



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

برآورد نرخ انتشار گاز متان از لندفیل با استفاده از مدل‌سازی پراکندگی معکوس (مطالعه موردی لندفیل استان البرز)

احسان محمدحسینی، رضا رفیعی، مظاهر معین‌الدینی*، نیکی آقاپور

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: لندفیل‌ها یکی از بزرگ‌ترین منابع انتشار متان هستند و مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی تولید و انتشار متان لندفیل، توسعه داده شده است. هدف اصلی این تحقیق توسعه مدل معکوس گوس برای برآورد نرخ انتشار گاز متان و مدل‌سازی با استفاده از داده‌های میدانی است. نویسندگان در این مطالعه روش ساده‌ای را برای برآورد میزان انتشار متان پیشنهاد می‌دهند. **روش بررسی:** در این مطالعه، انتشار متان با استفاده از معادلات پراکندگی استاندارد معکوس گوس و با روش مونت‌کارلو در ۲۷ نقطه اندازه‌گیری شده در پایین دست جهت باد، در دو فصل سرد (بهمن ماه) و گرم (تیر ماه) برآورد شده است تا نرخ انتشار متان در سراسر لندفیل تعیین شود. در این مدل یک روش مبتنی بر بهینه‌سازی همراه با مدل‌سازی پراکندگی معکوس برای پردازش پایش داده‌های انتشار سطحی استفاده می‌شود. **یافته‌ها:** نتایج مدل در دو فصل سرد (بهمن ماه) و گرم (تیر ماه) سال نشان داد، میزان انتشار متان در فصل گرم و سرد به ترتیب برابر ۱۶۹۶/۹۹ و ۱۶/۵۳ g/s بوده است. نتایج مدل تأیید می‌کند در فصل سرد به دلیل پایین بودن دما و فعالیت باکتریایی، میزان تولید و انتشار متان به مراتب کمتر است. **نتیجه‌گیری:** روش این مطالعه که مدل پراکندگی گوسی معکوس را ارائه می‌کند، می‌تواند برای تخمین نرخ انتشار گاز متان از سایر لندفیل‌ها استفاده شود، اما مستلزم این است که داده‌ها به طور دائم ثبت شوند و از میانگین روزانه یا هفتگی در محاسبات استفاده شود تا از خطاهای احتمالی جلوگیری و دقت مدل‌سازی افزایش یابد.

۱۴۰۲/۰۸/۲۴

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۱/۱۰

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۳/۲۱

تاریخ انتشار:

واژگان کلیدی: البرز، لندفیل، نرخ انتشار متان، مدل‌سازی پراکندگی گوسی معکوس

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

moeinaddini@ut.ac.ir

Please cite this article as: Mohammad Hassani E, Rafei R, Moeinaddini M, Aghapour N. Estimation of Methane gas emission rate from landfill using inverse dispersion modeling (case study of landfill in Alborz province). Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(1):181-92.



مقدمه

افزایش تولید پسماند و دفن در لندفیل باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر می‌شود (۱). پسماندهای شهری (Municipal solid waste) چهارمین تولیدکننده بزرگ انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای هستند و سالانه تقریباً ۵/۵ تا ۶/۴ درصد در انتشار گاز گلخانه‌ای متان مشارکت دارند (۲) و حدود ۳۰ درصد از انتشار متان، حاصل فعالیت‌های انسانی ناشی از محل‌های دفن پسماند است (۳). این درحالی است که به دلیل نقطه‌ای بودن منبع، کاهش انتشار از لندفیل‌ها یکی از عملی‌ترین و مقرون‌به‌صرفه‌ترین اقدامات برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای انسانی است (۴). برای کاهش متان مهم‌ترین روش، بازیافت آن و استفاده به‌عنوان سوخت است. به‌منظور برنامه‌ریزی برای بازیافت متان از لندفیل نیاز است تا برآورد دقیقی از میزان تولید متان در لندفیل در دسترس باشد. از طرف دیگر در بسیاری از مناطق دنیا، بهره‌برداران لندفیل‌ها باید میزان انتشار متان را گزارش نمایند، به این منظور روش‌های اندازه‌گیری کیفی و کمی مختلفی برای برآورد انتشار متان لندفیل در مقیاس‌های مختلف توسعه داده شده است (۵).

این روش‌های کمی و کیفی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: (۱) روش‌های مبتنی بر مدلسازی و (۲) روش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری انتشار متان لندفیل که در آن میزان متان به‌صورت مستقیم از لندفیل اندازه‌گیری می‌شود (۶). در روش‌های مدلسازی با لحاظ کردن شرایط استاندارد برای تجزیه پسماندها در لندفیل، میزان تولید متان بر پایه مدل‌های ریاضی برآورد می‌شود. بعد از برآورد تولید متان، میزان اکسیداسیون متان در سطح خاک برآورد می‌شود. با کم کردن میزان اکسیداسیون متان از تولید متان، میزان انتشار متان از لندفیل برآورد می‌شود. رایج‌ترین مدل‌های برآورد میزان متان، مانند LandGEM و IPCC بر پایه مدل‌های درجه یک استوار هستند (۷).

