تولید بیوگاز از فضولات گاوی و ضایعات روغن های خوراکی در یک هاضم جریان پیوسته مجهز به سامانه کنترل خودکار

سحر خادمی[*۱]، سید جلیل رضوی[۲]، امین اله معصومی[۳]

۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان (s.khademi@ag.iut.ac.ir)
۲. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان (jrazavi@cc.iut.ac.ir)
۳. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان (masoumi@cc.iut.ac.ir)

چکیده

افزایش تقاضای جهانی انرژی در مقابل رو به اتمام بودن ذخایر سوخت فسیلی و از طرفی اثرات مخرب زیست محیطی و گرم شدن کره زمین ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی یکی از مشکلات پیش رو است. از این رو منابع انرژی تجدید پذیر مانند بیوگاز باید توسعه یابد. در این پژوهش ابتدا یک سامانه کنترل اتوماتیک برای کنترل دما و فشار مواد داخل یک هاضم نوع پیستونی (پلاگ فلو) پیوسته با حجم تقریبی ۳۶۰۰ لیتر ساخته شد. پس از نصب سامانه کنترل، در چهار دوره مجزا میزان تولید بیوگاز و متان برای چهار نوع خوراک مختلف شامل ترکیب کود گاوی و آب با نسبت ۱:۱، کود گاوی و آب و روغن رستوران ۸ درصد، کود گاوی و آب و روغن رستوران ۱۰درصد و کود گاوی و آب و روغن رستوران ۱۰درصد اندازه‌گیری شد. در هر مرتبه خوراک‌دهی و تخلیه، از مواد ورودی به هاضم و مواد خروجی از آن یک نمونه برای اندازه-گیری پارامترهای اسیدیته، جامدات کل (TS)، جامدات فرار (VS)، آمونیاک و میزان بار آلی (COD) گرفته شد. همچنین میزان گاز تولید شده در هر مرتبه تخلیه هاضم، از روی کنتور اندازه‌گیری حجم گاز ثبت شد. در نرم‌افزار آماری SAS و با استفاده از مقایسه میانگین LSD معنی دار بودن تفاوت میانگین هر یک از پارامترها بررسی شد. نتایج نشان داد که افزودن روغن تأثیر زیادی بر تولید بیوگاز و افزایش میزان متان داشت. علاوه بر این مقایسه میانگین LSD نشان داد تفاوت معنی داری بین میانگین حجم بیوگاز تولید شده برای چهار نوع خوراک وجود داشت.

کلمات کلیدی: *انرژی، هاضم پلاگ فلو پیوسته، کود گاوی، روغن رستوران.*

نویسنده مسئول: s.khademi@ag.iut.ac.ir

تولید بیوگاز از فضولات گاوی و ضایعات روغن های خوراکی در یک هاضم جریان پیوسته مجهز به سامانه کنترل خودکار

