

تاثیر اختلاط هضم شده¹ با پسماندهای جامدآلی شهری در تولید بیوگاز از طریق مجموعه دستگاهی هضم بیهوازی بسته تحت شرایط مزوفیلیک

لیلا یوسفی^{1*}

¹ استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، اسلامشهر، تهران، ایران

Email: lusefi@iaau.ac.ir

چکیده

افزایش سرعت و نرخ فشار تولید بیوگاز و نیز افزایش ترکیب نسبی بیومتان در بیوگاز سبب افزایش بهره‌وری و کارایی بیوگاز بعنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر اختلاط هضم شده با پسماندهای جامدآلی شهری در تولید بیوگاز تحت شرایط مزوفیلیک از طریق مجموعه دستگاهی هضم بیهوازی بسته است. در این تحقیق فرایند تولید بیوگاز تحت شرایط بیهوازی در دومرحله آزمایشگاهی انجام می‌شود. خوراک آزمایش نخست شامل پسماند جامدآلی خانگی خرد شده است که تحت فرایند هضم بیهوازی در شرایط مزوفیلیک قرار می‌گیرد و خوراک آزمایش دوم شامل پسماند جامدآلی خانگی خرد شده بعلاوه هضم شده حاصل از آزمایش نخست است که در شرایط مشابه با آزمایش نخست تحت شرایط هضم بیهوازی قرار می‌گیرد. نرخ فشار، حجم، سرعت و ترکیب نسبی بیوگاز تولیدی در دو آزمایش مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس یافته‌های آزمایشگاهی و نتایج میزان و نرخ تولید، بیوگاز تولیدی آزمایش اول بسیار کم و فاقد بیومتان است. در صورتیکه نتایج آزمایش دوم علاوه بر وجود بیومتان در بیوگاز تولیدی، نشان دهنده نرخ فشار و سرعت بیومتان تولیدی بسیار بیشتر از آزمایش نخست است بطوریکه در حالت پیک تولید بیوگاز فشار بیومتان حاصل از آزمایش دوم 9/5 برابر آزمایش نخست است. در نتیجه حضور و ترکیب هضم شده با پسماند جامدآلی شهری سبب افزایش سرعت و نرخ فشار بیوگاز تولیدی و نیز اطمینان از وجود یا افزایش ترکیب نسبی متان در بیوگاز خواهد شد.

واژگان کلیدی: هضم بیهوازی، پسماند جامدآلی، هضم شده، بیوگاز، بیومتان

¹ محصول نیمه جامد بر جای مانده فرایند هضم

Effect of Mixing Digested² with Municipal Solid Organic Waste in Biogas Production through Anaerobic Digestion Bath System under Mesophilic Conditions

Leila Yousefi^{1,*}

Assistant Professor of Chemistry Department, General Science Faculty, Islamshahr Branch Islamic Azad University, Islamshahr, Tehran, Iran
Email: l.yousefi@iaau.ac.ir

Abstract

Increasing velocity and pressure rate of biogas production, as well as increasing relative composition of biomethane in biogas will increase the efficiency and effectiveness of biogas as a renewable energy source. The aim of this study is to investigate the effect of mixing digested with municipal solid waste organic in the production of biogas under mesophilic conditions through an anaerobic digestion bath system. In this paper, the biogas production process under anaerobic conditions was conducted in two laboratory stages. The first test feed consisted of crushed organic household waste that underwent anaerobic digestion at mesophilic conditions and feed of the second test includes crushed organic household waste as well as the digested obtained from the first test which was digested in the same conditions as the first experiment. The pressure, volume, velocity and relative composition of the produced biogas were investigated in two experiments. According to laboratory findings, the produced biogas rate by the first experiment was very low and lacked bio methane. However, results of the second test, in addition to presence of biomethane in the produced biogas, showed a much higher rate of production pressure and speed than the first test. So that at the peak of biogas production, the second test biomethane pressure was 9.5 times the first test. As a result, the presence and combined digested with the municipal solid waste will increase the speed and pressure rate of the produced biogas and also ensure the existence or increase of the relative composition of methane in the biogas.

