

# پهنه‌بندی پراکنش گاز متان از لندفیل حلقه‌دره با استفاده از رویکرد تلفیقی مدل IPCC و AERMOD

احسان محمدحسینی، مظاهر معین‌الدینی\*، رضا رفیعی

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷

## چکیده

رشد جمعیت و شهرنشینی باعث تولید انبوه پسماند می‌شود. هنگامی که پسماندهای جامد شهری در لندفیل قرار می‌گیرند، واکنش‌های پیچیده زیستی، شیمیایی و فیزیکی رخ می‌دهد که منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، متان یک گاز گلخانه‌ای مهم است و که غلظت آن در اتمسفر حدود ۲۰۰ برابر کمتر از غلظت دی اکسیدکربن است، با این وجود، متان به حدود ۲۰ درصد از گرم شدن مربوط می‌شود. انتشار گاز متان در اتمسفر، پدیده‌های مخرب محیط زیستی به وجود خواهد آورد که باعث کاهش ازن استراتوسفری لایه ازن و به مرور زمان باعث افزایش درجه حرارت کره زمین خواهد شد. ابتدا با استفاده از مدل IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) میزان تولید گاز متان در لندفیل حلقه‌دره در بازه زمانی مورد مطالعه از ابتدای سال ۲۰۱۵ تا پایان سال ۲۰۱۹ محاسبه و ۲۷۴/۹۸ متر مکعب به ازای هر تن پسماند در سال و نرخ انتشار گاز متان در لندفیل با استفاده از مدل IPCC در بازه زمانی پنج ساله به‌طور میانگین برابر ۰/۷۵ (gr/s) برآورد شد. سپس پراکنش گاز متان در بازه زمانی پنج ساله با استفاده از مدل AERMOD مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد پراکنش گاز متان با مدل AERMOD برای کل لندفیل در بازه زمانی مورد مطالعه در جهت شمال غربی و جنوب شرقی (محدوده با بیشترین تراکم جمعیت در اطراف لندفیل) است. همچنین بیشینه و کمینه میزان غلظت گاز متان در دوره پنج ساله برابر ۷۱۹/۸۷ و ۹۷/۱۹ میلی گرم بر متر مکعب به‌دست آمد. بنابراین با استفاده از دو مدل IPCC تولید و نرخ انتشار متان و همچنین با مدل AERMOD پراکنش گاز متان محاسبه و نقشه پراکنش تا محدوده ۵۰ کیلومتری لندفیل ترسیم گردید.

**کلید واژگان:** پراکنش متان، لندفیل، گاز گلخانه‌ای، مدل AERMOD، کرج

## مقدمه

گرم شدن کره زمین یا تغییرات اقلیم جهانی (GCC<sup>۱</sup>) ممکن است جدی‌ترین چالش محیط زیستی باشد که بشر با آن روبرو است. از مهم‌ترین علل تغییرات آب و هوایی وجود گازهای گلخانه‌ای از جمله متان و دی‌اکسیدکربن عنوان شده است (Devadoss et al., 2021). متان یک گاز گلخانه‌ای بسیار قوی‌تر از دی‌اکسیدکربن است که پتانسیل گرمایشی ۲۵ برابر بیشتر از دی‌اکسیدکربن در افق زمانی ۱۰۰ ساله دارد (Sohoo et al., 2021). تعیین انتشار متان از لندفیل برای موجودی گازهای گلخانه‌ای منطقه‌ای یا ملی مهم است. علاوه بر این، پیش‌بینی دقیق تنوع فضایی انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک منبع سطحی منجر به مدل‌سازی پراکندگی بهتر و پیش‌بینی‌های بهتر در مورد غلظت در میدان باد خواهد شد (Mønster et al., 2015).

کنترل گازهای تولید شده برای اولین بار با ایجاد لندفیل‌های بزرگ در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی در آمریکا شروع شد (Cossu et al., 2016). گاز لندفیل از تجزیه بخش آلی پسماند در لندفیل تولید می‌شود که شامل مخلوطی از ۴۵ الی ۶۰ درصد متان، ۴۰ الی ۶۰ درصد دی‌اکسیدکربن و گازهای دیگر مثل اکسیژن، ترکیبات آلی غیرمتانی مانند سولفید هیدروژن و همچنین گازهای آلی است. گاز لندفیل می‌تواند به‌عنوان سوخت برای مصارف گوناگون قابل استفاده باشد (Anshassi et al., 2021). بسته به مقدار و نوع ماده آلی تشکیل دهنده پسماند و میزان رطوبت داخلی لندفیل، میزان بیوگاز تولید شده متفاوت است. غلظت بالای گازهای لندفیل معمولاً در لندفیل‌های که دارای پوشش غیرقابل نفوذ هستند، رخ می‌دهد (US EPA, 2005).

تعدادی از رویکردهای مدل‌سازی برای بررسی پراکنش اتمسفری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. یکی از این مدل‌ها AERMOD است که در این پژوهش برای پراکنش گاز

متان مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل AERMOD توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA<sup>۲</sup>) به‌عنوان یک ابزار مفید برای تعیین پراکندگی جوی، به‌ویژه در مناطقی با منابع آلودگی مانند لندفیل، تأیید شده است (Abdul-Wahab et al., 2016). این مدل برای مسافت‌های تا ۵۰ کیلومتر و زمین‌های ناهموار، زمین مسطح، منابع مرتفع، منابع سطحی، منابع نقطه‌ای، منابع منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Porter, 2004). ضریب انتشار در این مدل، مقداری است که آلاینده یا ترکیب رها شده در اتمسفر را با تعداد منابع آلاینده مرتبط می‌سازد. در واقع ضریب انتشار میانگین آلاینده یا مواد منتشره از منابع و عوامل آلاینده است. در این مدل فرض می‌شود که توزیع غلظت در لایه مرزی پایدار (SBL<sup>۳</sup>) در هر دو جهت قائم و افقی، همانند توزیع غلظت در جهت افقی در لایه مرزی همرفتی (CBL<sup>۴</sup>) گاوسی است. این مدل از هسته اصلی پردازش AERMOD جهت برآورد غلظت آلاینده و از دو پیش‌پردازنده AERMET و AERMAP استفاده می‌کند (Bhardwaj, 2005).

