

گازیفیکاسیون حرارتی زباله‌های شهری؛ اصول، تجربیات کشورهای مختلف و چالش‌ها در ایران

میلاد رحیمی^۱ - محمد علی ابراهیمی نیک^۲

۱- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

m.rahami1990@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

ebrahimi.nik@gmail.com

چکیده

در حال حاضر نگرانی‌های زیست محیطی بیش از هر زمان دیگری به دلیل تاثیرات نامطلوب روش‌های دفع زباله‌های سنتی از قبیل لندفیل زباله، کمپوست، و روش‌های سوزاندن زباله به صورت باز و بسته افزایش یافته است. این روش‌های دفع زباله با توجه به مشکلات آلودگی ثانویه اغلب مضر خواهند بود. محل‌های دفن زباله و کمپوست باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند متان SO_x و NO_x می‌شوند و آلودگی آبهای زیرزمینی را درپی دارند. معمولاً سوزاندن باعث انتشار گازهای خطرناکی مانند دیوکسین، NO_x و SO_x خواهد شد. از طرف دیگر روش گازیفیکاسیون سازگاری بیشتری با محیط زیست دارد. این فرایند یک اکسیداسیون جزئی از زباله است که در حضور مقدار کمی اکسیژن مورد نیاز برای احتراق استوکیومتری اتفاق می‌افتد. در اصل بخشی از زیست توده برای تامین گرمای مورد نیاز برای بخار کردن بقیه مواد می‌سوزد. در این مقاله بررسی و ارزیابی گازیفیکاسیون مواد زائد جامد شهری، با شروع از جنبه‌های اصلی فرایند شامل روند و مراحل و پس از آن بررسی وضعیت کشورهای پیشگام در ورود به بحث و چالش‌های ایران در راه به کار بردن این تکنولوژی آورده شده است. سرانجام یک برآورد کلی برای هزینه سرمایه گزاری یک نیروگاه گازیفیکاسیون زباله‌های شهری در مشهد انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: زباله‌های جامد شهری، گازیفیکاسیون حرارتی، آلایندگی، نگرانی‌های زیست محیطی

۱- مقدمه

افزایش تولید روزانه‌ی زباله‌های شهری چه از طریق افزایش رفاه و چه از طریق مهاجرت به شهرها، به یکی از چالش‌های عمده‌ی مدیریتی اکثر شهرها و کشورها بدل شده است. دفن در لندفیل عمده‌ترین روش دفع زباله‌های جامد شهری (Municipal Solid Wastes) در جهان می‌باشد که تاکنون اقتصادی‌ترین روش نیز بوده است (Cotman and Gotvajn ; Economopoulos 2010). از آنجایی که بسیاری از لندفیل‌ها از مهندسی مناسبی برخوردار نیستند، باعث بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی از طریق نشت

شیرابه و تصاعد گاز و بوی بد به محیط می‌شوند که نهایتاً به برای انسان و محیط زیست می‌تواند خطرآفرین باشد (Donovan et al. ; Park and Shin 2001; Durmusoglu, Taspinar et al. 2010; Scaglia, Confalonieri et al. 2010).

یکی از موثرترین و بهترین روش‌های دفع و تیمار زباله‌های شهری، استحصال انرژی از آنها می‌باشد که برخلاف روش‌های سنتی دفن زباله از مزایای اقتصادی و زیستمحیطی بسیاری برخوردار است (Caton, Carr et al. ; Perkoulidis, Papageorgiou et al. 2010). یک توده‌ی زباله‌ی شهری حدود ۲۸۰۰ kWh ارزش حرارتی دارد که در تجهیزات مدرن Waste to energy (Waste to energy) یا ضایعات به انرژی) قادر به تولید ۷۰۰ kWh برق می‌باشد (Castaldi and Themelis 2010). دریافت

انرژی از زباله به سه روش عمده‌ی زیر امکان‌پذیر است:

-۱ بیوگاز

-۲ احتراق

-۳ گازیفیکاسیون

بیوگاز حاصل فرآیندی بی‌هوایی بوده شامل مقدار زیادی متان (۵۰ تا ۶۰ درصد) و دی‌اکسیدکربن (۳۰ تا ۴۰ درصد) و تا حدی سولفیدهیدروژن و آمونیاک می‌باشد (Abu Qdais, Bani Hani et al. 2010). فرآیند تجزیه در لندفیل در بسیاری از نشریات آمده است (Christensen et al., 1996), (Palmissano and Barlaz, 1996) (Williams, 2005). اما توضیح آن خارج از حوصله‌ی این مقاله می‌باشد. سیستم بیوگاز درواقع نوع بسیار ابتدایی استحصال انرژی از زباله بوده و درواقع در بسیاری از موارد صرفاً بهجهت اینمنی و مسائل زیستمحیطی اجرا می‌گردد و غالباً شامل جمع‌آوری و کنترل متنایی است که در لندفیل بهصورت خودکار تولید می‌شود. هم‌اکنون این سیستم در شهرهای مشهد و شیراز با ظرفیت ۶۵۰ و ۱۰۶۵ کیلووات راهاندازی شده‌اند امری که در سراسر اتحادیه‌ی اروپا به یک نیاز قانونی تبدیل شده است(Donovan, Bateson et al.). درآمد اندک حاصل از بازیافت انرژی از گاز لندفیل از جمله نگرانی‌های سرمایه‌گذاری در این زمینه بهویژه برای بخش خصوصی می‌باشد (Donovan, Bateson et al.). از طرفی، بهدلیل کیفیت پایین گاز تولیدشده در لندفیل‌ها، این استراتئی تنها برای لندفیل‌های بزرگ و آنهایی که استفاده‌کننده‌ی نهایی در مجاورتشان است کاربردی است (Castaldi and Themelis 2010)

در احتراق^۱ زباله سوزانده می‌شود تا از حرارت آن بخار تولید شود. حرارت تولیدی را می‌توان برای گرمایش واحدهای صنعتی مجاور استفاده نمود (Perkoulidis, Papageorgiou et al.). تنها گزینه‌ی موجود برای تولید انرژی، استفاده از بخار در گرمایش و یا در ژنراتورها برای تولید برق است. فناوری احتراق زباله‌های جامد شهری بهدلیل مزایای زیاد خود از جمله کنترل بهداشتی، کاهش حجم (حدود ۹۰٪)، کاهش جرم (حدود ۷۰٪) و تولید انرژی، روشی جذاب در تیمار زباله‌های شهری است (Chang, Chen et al. 1998; Chimenos, Segarra et al. 1999; Shi, Wu et al. 2008).

