

بررسی آزمایشگاهی هم‌افزایی فضولات گاوی و ماده هضم‌شده با پسماند جامد آلی شهری در فرایند هضم بی‌هوازی برای افزایش بهره‌وری

لیلا یوسفی^{۱*}

L_usefi@iiu.ac.ir

عباس بحری^۲

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۱۳

چکیده

زمینه و هدف: افزایش نرخ تولید، حجم و فشار بیوگاز، ترکیب نسبی متان بیوگاز بعنوان منبع انرژی تجدیدپذیر سبب افزایش راندمان می‌شود. هدف، بررسی تاثیر اختلاط فضولات گاوی و ماده هضم‌شده با پسماند جامد آلی شهری به منظور دستیابی به بهره‌وری بالاتر است. **روش بررسی:** پسماند جامد آلی شهری بصورت منفرد و مخلوط با ماده هضم‌شده و فضولات گاوی در مجموعه دستگاهی مقیاس آزمایشگاهی تحت فراورش قرار گرفت. تاثیر اختلاط ماده هضم‌شده و فضولات گاوی با پسماند جامد آلی شهری از طریق بررسی خواص شیمی-فیزیکی و آنالیز عنصری خوراک و ماده هضم‌شده، اندازه‌گیری فشار و حجم بیوگاز، طول دوره هضم بی‌هوازی و آنالیز اجزاء بیوگاز مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: اختلاط ماده هضم‌شده و فضولات گاوی با پسماند جامد آلی شهری سبب افزایش ترکیب درصد بخش خشک (آلی و خاکستر)، کربن و نیتروژن خوراک می‌شود. درصد تبدیل این ترکیبات در هضم مشترک پسماند جامد آلی شهری با مخلوط ماده هضم‌شده و فضولات گاوی (مرحله سوم) نسبت به هضم مشترک با ماده هضم‌شده (مرحله دوم) و نیز درصد تبدیل مقادیر مذکور حاصل از مرحله دوم نسبت به هضم منفرد پسماند جامد آلی شهری (مرحله اول) افزایش می‌یابد. حجم و فشار بیوگاز تولیدی به‌ازاء واحد جرم خوراک و نیز ترکیب نسبی متان بیوگاز تولیدی طی دوره هضم کوتاه‌تر در مرحله سوم نسبت به دوم و نیز مرحله دوم نسبت به اول افزایش می‌یابد. **بحث و نتیجه‌گیری:** اختلاط ماده هضم‌شده و فضولات گاوی با پسماندهای جامد آلی شهری علاوه بر افزایش بار آلی خوراک، به‌عنوان تلقیح‌کننده در فرایند هضم بی‌هوازی باهدف افزایش ترکیب نسبی متان بیوگاز ایفای نقش می‌نماید. حجم و فشار بیوگاز، احتمال تولید و ترکیب درصد متان بیوگاز افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: هضم بی‌هوازی، پسماند جامد آلی، ماده هضم‌شده، فضولات گاوی، بیوگاز.

۱- استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۲- استادیار گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

Laboratory Investigation of Cow Manure and Digested Synergistic with Municipal Organic Solid Waste in Anaerobic Digestion Process for Efficiency Increasing

Leila Yousefi^{1*}

L_yousefi@iiu.ac.ir

Abbas Bahri²

Admission Date: January 16, 2021

Date Received: September 3, 2020

Abstract

Background and Objective: Increasing production rate, biogas volume and pressure, methane composition are increased efficiency. The effect of adding a mixture of cow manure (CM) and digested to municipal organic solid waste (MOSW) for increase productivity of process is considered.

Method: Through three steps single MOSW, CM and digested mixing were treated by laboratory setup. Digested and CM mixing effect with MOSW were studied and evaluated by investigating of physical-chemistry properties, feed and digested elemental analysis, and also biogas pressure and volume measuring, AD time and biogas analysis.

Findings: Adding mixture of digested and CM with MOSW increases feed dry part and its carbon and nitrogen content. Transformation rate in MOSW co-digestion with digested and CM mixture (3rd step) compare to co-digestion of MOSW with digested (2nd step) and also conversion percent of mentioned quantities derived from 2nd step compare to single digestion of MOSW (1st step) are increased. Biogas volume and pressure in base on feed mass unit and also biogas relative component, in 3rd step compare to 2nd and also in 2nd step compare to 1st are increased.

Discussion and Conclusion: Digested and CM mixing with MOSW not only contributes in increasing the organic part of the feed, but also collaborates in inoculation in process and increases the methane generation. Biogas volume and pressure and also methane production efficiency are increased.

Keywords: Anaerobic Digestion, Organic Solid Waste, Digested, Cow Manure, Biogas.

1- Assistant Professor of Chemistry Group, Basic Science Faculty, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
**(Corresponding Author)*

2- Assistant Professor of Renewable Energies Department, Niroo Research Institute, Tehran, Iran

