استفاده از انرژی بیوگاز زباله های شهری به عنوان سوخت جایگزین

عبدالرضا کرباسی و اکبر باغوند[1]

چکیده

در مقاله حاضر ضمن شناخت زباله های شهری استان مازندران از نظر کمی و کیفی، نسبت به طراحی، ساخت و راه اندازی یک دستگاه هاضم ۲۵ لیتری برای تصفیه بیهوازی زباله‌های این استان اقدام و از روش آنالیز خوشه ای برای شناخت روابط اجزاء زباله برای اولین بار در کشور استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می دهد که رابطه بسیار قوی بین ارزش حرارتی زباله تر، زباله خشک، نسبت کربن به نیتروژن و مواد کاغذی در زباله استان مازندران وجود دارد. راهبری هاضم تحت شرایط گرما دوست (۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد) و گرمای میان دوست (درجه حرارت ۳۳ تا ۳۷ درجه سانتی گراد) انجام شد. نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد که میزان تولید گاز متان در شرایط گرما دوست بیش از دمای میان دوست است، لیکن راهبری هاضم تحت دمای میان دوست بمراتب ساده تر از شرایط گرما دوست است. میزان تولید گاز متان بین ۰/۲۱ الی ۰/۶۵ مترمکعب با ازای هر کیلوگرم زباله فساد پذیر متغیر است. براساس نتایج تحقیق حاضر و تعمیم آن به کل زباله های استان مازندران حدود ۱۳۰ میلیون مترمکعب گاز متان در طی سال قابل تولید است. بعبارت دیگر این میزان گاز تولیدی معادل ۱۱۱۹۶۳۴ میلیارد کالری دارای ارزش حرارتی است که در صورت استفاده از آن برای تولید برق می توان حدود ۱/۳ میلیارد کیلووات ساعت برق تولید کرد (معادل ۱/۰۸ درصد کل برق مصرفی کشور در سال ۱۳۸۴). برای تولید این میزان برق نیاز به ساخت و راه اندازی یک نیروگاه با ظرفیت تقریبی ۳۰۰ مگاوات می باشد. بدین ترتیب می توان حدود ۱۸٪ از کل برق مصرفی استان مازندران را از این طریق تامین نمود.

واژگان کلیدی: زباله شهری، هضم بیهوازی، گاز متان، کود، اقتصاد

۱- دانشکده محیط زیست- دانشگاه تهران

مقدمه

تصفیه بیولوژیکی به عنوان بهترین انتخاب تصفیه برای مواد آلی دارای مقدار کالری پایین در مواد زائد جامد شهری پذیرفته شده است. روش تصفیه بیولوژیکی شامل کمپوست هوازی و هضم بی هوازی می‌باشد. گوارش بی‌هوازی زیست توده بعنوان یکی از فنآوری‌های تولید انرژی است متان می‌تواند در گرمایش خانگی و تجاری در تأمین انرژی حرارتی صنایع، در موتورهای احتراق داخلی، در موتورهای استیرلینگ، در توربین‌های گازی و بویلرهای نیروگاهی و همچنین در برخی از پیل‌های سوختی برای تولید برق بکار برده شود. هضم بی‌هوازی جزء آلی مواد زائد جامد شهری یک پدیده نسبتاً جدید است و مزیت‌های زیادی در مقایسه با گزینه‌های دیگر دفع مواد جامد شهری دارد. بهره‌دهی واقعی بستگی به ترکیب خوراک و پارامترهای بهره‌برداری درون هاضم دارد. همچنین می‌تواند دارای مزیت اقتصادی نسبت به فرآیند کمپوست هوازی باشد که یک مصرف کننده خالص انرژی است. هضم بی‌هوازی دارای تولید خالص انرژی 1000 Kwh – 500 در هر تن مواد زائد است در حالی که کمپوست کردن هوازی 750 Kwh – 500 برای تصفیه هرتن مواد زائد انرژی مصرف می‌کند. بیشتر انرژی شیمیایی موجود در مواد مغذی در واقع بوسیله باکتری‌های بی‌هوازی به متان تبدیل می‌گردد. استات، هیدروژن و دی اکسید کربن مهمترین موادغذایی برای مصرف متان‌سازها هستند. جدول (۱) بیوگاز خروجی از چند هاضم بزرگ بی هوازی مواد زائد جامد را نشان می دهد. بازده بیوگاز حاصل از طراحی ها ی مختلف در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- بازیافت انرژی ومواد از روشهای مختلف تصفیه (Noakes , 1994)

