

مدیریت گاز تولیدی در محل های دفن زباله

شقایق افشار، کارشناس ارشد مدیریت محیط زیست،
کارشناس محیط زیست انسانی اداره کل محیط زیست خوزستان
shaghayegh24@yahoo.com

چکیده

افزایش روز افزون جمعیت و رشد شهرنشینی و به تبع آن گسترش واحدهای صنعتی، باعث افزایش تولید مواد زائد و آلاینده گردیده است. با توجه به محدودیت های اقتصادی و تکنولوژیکی، امکان بازیافت همه زباله ها میسر نیست و دفن زباله به عنوان یک راه حل عمومی همچنان متداول ترین روش دفع زباله های شهری در جهان است. قسمت عمده گازهای تولیدی محل های دفن، شامل متان و دی اکسید کربن می باشد که در صورت عدم کنترل می تواند مشکل آفرین شود. تجارب عملی بیانگر این موضوع است که گازهای تولیدی محل های دفن، قادرند به صورت موفق با سایر منابع انرژی جایگزین شوند. این گازها، پس از بازیافت و بهبود خواص، می توانند جهت استفاده مستقیم در صنعت، تامین انرژی توربین های گازی، موتورهای احتراق داخلی، پیل های سوختی، میکروتوربین ها، تبدیل متان به متیل الکل مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می توان پس از تصفیه و پالایش کافی، از طریق خطوط لوله به عنوان منبع سوخت در منازل و صنایع از آن استفاده نمود. روش های مختلفی برای پایش گاز لندفیل وجود دارد که عمده ترین آنها روش جذب مادون قرمز (Infra Red Absorbtion) و سل های الکتروشیمیایی (Electrochemical Cell) می باشند که با استفاده از این روش ها می توان گازهای متان، دی اکسید کربن، اکسیژن، مونو اکسید کربن، سولفید هیدروژن و برخی دیگر از گازها را آنالیز نمود. با توجه به مزایا و معایب استفاده از LFG، کاهش استفاده از منابع و کاهش تولید پسماند و اجتناب از تولید این گاز، اولویت اول مدیریت LFG محسوب می شود.

کلمات کلیدی

زباله، LFG، جذب مادون قرمز، سل الکتروشیمیایی، پایش

۱. کلیات

۱.۱. گاز لندفیل و ترکیبات آن

در سرتاسر اروپا سالانه بیشتر از ۱۰۰ میلیون تن پسماند در لندفیل ها دفن می شود. پسماندهای موجود در لندفیل شامل مواد با تنوع وسیعی می باشند، اما قسمت عظیمی از آنها قابل تجزیه زیستی هستند. این مواد شامل فضولات دامی، مواد گیاهی، کاغذ و چوب می باشد. این مواد توسط میکرو ارگانیسم ها در لندفیل تجزیه می شوند و در این فرآیند تفکیکی، گاز تولید می شود.

گاز لندفیل (LFG) به طور طبیعی توسط تجزیه و پوسیدگی مواد آلی (که به عنوان بیومس شناخته می شوند) در لندفیل ها ایجاد می شود. لازم به ذکر است تقریباً ۶۰ در صد زباله های شهری بازیافت نشده، مواد آلی هستند . متان و دی اکسید کربن هر دو جزء گازهای گلخانه ای هستند که در پدیده گرمایش جهانی نقش مهمی دارند. متان که تقریباً ۵۵ در صد از LFG را شامل می شود ، ۲۳ برابر بیشتر از دی اکسید کربن پتانسیل گرمایش جهانی دارد و اگر چه پراکنش جهانی آن کمتر از دی اکسید کربن است ، اما توان بالای متان به عنوان یک گاز گلخانه ای ، آن را به عنوان دومین گاز گلخانه ای مهم که از فعالیت های انسانی منشاء می گیرد، مشخص کرده است.

گاز لندفیل مخلوطی از گازهای مختلف می باشد، اما گازهای کمی غالب هستند . متان (CH_4) و دی اکسید کربن (CO_2) گازهای اصلی هستند اما میزان گاز هیدروژن (H_2) نیز می تواند مهم باشد. متان در خلال بخش اصلی فرآیند تخمیر و تجزیه تولید می شود. گازهای دیگر زیادی با مقادیر ناچیز و ترکیب دقیق از گاز ، که در لندفیل های مختلف و در بخش های مختلف یک با تنوع بالا در طول زمان ، تولید می شوند . در جدول زیر ترکیبات به طور نمونه نشان داده شده است.

