

بر اساس مدارک بدست آمده توسط علم باستان شناسی، دفن زباله ها از حدود پنج هزار سال پیش مرسوم بوده است [1]. امروزه نیز در اغلب کشورهای جهان دفن زباله به علت ارزان بودن نسبت به دیگر روشهای موجود مانند سوزاندن زباله و یا تبدیل آن به کود و غیره، ترجیح داده می شود. اما در گذشته مقررات خاصی در مورد مکان دفن زباله ها وضع نشده بود و لندفیل ها مکانهایی بدبو و بدون پوشش بودند که معضلات زیست محیطی فراوانی ایجاد می کردند. با پیشرفت روزافزون شهرها و کشورها و به دنبال آن افزایش نرخ تولید زباله های شهری، مقررات خاصی توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) در مورد تشکیل لندفیلها وضع گردید. با رشد آگاهی نسبت به تأثیر سوء لندفیلهای غیر مهندسی بر روی محیط زیست و وضع قوانین و مقررات خاص در این باره، بیش از دو دهه است که کشورهای مختلف موضوع دفن زباله ها در گودالهای بدون پوشش را رها کرده و به تشکیل لندفیلهای مهندسی با رعایت قوانین و مقررات محیط زیست پرداخته اند.

لندفیلها به عنوان محل دفن پسماندهای جامد که توسط واکنش های شیمیایی و فعالیتهای بیولوژیکی در تجزیه می شوند، معرفی می گردند. گاز لندفیل از تجزیه پسماند جامد شهری (MSW) در یک لندفیل تولید می شود که شامل مخلوطی از ۵۰٪-۶۰٪ متان، ۳۰٪-۴۰٪ دی اکسید کربن است. ممکن است مقدار ناچیزی اکسیژن، ترکیبات آلی غیرمتانی (NMOC) مانند H₂S و همچنین گازهای آلی وجود داشته باشد. لازم به ذکر است که گاز لندفیل (LFG) می تواند به عنوان سوخت برای مصرف گوناگون قابل استفاده باشد. در غیر اینصورت به دلیل وجود گاز متان در آن از گازهای گلخانه ای و منابع زیانبار محسوب شده که در گرم کردن آب و هوای زمین نقش مهمی خواهد داشت.

در سالهای اخیر بسیاری از کشورها اقدام به فعالیتهایی در جهت کاهش و بازیافت زباله های شهری نموده اند. به عنوان نمونه در کشور آمریکا در سال ۲۰۰۹ میلادی بیش از ۴۰۰ میلیون تن زباله شهری تولید شده است که تقریباً معادل ۴/۳ پوند زباله به ازای هر فرد در روز می باشد [2]. در این کشور در سال ۲۰۰۹ میلادی با استفاده از تکنولوژیهای بازیافت و نیز تبدیل زباله به کود، از ورود ۳۰٪ کل زباله تولیدی (معادل حدود ۱۲۰ میلیون تن زباله) به لندفیلها و زباله سوزها جلوگیری شد. از مابقی زباله ها حدود ۲۰٪ در واحدهای سوزانده زباله و ۵۰٪ باقیمانده نیز در لندفیلهای موجود دفن گردید [2].

بطور کلی بازیافت گاز لندفیل دارای منافع مختلفی از جمله در زمینه های زیست محیطی، اقتصادی و از همه مهمتر انرژی می باشد. گاز لندفیل دارای اجزاء آلی فرار بوده که محتویات سمی آنها باعث آسیب به لایه ازن می گردد. در صورتیکه این گاز توسط کارخانه های مختلف مصرف شود، اثرات مخرب زیست محیطی آن از بین می رود. به علاوه گاز لندفیل یک منبع انرژی در دسترس و تجدیدپذیر بوده و به علت تداوم تولید آن در یک بازه زمانی نسبتاً طولانی، این منبع انرژی بعنوان یک سوخت مطمئن نیز برای کاربردهای مختلف محسوب می شود. امروزه تلاش های گسترده ای جهت بهره برداری از انرژی حاصل از زیست توده در سرتاسر جهان در حال انجام است. جهت مشاهده ادامه مطلب لطفاً بر روی دکمه مربوطه کلیک کنید.

۱- مقدمه:

بر اساس مدارک بدست آمده توسط علم باستان شناسی، دفن زباله ها از حدود پنج هزار سال پیش مرسوم بوده است [۱]. امروزه نیز در اغلب کشورهای جهان دفن زباله به علت ارزان بودن نسبت به دیگر روشهای موجود مانند سوزاندن زباله و یا تبدیل آن به کود و غیره، ترجیح داده می شود. اما در گذشته مقررات خاصی در مورد مکان دفن زباله ها وضع نشده بود و لندفیل ها مکانهایی بدبو و بدون پوشش بودند که معضلات زیست محیطی فراوانی ایجاد می کردند. با پیشرفت روزافزون شهرها و کشورها و به دنبال آن افزایش نرخ تولید زباله های شهری، مقررات خاصی توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) در مورد تشکیل لندفیلها وضع گردید. با رشد آگاهی نسبت به تأثیر سوء لندفیلهای غیر مهندسی بر روی محیط زیست و وضع قوانین و مقررات خاص در این باره، بیش از دو دهه است که کشورهای مختلف موضوع دفن زباله ها در گودالهای بدون پوشش را رها کرده و به تشکیل لندفیلهای مهندسی با رعایت قوانین و مقررات محیط زیست پرداخته اند.

