بررسی و مقایسه فنآوری‌های تولید برق از پسماندهای جامد شهری

جواد نصیری[۱]

چکیده:

پسماندهای شهری محصول جنبی و زائد زندگی اجتماعی می‌باشد که مدیریت صحیح آن بعنوان یکی از دغدغه‌های اصلی مسئولین شهری و کشوری مطرح می‌باشد. از طرف دیگر مشکلات زیست محیطی ناشی از پسماندهای مذکور نظیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین تولید آلاینده‌های آب، هوا و خاک نیز باعث توجه جدی سازمان‌های بین‌المللی و مسئولین کشورها به امر مدیریت و امحاء آنها شده است. معمولاً مدیریت و امحاء پسماندها هزینه‌های سنگینی بر شهرها و بودجه کشورها تحمیل می‌نماید ولی از آنجا که هزینه مذکور از هزینه کردن در مقیاس به مراتب وسیع‌تر در جهت رفع اثرات جنبی اجتماعی، زیست محیطی و بهداشتی و عدم مدیریت صحیح پسماندها جلوگیری می‌نماید، شهرها در برنامه‌ریزی‌های خود بحث مدیریت صحیح و بهینه پسماندها را لحاظ می‌نمایند. از طرف دیگر و با توجه به اینکه هزینه‌های مذکور بعنوان تهدیدی در مقابل مدیریت پسماندهای شهری عمل می‌کند، مدیران شهری سعی در یافتن راه‌های جدیدی برای مدیریت پسماندها و تبدیل تهدیدها به فرصت‌ها دارند که در این مسیر تولید انرژی یکی از راهکارهای منتخب می‌باشد. امروزه ثابت شده است که سرمایه‌گذاری برروی تولید انرژی از پسماندهای شهری ضمن بازگرداندن تمام سرمایه‌گذاری مذکور، تمام یا بخشی از سرمایه‌گذاری مدیریت پسماندها را نیز برگشت می‌دهد.

امروزه تولید انرژی بعنوان یک گزینه برتر در مدیریت پسماندهای شهری مطرح است و هر ساله سهم تولید انرژی از پسماندها در مدیریت پسماندها رشد می‌یابد. در این مقاله ضمن معرفی چند فناوری تولید انرژی از پسماندهای شهری، فناوریهای مناسب برای ایران و هزینه و قیمت تمام شده آنها ارائه می‌شود.

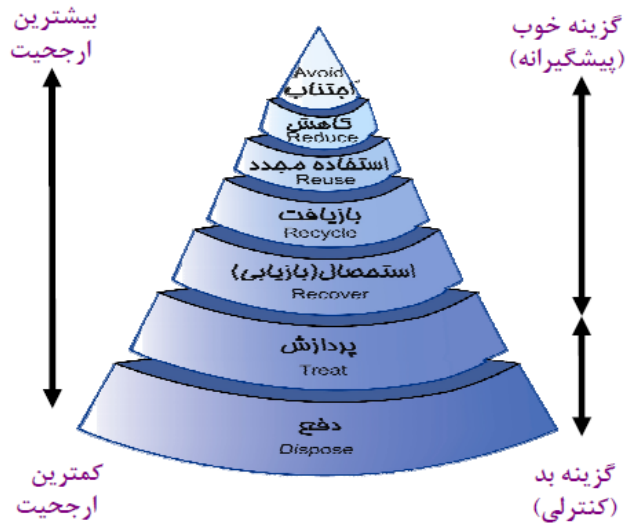
واژگان کلیدی: لندفیل، زباله سوز، RDF، پلاسما، بیوگاز، گازی‌سازی، پیرولیز، برق، حرارت، پسماند، بازیافت.

۱. فوق لیسانس مهندسی مکانیک، مدیر دفتر زیست توده سازمان انرژی‌های نو ایران Biohydro@iranenergy.org.ir

مقدمه

سالانه میلیونها تن زباله در سطح جهان تولید و امحاء می‌شود و کشورهای مختلف هر یک به شیوه‌ای موضوع را مدیریت می‌کنند. در ایالات متحده آمریکا و آمریکای شمالی سیاست اصلی بر بازیافت پسماندهای خشک ارزشمند، کمپوست، دفن و تولید انرژی از آن استوار است. در جامعه اروپا و ژاپن سیاست اصلی بر بازیافت پسماندهای خشک ارزشمند، کمپوست، زباله‌سوز و تولید انرژی از آن استوار بوده و دفن پسماندهای قابل بازیافت (مواد و انرژی) ممنوع می‌باشد. در سایر کشورهای جهان حسب مورد، ترکیبات مختلفی از شیوه‌های مدیریت نظیر بازیافت، دفن و زباله‌سوزی استفاده می‌گردد. در حال حاضر اغلب کشورهای جهان برنامه‌های خود را در راستای سیاست 4R برگزیده و آنرا بسط و توسعه می‌دهند. در شکل (۱) مراتب مدیریت پسماندهای شهری که مورد قبول اغلب کشورها و مدیران شهری بوده و با شدت و ضعف در شهرهای زیادی پیاده می‌شود، نشان داده شده است.