AERMET: مسئولیت پردازش و تهیه اطلاعات هواشناسی را بر عهده دارد که از روی اطلاعات هواشناسی و مشخصات محیط، شرایط مرزی مورد نیاز را برای مدل AERMOD محاسبه می‌کند. AERMET شامل داده‌های هواشناسی سطحی، جو بالا و منبع است. این پیش‌پردازنده سه مشخصه سطحی از منطقه مورد مطالعه را به‌عنوان ورودی نیاز دارد که این مشخصه‌ها عبارتند از: زبری سطح (بی‌نظمی‌های ریز در بافت سطح)، نسبت بوآن (توصیف نوع انتقال حرارت برای سطحی که دارای رطوبت است) و ضریب آلودگی (بازتاب نور از سطوح). برای مشخص کردن این مقادیر لازم است تا منطقه مورد مطالعه برحسب نوع کاربری زمین‌های اطراف، در جهت عقربه‌های ساعت به قطعه‌های مناسب تقسیم شود و مقادیر این سه مشخصه به‌صورت

<sup>۳</sup>Stable Boundary Layer (SBL)<sup>۴</sup>Convective Boundary Layer (CBL)<sup>۱</sup>Global Climate Change (GCC)<sup>۲</sup>Environmental Protection Agency (EPA)

جدول ۱- اطلاعات مورد نیاز برای مدلسازی پراکنش گاز متان در لندفیل (Bhardwaj, 2005)

| پارامتر           | داده                                                           |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|
| پارامترهای انتشار | نرخ انتشار، ارتفاع آزادسازی از سطح زمین و اطلاعات موقعیت مکانی |
| اطلاعات هواشناسی  | سرعت و جهت باد، دما، میزان یا درصد ابرناکی                     |
| نوع نقطه انتشار   | منبع سطحی (لندفیل حلقه‌دره)                                    |

ماهانه، فصلی، یا سالانه معرفی شوند (USEPA, 2004).  
 AERMAP: یک پردازنده زمینی است که ارتفاعات پایه زمینی برای هر گیرنده و منبع تولید می‌کند و شاخص ارتفاع را در محل گیرنده‌ها محاسبه و آن‌ها را برای AERMOD آماده می‌کند (Bhardwaj, 2005). منبع اطلاعاتی AERMAP مدل رقومی ارتفاع (DEM<sup>5</sup>) است. این پیش‌پردازنده با داشتن اطلاعات توپوگرافی، ارتفاع منابع انتشار آلاینده و دریافت کننده‌ها از سطح دریا را با توجه به مختصات طولی و عرضی داده شده محاسبه می‌کند (Zou et al., 2010).

مدل پراکنش آلاینده‌های هوای AERMOD، برای اجرا، نیاز به اطلاعات هواشناسی داشته که با قالب مشخص در دو فایل ورودی‌های مدل بسته به سطح مدل، داده‌های ورودی مورد نیاز به‌منظور مدل‌سازی پراکنش گاز متان در لندفیل حلقه‌دره شامل پارامترهای جدول ۱ است (Bhardwaj, 2005).

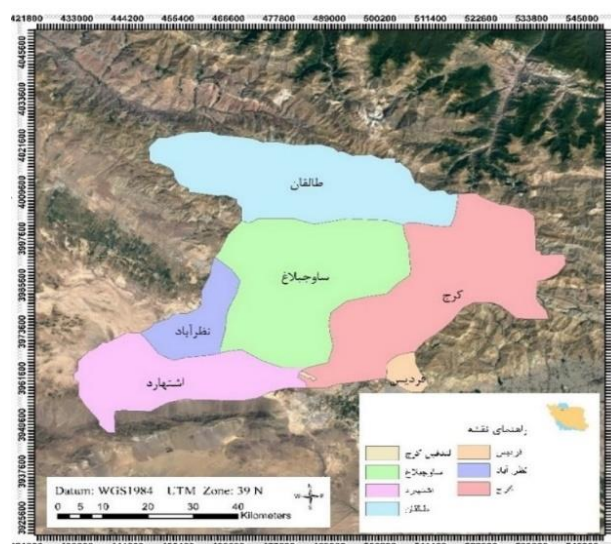
### مواد و روش‌ها

بنابراین مدل‌سازی پراکندگی شبیه‌سازی رایانه‌ای است که غلظت کیفیت هوا را از انواع مختلف منابع انتشار پیش‌بینی می‌کند (Bhardwaj, 2005). مدل IPCC یک مدل درجه یک است که بر اساس ترکیب پسماند، میزان تولید و انتشار متان از لندفیل (Q) را برآورد می‌کند (Penteado et al., 2012). استفاده درست از این مدل، امکان برآورد واقع گرایانه‌ای از انتشار گاز متان قابل استحصال برای طراحی سیستم استخراج و محدود کردن انتشار این گاز در محیط را می‌دهد (de Abreu et al., 2011). از آن‌جا که متان از

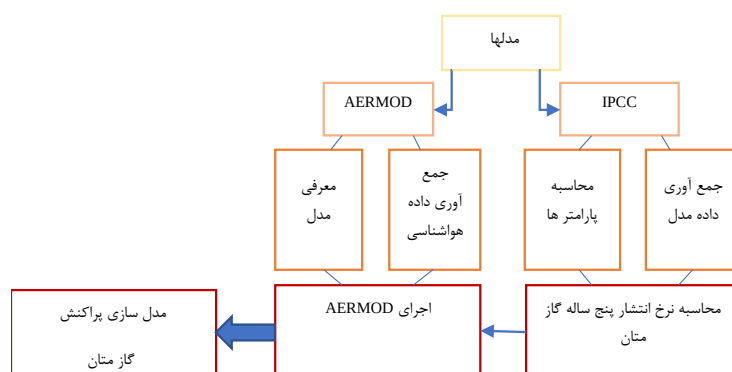
عمده‌ترین گازهای گلخانه‌ای است و دفن پسماندها مقدار قابل توجهی متان تولید می‌کند، علاقه زیادی به مقدار انتشار متان در لندفیل وجود دارد، متان در پدیده گرم شدن کره زمین تأثیرگذار است و اثر آن در گرمایش جهانی بسیار بیشتر از اثر دی‌اکسیدکربن است. همچنین موارد متعددی از انفجار و آتش سوزی این گاز در لندفیل که به حال خود رها شده‌اند، گزارش شده است و برداشت گاز متان نیز از اهمیت زیادی برخوردار است (Devadoss et al., 2021). هدف این مقاله محاسبه میزان تولید و انتشار گاز متان با استفاده از مدل‌های IPCC و AERMOD و همچنین ارائه پهنه‌بندی پراکنش گاز متان با استفاده از مدل AERMOD در لندفیل و اطراف آن می‌باشد.

