علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره چهاردهم، شماره سه، پاییز ۹۱

ظرفیت سنجی تولید گاز متان از مواد زاید جامد شهری در شهر لنگرود

عبدالرضا کرباسی[۱]

سید مسعود منوری[۲]

علیرضا سلطانی[۳*]

تاریخ دریافت:۸۶/۴/۲۲ **تاریخ پذیرش:۸۶/۹/۱۰**

چکیده

تصفیه بیولوژیکی به عنوان موثرترین شیوه به منظورحذف موادآلی موجود در مواد زاید جامد شهری شناخته شده است.تصفیه بیولوژیکی شامل کمپوست هوازی و هضم بی هوازی می باشد و درحال حاضر روش بی هوازی به عنوان یک تکنیک مناسب برای تولید انرژی محسوب می شود. گاز متان حاصل از روش بی هوازی به منظور تولید انرژی و به عنوان سوخت مستقیم و نیز برای کاربردهای مکانیکی مفید می باشد. لذا پژوهش حاضر با انگیزه کاهش گازهای گلخانه ای ، حفاظت از محیط زیست و کاهش هزینه های مدیریت مواد زاید جامد شهری صورت گرفته است در این تحقیق تولید متان از مواد زاید شهری در مقیاس آزمایشگاهی به انجام رسید و در ابتدا از پساب کارخانه شیر که دارای BOD بالا است استفاده شد و تولید متان در درجه حرارت های متوسط (حدود ۳۵ درجه سانتی گراد) و بالا (حدود ۶۵ درجه سانتی گراد) مورد آزمایش قرار گرفت. تمامی پارامترهای مربوط از قبیل رطوبت، اسیدیته، فاکتور بارگذاری و بازده اندازه گیری شد. نتایج نشان می دهد که تولید متان در دماهای پایین مشهودتر است و حدود ۰/۲۱ تا ۰/۶۵ مترمکعب گازمتان به ازای هر کیلوگرم زباله تولید می گردد.

واژه های کلیدی: تصفیه بیولوژیکی، روش بی هوازی، موادآلی، مواد زاید جامد شهری،گاز متان

۱- استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

۲- استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

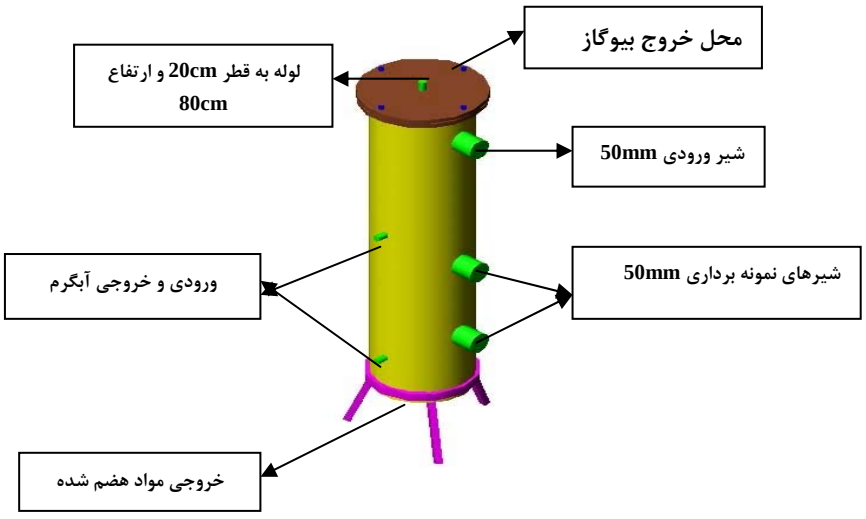
۳- کارشناس ارشد دانشکده محیط زیست و انرژی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی*(مسئول مکاتبات)

