محیط شناسی، سال سی و هشتم، شمارهٔ ۶۲، تابستان ۹۱، صفحهٔ ۸۳-۸۸

هضم بی‌هوازی و تولید گاز متان از پسماندهای مرغداری

انیس روشنی[۱]، جلال شایگان[۲]*، آزاده بابایی[۳]

۱-کارشناس ارشد،مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب anisroshani@gmail.com

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

۳-کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف a.babaee.h@gmail.com

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 مرحلهٔ اول، بارگذاری‌های مختلف ۱، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۴ 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 مترمکعب 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 محدودهٔ ۵۳ ٪ تا ۷۰/۲٪ و بازدهٔ گاز زیستی متان ۰/۱۲ $m^3/kg\ VS$ محاسبه شد که با بارگذاری بیشتر، درصد حذف جامدات آلی، سرعت تولید گاز و بازدهٔ گاز متان کاهش یافت. در مرحلهٔ دوم آزمایش، تأثیر دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۴°C بر بارگذاری بهینهٔ به دست آمده از مرحلهٔ اوّل بررسی شد. بازده گاز متان در دمای۳۰ و ۲۵ °C در مقایسه با دمای ۳۴°C کاهش یافت و به ترتیب به میزان ۰/۹۶ $m^3/kgVS$ و ۰/۰۵۵ $m^3/kgVS$ 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 محدودهٔ 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 ۳ $kgVS/m^3.d$ 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.

سرآغاز

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 تصفیهٔ فاضلاب‌های شهری و هزینه‌بر بودن دفع پسماند به صورت خاکچال، یا سوزاندن، تصفیهٔ 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 تصفیهٔ 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.

نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۱۰۲۲۲۷۳. shayegan@sharif.edu

Archive of SID

www.SID.ir

- بهبود کود.
- کاهش بوی نامطبوع و دفع حشرات مزاحم.
- رشد اقتصادی کشاورزان و دامپروران.

در چند دهۀ اخیر فرآورده‌های طیور نقش مهمی در تأمین گوشت و پروتئین مورد نیاز جوامع مختلف ایفا کرده است و در نتیجۀ ضایعات دامی و پسماندهای آلی مربوط به این بخش از قبیل فضولات دامی و پساب کشتارگاهها در حال افزایش است.

Callaghan و همکاران (2002) بازدۀ تولید گاز متان از هضم بی هوازی مخلوط تره بار وکود مرغی را در هاضم بی‌هوازی و زمان اقامت ۲۱ روز در دمای ۳۴ درجۀ سلسیوس در نسبت‌های متفاوت وزنی پسماند تره‌بار و کود مرغی، $m^3/kgVS$ ۰/۴۵–۰/۲۳ برآورد کرده‌اند.

Salminen, Rintala (2002) در هضم بی‌هوازی فاضلاب یک کشتارگاه مرغ در دمای ۳۱ درجۀ سلسیوس و زمان اقامت ۵۰ تا ۱۰۰ روز، بازدۀ گاز متان را m^3 /kgVS ۰/۵۲–۰/۵۵ 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 بازدۀ 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 به‌منظور تصفیۀ 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 بی هوازی مخلوط کود مرغی و کاه مورد بررسی قرار گرفته است.

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، کلیۀ نمونه‌گیری‌ها از شیر وسط انجام شد. در شکل شمارۀ (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 مرحلۀ اوّل آزمایش بر روی ۳۴ درجۀ سلسیوس ثابت نگه داشته شد و در مرحلۀ دوم، آزمایش‌ها در دماهای ۲۵، ۳۰ و $34^{\circ}C$ 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

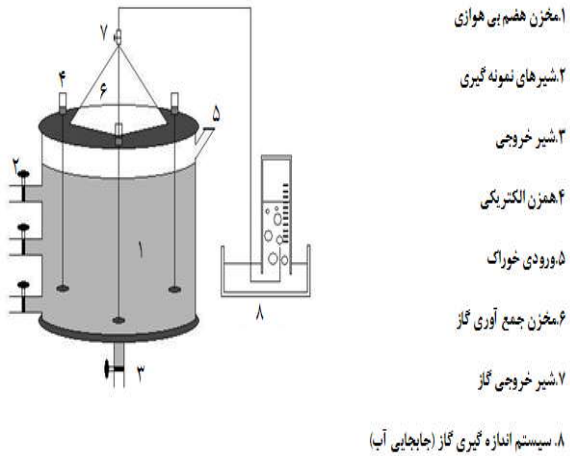
مرحلۀ راه اندازی در این سیستم به کمک لجن بی‌هوازی تلقیحی واحد تصفیۀ فاضلاب کارخانه شیر پگاه انجام شد که ۲۴ روز به طول انجامید. ۴۰ لیتر از حجم راکتور با لجن و ۲۰ لیتر آن با آب پر شد و سیستم به صورت دوغابی عمل کرد. در هفته اول راه‌اندازی از نشاسته به عنوان خوراک کمکی به منظور تغذیه و تقویت ریزاندام‌های 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 محدودۀ 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 درجۀ 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.