لندفیلها به عنوان محل دفن پسماندهای جامد که توسط واکنش های شیمیایی و فعالیتهای بیولوژیکی در تجزیه می شوند، معرفی می گردند. گاز لندفیل از تجزیه پسماند جامد شهری (MSW) در یک لندفیل تولید می شود که شامل مخلوطی از ۵۰٪-۶۰٪ متان، ۳۰٪-۴۰٪ دی اکسید کربن است. ممکن است مقدار ناچیزی اکسیژن، ترکیبات آلی غیرمتانی (NMOC) مانند S_H و همچنین گازهای آلی وجود داشته باشد. لازم به ذکر است که گاز لندفیل (LFG) می تواند به عنوان سوخت برای مصرف گوناگون قابل استفاده باشد. در غیر اینصورت به دلیل وجود گاز متان در آن از گازهای گلخانه ای و منابع زیانبار محسوب شده که در گرم کردن آب و هوای زمین نقش مهمی خواهد داشت.

در سالهای اخیر بسیاری از کشورها اقدام به فعالیتهایی در جهت کاهش و بازیافت زباله های شهری نموده

اند. به عنوان نمونه در کشور آمریکا در سال ۲۰۰۹ میلادی بیش از ۴۰۰ میلیون تن زباله شهری تولید شده است که تقریباً معادل ۴/۳ پوند زباله به ازای هر فرد در روز می باشد [۲]. در این کشور در سال ۲۰۰۹ میلادی با استفاده از تکنولوژیهای بازیافت و نیز تبدیل زباله به کود، از ورود ۳۰٪ کل زباله تولیدی (معادل حدود ۱۲۰ میلیون تن زباله) به لندفیلها و زباله سوزها جلوگیری شد. از مابقی زباله ها حدود ۲۰٪ در واحدهای سوزانده زباله و ۵۰٪ باقیمانده نیز در لندفیلهای موجود دفن گردید [۲].

بطور کلی بازیافت گاز لندفیل دارای منافع مختلفی از جمله در زمینه های زیست محیطی، اقتصادی و از همه مهمتر انرژی می باشد. گاز لندفیل دارای اجزاء آلی فرار بوده که محتویات سمی آنها باعث آسیب به لایه ازن می گردد. در صورتیکه این گاز توسط کارخانه های مختلف مصرف شود، اثرات مخرب زیست محیطی آن از بین می رود. به علاوه گاز لندفیل یک منبع انرژی در دسترس و تجدیدپذیر بوده و به علت تداوم تولید آن در یک بازه زمانی نسبتاً طولانی، این منبع انرژی بعنوان یک سوخت مطمئن نیز برای کاربردهای مختلف محسوب می شود.

States Environmental Protection Agency United^۲

Solid Waste Municipal^۳

۲- ساختار کلی لندفیلهای مدرن

نحوه دفن زباله در لندفیلها بطور کلی به دو روش انجام می شود :

- روش حفر گودال^۴
- روش دفن سطحی^۵

در روش حفر گودال، زباله ها بصورت روزانه در گودالهایی که با توجه به حجم زباله روزانه طراحی شده اند دفن می شوند. این گودالها بطور معمول دارای ابعاد حدود ۱۰۰ تا ۴۰۰ فوت طول، ۳ تا ۶ فوت عمق و ۱۵ تا ۲۵ فوت عرض می باشند. زباله ها بصورت لایه ای با ضخامت ۱/۵ تا ۲ فوت درون گودالها پهن شده و سپس فشرده می شوند. این روش بیشتر در مکانهای مسطح یا غیر مسطح با شیب کم و آب زیرزمینی کم مورد استفاده قرار می گیرد.

در روش دفن سطحی، زباله بر روی سطح زمین پهن می شود، بدین ترتیب که زباله در لایه های با ضخامت کمتر از ۲ فوت لایه بندی شده و قبل از پهن کردن لایه بعدی، فشرده می شود. این روش بیشتر مواقع در مناطقی که دارای تنگه ها و دره های فراوان است کاربرد دارد. همچنین اگر مکان احداث لندفیل

دارای آب زیرزمینی فراوان و کم عمق باشد، استفاده از روش حفر گودال غیرممکن بوده و باید از این روش استفاده نمود.

در هر یک از دو روش ذکر شده در بالا برای دفن زباله، لندفیل شامل بخشهای کوچکتری به نام سلول^۶ است. هر سلول معمولاً برای دفن زباله هر روز طراحی شده و در انتهای روز نیز پوشیده می گردد. زباله ها در درون سلولها در گسترده دانسیته فشرده گی بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ فشرده می شوند [۳]. در بسیاری از لندفیلها، حداقل ۶ اینچ پوشش بر روی سلولهای تشکیل دهنده آنها قرار می گیرد و در بعضی از لندفیلها پس از پوشاندن سطح سلولها، یک لایه ۲ فوتی از ماده ای که قابلیت رشد و نمو گیاه داشته باشد روی سطح پوشش قرار می دهند. اغلب لندفیلهای موجود از ترکیب دو روش فوق استفاده می کنند. بدین ترتیب که ابتدا زباله درون کانالهای از پیش حفر شده دفن می شود و پس از پر شدن آنها، زباله بر روی سطح کانال پهن می شود.

