

هضم بی‌هوازی و تولید گاز متان از پسماندهای مرغداری

انیس روشنی^۱، جلال شایگان^{۲*}، آزاده بابایی^۳

anisroshani@gmail.com

۱- کارشناس ارشد، مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲- استاد، دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف

a.babae.h@gmail.com

۳- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۳ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۲۵

چکیده

مقاله حاضر به بررسی تأثیر بار آلی و دما روی هضم بی‌هوازی پسماند حاصل از یک واحد مرغداری در شرایط دمایی میانه‌دوست پرداخته. در این تحقیق از هاضم بی‌هوازی در مقیاس آزمایشگاهی به حجم ۷۰ لیتر و زمان اقامت ۱۵ روز استفاده شد. در مرحله اول، بارگذاری‌های مختلف ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۳ کیلوگرم مواد آلی بر متر مکعب بر روز مورد بررسی قرار گرفت. میزان حذف جامدات آلی ورودی و مقدار گاز تولیدی در بارگذاری ۳ کیلوگرم مواد آلی بر متر مکعب بر روز به بیشترین میزان، یعنی ۷۲٪ حذف جامدات آلی و ۴۴/۸ لیتر گاز زیستی در روز رسید. درصد گاز متان موجود در بیوگاز در این بارگذاری در محدوده ۵۳٪ تا ۷۰٪ و بازده گاز زیستی متان $0.12 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ محاسبه شد که با بارگذاری بیشتر، درصد حذف جامدات آلی، سرعت تولید گاز و بازده گاز متان کاهش یافت. در مرحله دوم آزمایش، تأثیر دماهای ۳۰، ۳۴°C و ۳۴°C بر بارگذاری بهینه به دست آمده از مرحله اول بررسی شد. بازده گاز متان در دمای ۳۰ و ۲۵°C در مقایسه با دمای ۳۴°C کاهش یافت و به ترتیب به میزان $0.96 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ و $0.55 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ رسید. درصد حذف جامدات آلی ورودی در دمای ۳۰ درجه، ۶۹٪ و در دمای ۲۵°C با اندکی کاهش به ۶۱٪ رسید. افزایش خاش (خواست اکسیژن شیمیایی) تا ۴۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کاهش pH تا ۶/۸ فعالیت راکتور را کاهش داد، و محدوده مناسب خاش ۳۵۰۰-۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH مناسب تولید گاز در این هاضم ۷/۳-۸ تعیین شد. با توجه به نتایج به دست آمده، این راکتور با بار آلی $3 \text{ kgVS}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ دمای ۳۴°C توانایی تولید ۴۴/۸ لیتر گاز در روز را دارد که می‌توان از آن به عنوان منبع سوخت استفاده کرد.

کلید واژه

بیوگاز، پسماند مرغداری، کاه، هضم بی‌هوازی.

سر آغاز

فاضلاب‌های شهری و هزینه‌بر بودن دفع پسماند به صورت خاکچال، یا سوزاندن، تصفیه پسماندهای روزافزون کشاورزی و دامی را به مشکلی جدی برای صاحبان صنایع تبدیل کرده است.

در سالهای اخیر، هضم بی‌هوازی به عنوان روش تجزیه زیستی به منظور تصفیه پسماندهای آلی مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. هدف از هضم بی‌هوازی پسماند تبدیل آن به دو گروه از مواد با ارزش و مورد نیاز، یعنی بیوگاز و کود کشاورزی است. سایر مزایای زیست محیطی این روش به طور خلاصه عبارتند از:

- تولید بیوگاز به عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر.
- کاهش تصاعد گازهای گلخانه‌ای.
- جلوگیری از آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی.
- کاهش انگل‌ها و سایر عوامل بیماریزا به دلیل تجزیه در حین عملیات هضم.