مقدمه

مواد زاید حاصل از فعالیت های کشاورزی، صنعتی و شهری از جمله عوامل تاثیرگذار بـر محیط زیست محســوب می شود و مساله مدیریت آن متاثر از عوامل اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی قابل بحث و بررسی است(۱). نظر به این که در کشور ما به ویژه در استان های شمال کشور دفع مواد زاید بدون توجه مناسب به مساله مدیریت آن اغلب در دره های جنگلی و یا زمین های حاشیه جنگل صورت می گیرد که این امر اغلب به سبب مالکیت اراضی و همجواری با زمین های کشاورزی و آب های سطحی و نیز بالا بودن سطح سفره آب های زیرزمینی منجر به تعارضات اجتماعی و پیامدهای زیست محیطی گردیده است(۲). لذا در تحقیق حاضر به ظرفیت سنجی تولید گاز متان در سیستم های بی هوازی در شهر لنگرود پرداخته شده است که در صورت عملی شدن این طرح ضمن مهار شیرابه و کنترل آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی نیاز به اماکن دفن مواد زاید شهری نیز کاهش خواهد یافت. این امر به سبب آن که بیش از ۷۰٪ زباله این شهر دارای منشأ آلی است (۳)، لذا تولید گاز متان و کود آلی ارزش اقتصــادی می یابد و ضمن ایجاد اشتغال، بخشی از مخارج مدیریت مواد زاید جامد نیز تامین می گردد. لذا به جاست از طریق برنامه ریزی های اصولی، اتخاذ سیاست های نوین در شیوه دفع نهایی مواد زاید در راس سیاست های مدیریت پسماند در کشور قرار گیرد.

مواد و روش ها

روش اجرای تحقیق بر پایه جمع آوری اطلاعات کتابخانه ای و اینترنتی درخصوص پیشینه انرژی بیــوگاز و روش های هضم بی هوازی مانند فرایند درانکو، فرایند Refcom، فرایند والورگا، فرایند مارتین و BTA درکشورهای آلمان، هلند، بلژیک و .. آغاز گردید(۴) و در نهایت به منظور بررسی و راه اندازی فرایند هضم از راکتور هضم بی هوازی استفاده شد.راکتور آزمایشگاهی ساخته شده از جنس فولاد بوده و دارای ۲۵ لیتر حجم ، ۲۰ سانتی متر قطر و ۸۰ سانتی متر ارتفاع است. 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 از 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 به وسیله یک مارپیچ (کویل) که از لوله مسی ساخته شده صورت می گیرد. درون لوله مسی آب گرم که در یک مخزن آب، گرم می شود توسط پمپ جریان می یابد. در شکل زیر شمایی از طراحی ارایه گردیده است.



شکل ۱- راکتور طراحی شده برای انجام فرایند هضم بی هوازی زباله های شهری در مقیاس آزمایشگاهی

کنتور گازی که در این طرح به کارگرفته شده است قادر به محاسبه مقدار گاز خروجی برحسب مترمکعب، لیتر و یک دهم لیتر است. برای تعیین درصد متان از دستگاه آنالیزور گاز متان استفاده شد. برای اندازه‌گیری pH شیرابه تولیدی ناشی از تخمیر بی هوازی مواد آلی در این طرح از یک pH سنج مدل Testo استفاده شده است. برای اندازه‌گیری درجه حرارت نیز از دماسنج Horiba با محدوده ۱۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد استفاده گردیده که سنسور آن را در درون شیرابه گذاشته شده و مقدار درجه حرارت آن اندازه‌گیری می‌گردد.