از روش‌های اندازه‌گیری متان در لندفیل می‌توان به دو دسته روش‌های اندازه‌گیری در سطح لندفیل و روش‌های غیرمستقیم اشاره کرد. روش محفظه (Static chamber)

رایج‌ترین روش اندازه‌گیری مستقیم متان از لندفیل است. در این روش میزان تجمع متان از لندفیل در محفظه‌ای با حجم و بازه زمانی مشخص اندازه‌گیری و بر این اساس انتشار متان برآورد می‌شود. برای این منظور نیاز است که میزان انتشار متان در نقاط مختلف اندازه‌گیری شود و در نهایت میزان انتشار متان با درون‌یابی کل نقاط برای همه سطح لندفیل به‌دست می‌آید (۸). در روش‌های سنجش غیر مستقیم مبتنی بر مدل‌سازی، میزان متان در پایین دست اندازه‌گیری می‌شود. روش‌های مختلفی در این دسته قرار دارند و به‌طور کلی به دو رویکرد ثابت و متحرک تقسیم می‌شود (۹). در مدل‌سازی معکوس ثابت اندازه‌گیری‌های مداوم غلظت با نمونه‌برداری در یک یا چند نقطه در پایین دست جهت باد، همراه با اطلاعات سرعت و جهت باد اندازه‌گیری می‌شود. در مدل‌سازی معکوس پویا با اندازه‌گیری جبهه باد و همراه با اندازه‌گیری‌های دقیق شرایط جوی، می‌توان میزان انتشار متان از لندفیل را برآورد کرد (۱۰).

به‌علت دسترسی آسان به داده‌ها برای برآورد میزان انتشار متان از لندفیل روش مدل‌سازی معکوس ثابت مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های موردنیاز در این روش شامل اندازه‌گیری غلظت متان در پایین دست جهت باد و نیز برداشت و اخذ همزمان داده‌های هواشناسی است. این روش می‌تواند برآورد کلی متان از تمام سطح لندفیل و مهم‌ترین نقاط انتشار را مشخص کند. به این ترتیب، ترکیب این روش با داده‌های برداشت شده غلظت متان اطراف لندفیل، یک روش سریع برای پایش انتشار متان از لندفیل است. هدف از این مطالعه برآورد نرخ انتشار متان لندفیل استان البرز در منطقه خشک و نیز بررسی کارایی این مدل به‌عنوان یک روش اندازه‌گیری مقرون‌به‌صرفه برای برآورد انتشار گاز متان از لندفیل است.

مواد و روش‌ها

الف) لندفیل مورد مطالعه

لندفیل مورد بررسی، یک لندفیل نیمه بهداشتی و مرکز دفن پسماندهای استان البرز با جمعیتی بالغ بر ۲۷۱۲۴۰۰

$$C = \left\{ \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right\} C = \left\{ \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right\} \quad (2)$$

پارامترهای این معادله در بالا تعریف شده‌اند. با معکوس کردن معادله ۲ می‌توان میزان انتشار آلاینده در مبداء را با استفاده از داده‌های برداشت شده در پایین دست جهت باد، محاسبه کرد. معادله ۳ معکوس معادله گوس در زمانی که منبع انتشار روی سطح زمین است را نشان می‌دهد (۱۵).

$$Q = \frac{C}{\exp\left(-\frac{1y^2}{2\sigma_y^2}\right)} \quad Q = \frac{C}{\exp\left(-\frac{1y^2}{2\sigma_y^2}\right)} \quad (3)$$

پارامترهای معادله در بالا معرفی شده‌اند. دو پارامتر σ_y و σ_z را می‌توان با استفاده از معادله ۴ و ۵ به دست آورد.

$$\sigma_y = xa^b \sigma_y = xa^b \quad (4)$$

در این معادله X نشان‌دهنده فاصله عمودی پذیرنده از منبع انتشار به کیلومتر و a, b, c, d, f ضرایبی هستند که تابعی از طبقه پایداری جو و فاصله عمودی پذیرنده و منبع انتشار است. جدول ۱ این ضرایب را نشان می‌دهد (۱۶).

$$\sigma_z = cx^d + f \quad \sigma_z = cx^d + f \quad (5)$$

در این معادله X نشان‌دهنده فاصله عمودی پذیرنده از منبع انتشار به کیلومتر و a, b, c, d, f ضرایبی هستند که تابعی از طبقه پایداری جو و فاصله عمودی پذیرنده و منبع انتشار است. جدول ۱ این ضرایب را نشان می‌دهد (۱۶).

نفر است. روزانه ۱۲۰۰-۱۵۰۰ ton پسماند در این مکان دفن می‌شود که ۷۰ درصد این میزان پسماند را مواد آلی تشکیل می‌دهند. از نظر توپوگرافی این لندفیل در ارتفاع ۱۳۱۷ m از سطح دریا و با شیب حدود ۵ الی ۲۰ درصد قرار گرفته است. مجموع بارندگی سالیانه ۲۵۱ mm، میانگین گرم‌ترین و سردترین ماه سال، به ترتیب ۲۶ و ۲/۱ و رطوبت نسبی سالیانه ۵۲ درصد است. لندفیل مورد بررسی، مرکز دفن پسماندهای استان البرز است. روزانه ۱۲۰۰-۱۵۰۰ ton پسماند در این مکان دفن می‌شود (۱۱).

ب) معادله معکوس گوس

مدل معکوس گوس برخلاف معادله اصلی که از منبع انتشار با مقدار معلوم، میزان انتشار را در پایین دست برآورد می‌کند (۱۲)، به اندازه‌گیری غلظت گاز در پایین دست جهت باد تکیه دارد تا بر این اساس میزان انتشار را در منبع برآورد کند. معادله ۱ معادله انتشار گوس را نشان می‌دهد (۱۳).

$$C = \left\{ \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{1(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{1(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\} \left\{ \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{1(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{1(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\} \quad (1)$$

در این معادله C غلظت حالت پایدار ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) در نقطه y و x، Z در پایین دست منبع انتشار، Q نرخ انتشار ($\mu\text{g}/\text{s}$)، σ_y و σ_z پارامترهای گسترش افقی و عمودی (m) است که تابعی از فاصله از نقطه انتشار تا نقطه پذیرنده X و پایداری اتمسفر، u میانگین سرعت باد، y فاصله عمودی نقطه اندازه‌گیری از نقطه انتشار (m)، z فاصله عمودی نقطه اندازه‌گیری از سطح زمین (m) و H ارتفاع موثر دودکش (m) است (۱۴).