مقدمه

فرایند هضم تخمیر مواد آلی تجزیه‌پذیر در اثر واکنش‌های بیوشیمیایی ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌ها است. فرایند تخمیر در غیاب اکسیژن و با حضور میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی منجر به تولید بیوگاز با ترکیب‌نسبی عمدتاً دی-اکسیدکربن، متان و هضم‌شده نیمه‌جامد خواهد شد که هضم‌بی‌هوازی است. بیوگاز تولیدی فرایند به‌دلیل وجود ترکیب‌نسبی متان ارزش حرارتی دارد. فرایند تولید بیوگاز از یک مکانیسم پیچیده بیولوژیکی تبعیت می‌کند (۱). این مکانیسم در چهار مرحله عمدتاً و توسط چهار گروه باکتری شامل هیدرولیز، اسیدزایی، آستون‌زایی و متان‌زایی انجام می‌شود (۶-۲). بازده تولید متان در فرایندهای هضم بی‌هوازی پسماندهای جامدآلی شهری به‌تنهایی پایین است (۷ و ۸). ترکیب فضولات حیوانی و ماده هضم‌شده با پسماندهای جامدشهری بعنوان خوراک سیستم هضم‌بی‌هوازی نه‌تنها موجب افزایش ترکیب‌نسبی متان می‌شود بلکه نرخ تولید بیوگاز را نیز افزایش می‌دهد (۹ و ۱۰). دو ماده کربن و نیتروژن عناصر ضروری برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌های هوازی است. نسبت متعادل برای C/N در فرایند بین ۲۰-۳۰ است. هضم هم‌زمان برای تعادل نسبت C/N استفاده می‌شود (۱۴-۱۱ و ۱۵ و ۱۶). این فرایند مزایای زیادی دارد، از جمله: اثر هم‌افزایی میکروارگانیسم‌ها، افزایش ثبات فرایند، افزایش راندمان بیوگاز، افزایش بازیافت مواد مغذی و کاهش بو (۱۷-۱۵). ماده هضم‌شده نیز از جمله منابعی است که تجمع باکتری‌های تخمیر را با هم دارد. ماده هضم‌شده غنی از باکتری‌های بی‌هوازی مفید برای فرایند تخمیر و نیز دارای حرارت کافی به‌منظور تامین میزان گرمایش اولیه خوراک ورودی به هاضم است (۱۸ و ۱۹).

با هدف افزایش نرخ تولید بیوگاز، کاهش زمان ماند خوراک در هاضم یا به عبارتی کاهش طول دوره هضم‌بی‌هوازی، افزایش میزان تولید بیوگاز و افزایش ترکیب‌نسبی متان بیوگاز تولیدی که منجر به افزایش بهره‌وری بیوگاز تولیدی می‌شود، تاثیر هضم‌مشترک پسماندهای آلی جامدشهری همراه ماده هضم‌شده و فضولات گاوی در این تحقیق به‌روش هضم‌بی‌هوازی

آزمایشگاهی بررسی می‌شود. حاصل هم‌افزایی مثبت این مواد مدیریت پسماندهای آلی جامدشهری را با استفاده از روش هضم‌بی‌هوازی اقتصادی و رقابتی خواهد نمود.

روش بررسی

فرایند تولید بیوگاز از طریق مجموعه مقیاس آزمایشگاهی و شرایط دمایی مزوفیلیک در سه مرحله و با سه نوع خوراک انجام شده است. مرحله اول، ۴۳۰۰g پسماند جامدآلی خانگی جمع‌آوری و به قطعات کمتر از ۱cm خرد شد. ۴ kg از این نمونه برای فرایند و ۳۰۰g برای آزمایش‌های تعیین درصد رطوبت، خاکستر، بخش آلی، بخش خشک و آنالیزهای عنصری تعیین کربن، نیتروژن، هیدروژن، گوگرد و اکسیژن تفکیک شد. نمونه داخل مخزن هاضم (شکل ۱) قرار گرفت. مجموعه دستگاهی با پمپ خلاء تحت فشار نسبی ۰/۷۵ bar - قرار گرفت. برای ایجاد شرایط مزوفیلیک محتویات داخل مخزن بوسیله ژاکت حرارتی با جریان چرخشی آب گرم تحت دمای متوسط ۳۷°C قرار گرفت. به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت محتویات داخل مخزن از طریق همزن بصورت ناپیوسته مخلوط می‌شد. اختلاط از طریق همزن مکانیکی بطور متوسط ۳ روز در هفته هر بار ۳ ساعت با دور همزن ۱۲ r/min انجام شد. این فرایند ۴۲ روز بطور مداوم انجام شد. در طول این مدت فشار نسبی و دمای داخل هاضم بطور مرتب اندازه‌گیری و یادداشت می‌شد. اندازه‌گیری دما از طریق یک دماسنج ترموکوبلی تعبیه‌شده داخل مخزن و مجهز به سیستم صفحه نمایشگر با دقت ۰/۱°C ± انجام شد. اندازه‌گیری فشار نسبی داخل مخزن شامل بیوگاز تولیدی نیز از طریق فشارسنج نسبی از نوع WINTER نصب شده روی سقف هاضم انجام شد. به موازات انجام فرایند آزمایش‌های لازم برای تعیین نوع و میزان ترکیب‌نسبی خوراک انجام شد. اندازه‌گیری میزان درصد رطوبت، خاکستر بخش خشک و بخش آلی بر مبنای دستورالعمل مندرج در موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران انجام شد (۲۲-۲۰). آنالیز عنصری بر روی نمونه خشک‌شده حاصل از مرحله قبل از طریق دستگاه آنالیز عنصری (Costech, instruments)

یافته‌ها

در هر سه مرحله مقادیر ترکیب درصد رطوبت، خاکستر، ماده آلی و ماده خشک برای خوراک و ماده هضم شده اندازه گیری شد. نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. بر مبنای ترکیب درصد ماده خشک اندازه گیری شده مندرج در جدول هضم هر سه خوراک از نوع خشک است (۲۵-۲۳). با مقایسه درصد رطوبت خوراک و هضم شده برای هر سه مرحله آزمایش و افزایش مقدار آن در ماده هضم شده نسبت به خوراک مشخص است، بخشی از خوراک طی فرایند تولید بیوگاز به آب تبدیل شده است.

