

بررسی امحاء مواد زاید جامد بوسیله تکنولوژی ایجاد قوس پلاسما

علی آدینه نیا باجگیران

معاون فنی سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری مشهد

چکیده

کاربرد تکنولوژی پلاسما در مدیریت پسماند می تواند یک راه حل مطمئن و اثر بخش در امحاء زباله های شهری خطرناک، بیمارستانی و سمی باشد. تکنولوژی قوس پلاسما با استفاده از الکتریسته زباله را به گازهای قابل اشتعال تبدیل کرده و درجه حرارت بالاتر از ۷۰۰۰ درجه سانتیگراد ایجاد می کند. در صورت تولید الکتریسته از انرژی مخلوط گاز یونیزه حاصل حدود ۴۰ درصد از انرژی حاصله صرف سیستم احیاء پلاسما و مجموعه شده و ۶۰ درصد باقیمانده قابل عرضه است. علاوه بر این مسایل و معضلات دیپونی های زباله نیز مرتفع می شود. این تکنولوژی سازگار با محیط زیست بوده و یک روش مقرون به صرفه اقتصادی به شمار می رود. در این تحقیق سعی بر آن خواهد بود علاوه بر بررسی اصول علمی و تئوری تکنولوژی مذکور یک سیستم کامل تبدیل زباله به گازهای قابل اشتعال توسط پلاسما تشریح گردد و در واقع یک واحد بازیافت انرژی حرارتی (HRSG) مورد بررسی قرار گیرد. پیشرفتهای نوین این تکنولوژی امکان تبدیل درجای سنگ ها و صخره ها و کلیه مواد را به اجسام شیشه ای شکل فراهم کرده و نمونه های مختلف پایلوتی این سیستم آن برای امحاء زباله در سطح جهان با موفقیت علمی و اقتصادی همراه بوده است .

واژه های کلیدی

پلاسما، مدیریت پسماند، گاز یونیزه، مواد سمی و خطرناک

مقدمه

امروزه با گسترش روز افزون جمعیت و رشد صنعتی و اقتصادی در جوامع بشری شاهد افزایش بی رویه مواد زاید جامد شهری هستیم بطوریکه یکی از وظایف اصلی و عمده مسئولان شهری مدیریت بر پسماندهای ایجاد شده و هزینه جهت امحاء این مواد است. مواد زاید جامد شهری شامل همه چیزهای باقی مانده و ضایعاتی از محصولات بسته بندی شده، کاغذ های باطله، روزنامه ها، منسوجات و پوشاک، وسایل و لوازم خانگی، ضایعات مواد غذایی، بطری ها و قوطی ها و انواع گوناگون مواد زاید دیگر هستند.

در حال حاضر در ایالات متحده تقریباً ۵۵ درصد زباله دفن می شود که این مقدار در گذشته بیشتر بوده است. در سالهای اخیر شاهد رشد حجم دفنگاههای زباله هستیم و دفن زباله یکی از آسان ترین روش های امحاء زباله به حساب می آید. در مشهد درصد قابل ملاحظه ای زباله به این روش محو می شود، که البته با احداث نیروگاه بیوگاز سوز بازیافت انرژی صورت می گیرد.

یکی از متداول ترین روش های تبدیل مواد زاید جامد شهری به انرژی سوزاندن است. در این روش انرژی گرمایی آزاد شده تحت شرایط کنترلی قابل استفاده است ولی مواد سمی و خطرناک دارای گاز و خروجی های آلوده نیز هستند. و از این نظر این روش محدود می شود. استفاده از این روش در ایالات متحده در فاصله سالهای ۱۹۹۸-۱۹۶۰ از ۳۰ به ۱۷ درصد کاهش یافته است.

