

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

میلاذ رحیمی^۱ - محمد علی ابراهیمی نیک^۲

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

m.rahimi1990@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 تأثیرات 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 می‌شوند و آلودگی آبهای زیرزمینی را در پی دارند. معمولاً سوزاندن باعث انتشار گازهای خطرناکی مانند دی‌اکسید نیتروژن، SO_x و NO_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 سرمایه‌گذاری یک نیروگاه گازیفیکاسیون زباله‌های شهری در مشهد انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: زباله‌های جامد شهری، گازیفیکاسیون حرارتی، آلاینده‌ها، 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 Gotvajin ; Economopoulos, 2010). از آنجایی که بسیاری از لندفیل‌ها از مهندسی مناسبی برخوردار نیستند، باعث بروز آلودگی‌های زیست محیطی 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, Bateson 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 WTE (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 بی‌هوازی 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 (Williams, 2005). (Palmissano and Barlaz, 1996), (Christensen et al., 1996) اما توضیح آن خارج از حوصله‌ی این مقاله می‌باشد. سیستم بیوگاز در واقع نوع بسیار ابتدایی استحصال انرژی از زباله بوده و در واقع در بسیاری از موارد صرفاً به جهت ایمنی و مسائل زیست‌محیطی اجرا می‌گردد و قالباً شامل جمع‌آوری و کنترل متانی است که در لندفیل به صورت 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، به دلیل کیفیت پایین گاز تولیدشده در لندفیل‌ها، این استراتژی 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 به دلیل 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. 2008; Shi, Wu et al. 1999; Segarra et al. 1998; Chimenos, Segarra et al. 1999). با این وجود، احتراق زباله گاهی به‌عنوان منبع آلودگی

¹ Incineration



ثانوی مطرح می‌شود. تولید گازهای اسیدی، فلزات سنگین از جمله‌ی این آلودگی‌ها می‌باشد. اگرچه سامانه‌های زیادی برای کنترل آلاینده‌ی در این فناوری توسعه داده شده است اما نگرانی‌ها 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 (زیست‌توده یا سوخت فسیلی جامد) با واکنش‌های گرمایی در کنار میزان محدودی عامل اکسنده تجزیه می‌شوند. با پایان یافتن فرآیند، گازی شامل هیدروژن، دی‌اکسیدکربن، متان، منواکسیدکربن، بخار آب و مقدار کمی دیگر هیدروکربن‌های سنگین‌تر در کنار بقایای مواد غیرآلی تولید می‌شود (اسلر و لويس، ۱۹۷۸؛ برینک^۲، ۱۹۸۱) (بخش ۳-۵-۲). عامل اکسنده معمولاً اکسیژن، آب (بخار)، دی‌اکسیدکربن یا مخلوطی از اینها می‌باشد و فرآیند به‌منظور بیشینه کردن آزادسازی هیدروژن و منواکسیدکربن صورت می‌گیرد. بسته به جزئیات فرآیند و ترکیب مواد خام ورودی ارزش گرمایی گاز تولیدی بین ۵ تا ۱۴ مگاژول بر مترمکعب متغیر است.

۲-۱ تئوری تحقیق

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

در ابتدا اصول فرآیند و مقایسه انواع روش‌های گازیفیکاسیون آورده شده است و سپس به تجربه‌های شرکت‌های بزرگ در دنیا و تخمین هزینه‌های سرمایه‌گذاری پرداخته شده است.

سپس با توجه به شرایط موجود در کشور به بحث در مورد چالش‌های پیش روی بکارگیری این تکنولوژی در کلان‌شهرها که بار بسیار سنگینی را چه از لحاظ مادی برای لندفیل کردن و چه از جهت دیگر مانند نبود مکان و تخریب محیط زیست پرداخته شده است.

