فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰
صفحات ۳۳-۴۲
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

مدیریت و امکان‌سنجی تبدیل پسماندهای شهری تهران به انرژی الکتریکی و حرارتی

مرجان بدری

کارشناسی ارشد، مدیریت ایمنی بهداشت و محیط زیست(HSE)، دانشکده مدیریت، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
m.badri13714@gmail.com

چکیده

محدودیت منابع انرژی و مشکلات ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، فرصتی مناسب برای کاربرد و توسعه انرژی‌های تجدید پذیر فراهم آورده که زیست‌توده از مهم‌ترین این منابع می‌باشد. مواد زائد جامد شهری (زباله) یکی از انواع منابع مهم زیست‌توده می باشد.

هدف، ارائه‌ی یک راهکار سازنده و مناسب برای مدیریت زباله‌های جامد شهری در استان تهران می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های زیست محیطی موجود در این استان جهت دفع زباله‌های جامد شهری به روش دفن بهداشتی، بهینه‌ترین تصمیم تبدیل زباله به محصولی با ارزش افزوده می‌باشد که در این راستا، تولید برق از زباله‌ها و پسماندهای شهری، راه حلی مناسب ارزیابی می‌شود. آنچه به عنوان نتیجه نهایی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد آن است که با توجه به جزئیات عملکردی، ویژگی‌های اجتماعی و فرهنگی و نیز تناسب نیاز با فناوری، استفاده از روش زباله سوزی از کارایی بالاتری برخوردار خواهد بود و احداث نیروگاه زباله سوز، راهکاری مناسب برای مدیریت زباله های جامد شهری کلان شهر تهران می باشد.

کلیدواژه: انرژی تجدید پذیر، زباله سوز، لندفیل، هضم بی هوازی، زیست توده، زباله جامد شهری

مقدمه

مسأله دفع زباله‌های شهری اکنون در اغلب جوامع شهری تبدیل به یک معضل شده است. از طرفی انسان و سایر موجودات زباله‌ساز هستند و از طرف دیگر وجود و ماندن این مواد به زندگی انسان و سلامتی‌اش لطمات شدید می‌زند، لذا برای دفع این مواد زاید باید کاری کرد. طبق شواهد موجود علت اصلی توجه به امر زباله، اشاعه بیماری، هجوم حیوانات وحشی به اماکن مسکونی و تعفن حاصل از تلنبار زباله بوده است. بازتاب آلودگی و بیماری‌های منتقل شده از زباله موجب شد که علم بهداشت زباله و اصول مهندسی مواد زاید جامد بیش از پیش مورد توجه متخصصان و سیاستمداران قرار گیرد (۱).

آمارها نشان می دهد که حجم مواد پسماند یا زباله‌های شهری به میزانی هست که واقعاً لزوم کار علمی و فنی مهندسی برروی این مسأله را ثابت می‌کند. نمی‌توان تا سال‌های متمادی به روش‌های سنتی دفع و دفن زباله‌ها دل بست و ادامه داد، بخصوص در جوامع شهری بزرگ مثل تهران که زمین های دفع نیز روز به روز کمتر و کمتر می‌شوند (۲)

اگرچه طراحی زمین‌های دفن و روش‌های آن در سالهای اخیر توسعه قابل توجهی داشته است اما در اکثر موارد زمین‌های دفن یک راه حل موقتی برای دفع و بدون اطمینان واقعی از مسایل حفاظتی آینده می‌باشد. هلاکت ۳۸۰۰۰۰ نفر که از سال ۱۸۳۱ تا ۱۸۷۳ به علت شیوع وبا در انگلستان اتفاق افتاد، برای نخستین بار، صریحا رابطه مهندسی بهداشت و مرگ و میر انسان را باثبات رسانید، که منجربه ساخت نخستین دستگاه زباله سوز در سال ۱۸۷۶ گردید (۲)

راه‌های متعدد و روش‌های مختلفی برای حل مشکل دفع زباله ارائه شده است که هرکدام فرآیند مخصوص به خود و نیز مشکلات عملیاتی مخصوص به خود دارند.

اصول کلی و تکنیکهای بنیادی این روش‌ها به شرح زیر می باشد:

- کاهش مکانیکی حجم (فشرده سازی)
- کاهش شیمیایی حجم (زباله سوزی و ...)
- کاهش مکانیکی اندازه (خردکردن)
- جداسازی اجزاء (دستی یا مکانیکی)
- خشک کردن و آب زدایی (کاهش مقدار رطوبت)

انتخاب سیستم مورد نظر بستگی به اهداف قابل دستیابی دارد. هدف اصلی و ابتدایی دفع حجم زیاد زباله است و در کنار آن چنانچه منافع دیگری عاید شود بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد.

در روش کاهش شیمیایی حجم زباله، مواد آلی قابل اشتعال در زباله به چند روش تبدیل به مواد واسطه شده و در نهایت به انرژی تبدیل می شود.