مطابق شکل ۲ افزایش ترکیب درصد رطوبت هر سه خوراک به ترتیب 61.06% ، 81.95% ، 16.53% است. تولید آب در فرایند هضم بی‌هوازی نشان از فعالیت میکروارگانیسم‌های متناز است (۵).

ماده خشک از دو قسمت آلی و خاکستر تشکیل می‌شود. بخش آلی قابلیت تبدیل و تجزیه در فرایند هضم بی‌هوازی بواسطه فعالیت میکروارگانیسم‌ها را داراست. خاکستر می‌تواند شامل عناصر و ترکیبات نشاندار مورد نیاز رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها برای فرایند هضم باشد و یا در فرایند هضم تخریب و تجزیه نشده و بعنوان ماده برجای مانده هضم یا هضم شده در هاضم باقی بماند. بنابراین کاهش ترکیب درصد بخش آلی ماده هضم شده نسبت به خوراک متناسب با میزان پیشرفت فرایند هضم بی‌هوازی در جهت تولید بیوگاز خواهد بود. همچنین میزان کاهش ترکیب درصد خاکستر در ماده هضم شده نسبت به خوراک موید مصرف بخشی از خاکستر بعنوان عناصر و ترکیبات نشاندار مورد نیاز برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها در فرایند هضم است. مطابق نتایج حاصل مندرج جدول ۱ و شکل‌های ۳ و ۴ میزان درصد تبدیل بخش آلی خوراک نسبت به ماده هضم شده در هر سه مرحله آزمایش به ترتیب 22.14% ، 38.82% و 43.35% و برای خاکستر به ترتیب 33.27 ، 90.20 و 96.44% برآورد می‌شود.

elemental combustion system) انجام شد. ملاک پایان زمان هضم ثابت ماندن فشار نسبی داخل هاضم برای حدود یک هفته لحاظ گردید (۵). پایان زمان هضم کیسول نمونه گیر گازی به حجم حدود ۳۲ میلی لیتر از سیستم جدا شد. آنالیز نمونه بیوگاز تولیدی جمع‌آوری شده در این کیسول از طریق دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) انجام شد. همچنین مجدد آزمایش های شیمی-فیزیکی فوق برای تعیین نوع و میزان ترکیب نسبی ماده هضم شده تکرار شد.

مرحله دوم، خوراک مخلوطی از پسماند جامد آلی خانگی جمع‌آوری و خرد شده به قطعات کمتر از ۱ cm به میزان ۲۴۷۸g و ۱۸۰۰g ماده هضم شده حاصل از مرحله نخست آزمایش انتخاب شد. میزانی از خوراک برای آزمایش های شیمی و فیزیکی جدا شد. خلاء نسبی اولیه، متوسط دمای داخل هاضم و دور همزن مشابه مرحله اول بود. دوره هضم ۱۱۷ روز بطول انجامید. تمامی مراحل آزمایش مطابق مرحله نخست تکرار شد.

مرحله سوم، خوراک مخلوطی از پسماند جامد آلی خانگی جمع‌آوری و خرد شده به قطعات کمتر از ۱ cm به میزان ۱۰۰۰g و ۱۰۰۰g ماده هضم شده حاصل از مرحله دوم آزمایش بعلاوه ۲۵۰۰g فضولات گاو با ۳ لیتر آب انتخاب شد. میزانی از خوراک برای آزمایش های شیمی و فیزیکی جدا شد. خلاء نسبی اولیه، متوسط دمای داخل هاضم و دور همزن مشابه دو مرحله قبل بود. دوره هضم ۳۴ روز بطول انجامید. تمامی مراحل آزمایش مطابق دو مرحله قبل تکرار شد.



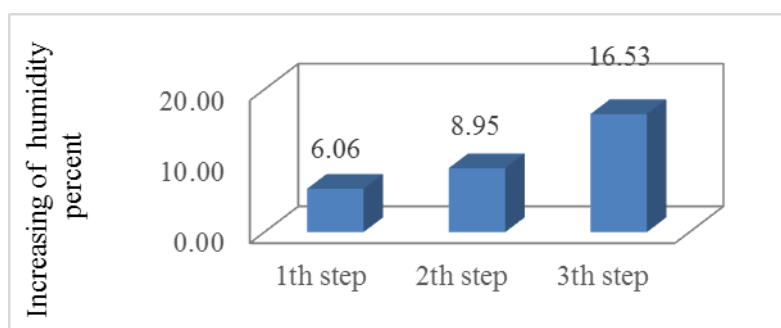
شکل ۱- مخزن هاضم

Figure 1. Digester tank

جدول ۱- خواص شیمی-فیزیکی خوراک و ماده هضم شده

Table 1. Chemical physical properties of feed and digested

مرحله سوم		مرحله دوم		مرحله اول		عنوان
ماده هضم شده	خوراک	ماده هضم شده	خوراک	ماده هضم شده	خوراک	
۶/۱۹	۷/۵	۳/۹۸	۴/۲۸	۳/۶۰	۴/۰۰	مقدار (Kg)
۸۸/۴۰	۷۵/۸۶	۸۸/۱۴	۸۰/۹۰	۸۳/۶۸	۷۸/۹۰	رطوبت (%W)
۰/۱۴	۳/۹۱	۲/۳۵	۳/۵۵	۱/۵۷	۲/۱۵	خاکستر (%Ash)
۱۱/۴۶	۲۰/۲۳	۹/۵۱	۱۵/۵۵	۱۴/۷۵	۱۸/۹۵	ماده آلی (%OM)
۱۱/۶۰	۲۴/۱۴	۱۱/۸۶	۱۹/۱۰	۱۶/۳۲	۲۱/۱۰	ماده خشک (%DM)