۲- مزایای گازیفیکاسیون بر سایر روش‌های تیمار زباله‌های شهری

بسیاری گازیفیکاسیون را با احتراق یکی می‌دانند درحالی‌که در گازیفیکاسیون آب به هیدروژن و اکسیژن شکسته می‌شود ولی در احتراق، هیدروژن و اکسیژن برای تولید آب با هم ترکیب می‌شوند. نکته‌ی مهمتر اینکه احتراق مواد با ترکیبات پیچیده و خطرناکی تولید می‌کند درحالی‌که گازیفیکاسیون مولکول‌های پیچیده را به گازهای ساده تبدیل می‌کند. گازیفیکاسیون حرارتی در شکستن مواد آلی خطرناک مانند دی‌اکسیدکربن‌ها و فروئن‌ها بسیار موثر عمل می‌کند.

² Brink



امروزه گرایش به سمت سامانه‌های با بازدهی بالای انرژی و دوستدار محیط زیست گازیفیکاسیون رو به افزایش است. اثبات شده است که گازیفیکاسیون زباله‌های جامد شهری، فرسایش و آلودگی ناشی از باقی‌ماندن فلزات سنگین و قلیا (به‌جز جیوه و کادمیوم)، سولفور و کلرین در انتهای فرآیند را کاهش و یا حذف می‌کند، به‌مقدار زیادی از تشکیل PCDD/F جلوگیری کرده و تولید NO_x را کاهش می‌دهد. بنابراین، گازیفیکاسیون زباله‌های جامد شهری می‌تواند 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; Xiao, Ni et al. 2009). از این تکنولوژی همچنین می‌توان برای تولید هیدروژن از زباله استفاده نمود (He, Hu et al. 2009).

۱-۲: معایب گازیفیکاسیون:

اگرچه گازیفیکاسیون زباله شهری مزایای زیادی را به‌دنبال دارد اما همواره چالش‌هایی پیش روی آن بوده است. طبق گزارش‌های موجود پتانسیل‌های منفی گازیفیکاسیون به شرح زیر است:

الودگی هوا: نصب تجهیزات کنترل الودگی هوا و سیستم‌های بازیابی انرژی اثرات منفی آن را کاهش می‌دهد. اگرچه این سیستم در مقایسه با احتراق تولید گاز نامناسب بسیار کمتری دارد که با سیستم‌های کنترلی از انتشار آنها جلوگیری خواهد شد. (Giugliano, 2000; Tchobanoglous et al., 1993)

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

تجهیزات و دیگ بخار ممکن است تولید ۲-۹، ۵-۱۰ و ۳-۶٪ از مواد خام را شامل شود. (SAFI 1995)

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

۳- اصول گازیفیکاسیون زباله‌های 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 می‌تواند به‌عنوان ماده‌ی خام شیمیایی و یا به‌عنوان سوخت برای تولید انرژی به‌کار گرفته شود (AES Inc., 2004)

فناوری گازی‌سازی امری نو به‌حساب نمی‌آید و بیشتر سامانه‌های گازی‌سازی نخستین بار برای تولید گاز از سوخت‌های فسیلی همچون زغال‌سنگ طراحی شده بودند. در حقیقت بین سال‌های ۱۸۵۰ و ۱۹۵۰ عمده‌ی گاز تولیدی از محل گازی‌سازی