جدول شماره ۱: ترکیبات اصلی گاز لندفیل

ردیف	ترکیب	مقدار (در صد)
۱	متان	۶۴
۲	دی اکسید کربن	۳۴
۳	اکسیژن	۰/۱۶
۴	نیتروژن	۲/۴
۵	هیدروژن	۰/۰۵
۶	منواکسید کربن	۰/۰۰۱
۷	اتان	۰/۰۰۵
۸	هیدروکربن های اشباع نشده	۰/۰۰۹
۹	ترکیبات هالوژنه	۰/۰۰۰۰۲
۱۰	سولفید هیدروژن	۰/۰۰۰۰۲

همانطور که در جدول نشان داده شد، گاز لندفیل در حدود ۶۰ درصد حاوی متان می باشد که میزان باقیمانده اساساً دی اکسید کربن (CO_2) است. همچنین گاز لندفیل حاوی مقادیر مختلفی از نیتروژن، بخار آب، سولفور و صدها نوع از آلاینده های دیگر می باشد که اغلب آنها به عنوان ترکیبات آلی غیر متانی یا NMOCs (Non Organic Compounds) نامیده می شوند.

Methane شناخته می شود. حضور آلاینده های غیر آلی (معدنی) نظیر جیوه نیز در گاز لندفیل مشاهده شده است. گاهی اوقات حتی آلاینده های رادیواکتیوی نظیر تریتیوم (هیدروژن رادیواکتیوی) در این گاز پیدا شده است. علاوه بر این ، LFG می تواند شامل مقادیر کم اما با اهمیت از ترکیبات آلی فرار (Volatile Organic Compounds: VOCs) و آلاینده های سمی و خطرناک سرطانزای هوا (Hazardous Air Pollutants : HAPs) باشد.

ترکیبات آلی غیر متانی اغلب کمتر از یک درصد از گاز لندفیل را تشکیل می دهند . EPA (آژانس حفاظت از محیط زیست - Environmental Protection Agency Of USA) در گزارش سال ۱۹۹۱ با عنوان « انتشارات ناشی از محل دفن پسماند های شهری در هوا- اطلاعات زمینه برای ارائه استانداردها و راهنماها » ، ۹۴ ترکیب آلی غیر متانی را شناسایی کرد. تعداد زیادی از این ترکیبات شیمیایی سمی نظیر بنزن، تولوئن، کلروفرم، وینیل کلراید، تتراکلرید کربن و ۱ و ۱ تری کلرو اتان می باشند. نهایتاً ۴۱ ترکیب از آنها، ترکیبات هالوژنی هستند . تعداد زیاد دیگری از آنها ترکیبات شیمیایی سمی غیر هالوژنی هستند. بررسی و تحقیق بیشتر در خصوص آلاینده های موجود در گاز لندفیل، صدها ترکیب مختلف آلی غیر متانی (NMOCs) دیگر را یافته است. زمانی که ترکیبات شیمیایی هالوژنه (مواد شیمیایی حاوی هالوژن ها- به طور نمونه کلرین، فلورین، برمین) در حضور هیدروکربن ها سوزانده می شوند، می توانند به ترکیبات بسیار سمی نظیر دی اکسین ها و فوران ها تبدیل شوند. دی اکسین ها و فوران ها ، سمی ترین ترکیبات شیمیایی هستند که تا به حال مورد مطالعه قرار گرفته اند. سوزاندن در دماهای بالا مشکل را حل نمی کند. زیرا دی اکسین ها در دماهای پایین شکل می گیرند و پس از سرد شدن گازها، بعد از فرایند احتراق نیز می توانند تشکیل شوند.

۲.۱. دی اکسین ها (Dioxin) چه هستند؟

دی اکسین ها به صدها ترکیب شیمیایی که جزو سه گروه نزدیک به هم زیر هستند ، گفته می شود :

- ۱) دی بنزو پی دی اکسین های کلرینه (Chlorinated dibenzo-p-dioxins) (CDDs)
- ۲) دی بنزو فوران های کلرینه (Chlorinated dibenzofurans) (CDFs)
- ۳) بی فنیل های پلی کلرینه (Polychlorinated biphenyls) (PCBs)

دی اکسین ها در اثر فرآیند تعدادی از صنایع شامل فرآیند های احتراق نظیر سوزاندن پسماندهای شهری و صنعتی و مراکز ذوب ثانویه مس در هوا منتشر می شوند. حتی سیگار هم به مقدار بسیار کم دی اکسین تولید می کند. قرار گرفتن در معرض مقادیر بالای دی اکسین ها خطر ابتلا به سرطان را افزایش می دهد. همچنین می تواند موجب بیماری ها ی شدید پوستی، افزایش بیش از اندازه موهای بدن و احتمالاً آسیب های کبدی شود . بر اساس مطالعات انجام شده بر روی حیوانات، این نگرانی نیز وجود دارد که قرار گرفتن در معرض مقادیر پایین دی اکسین ها در دوره های زمانی طولانی (یا مقادیر بالا در زمان های حساس) بر روی میزان رشد و تولید مثل تاثیر داشته باشد. دی اکسین ها برای سلامت انسان ها بسیار خطرناک هستند زیرا می توانند به فواصل خیلی طولانی منتقل شوند و نیز به کندی تجزیه می شوند.