**منطقه مورد مطالعه:** لندفیل حلقه‌دره در استان البرز و در فاصله ۷ کیلومتری از شهرکرج قرار دارد، این مرکز دفن در فاصله یک کیلومتری فرودگاه پیام و در اطراف آن انواع کاربری‌ها اعم از زراعی، مسکونی و صنعتی مشاهده می‌گردد. مختصات جغرافیایی محل دفن در عرض جغرافیایی ۳۵/۷۸ و طول جغرافیایی ۵۰/۸۴ است. براساس نقشه‌های تهیه شده و برآورد صورت گرفته مساحت لندفیل حلقه‌دره ۱۸۶/۵۶ هکتار است. لندفیل حلقه‌دره مرکز دفن پسماندهای شهرستان‌های استان البرز است، که روزانه حجم بسیار بالایی از پسماند (۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ تن در روز) به این مکان منتقل می‌شود (Mohseni et al., 2020). میانگین بارندگی سالیانه حدود ۲۵۱ میلی‌متر و حداقل ۸۹/۳ میلی‌متر و حداکثر ۳۷۴/۴ میلی‌متر است، ماه تیر با میانگین ۲۶ درجه سانتیگراد و دی با ۲/۱ درجه سانتیگراد به‌ترتیب گرم‌ترین و سردترین ماه سال محسوب می‌شوند. میانگین سالیانه

<sup>5</sup>Digital Elevation Model (DEM)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی لندفیل حلقه دره در استان البرز



شکل ۲- مراحل انجام پژوهش

**داده‌های نرخ انتشار:** داده‌های نرخ انتشار یکی از انواع اصلی داده‌های وارد شده به AERMOD هستند. که این مقادیر از طریق روابط زیر به دست می‌آید:

از لحاظ انتشار گازهای گلخانه‌ای، مقدار متان در محیط زیست از دست رفته است، چرا که نه در لندفیل بازیافت و نه اکسید شده است، این میزان از رابطه ۱ قابل محاسبه است (Penteado et al., 2012).

رابطه ۱

$$\text{Emissions} = (\text{Generation} - \text{Recovery}) \times (1 - \text{Oxidation Fraction})$$

در لندفیل‌های معمول، میزان اکسیداسیون متان برابر با صفر است زیرا اکسیداسیون متانی که در نظر گرفته می‌شود ناچیز است، اما این مقدار در لندفیل حلقه دره طبق دستورالعمل‌های IPCC با توجه به شرایط حاکم (اقلیمی و نوع لندفیل) ده درصد است (IPCC, 2006). در پسماندها، فقط بخشی از

رطوبت نسبی ۵۲ درصد و میانگین حداکثر و حداقل آن به ترتیب ۷۲ و ۳۸ درصد است (Asadollahfardi et al., 2016). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی لندفیل حلقه دره را در استان البرز نشان می‌دهد.

**روش تحقیق:** مراحل انجام این تحقیق در فلوچارت شکل ۲ به صورت خلاصه بیان شده است.

**ورودی‌های مدل IPCC:** مدل IPCC یک مدل درجه یک است که بر اساس ترکیب پسماند (پسماند مواد غذایی، پسماند پارک و باغ (حیاط)، کاغذ و مقوا، چوب، منسوجات، پوشاک بچه، لاستیک کهنه و چرم، پلاستیک‌های رنگارنگ، فلز، شیشه، سفال و چینی و دیگر موارد مثل خاکستر، خاک، گرد و غبار، خاک، ضایعات الکترونیکی)، اقلیم، نوع لندفیل و نوع خاک پوشش میزان انتشار متان از لندفیل (Q) را برآورد می‌کند (Penteado et al., 2012).

جدول ۲- ترکیب پسماند منطقه مورد مطالعه (Monavari et al., 2014)

| ترکیب پسماند | پسماند غذایی | کاغذ و مقوا | حیات و باغ | چوب  | سایر اجزا |
|--------------|--------------|-------------|------------|------|-----------|
| درصد اجزا    | ۷۱/۷۶        | ۸/۰۱        | ۰          | ۰/۵۱ | ۱۹/۷۲     |

رابطه ۶)، محاسبه نمود (Augenstein and Pacey, 1991). این بدین معنی است که نرخ نسبی با زمان به‌طور نمادین کاهش می‌یابد (Andreottola and Cossu, 1988). از نظر ریاضی (Penteado et al., 2012):

رابطه ۶

$$\frac{d(DDOC_m)}{dt} = -k(DDOC_m)$$

با ثابت بودن  $k$  واکنش، این پارامتر به دما، رطوبت و نوع پسماند بستگی دارد و می‌تواند با توجه به زمان نیمه عمر  $t_{1/2}$  بیان شود تا زمان لازم  $DDOC_m$  در پسماندها به تجزیه‌نیمی از جرم اولیه خود بیان شود: (Penteado et al., 2012)

رابطه ۷

$$k = \frac{(\ln 2)}{t_{1/2}}$$

زمان نیمه عمر تحت تأثیر ترکیب پسماند، آب و هوای محل دفن پسماند، ویژگی‌های دفن و مدیریت پسماند قرار دارد (Cooper and Alley, 2002). مدت زمان نیمه عمر کوتاه به‌معنای سینتیک سریع، به‌عنوان مثال پسماند مواد غذایی است. برعکس، مدت زمان نیمه عمر طولانی مشخصه مواد آهسته تجزیه‌پذیر مانند چوب و چرم است.

رابطه ۸

$$DDOC_m = DDOC_{m0} \times \exp(-kt)$$

که این رابطه برای برای برآورد تولید بیوگاز، مقدار آن بسیار مفید است.