³ scrubber

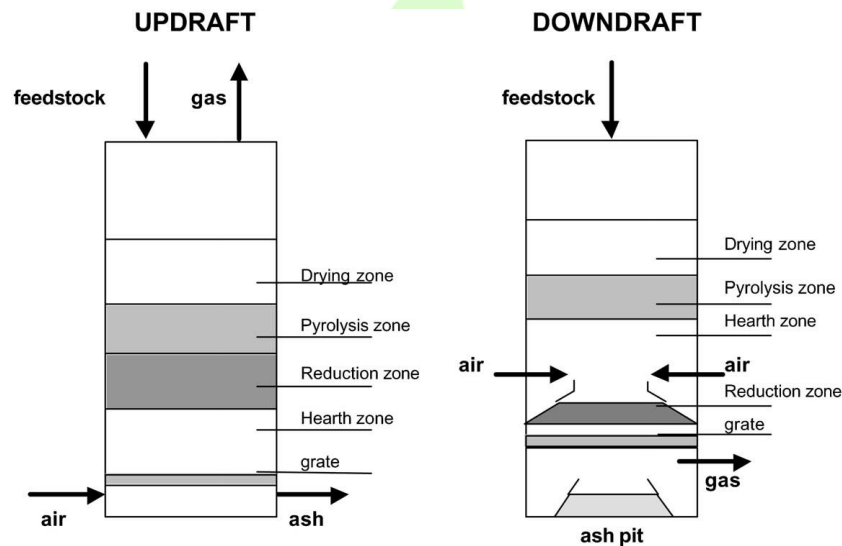


زغال سنگ بود. طرح‌های گوناگونی از سامانه‌های گازی‌سازی وجود دارد (Sims and Sayigh, 2004). گازیفیکاسیون زغال سنگ، زیست توده و زباله‌های شهری تقریباً از اصول یکسانی پیروی می‌کنند.

سه فناوری عمده‌ی گازیفیکاسیون وجود دارد؛ پیرولیز، گازیفیکاسیون سنتی و گازیفیکاسیون پلاسما (AES Inc., 2004)

گازیفیکاسیون سنتی به سه روش بالاسو (up-draft)، پایین‌سو (یا کشش پایین) (down-draft)، کشش جانبی (cross-draft) انجام می‌شود.

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



شکل ۱ - نمایش سیستم بالاسو و پایین‌سو

در سیستم بالاسو (کشش بالا)، هوا از پایین محفظه وارد و به سمت بالا حرکت می‌کند. گازها به سمت بالا حرکت می‌کنند و از بالای محفظه تخلیه می‌شوند.

این حرکت رو به بالای هوا و گاز بهره‌وری را بهبود می‌بخشد به عنوان افزایش گازهای داغ کمک به کنترل درجه حرارت، کمک در خشک کردن مواد اولیه، و بهبود اختلاط گازها در محفظه احتراق می‌کند.

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

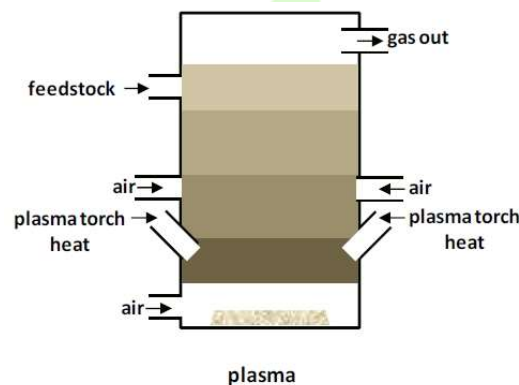
در گازیفایر کشش جانبی (cross draft)، ورودی هوا و خروجی گاز در دو طرف مقابل در وسط اتاق قرار دارند. این نوع گازیفایرها کمتر شایع هستند که در آنها گاز سنتز با دما بالا در سرعت بالا تولید می‌شود که کاهش CO_2 در آن بیشتر است



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 پلاسما:

از این روش در صنایعی که نیاز به دفع زباله های خطرناک در دمای بالا هستند استفاده می شود. مشعل پلاسما در گسیفر دمایی بالای ۱۰۰۰۰ درجه فارنهایت ایجاد میکند. شکل شماره ۲ سیستم گازیفایر به روش پلاسما را نمایش می دهد.