۳.۱. انتشار دی اکسین ها از گاز لندفیل

گزارش پیش نویس فهرست دی اکسین های EPA شامل یک بخش با عنوان اطلاعات احتراق LFG که بین سال های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۶ جمع آوری شده است ، می باشد. فقط مطالعه مربوط به آمریکا در این گزارش در سال ۱۹۹۰ به اجرا در آمد و یک فاکتور انتشار از خروجی گاز احتراق به میزان $0.24 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ را نشان داد. (توضیح : I-TEQ و TEQ بخش های تعادلی سمیت هستند که اجازه می دهند مقادیر مختلفی از آلاینده ها بر اساس مواد سمی وابسته ، به یکدیگر اضافه شوند و یک سمیت کل از مجموع آلاینده های ایجاد کنند) .

EPA میانگینی با یک فاکتور انتشار پایین تر از $0.041 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ از یک مطالعه دیگر نشان داد، تا به میانگین فاکتور انتشاری معادل $0.141 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ دست پیدا کند. با استفاده از این میانگین، EPA میزان انتشار سالیانه دی اکسید ها ناشی از احتراق گاز لندفیل در آمریکا را 6.6 g I-TEQ/m^3 تخمین زد. اما نتیجه گرفت که اطلاعات محدود موجود، برای تخمین انتشار در سطح ملی (کشور ایالات متحده آمریکا) ناکافی است. در سایر مطالعات اخیر در خصوص انتشار دی اکسید ها اگر چه مقادیر به دست آمده به طور کلی پایین تر بودند، اما نتایج گوناگونی نشان داده شده است، اداره بهداشت نواحی لس آنجلس (LACSD) به عنوان مرجع انجام آزمایشات بر روی سه دیگ بخار که با استفاده از گاز لندفیل کار می کنند، نتایجی را بین $0.01 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ تا $0.04 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ را منتشر کرد. نتایج آزمایشات لندفیل های اروپایی تغییر پذیری بیشتری را نشان می دهند. مطالعه ای که در این خصوص در لندفیل Fresh Kills در ریویورک انجام شده است نشان می دهد که مشعل LFG در لندفیل Fresh Kills به طور میانگین $0.0051 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ منتشر می کند.

۲. روشهای کنترل و پایش گاز لندفیل

۱.۲. مقایسه گاز لندفیل با گاز طبیعی

همانند گاز طبیعی، ارزش حرارتی سوخت حاصل از گاز لندفیل (LFG: Landfill Fuel Gas) تا حد زیادی از متان ناشی شده است، اما بر خلاف گاز طبیعی LFG شامل حدود ۵۰ درصد گاز غیرقابل احتراق، (بیشتر دی اکسید کربن) می باشد. LFG به عنوان یک گاز با (British Thermal Unit) Btu متوسط با ارزش حرارتی حدود 500 Btu فوت مکعب، که تقریباً نصف ارزش حرارتی گاز طبیعی است، طبقه بندی شده است. بنابراین میزان LFG برای سوخت به کار می رود، دو برابر گاز طبیعی است. این مساله به این معناست که گاز حاصل از لندفیل به عنوان سوخت، در مقایسه با میزان معادل ارزش حرارتی گاز طبیعی به تصفیه بیشتری نیاز دارد.

۲.۲. اثرات زیست محیطی گاز لندفیل

اثرات زیست محیطی ناشی از گاز محل های دفن زباله یا پیامدهای مجاور خود لندفیل ها همانند پیامدهای کارایی زمین و اثر بر آب های سطحی و زیرزمینی آغاز می شوند. به طور کلی اثرات زیست محیطی گاز لندفیل عبارتند از:

- * ایجاد بوهای نامطبوع
- * آلودگی آب های زیر زمینی و گاهاً سطحی
- * انتشار گازهای آلاینده
- * تاثیر در پدیده گرمایش جهانی از طریق تولید گاز متان
- * خسارت به گیاهان
- * احتمال بروز آتش سوزی و انفجار در محل دفن

استفاده از گاز حاصل از لندفیل ها می تواند اثرات زیست محیطی خطرناکی را که از عملکرد لندفیل ها ناشی می شود را کاهش دهد. تولید انرژی الکتریکی از گاز حاصل از محل های دفن زباله (لندفیل) مزایایی را برای کیفیت هوا عرضه می کند. چه در مورد لندفیل های جدید و چه در مورد تصمیم گیری برای اصلاح لندفیل هایی که قبلاً ساخته شده اند. یک نیروگاه گازی لندفیلی (بیوگازی)، متان زائد را می سوزاند. گاز متانی که در غیر اینصورت یا در اتمسفر آزاد می شود و یا در فرآیند شعله ور (Flaring) سوزانده می شود.