^۱ Incineration

ثانوی مطرح می شود. تولید گازهای اسیدی، فلزات سنگین از جمله این آلودگی ها می باشد. اگرچه سامانه های زیادی برای کنترل آلایندگی در این فناوری توسعه داده شده است اما نگرانی ها در مورد ترکیبات سمی محصولات جانبی حاصل از احتراق و فلزات سنگین موجود در گاز و خاکستر در حال افزایش است (Shi, Wu et al. 2008).

گازیفیکاسیون فرآیندی است که در آن مواد آلی (زیست توده یا سوخت فسیلی جامد) با واکنش های گرمایی در کنار میزان محدودی عامل اکسنده تجزیه می شوند. با پایان یافتن فرآیند، گازی شامل هیدروژن، دی اکسید کربن، متان، مناکسید کربن، بخار آب و مقدار کمی دیگر هیدروکربن های سنگین تر در کنار بقایای مواد غیرآلی تولید می شود (السسر و لویس، ۱۹۷۸؛ برینک، ۱۹۸۱) (بخش ۳-۵-۲). عامل اکسنده معمولاً اکسیژن، آب (بخار)، دی اکسید کربن یا مخلوطی از اینها می باشد و فرآیند به منظور بیشینه کردن آزادسازی هیدروژن و مناکسید کربن صورت می گیرد. بسته به جزئیات فرآیند و ترکیب مواد خام ورودی ارزش گرمایی گاز تولیدی بین ۵ تا ۱۴ مگاژول بر مترمکعب متغیر است.

۱-۲ تئوری تحقیق

این تحقیق بر مبنای مطالعه گزارشات علمی موجود در منابع علمی و اقتصادی معتبر انجام شده و تمام تلاش بر استفاده از دیتاپیس های به روز بوده است. از گزارش های منابع اقتصادی (ACC Gasification report) نیز تا حد ممکن استفاده شده است.

در ابتدا اصول فرآیند و مقایسه انواع روش های گازیفیکاسیون اورده شده است و سپس به تجربه های شرکت های بزرگ در دنیا و تخمین هزینه های سرمایه گذاری پرداخته شده است.

سپس با توجه به شرایط موجود در کشور به بحث در مورد چالش های پیش روی بکارگیری این تکنولوژی در کلان شهرها که بار بسیار سنگینی را چه از لحاظ مادی برای لندهی کردن و چه از جهات دیگر مانند نبود مکان و تخریب محیط زیست پرداخته شده است.

۲- مزایای گازیفیکاسیون بر سایر روش های تیمار زباله های شهری

بسیاری گازیفیکاسیون را با احتراق یکی می دانند درحالی که در گازیفیکاسیون آب به هیدروژن و اکسیژن شکسته می شود ولی در احتراق، هیدروژن و اکسیژن برای تولید آب با هم ترکیب می شوند. نکته ای مهمتر اینکه احتراق مواد با ترکیبات پیچیده و خطرناکی تولید می کند درحالی که گازیفیکاسیون مولکول های پیچیده را به گازهای ساده تبدیل می کند. گازیفیکاسیون حرارتی در شکستن مواد آلی خطرناک مانند دیوکسین ها و فروئن ها بسیار موثر عمل می کند.

² Brink

امروزه گرایش به سمت سامانه های با بازدهی بالای انرژی و دوستدار محیط زیست گازیفیکاسیون رو به افزایش است. اثبات شده است که گازیفیکاسیون زباله های جامد شهری، فرسایش و آلودگی ناشی از باقیماندن فلزات سنگین و قلیا (به جز جیوه و کادمیوم)، سولفور و کلرین در انتهای فرآیند را کاهش و یا حذف می کند، به مقدار زیادی از تشکیل PCDD/F جلوگیری کرده و تولید NO_x را کاهش می دهد. بنابراین، گازیفیکاسیون زباله های جامد شهری می تواند روشی نویدبخش برای تولید انرژی از ضایعات (WTE) باشد (Choy, Porter et al. 2004; Malkow 2004; Thamavithya and Dutta 2008; He, Hu et al. 2009; He, Hu et al. 2009; Xiao, Ni et al. 2009). از این تکنولوژی همچنین می توان برای تولید هیدروژن از زباله استفاده نمود (2009).

۲-۱: معايب گازیفیکاسیون:

اگرچه گازیفیکاسیون زباله شهری مزایای زیادی را به دنبال دارد اما همواره چالش هایی پیش روی آن بوده است. طبق گزارش های موجود پتانسیل های منفی گازیفیکاسیون به شرح زیر است:

الودگی هوا: نصب تجهیزات کنترل الودگی هوا و سیستم های بازیابی انرژی اثرات منفی ان را کاهش می دهد. اگرچه این سیستم در مقایسه با احتراق تولید گاز نامناسب بسیار کمتری دارد که با سیستم های کنترلی از انتشار انها جلوگیری خواهد شد.

تولید مواد زائد جامد: تولید مواد زائد جامد مربوط به چار(char) و خاکستر استخراج شده از گازیفایر ، کنترل ذرات

تجهیزات و دیگر بخار ممکن است تولید ۹-۲ و ۵-۱۰٪ از مواد خام را شامل شود.(SAFI 1995)

فاضلاب : در این فرآیند ، فاضلاب ممکن است گاز کولر و اسکرابر^۳ مرطوب حاوی بسیاری از آلاینده های محلول و نامحلول مانند استیک اسید، سولفر، فنول و دیگر ترکیبات آلی اکسیژن دار تولید شود.

۳- اصول گازیفیکاسیون زباله های جامد شهری

در یک تعریف ساده، گازیفیکاسیون حرارتی عبارتست از تبدیل مواد شیمیایی مواد دارای اتم کربن در دمای بالا به گاز سنتز. این گاز می تواند به عنوان ماده ای خام شیمیایی و یا به عنوان سوخت برای تولید انرژی به کار گرفته شود (AES Inc., 2004)