۳- تکنیکهای مختلف جمع آوری گاز لندفیل

بطور کلی سیستم های جمع آوری گاز لندفیل را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

- سیستم های جمع آوری فعال^۷
- سیستم های جمع آوری غیر فعال^۸

^۴Trench Method

^۷Active Collection System

^۵Area Method

^۸Passive Collection System

^۶Cell

سیستم های جمع آوری فعال از دمنده های مکانیکی و یا کمپرسورها به منظور ایجاد گرادیان فشار برای استخراج گاز لندفیل استفاده می کنند، در حالیکه در سیستم های جمع آوری غیرفعال، گرادیان فشار طبیعی بوجود آمده بین فشار گاز تولیدی داخل لندفیل و فشار هوای محیط باعث انتقال و استخراج گاز می گردد. بر اساس پیش بینی های تئوریک، سیستم های جمع آوری فعال دارای بهترین راندمان عملکرد در میان انواع سیستم های جمع آوری گاز لندفیل می باشند [۳]. سیستم های جمع آوری غیرفعال، راندمان به مراتب کمتری را در میان انواع سیستم های جمع آوری دارا هستند. زیرا همانطور که بیان شد سیستم های جمع آوری غیر فعال از گرادیان فشار طبیعی برای استخراج و جمع آوری گاز استفاده می کنند در حالیکه در سیستم های جمع آوری فعال یک گرادیان فشار اجباری به عنوان نیروی منتقل کننده گاز مورد استفاده قرار می گیرد.

البته مطالعات نشان می دهند اگر در یک لندفیل از پوششهای مصنوعی مناسب در کف، دیواره ها و روی سطح بالایی برای محبوس کردن گاز لندفیل استفاده شود، یک سیستم جمع آوری غیرفعال نیز می تواند راندمان عملکردی مشابه راندمان سیستم های فعال داشته باشد.

سیستم های جمع آوری فعال از نظر ساختار لوله گذاری، خود نیز به دو دسته چاهکهای عمودی^۹ و کانالهای افقی^{۱۰} تقسیم می شوند. انتخاب نوع سیستم جمع آوری گاز برای یک لندفیل خاص بستگی به مشخصات و محدودیتهای موجود دارد. معمولاً برای لندفیلهایی که به روش سلولی پر می شوند، سیستم های جمع آوری گاز فعال با ساختار چاهکهای عمودی پیشنهاد می شود. نتیجه طبیعی استفاده از این سیستم هزینه کمتر آن نسبت به استفاده از ساختار کانال افقی می باشد اما نصب آن مشکل بوده و همچنین کار بر روی سطح لندفیل خطرناک است. زیرا خطر سقوط تجهیزات سنگین به درون لندفیل وجود دارد.

در لندفیلهایی که لایه به لایه با زباله پر می شوند و یا زباله بصورت طبیعی در گودالها دفن می شود، سیستم جمع آوری فعال با ساختار کانال افقی ترجیح داده می شود به دلیل اینکه این ساختار احتیاج به حفاری ندارد و بنابراین دارای عملیات نصب ساده تری نسبت به ساختار چاهکهای عمودی می باشد.

اما همانگونه که قبلاً نیز اشاره گردید، مشکل پرشدگی کانالها توسط آب زباله (شیرابه) و نیز تمایل به شکست در لایه های زیرین سیستم جمع آوری وجود دارد. به علاوه تنظیم خلاء متعادل و یکنواخت در طول کانالهای جمع آوری گاز لندفیل عملاً امکانپذیر نمی باشد.

۳-۱- سیستم های جمع آوری گاز فعال

سیستم های جمع آوری فعال به منظور تولید گرادیان فشار و استخراج گاز لندفیل از دمنده های مکانیکی و یا کمپرسورها استفاده می کنند. در شکل (۱) یک سیستم جمع آوری فعال بصورت شماتیک نمایش داده شده است.

⁹Wells Vertical

¹⁰Horizontal Trenches

شکل (۱) شماتیک سیستم جمع آوری فعال

شکل (۲) شماتیک یک چاهک عمودی استخراج گاز [۳]

چاهکهای استخراج گاز لندفیل می توانند در محیط لندفیل و یا درون آن تعبیه شوند. در لندفیل هایی که به مرور زمان پر می شوند، چاهکها در سطح پر شده توسط زباله نصب می شوند و به مرور زمان بقیه چاهکها نصب می گردند. چاهکهای استخراج در واقع حفره هایی هستند که بوسیله مته های حفاری به قطر ۱۲ تا ۳۶ اینچ حفر می شوند و یک لوله به قطر ۲ تا ۶ اینچ و جنس PVC، پلی اتیلن فشرده یا آهن گالوانیزه در چاهک قرار می گیرد. در شکل (۲) یک چاهک استخراج گاز به همراه ابعاد شماتیک آن آورده شده است.

هر چاهک استخراج دارای یک "ناحیه تأثیر"^{۱۱} بوده که گاز لندفیل در آن محدوده می تواند به خوبی جمع آوری شود. ناحیه تأثیر یک چاهک استخراج عبارتست از فاصله مرکز چاهک تا نقطه ای که گرادیان فشار تولیدی توسط دمنده هوا یا کمپرسور به صفر برسد. ناحیه تأثیر در واقع فاصله بین چاهکهای استخراج را با هدف پوشش کل سطح لندفیل بیان می کنند. در شکل (۳) نواحی تأثیر چاهکهای استخراج و فاصله بهینه آنها نمایش داده شده است.

شکل (۳) ناحیه تأثیر چاهکهای استخراج و فاصله بهینه آنها [۳]

فاصله بین چاهکهای استخراج بستگی به عمق لندفیل، میزان گرادیان فشار تولیدی توسط دمنده یا کمپرسور، نوع زباله دفن شده، درجه فشردگی زباله و میزان رطوبت گاز تولیدی دارد. عوامل دیگری نظیر پوشش لندفیل و میزان نفوذ پذیری آن، رطوبت موجود در خاک لندفیل و ساختار طبقات زمین در محل تشکیل لندفیل نیز بر فاصله چاهکهای استخراج گاز لندفیل تأثیر گذار می باشند.