زمانی که نقطه انتشار روی سطح زمین است، مانند انتشار متان از سطح لندفیل، معادله ۱ را می‌توان به صورت معادله ۲ بازنویسی کرد.

جدول ۱- مقادیر ثابت معادله برای هر یک از طبقات پایداری جو

| X > 1 km | | | X < 1 km | | | B | A | Stability |
|----------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|------|-----------|
| c | D | f | c | D | f | | | |
| ۴۵۹/۷ | ۲/۰۹۴ | -۹/۶ | ۴۴۰/۸ | ۱/۹۴۱ | ۹/۲۷ | ۰/۸۹۴ | ۲۱۳ | A |
| ۱۰۸/۲ | ۱/۰۹۸ | ۲/۰ | ۱۰۶/۶ | ۱/۱۴۹ | ۳/۳ | ۰/۸۹۴ | ۱۵۶ | B |
| ۶۱/۰ | ۰/۹۱۱ | ۰ | ۶۱/۰ | ۰/۹۱۱ | ۰ | ۰/۸۹۴ | ۱۰۴ | C |
| ۴۴/۵ | ۰/۵۱۶ | -۱۳/۰ | ۳۲/۲ | ۰/۷۲۵ | -۱/۷ | ۰/۸۹۴ | ۶۸ | D |
| ۵۵/۴ | ۰/۳۰۵ | -۳۴/۰ | ۲۲/۸ | ۰/۶۷۸ | -۱/۳ | ۰/۸۹۴ | ۵۰/۵ | E |
| ۶۲/۶ | ۰/۱۸۰ | -۴۸/۶ | ۱۴/۳۵ | ۰/۷۴۰ | -۰/۳۵ | ۰/۸۹۴ | ۳۴ | F |

و غلظت متان در نقاط پذیرنده محاسبه شد. در مرحله بعد، میزان خطای مقادیر محاسبه شده برای نقاط پذیرنده در مقایسه با مقادیر واقعی به دست آمد. حل معادله با مقادیر تصادفی ۱۰۰ هزار بار تکرار شد و آن دسته از مقادیر انتشار با کمترین میزان خطا به عنوان مقادیر جواب انتخاب شد، ضمن این نکته که در تولید داده‌های تصادفی اعداد منفی انتخاب نشد. غلظت متان توسط دستگاه سنسور فیگارو TGS2611 ساخت شرکت فیگارو از کشور ژاپن اندازه‌گیری شد. داده‌های سنسور توسط میکروکنترلر AVR مدل Atmega32 ساخت شرکت Atmel از کشور آمریکا خوانده و روی نمایشگر نشان داده شد. برای اطمینان از دقت داده‌ها، مدل واسنجی سنسور با استفاده از چهار نقطه کنترل با غلظت متان بین ۳۰۰ ppm تا ۳۰۰۰۰ ppm به دست آمد. جهت کالیبراسیون نمونه برداری در سه نقطه شامل سطح لندفیل، عمق ۵۰ cm که بخش نیمه هوازی لندفیل است و نقطه سوم در عمق ۱۵۰ cm لندفیل که بخش بی هوازی لندفیل است، صورت گرفت. نمونه برداری در سطح لندفیل از داخل محفظه بسته روی سطح لندفیل و در عمق با کارگذاری لوله، صورت گرفت. بعد از جمع‌آوری نمونه‌ها از نقاط مختلف، در سرنگ‌های ۱۰ mL گاوآژ که دارای درب قفل‌دار (locker) بودند، بلافاصله به آزمایشگاه معتمد جهت آنالیز انتقال داده شدند و

(ج) حل معادله معکوس گوس

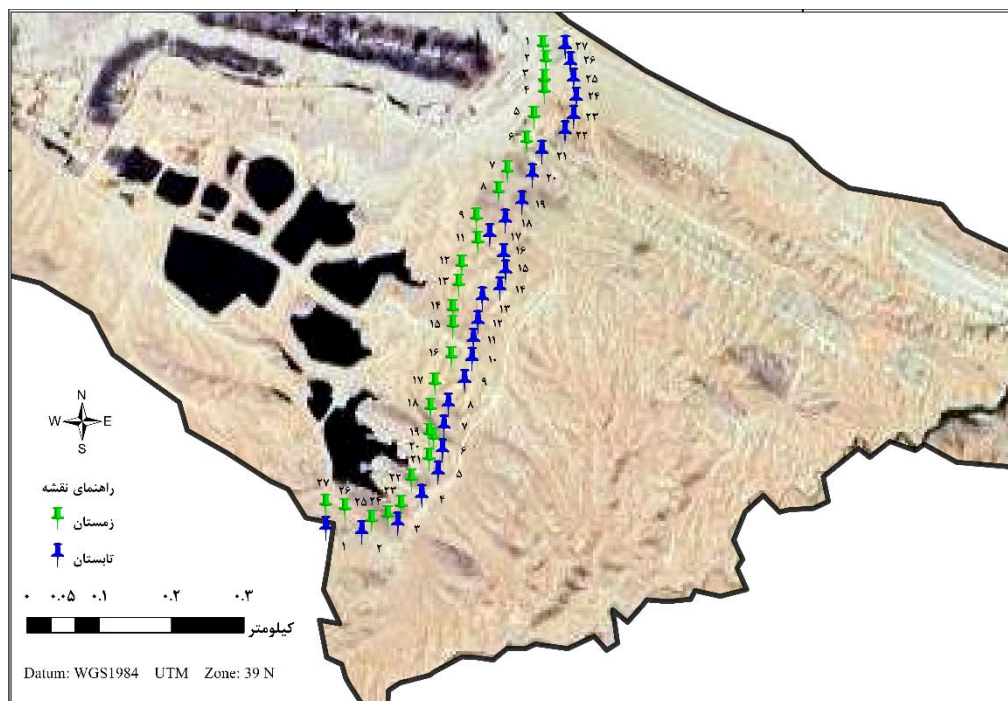
روی سطح لندفیل یک شبکه منظم با مساحت هر سلول از شبکه $24432/9 \text{ m}^2$ قرار داده شد. مختصات مرکز هر سلول به دست آمد و در مجموع ۲۷ نقطه به عنوان منبع انتشار در نظر گرفته شد. میزان غلظت متان در ۲۷ نقطه در پایین دست جهت باد و در هر نقطه یک بار غلظت متان در ساعت معین ۱۰:۰۰ تا ۱۲:۰۰ اندازه‌گیری شد و به عنوان نقاط پذیرنده به همراه مختصات (x, y) در سامانه UTM ثبت شد. سپس ماتریس مدل انتشار توسعه داده شد. در توسعه مدل انتشار فرض بر این بود که غلظت متان در نقاط پذیرنده ناشی از برآیند انتشار متان از ۲۷ نقطه منبع در نظر گرفته شده است. در هر روز اندازه‌گیری، سایر پارامترهای محیطی مانند سرعت باد (wind speed)، جهت باد (wind direction)، تابش خورشید (Sun radiation) و شدت ابرناکی (Cloud intensity) نیز از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (فرودگاه پیام کرج) به دست آمد و پایداری جو در روز اندازه‌گیری تعیین شد و در نهایت پارامترهای معادله از جدول ۱ استخراج شد.