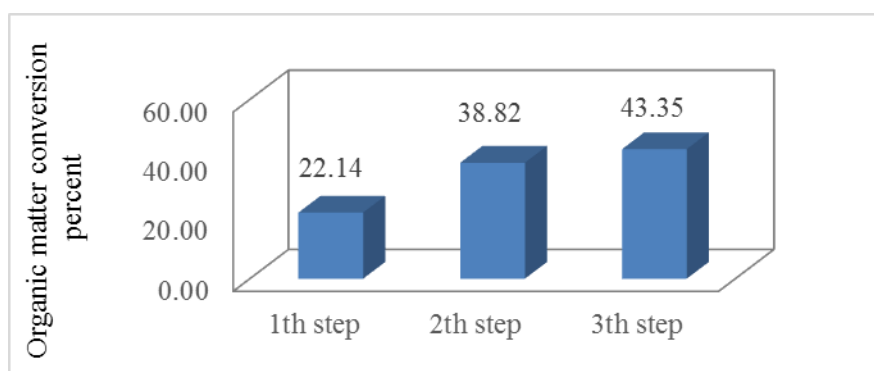


شکل ۲- افزایش درصد رطوبت ماده هضم شده در مقایسه با خوراک

Figure 2. Increasing of digested humidity percent compare to feed

۳۷/۹۱ و ۵۱/۹۵٪ تخمین زده شدند. این میزان معرف پیشرفت فرایند هضم بی‌هوازی در جهت تولید بیوگاز است.

و بالاخره مطابق اطلاعات جدول ۱ در مجموع تغییرات ترکیب درصد ماده خشک خوراک نسبت به ماده هضم شده در هر سه مرحله آزمایش نزولی است که در شکل ۵ تحت عنوان درصد تبدیل ماده خشک نامیده می‌شود و به ترتیب ۲۲/۶۵،

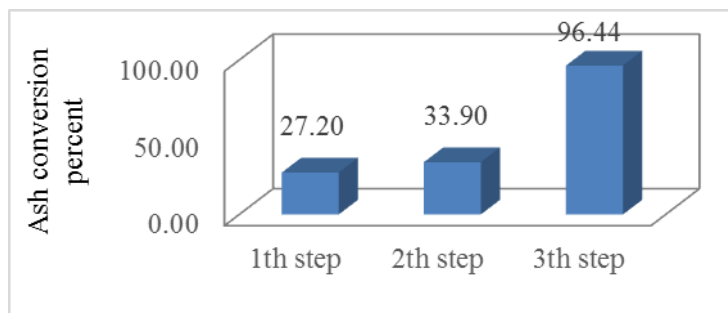


شکل ۳- درصد تبدیل ماده آلی خوراک در مقایسه با ماده هضم شده

Figure 3. Organic matter conversion percent of feed compare to digested

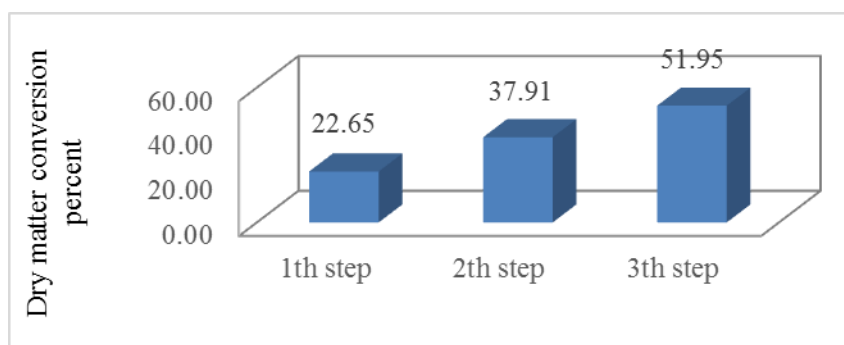
همچنین با برآورد میزان مصرف هریک از عناصر درصد تبدیل عنصر در نتیجه فرایند هضم پی‌هوازی حاصل می‌شود.

نتایج حاصل از آنالیز عنصری خوراک و هضم‌شده برای هر سه مرحله در جدول ۲ فهرست شده است. براساس اطلاعات حاصل از این جدول نسبت C/N قابل محاسبه و بررسی است.



شکل ۴- درصد تبدیل خاکستر خوراک در مقایسه با ماده هضم‌شده

Figure 4. Ash conversion percent of feed compare to digested



شکل ۵- درصد تبدیل بخش خشک خوراک در مقایسه با ماده هضم‌شده

Figure 5. Dry matter conversion percent of feed compare to digested

جدول ۲- نتایج آنالیز عنصری خوراک و هضم‌شده

Table 2. Feed and digested elemental analysis results

مرحله سوم		مرحله دوم		مرحله اول		عنوان
ماده هضم‌شده	خوراک	ماده هضم‌شده	خوراک	ماده هضم‌شده	خوراک	
۲۳/۶۷	۴۵/۹۸	۳۹/۲۵	۵۸/۰۳	۴۶/۰۵	۴۷/۷۳	ترکیب درصد کربن (C/%)
۵/۰۶	۵/۶۷	۰/۵۲	۰/۷۲	۰/۲۴	۱/۱۲	ترکیب درصد هیدروژن (H/%)
۰/۴۶	۱/۸۸	۲/۱۷	۳/۹۸	۱/۰۳	۱/۶۹	ترکیب درصد نیتروژن (N/%)
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۶/۵۸	۰/۹۱	۱۳/۰۳	ترکیب درصد گوگرد (S/%)