Keywords: anaerobic digestion, solid organic waste, digested, biogas, biomethane

² residue semi-solid product of digestion process

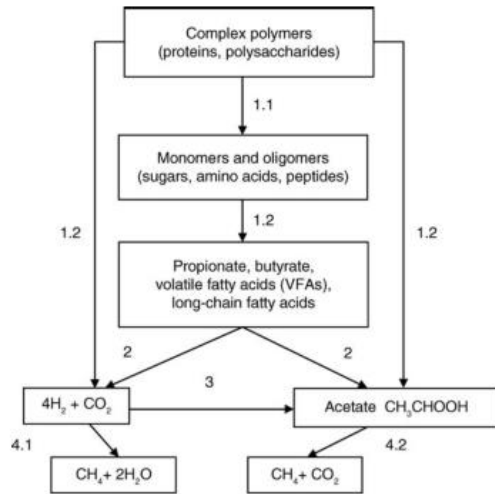
مقدمه

بخش عمده پسماندهای تولیدی بشر از نوع جامدات تجزیه پذیر بوسیله میکروارگانیسمها است [1]. مدیریت و امحاء این دسته پسماندها که روزانه حجم بالایی را در جوامع بشری به خود اختصاص می‌دهد از جمله چالشهای محیط‌های اجتماعی محسوب می‌شود [2]. هضم بیپهوازی روشی است که علاوه بر مدیریت و دفع این دسته از پسماندها و رفع معضل چالشهای ناشی از آن در زندگی اجتماعی، منجر به تولید انرژی می‌شود. بیوگاز محصول هضم بیپهوازی پسماندهای آلی دستاورد این نوع روش مدیریت پسماند است [3]. گاز زیستی بیوگاز جزء انرژی‌های سبز و تجدیدپذیر است و قابلیت استحصال انرژی بصورت گرما، برق و سوخت را داراست [4]. تولید بیوگاز بر روی طیف وسیعی از ترکیبات آلی به سادگی امکان پذیر است [5]. فرایند مدیریت پسماند به طریق هضم بیپهوازی با تولید بیوگاز مقرون به صرفه شده و موجب ترغیب به کاربرد این روش می‌شود. چراکه هزینه‌های سرمایه‌گذاری، عملیاتی و روزانه فرایند هضم بیپهوازی با چشم‌انداز مزایایی مشابه جلوگیری از تحمیل ضررهای وارده به محیط‌زیست و هزینه‌های ناشی از آن بعلاوه منافع عاید از فروش و کاربری بیوگاز بعنوان انرژی تجدیدپذیر حاشیه سود مثبتی از این روش فراهم می‌نماید.

در شرایط بهینه بیوگاز شامل 60٪ متان و 40٪ دی‌اکسید کربن است [6،7]. ارزش انرژی‌زایی بیوگاز ناشی از ترکیب نسبی متان است. از طرفی پسماندهای آلی به دلیل ساختار و ترکیبات متفاوت دارای ارزشهای حرارتی متغیر و پایین هستند [8]. همین مسئله تولید انرژی از پسماندهای آلی را به روش صنعتی دشوار می‌نماید. از طرف دیگر فرایند تولید بیوگاز از یک مکانیسم پیچیده بیولوژیکی تبعیت می‌کند [9]. چهار گروه مغذی بطور متداول در فرآیندهای بیپهوازی شناخته می‌شود (مطابق شکل 1). فعالیت‌های هماهنگ این چهار گروه مغذی ثبات کامل تولید بیوگاز را تضمین می‌کند [10].