مورد	**دفن در زمین**	**کمپوست**	**سوزاندن**	**تخمیر بی‌هوازی**
امکان تبدیل انرژی	**۵۰ ٪ جامدات فرار**	**صفر**	**۶۰ ٪**	**۷۵ ٪ جامدات فرار**
مواد جامد باز چرخش شده	در خاک دفن شده	خوب	۱۵-۱۰ ٪ خاکستر	خوب
درصد فلزات	برحسب مواد اولیه	برحسب مواد اولیه	خیلی زیاد تغلیظ شده	تغلیظ شده
دفع مایع	مشکل شیرابه	شکل تصفیه	صفر	بازگردانی شده
مواد مغذی	هدر می‌رود	اندکی نگهداشته می‌شود	هدر می‌رود	نگهداشته شده
کربن	به اتمسفر می‌رود	CO_2 , CH_4	گرما و نیرو	به بیوگاز تبدیل می‌شوند

جدول شماره ۲- بازده بیوگاز چند طراحی هاضم بی هوازی

شرکت طراح هاضم بی هوازی	بازده بیوگاز (متر مکعب بر هر تن توده غذایی)
BTA	۸۰ - ۱۲۰
Valorga	۸۰ – ۱۶۰
WAASA	۱۰۰ – ۱۵۰
DRANCO	۱۰۰ – ۲۰۰
Linde	۱۰۰
Kompogas	۱۳۰

روش تحقیق

راکتور هضم بی هوازی آزمایشگاهی ساخته شده دارای ۲۵ لیتر حجم ، ۲۰ سانتیمتر قطر و ۸۰ سانتیمتر ارتفاع است. یک شیر ورودی در ارتفاع ۷۰ سانتیمتری از کف و یک شیر خروجی در انتها تعبیه گردیده است. همچنین دو شیر جهت نمونه برداری از مواد موجود در هاضم در نظر گرفته شده است. راکتور از جنس فولادی بوده که درب آن از یک فلنج قابل باز و بسته شدن مجهز به اورینگ آب بندی می باشد. شیر خروج گاز در قسمت درب راکتور تعبیه گردیده است. کلیه شیر های ورودی ، خروجی و نمونه برداری دارای قطر ۵۰ میلی متر می باشند. یک لوله به قطر ۱۰ سانتی متر و ارتفاع ۵۰ سانتی متر نیز برای گرم کردن آب جهت گرمایش محیط هاضم ساخته شده است. برای گرم کردن آب در این مخزن آب توسط یک المنت حرارتی برقی۵۰۰ وات به ارتفاع ۳۰ سانتی متر و برای تنظیم دما از یک ترموستات برقی با محدوده ۳۰ تا۹۰ درجه سانتی گراد استفاده شده است . گرمایش محیط فرآیند بوسیله یک مارپیچ (کویل) که از لوله مسی ساخته شده صورت می گیرد.

نتایج

آنالیز فیزیکی و شیمیایی زباله در پنج شهر بزرگ استان مازندران شامل ساری، قائمشهر، بابل، چالوس و رامسر در سال ۱۳۸۱ توسط دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران به اجرا درآمد که نتایج آن بررسی‌ها در این بخش ارائه خواهد شد. این اندازه‌گیری‌ها در چهارچوب طرح "مطالعات توجیه فنی و اقتصادی بازیافت زباله‌های شهری منطقه خزر" که کارفرمای آن وزارت کشور بود به اجرا درآمد (جدول ۳).

براساس مطالعات انجام شده در شهر ساری و نمونه‌گیری‌های به عمل آمده در طول یک سال، میانگین درصد اجزاء تشکیل دهنده زباله‌های شهر ساری عبارتند از: مواد فسادپذیر ۸۲/۶۵٪، کاغذ ۴/۸٪، پلاستیک ۱/۹٪، آهن ۱/۲٪، شیشه ۷٪، منسوجات ۱/۵٪ و چوب ۱٪ در نمونه‌گیری‌های فصل بهار در سال ۱۳۸۱ اجزاء تشکیل دهنده زباله ساری عبارتند از: مواد فسادپذیر ۸۱٪، مقوا۰/۲۵٪، لاستیک ۰/۸۷٪، پلاستیک ۶/۶٪، ظروف یکبار مصرف نوشابه ۰/۲۲٪، منسوجات ۱/۵٪، شیشه ۱/۶٪، فلزات آهنی ۱/۱۷٪، فلزات غیرآهنی ۰/۲۷٪ و نان ۱٪ ملاحظه می‌شود که تنها تغییر عمده در اجزاء متشکله زباله در شهر ساری درصد شیشه و پلاستیک می‌باشد. درصد شیشه در سال ۱۳۸۱ نسبت به سال ۱۳۷۳ حدود ۵/۵ کاهش داشته و از ۷ درصد به ۱/۶ درصد رسیده است. در همین فاصله زمانی درصد پلاستیک افزایش داشته و از ۱/۹ درصد به۶/۹ درصد رسیده است. یعنی ۵ درصد افزایش داشته است. ترکیب و درصد سایر اجزاء تقریباً ثابت مانده است. حدود ۹۷ درصد از زباله‌های ساری قابل احتراق است و ارزش حرارتی زباله همانگونه که دریافت می‌شود ۲۵۴۰ کیلو ژول به ازاء هر کیلوگرم زباله است. این عدد ۲۰ درصد ارزش حرارتی زباله در کشورهای صنعتی است. درصد رطوبت زباله‌های شهری همانگونه که دریافت می‌شوند حدود ۶۷ درصد است. فرمول بسته شیمیایی زباله‌های ساری در فصل بهار به صورت $C_{493}H_{771}O_{254}N_{15}S_1$ می‌باشد. براساس روابط استیوکیومتری مقدار هوای مورد نیاز برای سوختن زباله ۸/۴ کیلوگرم برای هر کیلوگرم زباله می‌باشد. نسبت C/N زباله ساری در فصل بهار ۳۳ است (جدول ۴). حدود ۱۹ درصد از اجزاء زباله را مواد خشک تشکیل می‌دهد.