پلازما، یک راه حل مناسب برای امحاء اصولی مواد زاید جامد شهری، ضایعات خطرناک و سمی به شمار می رود این فرآیند از نظر اقتصادی و صنعتی نیز حائز اهمیت فراوان است. در این تکنولوژی الکتریسته طی یک رعد و برق (شکل ۱) مصنوعی انرژی گرمایی با دماهای بیش از ۷۰۰۰ درجه سانتیگراد تولید می شود که نسبت به سوخته های فسیلی بسیار داغ تر است. این دما از سطح خورشید نیز داغ تر است لذا در این شرایط کلیه مواد آلی در زباله بطور کامل به اجزاء عنصری تبدیل می شوند. ترکیبات معدنی موجود در زباله نیز ذوب و شیشه ای شده و یا بصورت جامدات صخره ای شکل با مقاومت بسیار بالا در برابر فرسایش در می آیند.



شکل ۱: رعد و برق

گاز حاصل و جامد باقیمانده قابل بازیافت و استفاده هستند. از گاز برای تامین انرژی بعنوان سوخت گازی و از جامدات مذکور جهت راه سازی و غیره استفاده می شود. اگر ۴۰ درصد از الکتریسته تولیدی صرف اولیه

پلازما و مجموعه راکتور مورد نظر شود ۶۰ درصد باقیمانده را می توان بصورت اقتصادی عرضه کرد. از اینرو حجم مواد زاید جامد در محل های دفن نیز بسیار کاهش می یابد. عملکرد حجمی پلازما بیش از ۱۰۰۰ تن در روز است. هزینه های اساسی سیستم پلازما مشابه روش های قدیمی و سنتی زباله سوزهاست. اما پلازما مزایای فراوانی نسبت به زباله سوزها دارد. نمونه آزمایشی برای سیستم تبدیل مواد زاید جامد شهری، خاکستر زباله سوزها، آزبست ها و ضایعات دارویی بوسیله پلازما، با موفقیت ساخته و تجاری شده است. مزایای تکنولوژی های اخیر در پلازما امکان تبدیل در محل را ایجاد کرده است. بطوریکه سنگها، صخره ها و انواع زایدات گوناگون، مواد سخت و شیشه ای و صخره شکل شبیه مواد مذاب آتشفشانی تخریب می شوند. مشعل قوس پلازما را می توان برای انجام فرآیند در داخل شکافها و سوراخها با عمق متفاوت قرار داد در اینصورت مواد زاید جامد بصورت پیرولیز یا تبدیل به گاز مبدل می شوند. شیشه سازی پلازما در محل را می توان بصورت مستقیم برای همه مواد بکار گرفت از جمله زباله های دفن شده، زباله های بیمارستانی و پزشکی خطرناک، خاک و نخاله های ساختمانی، لجن ها و فاضلاب ها و شیرابه در این مقاله به بررسی و شناخت فرآیند تولید پلازما و بکار گیری آن در مدیریت پسماند و تبدیل مواد زاید جامد شهری به انرژی پرداخته است.

زباله در مشعل قوس پلازما با قدرت بیش از ۱۰۰ kW مورد عمل قرار می گیرد. گازهای خروجی توسط امبریش و ایدیا ناتام و همکارانش در سال ۲۰۰۷ مورد آنالیز و ارزیابی قرار گرفت این گاز مخلوطی از کربن مونوکسید و هیدروژن گزارش شده است و حاوی مقدار کمی متان، بنزن و تولوئن نیز بوده است.

بحث و نتایج

فیزیک پلازما (Plasma Physics)