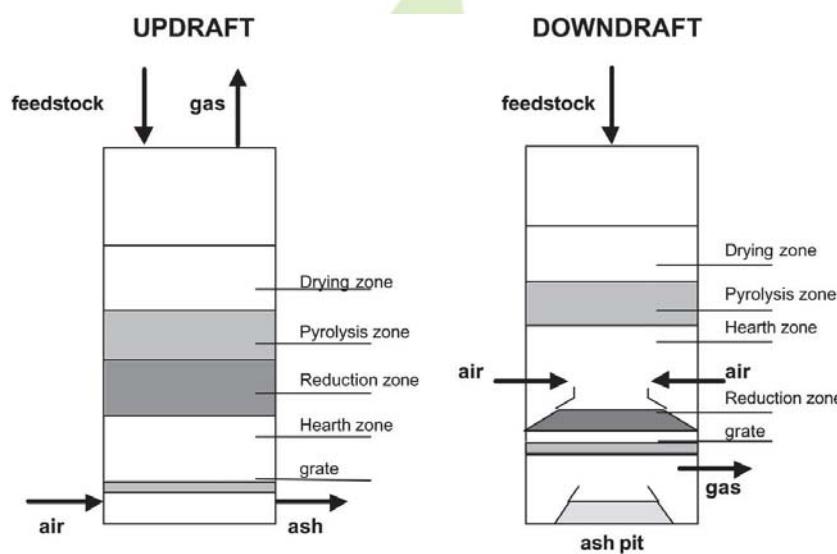
فناوری گازی سازی امری نو به حساب نمی آید و بیشتر سامانه های گازی سازی نخستین بار برای تولید گاز از سوخت های فسیلی همچون زغال سنگ طراحی شده بودند. در حقیقت بین سال های ۱۸۵۰ و ۱۹۵۰ عمده ای گاز تولیدی از محل گازی سازی

^۳ scrubber

زغال سنگ بود. طرح های گوناگونی از سامانه های گازی سازی وجود دارد (Sims and Sayigh, 2004). گازیفیکاسیون زغال سنگ، زیست توده و زباله های شهری تقریبا از اصول یکسانی پیروی می کند.

سه فناوری عمده ی گازیفیکاسیون وجود دارد؛ پیرو لیز، گازیفیکاسیون سنتی و گازیفیکاسیون پلاسمای (AES Inc., 2004) گازیفیکاسیون سنتی به سه روش بالا سو (up-draft)، پایین سو (با کشش پایین) (down-draft)، کشش جانبی- (cross-draft) انجام می شود.

در شکل شماره ۱ شماتیک کلی دو روش متداول گازیفیکاسیون را مشاهده می کنید (Quaak et al., 1999).



شکل ۱ - نمایش سیستم بالا سو و پایین سو

در سیستم بالا سو (کشش بالا)، هوا از پایین محفظه وارد و به سمت بالا حرکت می کند. گازها به سمت بالا حرکت می کنند و از بالای محفظه تخلیه می شوند.

این حرکت رو به بالای هوا و گاز بهره وری را بهبود می بخشد به عنوان افزایش گازهای داغ کمک به کنترل درجه حرارت، کمک در خشک کردن مواد اولیه، و بهبود اختلاط گازها در محفظه احتراق می کند.

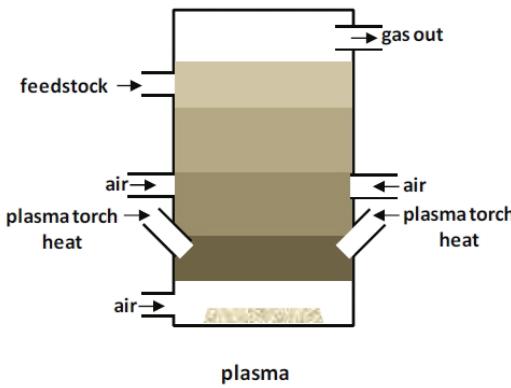
در گازیفایر پایین سو (یا کشش پایین) downdraft، هوا است که در بخش میانی یا بالای سطح محفظه وارد و گاز سنتر از قسمت پایین اتاق خارج خواهند شد. انتقال حرارت در محفظه از بالا انجام شده و دمای گاز به سمت پایین حرکت می کند را افزایش می دهد.

در گازیفایر کشش جانبی (cross draft)، ورودی هوا و خروجی گاز در دو طرف مقابل در وسط اتاق قرار دارند. این نوع گازیفایرها کمتر شایع هستند که در آنها گاز سنتز با دما بالا در سرعت بالا تولید می شود که کاهش CO₂ در ان بیشتر است

نسبت به ۲ روش قبلی، مواد اولیه برای این سیستم طراحی شده توسط سیستم محدود به خاکستر سوخت کم، مانند چوب، زغال سنگ سوخته نفت و زغال چوب هستند. گازیفایر Crossdraft دارای مزایای متعددی، از جمله مونوکسید کربن بالا، کم هیدروژن و گاز سنتز متان در زنان کمتر که به عنوان سوخت های خشک استفاده می شود.

روش پلاسمما:

از این روش در صنایعی که نیاز به دفع زباله های خطرناک در دمای بالا هستند استفاده می شود. مشعل پلاسمما در گسیفیر دمایی بالای ۱۰۰۰ درجه فارنهایت ایجاد میکند. شکل شماره ۲ سیستم گازیفایر به روش پلاسمما را نمایش می دهد.



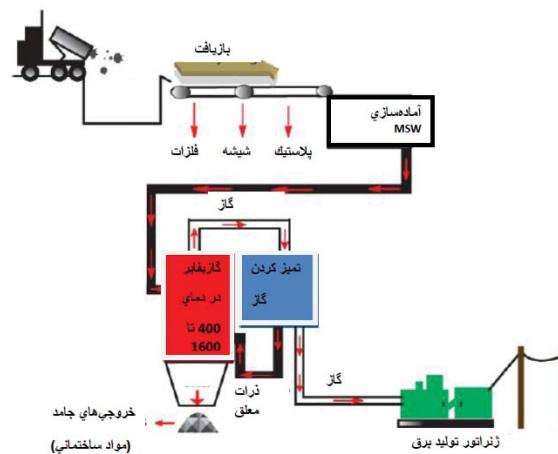
شکل ۲ – گازیفایر به روش پلاسمما

۱-۳ اجزای سیستم‌های گازیفیکاسیون زباله‌های شهری

تولید برق از زباله‌های جامد شهری از طریق گازیفیکاسیون حرارتی شامل سه مرحله‌ی کلی است:

- ۱- حمل و نقل و فرآوری (پروسسینگ): زباله‌ها توسط کامیون از سطح شهر جمع‌آوری شده، به محل تاسیسات منتقل می‌شود. سپس در طی فرآیند فرآوری مواد قابل استفاده گازیفایر جدا می‌شوند.
- ۲- تبدیل: زباله‌ی فرآوری شده در حرارت بالا و در حضور محدود و کنترل شده اکسیژن به صورت شیمیایی به گاز سنتز تبدیل می‌شود.
- ۳- تولید برق: گاز سنتز به جای گاز طبیعی برای تولید برق به کار برد می‌شود.

طرح کلی سامانه‌های گازیفیکاسیون زباله‌های جامد شهری و تولید برق در شکل شماره ۳ آمده است.