¹¹Zone of Influence

همانگونه که در بالا نیز اشاره شد، هر چاهک استخراج دارای یک شعاع تأثیر می باشد. یک روش مناسب جهت تعیین محل چاهکهای استخراج در یک لندفیل آنستکه ابتدا چاهک ها در محیط لندفیل بگونه ای قرار گیرند که ناحیه تأثیرشان بطور کامل داخل لندفیل باشد و همچنین فاصله هر چاهک از دیگری از دو برابر شعاع تأثیرشان بیشتر نباشد. پس از تعیین محل چاهکها بر روی محیط لندفیل، چاهکهای درونی نیز به همان ترتیب بصورتی تعبیه می شوند که کل سطح لندفیل را پوشش دهند. شکل (۴) چگونگی جایگذاری چاهکهای استخراج را در یک نمونه لندفیل نشان می دهد.

شکل (۴) نحوه جایگذاری چاهکهای استخراج در یک لندفیل

در سیستم های جمع آوری فعال، اندازه سیستم دمنده هوا یا کمپرسور بستگی به کل نرخ جریان گاز، افت فشار موجود و میزان خلاء مورد نیاز دارد. در سیستم هایی که احتیاج به خلاء کمی دارند (کمتر از اینچ آب)، دمنده های سانتریفوژ معمولاً کاربرد دارند. اینگونه دمنده ها در گستره عملکرد ۴۰ خود قابلیت کنترل خوبی دارند و علاوه بر اینکه می توانند افت فشار سیستم را تا ۵۰ اینچ آب جبران کنند، نرخ جریان گاز انتقالی آنها در حدود CFM 100 تا CFM 100000 می باشد. برای نرخ جریان گاز انتقالی کمتر و افت فشارهای بالاتر از دمنده های ترکیبی محوری- سانتریفوژ استفاده می گردد [۳]. در سیستم هایی که خلاء مورد نیاز بزرگتر از PSI 2 تا PSI 3 (55 تا ۸۵ اینچ آب) بوده و فشار گاز مورد نیاز بیشتر از PSI 100 می باشد، از کمپرسورهای نوع Rotary Lobe یا Screw Piston استفاده می گردد [۳]. البته لازم به ذکر است که در سیستم های جمع آوری که کمپرسور استفاده می شود نرخ جریان بصورت محدودتری قابل تنظیم است زیرا که کمپرسورها اساساً تجهیزاتی هستند که در اصطلاح فشار منفی ایجاد می کنند و تنظیم و تغییر بیش از حد نرخ جریان گاز باعث صدمه و آسیب آنها می شود. ماکزیمم مقدار خلاء اعمالی در لندفیل بدون در نظر گرفتن نفوذ بیش از حد هوا، با توجه به سه مشخصه: عمق لندفیل، میزان نفوذ پذیری پوشش لندفیل و ضخامت پوشش آن تعیین می گردد.

چاهک جمع آوری گاز لندفیل با استفاده از لوله های پلی وینیل کلراید (PVC)، پلی اتیلن فشرده (HDPE)، فایبرگلاس، فولاد یا دیگر مواد غیر متخلخل بنا می شود. همانطور که قبلاً اشاره شد، بطور معمول چاهک باید از سطح لندفیل تا حداقل ۷۵ درصد عمق لندفیل امتداد یابد. شکل شماتیک ساختار پیشنهادی چاهکهای استخراج در شکل (۵) نمایش داده شده است. برای تعیین فاصله مناسب کانالهای افقی در یک سیستم جمع آوری فعال که از ساختار مذکور استفاده می کند، بهترین روش استفاده از اطلاعات اندازه گیری در نقاط مختلف لندفیل و در صورت عدم امکان، استفاده از روش های تئوری برای تعیین فاصله کانالها می باشد.

شکل (۵) شماتیک ساختار چاهکهای نوین استخراج بیوگاز [۳]

به وسیله روشهای تئوری اش ااره شده می توان شعاع تأثیر کانال را در جهت افقی یافت و پس با در نظر گرفتن حداکثر فاصله معادل دو برابر شعاع تأثیر افقی، کانالها را تعبیه نمود. نکته ای که در اینجا قابل ذکر است اینکه فاصله عمودی کانالها نسبت به فاصله افقی شان کمتر می باشد. زیرا که فشردگی زباله باعث می شود نفوذپذیری در جهت عمودی نسبت به جهت افقی کاهش یابد. لذا فاصله عمودی کانالها معادل ۱/۴ فاصله افقی شان پیشنهاد می گردد [۳].

کانالهای افقی از جنس HDPE، PVC، فولاد موجدار و یا دیگر مواد غیر متخلخل ساخته می شوند. به منظور کاهش خرابی کانالها در اثر انبار کردن زباله در لندفیل، اتصالات مختلف لوله که معمولاً با قطرهای ۸، ۱۰ و ۱۲ و ... اینچ موجودند، بصورت انعطاف پذیر انجام می گیرد. بدین ترتیب گاز لندفیل درون لوله ها به راحتی منتقل شده و به علاوه تنش ناشی از وزن زباله و دیگر تجهیزات توسط اتصالات مذکور تحمل می شود. بیشتر طراحان لندفیل در طراحی سیستم جمع آوری فعال با استفاده از کانالهای افقی مایلند از لوله های فولادی موجدار در ساخت کانالها استفاده کنند. زیرا گرمای موجود در لندفیل باعث کاهش استحکام در جنس های دیگر مانند PVC و HDPE می گردد. شکل (۶) شمای کلی استفاده از یک سیستم جمع آوری فعال با ساختار کانالهای افقی را نمایش می دهد. معمولاً به منظور سهولت نمایش و همچنین کنترل گاز تولیدی لندفیل در سیستم های فعال با کانال افقی، هر لایه از کانالها به یک لوله متصل شده و تا سطح لندفیل امتداد می یابد که این لوله دارای یک خروجی جهت نمونه گیری گاز تولیدی و نمایش فشار آن می باشد.