می دانیم که برای ماده سه حالت جامد، مایع و گاز در نظر گرفته می شود. اما در مباحث علمی معمولاً یک حالت چهارم نیز برای ماده فرض می شود. ایجاد طبیعی پلازما در دماهای بالا، سبب تخصیص عنوان چهارمین حالت ماده به آن شده است. یک نمونه بسیار طبیعی از پلازما آتش است بنابراین خورشید نمونه ای از پلاسمای داغ بزرگ است. پلازما گاز شبه خنثایی از ذرات باردار و خنثی است که رفتار جمعی از خود ارائه می دهد. به عبارت دیگر میتوان گفت که واژه پلازما به گاز یونیزه شده ای اطلاق می شود که همه یا بخش قابل توجهی از اتمهای آن یک یا چند الکترون از دست داده و به یونهای مثبت تبدیل شده باشند. یا به گاز به شدت یونیزه شده ای که تعداد الکترونهاي آزاد آن تقریباً برابر با تعداد یونهای مثبت آن باشد، پلازما گفته می شود. اغلب گفته می شود که ۹۹٪ ماده موجود در طبیعت در حالت پلازماست، یعنی به شکل گاز الکتریسته داری که اتمهای مثبت و الکترون منفی تجزیه شده باشد. این تخمین هر چند ممکن است خیلی دقیق نباشد ولی تخمین معقولی است از این واقعیت که درون ستارگان و جو آنها، ابرهای گازی و اغلب هیدروژن فضای بین ستارگان بصورت پلازماست. در نزدیکی خود ما، وقتی که جو زمین را ترک می کنیم بلافاصله با پلاسمایی مواجه می شویم که شامل کمربندهای تشعشعی و بادهای خورشیدی است. در زندگی روزمره نیز با چند نمونه محدود از پلازما مواجه می شویم. جرقه رعد و برق، تابش ملایم شفق قطبی، گازهای داخل یک لامپ فلورسان یا لامپ نئون و یونیزاسیون. مختصری که در گازهای خروجی یک موشک دیده می شود. بنابراین می توان گفت که ما در یک درصدی از عالم زندگی می کنیم که در آن پلازما بطور طبیعی یافت نمی شود.

قدیمی ترین کار با پلازما، مربوط به لانگمیر، تانکس و همکاران آنها در سال ۱۹۲۰ می شود. تحقیقات در این مورد، از نیازی سرچشمه می گرفت که برای توسعه لوله های خلأی که بتوانند جریانهای قوی را حمل کنند، و در نتیجه می بایست از گازهای یونیزه پر شوند احساس می شد.

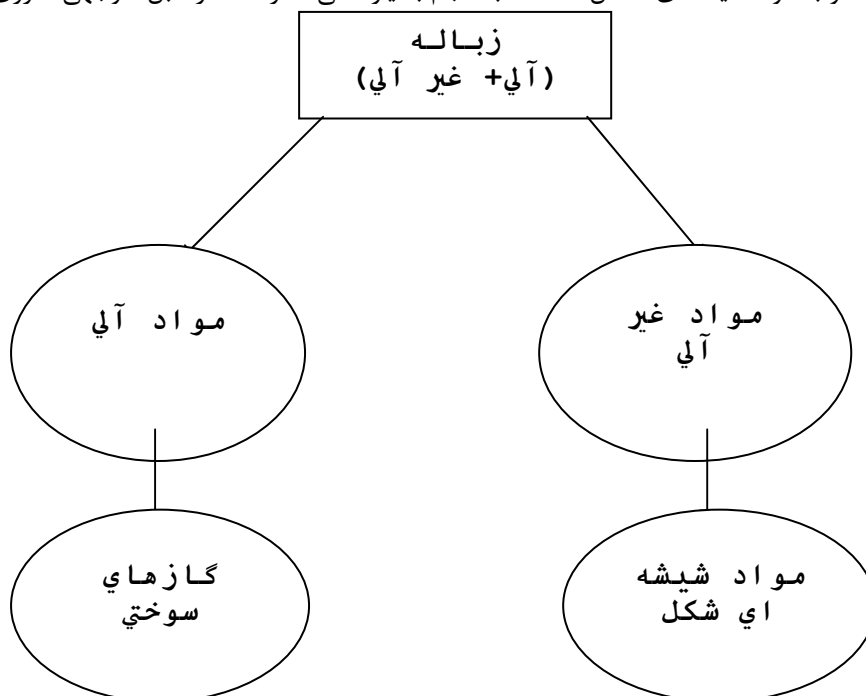
پیرولیز و گازی شدن مانند سوزاندن فرآیندهایی اند که در روشهای گرمایی امحاء مواد زاید جامد مطرح می شوند. این فرآیندها جدید نیستند اما اخیراً بسیار گسترش پیدا کرده اند.

در این فرآیندها مواد زاید به انرژی تبدیل می شوند و این آزاد سازی در شرایط کنترل شده مهیا می شود. پیرولیز بر خلاف گاز یفیکاسیون در عدم حضور هوا صورت می گیرد.