جدول شماره ۳: میانگین درصد سالیانه رطوبت و مواد قابل اشتعال به همراه ارزش حرارتی زباله‌های شهری استان مازندران

نام شهر	رطوبت (٪)	مواد قابل اشتعال (٪)	ارزش حرارتی زباله Kj/Kg		هوای مورد نیاز احتراق Kg/Kj
			خشک	تر	
رامسر	۶۳/۵	۹۷/۶	۷۲۵۹	۲۶۸۷	۸/۲۴
چالوس	۶۲/۳	۹۴/۰	۷۱۴۰	۲۷۳۲	۷/۵۰
بابل	۶۲/۳	۹۶/۴	۷۳۷۴	۲۸۱۰	۷/۵۰
قائم‌شهر	۶۱/۵	۹۶/۰	۷۳۷۳	۲۸۹۲	۷/۴۳
ساری	۶۵/۰	۹۶/۵	۶۸۷۷	۲۴۶۱	۷/۴۰
حداقل	۶۱/۵	۹۴	۶۸۷۷	۲۴۶۱	۷/۴۰
حداکثر	۶۵	۹۷/۶	۷۳۷۴	۲۸۹۲	۸/۲۴
انحراف معیار	۱/۳۶	۱/۳۱	۲۰۷	۱۶۳	۰/۳۵
میانگین	۶۲/۹	۹۶/۱	۷۲۰۵	۲۷۱۶	۷/۶۱

جدول شماره ۴: میانگین فرمول بسته شیمیایی و سایر پارامترهای زباله های شهری در استان مازندران

نام شهر	فرمول بسته شیمیایی	نسبت C/N	مواد خشک (٪)	مواد تراکم‌پذیر(٪)
رامسر	$C_{616}H_{954}O_{294}N_{16}S$	۳۸	۲۳	۹۶
چالوس	$C_{587}H_{900}O_{262}N_{16}S$	۳۷	۲۷	۹۲
بابل	$C_{688}H_{1023}O_{306}N_{16}S$	۳۸	۲۶	۹۴
قائم‌شهر	$C_{616}H_{947}O_{303}N_{15}S$	۳۹	۲۷	۹۴
ساری	$C_{493}H_{771}O_{254}N_{15}S$	۳۸	۲۲	۹۵
حداقل	-	۳۷	۲۲	۹۲
حداکثر	-	۳۹	۲۷	۹۶
انحراف معیار	-	۰/۷۱	۲/۳۵	۱/۴۸
میانگین	-	۳۸	۲۵	۹۴/۲