شکل شماره (۱) – سلسله مراتب مدیریت پسماندهای جامد شهری



مدیران شهری با پیاده سازی و اجرای مراتب نشان داده شده در شکل (۱) بدنبال بهبود سیستم مدیریتی، کاهش سریع حجم زباله (با کاهش تولید پسماند، استفاده مجدد، بازیافت مواد و انرژی)، کاهش هزینه‌های پردازش و دفع زباله، از بین بردن خطر آلودگی آبهای سطحی، کاهش بو، کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای، کاهش میزان آلاینده‌های هوا و خاک، از بین بردن زیستگاه جانوران موذی و کاهش نیاز به زمین برای دفن و.... با یک هزینه بهینه می‌باشند.

تولید انرژی از پسماندهای شهری بویژه پسماندهای جامد شهری در سطح جهان در حال توسعه می‌باشد. این امر بدلیل افزایش بازیافت انرژی، کاهش دفن، ایجاد درآمد برای مدیریت پسماند، تنوع بخشی به منابع تولید انرژی، افزایش

امنیت عرضه انرژی و... می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه تأسیسات مدیریت پسماندها خود از استفاده کنندگان انرژی هستند، تولید انرژی در محل باعث کاهش تلفات شبکه برق شده و به سیستم انرژی الکتریکی کمک شایانی می‌کند.

یکی از معضلات بزرگ زیست محیطی که دنیا با آن مواجه می باشد، تغییرات آب و هوایی و جوی بوده و در این میان کشورهای در حال توسعه از این جهت، با بیشترین آسیب‌ها و تهدیدها روبرو می‌باشند. زمین روز به روز در حال گرم‌تر شدن است که یکی از دلایل این پدیده، تغییرات جوی می باشد و جوامع و دولت‌ها برای مهار این مسأله و قبل از اینکه شرایط به نقطه بدون بازگشت برسد، نیازمند وضع قوانین مستقیم یا قوانین انعطاف‌پذیر دارند. یکی از عمده ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای و بویژه گاز متان، دفنگاه‌های زباله می‌باشند. براساس بررسی‌های صورت گرفته در آمریکا، ۳۷٪ گازهای گلخانه‌ای منتشره در ان کشور ناشی از دفنگاه‌های زباله آن کشور می‌باشد.

ررسی‌های اولیه صورت گرفته در دفتر زیست توده سازمان انرژیهای نو ایران حاکی است که افزودن سیستم تولید انرژی به هر روش امحا و کاهش پسماندهای دفنی نظیر لندفیل، زباله سوز و بیوگاز، اثرات مثبت اقتصادی به مراتب بیشتر از اثرات مالی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و جاری سالانه ناشی از افزایش واحد تولید برق را در پی دارد.

۱. پتانسیل تولید انرژی از زباله‌های شهری

مطالعه پتانسیل تولید انرژی از زباله‌های شهری ایران در سال ۱۳۸۰ توسط وزارت نیرو صورت گرفته که نتایج خلاصه آن در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول شماره (۱)- برآورد تولید برق از زباله‌های شهری در شهرهای بالای ۱۰۰ هزار نفر جمعیت[۱]

شرح	واحد	مقدار
حجم زباله‌های شهری (شهرهای بالاتر از ۱۰۰۰۰۰نفر)	میلیون تن	۱۱
انرژی ناخالص کل	$۱۰^{۶}$ بشکه معادل نفت خام	۱۵
درصد از انرژی اولیه کشور	٪	۲/۱۵
متان قابل تولید سالانه	$۱۰^{۶}$ مترمکعب	۱۰۲۳/۲
٪ از گاز طبیعی مصرفی نیروگاه‌های کشور در ۱۳۸۲ [۲]	٪	۱/۴۷
برق قابل تولید با راندمان ۱۸٪ معادل ۲۲۰ Mw نیروگاه فسیلی[۳]	Gwh	۱۸۰۰
برق قابل تولید با راندمان ۲۵٪ معادل ۳۰۵ Mw نیروگاه فسیلی[۳]	Gwh	۲۵۰۰
برق قابل تولید با راندمان ۳۵٪ معادل ۴۳۰ Mw نیروگاه فسیلی[۳]	Gwh	۳۵۰۰
کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای- معادل CO_2 (سالانه) [۴]	Ton	۷,۲۰۰,۰۰۰
کاهش در آلودگی زیست محیطی- SO_2[۴]	Ton	۱۲۰۰
برق قابل تولید با راندمان‌های ۱۸، ۲۵ و ۳۵٪ به ترتیب ۱,۲٪، ۱,۷٪ و ۲,۴٪ از برق مصرفی کشور در سال ۱۳۸۰ می‌باشد. با فرض ۷۵۰۰ ساعت کارکرد، به ترتیب معادل ۲۴۰، ۳۳۰ و ۴۸۰ مگاوات نیروگاه لندفیل و یا ۳۱۵، ۴۵۰ و ۶۳۰ مگاوات نیروگاه فسیلی خواهد بود. نیروگاه پلاسما: ۸۲۵۰ Gwh معادل ۱۱۰۰ Mw نیروگاه پلاسما و یا ۱۴۴۰ Mw نیروگاه فسیلی زباله سوز: ۲۴۰۰ Gwh معادل ۳۲۰ Mw نیروگاه زباله سوز و یا ۴۳۰ Mw نیروگاه فسیلی[نگارنده مقاله]		