رابطه ۹

$K$ : ثابت نرخ تولید متان است و تعیین‌کننده رژیم تولید گاز در لندفیل است که با افزایش  $k$  سرعت تولید گاز افزایش می‌یابد. برای محاسبه  $k$  معتبرترین منبع IPCC است، مقدار  $k$  برای لندفیل حلقه‌دره با توجه به نوع دفن در لندفیل و

جرم در بیوگاز تجزیه می‌شود و می‌توان آن را با رابطه ۲ محاسبه کرد:

رابطه ۲

$$DDOC_M = DOC \times DOC_F \times W$$

$DOC_F$  کسری از  $DOC$  است که می‌تواند تجزیه شود و  $W$  جرم پسماند است. پتانسیل تولید متان ( $L_0$ ) با توجه به رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Penteado et al., 2012):

رابطه ۳

$$L_0 = MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times \frac{16}{12}$$

$MCF$ : ضریب تصحیح تولید متان برابر با یک است.  $DOC$ : کربن آلی تجزیه‌پذیر.  $DOC_F$  کسری از  $DOC$  است که می‌تواند تجزیه شود.  $F$  مقدار کسر متان در گاز پسماند است (دستورالعمل‌ها نشان می‌دهد ۰/۰۵)، ۱۶ و ۱۲ به‌ترتیب توده مولکولی متان و توده اتمی کربن است (Penteado et al., 2012). مقدار  $DOC$  را از رابطه ۴ با توجه به ترکیب پسماند لندفیل حلقه‌دره در سال ۱۳۹۷ (جدول ۲) محاسبه می‌شود (Monavari et al., 2014).

رابطه ۴

$$DOC = 0.4A + 0.16(B + C) + 0.3D$$

A: کاغذ و مقوا، C: پسماند حیات و باغ، B: پسماند غذایی و D: چوب.

$DOC_F$  ضریب درصدی از مواد آلی است که قابلیت تبدیل به گاز متان و دی‌اکسیدکربن را دارد. مقدار این ضریب بر حسب دمای لندفیل، از رابطه ۵ به‌دست می‌آید.

رابطه ۵

$$DOC_F = 0.014 \times T + 0.28$$

دمای لندفیل بر حسب درجه سانتی‌گراد و در لندفیل فوق به‌طور میانگین برابر ۳۵ درجه سانتی‌گراد است. فرآیند تولید بیوگاز را می‌توان با استفاده از یک مدل سینتیک درجه اول

<sup>6</sup>Methane Correction Factor (MCF)

شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه ۰/۰۴ است (IPCC, 2006a). با توجه به جمعیت استان البرز و سرانه تولید پسماند برای هر نفر در استان البرز که برابر ۰/۷ کیلوگرم در روز است (Khoshmaneshzadeh et al., 2021)، با استفاده از مدل IPCC، میزان تولید پسماند محاسبه شد و به تبع آن میزان انتشار گاز متان به دست آمد. در این پژوهش پراکنش گاز متان در پنج سال اخیر در لندفیل مورد مطالعه قرار گرفت، بنابراین برای نرخ انتشار گاز متان که از مدل IPCC به دست می آید نیز از همین پنج سال استفاده شد.

### مدل سازی انتشار گاز لندفیل با استفاده از مدل AERMOD

**داده های میزان انتشار:** داده های میزان انتشار یکی از عمده ترین داده های وارد شده به AERMOD است. نرخ میزان انتشار از مدل IPCC محاسبه شد.

**ورودی های مدل AERMOD:** داده های هواشناسی (سرعت و جهت باد، درجه حرارت هوای محیط، رطوبت نسبی، فشار جوی، بارش، تابش خورشیدی، پوشش ابری، ارتفاع آمیختگی)، عوارض زمین و پارامترهای انتشار به عنوان داده های ورودی اولیه هستند که به منظور مدل سازی کیفیت هوا مورد پردازش قرار می گیرند (Bhardwaj, 2005).

**اجرای مدل AERMOD:** جهت اجرای پیش پردازنده AERMET داده های هواشناسی با سینوپتیک یک ساعته و دوره زمانی پنج ساله (۲۰۱۵-۲۰۱۹) از ایستگاه سینوپتیک کرج اخذ و پس از مرتب سازی وارد پیش پردازنده AERMET گردید. همچنین مشخصات سطحی (ضریب آلودگی، بوآن و زبری) در اینجا شامل دو کاربری شهری و زمین های بایر است، قطاع بندی و وارد پیش پردازنده AERMET، سپس اجرا شد. پس از اجرای AERMET تهیه فایل هواشناسی مورد نیاز AERMOD اطلاعات پروژه با استفاده از فایل ورودی جهت پردازش به مدل AERMOD معرفی می شود. مدل سازی نحوه پراکنش گاز متان برای متوسط های زمانی ۱ و ۲۴ ساعته و همچنین دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۱۵-۲۰۱۹) انجام گرفت. اطلاعات

توپوگرافی لازم برای مدل پراکنش از پیش پردازنده AERMAP گرفته می شود. در این مطالعه، یک منبع سطحی برای مدل سازی پراکنش گاز متان به کار گرفته شد. ارتفاع رهاسازی را در سطح زمین به متر یا پا مشخص می کند که در لندفیل حلقه دره گاز متان از سطح زمین انتشار می یابد و ارتفاع صفر است. در مسیر گیرنده، برای هر منبع یک شبکه منظم دکارتی ۲۵۰۰ × ۲۵۰۰ متر، تعریف شد (شکل ۴). منبع مورد نظر نیز در مرکز شبکه تعریف شده قرار گرفت. هرچه تعداد نقاط بیشتر و فاصله نقاط کمتر باشد، دقت کار بیشتر می شود و حجم کار افزایش پیدا می کند. پیش از اجرای مدل، مازول AERMAP نیز باید اجرا شود. بنابراین نقشه DEM مورد نیاز از سایت USGS و با نوع نقشه SRTM/NED وارد مازول شد و در نهایت AERMAP و پس از آن AERMOD اجرا شد. نتایج حاصل از اجرای مدل به صورت منحنی های هم تراز غلظت به دست آمد (Heckel and LeMasters, 2011).