مقدمه

یکی از مهمترین مباحث در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کشورهای جهان، موضوعات مرتبط با انرژی و میزان مصرف آن در بخش-های مختلف می‌باشد. انرژی به عنوان یکی از مهمترین عوامل تولید و ماده اولیه مورد نیاز در مصرف نهایی، از نظر اقتصادی دارای اثرات قابل توجهی است و نفت و فرآورده‌های نفتی کماکان مهمترین تأمین کننده انرژی در جهان هستند. اما در ۱۵ سال گذشته تغییرات بی سابقه‌ای در مصرف منابع انرژی مشاهده شده است. در بین تمام منابع متعارف انرژی، بیوگاز یک منبع پاک و تجدید پذیر است که می تواند به روش‌های مختلفی تولید شود. یک روش برای تولید آن، تخمیر و تجزیه بی هوازی مواد آلی توسط باکتریهای بی هوازی است. در کشورهای اروپایی از روش هضم بی‌هوازی برای بازیافت و تصفیه زباله‌ها استفاده شده است[۸]. فرآیند هضم بی‌هوازی برای تصفیه بسیاری از انواع پساب‌ها و پسماندها، از قبیل پسماند مواد خوراکی [۱۳]، پسماندهای میوه و سبزیجات [۱]، پسماندهای خانگی [۱۲]، پسماند کشاورزی [۲] و مواد آلی موجود در ضایعات جامد شهری[1] [۴] به‌کار می‌رود. پیش بینی می‌شود بیوگاز حاصل از هضم بی هوازی پساب صنایع، کود گاوی و دیگر ترکیبات آلی حدود ۲۵ درصد از بیوانرژی آینده را تأمین کند[۹].در سال های اخیر تلاش‌های زیادی برای پیدا کردن راه‌هایی برای بهبود عملکرد هاضم های بی‌هوازی انجام شده است. یکی از گزینه‌های مورد بررسی استفاده از ترکیب چند ماده آلی برای هضم همزمان است. با هضم همزمان چندین سوبسترا، فرآیند هضم بی‌هوازی ثبات بیش‌تری خواهد داشت[۵]. علاوه بر این یکی از عوامل تأثیر گذار بر نسبت متان به دی اکسید کربن در بیوگاز، ترکیب سوبسترا می‌باشد. ضایعات آلی از قبیل چربی‌ها و روغن‌ها می توانند علاوه بر افزایش تولید بیوگاز از هضم بی هوازی نسبت متان به دی اکسیدکربن را ۷۰ به ۳۰ برسانند و همین امر باعث افزایش انگیزه برای استفاده از بیوگاز برای تولید انرژی الکتریکی، حرارتی یا مکانیکی شده است[۷]. با این حال تصمیم‌های غلط درمورد نوع سوبسترا و نسبت ترکیبات آن‌ها اغلب منجر به کاهش قابل توجه تولید بیوگاز و یا حتی شکست فرآیند هضم بی‌هوازی می‌شود[۸].

وانگ و همکارانش (۲۰۱۳) نشان دادند که نرخ تغذیه مطلوب در هضم همزمان روغن و لجن فعال به میزان ۲۰ درصد روغن و ۸۰ درصد لجن فعال است[۱۴]. بیر (۲۰۱۳) از چربی‌ها و روغن‌های مصرف شده به عنوان یک مکمل برای فاضلاب، به‌منظور افزایش تولید بیوگاز استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که افزودنی روغن باعث افزایش میزان بیوگاز تولیدی و کاهش و ناپایداری در میزان pH می‌شود[۳].

برای پیشبرد درست فرآیند هضم بی‌هوازی و رسیدن به مقدار بهینه بیوگاز، شناسایی ترکیبات جدید از جمله ضایعات روغن‌های خوراکی و تولید انرژی از این مواد امری ضروری است. بدین منظور هدف اصلی این پژوهش مقایسه مقدار بیوگاز و متان تولیدی از فضولات گاوی در ترکیب با سه سطح متفاوت از ضایعات روغن رستوران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

رآکتور به کار گرفته شده در این پژوهش یک هاضم نوع پیستونی بود که تغذیه آن به صورت پیوسته انجام شد. ابتدا به مقدار ۲۷۰۰ لیتر از مخزن با مخلوط کود و آب به نسبت ۱:۱ پرشد. برای رسیدن سیستم به حالت پایدار به مدت بیست روز سیستم به همین حالت نگه داشته شد و پس از آن با درنظرگرفتن زمان ماند ۱۵ روز و باتوجه به حجم مخزن و با استفاده از فرمول (۱) بارگیری مخزن انجام شد. بارگیری یک روز درمیان و به مقدار ۱۸۰ لیتر انجام گرفت و در هر مرتبه بارگیری به همین میزان از مخزن خارج شد. نمونه گیری و

