

به نام خداوند مهربان

بررسی روش های استحصال انرژی از پسماند و شناسایی گزینه مناسب برای ایران

رضا عبدالله زاده^۱، عباس علی شاه علی^۲، سمیه واسعی^۳

کارشناس تحقیق و پژوهش سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری مشهد^۱

reza.ab54@gmail.com

کارشناس ارشد آموزش محیط زیست^۲

shahrokhpoem@yahoo.com

کارشناس سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری مشهد^۳

somaveh_vassei@yahoo.com

چکیده:

امروزه حفظ منابع طبیعی، محیط زیست و بهینه سازی مصرف انرژی جزء اولویت های مدیریت کلان هر کشوری می باشد. از سوی دیگر بشر، به دلیل روبه اتمام بودن منابع انرژی فعلی (سوخت های فسیلی) به دنبال جایگزینی مناسب، پایدار و مقرون به صرفه برای آن است. استفاده از پسماند به عنوان یک منبع تولید انرژی می تواند راهگشا باشد و جدای تامین بخشی از انرژی مورد نیاز به کاهش مشکلات بهداشتی و زیست محیطی ناشی از تولید پسماند کمک نماید. در این مقاله تلاش شده تا وضعیت تولید انرژی از پسماند در جهان و روش های استحصال انرژی از پسماند مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به شرایط و پتانسیل های موجود در کشور روشهای مناسب استحصال انرژی از پسماند معرفی گردد.

کلمات کلیدی:

پسماند، استحصال انرژی، زباله سوز، مرکز دفن، بیوگاز

۱- مقدمه

امروزه حفظ منابع طبیعی به یکی از مهمترین دغدغه های بشر تبدیل گردیده است. در این راستا مصرف رو به رشد انرژی یکی از چالش های مهم روبروی بشر است؛ چراکه از یک سو مصرف بی رویه انواع منابع انرژی رایج حاصل از سوخت های فسیلی این ذخیره خدا دادی را در معرض نابودی قرار داده و از سوی دیگر آلودگی ناشی از مصرف این منابع تهدیدی برای محیط زیست می باشد.

لذا بشر با نگاهی جدید به محیط اطراف خود در پی منابع جدید انرژی است، تا با بر طرف نمودن نیاز خود در حفظ محیط زیست نیز کوشا باشد. یکی از منابع جدید انرژی، تولید انرژی از پسماند می باشد، این روش تولید انرژی از دو جنبه حائز اهمیت است؛ اول، با استحصال انرژی از پسماند بخشی از انرژی مورد نیاز بشر تامین می شود و دوم مشکلات بهداشتی و زیست محیطی ناشی از مدیریت نادرست پسماند کاهش می یابد. همچنین به حفظ منابع طبیعی کمک می شود.

در حال حاضر فن آوری ها و روشهای مختلفی برای پردازش، تصفیه و دفع پسماندهای شهری مطرح می باشد. در برخی از این فن آوری ها تولید انرژی اولویت اول را دارد و برخی دیگر امحاء پسماند در اولویت می باشد. بطور کلی در حال حاضر عمدتاً از تکنولوژی های زیر در سطح جهان بهره گیری می شود. [۱]

- روش های ترموشیمیایی (با رویکرد تولید انرژی)	- روش های بیولوژیکی (با رویکرد امحاء پسماند)
- زباله سوز (Incinerator)	- مرکز دفن (Landfill)
- تولید گاز و پیرولیز (Gasification & Pyrolysis)	- کمپوست (Compost)
- پلاسما (Plasma)	- بیوگاز (Biogas)
- تولید سوخت از زباله (RDF)	

از نظر فنی با توجه به شرایط محیطی تمام روشهای فوق و یا ترکیبی از برخی از آنها قابل اجرا و بهره برداری می باشند. در این مقاله سعی گردیده تا ابتدا بصورت خلاصه تکنولوژی های مطرح در این زمینه به لحاظ تولید انرژی و دفع پسماندهای شهری از نقطه نظر فنی و اقتصادی به بحث گذارده شود و در نهایت گزینه های ممکن ارائه شود.

۱-۱- وضعیت فعلی و آتی تولید برق و حرارت از زباله های شهری در جهان

تولید انرژی از زباله های شهری جذاب ترین مقوله ها از نظر فنی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی در میان سایر روشهای امحای پسماندهای شهری می باشد. در حال حاضر در سطح جهان توجه خاصی به بحث تولید انرژی از زباله های شهری می شود و ظرفیت تولید برق اروپا از این منبع در طی سه سال گذشته به بیش از دو برابر افزایش یافته است. همچنین اغلب طرح های CDM^۱ (مکانیزم توسعه پاک تحت پروتکل کیوتو) نیز حامی پروژه های تولید انرژی از زباله های شهری است. پیش بینی می شود که سهم تولید برق و انرژی از پسماندهای شهری افزایش خواهد یافت، زیرا سیاست اغلب کشورهای پیشرفته از امحاء زباله، تولید انرژی از زباله چرخش یافته است.

بر اساس آمار آژانس بین المللی انرژی (IEA)^۲، سهم زباله های شهری از تامین انرژی اولیه جهان ۱/۲٪ کل انرژی های تجدید پذیر (۱۶/۲۲ میلیون تن معادل نفت خام) می باشد که این رقم ۱/۵ برابر سهم باد و ۴ برابر سهم مجموع انرژی های خورشیدی و دریایی در آن سال است. از همین جا اهمیت بحث زباله های شهری و جایگاه آن در تامین انرژی اولیه جهان معلوم می شود. همچنین بخش تولید انرژی از زباله های شهری از سال ۱۹۹۰ تاکنون رشد متوسط سالانه ۷/۶٪ را داشته و این در حالی است که رشد کل انرژی های تجدید پذیر در این دوره ۱/۷٪ و رشد مصرف انرژی اولیه ۱/۴٪ بوده است.