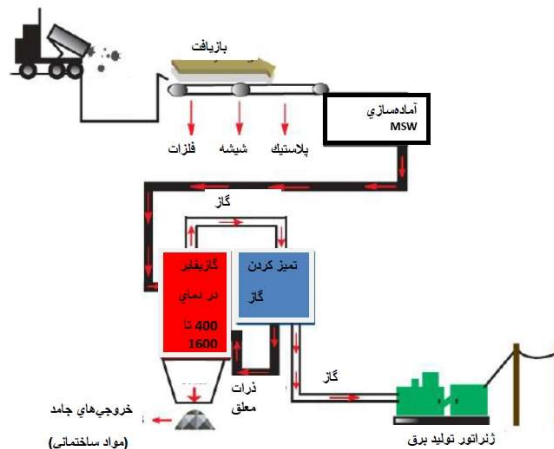
شکل ۲ - گازیفایر به روش پلاسما

۱-۳ اجزای سیستم های گازیفیکاسیون زباله های شهری

تولید برق از زباله های جامد شهری از طریق گازیفیکاسیون حرارتی شامل سه مرحله کلی است:

- ۱- حمل و نقل و فرآوری (پروسسینگ): زباله ها توسط کامیون از سطح شهر جمع آوری شده، به محل تاسیسات منتقل می شود. سپس در طی فرآیند فرآوری مواد قابل استفاده ی گازیفایر جدا می شوند.
- ۲- تبدیل: زباله ی فرآوری شده در حرارت بالا و در حضور محدود و کنترل شده ی اکسیژن به صورت شیمیایی به گاز سنتز تبدیل می شود.
- ۳- تولید برق: گاز سنتز به جای گاز طبیعی برای تولید برق به کار برده می شود.

طرح کلی سامانه های گازیفیکاسیون زباله های جامد شهری و تولید برق در شکل شماره ۳ آمده است.



شکل ۳: طرح کلی سامانه‌های گازیفیکاسیون زباله‌های جامد شهری و تولید برق (منبع: Advanced Energy Strategies, Inc., 2004)

برخلاف لندفیل‌های سنتی، تمامی عملیات در فضای پوشیده انجام می‌شود. این امر به مقدار زیادی بوی بد و کثیفی ایستگاه‌های انتقال را کاهش می‌دهد.

نوع فرآوری بستگی به نیاز گازیفایر و نوع طراحی آن دارد. درجه‌بندی (سورتینگ)، بازیافت، خردکردن و خشک کردن از جمله عملیات فرآوری در این بخش هستند. در درجه‌بندی، موادی از زباله‌ها که قابل گازیفیکاسیون نیستند مانند فلزات و شیشه‌ها برای بازیافت جدا می‌شوند. در اینجا نیز سودمندی تفکیک از مبدأ نمایان می‌شود. کاغذهای کوچک و آلوده به جوهر که دارای ارزش اقتصادی برای بازیافت نیستند و بسیاری از انواع پلاستیک که قابل بازیافت نیستند ماده‌ی خوبی برای گازیفیکاسیون به‌شمار می‌روند درغیراین‌صورت این‌گونه مواد باید در لندفیل‌ها دفن گردند.

بسته به نیاز گازیفایر، باید زباله‌ها را خرد کرد. همچنین، خشک کردن آب اضافی موجود در زباله بازدهی گازیفایر را بالا می‌برد. تجهیزات مورد نیاز برای این عملیات سال‌هاست که در روش‌های سنتی تیمار زباله‌های شهری وجود داشته استفاده می‌شود.

۲-۳ تبدیل زباله‌های جامد شهری به گاز سنتز

تا چندی پیش، گازیفیکاسیون برای موادی مانند چوب و زغال‌سنگ انجام می‌شد که از یکنواختی خوبی برخوردارند. اما استفاده از زباله در گازیفایر مستلزم ایجاد یکنواختی هرچه بیشتر در آن است. زباله حاوی ترکیبات مختلفی با اندازه‌های متفاوت است. ادغام عملیات آماده‌سازی زباله و فرآیند گازیفیکاسیون برای حصول به عملکردی مطلوب حیاتی است و دقیقاً این مرحله هنوز به بلوغ

⁴ Sourc classified collection



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

۴- جنبه‌های اقتصادی گازیفیکاسیون و تجربیات چند کشور نمونه

به‌رغم 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 پلازما 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 امکان‌پذیر 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 -لااقل برای شرایط ایران- در دسترس نمی‌باشد.