مرحله دوم ناشی از بالا بودن ترکیب درصد نیتروژن نسبت به کربن است. همچنین بر مبنای نتایج مندرج جدول ۳ میزان درصد تبدیل کربن و نیتروژن در مراحل آزمایش های ۱ تا ۳ افزایشی است، پس سهم مشارکت این دو عنصر به ترتیب در

نتایج مربوط به تحلیل عناصر کربن و نیتروژن در جدول ۳ فهرست شده است. نسبت C/N برای خوراک هر سه مرحله واکنش مطابق نتایج جدول ۳ به ترتیب ۲۸/۲۴، ۱۴/۵۸ و ۲۴/۴۶ است. میزان پایین این نسبت برای خوراک آزمایش

باقی‌می‌ماند. آزمایش مرحله‌سوم تحت خلاء نسبی barg/kg $0/178$ - آغاز و خیلی‌سریع طی ۵ روز به فشار بیشینه barg/kg $0/244$ رسیده از روز ششم روند افت‌فشار بیوگاز شروع و پس از ۳۰ روز در فشار نسبی barg/kg $0/022$ فرایند متوقف‌می‌شود.

حجم بیوگاز تولیدی در شرایط نرمال مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_0 = \frac{T_0}{T} \times \frac{P}{P_0} \times V$$

T_0 = دمای نرمال = $20^\circ\text{C} = 293/15\text{ K}$ ، T = دمای متوسط شرایط عملیاتی (مزوفیلیک)، $P = P_g + 1$ = فشار مطلق بیوگاز تولیدی بر حسب بار، P_g = فشارنسبی بیوگاز تولیدی، P_0 = فشار شرایط نرمال معادل ۱ بار، V = حجم بیوگاز تولیدی در شرایط عملیاتی = ۱۴ لیتر حجم کل سیستم.

حجم بیوگاز به ازاء واحدجرم خوراک در شرایط نرمال برای هر سه مرحله روزانه محاسبه و نمودار تغییرات آن مطابق شکل ۷ رسم‌شد. با توجه به اینکه T_0 ، T ، P_0 و V در هر مرحله تقریباً ثابت است پس حجم بیوگاز تولیدی در شرایط استاندارد تابع مستقیمی از فشار مطلق بیوگاز تولیدی خواهدبود. مطابق شکل ۷ بیشترین حجم بیوگاز تولیدی روزانه مربوط به مرحله سوم و در پیک فشار barg $1/1$ معادل lit/kg $6/175$ و در مجموع بیشترین حجم کل تولید بیوگاز مربوط به آزمایش مرحله دوم با طول مدت هضم ۱۱۷ روز است.

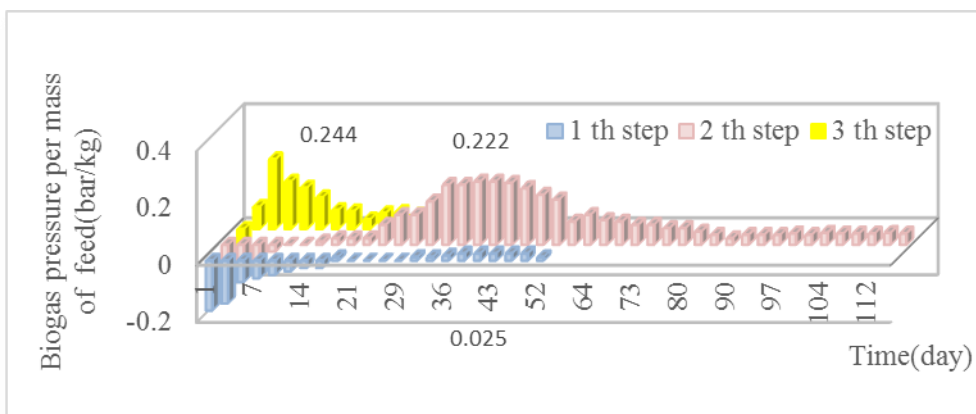
مراحل آزمایش افزایش یافته است و انتظارمی‌رود، فرایند مراحل ۱ تا ۳ بتدریج تکمیل و میزان بیوگاز بیشتر با ترکیب‌نسبی بالاتری از بیومتان تولیدشود. نسبت C/N ماده‌هضم‌شده حاصل از هر سه مرحله نسبت به خوراک ناشی از مصرف نیتروژن بعنوان خوراک میکروارگانسیم‌ها و نیز وارد نشدن بخشی از ترکیبات شامل کربن در فرایند هضم بالاتر است. البته با توجه به افزایش درصدتبدیل کربن به‌ترتیب در مراحل ۱ تا ۳ این پدیده سیر نزولی دارد.

شکل ۶ و ۷ به‌ترتیب روند تغییرات فشارنسبی و حجم بیوگاز تولیدی را به‌ازاء واحدجرم خوراک در مراحل ۱ تا ۳ طی دوره هضم بصورت روزانه نشان‌می‌دهد. مطابق شکل ۶ فشارنسبی به‌ازاء واحدجرم خوراک بیوگاز تولیدی از یک مقدار جزئی شروع و پس از رسیدن به یک بیشینه بتدریج کاهش‌می‌یابد تا در مقداری ثابت می‌شود. فرایند مرحله اول تحت خلاءنسبی barg/kg $0/175$ - آغاز و پس از گذشت ۳۲ روز به بیشینه barg/kg $0/025$ رسیده برای یک هفته متوالی در این فشار ثابت باقی‌می‌ماندو در نهایت با رسیدن به فشار barg/kg $0/0125$ پس از ۴۲ روز متوقف‌می‌شود. فرایند مرحله‌دوم تحت خلاءنسبی barg/kg $0/2$ - شروع و بتدریج پس از ۳۸ روز به بیشینه فشار barg/kg $0/22$ می‌رسد، حدود ۳ روز در این فشار باقی‌می‌ماند و سپس شروع به کاهش نموده تا در روز ۹۷ به فشار barg/kg $0/04$ رسیده و تقریباً تا روز ۱۱۷ (پس از گذشت ۱۰ روز) همچنان در این فشار ثابت