در حال حاضر هزاران مگا وات نیروگاه زباله (بیش از ۱۰۰۰۰ مگا وات) در سطح جهان نصب شده و آمریکا قصد دارد تا سال ۲۰۲۵ جمعا ۱۲۰۰۰ مگا وات ظرفیت جدید تولید برق از زباله های شهری را افزایش دهد که ۱۰۰۰۰ مگا وات آن از نوع زباله سوز و ۲۰۰۰ مگا وات آن نیز از نوع مرکز دفن خواهد بود. ژاپن نیز برنامه نصب نیروگاههای زباله خود را تا سال ۲۰۱۰ به میزان ۴۷۱۰ مگا وات اعلام نموده است. در حال حاضر بیش از ۱۹۰۰ زباله سوز، ۷۷٪ زباله های ژاپن را می سوزانند (۴۰ میلیون تن) و فقط ۳۰٪ آنها به واحد تولید برق مجهزند. ظرفیت تولید برق ژاپن از زباله های شهری در حال حاضر بیش از ۱۶۰۰ مگا وات می باشد. [۲]

با توجه به اینکه سهم بسیار بالایی از سموم منتشره نظیر دی اکسید کربن از زباله سوزها ناشی می شود، استانداردهای اروپا، آمریکا و ژاپن بسیار سخت گیر می باشند و این سخت گیری بحدی رسیده که هزینه سرمایه گذاری اولیه سیستم های تصفیه و پالایش دود از کل

^۱ Carbon Development Mechanisms

^۲ International Energy Agency

مجموعه نیروگاه بالاتر می باشد. در اوائل سال ۲۰۰۶ استانداردهای اروپائی و EPA آمریکا تغییر یافته و سخت گیرانه تر شده و باعث شده تا تعداد زیادی از زباله سوزهای موجود قابلیت ادامه فعالیت را نداشته و از فعالیت آنها ممانعت به عمل می آید. [7]
 عمده ترین تکنولوژی زباله سوزی که در حال حاضر بیشترین استفاده را دارد، توده سوز است، و این به دلیل سادگی و هزینه پایین اجرای آن است. در این سیستم کلیه پسماندهای شهری به صورت مخلوط در کوره زباله سوز ریخته شده و سوزانده می شود. هم اکنون ظرفیت زباله سوزی توده سوز شبکه ای نصب شده با این روش چیزی حدود ۵۹ میلیون تن در سال می باشد. این نوع زباله سوزها در تناژهای بالا تولید شده و مناسب شهرهایی با میزان تولید بالا می باشد. [۱]

زباله سوزی یکی از روشهای شناخته شده و مطرح در امحاء زباله است و در اروپا و آمریکا سالانه میلیونها تن زباله با این روش امحا می شود. در اروپا بیش از ۴۰ میلیون تن زباله در سال بیش از ۱۱.۳۲۲ میلیون کیلو وات ساعت برق تولید می کنند و در آمریکا نیز سالانه بیش از ۲۵ میلیون تن زباله سوزانده شده و بیش از ۷۰۰۰ میلیون کیلو وات ساعت برق تولید می کنند. همچنین در اروپا معادل ۶۰۰۰ مگا وات حرارتی نیز گرما تولید میشود. در جدول ۱ میزان زباله سوزی در اروپا به تفکیک کشورهای مختلف و در جدول ۲ ظرفیت زباله سوزی در آمریکا ارائه شده است. [۲]

جدول ۱- ظرفیت های زباله سوزی گزارش شده در اروپا

کشور	تن در سال	کیلو گرم سرانه	حرارت تولیدی (گیگاژول)	برق تولید شده (گیگاژول)
اتریش	۴۵۰۰۰	۵۶	۳۰۵۳۰۰۰	۱۳۱۰۰۰
دانمارک	۲۵۶۲۰۰۰	۴۷۷	۱۰۵۴۳۰۰۰	۳۴۷۲۰۰۰
فرانسه	۱۰۹۸۴۰۰۰	۱۸۰	۳۲۳۰۳۰۰۰	۲۱۶۴۰۰۰
آلمان	۱۲۸۵۳۰۰۰	۱۵۷	۲۷۱۹۰۰۰۰	۱۲۰۴۲۰۰۰
مجارستان	۳۵۲۰۰۰	۶	۲۰۰۰	۳۹۹۰۰۰
ایتالیا	۲۱۶۹۰۰۰	۱۳۷	۳۳۵۴۰۰۰	۲۳۳۸۰۰۰
هلند	۴۸۱۸۰۰۰	۴۸۲	-	۹۱۳۰۰۰۰
نروژ	۲۲۰۰۰۰	۴۹	۱۴۰۹۰۰۰	۲۷۰۰۰
پرتغال	۳۲۲۰۰۰	۳۲	۱۰۰۰	۵۵۸۰۰۰
اسپانیا	۱۰۳۹۰۰۰	۲۶	-	۱۹۳۴۰۰۰
سوئد	۲۰۰۵۰۰۰	۲۲۵	۲۲۹۹۶۰۰۰	۴۳۶۰۰۰۰
سوئیس	۱۶۳۶۰۰۰	۱۶۴	۸۶۹۸۰۰۰	۲۳۱۱۰۰۰
انگلستان	۱۰۷۴۰۰۰	۱۸	۱۰۰۰	۱۸۹۵۰۰۰
مجموع	۴۰.۴۸۴.۰۰۰	۱۵۴/۵ (متوسط)	۱۰۹.۵۵۰.۰۰۰	۴۰.۷۶۱.۰۰۰ (معادل ۲۵۰۰ مگا وات نیروگاه)