[1]- Organic Fraction of Municipal Solid Waste

آزمایشات مربوط به پارامترها در طی چهار دوره انجام شد. دوره اول: مخلوط کود و آب با نسبت ۱:۱، دوره دوم: کود و آب با نسبت ۱:۱ و روغن ۸٪، دوره سوم کود و آب با نسبت ۱:۱ و روغن ۱۰٪و دوره چهارم: کود و آب با نسبت ۱:۱ و روغن ۱۲٪.

$$\text{تغذیه روزانه} = \frac{\text{حجم اشغال شده مخزن هاضم}}{\text{زمان ماند}} \quad (۱)$$

در دوره اول در هر مرحله بارگیری ۱۸۰ لیتر ماده معادل ۹۰ لیتر آب و ۹۰ لیتر کود گاوی تازه با دانسیته ۹۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب [۱۰] از محل گودال نگهداری کود فری استال گاوداری وارد مخزن شد. در آخرین روز نمونه گیری از دوره اول، ۸ درصد از حجم اشغال شده مخزن هاضم (یعنی ۸ درصد از ۲۷۰۰ لیتر مخلوط کود و آب) به میزان تقریبی ۲۳۵ لیتر با روغن رستوران با دانسیته ۹۱۸/۸ کیلوگرم بر متر مکعب [۱۱] جایگزین شد. به همین ترتیب در پایان دوره دوم آزمایشات مربوط به دوره سوم و چهارم انجام شد. در هر دوره از آزمایشات مخزن به مدت ده روز تحت شرایط کنترل شده به صورت دست نخورده نگه‌داری شد و پس از آن به مدت دوازده روز به صورت یک روز درمیان مخلوط با نسبت تعیین شده در هر دوره وارد مخزن شده و به همان میزان خارج می‌شد.

روش‌های آنالیز مایع هاضم و گاز تولید شده:

جامدات کل، جامدات معلق فرار، آمونیاک، اسیدیته و نرخ بارگذاری آلی (COD) بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند [۱۵]. آنالیز بیوگاز تولیدی و تعیین درصد متان و دی‌اکسیدکربن با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف مجهز به آشکار ساز TCD با ستون Porapak Q انجام گرفت. دستگاه مجهز به نرم‌افزارPeak ABC بودکه جهت تجزیه وتحلیل نمودارهای حاصل از تزریق نمونه‌ها از آن استفاده شد.

نتایج و بحث

پارامترهای ورودی اندازه گیری شده برای هر یک از تیمارها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای ورودی هر یک از تیمارها

پارامترها	pH	٪TS	٪VS	٪VS/TS	COD (mg/l)
کود و آب با نسبت ۱:۱	۷	۵/۱۴	۳/۶	۷۰	۴۵۳۸۳
کود و آب و روغن۸٪	۴/۹	۲۰/۳۱	۱۶/۶۶	۸۲	۴۱۰۰۰
کود و آب و روغن ۱۰٪	۴/۶	۱۷/۹۶	۱۶/۶۴	۹۲/۷	۴۱۲۰۰
کود و آب و روغن ۱۲٪	۴/۳	۲۴/۰۵	۲۲/۹۹	۹۵/۶	۳۹۰۴۸

آزمایش اول (بارگذاری با ترکیب کود و آب)

مقادیر پارامترهای خروجی در روزهای مختلف در این مرحله از آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.مطابق نتایج ثبت شده در این آزمایش به طور متوسط روزانه ۲۹۲ لیتر گاز تولید شده است. همچنین باتوجه به مقادیر ابتدایی در جدول ۱ برای TS، VS و مقادیر میانگین ثبت شده برای این دو پارامتر در جدول ۲ ، TS به میزان ۶۱/۴۸ درصد و VS به میزان ۵۷/۸۹ درصد کاهش یافته است. مطابق این نتایج بیشترین تولید بیوگاز و بیشترین درصد متان برای نمونه آخر که بیشترین کاهش در میزان VS و COD را دارد، به دست آمد. این یک دلیل احتمالی برای توجیه تفاوت قابل ملاحظه میان حجم گاز تولید شده در اولین نمونه با آخرین نمونه می‌باشد.