شکل (۶) سیستم جمع آوری فعال با ساختار کانالهای افقی

۳-۲- سیستم های جمع آوری گاز غیرفعال

در طراحی سیستم های جمع آوری گاز غیر فعال دو پارامتر باید مورد بررسی قرار گیرند: اول آنکه فاصله چاهکهای استخراج تعیین شود و در نهایت ساختار مناسب چاهکها در سیستم مذکور معین گردد. بهترین روش جهت تعیین فاصله چاهکهای استخراج در سیستم جمع آوری غیرفعال استفاده از فشار استاتیک میانگین لندفیل است که توسط آزمایش بدست می آید. پس از آنکه فشار استاتیک در کلیه سنسورهای موجود در عمق لندفیل بدست می آید و میانگین گیری می شود، افت فشار تجهیزات کنترلی با توجه به منحنی های مشخصه آنها تعیین می شود. سپس افت فشار بدست آمده از فشار میانگین لندفیل کاسته شده تا مقدار تفاوت فشار داخل لندفیل و خروجی چاهکهای استخراج بدست آید. بدینوسیله می توان شعاع تأثیر هر یک

از چاهکهای استخراج را بدست آورد. چاهکهای استخراج با توجه به شعاع تأثیرشان بگونه ای در سطح لندفیل جایگذاری می شوند تا کل سطح لندفیل را بپوشانند.

چاهک استخراج در سیستم جمع آوری غیرفعال معمولاً از لوله PVC یا HDPE با قطر حداقل ۴ اینچ ساخته می شود. عمق چاهک استخراج باید تا حدود ۷۵ درصد عمق لندفیل باشد. پیشنهاد می گردد که ۲/۳ انتهای لوله جایگذاری شده در چاهک توسط سوراخهایی با قطر ۱/۲ اینچ از یکدیگر و زاویه ۹۰° نسبت به یکدیگر سوراخکاری شود. لوله مذکور باید در مرکز یک سوراخ با قطر ۲ فوت قرار گرفته و تا ارتفاع یک فوت بالاتر از بخش سوراخدار آن توسط شن پر شود. بقیه سوراخ را می توان بوسیله مواد مناسب دیگر پر کرد [۳].

نکته ای که لازم است به آن توجه شود آنست که ساختار چاهکهای استخراج در سیستم جمع آوری غیرفعال نسبت به سیستم های جمع آوری فعال از درجه اهمیت کمتری برخوردار می باشد. زیرا در سیستم های جمع آوری غیرفعال، چاهک جمع آوری گاز تحت فشار مثبت گاز بوده و لذا مشکل نفوذ هوا به درون لندفیل وجود ندارد. همچنین به علت اینکه کنترل خاصی برروی گاز لندفیل صورت نمی گیرد، اتصال خاص و مناسب برای کلاهک چاهک نیز مورد نیاز نمی باشد. تنها موردی که در این سیستم های جمع آوری اهمیت فراوانی دارد، آب بندی مناسب اطراف چاهک استخراج به منظور جلوگیری از آسیب پوشش لندفیل و کمک به بیشتر شدن قابلیت ذخیره سازی گاز توسط آن می باشد.

۴- پارامترهای مختلف مؤثر بر نرخ تولید گاز لندفیل

بطور کلی نرخ تولید گاز لندفیل تابعی از پارامترهای زیر می باشد:

- ترکیبات موجود در زباله
- رطوبت زباله
- سن لندفیل
- دمای لندفیل
- PH زباله یا میزان قلیایی بودن لندفیل
- وجود Nutrientها

۴-۱- ترکیبات موجود در زباله

این پارامتر بطور مستقیم در نرخ تولید گاز لندفیل مؤثر است. هرچه درصد موادی مانند زباله های غذایی، کاغذ، پارچه و چوب در زباله بیشتر باشد نرخ تولید گاز به همان نسبت بالاتر خواهد بود. به علاوه ترکیباتی مانند حلالهای آلی سمی مانند تتراکلرید کربن، کلروفرم و نمکهای معمولی سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، آمونیوم و سولفید با غلظت بالا باعث اختلال در فعالیت باکتریهای متانوژیک شده و لذا نرخ تولید گاز لندفیل را کاهش می دهند.

۴-۲- رطوبت زباله

رطوبت بالای موجود در زباله (۶۰ تا ۹۰ درصد) می تواند نرخ تولید گاز را افزایش دهد [۳]. در حالیکه معمولاً درصد رطوبت موجود در زباله شهری حدود ۲۵ درصد می باشد و نیز طراحی لندفیل بگونه ای است که از ورود آب به درون لندفیل جلوگیری شود و لذا درصد رطوبت مذکور در همین حد باقی می ماند.