### نتایج

**نتایج تولید گاز با مدل IPCC:** میزان پتانسیل تولید متان  $L_0$  براساس رابطه ۳، برابر ۰/۰۷۶۸ تن گاز متان در تن پسماند است؛ اعدادی که در این بخش واحدی برای آنها ذکر نشده است بدون بعد (بدون واحد) می باشند.

$$\begin{aligned} L_0 &= 1 \times 0.1498 \times 0.77 \times 0.5 \times 1.33 \\ &= 0.0767 \text{ g CH}_4 / \text{g waste} \\ &= 0.0768 \text{ tonne CH}_4 / \text{tonne of waste} \end{aligned}$$

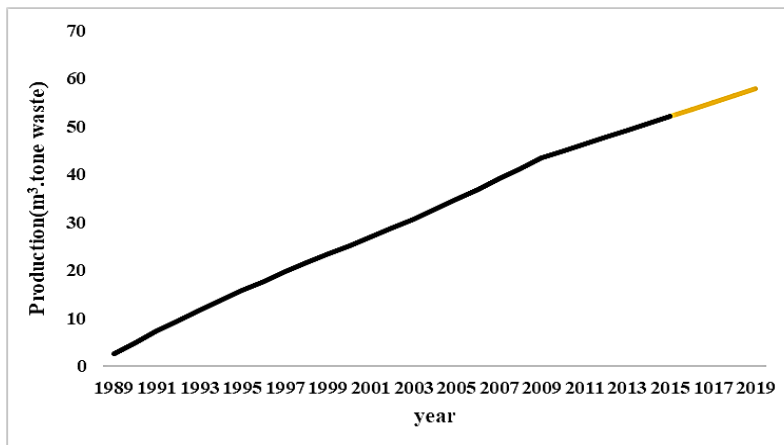
با توجه به جرم مولی متان ۱۶ گرم بر مول و با فرض شرایط نرمال، هر مول برابر ۲۴/۴ لیتر است، میزان متان تولید شده بر حسب متر مکعب در تن پسماند برابر است با:

$$\begin{aligned} 76700 \text{ g CH}_4 / 16 \\ &= 4793 \text{ mole CH}_4 \\ &/ \text{tonne of waste} \times 24.4 \text{ L} \\ &= 16949 \text{ L CH}_4 / \text{tonne of waste} \\ &= 117 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{tonne waste} \end{aligned}$$

بنابراین مقدار DOC مطابق رابطه ۴ برابر است با:

جدول ۳- جمعیت استان البرز و پسماند تولیدی در لندفیل حلقه‌دره برحسب تن

| سال                      | ۲۰۱۵     | ۲۰۱۶      | ۲۰۱۷      | ۲۰۱۸      | ۲۰۱۹      |
|--------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| جمعیت                    | ۲۷۱۲۴۰۰  | ۲۷۷۶۶۸۴   | ۲۸۴۲۲۸۷   | ۲۹۰۹۶۴۹   | ۲۹۷۸۶۰۷   |
| پسماند تولیدی (ton/year) | ۶۹۳۰۱۸/۲ | ۷۰۹۴۴۲/۷۶ | ۷۲۶۴۰۲/۳۲ | ۷۴۳۴۱۵/۳۱ | ۷۶۱۰۳۴/۰۸ |



شکل ۳- نمودار تولید گاز متان برحسب متر مکعب به ازای هر تن پسماند

جدول ۴- تولید پنج ساله گاز متان با استفاده از مدل IPCC برحسب متر مکعب به ازای هر تن پسماند

| سال       | ۲۰۱۵    | ۲۰۱۶    | ۲۰۱۷    | ۲۰۱۸    | ۲۰۱۹    |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| جمعیت     | ۲۷۱۲۴۰۰ | ۲۷۷۶۶۸۴ | ۲۸۴۲۲۸۷ | ۲۹۰۹۶۴۹ | ۲۹۷۸۶۰۷ |
| تولید گاز | ۵۲/۰۷   | ۵۳/۵۱   | ۵۴/۹۷   | ۵۶/۴۵   | ۵۷/۹۶   |

تأسیس تا سال ۲۰۱۹ است. برای محاسبه نرخ انتشار گاز متان و استفاده از این نرخ در مدل AERMOD، باید واحد به گرم بر ثانیه (gr/s) تبدیل شود. بنابراین نرخ انتشار گاز متان برابر ۰/۷۵ gr/s است.

**انتشار گاز با مدل AERMOD:** گلباد منطقه در بازه زمانی مورد مطالعه مطابق شکل ۴ است؛

با توجه به گلباد منطقه جهت باد غالب شمال غربی است، انتظار می‌رود که گاز متان به سمت شمال غرب پراکنش داشته باشد، ولی همان‌طور که شکل ۵ مشاهده می‌شود گاز متان بیشتر به سمت شمال غربی، جنوب و جنوب شرقی پراکنش دارند که به دلیل اختلاف ارتفاع در منطقه، تاثیر سایر بادهای و انتشار گاز متان از محل‌های متفاوت لندفیل است. به علت فقدان استاندارد گاز متان در لندفیل نتایج حاصل از مدلسازی AERMOD به‌صورت بازه‌های زمانی ۱ و ۲۴ ساعته است که در شکل ۵ ارائه شده است؛

با توجه شکل ۵ (الف)، بیشترین غلظت گاز متان در بازه

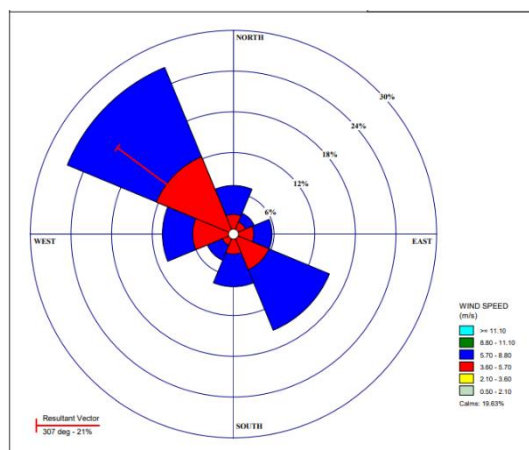
$$DOC = 0.4 \times 8.01 + 0.16(71.76 + 0) + 0.3 \times 0.51 = 14.98$$

با توجه به رابطه ۵،  $DOC_F$  برابر با ۰/۷۷ است.