جدول۲- مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایش اول (بارگذاری با ترکیب کود و آب)

زمان	دما (°C)	pH	TS (g/g)	VS (g/g)	COD (mg/l)	NH_3 (mg/l)	حجم بیوگاز (Lit)
روز اول	۳۵	۶/۸	۲/۳۹	۲/۱۵	۲۸۱۰۰	۷۹۸	۱۸۰
روز سوم	۳۵	۶/۷	۲/۵۹	۱/۶۵	۲۴۴۲۲	۶۱۳/۲	۱۷۰
روز پنجم	۳۷	۶/۶	۲/۰۶	۱/۴۴	۲۶۴۴۱	۸۷۳/۶	۲۷۰
روز هفتم	۳۷	۶/۸	۲/۲۰	۱/۲۹	۳۰۵۰۰	۶۴۶/۸	۸۵۰
روز نهم	۳۷	۶/۸	۱/۱۶	۱/۰۵	۱۴۴۸۳	۹۸۵/۶	۱۴۵۷

آزمایش دوم (بارگذاری با کود و آب و روغن ۸ درصد)

در جدول۳ مقادیر پارامترهای خروجی اندازه‌گیری شده در روزهای مختلف نشان داده شده است. مطابق نتایج به دست آمده در این آزمایش به صورت متوسط روزانه ۷۵۳ لیتر گاز تولید شده است که این مقدار در مقایسه با مخلوط کود و آب دارای تفاوت قابل ملاحظه‌ای است. اضافه کردن روغن به هاضم باعث افزایش تولید بیوگاز و کاهش در میزان pH و ایجاد ناپایداری در آن شده است. مطابق نتایج ثبت شده و با محاسبه میزان کاهش VS برای هر یک از نمونه‌ها این نتیجه حاصل شد که با افزایش میزان تخریب VS، میزان تولید بیوگاز افزایش یافته است و این با نتایج مطالعات آجی و همکاران (۲۰۱۲) در تاثیر افزایش تخریب بر افزایش تولید بیوگاز مطابقت دارد. همچنین در مقایسه با ترکیب کود و آب، مطابق نتایج نشان داده شده با افزودن روغن ۸ درصد، بار آلی به صورت میانگین ۲۲ درصد افزایش یافته است و این با نتایج بدست آمده توسط بریان لیپ و کریستوفر اسمیت (۲۰۱۴) مطابقت دارد[۶]. همچنین باتوجه به مقادیر میانگین ثبت شده برای TS و VS ، TS به میزان ۷۰/۷۵ درصد و VS به میزان ۷۱/۱۸ درصد کاهش یافته است.

جدول ۳- مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایش دوم (بارگذاری با ترکیب کود و آب و روغن ۸ درصد)

زمان	دما (°C)	pH	TS (g/g)	VS (g/g)	درصد کاهش VS	COD (mg/l)	NH_3 (mg/l)	تولید بیوگاز (lit)
روزاول	۳۶	۶/۱	۴/۱۰	۳/۱۷	۸۰/۹۱	۵۲۹۰۰	۶۹۰	۱۶۴۵
روز سوم	۳۵	۶	۷/۲۳	۶/۰۱	۶۳/۸۱	۴۵۵۴۵	۴۲۴	۱۳۸۹
روز پنجم	۴۱	۶/۲	۳/۷۸	۲/۵۵	۸۴/۶۶	۴۳۳۸۳	۸۶۲	۱۸۰۲
روز هفتم	۴۰	۶/۱	۴/۵۸	۳/۵۴	۷۸/۶۸	۵۸۴۱۶	۷۸۲	۱۵۴۶
روز نهم	۳۷	۶/۱	۶/۷۵	۵/۶۵	۶۵/۹۸	۴۲۶۶۶	۵۹۰	۱۴۳۰
روز یازدهم	۳۷	۶	۹/۲۳	۷/۸۸	۵۲/۵۱	۵۷۱۳۳	۷۸۰	۱۲۲۴