۴-۳- سن لندفیل

نرخ تولید گاز در زمانهای مختلف از عمر لندفیل متغیر است. این موضوع به علت تغییر نرخ ترکیبات گاز تولیدی در طول عمر لندفیل می باشد. بطور کلی عمر لندفیل را می توان به چهار فاز مجزا به صورت نشان

داده شده در شکل (۷) تقسیم بندی نمود [۳]. در فاز اول که معمولاً چند روز یا حداکثر یک هفته به طول می انجامد، اکسیژن موجود در زباله از ابتدای دفن آن مصرف می شود و در انتهای این فاز به پایان می رسد. اساساً مهمترین گازی که تولید می شود دی اکسید کربن است. در فاز دوم عمر لندفیل با از بین رفتن اکسیژن فرآیند غیرهوازی شروع می شود. در این فاز مقدار قابل توجهی دی اکسید کربن و کمی هیدروژن تولید می شود. در فاز سوم تولید گاز متان شروع شده و همزمان میزان تولید دی اکسید کربن کاهش می یابد. نرخ تولید گازهای لندفیل در فاز چهارم تقریباً یکنواخت و پایدار می گردد. نتایج آزمایش بر روی لندفیلهای مختلف نشان می دهد که نرخ تولید گاز لندفیل پس از حدود ۶ سال از اتمام دفن زباله ها و پوشش کامل لندفیل به ماکزیمم مقدار خود می رسد و پس از آن به آرامی کاهش می یابد.

شکل (۷) نحوه تولید انواع گازها در فازهای مختلف عمر لندفیل [۳]

۴-۴-۴ دمای لندفیل

نرخ تولید گاز متان در لندفیل بستگی زیادی به دمای لندفیل دارد. دامنه بهینه دمایی برای تجزیه هوازی بین ۵۴ تا ۷۱ C می باشد. در حالیکه دامنه بهینه دما برای باکتریهای غیر هوازی بین ۳۰ تا ۴۱ C می باشد. در دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد افت قابل توجهی در نرخ تولید گاز خواهیم داشت [۳].

۴-۵-۴ PH لندفیل

مقدار PH بهینه برای تخمیر متان در گستره محیط خنثی تا مقدار ناچیز محیط قلیایی یا به عبارت دیگر مقدار PH بین ۷ تا ۷/۲ می باشد [۳]. بیشتر لندفیل ها در سالهای اولیه تشکیل خود دارای محیط اسیدی هستند. لیکن بعد از این مدت PH لندفیل به سمت ناحیه خنثی افزایش می یابد.

۴-۶-۴ وجود Nutrient ها

باکتریها برای رشد در لندفیل نیاز به Nutrient گوناگونی مانند کربن، هیدروژن، O_۲، نیتروژن و فسفر (ماکرونوترین ها) دارند. همچنین نیاز به مقادیر کمی از دیگر عناصر مانند سدیم، پتاسیم، سولفور، کلسیم، منیزیم (میکرونوترین ها) دارند. وجود ماکرونوترین ها در لندفیل بر حجم آب تولید از فرآیندهای میکروبی و هم بر ترکیب درصد گازهای تولید اثر می گذارد. لندفیلهایی که پسماندهای شهری را مصرف می کنند و همچنین بطور روزانه از پوشش خاکی استفاده می کنند، نوترین های کافی برای فرآیندهای میکروبی را تأمین می کنند.

منابع اولیه ماکرونوترین ها فاضلابهای سبز، پسماندهای غذا و پوشش خاک می باشند. اما اگر از منابع بیرونی تکمیل نگردند با محدودیت روبرو خواهند شد. منابع تأمین میکرونوترین ها (فلزات اولیه) مطمئناً کمتر است اما مدارک موجود از صدها لندفیل نشان داده که لندفیلهای شهری همیشه شامل مقادیر کافی نوترین می باشند [۳]. منابع این میکرونوترین ها، معمولاً مقادیر ناچیز عناصری هستند که تقریباً در همه خاکها و بسیاری از پسماندها یافت می شود. بوسیله افزودن لجن، کود یا پسماندهای کشاورزی، وجود نوترین ها بهبود می یابد.

۵- ترکیبات بیوگاز:

این مخلوط گازی که از تخمیر مواد زاید آلی در شرایط بی هوازی حاصل می شود دارای میزان ۷۰-۶۰ درصد متان، ۳۰-۴۰ درصد دی اکسید کربن و مقادیر ناچیزی از گازهای دیگر مانند هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن، منواکسیدکربن و سولفید هیدروژن است و همانطور که مشخص است قسمت اعظم این گاز از متان و دی اکسیدکربن تشکیل شده است ولی در عین حال نسبت ترکیبات مختلف آن بستگی به نوع مواد اولیه و نیز تا حدودی به میزان حرارت محیط و زمان توقف مواد در مخزن تخمیر دارد. بیوگاز منبع با ارزشی از انرژی است که اغلب به هدر می رود [۷-۴].

در فرآیند هضم بی هوازی ترکیبات آلی، مولکول های درشت زنجیر شکسته شده و به مولکو لهای ساده تر تبدیل می شوند. حاصل نهایی این فرایند گازی است قابل اشتعال، که بیوگاز نام دارد. این گاز شامل دو جزء عمده متان و دی اکسیدکربن به همراه مقادیر جزئی ناخالصی نظیر S_۲H، بخار آب و N_۲ ... است [۸]. این مخلوط گازی دارای ارزش حرارتی ۵۲۹۰ کیلوکالری به ازای هر متر مکعب بوده و در صورت تبدیل شدن به الکتروسیسته با استفاده از موتورهای موجود می توان ۲-۱/۵ کیلووات الکتروسیسته از هر مترمکعب آن بدست آورد. انرژی حرارتی بهترین روش استفاده از بیوگاز بوده و بیشترین کاربرد را دارد و حرارت حاصل از سوختن این گاز جهت پخت و پز و تهیه آبگرم نیز مورد استفاده قرار می گیرد. در مواردی که نیاز به ارزش حرارتی بالاتر باشد، می توان با حذف CO_۲ همراه بیوگاز ارزش حرارتی آن را تا حدود ۴۰ درصد افزایش داد. در صورت کافی بودن مقدار گاز می توان توسط موتور ژنراتورهای مخصوص، برق تولید کرد [۱۰-۹].