به کارگیری هاضم بی هوازی در دو مرحله صورت گرفته است. مرحله اول راه‌اندازی هاضم می باشد که خود دارای چند مرحله می‌باشد که در مرحله اول بخش آلی مواد زاید جهت هضم بی‌هوازی آماده‌سازی می شود. این مرحله شامل دریافت مواد زاید، دسته‌بندی، جداسازی و کاهش اندازه می‌باشد. مرحله دوم شامل اضافه کردن رطوبت و موادغذایی، مخلوط نمودن، تنظیم pH درحدود ۷ و دما در حدود ۳۷°C- ۳۳ و بالاخره هضم بی‌هوازی با جریان مداوم از مواد است (۵). در اکثر عملیات با اضافه کردن لجن فاضلاب به مواد زاید رطوبت و مواد غذایی مورد نیاز فرآیند تأمین می‌گردد. بعد از سازگاری میکروارگانیسم‌ها با محیط جدید با اضافه کردن مواد زاید جامد به عنوان غذا یا بارگذاری اندک روزانه مواد تلقیحی خارج می‌گردد. این کار تا زمانی که حجم مفید راکتور از مواد جامد پر شود ادامه پیدا می‌کند. سازگاری باکتری‌ها با خوراک معمولاً در یک دوره زمانی معقول (حدود یک تا دو ماه) انجام می‌شود. برای راه اندازی راکتور از جزء آلی مواد زاید جامد شهری به عنوان خوراک و پساب کارخانه شیر به عنوان ماده تلقیح استفاده گردید. پس از آب بندی راکتور لجن بی‌هوازی فاضلاب تهیه شده در راکتور بارگذاری گردید. در ابتدا خوراکی به آن اضافه نشد، ولی بعد از چند روز با خوراک‌هایی همچون شکر و مقدار بسیار کمی هم مواد فسادپذیر چرخ شده خوراک‌دهی شد. در شروع کار pH هاضم در حد ۷/۳۵ بود ولی در روزهای بعد از بارگذاری به علت تولید اسیدهای چرب و تجمع آن ها pH قدری کاهش یافت و به کم تر از ۶ نیز رسید(۶).

در این مطالعه برای بالا بردن pH از بافر بی‌کربنات سدیم به میزان ۸۴ میلی‌گرم به ازای هر گرم جامدات کل استفاده شد(۵). نحوه خوراک‌دهی بدین صورت بودکه ابتدا پسماندهـــای فسادپذیر از دیگر اجزای زباله جدا و سپس با چرخ گوشت دستی خرد شد تا اندازه ذرات خوراک به کم تر از ۳ میلی‌متر رسید. سپس به اندازه لازم بافر بی‌کربنات سدیم به آن اضافه و با مقداری لجن گرفته شده از راکتور معمولاً با نسبت ۱ به ۴ کاملاً مخلوط گردید تا یک محلول یکنواخت به دست آید و بعد از طریق شیر ورودی به هاضم خورانده شد. با توجه به این که در این مطالعه از هیچ وسیله‌ای برای اختلاط استفاده نشد، لذا برای جلوگیری از ته‌نشینی مواد جامد و یکنواختی محلول در رآکتور عمل باز چرخش به صورت دستی انجام گرفت. میزان بارگذاری دوره خو گرفتن میکروارگانیسم‌ها یعنی در حدود یک ماه اول بارگذاری ۱ کیلوگرم وزن خشک عاری از خاکستر مواد جامد فرار در هر مترمکعب در روز ($KgVS/m^3.d$) راکتور بود و بعد از ماه اول بارگذاری این مقدار به حدود$۲KgVS/m^3.d$ راکتور رسید. در این مرحله باکتری‌های مختلف با محیط جدید و خوراک بیومس جدید تطبیق پیدا کرده بودند و تولید بیوگاز نیز در حد قابل قبولی بود(۷).

فاز دوم مرحله بهره برداری از هاضم می باشد که در این مرحله هاضم در دو درجه حرارت میان‌دوست (°C ۳۷-۳۳) و گرما دوست (°C ۶۰-۵۰) مورد بهره برداری قرار گرفت (۶). در اجرای اول رآکتـــور در شـــرایط گرما دوست بهره‌برداری شد و با توجه به این که بهره بـــرداری با خوراک‌دهی پیوسته همراه بود، لذا تناوب خوراک‌دهی به صورت یک بار درروز انجام می‌شد. در ابتدای بهره برداری مقـــدار خوراک $KgVS/m^3.d$ ۲-۱ در نظر گرفته شد و به تدریج این مقداربه $KgVS/m^3.d$ ۴ افزایش یافت. زمان ماند هنگامی که خوراک دهی به $KgVS/m^3.d$ ۴ رسید ۲۵ تا ۳۰ روز می‌باشد (۸). 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 یک بار هم نمونه‌گیری جهت اندازه‌گیری و بررسی پارامترهایی همچون فسفر کل، نیتروژن کل، فلزات و قلیائیت انجام می‌شد. ولی با توجه به قطع و وصل شدن ترموستات به علت درجه حرارت بالا عملاً تنظیم دما با نوسانات زیاد مواجه بود و با توجه به حساسیت بالای باکتری‌های متان‌زای گرمادوست به نوسانات گرمایی عمل هضم بی‌هوازی یا مشکل مواجه می‌شد که این امر در نوسانات گاز متان نیز به خوبی قابل مشاهده بود. به خاطر همین مسأله در این مطالعه درجه حرارت مزوفیلیک انتخاب شد. معمولاً درجه حرارت محیط هاضم در $^{\circ}C$ ۳۵ نگه داشته شد. آن گاه بارگذاری بعد از دوره خوگیری میکروارگانیسم‌ها با محیط جدید و پایداری فرآیند هضم بی‌هوازی به حدود ۲۵-۵ کیلوگرم جامدات فرار در هر متر مکعب در روز و در زمان ماند ۲۰-۱۵ روز انجام شد. مشخصات خوراک بیومس جزء آلی مواد زاید جامد شهری در جدول ۱ آورده شده است(۸).