این روش‌ها عبارتند از:

۱) سوزاندن زباله با احتراق مستقیم در بویلرهای برق برای تولید بخار
۲) پیرولیز برای تولید گاز سنتز یا سوخت مایع
۳) تجزیه بیولوژیکی با یا بدون لجن فاضلاب برای تولید متان

در سال‌های اخیر سوزاندن زباله از معمول‌ترین روش‌ها برای کاهش شیمیایی حجم محسوب می‌شود. اگرچه دیگر روش‌های شیمیایی نظیر پیرولیز، هیدرولییز و تبدیل شیمیایی هنوز برای کاهش حجم ضایعات مثمرثمر می‌باشد (۳)

زباله‌سوزی از جمله روش‌های شیمیایی است که علاوه‌بر تامین هدف ابتدایی که همان دفع زباله است، منافع دیگری مانند تولید انرژی حرارتی به همراه دارد که می‌تواند کاربردهای زیادی داشته باشد. در این روش از حرارت تولید شده از فرآیند زباله سوزی می‌توان برای تولید انرژی الکتریکی (برق) استفاده نمود. بدلیل اینکه زباله سوزی اکنون به دو منظور کاهش حجم ضایعات و تولید برق بکار می‌رود، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (۴)

یکی از جالبترین خصیصه‌های فرآیند زباله سوزی این است که این روش می‌تواند حجم ضایعات آلی قابل احتراق را ۸۰ تا ۹۰ درصد کاهش دهد. در بعضی از زباله‌سوزهای جدید که برای کار در دماهای بالا طراحی شده است، این قابلیت وجود دارد که

مواد مذاب تولید کند. در چنین زباله سوزهایی این امکان وجود دارد که حجم زباله‌ها را به کمتر از ۵ درصد مقدار اولیه (بیش از ۹۰ درصد تبدیل) رساند (۵)

اگرچه تکنولوژی زباله سوزها در دو دهه اخیر بسیار پیشرفت کرده‌است اما مسأله کنترل آلودگی هوا همچنان به‌عنوان یک مسأله اصلی در پیاده‌سازی آن باقی مانده است.

زباله سوزی، سوزاندن کنترل شده مواد زاید در دماهای بالا در تسهیلات خاصی طراحی شده برای احتراق کامل می‌باشد. طبق تعریف احتراق کامل شامل تبدیل اکسیژن به کربن دی‌اکسید (CO_2)، هیدروژن به آب (H_20) و گوگرد به دی اکسید گوگرد (SO_4) می باشد. محصولات احتراق عبارتند از خاکستر، گازها و انرژی حرارتی.

استفاده از زمین‌های دفن برای خلاصی از شر مواد زاید جامد به دلایل مختلف رو به کاهش است. به همین علت مطرح شدن استفاده از جایگزین‌های دیگر در مدیریت مواد زاید رو به افزایش است. قوانین EPA نیز که استفاده از زمین‌های دفن را غدغن و یا محدود کرده است، شرایطی را فراهم کرده است که استفاده از تکنیک زباله‌سوزی را معمول‌تر می‌کند (۶)

مبانی نظری

پسماند یا زباله به مواد جامد، مایع و گاز گفته می‌شود که به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم حاصل فعالیت انسان بوده و از نظر تولید کننده زاید تلقی می‌گردد (۷)

مسئله زباله یا به عبارت دیگر مواد زاید امروزه به یکی از معضلات زیست‌محیطی برای بشر تبدیل شده‌است. نظر به این که میزان زیادی از مواد زاید جامد را می‌توان مورد پردازش و بازیافت قرار داد، دفن یا رهاسازی این مواد راه و روشی منطقی به نظر نمی‌رسد. لذا امروزه در کشورهای توسعه‌یافته بازیافت و استفاده مجدد از ضایعات مورد توجه خاص قرار گرفته و به یک صنعت تبدیل شده‌است که این خود نشان دهنده اهمیت بازیافت مواد می‌باشد (۹)

مدیریت پسماند در ایران

کشور ما سالیانی است که به دلیل ازدیاد جمعیت و روند رو به رشد صنعت، فناوری و رفاه گرفتار معضل پسماند گردیده که جدای از مضرات ذاتی آن (نظیر آلودگی محیط زیست و تهدید سلامت انسان) هزینه‌های کلان حمل و نقل و دفن و ..... و نیز از دست رفتن سرمایه کشور و ... را هم به همراه داشته است. این معضل یکی از موانع اصلی رسیدن به اهداف برنامه‌ی پنجم توسعه می‌باشد که اهمیت توجه به راهکارهای کاهش، تفکیک و بازیافت را نشان می‌دهد. این طرح هرچند به صورت ناکافی در سال‌های اخیر آغاز شده است ولی برای پیشرفت و فراگیر شدن این طرح نیاز به تبلیغات وسیع و فرهنگ‌سازی عمده وجود دارد که بی شک در این خصوص راهکارهای اجتماعی و فرهنگی به عنوان مهم ترین ابزار جهت این امر می بایست به کار گرفته شود (۱۰)

تصویب قانون مدیریت پسماندها به عنوان نقطه عطفی در نظام حقوقی ایران در سال ۱۳۸۳ به عنوان یک قانون جامع در زمینه مقابله با آثار خطرناک آلودگی و مشکلات ناشی از پسماندها در راستای مدیریت بهینه آنها هر چند در نوع خود گام مهم و ارزشمندی به شمار می‌رود، ولی به نظر می‌رسد که به مسئله تفکیک زباله خانگی در مبادی ورودی آنها و نیز فرهنگ سازی در این خصوص بر روی نیروهای مردمی و واگذاری برخی از مسئولیت ها به بخش خصوصی توجه کافی نشده است (۱۱)