۳.۲. روش های کنترل گاز لندفیل

انتخاب های عمومی در ارتباط با گاز لندفیل موارد زیر می باشد:

(۱) سوزاندن در فلر

- (۲) استفاده در دیگ بخار- ایجاد حرارت
- (۳) استفاده در موتور احتراق داخلی- تولید الکتروسیسته
- (۴) استفاده توربین های گازی- تولید الکتروسیسته
- (۵) استفاده در پیل های سوختی- تولید الکتروسیسته
- (۶) تبدیل متان به متیل الکل
- (۷) پالایش آن به میزان کافی و لوله کشی به سایر صنایع و در خطوط گاز طبیعی
- (۸) تکنولوژی میکروتوربین ها

۱.۳.۲. مشعل ها (فلرها) :

سوزاندن گاز لندفیل هم در مشعل شمعی و هم در مشعل پوششی انجام می گیرد. یک مشعل شمعی، یک شعله هوای آزاد می باشد. به این معنی که این روش برای پایش انتشار دی اکسین ها یا سایر مواد سمی قابل اطمینان و معتبر نمی باشد. مشعل های پوشش دار، شعله را در یک پوشش استوانه ای عایق دار که در همه جا می تواند از ۱۶ تا ۶۰ فوت ارتفاع وجود داشته باشد، دربر می گیرند. در صورتی که دی اکسین ها بتوانند در این مشعل ها آزمایش شوند، این مساله امکان پذیر است که پوشاندن مشعل می تواند دمای احتراق را در دامنه تشکیل دی اکسین نگه دارد، در نتیجه انتشار دی اکسین ها افزایش پیدا می کند. در واقع این وضعیت باخت- باخت است. این مسئله باید مورد توجه قرار بگیرد که برخی مشعل های پوشش دار در گاز لندفیل دمایی در حدود ۱۴۰۰ درجه فارنهایت را خارج می کند در حالیکه دامنه تشکیل دی اکسین ها در ۷۵۲ درجه فارنهایت پایان می یابد. در اینچنین مواردی، دی اکسین ها، به دلیل برخورد گاز خروجی به هوای سرد اطراف، پس خروج از دودکش ایجاد می شود.

۲.۳.۲. دیگ های بخار :

دیگ های بخار از جمله ارزان ترین انتخاب ها هستند. آنها گرما تولید می کنند نه الکتروسیسته. دیگ های بخار عموماً نسبت به آلاینده های گاز لندفیل کمتر حساس هستند و از این رو از سایر گزینه ها به پالایش کمتری نیاز دارند. دیگ های بخار (Boilers) پائین ترین میزان انتشار NOx و مونواکسیدکربن را در میان تکنولوژی های احتراق دارند. گاز ناشی از لندفیل، توسط لوله کشی گاز به صنایع و کارخانجات محلی آورده می شود. هرچند که LFG مورد استفا ده بویلرها نیازمند تصفیه و پالایش زیادی نیست، اما خطوط لوله حتماً به مقداری تصفیه در گاز نیازمندند، زیرا ترکیبات موجود در گاز (مخصوصاً اسیدها و سولفید هیدروژن - H₂S) می توانند به خطوط لوله آسیب برسانند.

۳.۳.۲. موتورهای احتراق داخلی :

موتورهای احتراق داخلی آلوده ترین تکنولوژی سوزاندن گاز لندفیل هستند. آنها بیشترین میزان انتشار مونواکسیدکربن و NOx را دارند و می توانند بزرگترین منبع دی اکسین ها در بین تکنولوژی های موجود می باشند.

۴.۳.۲. توربین های گازی :

توربین های گاز از نظر انتشار مونواکسیدکربن و NOx در شرایط میانی هستند. در خصوص انتشار دی اکسین ها از توربین های گازی لندفیلی اطلاعات کافی وجود ندارد، در نتیجه هیچگونه مقایسه ای در این خصوص میسر نمی باشد.

۵.۳.۲. پیل های سوختی :

پیل های سوختی گران ترین تکنولوژی هایی هستند که تاکنون به صورت گسترده مورد آزمایش قرار گرفته اند. برای اینکه پیل های سوختی سمی و خطرناک نباشند، آلاینده های هالوژنیک باید پالایش و تصفیه شوند.