ماتریس مدل با ۲۷ نقطه پذیرنده و ۲۷ نقطه منبع در محیط اکسل توسعه داده شد. برای حل معادله، با روش مونت کارلو اعداد تصادفی به جای نرخ انتشار در ماتریس قرار داده شد

۴۵ mL/m است (۱۷).

علاوه بر نمودار واسنجی، دستگاه به واسنجی نقطه صفر نیز مجهز شد که در آن قبل از هر بار نمونه برداری سنسور دستگاه با هوای پاک واسنجی می‌شد. واسنجی نقطه صفر و نیز تمام نمونه برداری‌ها بعد از نیم ساعت گرم شدن سنسورها انجام شد. ارتفاع و موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری با GPS ثبت شد. اندازه‌گیری غلظت متان در پایین دست جهت باد لندفیل و در راه‌های قابل دسترسی در نزدیکی سایت با فاصله ۷۰۰ - ۵۰۰ m، در فصل سرد (ماه بهمن) و فصل گرم (تیسر) در ساعت ۱۰-۱۲ انجام شد (شکل ۱).

سپس نمونه‌ها بصورت دستی به دستگاه تزریق گردید. غلظت متان نیز در نقاط کنترل با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) Clarus 680 ساخت کشور آمریکا به دست آمد، که مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای FID است، ستون مورد استفاده (Elite-5, 30m*0.25mm*0.25µm)، دمای آون، محل تزریق و آشکارساز به ترتیب ۲۰۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ °C، گاز حامل نیتروژن با خلوص بالا و سرعت جریان ۲/۰ mm/m و نسبت گاز به محفظه ورودی ۲۰:۱، سرعت جریان برای هوای تولید شده توسط منبع هوای خودکار (BCHP, SPB-300، چین) و ۴۵۰ mL/m و برای هیدروژن تولید شده توسط ژنراتور هیدروژن (BCHP, SPB-300، چین)



شکل ۱- مکان‌های اندازه‌گیری شده (نقاط گیرنده)

عرض جغرافیایی در WGS84 و زون 39N نشان می‌دهد. میانگین غلظت متان در فصل تابستان $168/96 \text{ mg/m}^3$ و در فصل زمستان $1/12 \text{ mg/m}^3$ بود.

یافته‌ها

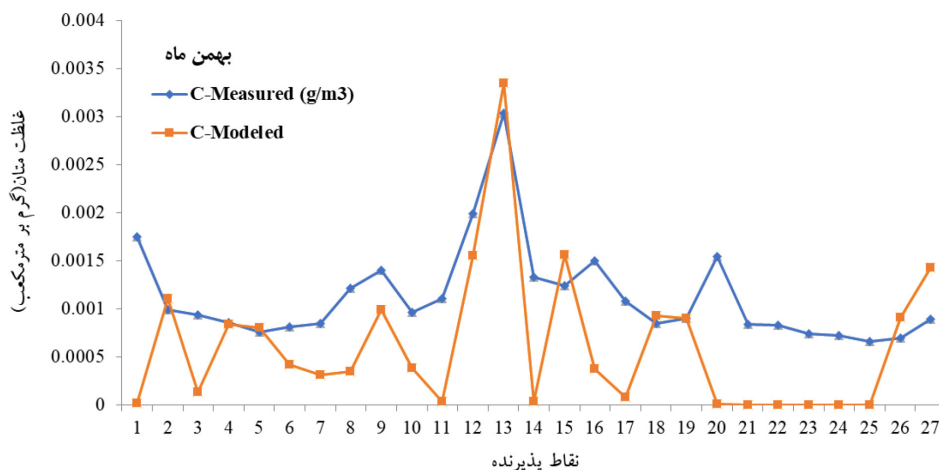
جدول ۲ میانگین غلظت متان اندازه‌گیری شده در نقاط پذیرنده برای ۲۷ گیرنده در پایین دست جهت باد به همراه طول و