در کشور ایران، شهرداری ها نزدیک‌ترین نهاد در حوزه عملیات اجرایی، به مردم هستند که می‌توانند خدمات خود را با اطمینان از پذیرش و رضایت مردم، در تمام نقاط کشور ارائه دهند. در ایران با محاسبه حدود ۸۰۰ گرم سرانه زباله، هر روز بالغ بر ۵۰۰۰۰ تن مواد زاید جامد تولید می‌شود که در مقایسه با سایر کشورهای جهان با ۲۹۲ کیلوگرم زباله برای هر نفر در سال، در حد متعادلی قرار دارد. وجود حدود ۷۰ درصد مواد آلی قابل کمپوست و بیش از ۴۰ درصد رطوبت در زباله‌های خانگی باعث گردیده تا تهیه کمپوست از اولویت‌های مدیریت پسماند در کشور باشد. کمپوست عبارت است از تجزیه کنترل شده مواد آلی در حرارت و رطوبت مناسب به وسیله باکتری‌ها، قارچ‌ها، کپک‌ها و سایر میکروارگانیسم‌های هوازی و غیر هوازی. در فرایند تولید کمپوست در ابتدا زباله توزیع شده و وارد سرند می‌گردد، سپس به سالن تخمیر هدایت شده و در مرحله تخمیر، هوای

مورد نیاز به وسیله فن‌های هوادهی از طریق مجاری هوا تأمین می‌شود. بنابراین این سیستم به لحاظ مالی، نیاز به منبعی معتبر جهت تأمین مالی این تکنولوژی‌ها دارد (۱۱)

تبدیل زباله به انرژی حرارتی و الکتریکی

زباله‌سوزی اساساً فرمی از فرایندهای شیمیایی است که شامل اکسیداسیون سریع مواد می‌باشد، به بیان دیگر، فرآیند احتراق شامل چند مرحله بدین ترتیب است که زباله هنگام ورود به کوره خشک می شود (با تبخیر رطوبت موجود) سپس اجزای آلی گرم شده و به حد فراریت می‌رسند و سپس این اجزا در حضور اکسیژن می‌سوزند.

زباله سوزها، تجهیزات فرآیندی خاصی هستند که بستر لازم برای فرآیندهای فوق را فراهم می‌نمایند. بر اساس اینکه زباله‌ها بدون پروسه سوزانده شوند یا قبل از سوزاندن مورد فرآیندهایی قرار گیرند، به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. زباله‌سوزهایی که زباله‌های پروسه‌نشده را می‌سوزانند خود به دو دسته توده سوز و مدولار تقسیم می شوند. این دو نوع در طراحی، ساختمان، ظرفیت فرآیندی، نیازهای کنترل آلودگی هوا عمر مفید و هزینه های عملیاتی متفاوت می‌باشند. تجربیات عملیاتی گرانقدری با زباله سوزهای توده سوز با یا بدون بازیافت انرژی در آمریکا، اروپا و ژاپن وجود دارد (۱۳)

ارزش حرارتی زباله

پارامتری که باید مدنظر قرار گیرد، ارزش حرارتی زباله است. زمانی سودمندی این کار تضمین می‌شود که ارزش سوختی زباله جهت تولید انرژی کافی باشد.

مطالعه در این زمینه به بررسی پارامترهای متعددی نیازمند است. ارزش حرارتی مواد متشکله زباله به آداب و رسوم و فرهنگ تولیدکنندگان زباله بستگی مستقیم دارد. فصول مختلف سال، سطح زندگی، جمعیت، تغییرات آب و هوا و بسیاری از فاکتورهای دیگر، اختصاصات ویژه ای را در مورد مواد تشکیل‌دهنده زباله به‌وجود می‌آورند. ارزش حرارتی زباله حتی در یک منطقه از شهر با نقطه دیگر متفاوت است (۱۴)

علی‌هذا با توجه به توسعه شهرها و رشد جمعیت مسئله دفع زباله از نظر اقتصادی و بهداشتی روز به روز پیچیده‌تر می‌شود و لذا مطالعه بر روی پارامترهای تاثیرگذار در مورد زباله‌سوزی نیز ضرورت بیش‌تری پیدا می‌کند.

سیستم بازیابی انرژی در زباله‌سوزی

سیستم بازیابی انرژی در زباله سوزی شامل بویلر هایی میشود که انرژی حرارتی آزاد شده از زباله رابه بخار تبدیل میکنند و سپس به وسیله توربین‌ها یا ژنراتورها، بخار به برق تبدیل می‌شود. اساساً در این وضعیت، نیروگاه به‌جای گاز، نفت یا زغال سنگ، از مواد زائد جامد شهری استفاده می‌کند. راندمان بازیابی الکتریکی از این سیستم‌ها بین ۳۰–۲۰٪ متغیر است.

انرژی حاصل از سوختن زباله به اشکال مختلف بازیافت می‌شود. معمولاًبازیافت انرژی به دو هدف انجام می‌گیرد. در کشورهای اسکاندیناوی درصد زیادی از انرژی بازیافت‌شده برای تولید آب گرم به‌منظور گرمایش ناحیه‌ای و در سایر کشورها برای تولید بخار به‌منظور تولید برق استفاده می‌شود. سیستم‌های تبدیل زباله به انرژی[۱] سیستم‌هایی هستند که با تحقیق مطالعات اکسرژی[۲]و توجه به تلفات انرژی در بخش های مختلف پردازش و نیز با توجه به استفاده مناسب از حرارت فرآیند، خروجی برق بیشتر و بازده بالاتری را ارائه دهند. در سال‌های اخیر، سیستم‌های تبدیل زباله به انرژی با بازدهی بالای تولید برق، کاربردهای عملی بسیاری را در دنیا نشان داده‌اند. این سیستم‌های جدید، سیستم‌های تبدیل انرژی به زباله بویلرهای دما بالا و فشاربالا هستند.

[۱] WTE (waste to energy)

[۲] اکسرژی اصطلاحی ترمودینامیکی است و به بیشینه ی کار مفیدی گفته میشود که در یک فرآیند رسیدن به تعادل ترمودینامیکی میتوان از سیستم دریافت کرد.