در کشور ایران سالانه بیش از ۴۰۰ میلیون تن ضایعات کشاورزی و دامی تولید می‌شود (وب سایت رسمی سازمان انرژی‌های نو). عدم مدیریت جامع پسماندهای دامی منبع مهم آلودگی آب و هوا بشمار می‌رود. رها شدن گاز آمونیاک، نفوذ ترکیبات نیتروژن و فسفر به آبهای سطحی و زیرزمینی، وجود عوامل بیماریزا از مهمترین تهدیدهای این پسماندهاست. افزون بر این ۱۸ درصد از تصاعد گازهای گلخانه‌ای مربوط به صنایع دامی گزارش شده است. این در حالی است که مدیریت کارا و مناسب پسماندهای دامی افزون بر دفع خطرهای فوق، می‌تواند آن را به منبع تجدیدپذیر انرژی و تولید کود و مواد مغذی برای استفاده در بخش کشاورزی تبدیل کند. وضع قانون‌های سخت‌گیرانه در خصوص رهاسازی پساب‌های صنعتی به سیستم تصفیه

مواد و روشها

مشخصات هاضم بی‌هوازی

راکتور بی‌هوازی آزمایشگاهی ساخته شده دارای ۷۰ لیتر حجم، ۴۲ سانتیمتر قطر و ۵۰ سانتیمتر ارتفاع است. یک شیر ورودی در ارتفاع ۳۰ سانتیمتری از سقف و یک شیر خروجی در کف و ۳ شیر برای نمونه‌برداری از مواد موجود در هاضم طراحی شده است که به منظور یکسان بودن شرایط نمونه‌ها، کلیه نمونه‌گیری‌ها از شیر وسط انجام شد. در شکل شماره (۱) طرح شماتیک هاضم ساخته شده نمایش داده شده است. راکتور از جنس پلکسی گلس بوده که با سه گرمکن الکتریکی ۳۰۰ وات گرمادهی شده و دمای هاضم در مرحله اول آزمایش بر روی ۳۴ درجه سلسیوس ثابت نگه داشته شد و در مرحله دوم، آزمایش‌ها در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۴°C انجام گرفت. شیر خروج گاز در قسمت هرمی شکل بالای راکتور قرار داده شده است و میزان گاز با سیستم جابه‌جایی آب اندازه‌گیری شده است.

خصوصیات خوراک ورودی

مرحله راه اندازی در این سیستم به کمک لجن بی‌هوازی تلقیحی واحد تصفیه فاضلاب کارخانه شیر پگاه انجام شد که ۲۴ روز به طول انجامید. ۴۰ لیتر از حجم راکتور با لجن و ۲۰ لیتر آن با آب پر شد و سیستم به صورت دوغابی عمل کرد. در هفته اول راه‌اندازی از نشاسته به عنوان خوراک کمکی به منظور تغذیه و تقویت ریزاندام‌های بی‌هوازی استفاده شد و پس از ایجاد پایداری در شرایط هاضم، خوراک اصلی به هاضم وارد شد. خوراک ورودی شامل پسماند واحد مرغداری (مخلوطی از کود مرغی و کاه) در نظر گرفته شد.

به دلیل میزان بالای آمونیاک کود، از کاه برای تنظیم نسبت C/N در محدوده مطلوب ۲۰ تا ۳۰ استفاده و خوراک به صورت روزانه به نسبت وزنی ۸۰ درصد کاه و ۲۰ درصد کود (در کلیه بارگذاری‌ها) به هاضم وارد شده است. مشخصه‌های گوناگونی بر روی عملکرد سیستم بی‌هوازی تأثیر می‌گذارند که از مهمترین آنها می‌توان به نوع خوراک، بار آلی، دما، اختلاط، زمان اقامت و pH نام برد.

در تحقیق حاضر مشخصه‌های بارگذاری آلی و دما مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا دما در ۳۴ درجه سلسیوس (میان‌ه دوست) ثابت بوده و بارگذاری آلی بهینه برای سیستم پایلوت تعیین شد و پس از تعیین بار آلی بهینه، تأثیر کاهش دما بر بازده فرایند بررسی شده است.

- بهبود کود.

- کاهش بوی نامطبوع و دفع حشرات مزاحم.

- رشد اقتصادی کشاورزان و دامپروران.

در چند دهه اخیر فرآورده‌های طیور نقش مهمی در تأمین گوشت و پروتئین مورد نیاز جوامع مختلف ایفا کرده است و در نتیجه ضایعات دامی و پسماندهای آلی مربوط به این بخش از قبیل فضولات دامی و پساب کشتارگاهها در حال افزایش است. Callaghan و همکاران (2002) بازده تولید گاز متان از هضم بی‌هوازی مخلوط تره بار و کود مرغی را در هاضم بی‌هوازی و زمان اقامت ۲۱ روز در دمای ۳۴ درجه سلسیوس در نسبت‌های متفاوت وزنی پسماند تره‌بار و کود مرغی، $0.45-0.23$ m³/kgVS برآورد کرده‌اند.