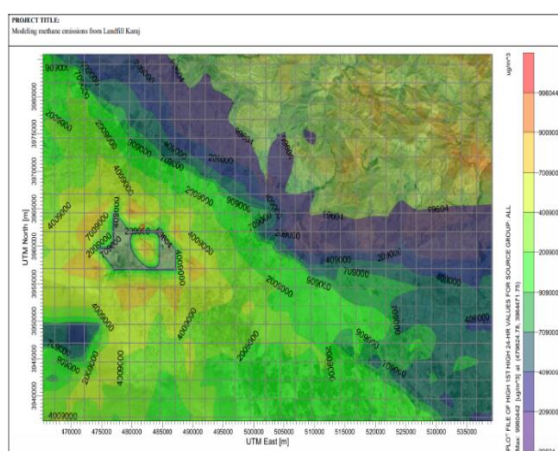
$$DOC_F = 0.014 \times 35 + 0.28 = 0.77$$

با توجه به نتایج به‌دست آمده از روابط بالا و همچنین سرانه تولید پسماند و جمعیت استان البرز نتایج حاصل از مدل‌سازی تولید گاز متان در لندفیل حلقه‌دره مطابق شکل ۲ است؛ جمعیت استان البرز و میزان تولید پسماند در لندفیل حلقه‌دره در سال‌های مورد مطالعه بر اساس جدول ۳ و برحسب تن پسماند در سال است؛

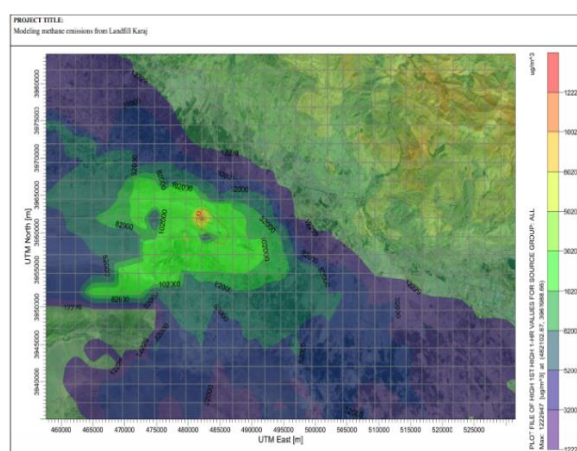
شکل ۳ میزان گاز تولید شده بر اساس مدل IPCC در لندفیل حلقه‌دره را از ابتدای تأسیس تا سال ۲۰۱۹ نشان می‌دهد که هدف پژوهش برآورد میزان گاز متان تولید شده در بازه زمانی پنج ساله مورد مطالعه (۲۰۱۵-۲۰۱۹) می‌باشد، به‌همین ترتیب این میزان گاز تولیدی در جدول ۴ برحسب متر مکعب به ازای تن پسماند است. شکل ۳ نشان‌دهنده روند صعودی تولید متان لندفیل از ابتدای



شکل ۴- گلباد پنج ساله ایستگاه هواشناسی کرج



ب



الف

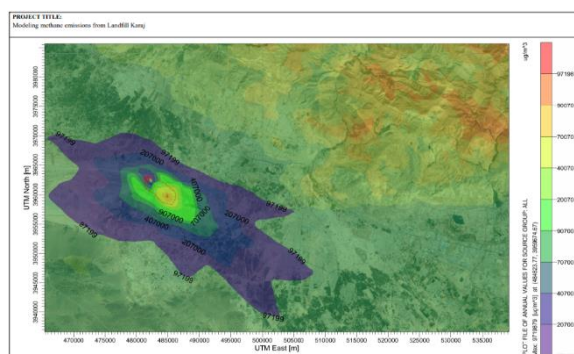
شکل ۵- پهنه‌بندی انتشار گاز متان در بازه زمانی یک ساعته (الف) و ۲۴ ساعته (ب)

بیشینه غلظت در این بخش به علت وجود توپوگرافی در اطراف، بیشتر بودن ارتفاع در جهت فوق و سرعت قابل ملاحظه باد غالب در این منطقه است. مرکز تجمع آلاینده‌ها در بازه زمانی ۲۴ ساعته، در مرکز لندفیل و اطراف لندفیل به سمت جنوب است.

شکل ۶ منحنی‌های هم‌تراز غلظت گاز متان حاصل از مدل AERMOD در لندفیل حلقه‌دره را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، بیشترین و کمترین غلظت گاز متان در بازه پنج ساله به ترتیب ۷۱۹/۸۷ و ۹۷/۱۹ میلی گرم بر متر مکعب است. و با توجه به جهت باد غالب مطابق گلباد (شکل ۴) قسمت اعظم انتشار گاز متان در جهت شمال غربی و جنوب شرقی است. شکل ۶ اثر تجمعی گاز متان در بازه زمانی پنج ساله می‌باشد که شامل میانگین‌های ۱، ۳، ۸ و ۲۴ ساعته

زمانی یک ساعته در مرکز لندفیل و به سمت غرب و جنوب شرقی است. بیشترین و کمترین غلظت متوسط یک ساعته گاز متان به ترتیب ۲۲۲/۹۵ و ۱۲/۲۲ میلی گرم بر متر مکعب است. با توجه به اعداد بزرگ همه واحدها از میکروگرم بر مترمکعب به میلی گرم بر مترمکعب تبدیل شد. دلیل رخداد بیشینه غلظت در این بخش به علت وجود توپوگرافی پیچیده در اطراف، بیشتر بودن ارتفاع در جهت غربی و سرعت قابل ملاحظه باد در این منطقه است. مرکز تجمع گاز متان در لندفیل و اطراف لندفیل به سمت غرب است. و با توجه شکل ۵ (ب)، بیشترین غلظت گاز متان در بازه زمانی ۲۴ ساعته در مرکز لندفیل و به طور تقریباً برابر در مرکز و اطراف لندفیل است. بیشترین و کمترین غلظت ۲۴ ساعته گاز متان ۹۶۰/۴۴ و ۹۹/۶ میلی گرم بر متر مکعب است. دلیل رخداد





شکل ۶- پهنه‌بندی پنج ساله انتشار گاز متان

نتایج مدل‌سازی انجام شده با استفاده از مدل AERMOD و داده‌های هواشناسی پنج ساله در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که میزان تولید گاز متان قابل توجه است و سطوح غلظت متان منتشر شده از لندفیل حلقه‌دره برای همسایگانی که در نزدیک‌ترین فاصله از لندفیل در پایین‌دست جهت وزش باد غالب قرار دارند، مشکل‌ساز شده است و با توجه به پارامترهای جهت وزش باد، شعاع پراکنش و فصول سال مرکز تجمع آلاینده‌ها که آسیب‌پذیرترین منطقه در لندفیل می‌باشد، سلول فعال دفن و حوضچه‌های شیرابه و تبخیر تعیین شدند. بیشترین میزان تولید و انتشار گاز متان از سلول فعال دفن می‌باشد. همچنین بیشینه و کمینه گاز متان در دوره پنج ساله برابر ۷۱۹/۸۷ و ۹۷/۱۹ میلی گرم بر متر مکعب به‌دست آمد.