پلازما در مدیریت پسماند

هدف از بکارگیری تکنولوژی قوس پلازما رساندن حجم ضایعات به حد صفر است و این هدف در جهت کاهش فضای مورد نیاز برای دفن کردن و کاهش خطرات احتمالی ناشی از روش های نامناسب دفع مواد زاید جامد شهری و دیگر مواد زاید آلی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. این تکنولوژی جدید است و نیازمند فعالیتهای تحقیقاتی بسیاری بمنظور توسعه و بهسازی اجزا از عملکرد، بالا بردن مقاومت و عمر اجزا، افزایش راندمان، کاهش هزینه ها و غیره است.

فرآیند پلازما برای امحاء مواد و زایدات سمی و خطرناک برای استحصال انرژی بسیار مناسب می باشد. دمای بالای ایجاد شده در قوس پلازما پتانسیل سمی بودن مواد زاید جامد شهری را کاهش می دهد. مواد آلی موجود در زباله در این روش پیرولیز شده و به محصولات گازی بعنوان سوخت تبدیل می شوند. (شکل ۲) در نهایت حجم این مواد بسیار کاهش یافته و به مواد شیشه ای (شکل ۳) مانند با حجم بسیار کمی همراه مقدار قابل توجهی انرژی تبدیل می شوند.

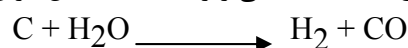


شکل ۲: فرآیند تبدیلی زباله در روش پلازما



کل ۳: مواد شیشه ای شکل باقیمانده

بخار آب در این فرآیند واکنش را طبق معادله شیمیایی زیر به سمت تبدیل کربن پیشرفت می دهد.



گازهای یونیزه شده در دمای بالا تحت شرایط پلاسما قابلیت هدایت جریان الکتریکی را دارند. ایجاد نور زیاد از ویژگیهای این حالت است.

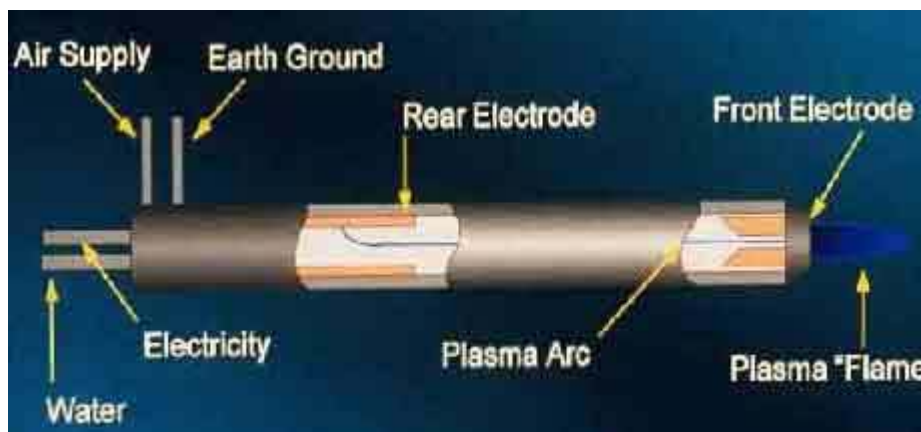
معمولاً تجهیزات مورد استفاده در این روش مشعل تولید پلاسما، منبع انرژی اولیه، سیستم تامین آب، سیستم کنترل دما و سیستم های کنترلی معمول می باشند. مشعل تولید پلاسما به مقدار بسیار کمی گاز (آرگون، هیدروژن، هلیوم، اکسیژن و هوا) و الکتریسته نیاز دارد. گرما از تجزیه الکتریکی و یونیزاسیون گاز حاصل می شود.

مهمترین جزء پلاسما، گازساز 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 همزمان هوا در فضای حلقوی شکل، یک محیط با

گرمای بسیار زیاد که بین $5000 - 10000^{\circ}\text{C}$ است بوجود می آید. در مشعل قوس پلاسما (شکل ۴) گاز ایجاد شده منبع تامین حرارت لازم برای تبدیل الکتریسته به گرماست. مواد در این حالت بصورت گاز در آمده و دماهای ایجاد

شده بیش از 7000°C است. مشعل پلاسما با همه گازها بدون فرآیند احتراق کار می کند. یکی از مزایای این روش بر خلاف روش های احتراقی کاهش تولید کمپلکس های آلی از قبیل دی اکسید ها و فورانهاست.