۶- پتانسیل تولید بیوگاز در ایران

بیوگاز را می توان از تخمیر سه گونه زیست توده بدست آورد:

الف- فضولات دامی و زائدات کشاورزی

ب- فاضلاب های شهری و صنعتی

پ- زباله های شهری

با استفاده از مطالعه عدل و همکاران [۱۰]، نتایج امکان سنجی تولید بیوگاز در ایران را می توان چنین خلاصه نمود:

مقدار فضولات دامی قابل دسترس در ایران ۷۴۹۴۶ هزار تن در سال بوده که بیوگاز قابل تولید از آن ۸۶۶۸ میلیون مترمکعب می باشد. جرم زائدات کشاورزی و جنگلی در ایران ۲۳۱۴۷/۵ هزار تن در سال بوده که بیوگاز قابل تولید از آنها ۵۴۷۵/۸ میلیون مترمکعب می باشد.

اگر شهرهای بالای ۱۰۰ هزار نفر ملاک قرار گیرند و با استفاده از فرایند بی هوازی فاضلاب را تصفیه نمود، بیوگاز حاصل از تصفیه بی هوازی حدود ۲۴۵~۱۰۷/۸ میلیون مترمکعب خواهد بود. اگر فرایند هوادهی به کار برده شود، این مقادیر کمتر خواهند شد. برای نمونه در فرایند روش لجن فعال، میزان بیوگاز حاصله از هاضمهای لجن حدود ۲۰/۹~۱۰۷/۸ میلیون متر مکعب خواهد بود.

بیوگاز حاصل از فاضلاب های صنعتی بسیار متغیر می باشد. این مقدار بستگی به نوع صنعت، نوع فرآیند تصفیه و مقدار فاضلاب دارد. برای مثال بیوگاز قابل تولید از صنایع بزرگ غذایی (روغن نباتی، الکل سازی، کنسرو، کمپوت، شیلات و ...) در کشور حدود ۲۷۹/۴~۸۱/۵ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می شود.

با فناوریهای موجود، میانگین سالانه استخراج گاز از محلهای دفن زباله حدود ۷ متر مکعب از هر تن زباله می باشد که در مقایسه با بازده نظری تولید بیوگاز بسیار پایین است. استخراج گاز در این شرایط برای شهرهای بسیار بزرگ مقرون به صرفه خواهد بود. اما با بهره گیری از فرآیند هضم بی هوازی زباله های فسادپذیر، مجموع بیوگاز قابل تولید در کشور (با فرض ۶۰٪ بازدهی فرآیند)، ۱۶۴۵/۷ میلیون مترمکعب بیوگاز در سال بدست می آید. مشاهده می شود که تنها از منابع فوق به طور میانگین، سالیانه ۱۶۱۴۶/۳۵ میلیون مترمکعب بیوگاز (۹۱۷۵ میلیون مترمکعب متان) قابل استحصال می باشد. با فرض ارزش حرارتی متان $36/7 \text{ MJ/m}^3$ ، این حجم متان معادل $3/367 \times 10^{17}$ ژول انرژی خواهد بود.

۷- چگونگی تولید بیوگاز

در شکل (۸) چرخه تولید بیوگاز مشاهده میگردد گیاهان توسط حیوانات مصرف شده و از فضولات حیوانی و زباله های دیگر بیوگاز تولید میگردد و بیوگاز را میتوان جهت مصارف گرمایی و هم برای تولید برق استفاده نمود. گازهای ایجاد شده میتواند مجدداً و با فتوسنتز دوباره در رشد گیاهان مورد مصرف قرار گیرد.

شکل (۸) چرخه تولید بیوگاز

شکل (۹) یک طرح شماتیک کلی از یک سیستم نیروگاه بیوگاز را نشان میدهد که در این طرح بیوگاز تولیدی با یک بلوئر به یک مخزن جدا کننده آب و S_2H رفته و پس از جداسازی آنها وارد کمپرسور بیوگاز میشود و از یک چیلر رطوبتگیر گذشته و وارد یک میکروتوربین ۳۰ کیلوواتی می گردد. گاز خروجی از یک مبدل حرارتی گذشته و جهت گرم کردن هاضم بیوگاز استفاده می گردد.