باکتری‌های فعال برای انجام فرایندهای بیوشیمیایی تجزیه مطابق چهارگروه مغذی مندرج شکل 1، شامل: 1-باکتری

اسیدوژن، 1-1-باکتری‌های هیدرولیتیک، 1-2-باکتری‌های تخمیر، 2-باکتری آستوژنیک، 3-باکتری هوموآستوژنیک، 4-باکتری متانوژن، 4-1-باکتری متانوژن هیدروژنوتروفی، 2-4-باکتری متانوژن استیکلاستیک هستند [10].



شکل 1- چهار گروه مغذی فرآورش هضم بیپهوازی [10].

براساس این اطلاعات تولید بیوگاز با ترکیب نسبی متان بالا مستلزم قرارگرفتن فرایند هضم بیپهوازی در بخش باکتری‌های متانزا است. در اکثر موارد مشاهده شده است که ترکیب نسبی متان در بیوگاز حاصل از تخمیر پسماندهای آلی جامد شهری به تنهایی صفر یا میزان بسیار کمی است. یکی از روشهایی که می‌تواند سبب افزایش ترکیب نسبی متان در بیوگاز شود وجود باکتری‌های فعال هضم از چهار دسته باکتری فوق همراه پسماندهای آلی جامد شهری بعنوان خوراک است. هضم شده از جمله منابعی است که تجمع باکتری‌های تخمیر را باهم دارد. هضم شده غنی از باکتری‌های بیپهوازی مفید برای فرآیند تخمیر و نیز دارای حرارت کافی به منظور تامین میزان گرمایش اولیه خوراک ورودی به هاضم است [11، 12].

این مقاله دستاورد فعالیت‌های آزمایشگاهی است. در مرحله نخست خوراک پسماند جامد آلی تحت فرایند هضم بیپهوازی در یک مجموعه آزمایشگاهی سیستم بسته با شرایط خلاء نسبی و دمای مزوفیلیک³ قرارگرفت و نتایج بصورت آنالیز خوراک، هضم شده و بیوگاز تولیدی ارائه می‌شود. مرحله دوم خوراک

³ Mesophilic

دماسنج ترموکوپلی تعبیه شده داخل مخزن هاضم و مجهز به سیستم صفحه نمایشگر با دقت 0 ± 1 °C انجام شد. اندازه‌گیری فشارنسبی داخل مخزن هضم شامل بیوگاز تولیدی نیز از طریق یک فشارسنج نسبی از نوع WINTER نصب شده روی سقف هاضم انجام شد.



شکل 2- مخزن هاضم

به موازات انجام فرایند هضم بیهوازی آزمایشهای لازم برای تعیین نوع و میزان ترکیب نسبی خوراک انجام شد. اندازه‌گیری میزان درصد رطوبت، خاکستر، بخش خشک و بخش آلی بر مبنای استاندارد ملی ایران و دستورالعمل مندرج در موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران انجام شد [13-15]. آنالیز عنصری بر روی نمونه خشک شده حاصل از مرحله قبل از طریق دستگاه آنالیز عنصری مستقر در آزمایشگاه جامع تحقیقاتی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی انجام شد. ملاک پایان زمان هضم ثابت ماندن فشارنسبی داخل هاضم برای حدود یک هفته لحاظ گردید [10]. در پایان زمان هضم کپسول نمونه‌گیر گازی به حجم حدود 32 میلی‌لیتر از سیستم جدا شد. آنالیز نمونه بیوگاز تولیدی جمع‌آوری شده در این کپسول از طریق دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC⁸) مستقر در آزمایشگاه دانشکده مهندسی شیمی

مخلوطی از پسماند جامد آلی و هضم شده حاصل از مرحله نخست انتخاب شده و با همان شرایط آزمایش اول تحت فرایند هضم قرار گرفت و مجدد نتایج حاصل از آنالیز خوراک، هضم شده و بیوگاز تولیدی ارائه می‌شود. نتایج حاصل از دو مرحله آزمایش با یکدیگر مقایسه و نتیجه‌گیری نهایی اتخاذ و ارائه می‌شود.