۶.۳.۲. تبدیل متان به متانول و یخ خشک :

یکی دیگر از کاربردهای LFG استفاده در فرآیند تبدیل متان حاصل از لندفیل به متیل الکل است. شرکت های زیادی خواستار تبدیل دی اکسید کربن موجود در گاز لندفیل به یخ خشک جهت فروش به صنایع هستند. آنها ادعا می کنند که در حقیقت دی اکسید کربن موجود در گاز لندفیل جهت بازیافت بسیار سودمند تر از متان می باشد

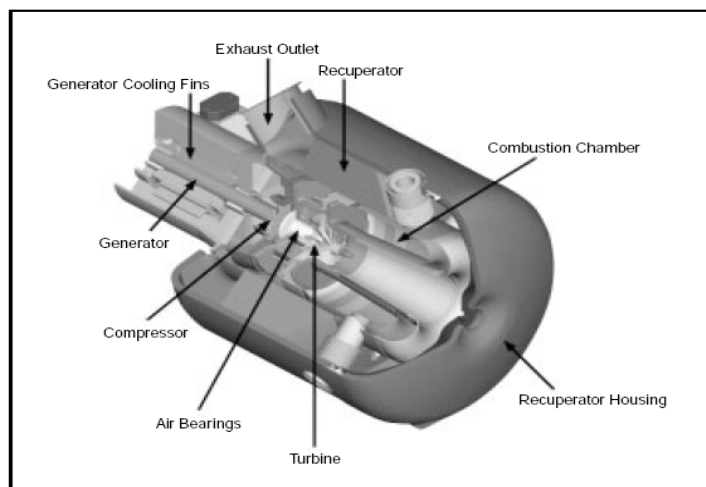
۷.۳.۲. تصفیه گاز لندفیل (با کیفیت خطوط لوله) :

به دللی اینکه مبالغ گاز طبیعی بسیار پایین است، استفاده از LFG همانند گاز طبیعی در آینده ، نزدیک مقرون به صرفه به نظر نمی رسد. همچنین این گاز نیازمند درجه بالایی از تصفیه و خلوص می باشد و اگر به اندازه کافی پالایش نشود، به دلیل اضافه کردن آلاینده های بیشتری به سیستم، کیفیت گاز طبیعی را پایین می آورد.

۸.۳.۲. تکنولوژی میکروتوربین ها :

تکنولوژی میکروتوربین ها بر اساس توربین های سوختی بزرگتری که در انرژی الکتریکی و صنایع هوایی بکار برده می شود، بنا نهاده شده است. میکروتوربین ها عموماً به روش های زیر کار می کنند:

- سوخت برای محفظه احتراق میکروتوربین ها ، با فشار زیر ۷۰ تا ۸۰ پوند بر اینچ (psig) تهیه شده است.
- هوا و سوخت در محفظه احتراق سوزانده می شود و حرارتی را که باعث سوختن گاز می شود، در فضا پخش می کند.
- گاز رها شده، توربین گازی را که ژنراتور را بصورت چرخشی بکار می اندازد، حرکت می کند و ژنراتور الکتریسیته تولید می کند.
- برای افزایش راندمان نهایی، میکروتوربین ها به یک بهبود دهنده که هوای احتراق را با استفاده از گاز خروجی از توربین گرم می کند، مجهز شده اند. یک میکروتوربین همچنین می تواند به یک بخش بازیافت حرارت مازاد به منظور گرم کردن آب تجهیز شود.



شکل شماره ۱: نمایی از برش عرضی یک میکروتوربین

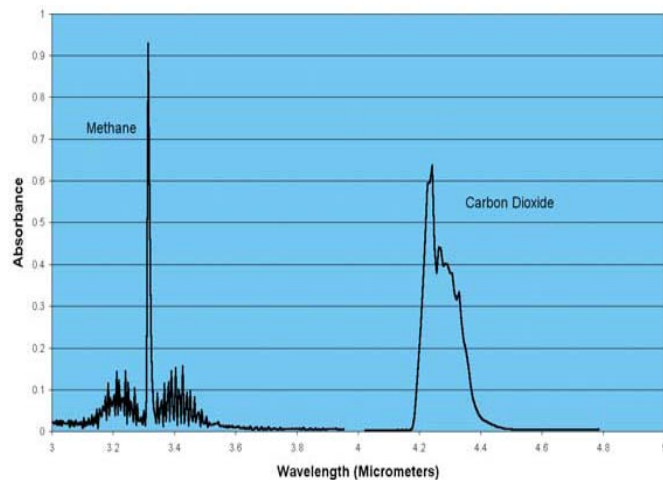
۴.۲. پایش گاز لندفیل (LFG Monitoring)

مشکل اول در راه پایش گاز لندفیل ، نمونه گیری از آن می باشد . گردانندگان لندفیل ها ، اغلب چاهک هایی را درون لندفیل ها حفر می کنند . این چاهک ها به عنوان نقاط جمع آوری گاز که می توانند برای آنالیز استخراج شوند ، عمل

می کنند. روش های زیادی برای آنالیز گاز می تواند مورد استفاده قرار بگیرد ، اما تقریباً همه آنها توسط مونیتورهای (پایشگر) قابل حمل (Portable) با طراحی هدفمند اجرا می شوند. این پایشگرها می توانند برای آنالیز متان، دی اکسید کربن ، اکسیژن ، مونوکسید کربن و سولفید هیدروژن بکار روند . روش هایی که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند، جذب مادون قرمز (Infra Red Absorption) و سل های الکتروشیمیایی (Electrochemical Cells) می باشند.