جدول ۲- عمده ترین استفاده کنندگان از زباله سوز در آمریکا

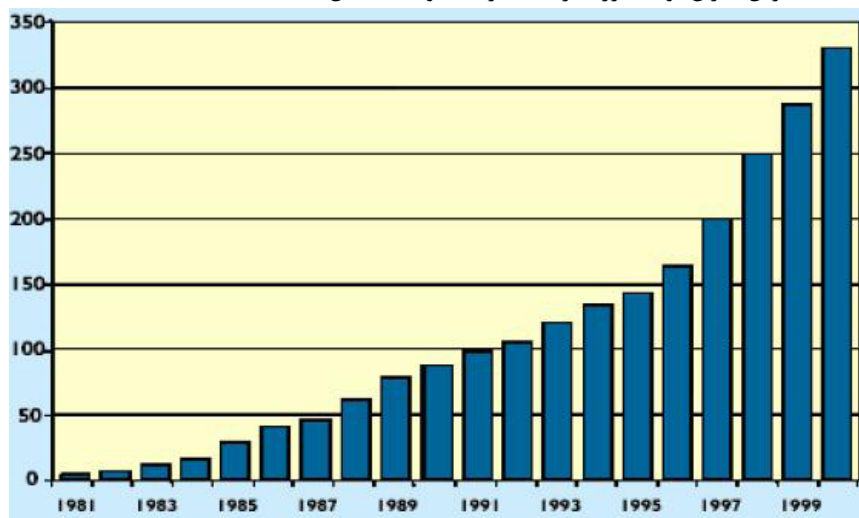
ایالت	تعداد نیروگاهها	ظرفیت (تن در روز)
کانکتیکات	۶	۶۵۰۰
نیویورک	۱۰	۱۱۱۰۰
نیوجرسی	۵	۶۲۰۰
پنسیلوانیا	۶	۸۴۰۰
ویرجینا	۶	۸۳۰۰
فلوریدا	۱۳	۱۹۳۰۰
مجموع	۵۳	۶۹۶۰۰ (معادل ۱۵۰۰ مگا وات نیروگاه)

بر اساس آمارهای جدید، میزان زباله سوزی در جهان از ۱۴۳ میلیون تن در سال فراتر رفته که سهم مناطق و کشورها بشرح زیر بوده است:

- اتحادیه اروپا ((EU-25): ۴۸/۸ میلیون تن
- تایوان ۷ میلیون تن
- سوئد و نروژ ۳/۸ میلیون تن
- ژاپن ۴۰ میلیون تن
- سنگاپور ۴ میلیون تن
- کره جنوبی ۱ میلیون ریال
- ایالات متحده آمریکا ۲۶/۳ میلیون تن
- چین ۳ میلیون تن
- سایر ۹ میلیون تن

۱-۲- سابقه تولید برق از مراکز دفن پسماندهای جامد

این روش از اولین روشهای امحاء زباله در جهان می باشد و بالاترین کاربرد را دارد. از سال ۲۰۰۴ در آمریکا فقط در مراکز دفن اجرا می شود. البته اخیراً این کشور مجدداً بحث زباله سوزی و روشهای حرارتی دیگر را در دستور کار قرار داده است. ظرفیت نصب شده در جهان (عمدتاً آمریکا) بیش از ۲۵۰۰ مگا وات است. به دلیل حمایت های دولت آمریکا از طرحهای LFG^۴، این نوع طرحها با رشد قابل توجهی توأم بوده است. همانطور که در نمودار نیز مشخص می باشد تعداد واحدهای استحصال گاز مرکز دفن از ابتدای ۱۹۷۰ تا سال ۲۰۰۱ از رشد چشمگیری داشته است. در سال ۲۰۰۵ تعداد مراکز دفن فعال در آمریکا از مرز ۵۵۰ واحد فراتر رفته است. به نحوی که این کشور در زمره کشورهایی است که بیشترین میزان تولید انرژی از LFG را به خود اختصاص داده است. [۲]



نمودار ۱- میزان رشد مراکز استحصال گاز مراکز دفن در آمریکا

در طی سه سال گذشته ظرفیت نصب شده سیستم های جمع آوری و استفاده از گاز مرکز دفن در اروپا دو برابر شده است. پس از جمع آوری گاز، اولین گزینه در رابطه با استفاده از گاز جمع آوری شده، سوزاندن آن است که در نتیجه با استفاده از انرژی حاصل از این فرآیند می توان برق تولید نمود. استفاده از LFG در بین کشورهای عضو اتحادیه اروپایی که در آنها مدیریت دفع زباله قانونمند بوده و جمع آوری و کنترل آن تابع قوانین و مقررات می باشد به تجربه ای موفق و در حال گسترش تبدیل شده است، به نحوی که تعداد این نوع سیستمهای جمع آوری LFG از ۲۹۸ در سال ۱۹۹۵ به ۴۲۳ سیستم در سال ۱۹۹۷ افزایش یافت. در جدول ۳ ظرفیت نصب شده تجهیزات جمع آوری و استفاده از LFG برق تولیدی در کشورهای عضو اتحادیه اروپایی در سال ۱۹۹۶ و پیش بینی آن تا سال ۲۰۱۰ نشان داده شده است.

4 . landfill Gas

جدول ۳ - وضعیت مرکز دفن در اروپا و پیش بینی آن تا سال ۲۰۱۰

ردیف	نام کشور	ظرفیت بهره برداری از LFG در سال ۱۹۹۶	پیش بینی ظرفیت بهره برداری از LFG در سال ۲۰۱۰
۱	اتریش	۱۰	۲
۲	بلژیک	۲	۲۷
۳	دانمارک	۱۰	۲۳
۴	فنلاند	۰	۱۱
۵	فرانسه	۲۰	۶۹
۶	آلمان	۱۷۰	۲۸۶
۷	یونان	۰	۱۲
۸	ایرلند	۱۲	۱۱
۹	ایتالیا	۱۰	۱۶۰
۱۰	لوگزامبورگ	۰	۱
۱۱	هلند	۱۲۰	۱۰۰
۱۲	پرتغال	۰	۲
۱۳	اسپانیا	۵	۲۷
۱۴	سوئد	۴۹	۲۰
۱۵	بریتانیا	۱۴۵	۵۸۹
۱۶	نروژ	۲۰	۲۷
	جمع کل	۵۷۳	۱۳۶۶

۲- بررسی و شناخت فن آوری های مختلف استحصال انرژی از پسماندهای شهری

۲-۱- هاضم های بزرگ بی هوازی (بیوگاز)^۵

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 هوایی وارد سیستم نمی شود)، هضم شده و گاز تولیدی پس از پالایش به سیستم ژنراتور منتقل شده و به تولید برق می پردازد. هزینه این سیستم ها کمتر از زباله سوزی باشد.