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

در انگلیس از ۳۵/۱ میلیون تن زباله‌ی به‌جود آمده در سال ۲۰۰۵-۲۰۰۶ تنها از ۸٪ آن آنها به‌صورت احتراق انرژی گرفته شد. البته لازم به ذکر است که انگلیس بعد از یونان و پرتغال، در بین کشورهای اروپایی مقام سوم را در لندفیل زباله‌ها داراست. در انگلستان هیچ واحد تجاری گازیفیکاسیون MSW وجود ندارد اما دولت سعی دارد به تعهد 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, 2009). دولت انگلستان در پیمان تجدیدشونده^۵ پیشنهاد پشتیبانی وسیعی را از طرح‌های گازیفیکاسیون ارائه کرده

⁵ Renewable Obligation



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

برخلاف کشورهای اروپایی، ژاپن نیروگاه‌های گازیفیکاسیون زیادی در مقیاس تجاری دارد. برای نمونه می‌توان به نیروگاه چپیا با ظرفیت ۱۰۴۰۰۰ تن در سال و نیروگاه ابارا با ظرفیت ۱۶۸۰۰۰ تن در سال اشاره نمود. تایلند نیز نیروگاه چوگگ 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 شروعاتشان از ۵ سال گذشته است. در اینجا از اطلاعات به روز شده سال ۲۰۱۳ استفاده شده است.

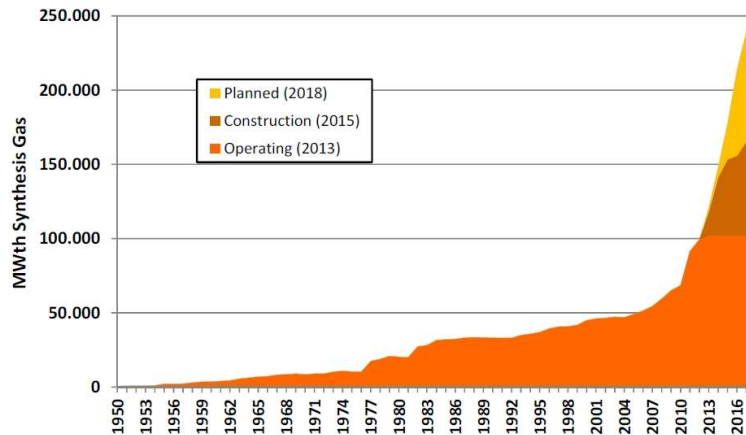
جدول ۱ - دیتابیس پروژه‌های گازیفیکاسیون در جهان

ظرفیت برنامه ریزی شده GWth	ظرفیت فعال GWth	پروژه‌ها / گازیفیرهای برنامه ریزی شده	پروژه‌ها / گازیفیرهای فعال	تعداد کل گازیفیرها	تعداد کل پروژه‌ها	سال به روز رسانی
۱۸.۲	۴۲.۷	۴۸/۳۳	۳۶۶/۱۲۸	۷۵۴	۳۲۹	۱۹۹۹
۲۴.۵	۴۳.۳	۵۹/۳۲	۴۰۹/۱۳۱	۸۰۰	۳۵۰	۲۰۰۱
۲۵.۳	۴۳.۰	۶۶/۳۸	۳۸۵/۱۱۷	۸۴۱	۳۹۱	۲۰۰۴
۳۶.۵	۵۶.۲	۳۴/۱۰	۴۲۷/۱۴۴	۸۹۱	۴۰۸	۲۰۰۷
۴۰.۴	۷۰.۸	۷۶/۳۷	۵۰۵/۱۹۲	۹۹۰	۴۶۳	۲۰۱۰
۸۴	۱۰۴.۷	۵۵۰/۹۸	۶۱۸/۲۳۴	۱۷۴۱	۷۴۷	۲۰۱۳