روش انجام کار

مرحله نخست آزمایش

زمان: 23 تیر 1398

2300g پسماند جامد آلی خانگی جمع‌آوری و به قطعات کمتر از 1cm خرد شد. 2 Kg از این نمونه برای فرایند هضم بیهوازی در دستگاه و 300 g برای آزمایشهای مربوط به تعیین درصد رطوبت (W⁴%)، خاکستر (Ash⁵%)، بخش آلی (OM⁶%)، بخش خشک (DM⁷%) و آنالیزهای عنصری مربوط به تعیین کربن (C)، نیتروژن (N)، هیدروژن (H)، گوگرد (S) و اکسیژن (O) تفکیک شد. 2 Kg نمونه خرد شده داخل مخزن هاضم (شکل 2) قرار گرفت. سپس مجموعه سیستم دستگاهی بوسیله یک پمپ خلاء تحت فشار نسبی 0/75 bar قرار گرفت و بدین ترتیب برای انجام فرایند هضم بیهوازی خلاء نسبی مهیاشد. برای ایجاد شرایط مزوفیلیک محتویات داخل مخزن هاضم بوسیله یک ژاکت حرارتی با جریان چرخشی آب گرم تحت دمای متوسط 37°C قرار گرفت. همچنین به منظور ایجاد شرایط یکنواخت و همگن برای غلظت مواد داخل هاضم، نیز توزیع یکنواخت حرارت و در مجموع ایجاد شرایط یکنواخت و یکسان برای انجام فرایند هضم محتویات داخل مخزن از طریق یک همزن بصورت ناپیوسته مخلوط می‌شد. اختلاط از طریق همزن مکانیکی بطور متوسط 3 روز در هفته هر بار 3 ساعت با دور همزن 12 r/min انجام شد. این فرایند برای دوره 98/04/23 تا 98/06/04 به مدت 42 روز بطور مداوم انجام شد. در طول این مدت فشارنسبی و دمای داخل هاضم بطور مرتب اندازه‌گیری و یادداشت می‌شد. اندازه‌گیری دما از طریق یک

6 Organic Mater

7 Dried Mater

8 Gas chromatography

4 Water percent

5 Ash percent

نخست تنظیم‌شد با این تفاوت که شروع فرایند دورهمزن بطور متوسط 16 r/min و پس از عبور از پیک بیشینه تولید بیوگاز (فشار بیشینه بیوگاز) دورهمزن به متوسط r/min 12 کاهش یافت. تمامی مراحل آزمایش مطابق مرحله نخست تکرار شد.

نتایج

جدول 1 مشخصات فیزیکی-شیمیایی و ترکیب‌نسبی خوراک و محصول برجای‌مانده از هضم (هضم‌شده) را نشان می‌دهد. این مشخصات شامل نوع و میزان، مدت‌زمان هضم، رطوبت، خاکستر، ماده‌آلی، ماده‌خشک، کربن، هیدروژن، نیتروژن، گوگرد، اکسیژن و pH است. درصد رطوبت، میزان آب موجود در نمونه شامل مولکولهای آب‌آزاد و پیوندی (داخل مولکولی) را نشان می‌دهد.

دانشگاه صنعتی امیرکبیر انجام‌شد. همچنین مجدد آزمایشهای شیمی‌فیزیکی فوق برای تعیین نوع و میزان ترکیب‌نسبی، این بار روی هضم‌شده تکرار شد.

مرحله دوم آزمایش

زمان: 30 شهریور 1398

این بار خوراک مخلوطی از پسماند جامد آلی خانگی جمع‌آوری و خرد شده به قطعات کمتر از 1 cm به میزان 2478 g و 1800g هضم‌شده حاصل از مرحله نخست آزمایش انتخاب شد. علاوه بر این میزانی نیز از همین خوراک برای تستها و آزمایشهای شیمی و فیزیکی جدا شد. خلاء‌نسبی اولیه ایجاد شده در سیستم با پمپ خلاء حدود 0/85 bar-، متوسط دمای داخل هاضم حدود 38 °C و دوره هضم تا 28 دی‌ماه 1398 برای مدت 117 روز بطول انجامید.