جدول ۳- بررسی نتایج آنالیز عنصری کربن و نیتروژن

Table 3. Investigation of C & N elemental analysis results

مرحله سوم		مرحله دوم		مرحله اول		عنوان
ماده‌هضم‌شده	خوراک	ماده‌هضم‌شده	خوراک	ماده‌هضم‌شده	خوراک	
۵۱/۰۱	۲۴/۴۶	۱۸/۰۹	۱۴/۵۸	۴۴/۷۱	۲۸/۲۴	C/N
۴۸/۵۲		۳۲/۳۶		۳/۵۲		درصدتبدیل کربن
۷۵/۳۲		۴۵/۴۸		۳۹/۰۵		درصدتبدیل نیتروژن

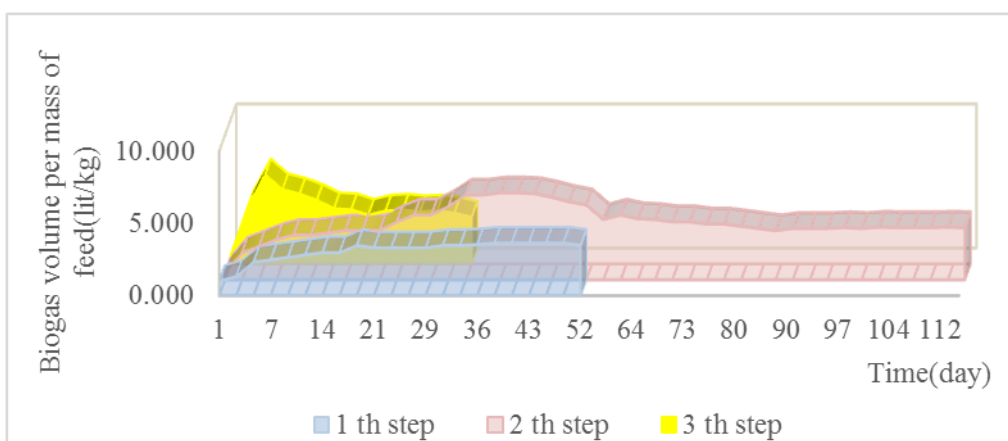


شکل ۶- تغییرات فشارنسبی بیوگاز تولیدی به ازاء واحد جرم خوراک طی دوره هضم بی‌هوای

Figure 6. Relative pressure variations of production biogas per unit mass of feed in length of anaerobic digestion time

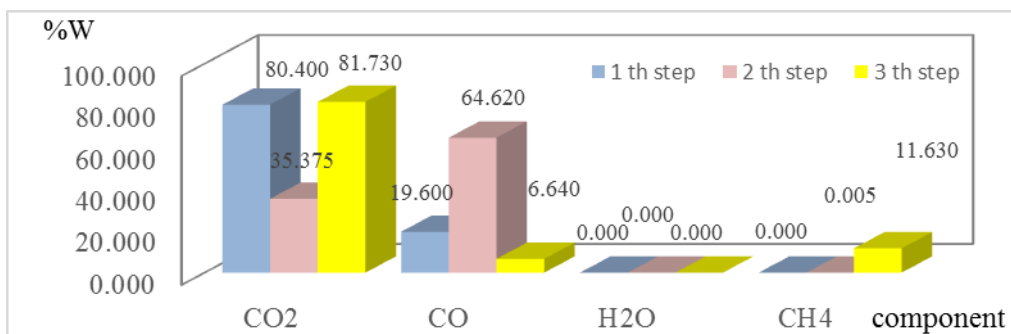
نتایج آنالیز بیوگاز تولیدی هر مرحله با دستگاه کروماتوگرافی گازی مطابق شکل ۸ است. مطابق این نتایج آنالیز بیوگاز مرحله اول فاقد متان و شامل ۸۰/۴۰۰٪ دی‌اکسیدکربن و ۱۹/۶۰۰٪ مونواکسیدکربن، آنالیز بیوگاز مرحله دوم شامل ۰/۰۵٪ مونواکسیدکربن و ۶۴/۶۲۰٪ دی‌اکسیدکربن، ۳۵/۳۷۵٪ متان و نتیجه آنالیز بیوگاز مرحله سوم شامل ۸۱/۷۳۰٪ دی‌اکسیدکربن، ۶/۶۴۰٪ مونواکسیدکربن و ۱۱/۶۳۰٪ متان است.

نتایج آنالیز بیوگاز تولیدی هر مرحله با دستگاه کروماتوگرافی گازی مطابق شکل ۸ است. مطابق این نتایج آنالیز بیوگاز مرحله اول فاقد متان و شامل ۸۰/۴۰۰٪ دی‌اکسیدکربن و ۱۹/۶۰۰٪ مونواکسیدکربن، آنالیز بیوگاز مرحله دوم شامل



شکل ۷- تغییرات حجم بیوگاز تولیدی به ازاء واحد جرم خوراک طی دوره هضم بی‌هوای

Figure 7. volume variations of production biogas in length of anaerobic digestion time



شکل ۸- نتایج آنالیز کروماتوگرافی بیوگاز

Figure 8. Biogas chromatography analysis results

بحث و نتیجه‌گیری

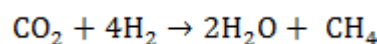
درجهت تولید بیومتان ناشی از تاثیر حضور هضم‌شده و فضولات گاوی روی فرایند هضم بی‌هوازی پسماندهای جامدآلی شهری است.