جدول ۱- مشخصات خوراک هاضم

(پسماندهای غذایی خرد شده)

پارامتر	واحد	مقدار
جامدات کل	درصد وزن	۱۷/۳
جامدات فرار	%TS	۹۱/۷
COD	mg/l	۲۱۵۰۰
TKN	mg/l(N)	۸۲۵
TP	mg/l(p)	۳۹۶
Fe	mg/l	۱۶۴۰
Mn	mg/l	۲۵
Ni	mg/l	۳
pH	_	۵/۹۰

در مرحله دوم مواد حاصل از فرآیند هضم بی‌هوازی موادآلی فسادپذیر در شرایط ترموفیلیک اجرای اول از راکتور تخلیه گردید و مجددا با لجن بی‌هوازی فاضلاب پر شد و درجه حرارت بین $^{\circ}C$ ۳۷-۳۳ تنظیم گردید. روند بارگذاری در این دوره از ۲-۱ $KgVS/m^3.d$ شروع و در نهایت به ۲۵-۵ $KgVS/m^3.d$ رسید. زمان ماند در این دوره هضم بین ۲۰-۱۵ روز قرار داشت و در 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(۶).

یافته های تحقیق

در مرحله بهره برداری از راکتور هاضم دو درجه حرارت میان‌دوست و گرما دوست مورد بررسی قرارگرفت.در طی این بررسی تغییرات تولید گاز متان و نوسانات بیوگاز تجمعی در هر دو مرحله گرمادوست و میان دوست تعیین گردیده و نتایج مطابق با جداول ۲ و ۳ به دست آمد.

جدول ۲- نتایج اولیه فرآیند هضم در شرایط گرما دوست (۵۰-۶۰ °C)

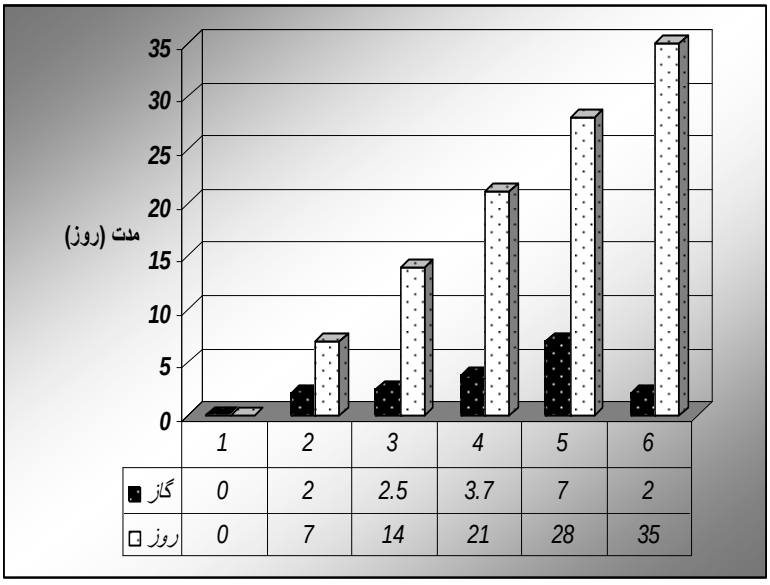
درصد کاهش جامدات کل	درصد کاهش جامدات فرار	درصد متان	تولید گاز (L/m^3d)	بهره دهی ویژه متان $m^3/KgVS$
۱۸/۵	۲۱/۵	۴۳	۱۴۵	۰/۱