آزمایش سوم (بارگذاری با کود و آب و روغن ۱۰درصد)

در جدول ۴ نتایج پارامترهای اندازه‌گیری شده از خروجی هاضم و خروجی گاز نشان داده شده است. مطابق نتایج به دست آمده در این مرحله از آزمایش به دلیل افزایش میزان روغن در خوراک ورودی، میزان pH نسبت به مرحله قبل کاهش بیش‌تری داشته است. مقایسه نتایج جدول ۱ و ۴ نشان می‌دهد که TS به میزان ۷۳ درصد و VS به میزان ۷۸ درصد و نسبت VS/TS به میزان ۲۴/۵۶ کاهش یافته است. در این آزمایش میزان بار آلی ۲۲/۴۹ درصد افزایش یافته است که دلیل نبود تفاوت قابل ملاحظه این مقدار افزایش نسبت به روغن ۸ درصد، بیش‌تر رقیق کردن مخلوط کود و آب و لذا کمتر شدن میزان TS و VS در آزمایش سوم نسبت به آزمایش دوم می‌باشد. از مقایسه آزمایش دوم و سوم این نتیجه حاصل می‌شود که با وجود نزدیک بودن مقادیر کاهش یافته در TS و VS و مقادیر افزایش در COD، این نتیجه حاصل می‌شود که دلیل افزایش بیوگاز تولید شده در آزمایش سوم نسبت به آزمایش دوم، بالاتر بودن میزان کاهش نسبت VS/TS در آزمایش سوم است.

جدول ٤- مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایش سوم (بارگذاری با ترکیب کود و آب و روغن ۱۰درصد)

زمان	دما	PH	TS (g/g)	VS (g/g)	%VS/TS	COD (mg/l)	NH_3 (mg/l)	فشار	بیوگاز (lit)
روز اول	۴۱	۵/۹	۷/۲۲	۵/۹۵	۸۲/۴	۵۶۸۳۳	۹۱۵	۱۵۵	۲۱۰۸
روز سوم	۳۷	۵/۹	۳/۸۴	۲/۹۷	۷۷/۴	۵۲۲۷۵	۹۲۵	۹۳	۱۷۳۶
روز پنجم	۳۸	۵/۸	۶/۵۳	۵/۸۷	۹۰	۴۳۶۰۰	۹۲۰	۹۱	۱۵۱۴
روز هفتم	۳۵	۵/۹	۵/۴۲	۴/۷۲	۸۷/۱	۶۴۵۵۰	۹۰۰	۷۲	۱۱۴۰
روز نهم	۴۴	۵/۹	۳/۰۳	۱/۰۵	۳۴/۶	۴۳۳۳۳	۹۲۰	۱۵۲	۲۰۷۷
روز یازدهم	۴۴	۶/۱	۳/۰۷	۱/۴۸	۴۸/۱	۴۲۲۰۰	۹۴۰	۱۲۷	۱۹۰۵

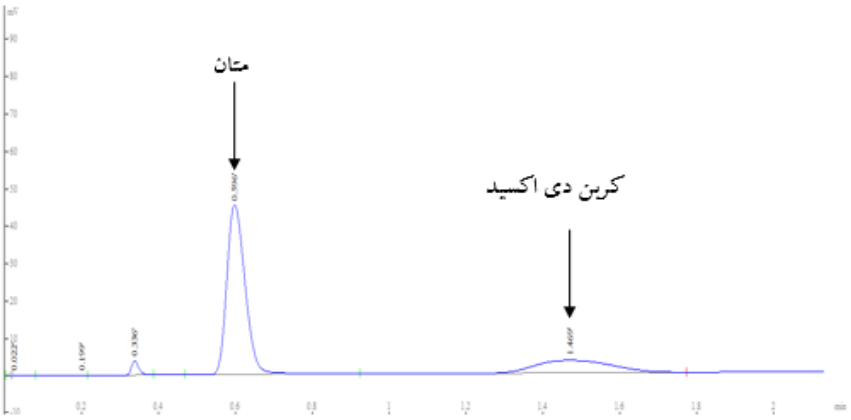
آزمایش چهارم (بارگذاری با کود و آب و روغن ۱۲درصد)