شکل ۳ : طرح کلی سامانه های گازیفیکاسیون زباله های جامد شهری و تولید برق (منبع: Advanced Energy Strategies,

(Inc., 2004)

برخلاف لندفیل های سنتی، تمامی عملیات در فضای پوشیده انجام می شود. این امر به مقدار زیادی بوی بد و کثیفی ایستگاه های انتقال را کاهش می دهد.

نوع فرآوری بستگی به نیاز گازیفایر و نوع طراحی آن دارد. درجه بندی (سورتینگ)، بازیافت، خردکردن و خشک کردن از جمله عملیات فرآوری در این بخش هستند. در درجه بندی، موادی از زباله ها که قابل گازیفیکاسیون نیستند مانند فلزات و شیشه ها برای بازیافت جدا می شوند. در اینجا نیز سودمندی تفکیک از مبدأ^۴ نمایان می شود. کاغذ های کوچک و آلوده به جوهر که دارای ارزش اقتصادی برای بازیافت نیستند و بسیاری از انواع پلاستیک که قابل بازیافت نیستند ماده هی خوبی برای گازیفیکاسیون به شمار می روند در غیر این صورت این گونه مواد باید در لندفیل ها دفن گردد.

بسته به نیاز گازیفایر، باید زباله ها را خرد کرد. همچنین، خشک کردن آب اضافی موجود در زباله بازدهی گازیفایر را بالا می برد. تجهیزات مورد نیاز برای این عملیات سال هاست که در روش های سنتی تیمار زباله های شهری وجود داشته استفاده می شود.

۳-۳ تبدیل زباله های جامد شهری به گاز سنتر

تا چندی پیش، گازیفیکاسیون برای موادی مانند چوب و زغال سنگ انجام می شد که از یکنواختی خوبی برخورارند. اما استفاده از زباله در گازیفایر مستلزم ایجاد یکنواختی هرچه بیشتر در آن است. زباله حاوی ترکیبات مختلفی با اندازه های متفاوت است. ادغام عملیات آماده سازی زباله و فرآیند گازیفیکاسیون برای حصول به عملکردی مطلوب حیاتی است و دقیقا این مرحله هنوز به بلوغ

⁴ Source-classified collection

کافی صنعتی نرسیده است. امروزه تحقیقات از طرفی بر روی طراحی سیستم‌هایی است که زباله‌ها را تاحدامکان یکنواخت و قابل استفاده برای گازیفایر سازد و از طرف دیگر توسعه‌ی گازیفایرهاست که قابلیت استفاده از مواد غیریکنواخت‌تر را داشته باشد.

۴- جنبه‌های اقتصادی گازیفیکاسیون و تجربیات چند کشور نمونه

به رغم امتیازات بسیار گازیفیکاسیون بر سایر روش‌های رایج -همان‌گونه که ذکر شد- این صنعت نوپا بوده و شاید گفت به- نحوی دوران بلوغ خود را طی می‌کند. تعدادی نیروگاه پایلوت در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ در امریکای شمالی ساخته شد اما به دلایل اقتصادی و فنی از ادامه‌ی فعالیت باز ماندند (AES Inc., 2004). با این حال ایالات متحده تحقیقات وسیعی را برای نسل جدیدی از گازیفیکاسیون با عنوان گازیفیکاسیون پلاسمای آغاز کرده است. در این عملیات، دمای گازیفیکاسیون به بیش از ۵۰۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد و مواد خطرناک و سمی به‌طور کامل از بین می‌روند (WMW, 2009).

واقعیت این است که هنوز در بسیاری از کشورها تولید انرژی از زباله‌های شهری جذابیت اقتصادی ندارد بهویژه در کشورهای درحال توسعه این گرایش زمانی بوده است که دیگر روش‌های سنتی پاسخگوی نیاز نبوده و از طرفی ادامه‌ی کار آنها چه از لحاظ اقتصادی و چه زیستمحیطی امکان‌بزیر نمی‌باشد. از طرف دیگر، گازیفیکاسیون زباله‌ی شهری فناوری نویی بوده، هنوز به بلوغ فنی و تجاری کامل نرسیده است و داده‌های لازم برای بررسی دقیق اقتصادی آن -لاقل برای شرایط ایران- در دسترس نمی‌باشد.

در اروپا هنوز نیروگاه گازیفیکاسیونی که در مقیاس صنعتی به طور موفقیت‌آمیزی از MSW به عنوان ماده‌ی خام استفاده کند وجود ندارد اما آنچه مشخص است این است که هزینه‌ی توامان خشک‌کردن بیولوژیک MSW و گازیفیکاسیون RDF (اجزای قابل احتراق جدانشده از MSW) به‌طور قابل توجهی بیشتر از سوزاندن (احتراق) کلی زباله است. هزینه‌ی خشک کردن بیولوژیک به همراه احتراق یا گازیفیکاسیون را برای اروپا ۵۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰ یورو برای هر تن تخمین زده است. (Economopoulos, 2010).

در انگلیس از ۳۵/۱ میلیون تن زباله‌ی بوجود آمده در سال ۲۰۰۵-۲۰۰۶ تنها از ۸٪ آن آنهم به صورت احتراق انرژی گرفته شد. البته لازم به ذکر است که انگلیس بعد از یونان و برگال، در بین کشورهای اروپایی مقام سوم را در لندفیل زباله‌ها دارد. در انگلستان هیچ واحد تجاری گازیفیکاسیون MSW وجود ندارد اما دولت سعی دارد به تمهد خود مبنی بر کاهش گازهای گلخانه‌ای ناشی از لندفیل‌ها و تولید انرژی از ضایعات عمل نماید. در این بین، گازیفیکاسیون یکی از بخش‌های مهم سیاست‌های ملی و منطقه‌ای مرتبط با مدیریت زباله‌های شهری خواهد بود چرا که انرژی پاکتری را نسبت به دفن و احتراق ارائه می‌دهد (Yassin, Lettieri et al. 2009).

^۵ Renewable Obligation

است (DTI, 2007). همچنین در سال ۲۰۰۶ قراردادهایی برای ساخت نیروگاه گازیفیکاسیون زباله در شهر داگنهام و جزیره‌ی کوچک^۶ واکیت امضا شد (Yassin, Lettieri et al. 2009).

برخلاف کشورهای اروپایی، ژاپن نیروگاه‌های گازیفیکاسیون زیادی در مقیاس تجاری دارد. برای نمونه می‌توان به نیروگاه چیبا با ظرفیت ۱۰۴۰۰۰ تن در سال و نیروگاه ایلارا با ظرفیت ۱۶۸۰۰۰ تن در سال اشاره نمود. تا بلند نیز نیروگاه چونگ گون با ظرفیت ۱۱۰۰۰ تن در سال را دارد (Jenkins, 2007).