Salminen, Rintala (2002) در هضم بی‌هوازی فاضلاب

یک کشتارگاه مرغ در دمای ۳۱ درجه سلسیوس و زمان اقامت ۵۰ تا ۱۰۰ روز، بازده گاز متان را $0.55-0.52$ m³/kgVS محاسبه کرده‌اند.

Hashimoto (1986) اعلام کرده است کود مرغی بتنهایی به

دلیل بالا بودن میزان آمونیاک قادر به هضم شدن نبوده و می‌باید از پسماندهای دارای کربن بالا برای بالا بردن بازده هضم استفاده کرد.

هضم همزمان چند نوع پسماند متفاوت سبب می‌شود مواد مغذی گوناگون که ممکن است هر کدام از یک ماده غنی باشند در اختیار ریزاندام‌های بی‌هوازی قرار گیرد و بازده هضم بالا رود. کود مرغی ترکیبی قلیایی و غنی از آمونیاک است و هضم آن بتنهایی در یک فرایند بی‌هوازی دشوار است.

به همین دلیل و به منظور تأمین نسبت کربن به نیتروژن (C/N) مناسب می‌باید از هضم همزمان آن با پسماندهای دارای کربن و سلولز بالا از قبیل پسماند سبزی‌ها و سایر پسماندهای کشاورزی استفاده شود.

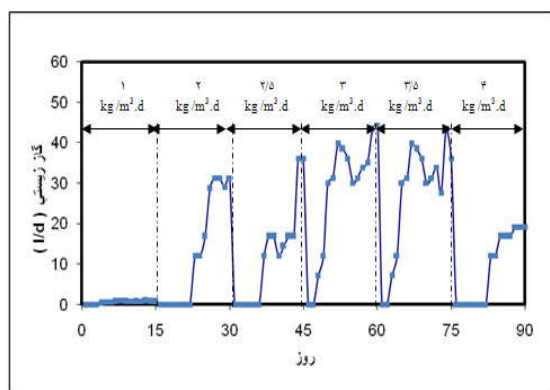
استفاده از کاه به عنوان منبع کربن می‌تواند هضم بی‌هوازی کود مرغی را آسانتر کند و هدف اصلی این تحقیق استفاده از فرایند هضم بی‌هوازی به عنوان یک فناوری به منظور تصفیه پسماندهای کشاورزی و دامی و استفاده از گاز تولیدی به عنوان نوعی منبع انرژی است. در تحقیق حاضر تأثیر مشخصه‌های بارگذاری آلی و دما در هضم بی‌هوازی مخلوط کود مرغی و کاه مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول شماره (۱): خصوصیات خوراک ورودی

مشخصه	کود مرغی	گاه
نیترژن آمونیاکی (%W/W)	۵/۶۵	۰/۶۱
نیترژن کل (%W/W)	۵/۶۷	۰/۶۳
خاش (%W/W)	۳۵/۸۸	۵۱/۸۸
نسبت C/N	۶/۳۵	۸۴/۲۲
pH	۷/۳	-

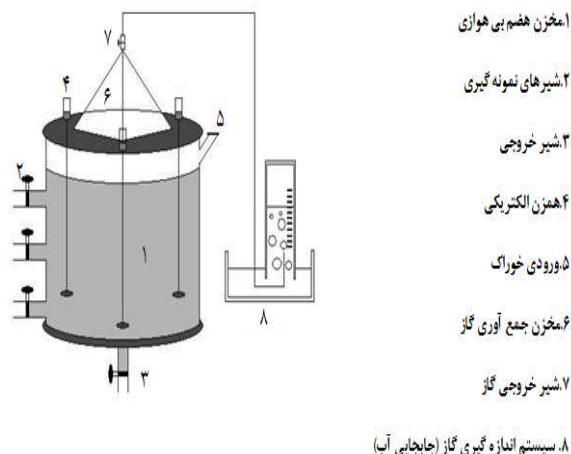
نتایج و بحث**تأثیر بارگذاری بر عملکرد هاضم**