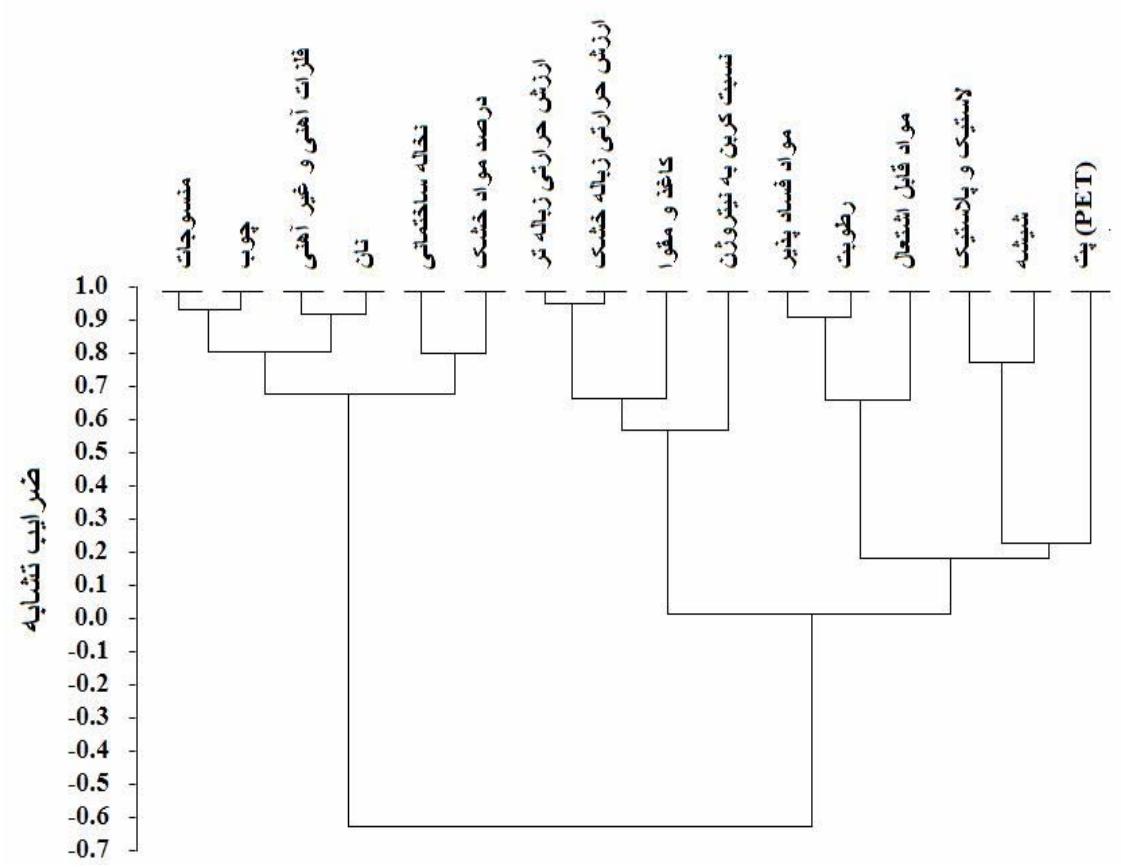
در ادامه بحث و برای شناخت روابط حاکم بر اجزاء مختلف زباله های شهری در استان مازندران، ابتدا ضرایب همبستگی محاسبه شدند و سپس با استفاده از نرم افزار کلاستر نسبت به انجام آنالیز خوشه ای اقدام شد. نتایج آنالیز خوشه ای در شکل شماره (۱) بصورت دندوگرام نشان داده شده است. این دندوگرام از سه شاخه "A" ، "B" و "C" تشکیل شده است. در شاخه "A" کلیه اجزاء زباله شهرهای استان مازندران (شامل منسوجات، چوب، فلزات آهنی و غیرآهنی، نان، نخاله‌های ساختمانی و درصد مواد خشک) دارای ارتباط مثبت و معنی‌دار می‌باشند و می‌توان نتیجه‌گیری نمود که موارد یاد شده اجزاء اصلی تشکیل دهنده مواد خشک در زباله‌های شهرهای استان مازندران می‌باشند. انتظار می‌رفت که کاغذ و مقوا و همچنین شیشه و پت نیز در این گروه قرار گیرند تا چرخه اجزاء خشک تکمیل گردد. به هر حال حضور بیش از ۷۵٪ از اجزاء خشک در شاخه "A" حاکی از صحت آنالیز می‌باشد چون در شاخه "B" ملاحظه می‌شود که بیشترین ارزش حرارتی (تر و خشک) توسط کاغذ و مقوا تأمین شده است و دیگر اجزاء زباله نقش مهمی را در