۱-۴-دیتا بیس پروژه‌های گازیفیکاسیون در جهان

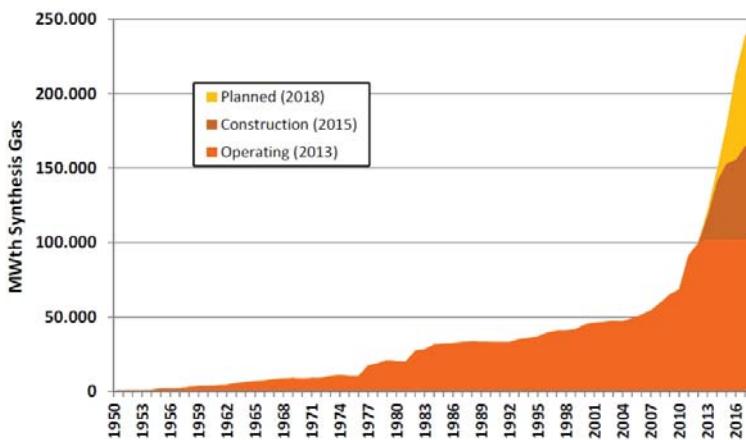
پایگاه داده‌های مربوط به پروژه‌های گازیفیکاسیون در سال ۲۰۱۰ منتشر شده است. در حال حاضر بالغ بر ۷۰۰ پروژه می‌باشد که بیش از نیمی از آنها شروع شان از ۵ سال گذشته است. در اینجا از اطلاعات به روز شده سال ۲۰۱۳ استفاده شده است.

جدول ۱ – دیتابیس پروژه‌های گازیفیکاسیون در جهان

سال به رسانی	تعداد کل گازیفیرها	تعداد کل روز	سال به رسانی	پروژه‌های گازیفیرها	پروژه‌های گازیفیرهای برنامه ریزی شده	ظرفیت GWth	ظرفیت گازیفیرهای برنامه ریزی شده	پروژه‌های گازیفیرهای ریزی شده	ظرفیت	برنامه ریزی شده
۱۹۹۹	۳۴۹	۷۵۴	۲۰۱۰	۳۶۶/۱۲۸	۴۸/۳۳	۴۲.۷	۱۸.۲	۴۲.۷	برنامه ریزی	فعال
۲۰۰۱	۳۵۰	۸۰۰	۲۰۰۴	۴۰۹/۱۳۱	۵۹/۳۲	۴۳.۳	۲۴.۵	۴۳.۳	برنامه ریزی	فعال
۲۰۰۷	۴۰۸	۸۹۱	۲۰۱۰	۳۸۵/۱۱۷	۶۶/۳۸	۴۳.۰	۲۵.۳	۴۳.۰	برنامه ریزی	فعال
۲۰۱۰	۴۶۳	۹۹۰	۲۰۱۳	۴۲۷/۱۴۴	۳۴/۱۰	۵۶.۲	۳۶.۵	۵۶.۲	برنامه ریزی	فعال
۲۰۱۳	۷۴۷	۱۷۴۱		۵۰۵/۱۹۲	۷۶/۳۷	۷۰.۸	۴۰.۴	۷۰.۸	برنامه ریزی	فعال

^۶ Dagenham and Isle of Wight

همچنین شکل شماره ۴ نمودار رشد ظرفیت گاز سنتز و به طبع آن گازیفیکاسیون در جهان را نشان میدهد و پیش بینی می شود ظرفیت ان برای سال ۲۰۱۶ به بالای ۲۵۰.۰۰۰ MWth برسد.



شکل ۴ – ظرفیت تولید گاز سنتز از پروژه های گازیفیکاسیون در جهان

اگرچه کاربرد فناوری گازیفیکاسیون (زباله شهری و زیستتوده) در سطح جهان رو به افزایش است اما این تکنولوژی برای ایران تقریباً ناشناخته است. تنها اقدامات صورت گرفته را که می توان به آنها اشاره نمود تولید بیوگاز است. سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران در راستای دفع مناسب پسماندهای جامد شهری و استحصال انرژی های از آن ها نسبت به خرید و نصب یک واحد هاضم با ظرفیت ۲۰۰ تن در روز اقدام نموده است که در سال ۹۱ به بهره برداری رسیده و توانایی تولید ۲ مگاوات ساعت انرژی الکتریسیته را دارا می باشد. (سازمان مپ تهران).

در مشهد در سال ۹۱ حدود ۶۴۰ هزار تن زباله تولید شده که به ازای هر نفر ۵۵۲ گرم زباله در روز تولید شده است. میزان زباله تولید شده توسط زائرین بیش از میزان زباله تولید شده توسط ساکنین شهر است (زائرین ۳۵٪ بیش از شهروندان). در سال های آینده در صورت عدم تغییر فرهنگ تولید زباله پیش بینی می شود تا سال ۹۲ میزان زباله تولیدی کل شهر به بیش از ۷۰۰ هزار تن برسد که تولید زباله بیشتر در سال ۹۲، تنها به دلیل افزایش جمعیت نیست بلکه علاوه بر رشد جمعیت، سرانه تولید زباله به بیش از ۷۰۰ گرم در روز افزایش خواهد یافت (بررسی اطلاعات جمعیت شهر مشهد براساس سرشماری سال ۱۳۹۰).

۵- چالش های پیش رو در ایران :

۱- موانع فرهنگی و اجتماعی:

از آنجا که در سیستم گازیفیکاسیون از بخش آلی زباله شهری استفاده میشود تفکیک زباله نقش بسیار مهمی را در این مسیر ایفا می کند. تفکیک زباله پس از جمع اوری عملاً ممکن نیست و فقط از مبدأ باید صورت بگیرد. امروزه در بسیاری از کشورهای

جهان به امر تفکیک زباله از مبدأ بسیار توجه شده است و خانواده ها و کارخانجات صنعتی زباله هایشان را قبل از تحویل کاملاً تفکیک می کنند.

در سالهای گذشته در ایران نیز به این مهم پرداخته شده است مانند جمع اوری کاغذ و پلاستیک به صورت جدا از زباله های مرطوب و یا گذاشتن مکان های ویژه در سطح شهرها برای جمع آوری زباله های کاغذی، پلاستیکی و شیشه ای اما همچنان با استاندارهای جهانی فاصله داریم و زباله های قابل بازیافت زیادی همراه زباله های مرطوب در لندفیل ها دفن می شوند.