۱.۴.۲. جذب مادون قرمز (Infra Red Absorption)

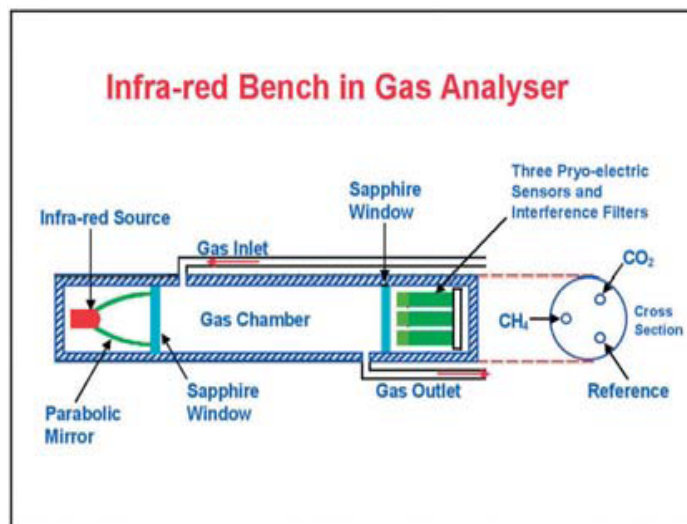
روش جذب مادون قرمز اغلب برای اندازه گیری میزان متان و دی اکسید کربن ترجیح داده می شود . بیشتر گازها ، اشعه را در ناحیه مادون قرمز جذب می کنند . طول موج اشعه ای که جذب می شود توسط فرکانس های نوسانات طبیعی مولکول ها تعیین می شود. این فرکانس های طبیعی به قدرت پیوندهای مولکولی ، اندازه و شکل مولکول ها و جرم اتم های درگیر بستگی دارند. بنابراین مولکول های گازهای مختلف ، فرکانس های مختلفی دارند و اشعه مادون قرمز را در طول موج های متفاوتی جذب می کنند. نمودار شماره زیر ، باندهای جذب متان و دی اکسید کربن را نشان می دهد.



نمودار شماره ۱: باندهای جذب متان و دی اکسید کربن

این ویژگی در روش جذب مادون قرمز برای انتخاب گازهای خاص برای آنالیز مورد استفاده قرار می گیرد . با استفاده از اشعه مادون قرمز از طول موج های یکسان به عنوان باندهای جذب ، تکنیک و روشی مخصوص می تواند ایجاد شود – یک ویژگی سودمند که یک گاز را در میان مخلوطی از گازها آنالیز می نماید. یک نمونه سل (Cell) مادون قرمز در شکل شماره ۸ نشان داده شده است. اشعه مادون قرمز از یک منبع از درون گاز عبور داده می شود تا گاز آنالیز شود. برخی از دتکتورهای (ردیاب، Detector) اشعه مادون قرمز برای اندازه گیری مقدار اشعه مادون قرمزی که از درون گاز عبور می کند ، طراحی شده اند . یک فیلتر که برای طول موج های مورد نظر تنظیم شده است در قسمت جلوی دتکتور قرار داده قرار داده شده است . این فیلتر موجب می شود که دتکتورهای مخصوص نسبت به گازهای مورد نظر حساس شوند . با استفاده از دتکتورهای مختلف با فیلترهای متفاوت ، تعداد زیادی از گازها به طور همزمان می توانند شناسایی شوند.

مقدار اشعه جذب شده می تواند متناسب با مسیر طی شده درون گاز و غلظت گاز باشد. زمانی که مسیر طی شده ثابت و مشخص باشد ، غلظت گاز قابل اندازه گیری خواهد بود . روش جذب مادون قرمز قدرتمند ، دقیق و با ثبات است . همچنین این روش به نگهداری و مراقبت دائمی نیاز ندارد و سل های مادون قرمز طول عمر بسیار طولانی دارند.



شکل شماره ۲ : شماتیک یک نمونه سل مادون قرمز

۲.۴.۲. سل های الکتروشیمیایی (Electrochemical Cells)

متاسفانه تمام مولکول های گازها باند جذبی مادون قرمز خوبی ندارند . برای اندازه گیری میزان اکسیژن ، منوکسیدکربن و سولفید هیدروژن از سل های الکتروشیمیایی استفاده می شود . این سل ها براساس واکنش های شیمیایی کار می کنند و می توانند برای ایجاد ولتاژی که متناسب با غلظت گاز مورد اندازه گیری باشد ، طراحی شوند . کاربرد سل های الکتروشیمیایی آسان است . هرچند که مشکلاتی با تداخل حساسیت دارند . به این صورت که این سل ها می توانند به سالی گازها بجز گازی که برای شناسایی آن طراحی شده اند نیز واکنش نشان دهند و این امر نتایج آنالیز را با خطا همراه خواهد کرد. این سل ها همچنین طول عمر محدودی در حدود دو سال دارند و پس از این مدت باید با سل های جدید تعویض شوند.