تبدیل زباله به انرژی

انواع سیستم‌های تبدیل زباله به انرژی معمول، بویلر دما و فشار بالا، سیستم‌های سیکل ترکیبی و سیستم‌های زباله–پیرولیز–گازیفیکاسیون-گداخت از دیدگاه موازنه اکسرژی و بازدهی تولید برق با هم مقایسه شدند و نتایج زیر حاصل گردید:

۱– در سیستم‌های تبدیل زباله به انرژی، بالاترین اتلاف اکسرژی در بویلرها اتفاق می‌افتد و سهم آن تقریباً ۵۰٪ از اکسرژی کل است (۱۵)

۲- هنگامی که دما و فشار بخار تولیدی افزایش یابد، اتلاف اکسرژی کاهش می‌یابد. از بین همه سیستم‌های مقایسه‌شده، سیستم تبدیل زباله به انرژی، زباله-پیرولیز-گازیفیکاسیون-گداخت کمترین اتلاف اکسرژی را در بویلر ها نشان می‌دهد و بعد از آن سیستم های سیکل ترکیبی تبدیل زباله به انرژی و سیستم‌های بویلر دمابالا و فشاربالا تبدیل زباله به انرژی و سیستم های تبدیل زباله به انرژی معمول در رتبه‌های بعدی قرار دارند (۱۶)

۳–بازدهی تولید برق سیستم‌های تبدیل زباله به انرژی می‌تواند بسته به ارزش حرارتی زباله متغیر باشد. در صورتی که ارزش حرارتی مقدار نسبتاً بالایی باشد، سیستم‌های تبدیل زباله به انرژی، زباله–پیرولیز-گازیفیکاسیون-گداخت اجرای خوبی را نشان می‌دهند و در حالتی که ارزش حرارتی زباله مقدار نسبتاً بالایی باشد، سیستم‌های سیکل ترکیبی تبدیل زباله به انرژی، بازدهی تولید برق بالایی در رنج گسترده ای از ترکیبات متنوع زباله ورودی دارند (۱۶)

۴-سیستم تبدیل زباله به انرژی، زباله–پیرولیز–گازی فیکاسیون-گداخت تقریباً در همه مقادیر ارزش کالری بالاترین بازدهی را دارد، اما زمانیکه همراه با سوخت کمکی سوزانده شود، بازدهی تولید برق بسیار پایین تری را نشان خواهد داد (۱۶)

سیستم های جمع‌آوری فعال سیستم های جمع‌آوری غیر فعال

سیستم‌های جمع‌آوری فعال از دمنده‌های مکانیکی و با کمپرسورها به منظور ایجاد گرادیان فشار برای استخراج گاز لندفیل استفاده می‌کنند، در حالیکه در سیستم های جمع‌آوری غیر فعال، گرادیان فشار طبیعی بوجود آمده بین فشار گاز تولیدی داخل لندفیل و فشار هوای محیط باعث انتقال و استخراج گاز می‌گردد. بر اساس پیش‌بینی‌های تئوریک، سیستم‌های جمع‌آوری فعال دارای بهترین راندمان عملکرد در میان انواع سیستم های جمع آوری گاز لندفیل می باشند. سیستم های جمع آوری غیر فعال، راندمان به مراتب کمتری را در میان انواع سیستم های جمع آوری دارا هستند. زیرا همانطور که بیان شد سیستم‌های جمع آوری غیر فعال از گرادیان فشار طبیعی برای استخراج و جمع‌آوری گاز استفاده می‌کنند، در حالیکه در سیستم های جمع‌آوری فعال یک گرادیان فشار اجباری به عنوان نیروی منتقل کننده گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۷)

امکان‌سنجی تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولید انرژی از زباله های شهری تهران

در حال حاضر تکنولوژی‌ها و روش‌های مختلفی برای تولید انرژی از پسماندهای شهری مطرح می باشد. در برخی از این تکنولوژی‌ها، تولید انرژی اولویت اول را دارد و برخی دیگر امحاء زباله در اولویت می‌باشد. به‌طور کلی در حال حاضر تکنولوژی های زیر در سطح جهان استفاده می‌شود:

۱. دفنگاه زباله
۲. زباله سوز
۳. گازسازی زباله
۴. پیرولیز زباله
۵. توسط هاضم بی هوازی
۶. بیوگاز
۷. تولید سوخت زباله
۸. پلاسما

از نظر فنب با توجه به شرایط محیطی تهران و مشخصات پسماندهای تولیدی، اغلب روش‌های فوق قابل اجرا و بهره‌برداری می‌باشند، ولی مسئله‌ی مهم انتخاب تکنولوژی‌های با مناسب‌ترین عملکرد برای کلان‌شهر تهران با توجه به ترکیب پسماندهای جامد شهری، تکنولوژی‌های اثبات شده و استراتژی مدیریت پسماندهای جامد شهری می‌باشد.

تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولید انرژی از زباله‌های تهران

تولید برق از دفن‌گاه زباله

در صورت دفن زباله‌های خانگی و در عدم حضور اکسیژن، بخش آلی زباله‌های مدفون تجزیه‌شده و ترکیبی از گازهای متان، دی‌اکسیدکربن، هیدروژن، ازت و مقدار کمی ترکیبات کلر و فلوئور و رطوبت تولید می شود. معمولا تولید گاز پس از دو ماه از دفن آغاز شده و تا ۱۰۰ سال نیز ادامه می یابد. برای تولید برق در این روش، چاه های استحصال گاز با فواصل مختلف نسبت به هم حفر گردیده و لوله های پلی اتیلنی سوراخ دار در درون چاه قرار گرفته و دور آن نیز با شن پر میشود. سپس سر چاه با محیط بیرون کاملا جدا (بسته شده) شده و سیستم شیر روی آن نصب می گردد. لوله های جمع‌آوری و انتقال گاز به شیرهای مذکور متصل شده و گاز تولیدی پس از عبور از سیستم رطوبت گیر و حذف گازهای خورنده، وارد سیستم برق میشود. سیستم تولید برق می‌تواند دیزل ژنراتور، توربین گازی و یا میکروتوربین باشد. همچنین استفاده مستقیم (تولید حرارت و بخاره) در بویلرها با سوزاندن گاز لندفیل و با تزریق به شبکه گاز طبیعی محلی نیز قابل انجام است (۱۷)

صرفنظر از انگیزه‌های اقتصادی، انگیزه‌های مربوط به مسائل زیست‌محیطی نیز در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای یافته‌است. گاز لندفیل به لحاظ داشتن بیش از ۵۰ ٪ متان به عنوان منبعی مهم برای تولید گاز های گلخانه ای محسوب می‌شود که در صورت عدم کنترل این گاز و آزاد شدن آن در هوا، اثرات زیست محیطی بسیاری را در پی خواهد داشت. زباله علاوه بر انتشار گازهای گلخانه ای، حاوی مقادیر زیادی آلاینده آب، هوا و خاک میباشد و جهت کنترل آنها، علاوه بر اجباری بودن دفن بهداشتی (کف و روکش دفنگاه تا حدود زیادی غیرقابل نفوذ می گردد)، در سطح جهان بر کاهش پسماندهای دفنی نیز تأکید بسیار زیادی می‌گردد (۱۵)

بیوگاز: مجموعه گازهای تولید شده از تجزیه و تخمیر فضولات حیوانی یا انسانی و گیاهی را که در نتیجه فقدان اکسیژن و فعالیت باکتری های غیر هوازی، به‌ویژه متان را در یک محفظه تخمیر بوجود می آید، اصطلاحا بیوگاز می نامند. قسمت اعظم این گاز عموما از متان و گاز کربنیک تشکیل شده و ترکیبات مختلف آن بستگی به نوع مواد اولیه‌ای دارد که برای تولید گاز مصرف می‌شود. حجم و فرم ساختمانی دستگاه تولیدکننده گاز بستگی کامل به میزان حرارت و زمان ماندن مواد در مخزن تخمیر دارد. دستگاه بیوگاز وسیله‌ای است که می‌تواند تحت شرایط ویژه مواد فسادپذیر حیوانی انسانی و یا گیاهی را در مخزنی که محفظه تخمییر نامیده می‌شود تجزیه نموده و در نتیجه یک سلسله عملیات شیمیایی و بیوشیمیایی قسمتی از مواد آن را که کاملا تحت تاثیر عکس العمل‌های بیولوژیکی واقع می‌شوند، به بیوگاز تبدیل نماید. در صورت استفاده از شبکه جمع‌آوری بیوگاز می‌توان در حدود ۵۰ الی ۸۰ درصد گازهای تولیدی در محل دفن را بازیابی نمود. گازهای جمع‌آوری شده در اماکن دفن می‌تواند به صور زیر به‌عنوان منبع انرژی مورد استفاده قرار گیرد. البته باید در نظر داشت این موارد عمدتا برای محل‌های دفن شهری می‌توانند به‌کار گرفته شوند و در محل‌های دفن روستایی به دلیل کم بودن حجم زباله ها کاری ندارد (۱۸)

بازیابی و تبدیل بیوگاز تولیدی به الکتریسیته: بیوگاز بازیابی شده می تواند جهت استفاده در ژنراتور مولد الکتریسیته در محل مورد استفاده قرار بگیرد. باید در نظر داشت الکتریسیته در اماکن دفن به مقادیر نسبتا بالایی نیازمند بوده و لذا برای اماکن دفن کوچک مناسب نمی‌باشد.

استفاده از بیوگاز به‌عنوان گاز BTU متوسط بیوگاز حاصله از اماکن دفن می تواند مستقیما به عنوان سوخت با BTU متوسط جهت تولید حرارت، سرما و یا بخار در فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار بگیرد.

احداث لندفیل بهداشتی به منظور تولید برق از زباله در کلان شهر تهران

دفن بهداشتی زباله به معنی انتقال مواد زائد جامد به محل ویژه و دفن آنها در دل خاک به نحوی که خطری متوجه محیط زیست نشود، می‌باشد. در این روش اساساً احداث مسیرهای لوله کشی مناسب در بستر لندفیل و انتقال گازهای تولیدی به

تصفیه خانه جهت راه‌اندازی موتورهای درونسوز مورد توجه قرار می‌گیرد. مسئله مهم در مورد دفن بهداشتی زباله این است که باید صرف نظر از رعایت جنبه‌های اقتصادی از نظر تکنیک، انتخاب محل و عملیات، شرایط استفاده مجدد از زمین و مواد دفن شده پس از گذشت زمان مناسب فراهم شود. با توجه به سطح آب های زیر زمینی در تهران، انتخاب زمین‌های پست و گودال‌ها برای دفن زباله مناسب نمی‌باشد. محل دفن زباله باید در فاصله مناسبی از شهر باشد، زیرا زیادی فاصله موجب پرداخت هزینه گزاف حمل و نقل و نزدیکی زیاد ازحد آن از نظر آلودگی محیط زیست اصولی به نظر نمی‌رسد. خاک‌های تشکیل‌دهنده محل دفن به طور کلی بهتر است از نوع شتی رسی باشد، گرچه انواع دیگر زمین‌ها به شرط سهولت در عمل گود برداری و شیاربندی نیز قابل استفاده می‌باشند. مقدار خاک پوششی مورد نیاز تابع عمق زباله فشرده شده در زمین است. مناسب‌ترین خاک برای پوشش زباله، خاکی است که از نظر کاربرد آسان تر بوده و نشت شیرابه را به حداقل برساند (۱۹).