زمان اختلاط همزن و طول مدت همزدن مشابه آزمایش

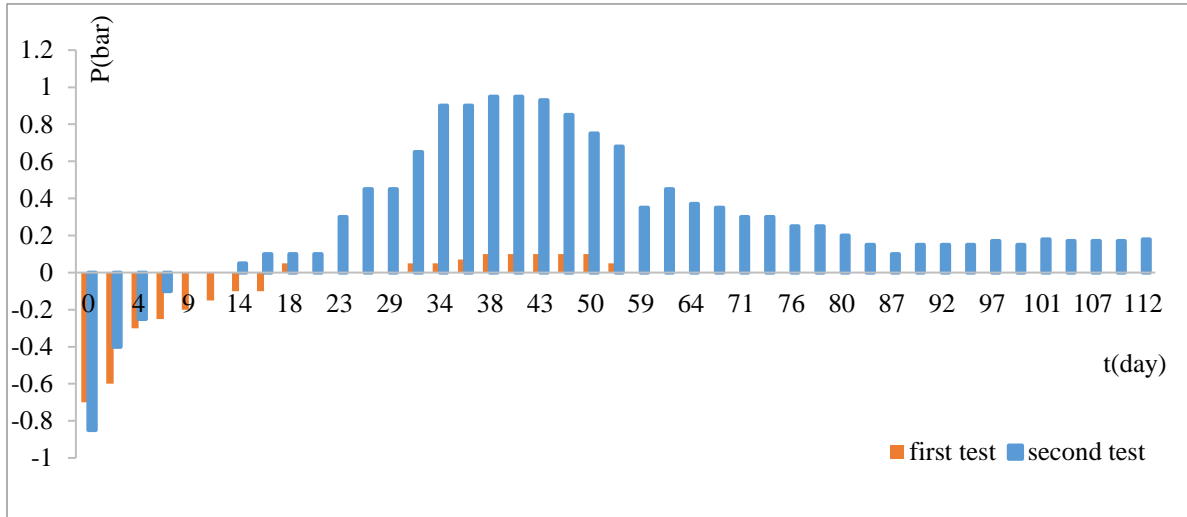
جدول 1- مشخصات فیزیکی-شیمیایی و ترکیب‌نسبی خوراک و هضم شده در دو آزمایش

آزمایش دوم		آزمایش نخست		عنوان
هضم‌شده	خوراک	هضم‌شده	خوراک	
	پسماند خانگی+هضم شده حاصل از آزمایش نخست		پسماند خانگی	نوع خوراک
3/98	4/278	1/8	2	مقدار (Kg)
98/06/30-98/10/28		98/04/23-98/06/04		دوره هضم
88/14	80/9	83/68	78/9	رطوبت (%W)
19/8	18/6	9/6	10/2	خاکستر نسبت به ماده خشک (%Ash)
2/35	3/55	1/57	2/15	خاکستر (%Ash)
9/51	15/55	14/75	18/95	ماده آلی (%OM)
11/86	19/1	16/32	21/1	ماده خشک (%DM)
100/00	100/00	100/00	100/00	کل خوراک %
39/25	58/03	48/05	47/73	C%
5/22	0/72	0/24	1/12	H%
2/47	3/98	2/23	1/69	N%
0	16/58	0/91	13/03	S%
.....	16/98	23/72	26/41	O%
.....	3/71	24/85	10/02	ناخالصی
100	100	100	100	مجموع
6	6-7	6-7	6-7	pH