۳.۴.۲. مدل انتشار گاز لندفیل (Land GEM)

مدل انتشار گاز لندفیل (Land GEM) ، نسخه ۳.۰۲ ، ویرایش ۱۲ می ۲۰۰۵ ، یک ابزار خودکار برای تخمین میزان انتشار از محل های دفن مواد زائد جامد شهری (MSW Landfill) می باشد. این مدل توسط دفتر تحقیق و توسعه آزمایشگاه ملی مدیریت ریسک EPA و مرکز تکنولوژی ه وای پاک تهیه شده است . Land GEM می تواند برای تخمین گاز لندفیل کل (Total LFG) ، میزان تولید متان ، همچنین انتشار دی اکسید کربن ، ترکیبات آلی غیر متانی و آلایندگی های منحصر به فرد هوا مورد استفاده قرار بگیرد.

نتایج به دست آمده از این مدل می توانند بر ای تخمین متان قابل بازیافت موجود برای پروژه های استفاده از LFG به عنوان منبع انرژی (LFGE) به کار برده شوند.

۴.۴.۲. سهولت استفاده از پایشگر های LFG

پایشگرهای مدرن گاز لندفیل ، کارهایی بیشتر از اندازه گیری گازها انجام می دهند . با استفاده از قراردادهای اندازه گیری و برچسب های شناسایی می توان از آنها برای سنجش سوراخ ها و چاهک ها استفاده نمود . این پایشگرها کلیه مقادیر را به همراه تاریخ و زمان ثبت می کنند و این اطلاعات قابل انتقال و داندود در بانک اطلاعاتی (Data Base) به منظور

ذخیره سازی، بازیابی و تغییر اطلاعات می باشند. بسیاری از گردانندگان لندفیل ها پردازشگر و گزارش دهنده اتوماتیک برای اطلاعات دارند. این کارکرد به همراه قابلیت اندازه گیری دما، فشار و جریان گاز، آنالیزورهای گاز لندفیل را به یک ابزار مهم در پایش و مونیتورینگ لندفیل ها بدل کرده است.

۳. نتیجه گیری

با توجه به موارد گفته شده در خصوص کاهش مصرف منابع و بازیافت نسبت به دفن بهداشتی مواد زائد (Landfilling) و ضرورت جمع آوری LFG در لندفیل ها و اجرای پروژه های LFGE در آنها که در مجموع هزینه های اجتماعی، تقریباً مقرون به صرفه و اقتصادی هستند، این واقعیت مطرح است که در سیاست استفاده از LFG نقایصی وجود دارد که احتمالاً تا آینده هم ادامه خواهند داشت. شناسایی کلیه سیاست ها و خط مشی های حمایتی از روش دفن بهداشتی مواد زائد در مقابل کاهش استفاده از منابع و بازیافت، خارج از هدف و گستره این تحقیق می باشد، اما تصحیح این عدم تعادل یک هدف مهم برای کلیه افرادی است که در رابطه با LFG توجه و نگرانی دارند. به دلیل اینکه این مساله یک هدف بلند مدت می باشد و لندفیل های جدیدی در آینده احداث می شوند، زیست توده بیشتری دفن خواهد شد و در آینده، LFG کماکان به عنوان یک تهدید برای محیط زیست و جامعه خواهد بود، پیشنهادات حاضر، بر سیاست های کاهش اثرات LFG همگام با تلاش برای محدود کردن تعداد لندفیل ها و بکارگیری مشوق هایی در جهت کاهش تمایل به افزودن تعداد لندفیل ها تمرکز خواهند داشت. سه پیشنهاد نهایی بیان می شود:

- ۱) این سیاست ها باید به LFGE حاصل از لندفیل های غیر NSPS (New Source Performance Standard) یا مسدود شده تکیه داشته باشند.
- ۲) برای توسعه، لندفیل های NSPS مجاز هستند که در این امر شرکت داده شوند، فقط تغییرات جدید از سوزاندن LFG به استفاده از آن به عنوان انرژی مجاز می باشد و آنهم در صورتی که استانداردهای سختگیرانه انتشار آلاینده ها مدنظر قرار بگیرد.
- ۳) زمانی که بازار قدرتمندی برای انرژی های تجدید پذیر حقیقی ایجاد شود، فقط پروژه های LFGE جدید در لندفیل هایی که قبلاً سیستم جمع آوری نداشتند، می توانند در نظر گرفته شوند.
روش های زیر بجای دفن بهداشتی پسماندها (Landfilling) پیشنهاد می شوند:
 - ۱- کاهش استفاده از منابع (Resource Reduction)
 - ۲- بازیافت (Recycling)
 - ۳- کمپوست کردن (Composting) (در وهله اول برای زباله های غذایی و خانگی)
 - ۴- سوزاندن مستقیم (Direct Combustion)