در مطالعه دیگری که DLR آلمان انجام داده است، پتانسیل اقتصادی پسماندهای جامد شهری ایران بشرح جدول(۲) محاسبه شده است.

جدول شماره (۲)- پیش بینی موسسه DLR در مورد پتانسیل اقتصادی زیست توده در ایران تا سال ۲۰۵۰[۵]

جمع کل	زائدات کشاورزی	زائدات جنگلی	زباله‌های شهری، Twh/yr.				
۲۰۵۰			۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰	۲۰۵۰
۲۳/۷	۰/۴۶	۷/۳	۷/۴۴	۹/۳۳	۱۱/۴۶	۱۳/۰۳	۱۴/۶۹	۱۵/۹۴

موسسه DLR در یک بررسی که در طی آن کشورهای جنوب آسیا، خاورمیانه و جنوب شرق اروپا را مورد مطالعه قرار داده، پتانسیل منبع، فنی و اقتصادی انواع منابع انرژیهای تجدیدپذیر را تعیین کرده است. براساس مطالعه مذکور کل پتانسیل اقتصادی بیوماس (زائدات کشاورزی و جنگلی و زباله‌های شهری) در سال ۲۰۵۰ بمیزان ۲۳/۷ Twh (معادل۳۳۹۰Mw) خواهد بود. در این میان پتانسیل اقتصادی تولید برق از زباله‌های شهری در سالهای ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰، ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۷/۴۴، ۹/۳۳، ۱۱/۴۶، ۱۳/۰۳، ۱۴/۶۹ و ۱۵/۹۴ تراواتساعت در سال که به ترتیب معادل ۱۰۶۰، ۱۳۳۰، ۱۶۳۰، ۱۸۵۵، ۲۰۹۰ و۲۲۶۰ مگاوات می‌باشد[نگارنده مقاله].

۲. اثرات زیست محیطی تولید برق از زباله‌های شهری

پسماندهای شهری بدلیل وجود انواع ترکیبات در آن، مقادیر زیادی از آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای را وارد اتمسفر می‌کنند. تولید برق از زباله‌های شهری بطور مستقیم باعث کاهش ترکیبات کربن‌دار در طبیعت و کاهش انباشت گازهای گلخانه‌ای در جو ناشی از عدم رهاسازی این منبع شده و نیز در کنار صرفه‌جوئی در مصرف سوخت‌های فسیلی، آلودگی بمراتب کمتری نیز ایجاد می‌کند. در جدول (۳) این حقیقت برای نیروگاه‌های لندفیل ارائه شده است:

جدول (۳)- کاهش آلودگی ناشی از تولید برق از گاز لندفیل بجای نیروگاه‌های فسیلی(نیروگاه MW ۱)

شرح	CO_2 اجتناب شده در مقایسه با نیروگاه			SO_2 اجتناب شده در مقایسه با نیروگاه		
	زغال-سنگی	گازوئیلی	گاز طبیعی	زغال-سنگی	گازوئیلی	گاز طبیعی
میزان(تن در سال)	۷۹۲۷	۶۵۰۶	۴۳۷۵	۵۰	۴۲	--
ارزش(میلیون ریال)	۱۵۲۲	۱۲۵۰	۸۴۰	۳۵۳,۲	۲۹۷	--

همچنین در یک مطالعه که برای چندین واحد لندفیل به ظرفیت ۶۸ مگاوات صورت گرفته، معلوم شد که با مدیریت صحیح و احداث لندفیل بهداشتی، بازاء هر MW ظرفیت، سالانه از انتشار ۳۸۹۲۰ تن معادل CO_2 جلوگیری می‌شود که این رقم باضافه ارقام جدول(۳) بعنوان CO_2 اجتناب شده در نظر گرفته می‌شود.