* بیوگاز چیست؟

در فرآیند هضم بی هوازی ترکیبات آلی، مولکولهای درشت زنجیر شکسته شده و به مولکولهای ساده تر تبدیل می گردند. حاصل نهایی این فرآیند، 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 سولفید هیدروژن، بخار آب، گاز نیتروژن و ... می باشد. این مخلوط گازی دارای ارزش حرارتی ۲۰ مگاژول به ازاء هر متر مکعب بوده و در صورت تبدیل به برق با استفاده از موتورهای موجود می توان ۲-۱/۵ کیلو وات برق از هر متر مکعب آن استحصال کرد.

* مکانیسم تولید بیوگاز

مکانیسم تولید بیوگاز در فرآیند هضم بی هوازی نسبتاً پیچیده و از عوامل شیمیایی و بیولوژیکی متنوعی تاثیر می پذیرد. این مکانیسم به طو کلی به سه مرحله تقسیم می گردد در مرحله اول با هیدرولیز مواد آلی پیچیده و نامحلول، تبدیل به ترکیبات محلول می شود. در مرحله دوم ترکیبات آلی محلول حاصل از مرحله اول به وسیله باکتریهای اسید ساز شکسته شده و در نتیجه اسیدهای آلی تولید می شود و در مرحله سوم تمام ترکیبات آلی و اسیدهای تولید شده در مرحله اسیدسازی به استات و در نهایت توسط باکتریهای متان ساز به بیوگاز تبدیل می گردند. عمل هضم بیهوازی در محدوده دمایی نسبتاً وسیع ۶۰-۱۰ سلسیوس صورت می گیرد. مناسب ترین دما برای تولید بیوگاز از نظر فنی و اقتصادی حدود ۳۷ درجه سلسیوس می باشد.

⁵ . Anaerobic Digestion

* سابقه نصب هاضم های بی هوازی

این سیستم برای زائدات صنایع و زباله های شهری و فضولات دامی (و هر ماده آلی دیگر) می باشد؛ به نحوی که صدها مگا وات در اروپا و آمریکا از این سیستم ها جهت تولید برق، حرارت و گاز نصب شده است. در مورد پسماندهای شهری در سالهای اخیر توجه زیادی به آن شده است. تعداد قابل توجهی از این نوع نیروگاه به ویژه در اروپا نصب شده و نصب این سیستم ها برای تولید برق از پسماندها در حال رشد می باشد.

* اثرات زیست محیطی استفاده از هاضم های بی هوازی

- بطور کلی اثرات زیست محیطی استفاده از هاضم های بی هوازی را می توان در موارد ذیل خلاصه نمود:
- جلوگیری از افزایش گازهای گلخانه ای
 - حفظ جنگل ها و مراتع
 - از بین بردن عوامل بیماری زا و تخم علف های هرز

* ویژگی های هاضم های بی هوازی

- دارای قابلیت امحاء پسماندهای آلی شهری و لجن های فاضلاب
- سازگار با محیط زیست
- قابلیت تولید برق و حرارت که از حرارت آن می توان در خشک کردن شیرابه و یا کاربردهای حرارتی و یا خشک کردن پسماند تر ورودی به سیستم استفاده نمود.
- فضای لازم جهت احداث در حد گاز ساز پسماند (بالا) می باشد.
- باقیمانده شامل کود آلی مفید جایگزین کودهای آلی شیمیایی
- تفکیک پسماند و خرد کردن آن ضروری و حساس می باشد.
- ترکیب این سیستم با مراکز دفن قدیمی، برقی پایدار و ثابت را ارائه می دهد.
- هزینه سرمایه گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری آن تا حدودی کمتر از زباله سوز می باشد.

۲-۲- زباله سوز^۶

زباله سوزی راه حل دیگری برای دفع پسماندها می باشد که از سالها قبل در کشورهای پیشرفته صنعتی دنیا مرسوم بوده است. زمانی که بحث دفع پسماندهای خطرناک و بیمارستانی مطرح می گردد، نقش زباله سوزها بیشتر نمایان می گردد. زباله سوزها به عنوان واحدهایی تعریف می گردند که توسط حرارت، مواد زائد را اکسید و مواد کربنی را کاهش می دهند. محصولات خروجی از زباله سوزها، دی اکسید کربن، آب، خاکستر و حرارت حاصل از احتراق می باشد. علاوه بر این، آلاینده های هوا نظیر ترکیبات سولفور و گاز نیتروژن و هالوژنها و فلزات سنگین گوناگون (مانند کادمیم، جیوه و ...) نیز از محصولات دیگر احتراق می باشند. در برخی موارد، سوزاندن پسماندها یکی از مناسب ترین شیوه های مدیریت پسماند بشمار می رود. زباله سوزها به دو دسته کلی زیر تقسیم می شوند که هر یک شامل سیستم های مختلفی هستند.

جدول ۴- انواع سیستم های زباله سوز

الف- سیستم هائی که کل پسماند را می سوزانند و حرارت و خاکستر تولید می کنند	ب- سیستم هائی که بخشی از پسماند را می سوزانند
۱- سیستم توده سوز (Mass Burn)	۱- گاز ساز و پیرولیز زباله
۲- سیستم مدولار (Modular)	۲- کربنیزاسیون زباله
۳- سیستم سوخت (Refuse-Derived Fuel)	
۴- بستر شناور (Fluidized Bed) با قابلیت امحاء لجن های فاضلاب	

* سابقه نصب زباله سوزها

زباله سوزها از قدیمی ترین و معتبر ترین روشهای امحاء پسماند می باشد. در حال حاضر سالانه بیش از ۱۴۳ میلیون تن پسماند در سطح جهان در زباله سوزها سوزانده می شوند. از این مقدار بیش از ۸۰ میلیون تن از نوع توده سوز، بیش از ۴۰ میلیون تن RDF سوز می باشند. ظرفیت نیروگاههای زباله سوز بیش از ۴۰۰۰ مگا وات می باشد. اروپا، آمریکا و ژاپن بیشترین میزان نصب را به خود اختصاص داده اند.

^۶ . Incinerator

- آمریکا از سال ۲۰۰۴ نصب توده سوزها را ممنوع اعلام نموده ولی اخیرا احداث ۱۰۰۰۰۰ مگا وات را برای ۱۳ سال آینده برنامه ریزی کرده است.