بیشتر مناطقی که می توانند در تهران برای دفن بهداشتی زباله مناسب باشند، به صورت زمین مسطح هستند. برای انتخاب جایگاه دفن، باید در نظر گرفت که عمق آب‌های زیرزمینی برای تعیین جایگاه از فاکتور های ضروری است، بر این اساس باید به جنبه‌های زمین شناسی منطقه توجه داشت. زمین‌های دارای پستی و بلندی، در صورت مهیا بودن بقیه شرایط دفن به دلیل جای دادن زباله بیشتر در واحد سطح مناسبند. برای دفن بهداشتی زباله در تهران باید مواد زائد جامد به صورت لایه لایه انباشته گردد و زباله ها تا حد ممکن فشرده شده تا از حجم آنها کاسته شود. در پوشش زباله های فشرده شده، لایه های پوشاننده با شیب کمی ایجاد می شوند تا آب های سطحی و باران بر روی زباله ها جمع نشود. همچنین با ایجاد بادشکن های طبیعی و همچنین فنس کشی از حرکت زباله ها جلوگیری به عمل آید، تا بدین وسیله از چشم انداز نامناسب ممانعت شود.

احداث نیروگاه زباله سوز به منظور تولید برق از زباله در کلان شهر تهران

گزینه دوم برای مدیریت زباله های جامد شهری در کلان شهر تهران و تولید انرژی از آن، احداث نیروگاه زباله سوز می‌باشد. در کل، زباله سوزی فرآیندی است که توسط آن زباله‌ها در مجاورت حرارت مشتعل شده و موادی مثل خاکستر و گازهای مختلف به عنوان محصولات احتراق تولید می شوند. نیروگاه‌های مبتنی بر بهره گیری از زائدات جامد شهری بر پایه زباله سوزی، دارای مزایای زیادی همچون عدم نیاز به اراضی زیاد برای دفن زائدات، عدم آلایندگی محیط زیست، تولید انرژی الکتریکی و حرارتی در مقیاس نیروگاهی و برخورداری از ظرفیت های متغیر (امحاء زائدات و تولید انرژی می‌باشند. از این رو این نوع نیروگاه‌ها در جهان دارای گسترش زیادی هستند. انواع تکنولوژی های زباله سوزی که برای تولید انرژی از زباله های جامد شهری استفاده شده یا مورد ملاحظه قرار گرفته اند، عبارتند از: (۱۸)

۱ - احتراق چند مرحله‌ای (همراه با جداسازی اولیه)

۲- احتراق توده‌ای (تک مرحله‌ای)

۳- احتراق به روش بستر شناور

۴ - احتراق به روش کوره دوار

روش احتراق توده سوزی، در مقایسه با سایر تکنولوژی ها از سادگی بیشتر و هزینه پایین‌تری برخوردار است و هم قابلیت امحاء تقریبا تمام زائدات و استصحال انرژی از آنها را دارد. مطابق بررسی‌های انجام شده در جهت احداث نیروگاه زباله سوز، زباله‌سوز پیشنهادی به جهت جلوگیری از پیچیدگی های فنی و سهولت اجرا، از نوع زباله سوز با قابلیت بارگذاری تمامی زائدات می باشد. با توجه به میزان رطوبت بالای زباله های ورودی به سیستم زباله سوز، باید این کارخانه مجهز به سیستم سوخت اندازی اتوماتیک باشد.

انواع مختلف کوره‌هایی که معمولا در کارخانه‌های زباله‌سوز استفاده میشوند عبارتند از: کوره‌های مجهز به شبکه متحرک، کوره های دوار و کوره‌های بستر متحرک که کوره مجهز به شبکه متحرک برای زباله های تهران مناسب تر است. اجزای اصلی نیروگاه زباله سوز عبارتند از انبار زباله نیروگاه، وسیله تزریق زباله به کوره زباله سوز (جرثقیل)، کوره زباله‌سوز، بویلر بازیافت حرارت، تجهیزات کنترل آلودگی هوا(اسکرابر، فیلتر) دودکش و همچنین مسیر آب - بخار. انتخاب فناوری مناسب برای احداث

یک نیروگاه زباله سوز، با توجه به ویژگی های اقلیمی و فرهنگی محل احداث و زباله انجام میگیرد. به علاوه، طراحی صحیح و بهینه می تواند گامی مهم در جهت عملکرد مطلوب زباله سوز محسوب می‌گردد (۲۱)

فرآیند هضم بی هوازی به منظور تولید برق از زباله در شهر تهران

سومین روش پیشنهادی به منظور مدیریت زباله های کلان شهر تهران و تولید انرژی الکتریکی، روش هضم بی هوازی زباله‌های جامد شهری می‌باشد. این روش بر فرآیند بیولوژیکی استوار است و قابلیت‌های بسیاری دارد. تجزیه بیولوژیکی و بی‌هوازی مواد آلی موجود در زباله‌های جامد شهری در غیاب اکسیژن و حضور میکروارگانیزم های بی‌هوازی حاصل یک سری فعل و انفعالات متابولیکی در بین گروه‌های مختلف میکروارگانیزم‌ها می‌باشد. این فرآیند در سه مرحله ی هیدرولیز (مایع سازی)، اسیدسازی و متان‌سازی رخ می‌دهد. هضم بی هوازی در هاضم‌های بزرگی انجام می‌شوند که در بازه‌ی دمایی ۳۰°C تا ۶۵°C نگه داشته می‌شوند.