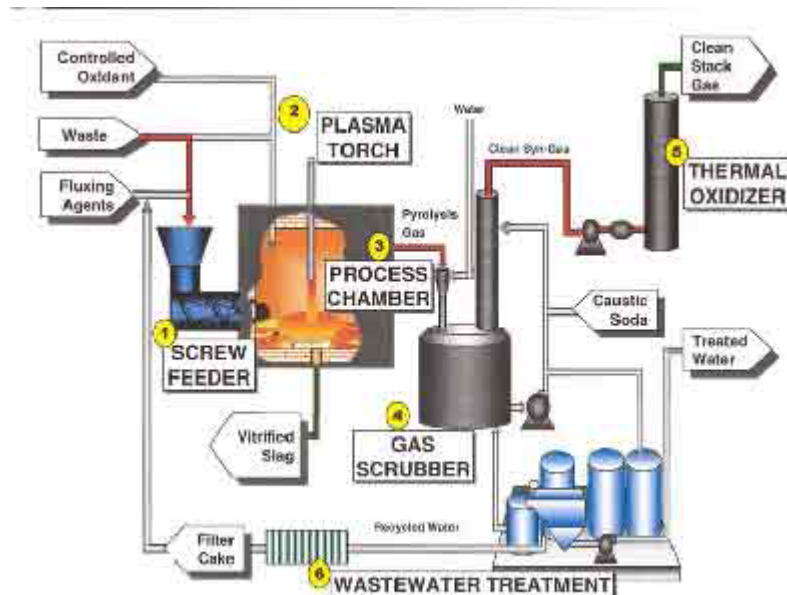
دو نوع مشعل قوس پلاسمایی وجود دارد، یکی مشعل انتقالی (TAT) و دیگری غیر انتقالی (NTAT). در TAT جرقه های قوی بین الکتروود و مشعل و هادی خارجی است در حالیکه در NTAT جرقه های قوی بین دو الکتروود مشعل است. در هر دو، شعله در جلوی مشعل قرار می گیرد. ابتدا این روش توسط انجمن تحقیقاتی کاربرد پلاسما (PARF) در نمونه های خاک و در نمونه های زباله و ضایعات دارو (درسال ۲۰۰۰) تست شد.



شکل ۴ : مشعل پلاسما

شکل ۵ شماتیک طرح تحقیقاتی مورد نظر است. همانطور که دیده می شود مواد اولیه با سرعت مشخص به داخل راکتور پلاسما تزریق می شوند، مشعل پلاسما بر روی مواد متمرکز شده است. دمای ایجاد شده تحت کنترل است، مواد را بصورت گازهای یونیزه شده به سیکلون جهت جمع آوری گردو غبار و ذرات همراه منتقل شده و شرایط نمونه برداری نیز در مسیر فراهم شده است.

گازهای ایجاد شده توسط دستگاه گاز کروماتوگراف (GC) قابل سنجش و اندازه گیری است. گازهای اندازه گیری شده دارای مقادیر مختلف می باشند که عمده آنها هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، متان و کربن مونوکسید است.



شکل ۵: فرآیند پلاسما جهت بازیافت انرژی

در تست انجام شده توسط این انجمن آنالیز گازهای تولید شده در اثر بکارگیری ضایعات کارخانجات نساجی بعنوان زباله بصورت جدول ۱ می باشد.