۳.۱. رتبه بندی اولویت های مدیریت LFG

تا زمانی که LFG تولید می شود، سمیت آن یک نگرانی همیشگی محسوب خواهد شد. به طور کلی اثرات آلودگی هوای ناشی از پروژه های LFG و LFGE به نوع نیروگاه های جایگزین شده (به جای نیروگاه های سنتی) که برخی اوقات در طول زمان تغییر پیدا می کنند، بستگی دارد. در آینده شاید نیروگاه های جدید و یا قدیمی توسط LFGE در قالب یک سری سیاست ها و خط مشی ها کنترل شوند. نهایتاً اینکه متأسفانه تا زمانی که لندفیل ها وجود دارند، روشن است که باید از آنها به عنوان یک روش در مدیریت پسماندها اجتناب کرد و به سمت کاهش مصرف منابع و بازیافت گام برداشت.

وجود اینکه LFG و LFGE بطور قطع با هم مرتبط و آمیخته هستند، با این حال می توان رتبه بندی اولویت ها و برتری ها را به شرح زیر بیان نمود:

الف) اجتناب از LFG از طریق اجتناب از لندفیل ها

اولویت اول می تواند بکارگیری روش های کاهش مصرف و بازیافت را افزایش دهد. زیست توده- خصوصاً کاغذ- به آسانی بازیافت یا کمپوست می شود. اگر زیست توده ای در لندفیل وجود نداشته باشد، LFG هم وجود نخواهد داشت.

ب) سوزاندن تمام LFG تولید شده

حتی اگر امروزه بتوان تمام لندفیل ها را مسدود نمود، آنها می توانند تا سالیان متمادی LFG تولید کنند. احتراق LFG در یک موتور، توربین یا مشعل (Flare) مزایای چشمگیری در کاهش سمیت آن و همچنین کاهش گازهای گلخانه ای دارد. ۶۱ درصد از LFG در لندفیل های بدون سیستم جمع آوری گاز تولید می شود و حداقل ۲۵ درصد از LFG در لندفیل های دارای سیستم جمع آوری گاز به سادگی در فضا منتشر می شوند. جمع آوری تمام این گاز و سوزاندن آن می تواند اولویتی تقریباً برابر با اجتناب و عدم استفاده از لندفیل ها باشد.

ج) استفاده از LFG برای تولید انرژی

تا زمانی که شواهدی برای کاهش میزان آلاینده های مهم در اثر استفاده از LFGE وجود دارد، تعادل و توازن در استفاده از LFG به عنوان منبع انرژی مورد توجه قرار می گیرد. به طور کلی اگر چه توربین ها کارایی کمتری نسبت به موتورها دارند، اما از آنها پاک تر هستند. در صورتی که قوانین و مقررات آلودگی هوا و کارایی انرژی با جایگزینی نیروگاه های گازی به جای نیروگاه های فسیلی افزایش یابد، می توان گفت که مزایای LFGE بیشتر است.

۴. منابع و مراجع:

- [۱] Chen, Cliff & Greene, Nathanael, *Is Landfill Gas Green Energy?*, Natural Resources Defense Council, ۲۰۰۰, www.nrdc.org/air/energy/lfg/lfg.pdf
- [۲] Energy Justice Network, *Dioxin and Furan Emissions From Landfill Gas-Fired Combustion Units*, www.energyjustice.net/lfg.lfg_caponi.pdf
- [۳] Energy Justice Network, *Primer on Landfill Gas as Green Energy*, www.energyjustice.net/lfg
- [۴] EPA, *Adapting Boilers to Utilize Landfill Gas: An Environmentally and Economically Beneficial Opportunity*, ۲۰۰۷, www.epa.gov/lmop/res/pdf/boilers.pdf
- [۵] EPA, *Green Power from Landfill Gas Helping build a sustainable energy future while improving the environment*, www.epa.gov/lmop/docs/LMOPgreenpower.pdf
- [۶] EPA, *LMOP Project*, www.epa.gov/lmop/proj/index.htm
- [۷] EPA/Office of Air and Radiation, *Powering Micro turbines With Landfill*, ۲۰۰۰, www.eera.energy.gov/de/pdfs/microturbine_landfill.pdf
- [۸] Roger, Riley, *The Monitoring Of Landfill Gas*, ۲۰۰۳, www.labservice.it/downloads/public/articoli/۲۰۰۳