جدول ۲- متان اندازه‌گیری شده در پایین جهت باد لندفیل

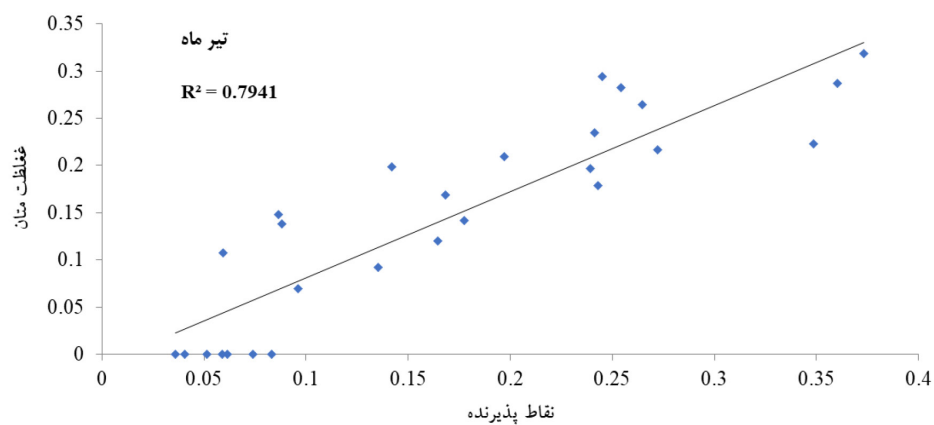
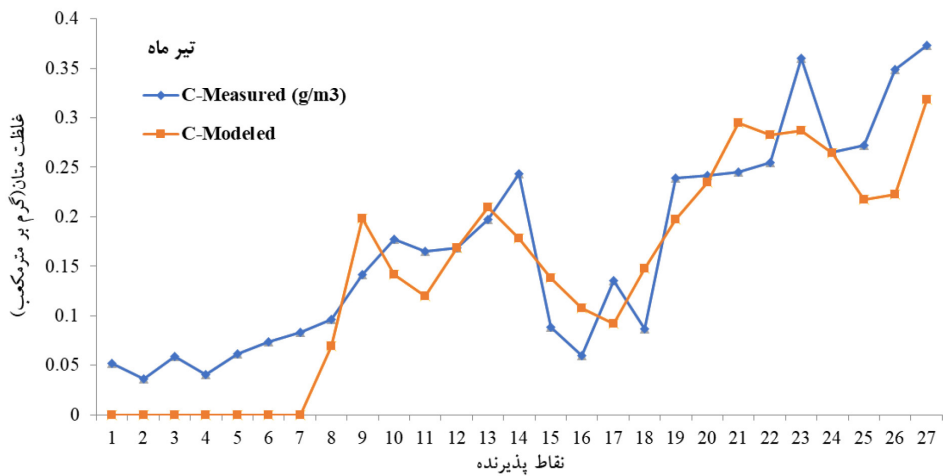
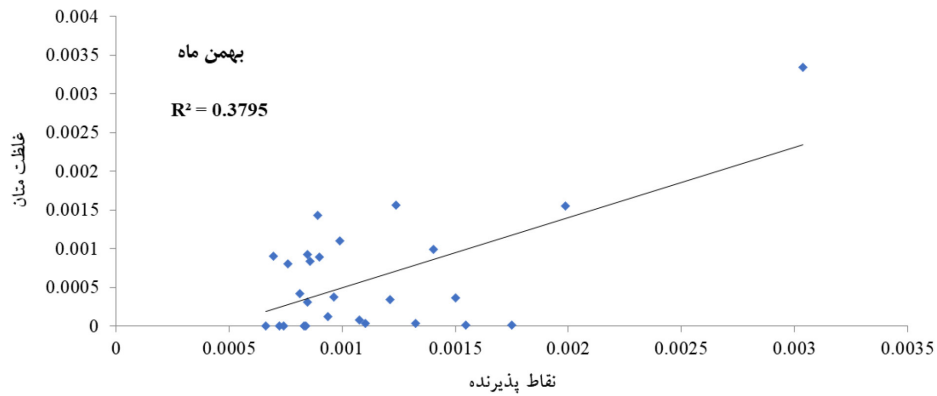
| تیر ماه | | | | | | بهمن ماه | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| شماره نقاط | غلظت متان | شماره نقاط | غلظت متان | شماره نقاط | غلظت متان | شماره نقاط | غلظت متان | شماره نقاط | غلظت متان | شماره نقاط | غلظت متان |
| (g/m ³) | (g/m ³) | (g/m ³) | (g/m ³) | (g/m ³) | (g/m ³) | (g/m ³) | (g/m ³) | (g/m ³) | (g/m ³) | (g/m ³) | (g/m ³) |
| ۱۹ | ۰/۰۵۱۵۶ | ۱۰ | ۰/۱۷۷۶۰ | ۱ | ۰/۱۳۹۳۴ | ۱۹ | ۰/۰۰۱۷۵ | ۱۰ | ۰/۰۰۰۹۶ | ۱ | ۰/۰۰۰۸۹ |
| ۲۰ | ۰/۰۳۵۸۷ | ۱۱ | ۰/۱۶۴۶۶ | ۲ | ۰/۲۴۱۴۷ | ۲۰ | ۰/۰۰۰۹۹ | ۱۱ | ۰/۰۰۱۱۰ | ۲ | ۰/۰۰۱۵۵ |
| ۲۱ | ۰/۰۵۸۷۸ | ۱۲ | ۰/۱۶۸۳۲ | ۳ | ۰/۲۴۵۲۳ | ۲۱ | ۰/۰۰۰۹۴ | ۱۲ | ۰/۰۰۱۹۸ | ۳ | ۰/۰۰۰۸۴ |
| ۲۲ | ۰/۰۴۰۵۸ | ۱۳ | ۰/۱۹۶۹۷ | ۴ | ۰/۲۵۴۴۵ | ۲۲ | ۰/۰۰۰۸۶ | ۱۳ | ۰/۰۰۳۰۴ | ۴ | ۰/۰۰۰۸۳ |
| ۲۳ | ۰/۰۶۱۳۹ | ۱۴ | ۰/۲۴۳۰۸ | ۵ | ۰/۳۶۰۲۱ | ۲۳ | ۰/۰۰۰۷۶ | ۱۴ | ۰/۰۰۱۳۲ | ۵ | ۰/۰۰۰۷۴ |
| ۲۴ | ۰/۰۷۳۸۹ | ۱۵ | ۰/۰۸۸۱۳ | ۶ | ۰/۲۶۴۸۹ | ۲۴ | ۰/۰۰۰۸۱ | ۱۵ | ۰/۰۰۱۲۴ | ۶ | ۰/۰۰۰۷۲ |
| ۲۵ | ۰/۰۸۳۰۳ | ۱۶ | ۰/۰۵۹۳۵ | ۷ | ۰/۲۷۲۲ | ۲۵ | ۰/۰۰۰۸۵ | ۱۶ | ۰/۰۰۱۵۰ | ۷ | ۰/۰۰۰۶۶ |
| ۲۶ | ۰/۰۹۵۸۷ | ۱۷ | ۰/۱۳۵۲۶ | ۸ | ۰/۳۴۸ | ۲۶ | ۰/۰۰۱۲۱ | ۱۷ | ۰/۰۰۱۰۷ | ۸ | ۰/۰۰۰۶۹ |
| ۲۷ | ۰/۱۴۱۷۵ | ۱۸ | ۰/۰۸۶۴۲ | ۹ | ۰/۲۷۳۱۳ | ۲۷ | ۰/۰۰۱۴۰ | ۱۹ | ۰/۰۰۰۸۵ | ۹ | ۰/۰۰۰۸۹ |