⁶ 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 می‌شود ظرفیت آن 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 زیست توده) در سطح جهان رو به افزایش است اما این تکنولوژی برای ایران تقریباً ناشناخته است. تنها اقدامات صورت گرفته را که می‌توان 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 :

۵-۱ 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 مبدا باید صورت بگیرد. امروزه در بسیاری از کشورهای



جهان به امر تفکیک زباله از مبدا 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 آوری 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 استانداردهای جهانی فاصله داریم و زباله های قابل بازیافت زیادی همراه زباله های مرطوب در لندفیل ها دفن می شوند.

۲-۵ 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). بالاین حال، در ایران - بدلیل 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

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

۲۰۱۱	۱۷۵۰	۷	GE	چین	Shenhua Baotou Coal-to-Olefins Plant
۲۰۱۲	۱۶۷۰	۱۴	SEDIN	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	امریکا	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	مالزی	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

۳-۵ عدم آگاهی :

همانطور که گفته شد گازیفیکاسیون یک تکنولوژی جدید و روبه رشد در جهان است و بسیاری از مسوولین ذیربط در این زمینه آگاهی کاملی ندارند و اگر ارزش سرمایه‌گذاری در چنین طرح‌هایی برای آنها روشن شود دیگر زیر بار هزینه‌های سنگین زیست محیطی لندفیل زباله نخواهند رفت. در همه شهرها فضای کافی برای لندفیل کردن زباله‌ها 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 پیشرفته تبدیل زباله به انرژی آگاهی داشتند حتما از شرکت های بزرگ برای سرمایه گذاری و ساخت پروژه هایی از این دست دعوت به عمل می آوردند.

۴-۵ 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 فراگیر 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 گازیفیکاسیون

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

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 گازیفیکاسیون 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 سرمایه‌گذاری برای گازیفیکاسیون زباله‌های 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 جمع‌آوری می‌شود که از ۲ منطقه برای لندفیل و بازیافت آنها استفاده می‌شود. لندفیل میامی با مساحت ۴۹۹ هکتار و لندفیل منطقه طرق با مساحت ۶۰ هکتار مناطقی هستند که زباله‌های شهری به آنجا سرازیر می‌شوند.

از این مقدار ۶۵.۷٪ زباله‌ها را مواد آلی تشکیل می‌دهد که در روز ۱۱۱۶.۹ تن می‌شود و ۵۰۰ تن از این مقدار به صورت کمپوست در می‌آید. باقی مانده این مقدار یعنی ۶۱۶.۹ تن در روز (TPD) عدد مبنای ما برای محاسبه هزینه سرمایه‌گذاری قرار داده می‌شود.

با توجه به جدول شماره ۳ نزدیک‌ترین عدد برای طراحی ظرفیت به ازای تن در روز (TPD) عدد ۷۵۰ شرکت AlterNRG می‌باشد. پس مقدار هزینه سرمایه‌گذاری حدود ۱۵۶ میلیون دلار می‌شود که با احتساب هر دلار ۳۰۰۰ تومان این رقم حدود ۴۶۸ میلیارد تومان می‌شود. در جدول شماره ۴ سایر هزینه‌ها برآورد شده است.

جدول ۴ - هزینه‌های سرمایه‌گذاری گازیفیکاسیون برای شهر مشهد (بر اساس امار سال ۱۳۹۲)

مجموع سرمایه	طراحی ظرفیت به	تخمین هزینه عملیاتی	برآورد هزینه
تخمین زده شده	ازای تن در روز	(میلیون تومان به ازای)	(میلیون تومان به ازای)
(میلیارد تومان)	(TPD)	(۷۵۰ تن)	(۷۵۰ تن)
۴۶۸	۷۵۰	۹۴.۵	۱۸۲.۲۵
AlterNRG			

با توجه به افزایش تولید زباله‌های شهری در سال‌های آینده و بالطبع هزینه سنگین و کمبود محل مناسب برای لندفیل زباله‌ها اگرچه گازیفیکاسیون سرمایه‌گذاری سنگینی را طلب می‌کند ولی قطعاً با توجه به تولیداتی که از این روش به دست می‌آید ارزش آن را خواهد داشت.