در شکل شماره (۲) روند تغییرات میزان گاز تولیدی در بارگذاری‌های گوناگون نشان داده شده است. در بارگذاری اول (۱ kgVS/m³.d) میزان گاز تولیدی به دلیل عدم سازگاری ریز اندامها با خوراک اصلی بسیار پایین است. بیشترین میزان تولید گاز در بارگذاری چهارم و در حدود ۴۴/۸ لیتر در روز به دست آمد که این بارگذاری در این سیستم به عنوان بارگذاری بهینه شناخته شد. با افزایش بارگذاری، روند صعودی تولید گاز متوقف شده و میزان گاز تولیدی به اندازه چشمگیری کاهش یافت. این کاهش به دلیل تجمع اسیدهای فرار و افزایش میزان اسیدهای چرب و در نتیجه کاهش pH تا میزان ۶/۸ است. باکتری‌های متان‌ساز به کاهش pH بسیار حساس بوده و در pH های پایین فعالیت باکتری‌های متان‌ساز کاهش و فعالیت باکتری‌های اسید ساز افزایش می‌یابد.

**شکل شماره (۲): روند تغییرات میزان گاز تولیدی در****بارگذاری‌های گوناگون**

در شکل شماره (۳) روند تغییرات میزان گاز متان تولید شده نشان داده شده است. میزان تولید متان در بارگذاری بهینه ۳۱/۴ لیتر در روز اندازه‌گیری شد. بیشترین درصد متان در گاز تولیدی در بارگذاری بهینه و به میزان ۷۰/۲ درصد و کمترین درصد متان در بارگذاری ششم و به میزان ۳۰ درصد تعیین شد. فعالیت زیاد

در جدول شماره (۱) خصوصیات خوراک ورودی مشخص شده است. در تمامی بارگذاری‌ها رطوبت خوراک ورودی بر روی ۱۰٪ و جامد کل ورودی بر روی ۹۰٪ تنظیم شده است که ۸۰٪ درصد جامد ورودی را جامد آلی تشکیل داده است. میزان نیترژن آمونیاکی در خوراک ورودی ۵/۶ درصد جامد ورودی است.

**۸. سیستم اندازه‌گیری گاز (جابه‌جایی آب)****شکل شماره (۱): طرح شماتیک هاضم بی‌هوازی****روشها**

خوراک روزانه و به صورت نیمه پیوسته وارد راکتور می‌شود. با توجه به زمان ماند ۱۵ روز، روزانه ۴ لیتر خروجی از سیستم گرفته شده است که شامل لجن، شیرابه، مواد هضم شده و مواد هضم نشده، است.

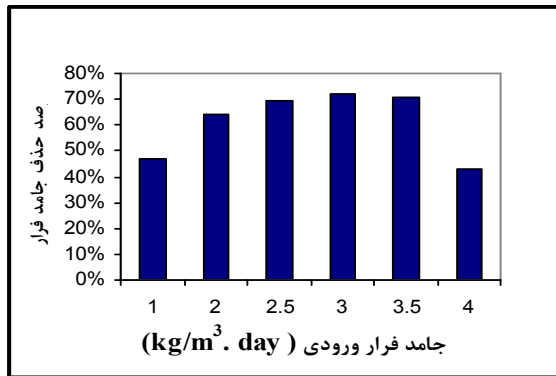
میزان جامد کل خروجی^۱ از هاضم از طریق صاف کردن نمونه و سپس خشک کردن آن در کوره ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت و میزان جامد آلی خروجی^۲ از هاضم از طریق سوزاندن جامد کل در کوره ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت، اندازه‌گیری شده است.

محاسبه حجم گاز تولیدی با سیستم جابه‌جایی آب و فشار گاز با مانومتر به صورت روزانه انجام شده است. آزمایش‌های گوناگونی مانند خواست اکسیژن شیمیایی^۳ (خاش) با روش رنگ‌سنجی، قلیابیت و pH به صورت روزانه بر روی شیرابه خروجی صورت گرفته است. تجزیه و تحلیل گاز تولیدی و بازده تولید گاز متان (m³/kgVS added) نیز روزانه محاسبه شده است.

در شکل شماره (۵) روند تغییرات درصد حذف جامد فرار در ۶ بارگذاری نشان داده شده است. میزان حذف جامدات آلی ورودی در بارگذاری چهارم به مقدار بیشینه خود، یعنی ۷۲ درصد و در بارگذاری پنجم ($3/5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$) به میزان ۷۰٪ رسید که نشان دهنده تبدیل قسمت زیاد جامدات آلی ورودی به گاز در این بارگذاری هاست. درصد حذف در بارگذاری ششم به حداقل میزان خود، یعنی ۴۳ درصد رسیده است.