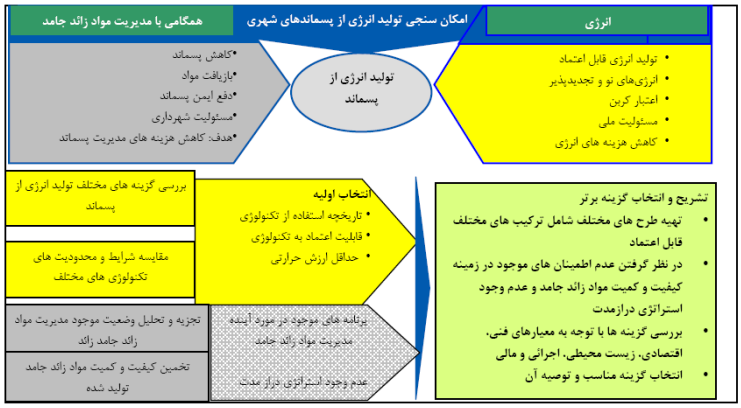
۳. امکان‌سنجی تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولید انرژی از زباله‌های شهری

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

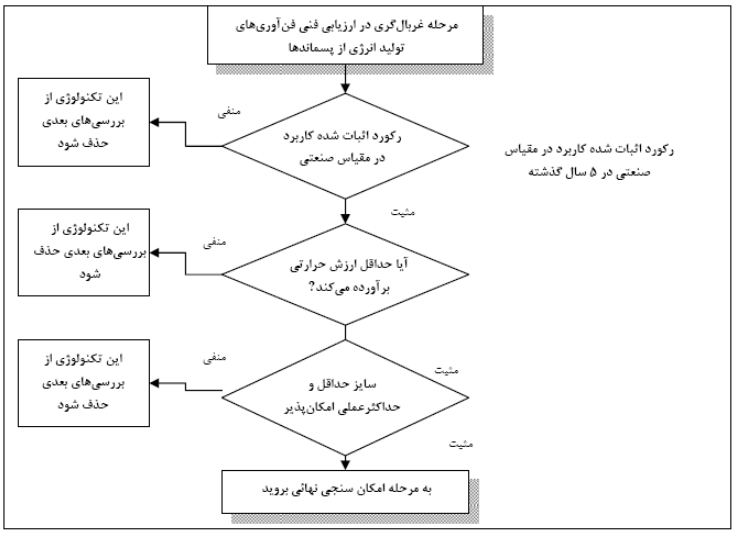
- دفنگاه زباله (Landfill)
- زباله سوز (Incinerator)
- گازسازی زباله(Gasification)
- پیرولیز زباله (Pyrolyses)
- بیوگاز (Biogas) توسط هاضم بیهوازی (Anaerobic Digester)
- تولید سوخت زباله (RDF)
- پلاسما (Plasma)

از نظر فنی با توجه به شرائط محیطی ایران و مشخصات پسماندهای تولیدی، اغلب روش‌های فوق قابل اجرا و بهره-برداری می‌باشند. ولی مسئله مهم انتخاب تکنولوژی‌های با مناسب‌ترین عملکرد برای کشور با توجه به ترکیب پسماندهای جامد شهری، تکنولوژی‌های اثبات شده و استراتژی مدیریت پسماندهای جامد شهری می‌باشد. در شکل(۲) موارد و مراحل لازم در امکان‌سنجی تولید برق از پسماندهای شهری که تلفیقی از بررسی تکنولوژی‌ها و استراتژی‌های مدیریت شهری می‌باشد، ارائه شده است. در نمودار ارائه شده در شکل (۳) نیز امکان سنجی تکنولوژی و در جدول (۴) بررسی تکنولوژی-های فوق از دیدگاه امکان‌سنجی هر تکنولوژی برای ایران و با سه مشخصه موارد مشاهده شده در جهان، داشتن پتانسیل تولید انرژی و اینکه برای ایران مناسب است یا نه؟، ارائه شده است. در ادامه در خصوص تکنولوژی‌های مختلف مذکور در بالا و ویژگی‌های آنها توضیحاتی ارائه می‌گردد.