از دلایل پراکنش گاز متان در جهات مختلف می‌توان جهت و سرعت باد غالب، توپوگرافی منطقه و تأثیر کم بادهای فرعی را نام برد (Gibson et al., 2013). همچنین نتایج نشان داده است مدل انتشار AERMOD یک مدل مناسب برای تعیین متوسط غلظت ساعتی و سالانه متان از منابع انتشار سطحی (بخش فعال لندفیل مورد مطالعه) می‌باشد (Wijaya et al., 2021). همچنین تلاطم جوی در لندفیل مورد مطالعه و ارتفاع لندفیل از سطح زمین در جهت پراکنش گاز متان تأثیر زیادی دارد (Bel Hadj et al., 2020). بررسی کیفیت هوا در محدوده مورد مطالعه نیز نشان داد که مدل انتشار AERMOD یک مدل مناسب برای تعیین متوسط غلظت ساعتی و سالانه متان از منبع

است. این پهنه‌بندی نشان می‌دهد میزان انتشار گاز متان از جهت جنوب شرقی به شمال غربی در حال افزایش است. با توجه به اینکه متان گازی قابل اشتعال و انفجار است و غلظت بالای این گاز در بعضی بخش‌های لندفیل مانند سلول دفن فعال که به‌صورت میدانی خروج گاز با فشار زیاد از سطح سلول فعال دفن مشاهده شد، حوضچه‌های تبخیر شیرابه، سلول‌های قدیمی، حوض‌های شیرابه و به مقدار کمتر در محل کارخانه تصفیه و MRF و کارخانه کمپوست می‌تواند خطرآفرین و مستعد انفجار و آتش‌سوزی باشد که در چند سال پیش هم طبق بیان کارکنان لندفیل این اتفاق افتاده است.

## بحث و نتیجه‌گیری

انتشار گازها از لندفیل یکی از معضلات مهم بوده و امروزه با توجه کاهش منابع انرژی، کنترل و جمع‌آوری این گازها به لحاظ بهداشتی و جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج حاصل از مدل‌سازی IPCC نشان داد در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ حدود ۳۶۳۳۱۱۴/۷ تن پسماند در لندفیل دفن گردید که کل گاز تولیدی از آن در طول بازه زمانی مورد مطالعه با استفاده از مدل IPCC در حدود ۲۷۴/۹۶ متر مکعب به ازای هر تن پسماند برآورد گردید، به عبارت دیگر ۳۰٪ از کل مواد دفن شده به گاز تبدیل خواهد شد. از نکات منفی مدل IPCC می‌توان به عدم محاسبه همه اجزای ترکیب پسماند اشاره کرد، بنابراین مدل درجه اول بسیار دقیقی نیست. با توجه به

ارزیابی و بررسی پراکنش انتشار گاز متان باشد (Gollapalli and Kota, 2018). Figueroa و همکاران (۲۰۰۸)، به بررسی بوی ناشی از لندفیل با استفاده از پراکنش گاز متان به عنوان جایگزین بو در مدل AERMOD پرداخت، مدیریت بو نیازمند پیش‌بینی دقیق‌تر و قابل تکرار است. ایشان توسعه سال اول غلظت بو در لندفیل شهر مورد مطالعه را با استفاده از AERMOD در راستای ایجاد یک روش قابل اطمینان و قابل تکرار برای تعیین کمیت مناطق بافر بو در ایالت فلوریدا مدل‌سازی می‌کند، برخی از نتایج این بررسی عبارتند از: (۱) یک روش برای پیش‌بینی غلظت بوی با استفاده از پراکنش گاز متان به عنوان جایگزینی برای انتشار بو بکار گرفته شده، (۲) یک روش برای ایجاد مناطق بافر بو در اطراف لندفیل ثابت شده است. این روش از مدل AERMOD برای برآورد پراکنش گاز متان در فواصل مختلف از لندفیل با توجه به محدودیت تشخیص بو استفاده می‌کند و (۳) یک منطقه بافر بو براساس حدود تشخیص پراکنش گاز متان در مدل AERMOD برای لندفیل توسعه یافت (Figueroa et al., 2008).

انتشار سطحی می‌باشد. در مجموع با توجه به ارزیابی پیش‌بینی‌های صورت گرفته، می‌توان عملکرد مدل AERMOD را در پیش‌بینی پراکنش گاز متان قابل قبول دانست، به‌طوری که می‌توان از مدل پراکنش AERMOD به عنوان یک ابزار علمی مناسب برای تجزیه و تحلیل استراتژی‌های کنترل و سیاست‌گذاری کاهش و پیشگیری از آلودگی مناطق اطراف لندفیل استفاده نمود. علاوه بر این کنترل گاز متان از طریق طراحی دقیق لندفیل بهداشتی، استفاده از سیستم جمع‌آوری گاز، مکان‌یابی صحیح و توسعه لندفیل با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی و شرایط اقلیمی در منطقه و استفاده از تجهیزات استاندارد برای جلوگیری از انتشار گاز متان قابل اجرا می‌باشد. بنابراین سیاست‌های خاص کنترل انتشار گاز متان، در لندفیل لازم و ضروری می‌باشد، همچنین پایش انتشار گاز متان در لندفیل در راستای کنترل و جمع‌آوری گاز متان امری مفید می‌باشد و با توجه به اینکه غلظت گاز متان در لندفیل حلقه‌دره در هر زمان پایش نمی‌شود، استفاده از مدل AERMOD می‌تواند سریع‌ترین و مفیدترین راه برای

## References

- Abdul-Wahab, S.A., Al-Hajri, A., Yetilmezsoy, K., 2016. Impact of the ambient air quality due to the dispersion of non-methane organic compounds from Barka Landfill. International journal of Environmental Science and Technology 13(4), 1099-1108.
- Anshassi, M., Sackles, H., Townsend, T.G., 2021. A review of LCA assumptions impacting whether landfilling or incineration results in less greenhouse gas emissions. Resources, Conservation and Recycling 174, 105810.
- Asadollahfardi, G., Zangooei, H., Aria, S., 2016. Predicting PM 2.5 concentrations using artificial neural networks and Markov chain, a case study Karaj City. Asian Journal of Atmospheric Environment 10(2), 67-79.
- Bel Hadj Ali, N., Abichou, T., Green, R., 2020. 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 70(4), 410-424.
- Bhardwaj, K.S., 2005. Examination of sensitivity of land use parameters and population on the performance of the AERMOD model for an urban area (Doctoral dissertation, University of Toledo).
- Cooper, C.D., Alley, F.C., 2010. Air pollution control: A design approach. Waveland press.
- Cossu, R., Morello, L., Raga, R., Cerminara, G., 2016. Biogas production enhancement using semi-aerobic pre-aeration in a hybrid bioreactor landfill. Waste management 55, 83-92.