جدول ۳- نتایج اولیه فرآیند هضم درجه حرارت میان‌دوست (۳۳-۳۷ °C)

درصد کاهش جامدات کل	درصد کاهش جامدات فرار	درصد متان	تولید گاز (L/m^3d)	بهره دهی ویژه متان $m^3/KgVS$
۵۰	۵۱	۵۳-۸۲	۲۳۰۰-۹۷۰۰	۰/۲۱-۰/۶۵

تولیـــــد *گاز* در فرآیند هضم در شرایط گرما دوست (۵۰-۶۰ °C)

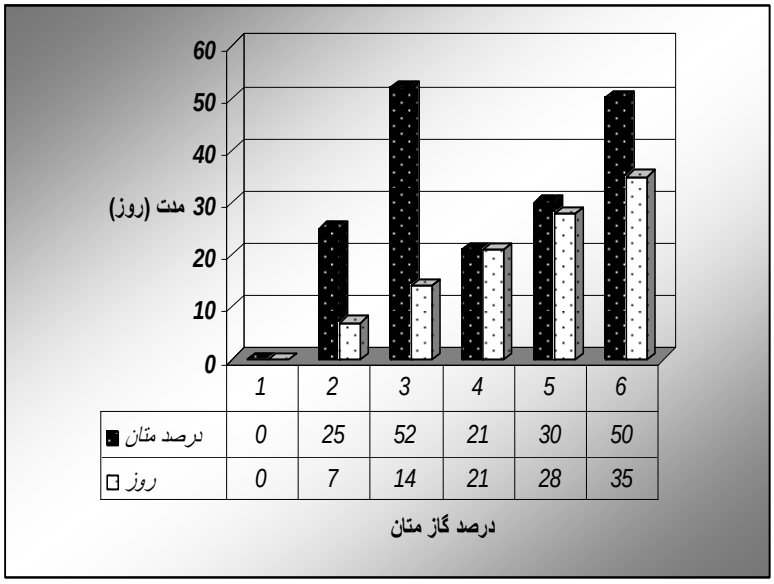
نمودار ۲ تغییرات تولید گاز در طی فرآیند هضم در شرایط گرما دوست (۵۰-۶۰ °C) جزء فسادپذیر زباله‌های شهری را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود تغییرات خیلی زیادی در تولید گاز وجود ندارد. تنها در هفته چهارم تولید گاز دارای اوج بوده که به خاطر افزایش لجن فاضلاب بوده و پس از آن دوباره تولید گاز به سطح پایینی رسیده است. با توجه به این که pH در اواخر اجرا مقداری بالا رفته ولی تولید گاز آن چنان افزایش پیدا نکرده است. مقدار تولید کل گاز در این اجرا بسیار پایین و به طور میانگین کم تر از ۳ لیتر در روز بوده است.



نمودار ۲- تغییرات تولید گاز در فرآیند هضم در شرایط گرما دوست (۵۰-۶۰ °C)

تغییرات درصد متان درفرآیند هضم در شرایط گرما دوست (۵۰-۶۰ °C)