گرم بالاتر است. چنین به نظر می‌رسد که مدل، داده‌های با غلظت بالاتر را بهتر از داده‌ها با غلظت پایین شبیه‌سازی کرده است. با توجه به این که غلظت متان برداشت شده در فصل گرم بیشتر از فصل سرد است، ضریب همبستگی در فصل گرم بالاتر از فصل سرد به دست آمده است.

با استفاده از روش مونت کارلو بهترین جواب‌ها که خطای کمینه را به دست می‌دادند برای دو فصل سرد و گرم به دست آمد. در نمودار ۱ همبستگی و روند غلظت‌های مدل‌سازی شده و داده‌های واقعی در سطح لندفیل نشان داده شده است. همبستگی داده‌های مدل‌سازی شده و داده‌های میدانی، در فصل

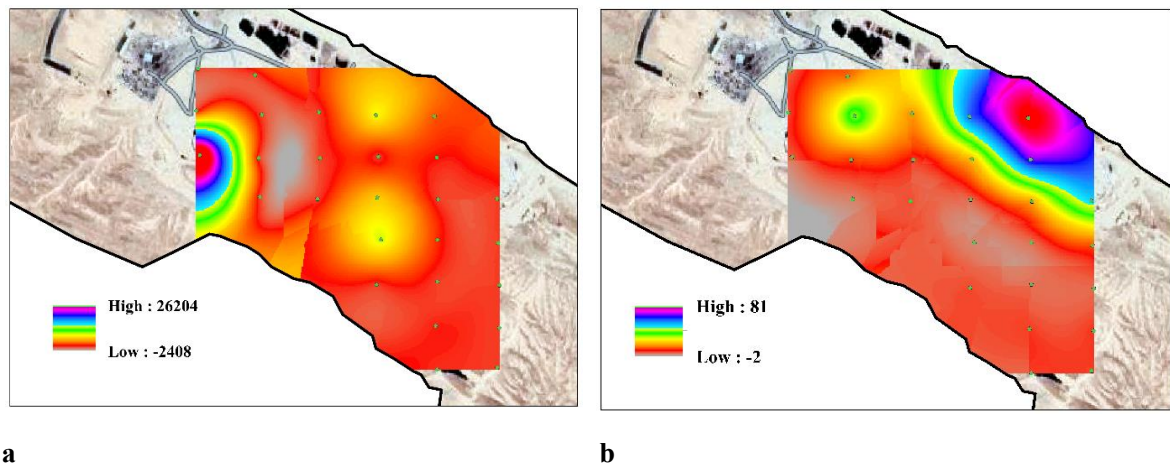


نمودار ۱- نمودار اندازه‌گیری‌های متان لندفیل با غلظت‌های مدل‌سازی شده در فصل سرد (بهمن ماه) و فصل گرم (تیر ماه)



ادامه نمودار ۱- نمودار اندازه‌گیری‌های متان لندفیل با غلظت‌های مدلسازی شده در فصل سرد (بهمن ماه) و

فصل گرم (تیر ماه)



شکل ۲- نقشه‌های پراکنش انتشار گاز متان a (تیر ماه) و b (بهمن ماه)

انتشار متان از سطح لندفیل در این مطالعه با سایر مطالعات که از روش مدل‌سازی پراکندگی معکوس استفاده نمودند قابل مقایسه است. مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۹ توسط Figuera و همکاران برای برآورد دقیق نرخ انتشار متان در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ با استفاده از مدل‌سازی پراکندگی معکوس گوس انجام شد، که نرخ انتشار متان را به ترتیب ۶۰۹، ۷۰۸ و ۱۲۳۳ g/s برآورد نمودند. از دلایلی که نرخ گاز متان در سال ۲۰۰۸ در لندفیل مورد مطالعه به طور قابل توجهی در آن بازه زمانی افزایش یافته است میتوان به این موارد اشاره کرد: (۱) اختلالاتی در پوشش سطح رخ داده است، (۲) الگوهای بارندگی بر انتشار تاثیر گذاشته است، (۳) فشار هوا به طور قابل توجهی در روز نمونه‌برداری تغییر کرده است و (۴) یا اینکه پارامترهای هواشناسی به اشتباه برآورد شده است (۱۳). در لندفیل مورد مطالعه نرخ انتشار متان در فصل گرم نسبت به فصل سرد بسیار بیشتر است که دلایل اصلی آن همان موارد بالا می‌تواند باشد.