برای بالابردن میزان pH ازابتدای شروع این آزمایش محلول آهک به هاضم تزریق شد و از این رو مقدار pH اندکی بالاتر رفت اما ادامه بی ثباتی در مقدار pH باعث کاهش میزان تولید بیوگاز شد. درجدول ۵ مقدار حجم گاز تولیدی و سایر پارامترهای خروجی اندازه-گیری شده در روزهای مختلف ثبت شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که در این مرحله از آزمایش TS به میزان ۶۱/۴۶ درصد و VS به میزان ۶۸/۲۵ درصد و نسبت VS/TS به میزان ۹۲/۳۴ درصد کاهش یافته است.

جدول ٥- مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایش چهارم (بارگذاری با ترکیب کود و آب و روغن ۱۲درصد)

زمان	pH	TS (g/g)	VS (g/g)	VS/TS%	COD (mg/l)	NH_3 (mg/l)	دما	فشار	بیوگاز (lit)
روز اول	۶	۵/۲۷	۴/۵۴	۸۶/۱۵	۶۹۰۰۰	۹۰۰	۴۲	۸۲	۱۳۵۵
روز سوم	۶	۹/۹۹	۸/۷۸	۸۷/۹	۵۵۹۶۶	۵۸۰	۴۲	۸۷	۱۳۸۲
روز پنجم	۶/۱	۱۲/۰۶	۸/۹۱	۷۳/۸	۵۴۲۰۰	۶۰۰	۴۳	۹۷	۱۶۰۵
روز هفتم	۶	۳/۷۵	۲/۳۳	۶۲/۲	۶۰۰۰۰	۴۰۰	۴۳	۹۰	۱۴۳۴
روز نهم	۶/۲	۱۵/۰۲	۹/۲۴	۶۱/۵	۷۵۰۰۰	۴۵۰	۴۲	۶۶	۱۱۹۸
روز یازدهم	۶/۲	۱۳/۷۵	۱۰/۰۲	۷۴/۲	۷۳۱۰۱	۴۴۰	۴۲	۵۸	۹۰۰

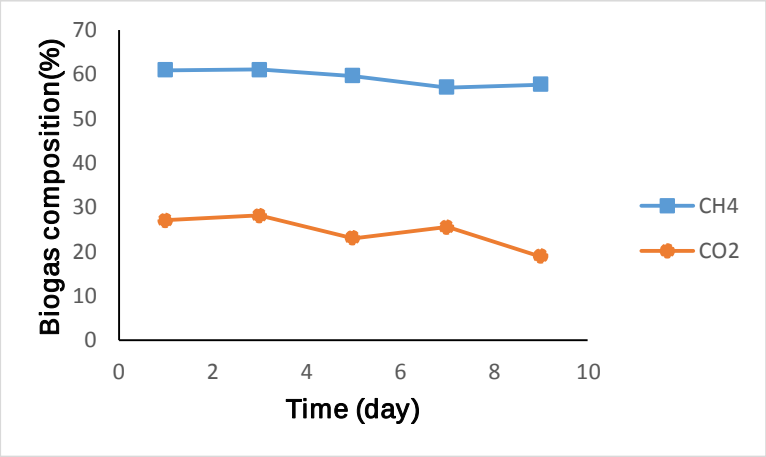
در شکل ۱ یکی از پیک های حاصل از نمونه گرفته شده از ترکیب کود و آب و روغن ۱۲درصد در نرم‌افزار Peak ABC نشان داده شده است و با انجام محاسبات، نتایج حجم و درصد متان و دی‌اکسید کربن در جدول ۶ نشان داده شده است. شکل ۲ مقایسه بین درصد متان و درصد کربن دی اکسید را در روزهای مختلف برای این آزمایش نشان می‌دهد. مطابق این نتایج، افزایش متان با کاهش دی اکسیدکربن همراه بود. همچنین در این آزمایش با وجود کاهش تولید بیوگاز، درصد تولید متان بیشتر از سه آزمایش قبل بوده است. به عبارتی با افزایش میزان روغن کمیت تولید گاز کاهش ولی کیفت گاز تولید شده که همان بالا بودن درصد متان است، افزایش یافته است. نتایج مطالعات آجی و همکاران(۲۰۱۲) در یک هاضم به حجم عملیاتی ۳ لیتر نشان داد که یک مخلوط کاملا هم زده باعث تخریب بیشتر VS شده و میزان تولید متان را ۷/۵ درصد افزایش می‌دهد. مطابق این نتایج یک دلیل احتمالی برای افزایش میزان متان در آزمایش چهارم می‌تواند هم‌زدن مداوم مواد درون هاضم باشد.