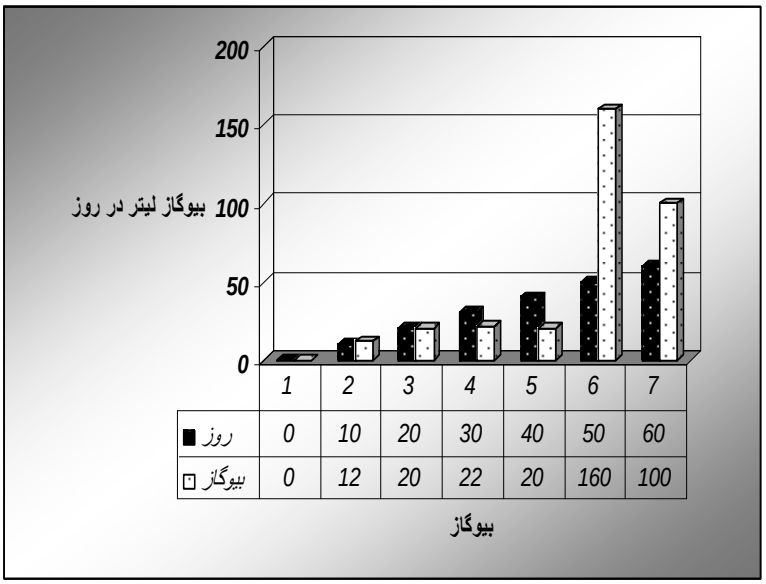
مطابق با نمودار ۳، درصد متان نوسانات زیادی دارد. علت‌هایی که می توان برای این نوسانات ذکر نمود شامل تغییرات درجه حرارت و نزدیک شدن دما به حد بهینه برای باکتری‌های متان‌زای موجود در محیط، تناوب خوراک‌دهی و ترکیبات خوراک می‌باشد(۷). ولی به طور کلی در اوایل بهره‌برداری درصد متان در حد قابل قبول و بالایی بوده ودر زمانی که pH به پایین‌ترین سطح خود رسیده به کم ترین میزان می رسد. در اواخر اجرای اول باز هم درصد متان افزایش پیدا کرده است. درصد متان در اجرای اول به طور میانگین ۴۵٪ می‌باشد. در اجرای اول به علت تولید کم گاز و متان مقدار کمی از مواد آلی به گاز تبدیل شده و کاهش چندانی در جامدات کل و جامدات فرار مشاهده نمی‌گردد. در این اجرا حدود ۲۰٪ به ترتیب جامدات کل و جامدات فرار کاهش یافته و این نشان دهنده فعالیت پایین میکروارگانیسم‌ها است.



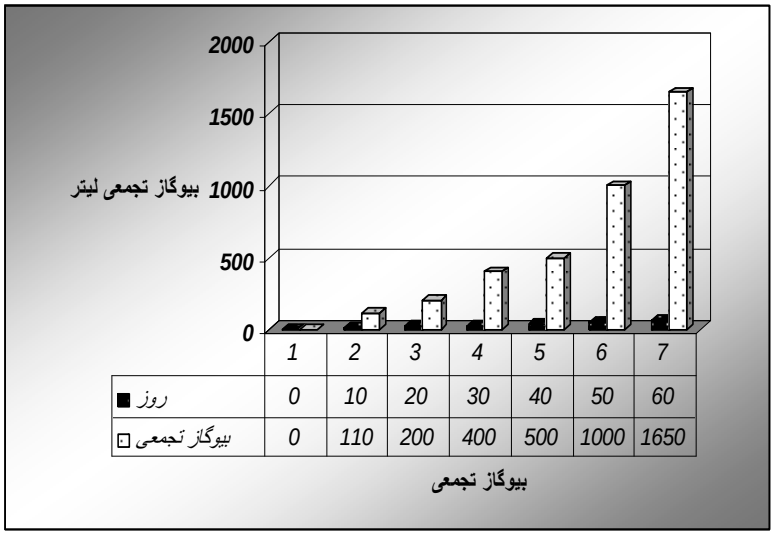
نمودار ۳- درصد تغییرات تولید گازمتان در فرآیند هضم در شرایط گرما دوست (۵۰-۶۰ °C)

تولید گاز در فرآیند هضم درجه حرارت میان گرمادوست (۳۳-۳۷ °C)