شکل(۲)- معیارها و روش بررسی تکنولوژی‌های استخراج انرژی از پسماند



شکل (۳)- دیاگرام امکان‌سنجی فنی و انتخاب تکنولوژی



جدول (۴)- خلاصه‌ایی از انتخاب تکنولوژی‌های WTE

فرآیند و فناوری	وضعیت بهره‌برداری در جهان	آیا در مطالعات برای ایران مد نظر قرار گیرد؟	قابلیت تولید انرژی
پیرولیز	رکورد کاربرد در مقیاس صنعتی ندارد.	توصیه نمی‌گردد	مثبت
گازی سازی	تعداد خیلی کمی کاربرد در مقیاس صنعتی	توصیه نمی‌گردد	مثبت
پیرولیز/ گازی سازی	در حد نمونه سازی یا نصب	توصیه نمی‌گردد	مثبت
گازی سازی پلاسما	رکورد کاربرد در مقیاس صنعتی ندارد.	با احتیاط توصیه می-گردد	مثبت
تولید **RDF**	در آلمان تعداد زیادی- در اروپا در حال رشد	توصیه می‌گردد	مثبت
هاضم بیهوازی (**AD**)	در آلمان زیاد- در اروپا در حال رشد	توصیه می‌گردد	مثبت
گاز لندفیل	رکورد کاربرد در مقیاس صنعتی بمیزان زیاد	توصیه می‌گردد	مثبت
احتراق با هوای کم	برای زباله‌های بیمارستانی و مناطق روستائی با زباله کم -کاربرد وسیع	توصیه نمی‌گردد	منفی
زباله سوز توده سوز	رکورد کاربرد در مقیاس صنعتی زیاد- فناوری بسیار مناسبی است.	توصیه می‌گردد	مثبت
زباله سوز بستر سیال	رکورد کاربرد در مقیاس صنعتی زیاد در ژاپن	توصیه می‌گردد	مثبت
کوره دوار(چرخان)	برای پسماندهای خطرناک کاربرد زیاد و برای **MSW** کاربرد زیادی ندارد.	توصیه نمی‌گردد	مثبت

۴. معرفی اجمالی تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولید انرژی از زباله‌های شهری

۴-۱. تولید برق از دفنگاه زباله:

در صورت دفن زباله‌های خانگی و در عدم حضور اکسیژن، بخش آلی زباله‌های مدفون تجزیه شده و ترکیبی از گازهای متان، دی‌اکسید کربن، هیدروژن، ازت و مقدار کمی ترکیبات کلر و فلوئور و رطوبت تولید می‌شود. معمولاً تولید گاز پس از دو ماه از دفن آغاز شده و تا ۱۰۰ سال نیز ادامه می‌یابد. برای تولید برق در این روش، چاه‌های استحصال گاز با فواصل مختلف نسبت بهم حفر گردیده و لوله‌های پلی‌اتیلنی سوراخ‌دار در درون چاه قرار گرفته و دور آن نیز با شن پر می‌شود. سپس سر چاه با محیط بیرون کاملاً Seal شده و سیستم شیر روی آن نصب می‌گردد. لوله‌های جمع‌آوری و انتقال گاز به شیرهای مذکور متصل شده و گاز تولیدی پس از عبور از سیستم رطوبت‌گیر و حذف گازهای خورنده وارد سیستم تولید برق می‌شود. سیستم تولید برق می‌تواند دیزل ژنراتور (Gas Engine)، توربین گازی(Gas Turbine) و یا میکرو توربین (Microturbine) باشد. همچنین استفاده مستقیم (تولید حرارت و بخار) در بویلرها با سوزاندن گاز لندفیل و یا تزریق به شبکه گاز طبیعی محلی نیز قابل انجام است.

صرفنظر از انگیزه‌های اقتصادی، انگیزه‌های مربوط به مسائل زیست محیطی نیز در رابطه با استفاده از LFG در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای یافته است. گاز لندفیل به لحاظ داشتن بیش از ۵۰٪ متان به عنوان منبعی مهم برای تولید گازهای گلخانه‌ای 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 گلخانه‌ای، 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 می‌گردد)، بر کاهش پسماندهای دفنی نیز در سطح جهان تاکید می‌گردد.

- **ویژگی‌های فنی و اقتصادی:**
  - دارای قابلیت امحاء هر نوع زباله
  - در صورتی که دفنگاه بصورت مهندسی طراحی و اجرا شده باشد کاملاً دوستدار محیط زیست می‌باشد.
  - قابلیت تولید گاز متان، برق و حرارت
  - فضای لازم جهت احداث خیلی زیاد
  - نیازی به تفکیک زباله و خرد کردن آن نمی‌باشد.

- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری آن پائین تر از تمام تکنولوژی‌های موجود می‌باشد.
- نیاز به سیستم جمع‌آوری و پردازش شیرابه دارد.
- به ترکیب پسماند هیچ وابستگی ندارد.

- **سابقه نصب:**

- از اولین روشهای امحاء زباله در جهان می‌باشد و بالاترین کاربرد را دارد.
- ظرفیت نصب شده در جهان (عمدتاً آمریکا) بیش از ۲۵۰۰ مگاوات است.
- پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۰ ظرفیت این سیستم در جهان از ۹۰۰۰ مگاوات فراتر رود.

هزینه سیستم کامل دفنگاه زباله: با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، دفن زباله بایستی بصورت کاملاً مهندسی صورت گیرد. ظرفیت تولید برق حداکثر ۱ مگاوات بازای هر ۱ میلیون تن زباله تخمین زده می‌شود. درآمد حاصل از فروش برق به وزارت نیرو مطابق ماده ۶۲ تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت بمیزان ۴۹۶ میلیون تومان در سال بازاء هر ۱ مگاوات نیروگاه محاسبه شده است. هزینه اجرای دفن بهداشتی و تولید برق ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ $/Kwمحاسبه شده است.