جدول 2- ترکیب درصد بیوگاز حاصل از آزمایش‌های نخست و دوم

ترکیب بیوگاز	آزمایش نخست	آزمایش دوم
%CO ₂	80/4	35/375
%CO	19/6	64/62
%H ₂ O	0	0
%CH ₄	0	0/005

جدول شماره 2 نتایج حاصل از آنالیز بیوگاز تولیدی در آزمایش‌های نخست و دوم با دستگاه اسپکتروفتومتری گازی (GC) را نشان می‌دهد. حاصل آنالیز نمونه بیوگاز با این دستگاه برحسب ترکیب درصد دی‌اکسیدکربن، مونواکسیدکربن، بخار آب و متان ارائه شده است.



شکل 3- نرخ فشاری تولید بیوگاز برحسب طول مدت فرایند هضم بیهوازی در آزمایش‌های نخست و دوم

بعنوان غذای میکروارگانیسم‌ها در فرایند هضم استفاده می‌شود اما در صورت تولید آمونیاک در اثر فعل و انفعالات بیوشیمیایی سبب بازدارندگی تولید متان در بیوگاز خواهد شد [10]. مطابق این جدول در آزمایش نخست 1/21٪ خوراک، بخش جامد است که به ترتیب شامل بخش‌های آلی و خاکستر 18/95 و 2/15٪ است، پس از طی دوره هضم ترکیب درصد بخش جامد در هضم شده به 16/32٪ شامل 14/75٪ بخش آلی و 1/57٪ خاکستر رسیده است. یعنی 65/22٪ از کل مواد جامد طی فرایند هضم بیهوازی به بیوگاز تبدیل شده است. با مقایسه ترکیب درصد عناصر در خوراک و هضم شده ملاحظه می‌شود که حدود 7٪ کربن خوراک به بیوگاز تبدیل شده که مقدار بسیار جزئی است. از طرفی با بررسی نیتروژن خوراک و هضم شده مشخص می‌شود که میزان نیتروژن نه تنها در هضم شده کاهش نیافته بلکه با افزایش حدود 5/0٪ هم مواجه بوده است یعنی فرایند هضم وارد

شکل 3 میزان تولید بیوگاز را بر مبنای فشار تولیدی در طول دوره فرایند هضم بیهوازی نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

مطابق جدول 1 در هردو آزمایش و 4 نمونه (دو خوراک و دو هضم شده) حدود 80٪ آب وجود دارد. 20٪ باقی جامد شامل بخش‌های آلی و غیرآلی است. بخش آلی قابلیت تجزیه در اثر فرایندهای بیوشیمیایی را داراست و در مقابل بخش غیرآلی در اثر فرایندهای بیوشیمیایی تجزیه نمی‌شود، این بخش تحت عنوان خاکستر یاد می‌شود. بخش غیرآلی می‌تواند واجد ترکیباتی باشد که سبب تسهیل یا تسریع فرایندهای بیوشیمیایی شود و/یا بالعکس در فرایند هضم ممانعت و بازدارندگی ایجاد کند. بطورمثال نیتروژن ماده‌ای است که

نسبت به آزمایش دوم روند کندی را طی می‌کند. هر دو در یک بازه حدود 40 روزه به پیک تولید بیوگاز می‌رسند ولیکن حجم و فشار تولیدی بیوگاز در آزمایش دوم نسبت به اول از یک افزایش قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. ماکزیموم فشار نسبی بیوگاز تولیدی در آزمایش‌های نخست و دوم به ترتیب 0/1 bar و 0/95 است. افزایش فشار بیوگاز تولیدی در آزمایش دوم نسبت به نخست چیزی حدود 9/5 برابر است. با توجه به ثابت نگهداشتن شرایط فرایند هضم‌بیهوازی (فیزیکی و مکانیکی) در هر دو آزمایش این افزایش علاوه بر افزایش بار خوراک ورودی در آزمایش دوم نسبت به اول تنها می‌تواند به دلیل حضور میکروارگانیسم‌های فعال چهارگانه فرایند هضم در هضم‌شده‌ای باشد که با پسماند جامدآلی قبل از ورود به مرحله هضم مخلوط شده‌است.