نتایج مدل پراکندگی معکوس گوس نشان می‌دهد انتشار گاز متان در تابستان که فصل گرم سال است، تقریباً ۹۷ برابر بیشتر از زمستان است. از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر نرخ تولید بیشتر گاز متان شرایط هواشناسی، نوع پسماند دفن شده (بیشتر از نوع آلی)، میزان رطوبت، توانایی تجزیه‌پذیری، میزان اسیدیته

میانگین نرخ انتشار متان مدل در فصل گرم ۱۶۹۶/۹۹ و در فصل سرد ۱۶/۵۳ g/s است. شکل ۲ نقشه‌های درون‌یابی شده انتشار متان در دو فصل مورد مطالعه با روش کریجینگ (kriging) را نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه‌ها، سه نقطه با انتشار بالای متان در لندفیل شامل: جبهه دفن، حوضچه‌های شیرابه و نقاط بازچرخش شده شیرابه برای دو فصل به‌دست آمد. با این وجود در فصل سرد میزان انتشار از حوضچه‌های شیرابه بسیار کمتر از فصل گرم بود.

بحث

مدلسازی پراکندگی معکوس به اندازه‌گیری‌های غلظت باد در پایین دست تکیه دارد. با ترکیب این اندازه‌گیری‌ها با داده‌های هواشناسی، نرخ انتشار از یک منبع از مکان شناخته‌شده می‌تواند با استفاده از جهت باد و نظریه پراکندگی گاز در اتمسفر محاسبه شود. در اندازه‌گیری فصل گرم، جهت و سرعت باد در طول روز اندازه‌گیری تقریباً ثابت بود؛ در حالی که در روز اندازه‌گیری در فصل سرد، سرعت و جهت باد در طول زمان اندازه‌گیری واریانس بالایی داشت. با توجه به این‌که میانگین سرعت برای جهت باد در مدل‌سازی استفاده شد، مدل نتوانست اعداد نزدیک به اندازه‌گیری میدانی را برآورد کند و بنابراین ضریب همبستگی پایین‌تری به‌دست آمد. با این وجود میانگین

غلظت متان اندازه‌گیری شود و تعداد نقاط با انتشار بالا و موقعیت آن‌ها مشخص شوند. از طرف دیگر میزان غلظت متان در نقاط پذیرنده برای مدت کوتاهی اندازه‌گیری شد. برای این که اعداد دقیق‌تری به دست آید، نیاز است که غلظت متان در اطراف لندفیل به صورت شبانه‌روزی ثبت شود و داده‌ها به همراه داده‌های هواشناسی ساعتی در بانک داده نگهداری شوند. با استفاده از این داده‌ها، این روش یک روش به نسبت دقیق و سریع برای برآورد میزان انتشار متان از سطح لندفیل است. در مجموع نتایج نشان می‌دهد بهترین شرایط اقلیمی برای تولید متان، اقلیم گرم و مرطوب است. شرایط آب و هوایی خشک به واسطه محدودیت رطوبت در دسترس، تأثیر کاهشی بر انتشار متان دارد. شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب در مقایسه با معتدل و مرطوب، با نرخ تولید بالاتر و زوال سریع‌تر متان همراه است و می‌توان نتیجه گرفت میزان انتشار متان با درصد رطوبت رابطه مستقیم دارد، به طوری که با افزایش رطوبت، فعالیت میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه میزان تولید متان افزایش می‌یابد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی، شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "پهنه‌بندی انتشار گاز متان از لندفیل حلقه‌دره با استفاده از مدل‌سازی معکوس گاوس" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۹ و کد ۸۵/۶۵۷ است که با حمایت دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران اجرا شده است.

و درجه حرارت پسماند است. با این وجود ملاحظه می‌شود که نقش دما و رطوبت در تولید متان در لندفیل اهمیت بیشتری دارد. در فصل سرد به دلیل کاهش دما، میزان انتشار متان از لندفیل به شدت کاهش یافت و میزان انتشار متان از حوضچه‌ها تقریباً به صفر نزدیک شد، این درحالی است که در فصل گرم، حوضچه‌های شیرابه یکی از نقاط با انتشار بالای متان از لندفیل بودند. با توجه به این که همه پارامترها به جز دما در دو فصل اندازه‌گیری یکسان بود، به نظر می‌رسد نقش دما در تولید متان بسیار چشمگیر است. از طرفی دیگر، در دو سلول قدیمی دفن در محل‌هایی که شیرابه بازچرخش می‌شد یک نقطه با انتشار بالای متان ایجاد شده بود. با توجه به این که سن سلول‌های اطراف تقریباً با سلول دفن دارای بازچرخش، یکسان است می‌توان چنین استنباط کرد که بازچرخش شیرابه نقش موثری در تسریع فرآیند بی‌هوازی داشته است. مزیت این روش، اندازه‌گیری توده انتشار از کل لندفیل بدون در نظر گرفتن وسعت لندفیل است. برای شرایط بهینه، لندفیل باید در منطقه‌ای نسبتاً مسطح با مسیر عبور در مسیر باد در فاصله‌ای مناسب واقع شود. شرایط جوی دقیق اندازه‌گیری شده و نسبتاً پایدار، از جمله جهت باد پایدار و حداقل تغییرات در فشار اتمسفر و شرایط جوی پایدار در رابطه با آشفتگی، از معایب این روش می‌باشد. همچنین این روش نیاز به زمان زیاد دارد و نیز اینکه امکان اندازه‌گیری با انتشار بالا وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