با توجه به تفاوت بسیار کم درصد حذف در بارگذاری‌های چهارم و پنجم این نکته قابل ذکر است که اگر چه درصد حذف در بارگذاری پنجم اندکی پایین تر است؛ کارایی سیستم در مقایسه با بارگذاری چهارم به میزان ۱۷٪ افزایش یافته است. بنابراین اگر هدف، هضم مقدار بیشتر مواد جامد است بارگذاری $3/5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ مناسب تر است، اگر چه سایر مشخصه‌ها نیز می‌تواند ملاک عمل قرار گیرد.

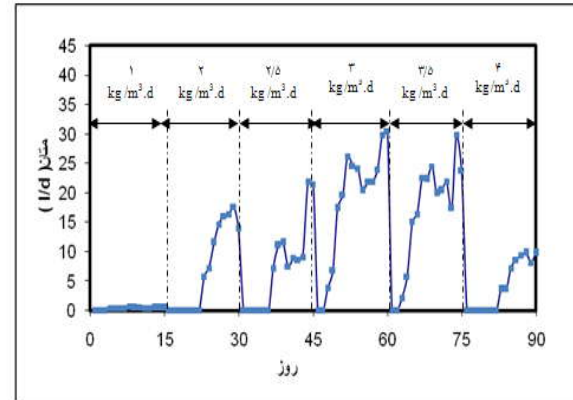
برای مثال میزان بیوگاز و گاز متان تولید شده در بارگذاری $3 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ به حداکثر میزان خود رسید که به این دلیل این بارگذاری، بارگذاری بهینه سیستم است.



شکل شماره (۵): میزان درصد حذف در بارگذاری های گوناگون

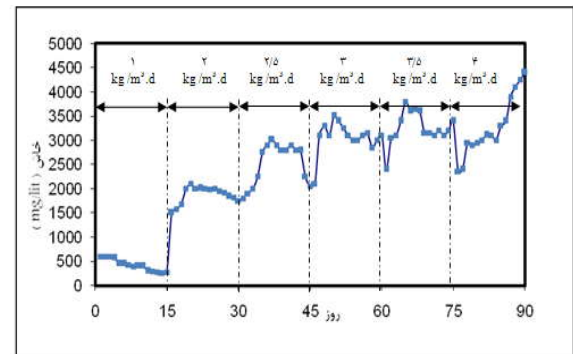
در شکل شماره (۶) بازده تولید بیوگاز و متان نسبت به جامد آلی ورودی در بارگذاری‌های مختلف نشان داده شده است. میزان بازده تولید گاز در بارگذاری بهینه به بالاترین میزان خود معادل ۰/۱۹ مترمکعب بیوگاز تولیدی به بار آلی ورودی رسید. بازده تولید گاز در بارگذاری‌های بالاتر کاهش یافت که نشان دهنده عملکرد نامناسب هاضم در بارگذاری‌های بالاتر است. بازده تولید متان در بارگذاری بهینه به میزان ۰/۱۲ مترمکعب گاز متان به کیلوگرم بار آلی ورودی محاسبه شده است.

باکتری‌های اسید ساز سبب اسیدی شدن و در نتیجه افزایش pH راکتور و بالا رفتن درصد دی اکسید کربن در گاز تولیدی شد.