ارزش حرارتی زباله ایفا نکرده‌اند. به عنوان مثال مواد فسادپذیر با رطوبت بسیار بالایی که دارند نمی‌توانسته است عامل اصلی در ازش حرارتی زباله‌های شهری استان مازندران به شمار آید و همانگونه که از دندوگرام مشاهده می‌شود ارتباط بسیار نزدیک مواد فسادپذیر با رطوبت زباله حاکی از آن است که بخش اعظم رطوبت زباله توسط مواد فسادپذیر تأمین می‌گردد. به همین دلیل استفاده از زباله‌سوز نمی‌تواند راه حل نهایی دفع زباله‌های شهری استان مازندران محسوب گردد، چرا که برای سوزاندن چنین زباله هایی نیاز به حجم زیادی از انرژی وجود دارد. همچنین در دندوگرام نشان داده شده است که لاستیک و پلاستیک با مواد قابل اشتعال ارتباط معنی‌دار و مثبتی را برقرار نموده‌اند، لیکن میزان آنها در زباله های شهری استان مازندران آنقدر ناچیز است که نتوانسته‌اند در ارزش حرارتی زباله نقش مهمی را ایفا نمایند. ارتباط شاخه‌های "A" ، "B" و "C" آنقدر ضعیف است که به وضوح بیانگر عدم تأثیرگذاری پارامترهای موجود در هر شاخه بر شاخه دیگر است. با توجه به اینکه بازیافت کاغذ و مقوا طی برنامه‌های بازیافت از مبداء میسر است و این مهم توسط وزارت کشور نیز پیگیری می‌شود به نظر می‌رسد که در سال‌های آتی ارزش حرارتی تر و خشک زباله‌های شهری استان مازندران بیش از پیش کاهش یابد. لذا نتایج آنالیز خوشه‌ای نیز مؤکد این امر است که تولید گاز از مواد فسادپذیر که بیش از ۷۰٪ از کل اجزاء زباله‌های شهری استان مازندران در بر می‌گیرد، بهترین گزینه دفع از بین انواع روشهای دفع، محسوب می‌شود . ضمن آنکه پس از تولید گاز متان که امکان تبدیل آن به برق و یا تزریق گاز به شبکه گازرسانی وجود دارد می‌توان ضمن بهره‌برداری از انرژی تولیدی از بقایای واکنش در هاضم به عنوان بهترین کود آلی بهره‌برداری کرد. در سال‌های اخیر خرید دستگاه‌های کمپوست از کشورهای خارجی مطرح بوده است و در برخی موارد این عمل نیز صورت گرفته است که نتایج تحقیقات نیز نشان داده است تولید کود با این نوع وسایل همواره با مشکل روبرو بوده است. اگر تولید انرژی از زائدات شهری مد نظر باشد ارزش حرارتی زائدات نباید کمتراز Kj/Kg ۱۰۰۰۰ باشد. البته در مواقعی که ارزش حرارتی کمتر از عدد فوق‌الذکر باشد می‌توان نسبت به تولید گاز متان تحت شرایط خاص اقدام نمود تا از این طریق تولید انرژی نیز مقرون به صرفه باشد. نتایج آنالیز شیمیایی برای شهرهای استان مازندران نشان می‌دهد که ارزش حرارتی زباله در شهرهای این استان در حدود ۷۰۰۰ کیلوژول بر کیلوگرم می‌باشد که کمتر از حداقل کالری تعیین شده برای اقتصادی بودن تولید انرژی از طریق سوزندان زباله می‌باشد.

نمونه‌برداری از هاضم جهت تعیین درصد جامدات فرار یک بار در هفته انجام می‌شد و اندازه‌گیری pH درجه حرارت مقدار گاز تولید شده و درصد حجمی متان موجود در بیوگاز به صورت روزانه انجام می‌شد. هر ۱۰ روز یکبار هم نمونه‌گیری جهت اندازه‌گیری و بررسی پارامترهایی همچون TP, TKD, COD فلزات و قلیائیت انجام می‌شد. باکتری‌های متان‌زا گرمادوست شدیداً به نوسانات درجه حرارت حساس بوده و در این تحقیق درجه حرارت نوسانات زیادی

داشت. لذا به علت از بین رفتن تعدادی از باکتری‌های متان‌زا مصرف اسیدهای چرب فرار تولیدی به وسیله باکتری‌های اسید ساز کمتر شده و تجمع اسیدهای فرار باعث افت pH شد و با توجه به اینکه افزایش زیاد بافر بی‌کربنات سدیم به علت سمی بودن یون Na^+ مقدور نبود، لذا فرآیند هضم به سوی ناموازنه پایدار پیش رفت و این مسأله باعث تولید کم بیوگاز و پایین بودن کاهش مواد آلی شد. لذا تصمیم برآن شد تا فرآیند در شرایط مزوفیلیک اجرا شود. در مرحله دوم مواد حاصل از فرآیند هضم بی‌هوازی موادآلی فسادپذیر در شرایط ترموفیلیک اجرای اول از رآکتور تخلیه گردید و مجدداً با لجن بی‌هوازی فاضلاب پر شد و درجه حرارات بین $^{\circ}C$ ۳۷-۳۳ تنظیم گردید. زمان ماند در این دوره هضم بین ۲۰-۱۵ روز قرار داشت ودر طی اجرای دوم pH در شروع بالای ۷/۳ بود ولی با خوراک‌دهی که انجام می‌شد و تولید اسیدهای چرب pH تا حدود ۶ کاهش یافت که با قطع خوراک‌دهی این اسیدها توسط میکروارگانیسم‌های متان‌زا مصرف و تعادل بین تولید و مصرف اسیدهای فرار برقرار شد و pH هم به بالاتر از ۷ رسید. در زمانی که pH پایین آمد درصد متان نیز کاهش پیدا کرد. نتایج به دست آمده در این اجرا در جدول (۵) آورده شده است.