بدین ترتیب از این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

1. اختلاط هضم‌شده با پسماندآلی جامد سبب تسریع فرایند تولید بیوگاز می‌شود.
2. حجم بیوگاز تولیدی فرایند هضم‌بیهوازی با خوراکی که واجد هضم‌شده است در بازه زمانی و شرایط عملیاتی مشابه به مراتب چندین برابر حالت فرایند هضم‌بیهوازی با خوراک خالص شامل پسماند جامدآلی است.
3. حضور هضم‌شده در خوراک فرایند هضم‌بیهوازی احتمال حضور و نیز ترکیب درصد بیومتان را در بیوگاز تولیدی افزایش می‌دهد.

تشکر و قدردانی

تحقیق ارائه شده در مجتمع آزمایشگاهی-تحقیقاتی پروفیسور حسایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر واقع در روستای چیچکلو شهرستان اسلامشهر انجام شده‌است. بنابراین بر خود فرض می‌دانم از مجموعه همکاران مستقر در این مجموعه شامل همکاران و کارشناسان محترم و خدمت بخشهای 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. همچنین

مرحله متنازایی نشده چون ازت برای رشد، تکثیر و فعالیت میکروارگانیسم‌های متانوژن و همینطور استوژن بعنوان غذا مصرف می‌شود. پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد بخش جزئی از کربن که در اثر فرایند بیولوژیکی هضم‌بیهوازی به بیوگاز تبدیل شده، قریب به یقین متان نخواهد بود. نتایج حاصل برای آزمایش دوم نشان می‌دهد، 37/9٪ از کل بخش جامد طی فرایند هضم‌بیهوازی به بیوگاز تبدیل شده‌است یعنی بیش از 1/5 برابر آزمایش نخست که این خود گواه بر مثبت بودن تاثیر تلفیق هضم‌شده با خوراک پسماندآلی جامد بر روی فرایند هضم‌بیهوازی در جهت تولید بیوگاز است. همچنین با قیاس بین ترکیب درصد عناصر در خوراک و هضم‌شده مشخص می‌شود، 32/36٪ کربن در فرایند هضم‌بیهوازی تجزیه شده و به بیوگاز تبدیل شده‌است. این رقم در مقایسه با آزمایش نخست بیش از چهار برابر است که مجدد تاییدی بر تاثیر مثبت حضور هضم‌شده در فرایند است. از طرف دیگر در این آزمایش ازت 37/94٪ مصرف شده‌است. همانطور که برای آزمایش نخست توضیح داده شد، می‌توان استنتاج نمود در آزمایش دوم فرایند هضم‌بیهوازی وارد فاز متانوژن و استوژن شده‌است (دلیل دیگری بر تائید حضور مثبت هضم‌شده در فرایند).

جدول شماره 2 نتیجه آنالیز بیوگاز حاصل از فرایندهای هضم‌بیهوازی را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود هیچ متانی در آنالیز نمونه بیوگاز آزمایش نخست وجود ندارد، مطلبی که از نتایج جدول 1 هم قابل پیش‌بینی بود. در مقابل آنالیز نمونه بیوگاز آزمایش دوم وجود گاز متان را اثبات می‌نماید که تولید بیومتان بر مبنای نتایج حاصل از جدول شماره 1 نیز قابل استدلال و اثبات است.