۲-۴- زباله سوز

زباله‌سوزی راه حل دیگری برای دفع زباله‌ها می‌باشد که از سالها قبل در کشورهای پیشرفته صنعتی دنیا مرسوم بوده است. زباله‌سوزها به عنوان واحدهایی تعریف می‌گردند که توسط حرارت، مواد زائد را اکسید و مواد کربنی را کاهش می‌دهند. محصولات خروجی از زباله‌سوزها، دی‌اکسید کربن، آب، خاکستر و حرارت حاصل از احتراق می‌باشد. علاوه بر این، آلاینده‌های هوا نظیر ترکیبات سولفور و نیتروژن و هالوژن‌ها و فلزات سنگین گوناگون (مانند کادمیم، جیوه و...) نیز از محصولات دیگر احتراق می‌باشند. در برخی موارد، سوزاندن زباله‌ها یکی از مناسب‌ترین شیوه‌های مدیریت زباله به شمار می‌رود.

وضعیت حال حاضر تکنولوژی‌های زباله‌سوزی

عمده‌ترین تکنولوژی زباله‌سوزی که در حال حاضر بیشترین استفاده را دارد، توده‌سوز[1] است، و این به دلیل سادگی و هزینهٔ پایین اجرای آن است. هم اکنون ظرفیت زباله‌سوزی توده‌سوز شبکه‌ای نصب شده با این روش بیش از ۶۰ میلیون تن در سال می‌باشد. این نوع زباله‌سوزها در تناژهای بالا تولید می‌شوند. انواع RDF سوز و کوره دوار نیز کاربرد قابل توجهی دارند.

- **ویژگی‌ها**

- دارای قابلیت امحاء زباله های شهری، زباله‌ها و زائدات صنعتی و بیمارستانی و اغلب زائدات خطرناک هستند. برخی سیستم‌های زباله‌سوز قابلیت امحاء لجن‌های فاضلاب را دارا هستند.
- نیازمند سیستم‌های فیلتراسیون قوی بدلیل تولید دیوکسین و فوران می‌باشد که در این صورت به سیستم‌های بسیار کم خطرتر و دوستدار محیط زیست تبدیل می‌شوند. وجود فلزات سنگین در خاکستر نیز قابل تامل است.
- قابلیت تولید برق و حرارت
- فضای لازم جهت احداث ۷ تا ۱۰ هکتار می‌باشد.
- ته مانده حداکثر ۱۰٪ زباله
- نیاز به تفکیک زباله بویژه شیشه و فلزات و خرد کردن در آن بسیار جدی و حساس می‌باشد.
- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری آن بالا و هزینه تفکیک و پردازش زباله نیز قابل توجه است.

- **سابقه نصب:**

- زباله سوزها از قدیمی‌ترین و معتبرترین روش‌های امحای زباله می‌باشد. در حال حاضر سالانه بیش از ۱۰۰ میلیون تن زباله در سطح جهان در زباله سوزها سوزانده می‌شوند. از این مقدار بیش از ۶۰ میلیون تن از نوع توده‌سوز، بیش از ۲۵ میلیون تن RDF سوز می‌باشند. ظرفیت نیروگاه‌های زباله سوز بیش از ۴۰۰۰ مگاوات می‌باشد.
- اروپا، آمریکا و ژاپن بیشترین میزان نصب را بخود اختصاص داده‌اند. آمریکا از سال ۲۰۰۴ نصب زباله سوزها را ممنوع اعلام نموده است.
- هر چند در گذشته اغلب زباله سوزها برای امحای زباله نصب می‌شدند ولی از سال‌های قبل تولید برق و حرارت از آنها بشدت رشد یافته است. بعنوان نمونه ژاپن قصد دارد تا سال ۲۰۱۰ با اضافه نمودن بخش تولید برق به ۱۹۰۰ زباله سوز موجود، ظرفیت نیروگاه‌های زباله‌سوزی خود را از ۱۶۰۰ مگاوات فعلی به ۴۸۶۰ مگاوات برساند.

1- mass-burning

با توجه به اینکه سهم بسیار بالائی از سموم منتشره نظیر دیوکسین از زباله سوزها ناشی می‌شود، استانداردهای اروپا، آمریکا و ژاپن بسیار سخت گیر می‌باشند و این سخت گیری بحدی رسیده که هزینه سرمایه گذاری اولیه سیستم‌های تصفیه و پالایش دود از کل مجموعه نیروگاه بالاتر می‌باشد. در اوائل سال ۲۰۰۶ استانداردهای اروپائی و EPA آمریکا تغییر یافته و سخت‌گیرتر شده و باعث شده تا تعداد زیادی از زباله سوزهای موجود قابلیت ادامه فعالیت را نداشته و از فعالیت آنها ممانعت بعمل می‌آید.