به طور کل از لحاظ عملیاتی فرآیند هضم بی هوازی می‌تواند به چهار مرحله تقسیم گردد:

۱) پیش تصفیه ۲) هضم زباله ۳) بازیافت گاز ۴) تصفیه پسماندها

برای دستیابی به مواد خام همگن، بیشتر سیستم‌های هضم به پیش تصفیه زباله نیاز دارند. پیش پردازش شامل جداسازی مواد غیرقابل هضم و خرد کردن می باشد. در جداسازی در مبدأ، مواد نامطلوب یا غیر قابل بازیافتی مثل شیشه، فلزات، سنگ ها و غیره حذف میشوند و مواد قابل بازیافت از زباله های الی جدا میگردند. اگر جداسازی در مبدأ امکان پذیر نباشد، می توان از جداسازی مکانیکی استفاده نمود. البته در این حالت، ماحصل فرآیند که بسیار آلوده است دارای قابلیت کمپوست کمی می‌باشد. زباله قبل از تزریق شدن به هاضم خرد می‌گردد. گاز تولیدی در فرآیند هضم بی هوازی توسط اسکرابره تصفیه می‌شود تا به کیفیت مطلوب برسد. بیوگاز تصفیه شده به سیستم موتور - ژنراتور فرستاده می‌شود تا در آنجا برای تولید انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد. در مرحله تصفیه ی پسماند جریان خروجی از هاضم آب زدایی می‌شود و مایع حاصل شده در رقیق سازی خوراک ورودی استفاده میگردد. بیوگاز جامدات به دست آمده به طور هوازی تحت عمل قرار میگیرند تا محصول کمپوست به دست آید (۲۱)

نتیجه گیری

برای تولید انرژی الکتریکی از زباله‌های جامد شهری در کلان شهر تهران و با در نظر گرفتن شرایط زباله های این منطقه، سه روش احداث لندفیل بهداشتی، احداث نیروگاه زباله سوز و استفاده از فرآیند هضم بی هوازی قابل استفاده هستند.

روش احداث لندفیل بهداشتی اگرچه در مقایسه با دو روش دیگر، ساده ترین و نسبتا روش ارزانی است اما طبق محاسبات انجام شده در تخمین مساحت زمین مورد نیاز برای داشتن یک لندفیل بهداشتی به منظور دفن هدفمند زباله‌های شهری تهران، زمینی با مساحت تقریباً (۵۶۸) هکتار نیاز می باشد و یافتن سایت دفن مناسب از لحاظ جغرافیایی در محدوده شهر تهران، مشکل کمبود زمین وجود دارد. با توجه به اینکه قسمتی از آب مصرفی کلان شهر تهران از سفره‌های آب زیرزمینی تأمین می‌شود، مسئله تصفیه شیرابه همچنان به عنوان یک چالش مطرح خواهدبود و از طرفی بخاطر آب‌وهوای سرد تهران در زمستان ها به خاطر سردی هوای مداوم و بیش از حد مجاز برای لندفیل، تقریباً تجزیه زباله (خروج گاز از لندفیل) در زمستان ها متوقف می‌شود، لذا پیشنهاد احداث لندفیل بهداشتی برای مدیریت زباله های جامد شهری در کلان شهر تهران حذف می‌گردد.

روش هضم بی‌هوازی روشی است که در دو دهه گذشته در دنیا بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است و هنوز به انجام تحقیقات بیشتری نیاز دارد. از طرف دیگر، بر اساس تحقیقات انجام شده، بیشتر کشور هایی که از روش هضم بی هوازی برای فرآوری زباله و تولید انرژی استفاده می‌کنند، دارای فرهنگ جداسازی زباله در مبدأ هستند(برای کاهش هزینه های سنگین مربوط به پیش تصفیه زباله)، برخلاف فرهنگ حاکم بر کشور ما، ایران که جداسازی زباله از مبدأ در سطح جامعه اجرا نمی‌گردد. مسئله دیگری که وجود دارد این است که معمولا کارخانه‌هایی که از روش هضم بی هوازی با ظرفیت بالا استفاده می‌کنند، برای تولید بیشتر متان و بالا بردن بازدهی، بخش آلی زباله های جامد شهری را با زباله های بیولوژیکی مثل فاضلاب های شهری و

ضایعات کشتارگاه ها و غیره مخلوط می کنند و چون میزان زباله تولیدی در تهران زیاد می‌باشد به نظر می‌رسد که فرآوری تنها بخش آلی زباله های جامد این شهر با این روش چندان سودمند نباشد.

از بین دو روش زباله سوزی و هضم بی هوازی، با در نظر گرفتن فرهنگ حاکم بر جامعه و شرایط عملیاتی هر کدام از دو روش ذکر شده، روش زباله سوزی به عنوان مناسب ترین روش برای مدیریت زباله جامد شهری به منظور تولید الکتریسیته در تهران معرفی می شود.