۵-۲ موانع فنی و مهندسی:

شرکت های بزرگی در دنیا پروژه هایی در کشورهای مختلف در دست ساخت دارند و به اتمام نیز رسانیده اند. در جدول شماره ۲ لیستی از ۲۰ پروژه بزرگ تجاری را به همراه نام شرکت، محل احداث ، تکنولوژی به کار رفته در گازیفیکاسیون و ... آمده است کنفرانس تکنولوژی گازیفیکاسیون - اکتبر ۲۰۱۳. باین حال، در ایران - بدليل ارزان بودن سوخت های فسیلی و عدم جذابیت اقتصادی- فعالیتی در این زمینه گازیفیکاسیون صورت نگرفته است و بنابراین روشن است که از لحاظ فنی و صنعتی مشکلاتی در راه اندازی این واحدها وجود خواهد داشت. راه قابل توصیه در این باره انتقال تکنولوژی خواهد بود.

جدول ۲ - لیست پروژه های بزرگ گازیفیکاسیون در جهان

کارخانه گازیفیکاسیون / مالک	کشور	مجری پروژه	تعداد گازیفیرها	خروچی MWth SG	سال شروع
Pearl GTL	قطر	Shell	۱۸	۱۰۹۳۶	۲۰۱۱
Sasol Synfuels West	آفریقای جنوبی	Lurgi FBDB	۴۰	۷۰۴۸	۱۹۷۷
Sasol Synfuels East	آفریقای جنوبی	Lurgi FBDB	۴۰	۷۰۴۸	۱۹۸۲
Inner Mongolia Chemical Plant	چین	Shell	۳	۳۳۷۳	۲۰۱۱
Shenhua Ningxia Coal to Polypropylene I	چین	Siemens	۵	۱۹۱۲	۲۰۱۱
Great Plains Synfuels Plant	امریکا	Lurgi FBDB	۱۴	۱۹۰۰	۱۹۸۴

۲۰۱۱	۱۷۵۰	۷	GE	چین	Shenhua Baotou Coal-to-Olefins Plant
۲۰۱۲	۱۶۷۰	۱۴	SE DIN	چین	Hexigten SNG Plant
۲۰۰۰	۱۲۷۱	۳	GE	ایتالیا	SARLUX IGCC Project
۱۹۹۹	۱۲۰۳	۲	GE	ایتالیا	ISAB Energy IGCC Project
۲۰۱۱	۱۱۶۷	۶	GE	چین	Sanwei Neimenggu Methanol Plant
۲۰۱۲	۱۱۵۰	۲	GE	امريكا	Edwardsport IGCC
۲۰۱۰	۱۱۲۴	۲	Shell	چین	Tianjin Chemical Plant
۲۰۱۲	۱۱۲۰	۴	HT-L	چین	Henan Jinkai
۲۰۱۱	۱۱۲۰	۵	BGL	چین	Yunnan Methanol & DME Plant
۱۹۹۳	۱۰۳۲	۶	Shell	مالزى	Bintulu GTL Plant
۲۰۰۸	۱۰۲۵	۴	Shell	کانادا	Long Lake Integrated Upgrading Project
۱۹۸۵	۹۸۴	۶	Shell	آلمان	Leuna Methanol Plant
۲۰۰۸	۸۶۱	۲	Shell	چین	Shenhua Erdos DCL Hydrogen Plant
۲۰۰۹	۸۵۸	۳	Shell	چین	Fujian Refinery Ethylene Project

۵-۳ عدم آگاهی :

همانطور که گفته شد گازیفیکاسیون یک تکنولوژی جدید و روبه رشد در جهان است و بسیاری از مسوولین ذیربطر در این زمینه آگاهی کاملی ندارند و اگر ارزش سرمایه گزاری در چنین طرح هایی برای آنها روشن شود دیگر زیر بار هزینه های سنگین زیست محیطی لندهیل زباله نخواهد رفت. در همه شهر ها فضای کافی برای لندهیل کردن زباله ها وجود ندارد از جمله شهرهای شمال

کشور که بیشتر جنبه سیاحتی دارند و تولید زباله توسط مسافران بسیار بیشتر نسبت به جمعیت خود آن مناطق است لذا به نظر می رسد اگر از مزایای بسیار زیاد این سیستم پیشرفتی تبدیل زباله به انرژی آگاهی داشته باشد حتماً از شرکت های بزرگ برای سرمایه گذاری و ساخت پروژه هایی از این دست دعوت به عمل می آوردد.

۵-۴ سرمایه گذاری مالی و موانع آن:

تکنولوژی های جدید همواره با سرمایه های زیادی اجرایی می شوند ولی نکته مثبت آنها این است که با فراغیر شدن آنها، صنعتی شدن و سود آوری که به همراه دارند از سرمایه گزاری اولیه آنها به مرور زمان کاسته می شود. جدول ۳ میزان سرمایه گذاری مالی ۴ شرکت بزرگ ارائه دهنده خدمات نیروگاهی گازفیکاسیون زباله شهری را آورده است.

جدول ۳ – تخمین هزینه سرمایه گزاری راه اندازی گازفیکاسیون

برآورد هزینه (دلار / تن)	عملیاتی (دلار / تن)	تخمین هزینه طراحی ظرفیت به ازای تن در روز (TPD)	مجموع سرمایه شرکت ارائه دهنده (میلیون دلار)
۴۰ دلار برای آماده سازی مواد خام و تحويل به تصفیه خانه زیستی	-	۳۰۰ تن زباله خشک جدا سازی شده (RDF) از کل زباله ها	\$ ۸۰ Enerkem ^۷
\$ ۸۱ حدود	\$ ۴۲	۷۵۰	\$ ۱۵۶ AlterNRG ^۸
\$ ۷۵	\$ ۵۳	۳۹۰	\$ ۱۵۰ Plasco ^۹
\$ ۸۶	\$ ۶۳	۴۰۰	\$ ۱۱۳ Europlasma

علاوه بر موارد فوق، در شرایطی که قوانین سخت زیست محیطی وجود ندارد، ارزان بودن زمین برای دفن زباله و همچنین هزینه سرمایه گذاری کمتر آن به نسبت هر فناوری دیگری، از موانع دیگر بر سر راه بکارگیری تکنولوژی گازفیکاسیون برای زباله های شهری در ایران است.

^۷ Based on 10/4/11 report of Essex-Windsor Solid Waste Authority concerning City of Edmonton project. Cost noted is subject to CPI adjustments and is exclusive of the capital/O&M processing costs to receive MSW and produce 2-inch feedstock for Enerkem Biorefinery.

^۸ C. Ducharme, Technical and economic analysis of Plasma-assisted Waste-to-Energy processes. Earth Engineering Center, Columbia University. September 2010.