شکل شماره ۱: دندوگرام آنالیز خوشه ایی اجزاء زباله شهری در استان مازندران



جدول شماره ۵: مقایسه نتایج به دست آمده از اجرای فرایندهای هضم بی‌هوازی زباله‌های فسادپذیر در نقاط مختلف جهان با تحقیق حاضر

فرآیند	نرخ تولید		زمان ماند و نرخ بارگذاری	درصد مواد جامد	درصد متان
	بیوگاز	متان			
Refcom	-	0.13-0.3 $m^3/kg\ VS_{added}$	۲۰-۱۰ روز ۰/۴۴-۰/۵ $kg\ dry\ matter/m^3.d$	۱۰-۳	-
SOLCON	-	0.25 $m^3/kg\ VS_{added}$			-
Wassa	150-100 $m^3/kg\ VS\ added$	-	۱۰ روز ۶/۸ $kg\ dry\ matter/m^3.d$	۱۵-۱۰	-
Valorga	-	0.22-0.25 $m^3/kg\ VS_{added}$	۲۵-۱۸ روز ۱۹ $kg\ TVS/m^3.d$	۳۳-۲۵	-
Dranco	-	0.10-0.20 $m^3/kg\ VS_{added}$	۳۰-۱۵ روز ۱۳ $kg\ TVS/m^3.d$	۴۰-۱۵	-
Marseille	5.6 $m^3/m^3_{\text{هاضم}}.d$	-	۱۰ روز ۱۶/۵ $kg\ TVS/m^3.d$	۳۵	۶۰
Venice	2.8-4.1 $m^3/m^3_{\text{هاضم}}.d$	-	۱۲-۸ روز ۷-۱۴ $kg\ TVS/m^3.d$	۲۲-۱۶	۶۲-۵۳
Pecques	-	0.22 $m^3/kg\ VS_{added}$	-	-	-
Anyang کره جنوبی	-	53.7 $m^3/ton\ MSV$	-	-	-
Denmark	64.5 $m^3/ton\ MSV$	-	-	-	-
هلند	110 $m^3/ton\ MSV$	60.5 $m^3/ton\ MSV$			
تحقیق حاضر	2.8-4.1 $m^3/m^3_{\text{هاضم}}.d$	0.21-0.65 $m^3/kg\ VS_{added}$	۲۰-۱۵ روز ۵-۲۵ $kg\ TVS/m^3.d$	۵۰-۱۵	۸۲-۵۳

متوسط تولید زباله در ۳۷ شهر بزرگ استان مازندران معادل ۱۱۰۶ تن در روز می باشد که بطو متوسط ۷۵٪ آنرا مواد آلی فساد پذیر تشکیل می دهد. با توجه به ترکیب زباله در استان مازندران مشخص شد که به ازای هر کیلوگرم زباله فساد پذیر در استان مازندران حدود ۰/۲۱ تا ۰/۶۵ متر مکعب گاز متان قابل استحصال است. از اعداد فوق بدین نتیجه می‌رسیم که کل مواد فساد پذیر در طی یک سال در استان مازندران به شرح زیر قابل محاسبه است:

میزان فساد پذیرها (تن در سال)		روز های سال		میانگین اجزاء فساد پذیر (٪)		میزان زباله روزانه در کل استان (تن)
۳۰۲۷۶۸	=	۳۶۵	X	۰/۷۵	X	۱۱۰۶

از آنجائیکه حد فاصل تولید گاز متان متغییر است (۰/۲۱ تا ۰/۶۵ متر مکعب به ازای یک کیلوگرم زباله فساد پذیر) بنابراین میانگین ارقام مذکور (یعنی ۰/۴۳ مترمکعب متان به ازای یک کیلوگرم مواد فساد پذیر) در ادامه محاسبات مورد استفاده قرار خواهد گرفت. بدین ترتیب محاسبات زیر قابل ارایه است:

میزان متان تولید در طی یک سال (مترمکعب)		میزان اجزاء فساد پذیر استان در یک سال (کیلو گرم)		مترمکعب متان به ازای یک کیلوگرم زباله فسادپذیر
۱۳۰۱۹۰۲۴۰	=	۳۰۲۷۶۸۰۰۰	X	۰/۴۳