شکل 3 روند نرخ فشاری تولید بیوگاز را طی مدت فرایند هضم‌بیهوازی در دو آزمایش نخست و دوم نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود در هر دو آزمایش (نخست و دوم) که با خلاء نسبی 0/75- و 0/85- آغاز شد، بتدریج فشار افزایش می‌یابد. در ابتدای فرایند افزایش فشار می‌تواند ناشی از تبخیر آب (رطوبت خوراک) تحت خلاء سیستم باشد ولی بتدریج با ادامه فرایند افزایش فشار ناشی از تولید بیوگاز خواهد بود. مطابق نمودار افزایش فشار در آزمایش نخست

زباله آشپزخانه و کود گوسفند در مقیاس آزمایشگاهی، نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، شماره ویژه 93.

[10] لیلا یوسفی، کتاب راهنمای بیوگاز(دانش، تولید و کاربردها) بخش اول: منابع زیست‌توده، فراورش خوراک و تولید بیوگاز، انتشارات عطران، 1397.

[11] لیلا یوسفی، مقایسه فناوری هضم بیهوازی درانکو و کمپوگاز، پنجمین کنفرانس بین‌المللی نوآوری‌های اخیر در شیمی و مهندسی شیمی، 1396.

[12] K.D. Monson and et.al, Anaerobic Digestion of Biodegradable Municipal Wastes, A review, *SERC*, 2007.

[13] استاندارد ملی ایران 10716 چاپ اول، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست.

[14] استاندارد ملی ایران 1677 چاپ سوم، روش آزمایش تعیین مقدار رطوبت خاک، آذر 1370.

[15] استاندارد ملی ایران 13320 چاپ اول، کمپوست- نمونه‌برداری و روش‌های آزمون فیزیکی و شیمیایی.

شایسته است نسبت به مساعدتهای جناب آقای دکتر ناصرحسینقلی ارباب مدیر مرکز رشد و واحدهای فناور این واحد دانشگاهی که همواره با نظر مثبت بنده را در انجام این تحقیق یاری فرمودند قدردانی نمایم.

منابع

[1] Ahmadi-Pirlou M, Ebrahimi-Nik MA, Khojastehpour M, Ebrahimi SH. Effect of alkaline pretreatment on improvement of biodegradability of organic fraction of municipal solid wastes and biogas production in anaerobic digestion. *Iranian Journal of Health and Environment*.2017; 9(4):481-92.

[2] نصیری، جواد، امکان‌سنجی نیروگاه بیوگازی ساوه، چهارمین همایش ملی مدیریت پسماند، مشهد، سازمان شهرداریها و دهرداریهای کشور، سازمان حفاظت محیط زیست، 1387.

[3] فروغ الزمان لیمویی، حسن محبت‌کار، بیوگاز و نتایج زیست‌محیطی آن، ماهنامه پژوهش ملل/ دوره دوم، شماره 17، اردیبهشت 1396.

[4] مرضیه بدیعی، انرژي از پسماند، دانشنامه انرژي، بنیاد دانشنامه نگاری ایران، www.iecf.ir.

[5] مهشید گلستانه، تولید انرژي سبز از پسماند، راهی به سوی توسعه پایدار، فصلنامه شیمی سبز و فناوری‌های پایدار، شماره 1 بهار و تابستان 1398 صفحات 33 الی 43.

[6] علی نظری، جواد نصیری، انواع هاضم‌های بیهوازی برای استحصال انرژي از موادآلی فسادپذیر، فصلنامه علمی- تخصصی انرژي تجدیدپذیر و نو، شماره دوم، زمستان 1393.

[7] حسین‌علیدادی، سمیه اعتمادی‌مشهدی، علی اصغر نجف‌پور، بتول محبراد و علی‌اکبر دهقان، مطالعه فرآیند تولید بیوگاز با استفاده از مخلوط شیرابه زباله شهری و فضولات حیوانی، مجله تحقیقات سلامت در جامعه، تابستان 1396، دوره 3، شماره 2، 44-54.

[8] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 5, Waste. IGES, Japan.

[9] کبری صالحی، سیدمعصوم خضرای، فاطمه سادات حسینی و فرنوش خسروانی‌پور مصطفی‌زاده، تولید بیوگاز از