- هر چند در گذشته اغلب زباله سوزها برای امحاء زباله نصب می شدند ولی از سال های 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 نیروگاه های زباله سوزی خود را از ۱۶۰۰ مگا وات به ۴۸۶۰ مگا وات برساند.[۲]

* ویژگی های زباله سوز

- دارای قابلیت امحاء زباله های شهری، زباله ها و زائدات صنعتی و بیمارستانی و اغلب زائدات خطرناک هستند. برخی سیستم های زباله سوز قابلیت امحاء لجن های فاضلاب را دارا هستند.

- قابلیت امحاء نخاله های ساختمانی و مواد غیر قابل اشتعال را ندارد.

- نیازمند سیستم های فیلتراسیون قوی بدلیل تولید دی اکسین و فوران و وجود فلزات سنگین و نیاز به پالایش دوده های خروجی می باشند که در این صورت به سیستم های بسیار کم خطرتر و سازگار با محیط زیست تبدیل می شوند.

- قابلیت تولید برق و حرارت که از حرارت آن می توان در خشک کردن شیرابه و یا کاربردهای حرارتی و یا خشک کردن زباله تر ورودی به زباله سوز استفاده نمود.

- فضای لازم جهت احداث بیشتر از سیستم پلاسما می باشد.

- باقیمانده حداکثر ۱۰٪ زباله

- نیاز به تفکیک زباله بویژه شیشه و فلزات و خرد کردن در آن بسیار جدی و حساس می باشد.

- انواع مختلفی زباله سوز در دنیا نصب شده اند که نوع توده سوز رتبه اول را به خود اختصاص داده است.

- هزینه سرمایه گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری آن بالا و هزینه تفکیک و پردازش پسماند نیز قابل توجه است.

* مزایای زباله سوز

زباله سوز مزایای متعددی دارد که برخی از آنها عبارتند از :

- کاهش حجم زباله

- کاهش سریع حجم پسماند

- دفع پسماندهای خطرناک

- کاهش هزینه های نگهداری و دفع پسماند

- از بین رفتن خطر آلودگی آبهای سطحی

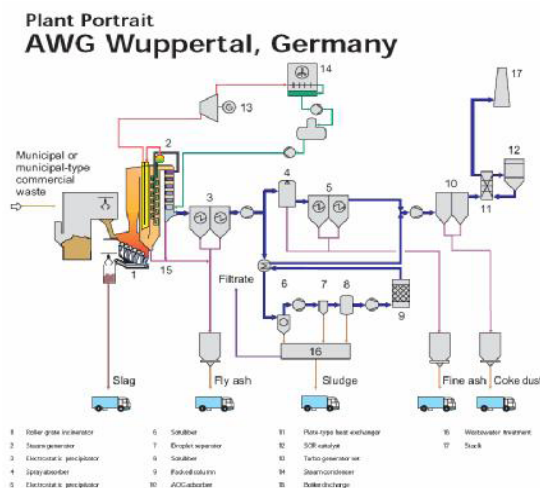
- کاهش بو

- کاهش میزان گازهای گلخانه ای

- کاهش میزان آلاینده های هوا

- از بین رفتن زیستگاه جانوران موذی

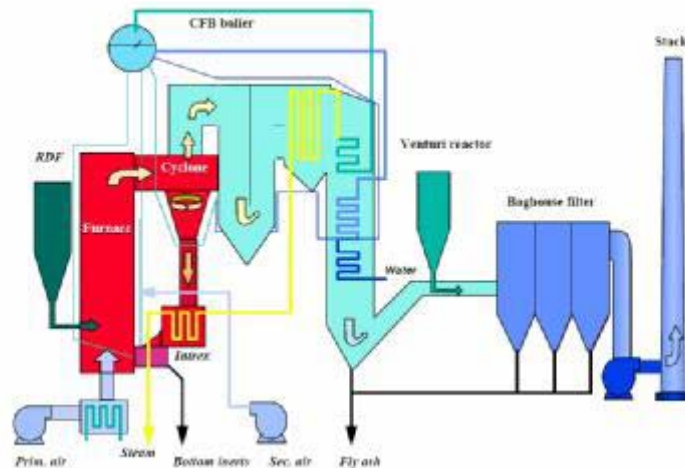
- کاهش نیاز به زمین برای دفن



شکل ۲- شمایی از یک زباله سوز

* سوخت جایگزین^۷ چیست (RDF)

سوخت تجدید پذیر حاصل از زباله مطرح است. در این سیستم ابتدا پسماند ورودی به نحوی تفکیک می شود که اجزاء دارای انرژی نظیر پلاستیک، لاستیک، چوب، چرم، پارچه و ... و بخشی از پسماند تر وارد سیستم شوند. سپس سیستم خشک کن، پسماند ورودی را تا حدی خشک می کند که مناسب سیستم احتراق باشد. از مزایای این سیستم یکنواختی نسبی محصول جهت احتراق و امکان رسیدن به راندمان حداکثر و کاهش زباله ورودی و افزایش چگالی انرژی را می توان نام برد. محصول RDF قابلیت سوزاندن در یک نیروگاه RDF سوز و یا در کوره های سیمان را داشته و تا ۵۰٪ مصرف سوخت های فسیلی را در کوره های سیمان کاهش می دهد. [۳]