بعبارت دیگر این میزان گاز تولیدی معادل ۱۱۱۹۶۳۴ میلیارد کالری دارای ارزش حرارتی است که در صورت استفاده از آن برای تولید برق می توان حدود ۱/۳ میلیارد کیلوواتساعت برق تولید کرد (معادل ۱/۰۸ درصد کل برق مصرفی کشور در سال ۱۳۸۴). برای تولید این میزان برق نیاز به ساخت و راه اندازی یک نیروگاه با ظرفیت تقریبی ۳۰۰ مگاوات (بازدهی نیروگاه ۳۷٪ و ضریب دسترسی آن ۰/۵ در نظر گرفته شده است هم چنین تلفات شبکه نیز حدود ۱۲٪ فرض شده است) می باشد. بدین ترتیب می توان حدود ۱۸٪ از کل برق مصرفی استان مازندران را از این طریق تامین نمود.

شایان ذکر است که متوسط هزینه ساخت هاضم های مورد نیاز برای کل استان مازندران حدود ۲۰۰ میلیارد ریال می باشد. ارزش گاز استحصالی به قیمت ۴ سنت به ازای مترمکعب حدود ۴۷۰ میلیون ریال در سال است و سود حاصل از فروش کود ۱۸ میلیارد ریال خواهد بود. بنابراین سالانه ۱۸/۵ میلیارد ریال عاید شهرداری خواهد شد. بدین ترتیب مدت زمان بازگشت سرمایه حدود ده سال می باشد. با در نظر گرفتن مشکلات زیست محیطی استان مازندران، زمان بازگشت سرمایه از درجه اهمیت کمتری برخوردار است.

جمع بندی نهایی

بر اساس یافته های این تحقیق مشخص شد که تولید گاز متان برای انواع مصارف از زباله های شهری استان مازندران امکان پذیر است. در تحقیق های آتی و با در نظر گرفتن شرایط منطقه (شرایط آب و هوایی، میزان مصرف برق، دوری

جوامع روستایی از شبکه برق، دسترسی یا عدم دسترسی به گاز و....) می بایست برآورد هزینه برای بکارگیری هر یک از انواع مصارف نمود. فن آوری‌های بومی و میزان اشتغال نیز از جمله مواردی است که باید در کنار مسایل زیست محیطی استان در نظر گرفته شوند. در این بخش بطور فهرست وار جمع بندی نتایج طرح ارایه می‌گردد:

۱- فرآیند هضم بی‌هوازی گرمادوست در شرایط نیمه خشک می‌تواند به گونه‌ای مناسب و ممتاز برای زباله‌های فسادپذیر تازه و همینطور برای زباله‌های پیش کمپوست شده به کار برده شود و انعطاف‌پذیری مجموعه در برابر شرایط مختلف عملیاتی، بسیار بالا می‌باشد.

۲- چنانچه زباله‌های فسادپذیر تازه مورد استفاده قرار گیرند، زمان‌های ماند کوتاه (در مدت ۶ تا ۸ روز) بهتر بوده و تولید بیوگاز بیشتری را به دست می‌دهند.

۳- پایداری فرایند در زمان‌های ماند ۸ و ۱۲ روز برای هر دو نوع زباله خوب بوده و مشابه است. در زمان‌های ماند کوتاه‌تر و بار آلی بیشتر (۶ روز و kgVS/m3.day ۲۰-۱۸) ، زباله‌های فسادپذیر تازه بهتر می‌باشند.

۴- با فرض واکنش درجه اول، ضریب کینتیک هضم بی‌هوازی در مورد زباله‌های فسادپذیر تازه به مراتب بیشتر است (در حدود دو برابر زباله‌های پیش کمپوست شده).

۵- دوره راه‌اندازی در این طرح حدود یک ماه به طول انجامید.

۶- ماده تلقیح که در این طرح برای سریع‌تر و کوتاه‌تر شدن راه‌اندازی مورد استفاده قرار گرفت لجن فاضلاب بوده که از تصفیه‌خانه شیر پاستوریزه تهران تهیه شده بود.

۷- آماده‌سازی مواد خوراک قبل از خوراک‌دهی بسیار مهم است. معمولاً برای این کار زباله‌های فسادپذیر را خرد کرده و به نسبت یک به چهار الی هشت با شیرابه و مواد هضم شده خروجی مخلوط گشته و خوراک‌دهی انجام شود.

۸- میزان بارگذاری بین ۲۵-۵ کیلوگرم TVS در هر متر مکعب رآکتور در روز انجام شده است.

۹- pH مناسب بین ۶/۵ تا ۷/۵ می باشد و برای نگه داشتن pH در این محدوده از بافر بی‌کربنات سدیم به میزان ۲/۵ درصد برابر با ۸۴ میلی‌گرم بر هر گرم وزن خشک زباله استفاده گردیده است.