گاز تولید شده	ضایعات نساجی(درصد)
N2	49.8
O2	8.8
CO	19.9
H2	12.8
CH4	0.71
Benzene	0.70

جدول ۱: آنالیز گازهای خروجی از بکارگیری قوس پلاسما روی ضایعات نساجی

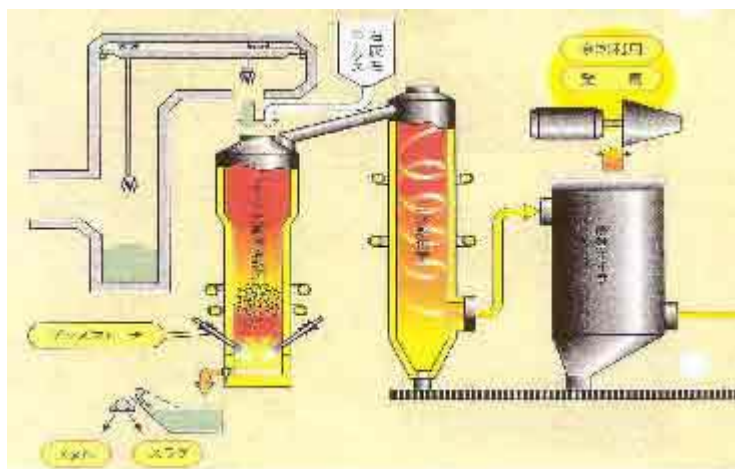
گاز ساز پلاسما محیطی با کمبود اکسیژن بوده و بنابراین هیچ احتراقی صورت نمی گیرد و از این رو گاز ساز پلاسما یک زباله سوز یا سیستم احتراقی نیست. پلاسما با دمای هسته بالغ بر 10000°C قادر است که ترکیبات سمی را در هزارم ثانیه بشکند بطوریکه هیچگونه مواد ثانویه حاصل از احتراق یا گازهای آلوده کننده تولید شود. حرارتهای 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 می شوند که پس از سرد شدن تبدیل به یک ماده شیشه ای غیر شیرابه ای (Non Leachable) خنثی می شوند. مزایای ویژه تکنولوژی پلاسما بر سایر روشهای دیگر بازیافت زباله که در حال حاضر موجود است بسیار متعدد است:

- استفاده از برق بعنوان منبع انرژی
- سازه مدولار و کم حجم سیستم

از مشخصات و توانایی های دیگر آن می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- سیستمی که قابلیت مصرف مخلوطی از انواع مختلف خوراکیهای تغذیه (Feed Stock) را داشته و به اندازه کافی توانمندی دارد تا زباله های جامد شهری شامل ضایعات غیر سمی و بی خطر صنعتی را بکار گیرد .
 - سیستمی که با هیچ زباله ای که نیازمند انهدام مجدد داشته باشد تولید نمی کند.
 - 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 .
- کاربردهای گرانول باقیمانده در صنایع کاشی و سرامیک، شیشه کاری، راهسازی بعنوان مصالح است. از کاربردهای صنعتی و تجاری این روش به موارد زیر می توان اشاره کرد:
- تبدیل ضایعات در هم Richland WA توسط گروه فنی Allied (ATG)
 - تبدیل ضایعات دارویی Honolulu HI توسط APET انجمن تکنولوژی های محیط زیست آسیا.
 - بقایا و خاکستر زباله سوزها در اروپا و ژاپن.

کارخانه جدیدی که خودروهایی بازیافتی را با این روش به انرژی تبدیل می کند تقریباً ۱۵۰ تن در روز ظرفیت داشته و همچنین می تواند حدوداً ۳۰۰ تن زباله را در روز تبدیل کند میزان انرژی تولیدی این کارخانه ۸ MW جریان الکتریکی است.



شکل ۶: فرآیند کارخانه Utashinai, Japan , Plant Hitachi Metals

دیدگاههای زیست محیطی

سیستم PGV بدلیل اینکه یک 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 پلاسما 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. همانگونه که ذکر شد، تنها دو ماده از گاز سازی فرآیند پلاسما تولید می شوند:

- گاز با ارزش حرارتی بالا که می تواند بعنوان سوخت تجدید پذیر بکار رود (گاز سنتز با ارزش حرارتی بالا با ۳،۲۰۵ Kcal/kg).

- یک سرباره (شیشه بازالتی خنثی) که طبق گزارش آزمایشگاههای رسمی کاملاً بی خطر بوده، و غیر سمی و غیر قابل نفوذ (non-leachability) می باشد.