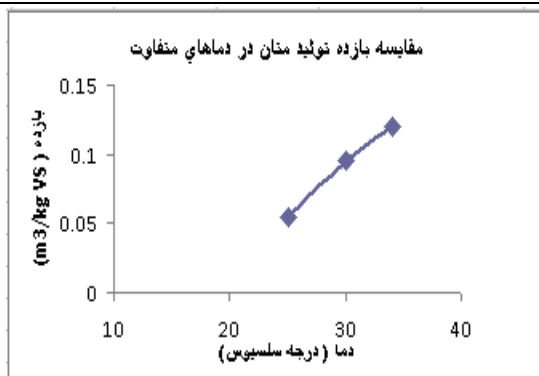


شکل شماره (۳): روند تغییرات میزان متان تولیدی در بارگذاری های گوناگون

کاهش درصد متان در گاز تولیدی به معنی افزایش دی اکسید کربن موجود در گاز است. زمانی که میزان دی اکسید کربن موجود در گاز افزایش یابد نشان دهنده غلبه ریز اندام‌های اسید ساز بر ریز اندام‌های متان ساز است در نتیجه منجر به کاهش pH و قلیابیت هاضم می‌شود. همین موضوع باعث شده است تا در بارگذاری بهینه و حداکثر بازده ریز اندام‌های متان ساز، میزان گاز متان تولید شده به بیشینه مقدار خود دست یابد. در شکل شماره (۴) روند تغییرات خاش نشان داده شده است. میزان خاش در بارگذاری بهینه به ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رسید و سیستم در این میزان خاش در حالت پایدار قرار دارد اما با افزایش بارگذاری، میزان خاش به ۴۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رسید و گاز تولیدی کاهش یافت. این مطلب نشان دهنده فعالیت بالای فرایند تخمیر در این بارگذاری است که منجر به افت pH و کاهش فعالیت باکتری‌های متان ساز می‌شود.



شکل شماره (۴): روند تغییرات میزان خاش در بارگذاری های گوناگون



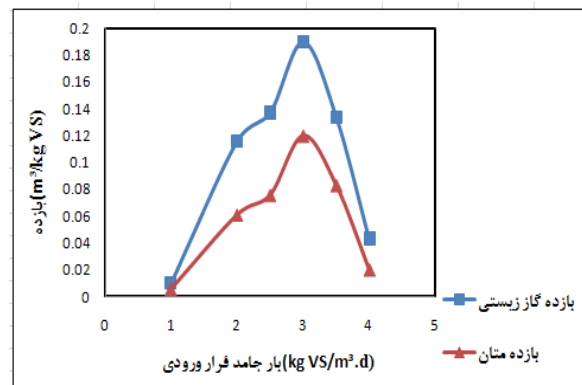
شکل شماره (۸): نمودار بازده گاز متان در دماهای گوناگون

بیشترین میزان درصد حذف جامد فرار در دمای ۳۴°C به ۷۲٪ رسید که این میزان در دمای ۲۵°C به ۶۱٪ کاهش یافت که مبین حساسیت باکتری‌های متان ساز به دما است. طبق نتایج گزارش شده توسط بابایی میزان بازده گاز متان در هضم بی‌هوای پسماندهای شهری در دمای ۳۴°C، ۰/۴ m³/kgVS به دست آمده است که با کاهش دما این مقدار به ۰/۲۳ m³/kgVS کاهش یافت.

با توجه به نتایج به دست آمده، این راکتور با بار آلی ۳ kgVS/m³.d در دمای ۳۴°C به صورت پایدار عمل کرده و بالاترین بازده تولید گاز متان را داراست. شایان ذکر است که افزایش دما از یک سو سبب افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی می‌شود ولی از سوی دیگر با افزایش تولید آمونیاک که عاملی باز دارنده است سبب ناپایداری در عملکرد سیستم هاضم می‌شود. بسیاری از محققان معتقدند پایداری و بازده سیستم‌های هضم بی‌هوای پسماندهای جامد در شرایط میانه دوست بهتر از شرایط دمایی گرما دوست است که دارای غلظت‌های بالاتر آمونیاک است. ضمناً تأمین شرایط دمایی گرما دوست نیازمند صرف انرژی و نصب تجهیزات بوده که هزینه بر است، در نتیجه استفاده از سیستم‌های گرما دوست همیشه مقرون به صرفه نیست و موازنه انرژی و برآوردهای اقتصادی سیستم‌های گرما دوست بسیار مهم است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده در تحقیق انجام شده، پسماند واحدهای مرغداری به دلیل دارا بودن بار آلی، منبع مناسبی برای تولید بیوگاز است. هاضم مورد بررسی در این تحقیق توانایی حذف ۷۲ درصد بار آلی ورودی و تولید ۴۴/۸ لیتر گاز در روز را در بارگذاری بهینه (۳ کیلوگرم جامد آلی بر متر مکعب بر روز) داراست.