نیروگاه های زباله سوز دارای جایگاه ویژه ای در انهدام زباله در کشور های پیشرفته می باشند. با توجه به قوانین زیست محیطی و پیشرفت های تکنولوژی، گسترش نیروگاه های زباله سوز با توجه به توسعه چشمگیر تکنولوژی طراحی و ساخت آنها همراه بوده است، در مقایسه با روش دفن زباله، نیروگاه های زباله سوز دارای مزایای بسیار زیادی می باشند. علاوه بر بازیافت انرژی در آنها به صورت انرژی حرارتی و برق این نیروگاه ها انتشار آلاینده های به مراتب کمتری دارند، به صورتی که انتشار آلاینده های زیست محیطی از نیروگاه های زباله سوز مدرن دارای کاهش بسیار زیادی در مقایسه با نیروگاه های قدیمی می باشند. در حال حاضر یک نیروگاه زباله سوز از یک نیروگاه حرارتی معمول دارای انتشار آلاینده های کمتری میباشد. در نتیجه با توجه به مزایای استفاده از نیروگاه های زباله سوز نسبت به روش سنتی دفن زباله انجام پروژه طراحی و ساخت نیروگاه های زباله سوز در کلان شهر تهران به منظور تولید انرژی حرارتی و برق پیشنهاد می گردد.

برای حل مشکل پایین بودن ارزش حرارتی زباله های کلان شهر تهران پیشنهاداتی نیز وجود دارد که از آن جمله می توان به:

• تولید سوخت مشتق از زباله در شهرها و استان های مجاور مرکز زباله سوز تهران و ارسال آن به این مرکز اشاره داشت که طرفین از این موضوع منتفع خواهند شد. خوراک دهی لجن تصفیه خانه فاضلاب و دیگر مراکز به این نیروگاه ها است که به دلیل داشتن ارزش حرارتی مناسب، می‌تواند به بهبود شرایط کمک کند. این پیشنهاد از آن جهت اهمیت دارد که این لجن‌ها غالبا در زمین دفن می‌شوند.

استقرار نیروگاه های زباله سوز در نزدیکی مراکز قدیمی دفن زباله است تا بتوان از گاز متان حاصل از مراکز دفن، به عنوان سوخت کمکی در نیروگاه های زباله سوز بهره جست. ضمنا بر هیچکس پوشیده نیست که با واقعی تر شدن قیمت سوخت و برق، محاسن اقتصادی مرکز زباله سوز تهران نیز بیش از پیش آشکار خواهد شد.

منابع

1) Pvrasghr Sangachin,F, Dinarvand,m. 1390. Solid Waste Management in Tehran emphasis on source separation, the Fifth National Conference and Exhibition of Environmental Engineering.
2) Abduli,M. 1392, The need to develop rules and regulations for solid waste management in the Islamic Republic of Iran, the first seminar of recycling and transforming materials, recycling and conversion Organization of Tehran Municipality.
3) Charles R. Rhyner, Leander J. Schwarrtz, Robert B. Wenger, Mary G. Kohrell, waste management and resource recovery, K. N. Toosi Press, 32-33.
4) Abduli,M , Shirazi Akbarpour,M, Omidvar,B, Samieifard,R. 1394. A Survey of Municipal Solid Waste Generation in 22 Regions of Tehran With Solid Waste Reduction Approach, Scientific Journal of Public Health Faculty of Yazd, Issue II.
5) Naqavi,R, Hassani,A. 1398. Economic perspective of The Source separation schemes (Case Study: District 20 of Tehran), Third National Conference on Waste Management.
6) Pvrasghr Sangachin,F, Dinarvand,M. 1390. Solid Waste Management in Tehran emphasis on source separation, the Fifth National Conference and Exhibition of Environmental Engineering.
7) Jafari Nasab,T. 1393. Management's assessment of waste source separation in municipal planning approach (Case Study: District 4 of Tehran), The Seventh National Conference and Exhibition on Environmental Engineering.

8) Hassanvand,M, Nabizadeh,R, Heidari,M. 1397. Analysis of municipal solid waste in Iran", Journal of Health and Environmental Health Association, Volume I, Issue I, 9-18.
9) Hung, M.L., et al.2007. A Novel Sustainable Decision Making Model for Municipal Solid Waste Management. Waste Management. 27, 209–219.
10) Zamali, Tarmudi, et al, 2010. Evaluating Municipal Solid Waste Disposal Options by AHP-based Linguistic Variable Weight.
11) IGD (2017). Energy Recovery and Disposal. Archived from the original on 2014-04-07.
12) Oliver, Christian, Financial,T. 2014. Biofuels: Wasted Energy, Retrieved 2014-07-03.
13) Moran, Kevin. 2014. Financial Times ,Retrieved 2014-07-03.
14) IPCC Guidlinrs for national Greenhouse Gas Inventories, vol.5:Waste. IGES, Japan.
15)Bogner ,Jean (2016) aste management , Cambridge University Press ,
United Kingdom .
16) Cointreau-Levine, S (2014) Private sector participation in municipalsolid waste services in developing countries, The Formal Sector.Urban Management and the Environment, Vol.1 13, UNDP/UNCHS (UnitedNations Centre for Human Settlements), World Bank, Washington,D.C .
17) Environmental protection agency (EPA) , Department of the environment, 1990)
18) Goldenhar, L.M. & Connell, C.M (2017) Understanding and predicting recycling behavior: an application of the theory of reasoned action, Journal of Environmenta l Systems, 22, page. 91- 103.
19) Hopper, J.R. & Nielsen, J.M.(2016) Recycling as altruistic behaviour, normative and behavioral strategies to expand participation in a community recycling program, Environment & Behaviour, 23.
20) International Labour Organization (2017) Start Your Waste Recycling Business Technical Handouts.
21) ronland w.mcquaid & angus r.murdoch (2018) Recycling Policy in Area of Low Income and Multi-story Housing , Journal of environmental planning and management , Volume 39