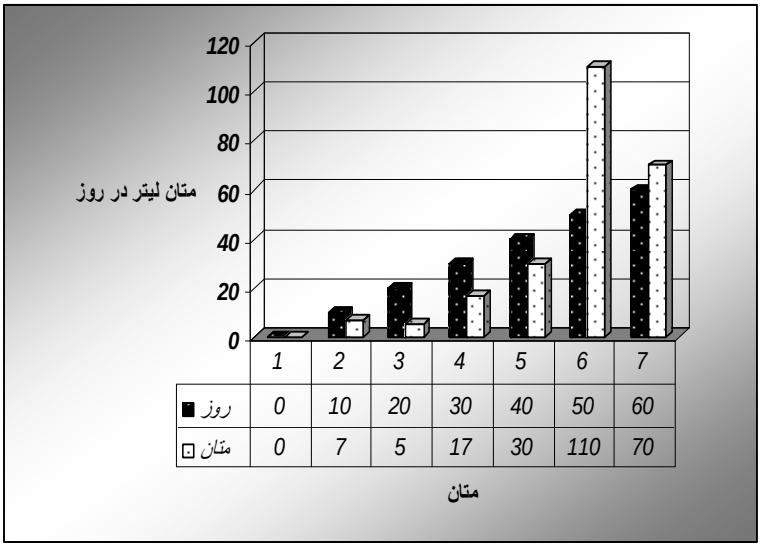
در این اجرا تولید بیوگازسیر صعودی داشت و در ابتدا مقدار آن کم بود که به علت بارگذاری کم تر و دوره خو گرفتن میکروارگانیسم‌ها به محیط جدید است(۵) و در اول هفته سوم این میزان بالا رفت و به بیش از ۲۰ لیتر در روز رسید. درصد متان نیز این سیر را پیموده است. همان گونه که از نمودارهای ۴ و ۵ نمایان است تولید بیوگاز و بیوگاز تجمعی در حد قابل قبولی می باشد. به طورمتوسط در این دوره ۴۵ لیتر در روز گاز تولید شد که ۶۵٪ آن متان می‌باشد. البته در زمانی که فرآیند هضم پایدار گردید. درصد متان بالاتر از ۶۵ ٪ هم بوده است. بهره‌دهی ویژه متان نیز ۰/۶۵ – ۰/۲۱ مترمکعب درکیلوگرم جامدات فرار افزوده شده می‌باشد. در این اجرا بیش از ۲۵۰۰ لیتر گاز تشکیل شده است.



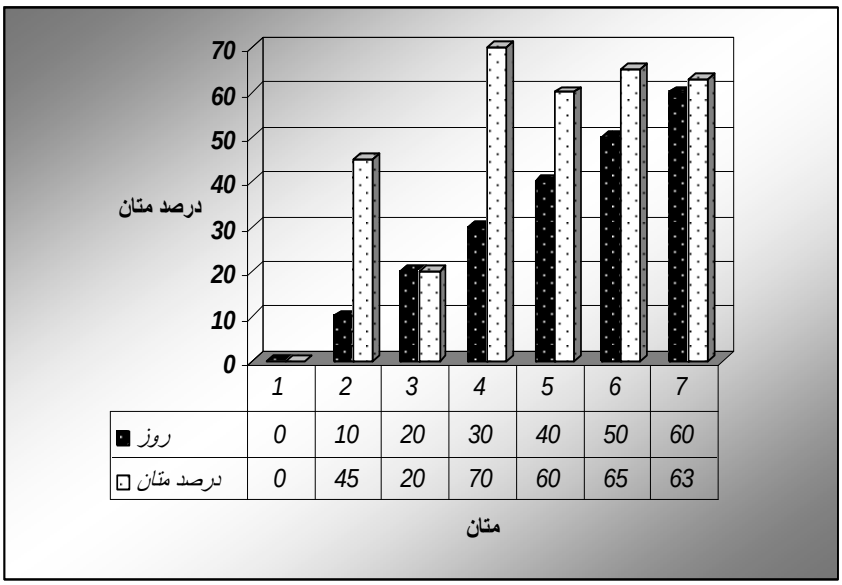
نمودار ۴ - نوسانات تولید گازدر فرآیند هضم دردرجه حرارت میان گرمادوست (°C ۳۷-۳۳)



نمودار ۵- نوسانات بیوگاز تجمعی در فرآیند هضم در درجه حرارت میان گرمادوست (°C ۳۷-۳۳)



نمودار ۶- نوسانات تولید گازمتان در فرآیند هضم در درجه حرارت میان گرمادوست (°C ۳۷-۳۳)



نمودار ۷- نوسانات درصد گازمتان درفرآیند هضم دردرجه حرارت میان گرمادوست (°C ۳۷-۳۳)