شکل ۳- شمایی از سیستم RDF پسماند برای تولید برق

* مشخصات و مقایسه RDF با سوخت های دیگر

در فرآیند حرارتی، ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی پسماند بسیار تاثیر گذار است. با تغییراتی در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زباله های شهری می توان از آنها به عنوان سوخت استفاده نمود. سوزاندن زباله به عنوان سوخت به خاطر ویژگی زباله که ناهمگن بودن آن می باشد، ایجاد مشکلات فراوانی می کند. سوخت بدون فرآوری به خاطر عدم همگن بودن از نظر ارزش حرارتی پایین است. واکنش پذیری مواد با افزایش در فرایند مواد افزایش می یابد مگر آنکه محتوای رطوبتی بالا باشد. نقطه اشتعال RDF بیش از ۴۰۰ درجه سلسیوس می باشد در حالی که این میزان برای زغال سنگ زیر ۴۰۰ درجه می باشد. بسته به میزان ترکیب مواد و محتوای رطوبتی چگالی ظاهری در RDF بین ۱۰۰ تا ۳۴۰ کیلو گرم بر متر مکعب افزایش می یابد. ارزش حرارتی سوخت مواد زائد جامد در ارتباط با بازده حرارتی می باشد، در مقایسه با سوخته های رایج ارزش حرارتی پسماندهایی که فرآوری شده اند کمتر از ۸۷۰۰ کیلو ژول بر کیلو گرم می باشد که این میزان در حدود یک چهارم ارزش حرارتی زغال سنگ که در حدود ۳۲۰۰۰ کیلو ژول بر کیلو گرم است، می باشد. تبدیل زباله به RDF ارزش حرارتی آن را تا ۱۶۰۰۰ کیلو ژول بر کیلو گرم افزایش می دهد. استفاده از RDF به جای مواد زائد خانگی که فرآوری نشده اند بازده حرارتی را در حدود ۸ تا ۱۲ درصد افزایش می دهد ارزش حرارتی پایین مواد زائد خانگی به علت درصد بالای خاکستر و رطوبت می باشد. کارشناسان بر این عقیده اند که میزان تمرکز مواد خطرناک در مواد زائد شهری بر اساس ترکیب مواد زائد، چگونگی جمع آوری نمونه ها و روش آزمایش بکار برده شده، متفاوت است. جدول زیر درصد عناصر سنگین و هالوژن دار را در RDF نشان می دهد. [4]

⁷ . (RDF) Refuse Derived Fuel

جدول ۵- میزان عناصر سنگین و هالوزن دار در سوخت RDF

مواد خطرناک	مواد زائد خانگی (mg/kg)	کاغذ (mg/kg)	پلاستیک (mg/kg)
cd	۲/۹	۰/۵	۴۳/۱
cr	۷۶	۲۲	۲۸/۲
Cu	۳۱	۶۵	۷۸
Ni	۱۳	۱۰/۷	۱۸/۸
Pb	۲۹۴	۶۵/۷	۱۷۱/۱
Zn	۳۱۰	۱۰۸	۴۰۲/۳
Ci	۴۷۶۰	۱۷۸۹	-
F	۷۱	۱۰۴	۱۴

۲-۳- مرکز دفن با استحصال گاز^۸

یکی از معضلات بزرگ زیست محیطی که دنیا با آن مواجه می باشد، تغییرات آب و هوایی بوده و در این میان کشورهای در حال توسعه از این جهت، با بیشترین آسیب ها و تهدیدها روبرو می باشند. زمین روز به روز در حال گرم تر شدن است که یکی از دلایل این پدیده، تغییرات جوی می باشند و جوامع و دولتها برای مهار این مساله و قبل از اینکه شرایط به نقطه بدون بازگشت برسد، نیازمند وضع قوانین مستقیم یا قوانین انعطاف پذیر دارند. یکی از عمده ترین منابع انتشار گازهای گلخانه ای و بویژه گاز متان، مراکز دفن پسماندهای شهری می باشند. بر اساس بررسی های صورت گرفته در آمریکا، ۳۷٪ گازهای گلخانه ای منتشره در آن کشور ناشی از مراکز دفن پسماند آن کشور می باشند

در صورت دفن پسماندهای خانگی و در حالت عدم حضور اکسیژن، بخش آلی پسماندهای مدفون تخمیر شده و ترکیبی از گازهای متان، دی اکسید کربن، هیدروژن، ازت و مقدار کمی ترکیبات کلر و فلئور 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، چاههای 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 می شود. سپس سر چاه با محیط بیرون کاملا ایزوله شده و سیستم شیر روی آن نصب می گردد. لوله های جمع آوری و انتقال گاز به شیرهای مذکور متصل شده و گاز تولیدی پس از عبور از سیستم رطوبت گیر و حذف گازهای خورنده وارد سیستم تولید برق می شود. سیستم تولید برق می تواند دیزل ژنراتور، توربین گازی و یا میکرو توربین باشد. همچنین استفاده مستقیم (تولید حرارت و بخار) در بویلرها با سوزاندن گاز مرکز دفن و یا تزریق به شبکه گاز طبیعی محلی نیز قابل انجام است. [5]

با توجه به اینکه فقط حدود ۵۰٪ گاز استحصالی در مراکز دفن، گاز متان (CH₄) می باشد، ارزش حرارتی گاز تولیدی حدود نصف گاز طبیعی بوده و لذا نیازمند موتورهایی که توان سوزاندن گازهای با ارزش حرارتی پائین تر (Low BTU) را دارند، می باشد. از طرف دیگر ۵۰٪ باقیمانده از گازهای استحصالی شامل مقدار زیادی دی اکسید کربن، نیتروژن، مقدار بسیار کمی ترکیبات گازهای گروه کلر و نیز H₂S و رطوبت می باشد. لذا لازم است با استفاده از سیستم های فیلتراسیون و رطوبت گیر، مواد زائد را از گاز جدا نمود و سپس گاز را وارد سیستم تولید برق، حرارت و یا شبکه گاز نمود. پسماندها علاوه بر انتشار گازهای آلاینده، مقادیر زیادی آلاینده آب و خاک نیز تولید می نماید که جهت کنترل این آلودگی ها، علاوه بر اجباری بودن دفن بهداشتی (کف و روکش مرکز دفن تا حدود زیادی غیر قابل نفوذ می گردد)، بر کاهش پسماندهای دفنی نیز تاکید می گردد.

* ویژگی های مراکز دفن پسماندهای جامد

- دارای قابلیت امحاء پسماندهای شهری، صنعتی و بیمارستانی و هر گونه پسماند خطرناک، نخاله های ساختمانی و لجن های فاضلاب
- در صورتی که مرکز دفن بصورت مهندسی طراحی و اجرا شده باشد کاملا سازگار با معیار های محیط زیست می باشد.