شکل ۱- پیک حاصل از نمونه گرفته شده از ترکیب کود و آب و روغن ۱۲ درصد در نرم افزار Peak ABC

جدول ٦- حجم و درصد متان و دی اکسید کربن برای آزمایش چهارم

زمان	حجم متان (l)	متان (٪)	حجم CO_2 (l)	CO_2
روز اول	۸۲۴/۲۴.	۶۰/۸۳	۳۶۴/۸۷	۲۶/۹۳
روز سوم	۸۴۲/۷۸	۶۰/۹۸	۳۸۷/۰۸	۲۸
روز پنجم	۹۵۵/۶۳	۵۹/۵۴	۳۶۸/۸۰	۲۲/۹۸
روز هفتم	۸۱۶/۱۰	۵۶/۹۱	۳۶۴/۰۲	۲۵/۳۹
روز نهم	۶۸۹/۹۳	۵۷/۵۹	۲۲۶/۰۷	۱۸/۸۷



شکل ۲- مقایسه درصد متان و دی‌اکسید کربن در آزمایش ترکیب کود و آب و روغن ۱۲ درصد

عملکرد ویژه متان

نتایج ثبت شده در جدول ۷ حجم متان تولیدی به ازای هر کیلوگرم بار آلی ورودی به مخزن در هر مرحله از آزمایش را نشان می‌دهد. مطابق این نتایج به طور متوسط بیش‌ترین تولید متان برای ترکیب کود و آب و روغن ۱۲ درصد و به میزان ۱۱۷/۴۸ لیتر متان به ازای هر کیلوگرم بار آلی وارد شده به مخزن بدست آمد.

جدول ۷- بازده بیوگاز به ازای هر کیلوگرم بار آلی وارد شده به هاضم

نوع آزمایش	COD(mg/l) ورودی	COD(kg)	L CH4/kg COD
آزمایش اول	۴۵۳۸۳	۱۲۲/۵۴	۲۲/۲۰
آزمایش دوم	۴۱۰۰۰	۱۱۰/۷۰	۷۸/۴۴
آزمایش سوم	۴۱۲۰۰	۱۱۱/۲۴	۱۰۶/۶۷
آزمایش چهارم	۳۹۰۴۸	۱۰۵/۴۳	۱۱۷/۴۸