هزینه سیستم پلاسما

هزینه یک سیستم پلاسما که ۱۰۰ تن انواع زباله و نخاله های ساختمان را امحا می نماید در حد ۱۰ میلیون دلار می باشد. با هزینه ۱/۲ تا ۱/۵ میلیون دلار اضافی می توان نیروگاه ۱/۵ مگاواتی به سیستم اضافه نمود و سالانه ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلیون تومان درآمد از محل فروش برق کسب نمود. خروجی سیستم نیز بی خطر بوده و قابل استفاده در مبلمان شهری، جاده سازی و راهسازی می باشد.

مقدار انرژی الکتریکی لازم برای فرآیند گازسازی پلاسمایی هر تن زباله خام بستگی مستقیم به ترکیب شیمیایی زباله دارد انتخاب نهایی مشعل بستگی به نیازهای کاربردی نهایی بر اساس حجم برنامه ریزی شده زباله انتخابی در هر روز دارد.

تاسیسات گاز سازی پلاسمایی می تواند در یک فضای کوچک اجرایی شود. بعنوان شاخص برای امحا ۳۰۰ تن زباله در روز مساحتی در حدود ۱۰۰*۷۵ متر کافی بوده که در واقع تجهیزات لازم مساحتی در حدود ۲۰*۱۵ متر را اشغال می کنند.

نتیجه گیری

هدف از بکارگیری تکنولوژی قوس پلاسما رساندن حجم ضایعات به حد صفر است و این هدف در جهت کاهش فضای مورد نیاز برای دفن کردن و کاهش خطرات احتمالی ناشی از روش های نامناسب دفع مواد زاید جامد شهری و دیگر مواد زاید آلی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. فرآیند پلاسما برای امحاء مواد و زایدات سمی و خطرناک برای استحصال انرژی بسیار مناسب می باشد. دمای بالای ایجاد شده در قوس پلاسما پتانسیل سمی بودن مواد زاید جامد شهری را کاهش می دهد. مواد آلی موجود در زباله در این روش پیرولیز شده و به محصولات گازی بعنوان سوخت تبدیل می شوند. در نهایت حجم این مواد بسیار کاهش یافته و به مواد شیشه ای مانند با حجم بسیار کمی همراه مقدار قابل توجهی انرژی تبدیل می شوند. مزایای ویژه تکنولوژی پلاسما بر سایر روشهای دیگر بازیافت زباله در حال حاضر استفاده از برق بعنوان منبع انرژی و سازه مدولار و کم حجم سیستم می باشد. هزینه یک سیستم پلاسما که ۱۰۰ تن انواع زباله و نخاله های ساختمان را امحا می نماید در حد ۱۰ میلیون دلار می باشد. بعنوان شاخص برای امحا ۳۰۰ تن زباله در روز مساحتی در حدود ۱۰۰*۷۵ متر کافی بوده که در واقع تجهیزات لازم مساحتی در حدود ۲۰*۱۵ متر را اشغال می کنند.

منابع و مراجع

- 1- WWW.aec.army.mil/prod/usaec/et/comp/pyrolysis.htm
- 2- WWW.electrolysis.com
- 3- Plasma Arc Treatment of Municipal and Hazardous Wastes Catherine Bodurow, USEPA/OPPTS/OPPT/RAD Louis J. Circeo, Kevin C. Caravati, Robert C. Martin, Michael S. Smith Georgia Institute of Technology - Georgia Tech Research Institute.
- 4- K. Katou, R. Sameshima et al. Demonstration tests of the 25 ton_{day} plasma melting furnace. The 9th Annual Conference of Japan Society of Waste Management Experts, 1998.
- 5- National Communications (for Annex I and non-Annex I Countries) and National Emissions Inventories (Annex I countries): http://unfccc.int/national_reports/items/1408.php
- 6- Hiraoka M, Sakai S. The properties of fly ash from municipal waste incineration and its future treatment technologies. J of the Japan Society of Waste Management Experts 1994;5(1):3±17.
- 7- Abe S, Kanbayashi F, Yoshida Y, Ikeda M. Minimization of environmental load by waste melting furnace. Kubota Technical Report 1998;35:3±11.