۷. ملاحظه می‌شود در فرایند هضم مشترک پسماندهای جامدآلی شهری با فضولات گاوی و ماده هضم‌شده بخشی از حجم هاضم توسط ماده‌هضم‌شده مرحله قبل اشغال می‌شود. چنانچه هدف از هضم بی‌هوازی مدیریت پسماندهای آلی (شهری و کشاورزی) باشد در نگاه نخست این موضوع سبب کاهش بهره‌وری سیستم خواهد بود ولیکن از آنجائیکه ماده‌هضم‌شده حاوی باکتری‌های فعال مراحل هضم بویژه میکروارگانیسم‌های متانزا است سبب می‌شود طول دوره هضم بی‌هوازی کوتاه‌تر و ترکیب‌نسبی بیشتری از بیوگاز تولیدی شامل بیومتان با ارزش‌افزوده انرژی‌زایی بالا باشد که هر دو سبب جبران کاهش بهره‌وری ناشی از اختصاص یافتن درصدی از حجم هاضم به ماده هضم شده می‌شود.

درمجموع تاثیر اختلاط ماده‌هضم‌شده حاصل از فرایند هضم مرحله قبل و فضولات گاوی به پسماندهای جامدآلی شهری علاوه بر افزایش بارآلی خوراک ترکیبات و عناصر سازنده و ضروری فرایند هضم بی‌هوازی بعنوان یک تلقیح کننده^۲ در فرایند هضم بی‌هوازی با هدف افزایش ترکیب‌نسبی متان در بیوگاز ایفای نقش می‌نماید. بدین معنی که حضور میکروارگانیسم‌های فعال مراحل چهارگانه هضم بی‌هوازی و بویژه متانزها و نیز غنی شدن محیط رشد و تکثیر (خوراک) به لحاظ ترکیبات و عناصر سازنده موردنیاز فرایند هضم بی‌هوازی را کوتاه نموده و سرعت می‌بخشد. میزان بیوگاز تولیدی به لحاظ حجم و فشار افزایش می‌یابد و نیز احتمال تولید و ترکیب‌درصد متان در بیوگاز بعنوان بخش انرژی‌زا و بهره‌ورکننده فرایند پیچیده و طولانی هضم بی‌هوازی را افزایش می‌دهد.

بر اساس یافته‌های تحقیق حاصل از نتایج آزمایش‌های مراحل اول تا سوم در اثر اختلاط ماده‌هضم‌شده و فضولات گاوی با پسماند جامدآلی شهری (به ترتیب):

۱. بخش خشک خوراک شامل بخش آلی و خاکستر افزایش می‌یابد. بخش آلی حاوی ترکیبات قابل هضم و خاکستر حاوی ترکیبات و عناصر موردنیاز ضروری برای تسریع فرایند هضم است (۲۶ و ۵). بنابراین نرخ فرایند تولید و میزان بیوگاز افزایش خواهد یافت.
۲. افزایش درصد تبدیل رطوبت در ماده‌هضم‌شده نشان از پیشرفت فرایند هضم و تولید بیشتر بیوگاز است. مطابق واکنش زیر تولید متان در مرحله چهارم (پایانی) فعالیت میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی فرایند هضم توسط میکروارگانیسم‌های متانوژن هیدروژن‌تورفی^۱ منجر به تولید آب خواهد شد (۵):



۳. باتوجه به افزایش عناصر اصلی و سازنده خوراک شامل کربن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد بارآلی خوراک افزایش می‌یابد و میزان تولید بیوگاز افزایش خواهد یافت. بطور معمول نسبت C/N در محدوده بهینه ۲۰-۳۰ قرار می‌گیرد که منتج به فعالیت بهینه میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی خواهد شد (۵).
۴. افزایش درصد تبدیل عناصری مثل کربن و نیتروژن نشان از روند مثبت فرایند هضم بی‌هوازی در جهت تولید بیوگاز دارد. یعنی فعالیت‌های بیوشیمیایی با مشارکت میکروارگانیسم‌ها و مواد اولیه لازم بخوبی برای تولید محصولات پیشروی می‌کند.
۵. افزایش فشارنسبی و حجم بیوگاز تولیدی به ازاء واحد جرم خوراک دلالت بر تایید نتایج یافته‌های خلاصه‌شده موارد ۱ تا ۴ دارد.
۶. وجود و افزایش ترکیب درصد متان تولیدی در بیوگاز نتیجه تکمیل فعالیتهای میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی

and applications); first part: biomass, feed treatment and biogas production, Arthur Wellinger, Jerry Murphy and David Baxter(editors), Issue 1, Tehran, Atran publications. (In Persian)

6. Yousefi. L., 2020, Effect of Mixing Digested with Municipal Solid Organic Waste in Biogas Production through Anaerobic Digestion Bath System under Mesophilic Conditions, Green chemistry and sustainable technologies journal, pp. 61-69, http://gcst.ccerci.ac.ir/article_112889.html. (In Persian)
7. Singhal, Y., Bansal, S.K., Singh, R., 2012. Evaluation of biogas production from solid waste using pretreatment method in anaerobic condition, International Journal of Emerging Sciences, Vol. 2(3), pp. 405- 414.
8. Milono, P., Lindajati, T., Aman, S., 1981, Biogas production from agricultural organic residues, The First ASEAN Seminar-Workshop on Biogas Technology, Working Group on Food waste Materials, pp. 52-65.
9. Gholami. M. and et.al., 2013, Investigation of Cumulative Biogas Production by Olive Waste with cow manure at Mesophilic and Thermophilic Temperatures, Fourth National Iranian Bioenergy Conference, Tehran, Iran. (In Persian)
10. P. Rivas-García et al., 2019, New model of hydrolysis in the anaerobic co-digestion of bovine manure with vegetable waste: modification of anaerobic digestion model no. 1, Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 19, No. 1 (2020) 109-122.
11. Safari, M., Abdi, R. and Adl, M., 2015, Investigation of biogas extraction from rapeseed waste, rumen