- De Abreu, F.V., Avelino, M.R., 2011. Technical and economical feasibility analysis of energy generation through the biogas from waste in landfill. *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels* 2(6), 95-102.
- Devadoss, P.M., Agamuthu, P., Mehran, S.B., Santha, C., Fauziah, S.H., 2021. Implications of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in Malaysia and the way forward. *Waste Management* 119, 135-144.
- Figuerola, V.K., Cooper, D., Mackie, K.R., 2008. Estimating landfill greenhouse gas emissions from measured ambient methane concentrations and dispersion modeling. In 2008 AWMA Annual Conference, Portland, Oregon, Paper (No. 327).
- Gibson, M.D., Kundu, S., Satish, M., 2013. Dispersion model evaluation of PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> from point and major line sources in Nova Scotia, Canada using AERMOD Gaussian plume air dispersion model. *Atmospheric Pollution Research* 4(2), 157-167.
- Gollapalli, M., Kota, S.H., 2018. Methane emissions from a landfill in north-east India: Performance of various landfill gas emission models. *Environmental Pollution* 234, 174-180.
- Heckel, P.F., LeMasters, G.K., 2011. The use of AERMOD air pollution dispersion models to estimate residential ambient concentrations of elemental mercury. *Water, Air, & Soil Pollution* 219(1-4), 377-388.
- IPCC., 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories: intergovernmental panel on climate change. Waste, vol 5. IGES.
- Khoshmaneshzadeh, B., Moradi Ghasabadi, B., Firouz Bahrami, M., 2021. Evaluation and prioritization of municipal waste disposal methods; (case study: Karaj municipality waste management organization). *Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation* 2(5), 198-205.
- Mohseni, N., Omrani, G.A., Harati, S.A.N., 2020. Potential prediction of Methane production from landfill in Iranian metropolises (Tehran, Shiraz, Mashhad, Esfahan, Karaj). *Sustainability, Development & Environment* 1(2), 35-49.
- Mønster, J., Samuelsson, J., Kjeldsen, P., Scheutz, C., 2015. Quantification of methane emissions from 15 Danish landfills using the mobile tracer dispersion method. *Waste Management* 35, 177-186.
- Penteado, R., Cavalli, M., Magnano, E., Chiampo, F., 2012. Application of the IPCC model to a Brazilian landfill: First results. *Energy Policy* 42, 551-556.
- Porter, R. C., 2004. Predicting Short Term Odor Impacts Using AERMOD and CALPUFF. In *Odors and Air Pollutants Conference 2004* (pp. 151-162). Water Environment Federation.
- Sanphoti, N., Towprayoon, S., Chaiprasert, P., Nopharatana, A., 2006. The effects of leachate recirculation with supplemental water addition on methane production and waste decomposition in a simulated tropical landfill. *Journal of Environmental Management* 81(1), 27-35.
- Sohoo, I., Ritzkowski, M., Kuchta, K., Cinar, S.Ö., 2021. Environmental sustainability enhancement of waste disposal sites in developing countries through controlling greenhouse gas emissions. *Sustainability* 13(1), 151.
- Khebri, Z., Mousavian Nadoushan, N.S., Nezhadkurki, F., Mansouri, N., 2014. Effect of digital elevation model in air pollution modeling using AERMOD. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* 4(4), 25-33.
- Wijaya, S. P., Ainun, S., Permadi, D.A., 2021. Methane Emission Estimation and Dispersion Modeling for a Landfill in West Java, Indonesia. In *Journal of the Civil Engineering Forum* 7(3), 239-252.
- Zou, B., Zhan, F.B., Wilson, J.G., Zeng, Y., 2010. Performance of AERMOD at different time scales. *Simulation Modelling Practice and Theory* 18(5), 612-623.

## Methane dispersion from Halgheh-Dareh Using IPCC and AERMOD hybrid approach

Ehsan Mohammad Hassani, Mazaher Moeinaddini\*, Reza Rafiee

Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resource, University of Tehran, Karaj, Iran

\*Corresponding author: moeinaddini@ut.ac.ir

### Abstract

Population growth and urbanization lead to mass production of waste. When municipal solid waste is landfilled, complex biological, chemical, and physical reactions occur that lead to greenhouse gas emissions. Methane is an important greenhouse gas, and the concentration of methane in the atmosphere is about 200 times lower than the concentration of di Is carbon monoxide, however, methane accounts for about 20% of heating. Emission of methane gas into the atmosphere will cause destructive environmental phenomena that reduce the stratospheric ozone of the ozone layer and over time increase the Earth's temperature. First, using the IPCC model, the amount of methane production in the Landfill of Halghe-Darreh in the study period from the beginning of 2015 to the end of 2019 is calculated and equal to 274.98 thousand tons of waste per year and the emission rate of methane gas in the landfill using the IPCC model. In the above time period is equal to 0.75 (g / sec). Then, the distribution of methane gas over a period of five years was investigated using the AERMOD model. The results showed that the distribution of methane gas with the AERMOD model for the whole landfill in the studied period in the northwest and southeast direction Around Landfill). Also, the maximum and minimum methane gas concentrations in the five-year period were 719.87 and 97.19 mg / cubic meter. Therefore, using two models, IPCC and AERMOD, the production and distribution of methane gas were calculated and the filling map up to 50 km of landfill was drawn.

**Keywords:** Dispersion, Landfill, Greenhouse gas, Modeling, Waste