مطالعه فوق با استفاده از مدل‌سازی پراکندگی معکوس گاوس به منظور برآورد میزان نرخ متان منتشر شده از لندفیل مورد مطالعه انجام شد. این روش یک روش ساده و سریع برای اندازه‌گیری میزان انتشار متان از لندفیل است. در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم مانند روش محفظه ثابت، نیاز به اندازه‌گیری طولانی مدت در بخش‌های مختلف لندفیل ندارد و می‌تواند نرخ انتشار را بر اساس غلظت متان در پایین دست جهت باد محاسبه نماید. در این مطالعه از روش شبکه برای تعیین منابع انتشار استفاده شد که با توجه به ناهمگنی انتشار از سطح لندفیل بهتر است که ابتدا روی سطح لندفیل میزان

References

1. Mønster J, Kjeldsen P, Scheutz C. Methodologies for measuring fugitive methane emissions from landfills—A review. *Waste Management*. 2019;87:835-59.
2. Maria C, Góis J, Leitão A. Challenges and perspectives of greenhouse gases emissions from municipal solid waste management in Angola. *Energy Reports*. 2020;6:364-69.
3. 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. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;78:272-79.
4. Xu L, Lin X, Amen J, Welding K, McDermitt D. Impact of changes in barometric pressure on landfill methane emission. *Global Biogeochemical Cycles*. 2014;28(7):679-95.
5. Fjelsted L, Christensen A, Larsen J, Kjeldsen P, Scheutz C. Assessment of a landfill methane emission screening method using an unmanned aerial vehicle mounted thermal infrared camera—A field study. *Waste Management*. 2019;87:893-904.
6. Kissas K, Ibrom A, Kjeldsen P, Scheutz C. Annual upscaling of methane emission field measurements from two Danish landfills, using empirical emission models. *Waste Management*. 2022;150:191-201.
7. Bui LT, Nguyen PH. Integrated model for methane emission and dispersion assessment from landfills: A case study of Ho Chi Minh City, Vietnam. *Science of the Total Environment*. 2020;738:139865.
8. Scheutz C, Fredenslund AM, Nedenskov J, Samuelsson J, Kjeldsen P. Gas production, composition and emission at a modern disposal site receiving waste with a low-organic content. *Waste Management*. 2011;31(5):946-55.
9. Aghdam EF, Scheutz C, Kjeldsen P. Impact of meteorological parameters on extracted landfill gas composition and flow. *Waste Management*. 2019;87:905-14.
10. Fredenslund AM, Mønster J, Kjeldsen P, Scheutz C. Development and implementation of a screening method to categorise the greenhouse gas mitigation potential of 91 landfills. *Waste Management*. 2019;87:915-23.
11. Mohseni N, Omrani GA, Harati SAN. Potential prediction of Methane production from landfill in Iranian metropolises (Tehran, Shiraz, Mashhad, Esfahan, Karaj). *Sustainability, Development & Environment*. 2020;1(2):35-49.
12. Kura B, Jilla A. Feasibility of the Inverse-Dispersion Model for Quantifying Drydock Emissions. *Atmosphere*. 2019;10(6):328.
13. Figueroa VK, Mackie KR, Guarriello N, Cooper CD. A robust method for estimating landfill methane emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2009;59(8):925-35.
14. Bel Hadj Ali N, Abichou T, Green R. Comparing estimates of fugitive landfill methane emissions using inverse plume modeling obtained with Surface Emission Monitoring (SEM), Drone Emission Monitoring (DEM), and Downwind Plume Emission Monitoring (DWPEM). *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2020;70(4):410-24.
15. Kormi T, Mhadhebi S, Ali NBH, Abichou T, Green

- R. Estimation of fugitive landfill methane emissions using surface emission monitoring and Genetic Algorithms optimization. *Waste Management*. 2018;72:313-28.
16. Mackie K, Cooper C. Landfill gas emission prediction using Voronoi diagrams and importance sampling. *Environmental Modelling & Software*. 2009;24(10):1223-32.
17. Liu X, Yang J, Ye T, Han Z. Establishment of analysis method for methane detection by gas chromatography. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018;113:012023).



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>
Original Article



Estimation of Methane gas emission rate from landfill using inverse dispersion modeling (case study of landfill in Alborz province)

Ehsan Mohammad Hassani, Reza Rafei, Mazaher Moeinaddini*, Niki Aghapour

Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 15 November 2023
Revised: 30 January 2024
Accepted: 05 February 2024
Published: 10 June 2024

Keywords: Alborz, Landfill, Methane emission rate, Inverse Gaussian dispersion modeling

ABSTRACT

Background and Objective: One of the largest sources of methane emissions is landfills, and various models have been developed to predict landfill methane production and emissions. The main goal of this research is to utilize the inverse Gaussian model to estimate g methane greenhouse gas emissions and model it using field data. This study introduces a simple method to estimate the amount of methane emissions based on ambient methane concentrations.

Materials and Methods: In this research, the methane emission rates from landfill were estimated for warm (July) and cold (February) seasons using a sampling campaign from 27 stations and standard inverse Gaussian dispersion equations. Monte Carlo simulation was also employed. To determine the model, an optimization-based method, along with inverse scattering modeling, was utilized to process surface emission monitoring data.

Results: The model results indicated during the cold (February) and warm (July) seasons, the methane emission rates were estimated at 1696.99 and 16.53 g/s, respectively. These findings confirm that the methane production and emission during the cold season were lower than in the warm season, likely due to reduced temperature and bacterial activity.

Conclusion: The method used in this study, the inverse Gaussian dispersion model, can be applied to estimate methane gas emission rates from other landfills. However, it necessitates the permanent recording of data and the use of daily or weekly averages in calculations to mitigate potential errors and enhance the accuracy of modeling.

*Corresponding Author:

moeinaddini@ut.ac.ir

Please cite this article as: Mohammad Hassani E, Rafei R, Moeinaddini M, Aghapour N. Estimation of Methane gas emission rate from landfill using inverse dispersion modeling (case study of landfill in Alborz province). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2024;17(1):181-92.

