24] Karak T., Bhagat R.M., Bhattacharyya P., Municipal Solid Waste Generation, Composition, and Management: The World Scenario, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **42(15)**: 215- (2012)
- [25] Künzli N., Kaiser R., Medina S., Studnicka M., Chanel O., Filliger P., Herry M., Horak F., Texier P.V., Quénel P., Schneider J., Seethaler R., Vergnaud J.-C., Sommer H., Public-Health Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution: A European Assessment, *THE LANCET*, **356(9232)**: 795-801, (2000).
- [26] Tchobanoglous G., Kreith F., Handbook of Solid Waste Management, 2nd ed., *McGraw-Hill New York*, (2002).
- [27] Kousky C., Schneider S.H., Global Climate Policy: will Cities Lead the Way?, *Climate Policy*, **3(4)**:359-372 (2003).
- [28] Talaiekhosani A., Nasiri A., The Modeling of Carbon Dioxide, Methane and Non-Methane Organic Gases Emission Rates in Solid Waste Landfill in City of Jahrom, Iran, *Journal of Air Pollution and Health*, **1(3)**: 191-204 (2016).
- [29] Spokas K., Bogner J., Chanton J.P., Morcet M., Aran C., Graff C., Methane Mass Balance at Three Landfill Sites: What is the Efficiency of Capture by Gas Collection Systems?, *Waste Management*, **26(5)**: 516-525 (2006).