تشکر و قدردانی

تحقیق ارائه شده در مجتمع آزمایشگاهی - تحقیقاتی پروفیسور حسابی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر واقع در روستای چیچکلو شهرستان اسلامشهر انجام شده است. بنابراین بر خود فرض می‌دانم از مجموعه همکاران مستقر در این مجموعه شامل همکاران و کارشناسان محترم و خدوم بخش های حراست، آزمایشگاهی، فنی، تاسیسات و مدیریت که در به ثمر رسیدن و انجام مراحل آزمایشگاهی این تحقیق بنده را یاری فرمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

Reference

1. Salehi, K., Khazraee, S. M., Hosseini, F. S. and Khosravanipur, F., Biogas production from kitchen waste and sheep manure in laboratory scale, 2014, Environment Science and Technology Journal, Vol. 16, pp. 401-407. (In Persian)
2. Agbede, O. O., Aworanti, O. A., Osulale, F. N., Adebayo, A. O., Ogunleye, O. O., Agarry, S. E. and Babatunde, K. A., 2019, Anaerobic Conversion of Biodegradable Municipal Solid Waste to Biogas: A Review, Journal of Civil and Environmental Studies, Volume 3, Issue 1.
3. Anahita Rabii, Saad Aldin, Yaser Dahman and Elsayed Elbeshbishy, 2019, A Review on Anaerobic Co-Digestion with a Focus on the Microbial Populations and the Effect of Multi-Stage Digester Configuration, Energies, Vol. 12.
4. Nazari, A. and Nasiri, J., Anaerobic digester types for energy extraction by corruptible organic materials, Renewable and new energy journal, 2014, Vol. 2. (In Persian)
5. Yousefi, L. (translator), 2018, The biogas handbook(science, production

18. Yousefi, L., compare of DRANCO and COMPOGAS anaerobic digestion technology, 2017, 5th international conference on recent innovations chemistry and chemical engineering, Tehran, Iran. (In Persian)
19. K.D. Monson and et.al, 2007, Anaerobic Digestion of Biodegradable Municipal Wastes, A review, SERC.
20. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 2007, Compost-physical and chemical specifications, ISIRI 10716, 1st edition, www.isiri.org.ir. (In Persian)
21. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 1991, method of test for soil: determination of the moisture content (oven-drying method), ISIRI 1677, 3rd edition, www.isiri.org.ir. (In Persian)
22. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 2010, Compost-sampling and physical and chemical test methods, ISIRI 13320, 1st edition, www.isiri.org.ir. (In Persian)
23. Cui, Z., J. Shi, and Y. Li, 2011, Solid-state anaerobic digestion of spent wheat straw from horse stall. Bio resource Technology, Vol. 102, issue 20, pp. 9432-9437.
24. Ghosh, S., 2003, Solid-phase methane fermentation of solid wastes, Institute of gas technology: Chicago, Illinois. Pandey, A., Solid-state fermentation. Biochemical Engineering Journal, Vol. 13, issue 2, pp. 81-84.
25. Mirmohammadsadeghi, S., Karimi, k. and Zamani, A., 2013, Screening of preprocessing methods for optimal presentation of biomethane from rice straw by dry fermentation method, 5th Conference on Renewable, Clean and contents of cow manure, Journal of Systems Engineering Research and Agricultural mechanization, Vol. 16, issue 65, pp. 93. (In Persian)
12. Almasi, F., Jafari, A., Nosrati, M., Akram, A., Afazeli, H. and Feghipur, E., Investigating of plug anaerobic digester input feed effect on biogas production, 4th National Bioenergy Conference of Iran, Tehran, Iran. (In Persian)
13. Swati Hegde and Thomas A. Trabold, 2019, Anaerobic Digestion of Food Waste with Unconventional Co-Substrates for Stable Biogas Production at High Organic Loading Rates, Sustainability, Vol. 11, issue 3875.
14. Zhang et al., 2016, Biogas from anaerobic digestion processes: Research updates. Renewable Energy, Vol. 98, 108 – 119.
15. Langeveld, J. W. A., Guisson, R., Stichnothe, H., 2016, Mobilising sustainable supply chains—biogas cases: Biogas production from municipal solid waste, oil palm residues and co-digestion. International Energy Agency, Paris, pp. 1-98.
16. Marañón, E., Castrillón L., Quiroga, G., Fernández-Nava, Y., Gómez, L., García, M. M., 2012, Codigestion of cattle manure with food waste and sludge to increase the bio-gas production. Waste Management, Vol. 32, issue 10, pp. 1821–1825.
17. Zhang, C., Xiao, G., Peng, L., Su, H., Tan, T., 2013, the anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure, Bio resource Technology, Vol. 129, pp. 170-176.

Municipal Wastes: A Review, ISBN:
978-1-84054-157-1, SUSTAINABLE
ENVIRONMENTAL RESEARCH
CENTER (SERC).

Efficient Energy, Tehran, Iran. (In
Persian)
26. K. D. Monson, S. R. Esteves, A. J,
Guwy and R. M. Dinsdale, 2007,
Anaerobic Digestion of Biodegradable