۷- نتیجه‌گیری

جمع‌بندی مطالب ذکر شده در بالا بر برتری گازیفیکاسیون نسبت به سایر روش‌های تیمار زباله‌های شهری تأکید می‌کند. 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 زباله‌های شهری در کشور را مستاسل خواهد نمود و مدیران ذیربط را با مشکلات جدی مواجه خواهد ساخت. به عبارت ساده‌تر، دفن ساده‌ی زباله در لندفیل دیگر روشی



علمی و مهندسی برای تیمار زباله به شمار نمی‌آید. اگرچه فعالیت‌های مثبتی در جهت مدرنیزه کردن برخی لندفیل‌ها و یا مواردی 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 لندفیل 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 نوین تر گازیفیکاسیون پلاسما در کشورهای مختلف صورت می‌گیرد، شایسته است که تصمیم‌گیران

این بخش با هدایت طرح‌های تحقیقاتی و پایان‌نامه‌های دانشگاهی به این سمت، زمینه را برای انتقال و بومی سازی این تکنولوژی

در ایران فراهم نمایند.



فهرست منابع:

۱. بررسی اطلاعات جمعیت شهر مشهد براساس سرشماری سال ۱۳۹۰، http://amar.mashhad.ir/services/portal_content
۲. سازمان مدیریت پسماند شهر تهران، <http://pasmand.tehran.ir/Default.aspx?tabid=199>
۳. اداره دفن سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد، http://wmo.mashhad.ir/services/portal_content/
4. Abu Qdais, H., K. Bani Hani. (2010). "Modeling and optimization of biogas production from a waste digester using artificial neural network and genetic algorithm." Resources, Conservation and Recycling **54**(6): 359-363.
 5. Castaldi, M. J. and N. J. Themelis (2010). "The Case for Increasing the Global Capacity for Waste to Energy (WTE)." Waste and Biomass Valorization: 1-15.
 6. 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." Energy Conversion and Management In Press, Corrected Proof.
 7. Chang, Y.-H., W. C. Chen. (1998). "Comparative evaluation of RDF and MSW incineration." Journal of Hazardous Materials **58**(1-3): 33-45.
 8. Chimenos, J. M., M. Segarra. (1999). "Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator." Journal of Hazardous Materials **64**(3): 211-222.
 9. Choy, K. K. H., J. F. Porter. (2004). "Process design and feasibility study for small scale MSW gasification." Chemical Engineering Journal **105**(1-2): 31-41.
 10. Cotman, M. and A. Z. Gotvajin "Comparison of different physico-chemical methods for the removal of toxicants from landfill leachate." Journal of Hazardous Materials In Press, Corrected Proof.
 11. Donovan, S. M., T. Bateson. "Modelling the behaviour of mechanical biological treatment outputs in landfills using the GasSim model." Science of The Total Environment In Press, Corrected Proof.
 12. Durmusoglu, E., F. Taspinar. (2010). "Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment." Journal of Hazardous Materials **176**(1-3): 870-877.
 13. Economopoulos, A. P. (2010). "Technoeconomic aspects of alternative municipal solid wastes treatment methods." Waste Management **30**(4): 707-715.
 14. 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." International Journal of Hydrogen Energy **34**(1): 195-203.
 15. Malkow, T. (2004). "Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal." Waste Management **24**(1): 53-79.
 16. Park, J.-W. and H.-C. Shin (2001). "Surface emission of landfill gas from solid waste landfill." Atmospheric Environment **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. Jenkins, 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. Slessor, 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