- قابلیت تولید برق، حرارت و گاز متان

- فضای لازم خیلی زیاد جهت احداث

- باقیمانده تا ۵۰٪ زباله

- نیازی به تفکیک پسماند و خرد کردن آن نمی باشد

⁸ . Landfil With Gas Recovery

- هزینه سرمایه گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری آن پائین تر از تمام تکنولوژی های موجود می باشد.
- نیاز به سیستم جمع آوری و پردازش شیرابه دارد.

۲-۴- امحاء پسماند و استحصال انرژی به روش پلاسما^۹

پلاسما حالت چهارم ماده می باشد و در طبیعت بطور گسترده ای یافت می شود. خورشید، فضای بین ستاره ای، رعد و برق و حتی خون انسان نمونه هایی از این دست می باشند. پلاسما در حقیقت گاز یونیزه می باشد و در صنعت نیز توسط مشعل های مخصوصی موسوم به مشعل های پلاسما تولید می شود. با تکنولوژی پلاسما دمای بسیار بالایی تولید می شود که مشابه آن فقط در ستارگان و جوش / گداخت هسته ای مشاهده می شود. با این تفاوت که کنترل دما و سیستم در انرژی هسته ای مشکل و نیازمند تمهیدات گسترده ای برای ایمنی مجموعه می باشد.

سیستم پلاسما موثرترین راه برای تفکیک کامل همه اجزای (آلی و غیر آلی) و وصول به ترکیب اولیه آنها برای دریافت بازیافت می باشد. مهمترین جزء پلاسما، گاز ساز آن است که می تواند 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 هم زمان هوا در فضای حلقوی شکل، یک محیط با گرمای بسیار زیاد که بین ۱۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰ درجه سانتیگراد است بوجود می آید.

گاز ساز پلاسما محیطی با کمبود اکسیژن بوده و بنابراین هیچ احتراقی صورت نمی گیرد و از این رو گاز ساز پلاسما یک زباله سوز یا سیستم احتراقی نیست. پلاسما با دمای هسته بالغ بر ۱۰۰۰۰ درجه سانتیگراد قادر است که ترکیبات سمی را در هزارم ثانیه بشکند بطوریکه هیچگونه مواد ثانویه حاصل از احتراق یا گازهای آلوده کننده تولید نمی گردد. حرارت های بسیار زیاد مشابه دمای مذکور در بالا، بصورت مطمئن تنها می تواند با استفاده از سیستم مشعل پلاسما تولید شود؛ که برای شکستن مولکولها در ماده آلی به منظور تبدیل آنها به گازهای پایه لازم است. همچنین مواد غیر آلی بطور همزمان بصورت سرباره مذاب تشکیل شده که پس از سرد شدن تبدیل به یک ماده شیشه ای غیر شیرابه ای^{۱۰} خنثی می گردد. گاز تولید شده از گاز سازی مواد آلی عمدتاً شامل منو اکسید کربن و هیدروژن بوده و هالوژنها و مواد گوگردی که در مواد اولیه (پسماند جامد) موجود هستند به ترتیب به اسید کلریدریک (HCL)، اسید هیدروکلریدریک (HF)، سولفد هیدروژن (H2S) تبدیل می شوند. [7] و [8]

* سابقه نصب سیستم پلاسما

- تعداد زیادی از این سیستم ها از سال های قبل برای بی خطر سازی پسماندهای خاص صنعتی و باقیمانده زباله سوزها نصب شده است.
- تاکنون چهار واحد پلاسما که ترکیبی از پسماندهای شهری و صنعتی را امحاء نموده و برق و حرارت نیز تولید می کنند در ژاپن نصب شده است که مورد اخیر آن در سال ۲۰۰۳ به ظرفیت ۱۷۰ تن در روز در شمال ژاپن نصب شده که ورودی آن پسماندهای شهری و اجزائی از بازیافت اتومبیل ها می باشد. ظرفیت نیروگاه بیش از ۹ مگا وات می باشد. [7]

- در حال حاضر تعدادی واحد برای امحاء پسماند در آسیای جنوب شرقی در حال نصب می باشد.
در خصوص مشخصات و توانائی های دیگر این سیستم می توان به موارد زیر اشاره کرد:
- سیستمی است که قابلیت مصرف مخلوطی از انواع مختلف خوراکیهای قابل تغذیه^{۱۱} را داشته و به اندازه کافی توانمندی دارد تا پسماندهای جامد شهری شامل ضایعات غیر سمی و بی خطر صنعتی را بکار گیرد.
- سیستمی است که در آن هیچ آلاینده ای تولید نمی شود که نیازمند انهدام مجدد داشته باشد.
- راه حل جامع و کامل برای انهدام ضایعات، سیستمی که با بالاترین استانداردهای جهانی محیط زیست هماهنگ است همینطور با نیازمندیهای مقررات زیست محیطی محلی در محل نصب کارخانه هماهنگ می باشد.
- سیستمی که بیشترین انرژی بازیافتی را به شکل سوخت تجدید شدنی ارائه می دهد.

* ویژگی های سیستم پلاسما

- دارای قابلیت امحاء پسماندهای شهری، صنعتی و بیمارستانی و هر گونه پسماند خطرناک، نخاله ساختمانی و لجن های فاضلاب
- سازگار با محیط زیست
- قابلیت تولید برق و حرارت که از حرارت آن می توان در خشک کردن شیرابه، خشک کردن پسماند ورودی و کاربردهای حرارتی سایت و صنایع نزدیک استفاده نمود.