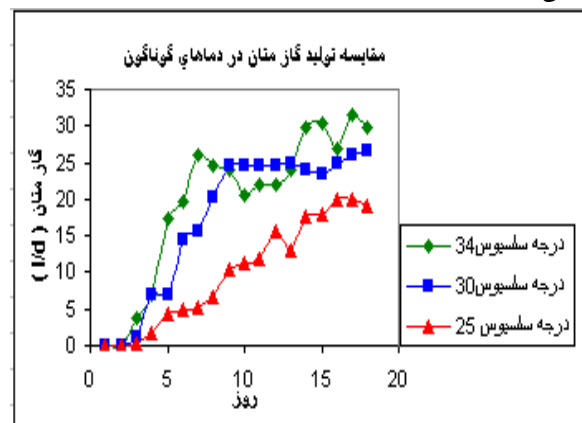
شکل شماره (۶): بازده تولید گاز زیستی و متان در

بارگذاری‌های گوناگون

تأثیر دما بر عملکرد هاضم

کاهش دما سبب افت فعالیت‌های سوخت‌وسازهای ریزاندام‌ها در هاضم می‌شود. با کاهش دمای هاضم از ۳۴ به ۳۰ درجه سلسیوس، تولید گاز متان از ۳۱ لیتر بر روز به ۲۶ لیتر بر روز کاهش یافت. با کاهش مجدد دما تا ۲۵ درجه سلسیوس، میزان گاز متان تولیدی ۲۰ لیتر بر روز محاسبه شد. میزان خاش محلول تا ۱ mg/۳۷۰۰ افزایش داشت که نشان دهنده عدم توانایی ریزاندام‌های متان‌ساز در مصرف خاش و تولید گاز متان در دماهای پایین (۲۵°C) است. با افت دما از ۳۴ به ۲۵ درجه سلسیوس، بازده گاز متان با حدود ۵۰ درصد کاهش به ۰/۰۵۵ m³/kgVS رسید.

Chae و همکاران (2008) بازده گاز متان را در هضم بی‌هوای فضولات خوک در دماهای ۲۵، ۳۴ و ۳۵ درجه سلسیوس و زمان اقامت ۸۰ روز، به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۳۸ و ۰/۳۲ متر مکعب متان بر کیلوگرم بار آلی ورودی محاسبه کرد. مقایسه میزان تولید گاز متان و بازده در سه دمای مختلف در نمودارهای شماره (۷) و (۸) نشان داده شده است.



شکل شماره (۷): نمودار تولید گاز متان در دماهای گوناگون

بالا بودن میزان جامد ورودی، در صورت طولانی‌تر کردن زمان ماند، بازده تولید گاز متان افزایش خواهد داشت.

یادداشت‌ها

- 1- Total Solids (TS)
- 2- Volatile Solids (VS)
- 3- Chemical Oxygen Demand (COD)

افزایش خاش تا ۴۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کاهش pH تا ۶/۸ فعالیت راکتور را کاهش می‌دهد و بنابراین محدوده مناسب خاش ۷۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است. pH مناسب تولید گاز در این هاضم ۷/۳ - ۸ تعیین شد. بازده گاز متان در دمای ۳۴ درجه سلسیوس در بارگذاری بهینه $0/۱۲\text{m}^3/\text{kgVS}$ محاسبه شد و با کاهش دما در بازده متان کاهش چشمگیری مشاهده شد. به دلیل

منابع مورد استفاده

عمرانی، ق. ۱۳۶۳. بیوگاز: یکی از روشهای ساده کنترل آلودگی‌های محیط زیست. تهیه کود و تأمین انرژی، نشریه محیط شناسی. دوره ۱۲.

APHA, AWWA & WEF . 1998. Standard method for the examination of water and wastewater, 19th edition. Washington, D.C., USA, ISBN: 0-87553-235-7.

Babae, A., J., Shayegan .2011. Anaerobic digestion of vegetable waste, Chemical engineering transactions, 24, 1291-1296.

Callaghan, F.J., et al. 2002. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure, Biomass & Bioenergy, 27, 71-77.

Chae, K.J., et al. 2008. The effect of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure, Bioresource technology, 99, 1-6.

Hashimoto, A.G. 1986. Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle wastes, Agricultural Wastes, 17, 241-261.

Holm-Nielsen, J.B., T. Al., Seadi, P., Oleskiewicz-Popiel .2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization, Bioresource Technology, 100, 5478-5484.

Salminen, E.A., J.A., Rintala .2002. Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: Effect of hydraulic retention time and loading, Water research, 36, 3175-3182.