Archive of SID
www.SID.ir

در جدول شمارهٔ (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 نیتروژن آمونیاکی در خوراک ورودی ۵/۶ درصد جامد ورودی است.



شکل شمارهٔ (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 است‌که 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 کورهٔ ۱۰۵ درجهٔ سلسیوس به مدت یک ساعت و میزان جامد آلی خروجی[۲] از هاضم از طریق سوزاندن جامد کل در کورهٔ ۵۵۰ درجهٔ سلسیوس به مدت یک ساعت، اندازه‌گیری شده است.

محاسبهٔ 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 رنگ سنجی، قلیاییت و pH به صورت روزانه بر روی شیرابه خروجی صورت گرفته است. تجزیه‌وتحلیل گاز تولیدی و بازده تولید گاز متان ($m^3/kgVS_{added}$) نیز روزانه محاسبه شده است.

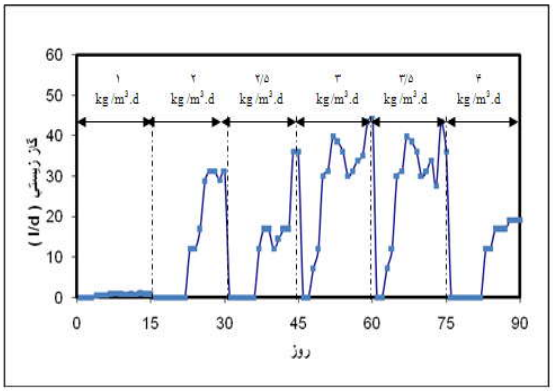
جدول شمارهٔ (۱): خصوصیات خوراک ورودی

مشخصه	کود مرغی	کاه
نیتروژن آمونیاکی (%W/W)	۵/۶۵	۰/۶۱
نیتروژن 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 شمارهٔ (۲) روند تغییرات میزان گاز تولیدی در بارگذاری‌های گوناگون نشان داده شده است. در بارگذاری اوّل (۱ $kgVS/m^3.d$) 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 متان ساز کاهش و فعالیت باکتری‌های اسید ساز افزایش می‌یابد.

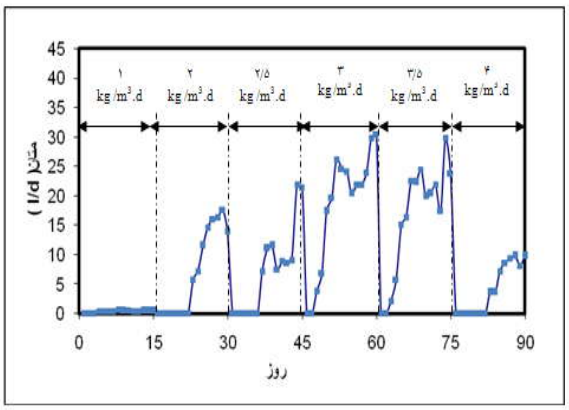


شکل شمارهٔ (۲): روند تغییرات میزان گاز تولیدی در بارگذاری‌های گوناگون

در شکل شمارهٔ (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

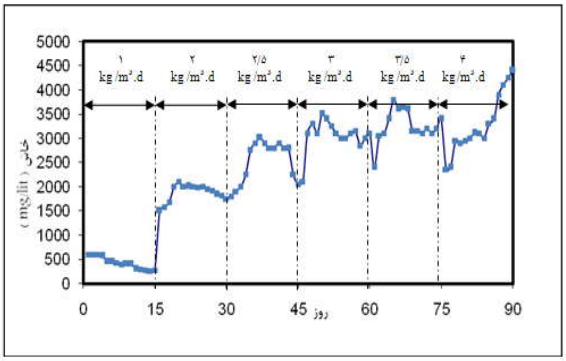
www.SID.ir

باکتری‌های اسید ساز سبب اسیدی شدن و در نتیجه افـزایش pH رآکتور و بالارفتن درصد دی اکسید کربن در گاز تولیدی شد.