⁹. Plasma

¹⁰. Non Leach abe

¹¹. Feed Stock

- فضای لازم جهت احداث خیلی کم و سیستم های کوچکتر بصورت موبایل و متحرک باقابلیت نصب بر روی تریلر
- باقیمانده در صورت ورود پسماند شهری ۳ تا ۵٪ و در صورت افزودن ۱۵٪ پسماندهای صنعتی تا حداکثر ۱۰٪ پسماند، البته در صورت امحاء نخاله های ساختمانی این سهم تا ۲۰٪ نیز افزایش خواهد یافت.
- نیازی به تفکیک پسماند جامد نمی باشد.
- هزینه سرمایه گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری آن بالا می باشد.
- دارای بالاترین میزان تولید انرژی بزاء هر تن پسماند جامد

* دیدگاههای زیست محیطی

سیستم پلازما به دلیل اینکه سیستم بسته است از نظر زیست محیطی ۱۰۰٪ ایمن و مطمئن می باشد. این سیستم گازها و بخارات سمی یا خاکسترها و باقیمانده خطرناک زباله سوزهای معمولی را ندارد. زباله سوزهای معمولی اغلب مقدار زیادی گاز، بخار و ضایعات سمی داشته، نیازمند سیستم های گران قیمت برای کاهش آلاینده های تولیدی می باشند. سیستم پلازما هیچ ماده سمی را در اتمسفر یا سطح زمین جایی که می تواند درون آب جاری یا سفره های آبی نفوذ کنند، تولید نمی کند. همان گونه که ذکر شد، تنها دو ماده از گاز سازی فرآیند پلازما تولید می شوند:

- گاز با ارزش حرارتی بالا که می تواند به عنوان سوخت تجدید پذیر بکار رود (گاز سنتز با ارزش حرارتی بالا با ۳۰۵ Kcal/kg).
- یک سربراره (شیشه بازالتی خنثی) که طبق گزارش آزمایشگاههای رسمی کاملا بی خطر بوده، و غیر سمی و غیر قابل نفوذ به لایه های زمین و آلودگی آبهای سطحی و زیر زمینی^{۱۲} می باشد. [۸]

۳- بحث و نتیجه گیری

بخش اعظم زباله های شهری ایران را مواد فساد پذیر تشکیل می دهد. این میزان در حدود ۷۰ درصد می باشد که دارای رطوبت زیادی (بیش از ۶۰ درصد) می باشند. مابقی پسماندها که در حدود ۳۰ درصد است، جزء خشک پسماند محسوب می شود و به دو دسته دارای ارزش بازیافت (۱۸- ۲۰٪ از کل پسماندها) و ارزش حرارتی (۸-۱۲٪ از کل پسماندها) تقسیم می شوند.

مواد آلی فساد پذیر دارای ارزش حرارتی پایینی هستند اما قابلیت استفاده در سیستم های تولید انرژی به روش بی هوازی را دارا می باشند. نتایج مطالعات هضم بیهوازی انجام شده در راکتورهای مناسب نشان می دهد که کمیت و کیفیت پسماندهای شهری ایران برای تولید بیوگاز بسیار مناسب است و در صورت احداث نیروگاه بیوگازی می توان ضمن حل بحران زباله و فاضلاب و سایر پسماندهای آلی فساد پذیر در کشور و تولید کود مناسب قسمتی از انرژی مورد نیاز جامعه را تامین نمود. عدم آلودگی آب، هوا و خاک و تولید محصولات جانبی مفید، کمک به حفظ بهداشت و سلامت جامعه شهری در کنار مزایای دیگر باعث می شود که هضم بیهوازی در فرآیند تولید انرژی از پسماندهای شهری مد نظر قرار گیرد.

از جمله مزایای منحصر به فردی که باعث می شود به سادگی نتوان در مبحث تولید انرژی از زباله های شهری از روش هضم بیهوازی چشم پوشی کرد، کارایی اثبات شده این روش برای تولید انرژی از تمامی منابع پسماند اعم از جامد و مایع می باشد. لذا با بهره برداری از این فناوری می توان ضمن حل بحران عظیم زباله های خانگی معضل فاضلابها و سایر پساب هایی که دارای بار آلی می باشند، را نیز حل نمود.

در حال حاضر در اکثر مناطق ایران تولید کمپوست و پردازش پسماند برای تولید آن امری شناخته شده است و در کلان شهرهای ایران در حال اجرا می باشد که پس از جداسازی مواد آلی و ارزشمند برای تولید کمپوست و بازیافت، باقی مانده که دارای ارزش حرارتی است دفن می شود. این گروه مواد قابلیت تبدیل به سوخت جایگزین را دارد. همانطور که عنوان شد این گروه ۸ تا ۱۲ درصد از کل پسماند را تشکیل می دهد که رقم قابل توجهی است. با ایجاد خطوط تولید سوخت جایگزین و استفاده از آن در کوره های کارخانه های سیمان بخش عمده ای از نیاز انرژی صنایع سیمان را تامین نمود.

در اکثر کلان شهر های ایران دفن پسماند به صورت دفن در داخل زمین انجام می شود که تولید گاز مرکز دفن می نماید و می توان با اقدامات مدیریتی مناسب از خروج گاز از دفنگاه جلوگیری نمود و اقدامات لازم را جهت استحصال گاز و تولید انرژی را به انجام رساند یا پس از تصفیه گاز بدست آمده آن را به شبکه گاز رسانی کشور تحویل داد.

منابع و ماخذ:

- ۱- عمرانی. قاسمعلی، مواد زائد جامد، جلد اول و دوم، ۱۳۷۳، مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی.
- ۲- شاه علی. عباس علی، عبدالله زاده. رضا، ۱۳۸۷، گزارش آژانس بین المللی انرژی ۲۰۰۶، جلد یک، سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران.
- ۳- هراتی. امیر ناصر، عبدالله زاده. رضا، جمشیدی. رضا، ۱۳۸۷، برآورد پتانسیل تولید RDF از پسماندهای بازکنی شده در مکانهای دفن ایران، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست.
- 4- Prechthai. Tawach, Visvanathan. Chettiyappan, 2006, RDF Production Potential of Municipal Solid Waste, Environmental Engineering and Management Program Asian Institute of Technology, Thailand.
- 5- Amir N. Harati, R. J. Jamshidi, A. Abdollahi Nasab, Landfill Gas Extraction Potential from Conventional Landfills-Case study of Kahrizak Landfill (Sardinia - 2007)
- 6- Tchobanoglous, G, theisen, H, and Vigil, S. 1993. Integrated solid waste management issues. McGraw – Hill, Boston, Mass
- 7- Vesilind, p.A, Worrell, W. and Reinhart, D.R 2002 solid waste Engineering Brooks/cloe, Pacific Grove, calif
- 8- Kerry L. Hughes, Ann D. Christy, and Joe E. Heimlich Science and Engineering Aspects Landfills, 2001, Ohio University