بحث و نتیجه گیری

مطابق بررسی های به عمل آمده متوسط تولید زباله در شهرستان لنگرود معادل ۱۱۰ تن در روز می باشد که به طور متوسط ۷۰٪ آن را مواد آلی فساد پذیر تشکیل می دهد (۳). با توجه به این که به ازای هر کیلوگرم زباله فساد پذیر در شهرستان لنگرود حدود ۰/۲۱ تا ۰/۶۵ (به طور میانگین ۰/۴۳) متر مکعب گاز متان قابل استحصال است . بنابراین متوسط تولید سالیانه مواد آلی فسادپذیر در شهر لنگرود حدود ۲۸۱۰۵ تن می باشد که ازاین میزان زباله حدود ۱۲۰۸۵۱۵۰ مترمکعب گاز متان در سال قابل استحصال است، لذا با توجه به تحقیقات انجام گرفته پیشنهادهای زیر قابل ارایه است:

۱- با توجه به این که به طور متوسط به ازای هر مترمکعب گاز ۳ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی قابل استحصال می باشد (۴) بنابراین از گاز متان تولیدی میتوان سالیانه حدود ۳۶ میلیون کیلووات ساعت برق تولید نمود که حدود ۳۰٪ برق مصرفی شهرلنگرود در سال است.

۲- سیستم های بی هوازی علاوه بر تولید گاز قادر به تولید درصد قابل ملاحظه ای از کود مرغـــوب نیز می باشندکه به سبب عمل آوری در شرایط تخمیر فاقد عوامل پاتوژن می باشند و می توانند در اصلاح خاک مورد استفاده قرار گیرند.

۳- گاز متـــان تولیـــدی با اعمال روش های تصفیه می تواند به منظور مصارف شهری به نزدیک ترین خط لوله گاز شهری متصل گردد که این امر سبب صـــرفه جـــویی در مصـــرف سوخت های فسیلی می شود. این گاز در هنگام سوختن کوچک ترین آلودگی محیط زیست ندارد.

۴- تولید کود و گاز از طریق هضم بی هوازی موجب کاهش تولید شیرابه به میزان ۹۰٪ می شود ، چرا که قسمت اعظم شیـــرابه به عنوان ماده کمکی به منظور تســـریع تخمیر در سیستم بازچـــرخـــش می نماید(۸) که از این طریق علاوه بر مهار شیرابه، از آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی و نیز سایر مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی جلوگیری به عمل می آید .

۵- سازمان شهرداری به لحاظ تولید انبوه زباله و افزایش جمعیت شهرها مجبور به انتخاب زمین دفن طی دوره های بیست ساله می باشد که به دلیل مشکلات مالکیت اراضی و کاربری کشاورزی و ...مبالغ هنگفتی را باید هزینه نماید و از سوی دیگر بعد از تکمیل مکان دفن، زمین مورد نظر به واسطه نشت گاز، خطر انفجار و نشست زمین از محور توسعه شهری خارج شده و به کاربری هـای سبک اختصـــــاص می یابد (۳) در صورت موفقیت در اجرای این طرح نیاز شهرداری به خرید زمین برطرف می شود و از هدررفت زمین جلوگیری به عمل می آید و زمین اختصاص داده شده در صورت مکان یابی درست می تواند به طور دایمی مورد استفاده قرار گیرد که این امر در بلند مدت دارای مزیت های اقتصادی و اجتماعی و زیست محیطی بالقوه می باشد.

منابع

۱. زارعی ساری، حسین، ۱۳۷۳، شیوه های جمع اوری و دفن بهداشتی زباله در شهرهای نور و علمده ، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۲. اسکندری، غلامرضا، ۱۳۷۷، جمع آوری و دفن بهداشتی و امکان بازیابی از زباله های شهر بابل، پروژه کارشناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۳. طرح جامع زباله های روستایی استان گیلان، ۱۳۸۴، مطالعات پژوهشکده جهاد دانشگاهی استان گیلان .

۴. خلاصه مقالات سومین همایش ملی مدیریت پسماند، سازمان شهرداری و دهیاری کشور ،۱و۲ اردیبهشت ۱۳۸۶.

5. **Salaff، Stephen**-Anaerobic Digestion in Toronto، Canada-Renewable Energy World، April، 2000.

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

7. **Chhabria، N.D.** – Wabio Anaerobic Digestion process to produce energy from garbage-Bio Energy News-september 1999، pp: 13-15.

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