شکل (۹) طرح شماتیک از سیستم نیروگاه بیوگاز [۱۱]

۸- انواع دستگاه های تولید بیوگاز:

الف- از دیدگاه نوع مخازن بکار رفته:

از میان انواع دستگاه های بیوگاز دو نوع زیر در کشورهای صنعتی و در حال توسعه کاربردهای بیشتری دارد که عبارتند از:

۱- واحد بیوگاز با مخزن شناور گاز (معروف به نوع هندی)

۲- واحد دستگاههای با مخزن گنبدی ثابت (معروف به نوع چینی)

۳- واحد بیوگاز عمودی

۴- واحد بیوگاز افقی

۵- واحد بیوگاز مرکزی

۶- واحد بیوگاز مدل فرانسوی

۷- واحد بیوگاز با لوله های لاستیکی

ب- از دیدگاه حجم و اندازه:

۱- خانگی: عمدتاً در کشورهای جهان سوم متداول هستند

۲- صنعتی: عمدتاً در کشورهای پیشرفته متداول هستند

- هدایت مواد اولیه از طریق حوضچه ورودی پس از اختلاط با آب به داخل مخزن تخمیر
- حرکت مواد تخمیر شده به طرف حوضچه خروجی
- جمع آوری گاز تولیدی در داخل محفظه فلزی (قرار داده شده بصورت معکوس روی دهانه مخزن تخمیر)

۱. مخزن اختلاط با لوله ورودی ۲. هاضم ۳. جریان سرریز از لوله خروجی ۴. مخزن نگهدارنده گاز که در سطح مایع شناور است ۵. خروجی گاز با خمش لوله اصلی ۶. اسکلت راهنما برای مخزن گاز ۷. اختلاف ارتفاع برابر با فشار گاز بر حسب سانتیمتر آب ۸. لایه شناور (وقتی از الیاف به عنوان خوراک استفاده شود) ۹. لجن غلیظ

- بصورت مخزن گنبدی شکل و در عمق زمین
- ساخت محفظه گاز و تخمیر در ارتباط با یکدیگر و در یک مخزن مشخص
- محفظه گاز بصورت گنبدی با پوششی آجری یا بتنی
- اساس کار دستگاه مانند مدل هندی است
- فشار گاز تولیدی هم گاز را به محل مصرف هدایت میکند و هم مواد تخمیر شده را به داخل محفظه خروجی می راند
- خروج مواد به طرف حوضچه خروجی، فشار گاز داخل گنبد را تنظیم کرده و در اثر ازدیاد فشار، مواد بیشتری خارج میگردد و برعکس
- ۱. بهم زن با لوله ورودی ۲. هاضم ۳. مخزن خروجی ۴. مخزن نگهدارنده گاز ۵. لوله گاز ۶. درپوش ورودی (با استفاده از وزنه ها مهار شده است (۷. اختلاف ارتفاع برابر با اختلاف فشار بر حسب سانتیمتر آب ۸. لایه زلال ۹. انباشتگی لجن غلیظ ۱۰. انباشتگی سنگ و شن ۱۱. خط مبدأ (صفر) ارتفاع پر شدن مخزن بدون فشار گاز

- - استفاده از بیوگاز علاوه بر سالم سازی محیط زیست و تهیه کود غنی و تولید گاز سوختی از نقطه نظر اقتصادی دارای اهمیت بسیار زیادی است.
- - سالیانه از هر تن زباله شهری مقادیر فراوانی گاز قابل استحصال خواهد بود و افزایش این مقدار با طراحی و مدیریت صحیح محل دفن زباله ها امکان پذیر است.
- - احتراق گاز قابل استحصال از دفنگاه های زباله ها دارای آلودگی کمی است و چون دمای شعله این گاز پایین است علاوه بر آلودگی پایین ، میزان احتراق آن در حدود ۷۰ - ۶۰ درصد کمتر از احتراق گاز طبیعی خواهد بود.
- - با توجه به این مسئله که گاز های حاصل از مراکز دفن زباله جزء سوخت های تجدید پذیر به حساب می آید، لذا صاحبان این مراکز می توانند از فعالیت های مالیاتی استفاده فراوانی کنند و این امر باعث ایجاد انگیزه بیشتر برای استفاده از این انرژی می شود.
- - در سالیان اخیر تکنولوژی بیوگاز مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است و از گاز حاصل از دفنگاه های زباله برای تولید الکتریسیته استفاده می کنند.
- - گروهی از کشور ها به دنبال آن هستند که از گاز حاصل از مراکز دفن زباله در تکنولوژی پیل سوختی استفاده نمایند تا بدین وسیله ارزش افزوده محصول تولیدی را بالا برند.
- - بخش های دولتی و خصوصی امتیاز این فناوری را به عنوان یک منبع انرژی مقرون به صرفه با قابلیت های متعدد تشخیص داده اند . بالا بودن بازده کلی این فناوری در مقایسه با تولید برق و حرارت به صورت مجزا نشان می دهد که تولید همزمان حرارت و برق باعث کاهش چشمگیری در میزان انتشار دی اکسید کربن و افزایش راندمان سوخت می گردد.
- - بر اساس آنالیز زباله های شهر های مختلف کشور ، امکان استحصال حجم قابل توجهی بیوگاز که از زباله های شهری به دست می آید ، وجود دارد و با استفاده از روش های علمی می توان حجم گاز تولیدی از مراکز دفن زباله را افزایش داد.
- - ایران از جمله کشورهایی است که دارای منابع گسترده ای برای تولید بیوگاز می باشد. با احتساب مقادیر معمول بازدهی بیوگاز از فضولات دامی و اعمال ضرایب اطمینان، بیوگاز حاصل حدود ۳۶/۱۳۵ میلیون مترمکعب معادل ۶۱/۷۹۰۸۵ میلیون کیلووات ساعت بر متر مکعب انرژی الکتریسیته و ۲۱۵/۰۷۵۵۲ میلیون کیلووات ساعت بر متر مکعب انرژی حرارتی خواهد بود که با توجه به هزینه هر کیلو وات ساعت الکتریسیته معادل ۷۷۳ ریال برای وزارت نیرو، ۴۷۷۶۴ میلیون ریال صرفه جویی در پی خواهد داشت.