^۹ Plasco Energy Group Press Release 12/17/12. Cost noted is subject to CPI adjustments
^{۱۰} Refer to ^۸

۶- تخمین هزینه سرمایه گزاری برای گازیفیکاسیون زباله های شهر مشهد

بر اساس گزارش دریافت شده از اداره دفن زباله سازمان مدیریت پسماند مشهد در سال ۹۲ روزانه بالغ بر ۱۷۰۰ تن زباله در مشهد جمع آوری می شود که از ۲ منطقه برای لندفیل و بازیافت آنها استفاده می شود. لندفیل میامی با مساحت ۴۹۹ هکتار و لندفیل منطقه طرق با مساحت ۶۰ هکتار مناطقی هستند که زباله های شهری به آنجا سرازیر می شوند.

از این مقدار ۶۵.۷٪ زباله ها را مواد آلی تشکیل می دهد که در روز ۱۱۶.۹ تن می شود و ۵۰۰ تن از این مقدار به صورت کمپوست در می آید. باقی مانده این مقدار یعنی ۶۱۶.۹ تن در روز (TPD) عدد مبنای ما برای محاسبه هزینه سرمایه گزاری قرار داده می شود.

با توجه به جدول شماره ۳ نزدیک ترین عدد برای طراحی ظرفیت به ازای تن در روز (TPD) عدد ۷۵۰ شرکت AlterNRG می باشد. پس مقدار هزینه سرمایه گزاری حدود ۱۵۶ میلیون دلار می شود که با اختساب هر دلار ۳۰۰۰ تومان این رقم حدود ۴۶۸ میلیارد تومان می شود. در جدول شماره ۴ سایر هزینه ها براورد شده است.

جدول ۴ - هزینه های سرمایه گزاری گازیفیکاسیون برای شهر مشهد (بر اساس امار سال ۱۳۹۲)

مجموع سرمایه	تخمین زده شده	شرکت ارائه دهنده	طراحی ظرفیت به ازای تن در روز (میلیون تومان به ازای میلیون تومان به ازای ۷۵۰ تن)	برآورد هزینه براورد هزینه
۴۶۸	۷۵۰	AlterNRG	(میلیارد تومان)	۱۸۲.۲۵

با توجه به افزایش تولید زباله های شهری در سال های آینده و بالطبع هزینه سنگین و کمبود محل مناسب برای لندفیل زباله ها اگرچه گازیفیکاسیون سرمایه گزاری سنگینی را طلب می کند ولی قطعاً با توجه به تولیداتی که از این روش به دست می اید ارزش آن را خواهد داشت.

۷- نتیجه گیری

جمع بندی مطالب ذکر شده در بالا بر برتری گازیفیکاسیون نسبت به سایر روش های تیمار زباله های شهری تأکید می کند. نیز مشخص شد که در بسیاری از کشورها این تکنولوژی به مقدار زیادی رشد یافته و در برخی دیگر بسیار غریب و نا آشنا است.

افزایش جمعیت، ارتقاء سطح زندگی، گسترش شهرها، نیاز به افزایش تولید محصولات کشاورزی از طریق افزایش سطح زیر کشت و نهایتاً افزایش رسمی فشار برای کاهش آلودگی محیط زیست روند غالب فعلی تیمار زباله های شهری در کشور را مستاسل خواهد نمود و مدیران ذیریط را با مشکلات جدی مواجه خواهد ساخت. به عبارت ساده تر، دفن ساده هی زباله در لندفیل دیگر روشنی

علمی و مهندسی برای تیمار زباله به شمار نمی آید. اگرچه فعالیت‌های مشترکی در جهت مدرنیزه کردن برخی لندهای و یا موادی همچون جمع‌آوری متان آنها اخیراً مورد توجه قرار گرفته است اما این روش‌ها هم در دراز مدت پایدار نخواهند بود. عدم کاهش سطح مورد نیاز لندهای و برطرف نکردن نگرانی‌های زیست‌محیطی این سیستم‌ها مسئولین را ناگزیر به گرایش به سمت سامانه‌های نوین خواهد کرد.

شرایط ایران از دیدگاه خوش‌بینانه نیز قابل بحث است. بررسی تجربیات کشورهای مختلف که تکنولوژی‌های متفاوتی را تولید، آزمون و بکار برده‌اند، ایران را از پیمودن مجدد مسیر آنها و صرف هزینه‌های هنگفت بی‌نیاز می‌کند. اکنون که برتری گازیفیکاسیون بر سایر روش‌های تیمار زباله‌های شهری روشن شده است و سرمایه‌گذاری‌های بسیاری برای پژوهش و مطالعه در این بخش و بهویژه سامانه‌ی نوین‌تر گازیفیکاسیون پلاسما در کشورهای مختلف صورت می‌گیرد، شایسته است که تصمیم‌گیران در ایران فراهم نمایند.

فهرست منابع:

- | ۱. | سال | بررسی | اطلاعات | جمعیت | شهر | مشهد | براساس | سرشماری |
|-----|---|-------|---------|-------|-----|------|--------|---------|
| | | | | | | | | |
| ۱. | http://amar.mashhad.ir/services/portal_content, ۱۳۹۰ | | | | | | | |
| ۲. | سازمان مدیریت پسماند شهر تهران، ۱۹۹ | | | | | | | |
| ۳. | اداره دفن سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد، http://wmo.mashhad.ir/services/portal_content/ | | | | | | | |
| ۴. | Abu Qdais, H., K. Bani Hani. (2010). "Modeling and optimization of biogas production from a waste digester using artificial neural network and genetic algorithm." <i>Resources, Conservation and Recycling</i> 54 (6): 359-363. | | | | | | | |
| ۵. | Castaldi, M. J. and N. J. Themelis (2010). "The Case for Increasing the Global Capacity for Waste to Energy (WTE)." <i>Waste and Biomass Valorization</i> : 1-15. | | | | | | | |
| ۶. | Caton, P. A., M. A. Carr, et al. "Energy recovery from waste food by combustion or gasification with the potential for regenerative dehydration: A case study." <i>Energy Conversion and Management In Press, Corrected Proof</i> . | | | | | | | |
| ۷. | Chang, Y.-H., W. C. Chen. (1998). "Comparative evaluation of RDF and MSW incineration." <i>Journal of Hazardous Materials</i> 58 (1-3): 33-45. | | | | | | | |
| ۸. | Chimenos, J. M., M. Segarra. (1999). "Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator." <i>Journal of Hazardous Materials</i> 64 (3): 211-222. | | | | | | | |
| ۹. | Choy, K. K. H., J. F. Porter. (2004). "Process design and feasibility study for small scale MSW gasification." <i>Chemical Engineering Journal</i> 105 (1-2): 31-41. | | | | | | | |
| ۱۰. | Cotman, M. and A. Z. Gotvajn "Comparison of different physico-chemical methods for the removal of toxicants from landfill leachate." <i>Journal of Hazardous Materials In Press, Corrected Proof</i> . | | | | | | | |
| ۱۱. | Donovan, S. M., T. Bateson. "Modelling the behaviour of mechanical biological treatment outputs in landfills using the GasSim model." <i>Science of The Total Environment In Press, Corrected Proof</i> . | | | | | | | |
| ۱۲. | Durmusoglu, E., F. Taspinar. (2010). "Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment." <i>Journal of Hazardous Materials</i> 176 (1-3): 870-877. | | | | | | | |
| ۱۳. | Economopoulos, A. P. (2010). "Technoeconomic aspects of alternative municipal solid wastes treatment methods." <i>Waste Management</i> 30 (4): 707-715. | | | | | | | |
| ۱۴. | He, M., Z. Hu (2009). "Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of municipal solid waste (MSW): Influence of catalyst and temperature on yield and product composition." <i>International Journal of Hydrogen Energy</i> 34 (1): 195-203. | | | | | | | |
| ۱۵. | Malkow, T. (2004). "Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal." <i>Waste Management</i> 24 (1): 53-79. | | | | | | | |
| ۱۶. | Park, J.-W. and H.-C. Shin (2001). "Surface emission of landfill gas from solid waste landfill." <i>Atmospheric Environment</i> 35 (20): 3445-3451. | | | | | | | |