هزینه یک زباله سوز: هزینه احداث نیروگاه زباله سوز از نوع مدولی و یا RDF برای سیستمی با ورودی ۱۰۰۰ تن در روز که ۳۰ مگاوات ظرفیت نیروگاه آن می‌باشد، ۱۵۰ میلیارد تومان برآورد می‌باشد. ارزش برق تولیدی قابل فروش به وزارت نیرو سالانه ۱۴/۸۸ میلیارد تومان محاسبه شده است.

۳-۴. امحاء زباله و تولید انرژی به‌روش پلاسما

این تکنولوژی آمیزه‌ای از تجربیات موفق و ناموفق را با خود همراه دارد و امکان‌پذیری و مناسبت آن برای زباله‌های شهری هنوز باثبات نرسیده است ولی بعنوان یک تکنولوژی که بشدت بحث تجاری‌سازی آن دنبال می‌شود، مطرح است. پلاسما شکل چهارم ماده است وآن یک گاز یونیزه شده است که در طبیعت وجود دارد. برای مثال آذرخش یا شفق قطبی و به صورت صنعتی توسط مشعل پلاسما تولید می‌گردد. تکنولوژی پلاسما حرارت فوق‌العاده زیادی تولید می‌کند که فقط در شکافت/ جوش هسته‌ای (پدیده‌ای که در خورشید رخ می‌دهد)، قابل تولید می‌باشد.

سیستم پلاسما مؤثرترین راه برای تفکیک کامل همهٔ اجزای (آلی و غیر آلی) و وصول به ترکیب اولیه آنها برای بازیافت می‌باشد. مهمترین جزء پلاسما، گازساز آن است که می‌تواند یک یا چند مشعل قوسی پلاسما را در خود جای دهد. با عبور یک جریان مستقیم بین کاتد و آند مشعل قوس پلاسما و عبور همزمان هوا در فضای حلقوی شکل، یک محیط با گرمای بسیار زیاد که بین ^{o}C ۱۰/۰۰۰ تا ۵/۰۰۰ است بوجود می آید.

گازساز پلاسما محیطی با کمبود اکسیژن بوده و بنابراین هیچ احتراقی صورت نمی‌گیرد و از این رو گازساز پلاسما یک زباله سوز یا سیستم احتراقی نیست. پلاسما با دمای هسته بالغ بر C^{o} ۱۰،۰۰۰ قادر است که ترکیبات سمی را در هزارم ثانیه بشکند بطوریکه هیچگونه مواد ثانویه حاصل از احتراق یا گازهای آلوده کننده تولید شود. مواد غیر آلی بطور همزمان بصورت سرباره مذاب تشکیل می‌شوند که پس از سرد شدن تبدیل به یک ماده شیشه‌ای غیر شیرابه‌ای (Non Leachable) خنثی می‌شوند.

گاز تولید شده از گازسازی مواد آلی عمدتاً شامل منواکسید کربن و هیدروژن می‌باشد. هالوژن‌ها و مواد گوگردی که در مواد اولیه (زباله) موجود هستند به ترتیب به اسیدکلریدریک (HCL)، اسید هیدروکلریدریک (HF)، سولفید هیدروژن (H2S) تبدیل می‌شوند.

- **ویژگی‌ها**

- دارای قابلیت امحاء هر نوع پسماند
- دوستدار محیط زیست
- قابلیت تولید برق و حرارت
- فضای لازم جهت احداث خیلی کم و سیستم‌های کوچکتر بصورت موبایل و متحرک با قابلیت نصب بر روی تریلر
- ته مانده در صورت ورود زباله شهری ۳ تا ۵٪
- نیازی به تفکیک زباله نمی‌باشد.
- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری آن بالا می‌باشد.
- دارای بالاترین میزان تولید انرژی بازاء هر تن زباله

- **سابقه نصب:**

- تعداد زیادی از این سیستم‌ها برای بی‌خطرسازی زباله‌های خاص صنعتی و ته‌مانده زباله سوزها نصب شده است.
- تاکنون چهار واحد پلاسما که ترکیبی از زباله‌های شهری و صنعتی را امحا نموده و برق و حرارت نیز تولید می‌کنند در ژاپن نصب شده است که مورد اخیر آن در سال ۲۰۰۳ به ظرفیت ۱۷۰ تن در روز نصب شده که ورودی آن زباله‌های شهری و اجزائی از بازیافت اتومبیل‌ها می‌باشد. ظرفیت نیروگاه بیش از ۹ مگاوات می‌باشد.
- در حال حاضر تعدادی واحد برای امحا زباله در آسیای جنوب شرقی در حال نصب می‌باشد.