۱۰- تولید بیوگاز در این اجرا بین ۹۷۰۰-۲۳۰۰ لیتر بر هر متر مکعب رآکتور در روز به دست آمد.

۱۱- بهره‌دهی متان در این طرح بین ۰/۶۵-۰/۲۱ مترمکعب بر هر کیلوگرم جامدات فرار افزوده شده می‌باشد.

۱۲- درصد متان بین ۸۲-۵۳ درصد می‌باشد.

۱۳- کاهش مواد آلی در این فرآیند هضم اجرا شده بیش از ۵۰ درصد می باشد.

منابع

۱ گروه انرژی‌های نو – پتانسیل سنجی منابع عمده زیست توده در ایران – پژوهشگاه نیرو – بهمن ۱۳۷۸ (گزارش منتشر نشده).

۲ گروه انرژی‌های نو – بررسی زباله تهران – شهریور ۱۳۷۹ (گزارش منتشر نشده)

۳ گروه انرژی‌های نو – بررسی تئوریک زباله شهری – پژوهشگاه نیرو – مرداد ۱۳۷۹ (گزارش منتشر نشده)

۴ جرج چوبانوگلوس، هیلاری تیسن، رولف الیاسن – مدیریت مواد زاید جامد شهری – ترجمه دکتر محمد علی عبدلی، سازمان بازیافت و تبد یل مواد شهرداری تهران – آذر ۱۳۷۰

۵ ان – اف- فوزنایا – شیمی و میکروبیولوژی آب و فاضلاب ترجمه امیر حسین محوی و هادی دهقانی –نشر مرندیز چاپ اول – پاییز ۱۳۷۳

۶ ابراهیمی، سیروس – ۱۳۷۲ – طراحی و راه‌اندازی رآکتور UASB جهت تصفیه بی‌هوازی فاضلاب صنعتی – پایان‌نامه کارشناسی ارشد – دانشگاه صنعتی شریف.

۷ شایگان، جلال‌الدین و همکاران – ۱۳۷۵- تبدیل مواد آلی فاضلاب به گاز متان با استفاده از روش‌های تصفیه بی‌هوازی – مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز ایران.

۸ عبدلی ، محمدعلی و کرباسی عبدالرضا و همکاران – ۱۳۷۶ – طرح دفع و بازیافت زباله‌های کشور – وزارت کشور – معاونت عمرانی – دفتر برنامه‌ریزی شهری.

۹ عبدلی. محمدعلی – ۱۳۶۴ – بیوگاز – انتشارات سازمان انرژی اتمی ایران.

۱۰ عدل، مهرداد – ۱۳۷۸- برآورد قابلیت‌های تولید انرژی از زایدات زیستی در ایران – پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

11 **Kayhanian, M., g. Tchobanoglous** – Innovative two-stage process for recovery of energy and compost from the organic fraction of municipal solid waste-water Science and Technology, vol. 27, No. 2, pp: 133-143, 1993

12 **Mata-Alvarez, J., F. Cecchi, P. Pavan, A. Basetti** – Semi-dry thermophilic anaerobic digestion of fresh and pre-composted organic fraction of MSW-Water Science and Technology, Vol. 27 No. 2, pp: 87-96, 1993

13 **Klass, D.L.** –Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals-Academic Press, USA, 1998

14 **Chynoweth, David P., Ron Isaacson** -Anaerobic Digestion of Biomass-Elsevier Applied Sdience Publisher Ltd, GB, 1987

15 **Wellinger A., K. Wyder, E.** Metzder-KOMPOGAS, A new system for anaerobi treatment of source separated waste- Wate rScience and Technology, Vol. 27, No 2, pp: 153-158, 1993

16 **Stringfellow anne**- Anaerobic Digestion –INTERNAET\SunRISE Research Topics. Html

17 **INTENET**\ www.caddet=re.org

18 **Salaff, Stephen**-Anaerobic Digestion in Toronto, Canada-Renewable Energy World, April, 2000

19 **BTA** Biotechnische Abfallverwertung GmbH & CO KG, Rogttmannstr. 18, D-80333 Munchen-Plants operating with BTA-Process

20 **Bardiya, Nirmala, A.C.** Gaur-Iron Supplementation enhances biogas generation – Bio Energy News, sep. 1999, pp: 16-19

21 **IWM**. Anaerobic Digestion Working Group-Anaerobic Digestion (a detailed report on the latest methods and technology for the Anaerobic Digestion of municipal solid waste)-IWM Business Services, 1998

22 **De Baere, L**. –Anaerobic Digestion of solid waste state-of-the art-Water Science and Technology, Vol. 41, No3, pp: 283-290, 2000