17. Perkoulidis, G., A. Papageorgiou. "Integrated assessment of a new Waste-to-Energy facility in Central Greece in the context of regional perspectives." Waste Management In Press, Corrected Proof.
18. Scaglia, B., R. Confalonieri. (2010). "Estimating biogas production of biologically treated municipal solid waste." Bioresource Technology **101**(3): 945-952.
19. Shi, D.-Z., W.-X. Wu. (2008). "Effect of MSW source-classified collection on the emission of PCDDs/Fs and heavy metals from incineration in China." Journal of Hazardous Materials **153**(1-2): 685-694.
20. Thamavithya, M. and A. Dutta (2008). "An investigation of MSW gasification in a spout-fluid bed reactor." Fuel Processing Technology **89**(10): 949-957.
21. Xiao, G., M.-j. Ni. (2009). "Gasification characteristics of MSW and an ANN prediction model." Waste Management **29**(1): 240-244.
22. Yassin, L., P. Lettieri. (2009). "Techno-economic performance of energy-from-waste fluidized bed combustion and gasification processes in the UK context" Chemical Engineering Journal **146**(3): 315-327.
23. AES (Advanced Energy Strategies, Inc.), 2004. Investigation into Municipal Solid Waste Gasification for power Generation, Available online at:
www.michiganrecycles.org/.../PolicyCommittee_AlamedaSolidWasteReport2004.pdf
24. Brink, D.L., 1981. *Gasification*. In: Organic Chemicals from Biomass. Ed. Irving S. Goldstein. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
25. [Christensen et al., 1996](#) T.H. Christensen, P. Kjeldsen and B. Lindhardt, Gas-generating processes in landfills. In: T.H. Christensen, R. Cossu and R. Stegmann, Editors, *Landfilling of waste: Biogas*, E & FN Spon, London (1996).
26. Chris Higman and Higman Consulting GmbH.(2013), State of the Gasification Industry the Updated Worldwide Gasification Database , October 16, 2013.
27. C. Ducharme, Technical and economic analysis of Plasma-assisted Waste-to-Energy processes. Earth Engineering Center, Columbia University. September 2010.
28. DTI, Reform of the Renewables Obligation, DTI, London, 2007. Available online at:
<http://www.berr.gov.uk/consultations/page39586.html>
29. Jankins, S., 2007. MSW Conversion Technologies for the City and County of Los Angeles, available online at: www.awma.org/files_original/2-Jenkins.pdf
30. Gershman and Brickner and Bratton, Inc.(2013) Gasification of Non-Recycled Plastics From Municipal Solid Waste In the United States, Updated September 2013.

31. [Palmisano and Barlaz, 1996](#) A.C. Palmisano and M.A. Barlaz, Microbiology of solid waste, CRC Press, Boca Raton, Florida (1996)
32. Quaak, P., Knoef, H., Stassen, H., 1999. Energy from biomass. World Bank technical paper no. 422. Energy series,1999.
33. Ralph Sims, Ali Sayigh, *Bioenergy Options for a Cleaner Environment*, Publisher: Elsevier Science & Technology Books, 2004.
34. Ralph Sims, Ali Sayigh, *Bioenergy Options for a Cleaner Environment*, Publisher: Elsevier Science & Technology Books, 2004.
35. [SAFI](#), 1995. Impianto di gassificazione di Testi. Servizi Ambientali Area Fiorentina, Internal Report. SAFI.
36. Slesser, M., and Lewis, C, 1979. *Biological energy resources*. E & F N Spon, London,1979.
37. V. Belgiorno and G. De Feo and C. Della Rocca and R.M.A. Napoli (2002), Energy from gasification of solid wastes , 11 September 2002.
38. Waste Management World, Review issue 2009-2010, International Solid Waste Association, Auerspergstrasse 15, Top 41 ,1080 Vienna, Austria.
39. Williams, 2005 P.T. Williams, Waste treatment and disposal (2nd edition), John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England (2005)

Thermal gasification of municipal solid wastes; fundamentals, experiences from pioneer countries, and challenges of Iran

Milad Rahimi¹, Mohammad Ali Ebrahimi Nik²

1- Bsc student , Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

2- Assistant Professor , Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Environmental worries are now being articulated more than ever before because of the adverse influence of the traditional waste disposal methods such as landfill, composting, and open and closed incineration technologies. These waste disposal methods could be often harmful due to secondary pollution problems. Landfills and composting are linked with the emission of greenhouse gases (e.g. methane) and ground water pollution by leachates. Normally, incineration release hazardous gases (Dioxin, NO_x, and SO_x). Gasification on the other hand, is being considered to be more environmentally friendly technique. It is partial oxidation of the waste in presence of oxygen amount of lower than that required for the stoichiometric combustion. Essentially, part of the biomass is combusted to supply the heat needed to gasify the rest. The paper proposes an assessment of municipal solid waste gasification, starting from basic aspects of the process (process types and steps) following by review of the pioneer countries arriving to discussion about the challenges of Iran on the way to apply this technology. Finally, a rough estimation on the capital cost of a gasification plant for waste treatment of Mashhad has been made.

Key words: Municipal solid waste, gasification , pollution, environmental concerns