هزینه سیستم پلاسما: هزینه یک سیستم پلاسما که ۴۰۰ تن انواع زباله را امحا می‌نماید در حد ۶۰ میلیون دلار می‌باشد که قادر است بصورت ناخالص حدود ۱۱ مگاوات ظرفیت نیروگاهی و حدود ۹۰ میلیون کیلوواتساعت برق به شبکه برق تحویل نماید. از محل فروش برق به شبکه سالانه ۵/۵۸ میلیارد تومان درآمد از محل فروش برق کسب نمود. خروجی سیستم نیز بی‌خطر بوده و قابل استفاده در مبلمان شهری، جاده‌سازی و راهسازی می‌باشد.

۴-۴. بیوگاز زباله در هاضم‌های بزرگ

در این روش زباله پس از تفکیک، خرد شده و با شیرابه، لجن فاضلاب و... مخلوط شده و در مخازنی در دمای بالاتر از محیط بصورت بیهوازی (هیچ هوائی وارد سیستم نمی‌شود)، هضم شده و گاز تولیدی پس از پالایش به سیستم Gas Engine منتقل شده و به تولید برق می‌پردازد. هزینه این سیستم‌ها اندکی کمتر از زباله سوز می‌باشد.

بیوگاز چیست: در فرایند هضم بیهوازی ترکیبات آلی مولکولهای درشت زنجیر شکسته شده و به مولکول‌های ساده تر تبدیل میگردند. حاصل نهایی این فرایند گازی است قابل اشتعال, که بیوگاز نام دارد. این گاز شامل دو جزء عمده متان و دی اکسید کربن به همراه مقادیر جزئی ناخالصی نظیر H_2S , بخار آب , N_2 و... می‌باشد.

- **ویژگی‌ها:**
  - دارای قابلیت امحاء زباله های آلی شهری و لجن‌های فاضلاب
  - دوستدار محیط زیست
  - قابلیت تولید برق و حرارت
  - فضای لازم جهت احداث زیاد نمی‌باشد.
  - ته مانده شامل کودآلی مفید جایگزین کودهای آلی شیمیائی
  - تفکیک زباله و خرد کردن آن ضروری و حساس می‌باشد.
  - ترکیب این سیستم با دفنگاه‌های قدیمی برقی پایدار و ثابتی را رائه می‌دهد.
  - هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری آن تا حدودی کمتر از زباله سوز می‌باشد.
- **سابقه نصب:**

تعداد قابل توجهی از این نوع نیروگاه بویژه در اروپا نصب شده و نصب این سیستم‌ها برای تولید برق از زباله‌ها در حال رشد می‌باشد.

- **هزینه اجرای طرح:**

بسته به میزان پسماند ورودی و میزان ساخت داخل برخی از اجزای کلیدی، این سیستم از ۱۷۰۰ تا ۴۰۰۰ دلار بر کیلووات هزینه سرمایه‌گذاری نیاز خواهد داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

انتخاب فناوری مناسب برای تولید انرژی از پسماندهای جامد شهری همسو با استراتژی مدیریت آنها قابل انجام می‌باشد. دفن بهداشتی و تولید برق و حرارت و یا تزریق گاز به شبکه گازرسانی بعنوان پرکاربردترین و ارزانترین روش و پلاسما و زباله‌سوز بعنوان گرانترین فناوری‌های تولید انرژی از پسماندهای شهری مطرح هستند. همانگونه که گفته شد انتخاب فناوری نیاز به بررسی دقیق و امکان‌سنجی اصولی دارد که در حال حاضر وزارت نیرو مطالعه مذکور را با یک شرکت مشاور ایرانی و شرکت همکار خارجی در دست اجرا دارد. مطابق شرح خدمات قرار است پتانسیل منبع و تولید برق و حرارت برای شهرهای با جمعیت بالاتر از ۲۵۰/۰۰۰ نفر جمعیت صورت گرفته و برای ۱۰ شهر دارای اولویت امکان‌سنجی لازم صورت پذیرفته و در نهایت برای ۲ شهر نیز طراحی مفهومی نیروگاه مناسب انجام شود. بنظر می‌رسد که در اغلب نقاط ایران، دفن گزینه برتر انتخاب شود و در برخی موارد تولید RDF برای صنعت سیمان نیز مناسب و اقتصادی باشد. در صورت محدودیت زمین برای دفن، زباله سوز چاره نهائی تلقی می‌گردد. شایان ذکر است که برای تمام موارد فوق کمپوست نیز جایگاه خود را خواهد داشت.

مراجع

۱- پتانسیل سنجی ۵ منبع عمده زیست توده در ایران، معاونت امور انرژی وزارت نیرو، ۱۳۸۰

۲- ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۸۲

۳- ترازنامه انرژی و آمار تفصیلی صنعت برق ایران، ۱۳۸۲

۴- سلسله گزارش‌های EPA آمریکا

۵- مطالعه پتانسیل اقتصادی منابع زیست توده در جنوب آسیا، خاورمیانه و شرق اروپا، ۲۰۰۵