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

کاهش درصد متان در گاز تولیدی به معنی افزایش دی اکـسید کربن موجود در گاز است. زمانی‌که میزان دی اکسید کـربن موجـود در گاز افزایش یابد نشان دهندهٔ غلبه ریز اندام‌های اسید ساز بر ریـز اندام‌های متان‌ساز است در نتیجه منجر بـه کـاهش pH و قلیاییـت هاضم می‌شود. همین موضوع باعث شده است تا در بارگذاری بهینه و حداکثر بازده ریز اندام‌های متان‌ساز، میزان گاز متان تولید شده به بیشینه مقدار خود دست یابد. در شکل شمارهٔ (۴) روند تغییرات خاش نشان داده شده است. میـزان خـاش در بارگـذاری بهینـه بـه ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رسید و سیستم در این میزان خاش در حالت پایـدار قرار دارد اما با افزایش بارگذاری، میزان خاش به ۴۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رسید و گاز تولیدی کاهش یافت. این مطلب نشان‌دهندهٔ فعالیت بالای فرایند تخمیر در این بارگذاری است که منجر بـه افـت pH و کاهش فعالیت باکتری‌های متان‌ساز می‌شود.

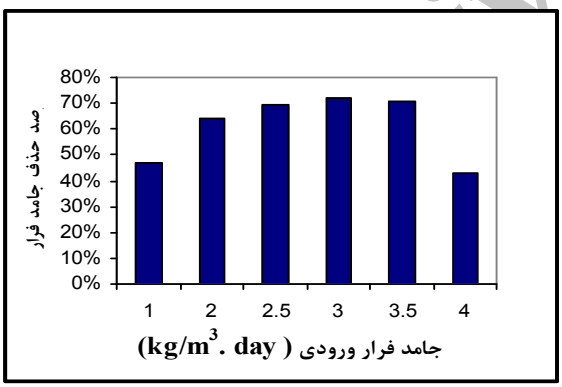


شکل شمارهٔ (۴): روند تغییرات میزان خاش در بارگذاری‌های گوناگون

در شکل شمارهٔ (۵) روند تغییرات درصد حذف جامد فـرار در ۶ بارگذاری نشان داده شده است. میزان حذف جامدات آلی ورودی در بارگـذاری چهـارم بـه مقـدار بیـشینهٔ خـود، یعنـی ۷۲ درصـد و در بارگذاری پنجم ($۳/۵ \ kg/m^3.d$) بـه میـزان ۷۰٪ رسـید کـه نـشان دهندهٔ تبـدیل قـسمت زیـاد جامـدات آلـی ورودی بـه گـاز در ایـن بارگذاری‌هاست. درصد حذف در بارگذاری ششم بـه حـداقل میـزان خود، یعنی ۴۳ درصد رسیده است.

با توجه به تفاوت بسیار کـم درصـد حـذف در بارگـذاری‌هـای چهارم و پنجم این نکته قابل ذکر است که اگر چه درصد حـذف در بارگذاری پنجم اندکی پایین‌تر است ؛ کارایی سیستم در مقایـسهٔ بـا بارگذاری چهارم به میزان ۱۷٪ افزایش یافتـه اسـت. بنـابراین اگـر هدف، هضم مقدار بیشتر مواد جامد است بارگذاری $۳/۵ \ kg/m^3.d$ مناسب‌تر است، اگرچه سایر مشخصه‌ها نیز مـی‌توانـد مـلاک عمـل قرار گیرد.

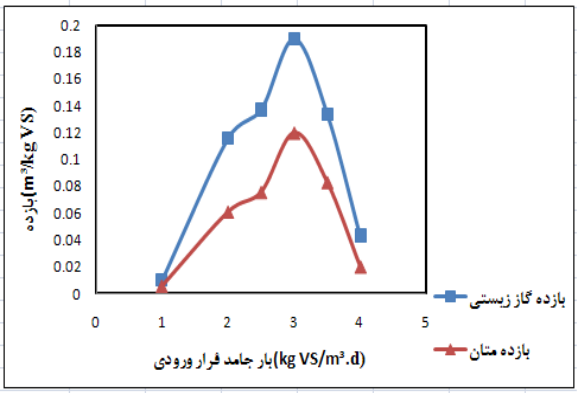
برای مثال میزان بیوگاز و گاز متـان تولیـد شـده در بارگـذاری $۳ \ kg/m^3.d$ به حداکثر میزان خود رسید کـه بـه ایـن دلیـل ایـن بارگذاری، بارگذاری بهینهٔ سیستم است.



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

در شکل شمارهٔ (۶) بازدهٔ تولید بیوگاز و متان نـسبت بـه جامـد آلی ورودی در بارگذاری‌های مختلف نشان داده شده اسـت. میـزان بازده تولید گاز در بارگذاری بهینه به بـالاترین میـزان خـود معـادل ۰/۱۹ مترمکعب بیوگاز تولیدی به بار آلی ورودی رسید. بـازده تولیـد گاز در بارگذاری‌های بالاتر کاهش یافت که نـشان دهنـدهٔ عملکـرد نامناسب هاضم در بارگذاری‌های بالاتر است. بـازده تولیـد متـان در بارگذاری بهینه به میزان ۰/۱۲ مترمکعب گاز متان به کیلـوگرم بـار آلی ورودی محاسبه شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

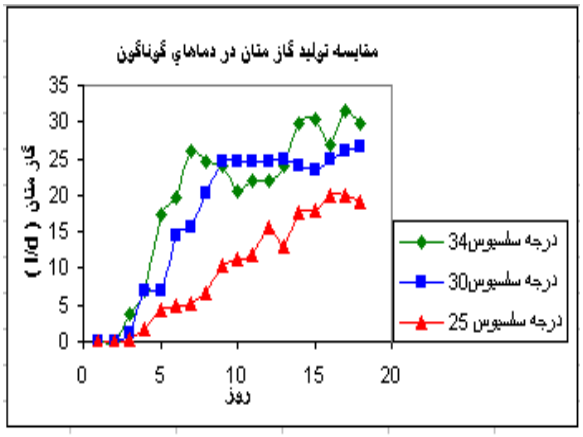


شکل شمارهٔ (۶): بازده تولید گاز زیستی و متان در بارگذاری‌های گوناگون

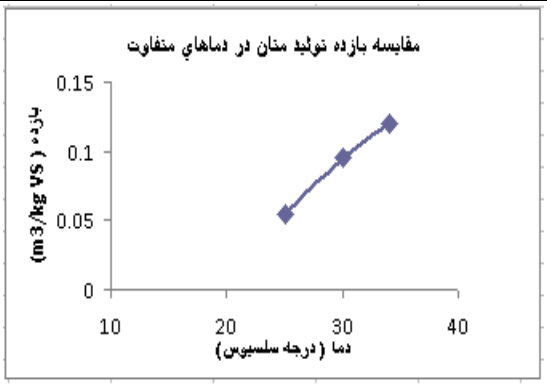
تأثیر دما بر عملکرد هاضم

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 درجهٔ سلسیوس، میزان گاز متان تولیدی ۲۰ لیتر بر روز محاسبه شد. میزان خاش محلول تا mg /l ۳۷۰۰ افزایش داشت که نشان دهندهٔ عدم توانایی ریزاندام‌های متان‌ساز در مصرف خاش و تولید گاز متان در دماهای پایین (۲۵°C) است. با افت دما از ۳۴ به ۲۵ درجهٔ سلسیوس، بازده گاز متان با حدود ۵۰ درصد کاهش به ۰/۰۵۵ $m^3/kgVS$ رسید.

Chae و همکاران (2008) بازده گاز متان را در هضم بی‌هوازی فضولات خوک در دماهای ۳۵، ۳۴ و ۲۵ درجهٔ 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. مقایسهٔ میزان تولید گاز متان و بازده در سه دمای مختلف در نمودارهای شمارهٔ (۷ و ۸) نشان داده شده است.



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



شکل شمارهٔ (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 بازدهٔ گاز متان در هضم بی هوازی پسماندهای شهری در دمای ۳۴°C، $m^3/kgVS$ ۰/۴ به دست آمده است که با کاهش دما این مقدار به $m^3/kgVS$ ۰/۲۳ کاهش یافت.

با توجه به نتایج به دست آمده، این راکتور با بار آلی ۳ $kgVS/m^3.d$ 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 بی‌هوازی 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 موازنهٔ 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.

Archive of SID
www.SID.ir

افزایش خاش تا ۴۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کاهش pH تا ۶/۸، فعالیت راکتور را کاهش می‌دهد و بنابراین محدودهٔ مناسب خاش ۷۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی گرم بر لیتر است. pH مناسب تولید گاز در این هاضم ۷/۳ – ۸ تعیین شد. بازده گاز متان در دمای ۳۴ درجهٔ سلسیوس در بارگذاری بهینهٔ ۰/۱۲m^3/kgVS محاسبه شد و با کاهش دما در بازدهٔ متان کاهش چشمگیری مشاهده شد. به دلیل بالا بودن میزان جامد ورودی، در صورت طولانی‌تر کردن زمان ماند، بازدهٔ تولید گاز متان افزایش خواهد داشت.

یادداشت‌ها

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

منابع مورد استفاده

عمرانی، ق.۱۳۶۳. بیوگاز: یکی از روشهای ساده کنترل آلودگی‌های محیط زیست. تهیهٔ کود و تأمین انرژی، نشریهٔ محیط شناسی. دورهٔ 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.

Babaee,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,AG. 1986. Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle wastes, Agricultural Wastes, 17, 241–261.

Holm-Nielsen,J.B., T.Al.,Seadi, P.,Oleskowicz-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.

Archive of SID

www.SID.ir