نتایج تحلیل آماری

بر اساس نتایج آزمون ANOVA اختلاف معنا داری بین میانگین حجم بیوگاز تولید شده در سه آزمایش ترکیب کود و آب، کود و آب و روغن ۸ درصد و کود و آب و روغن ۱۰ درصد وجود دارد. همچنین آزمون LSD نشان داد در سطح معنی داری ۰/۰۵ اختلاف میانگین حجم بیوگاز تولید شده بین ترکیب کود و آب و روغن ۸ درصد و کود و آب و روغن ۱۰ درصد معنا دار نیست. اما بین هر دو تیمار ترکیب کود و روغن با تیمار ترکیب کود و آب اختلاف معنا داری وجود دارد. به هر حال نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تولید بیوگاز با هضم همزمان ترکیبات کود و روغن بدست آمده است. جدول ۸ نتایج تجزیه واریانس حجم بیوگاز در طول آزمایشات را نشان می‌دهد.

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس حجم بیوگاز در طول آزمایش

منبع تغییرات	درجه	مجموع	میانگین	F	ضریب	R^2

	آزادی	مربعات	مربعات		تغییرات	
حجم گاز	۳	۳۶۴۲۹۸۵	۱۲۱۴۳۲۸	۹/۷۴*	۲۷/۰۷	۰/۶۵
خطا	۱۶	۱۹۹۴۷۴۸	۱۲۴۶۷۱			
خطا کل	۱۹	۵۶۳۷۷۳۳				

*احتمال در سطح ۵٪

نتیجه‌گیری

اضافه کردن روغن رستوران به عنوان یکی از مواد زائد با وجود pH پایین و غلظت بالای COD باعث افزایش تولید متان شد به طوری که نتایج بدست آمده نشان داد که با اضافه کردن روغن ۱۲ درصد به ترکیب کود و آب بیشترین تولید متان و به میزان ۱۱۷/۴۸ لیتر متان به ازای هر کیلوگرم بار آلی وارد شده به مخزن بدست آمد. اگرچه میزان تولید متان با افزایش روغن رستوران به مخلوط کود گاوی تازه و آب افزایش یافت، لیکن افزایش روغن به مواد ورودی به هاضم باعث بالا رفتن میزان بار آلی مواد خروجی از هاضم شد و از آن جا که وارد کردن موادی با بار آلودگی بالا برای محیط زیست مناسب نیست لذا بالا بردن درصد روغن برای افزایش متان راهکار مطلوبی نمی‌باشد مگر آنکه سرعت بارگذاری مواد کاهش یابد و به مواد فرصت بیشتری برای انجام فرآیند هضم داده شود.

مراجع:

۱. غلامی، م.،خسرویار، س. و هجری، ز. ۱۳۹۲. بررسی میزان گاز متان تولیدی از تفاله زیتون به همراه فضولات گاوی، *چهارمین همایش بیوانرژی ایران*، تهران.

2. Blanc, D. L., Wise, M., El-Shinnawi, M., Abo-Elnaga, S. A. and El-Shimi, S. A. 1992. Anaerobic treatment with methane recovery of agricultural and village wastes. Res. Const. Rec. 7(4): 305–323.
3. Beyer, K. 2013. Anaerobic Digestion of FOG for Optimal Methane Production. San Diego State University.
4. Bolzonella, D., Pavan, P., Mace, S. and Cecchi, F. 2005. Dry anaerobic digestion of differently sorted organic municipal solid waste: a full scale experience. In Proceedings of the 4th International Symposium of Anaerobic Digestion of Solid Waste. Water Sci. Technol. 53(8): 23-32.
5. Braun, R. and Wellinger, A. 2002. Potential of Co-digestion. IEA Bioenergy. 16 pages.
6. Bryan L. and Schmit, C. 2014. Anaerobic Respirometry Studies of Fats, Oils, and Grease. www.sdstate.edu.
7. Hunter Long, J., Aziz, T. N., de los Reyes, F. L and Ducoste, J. J. 2012. Anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease (FOG): A review of gas production and process limitations. Process Saf. Environ. Prot. 90: 231–245.
8. Monnet, F. 2003. An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes, Final Report, Remade Scotland. 1-48.
9. Nielsen, H., Al Seadi, J. B. and Popeil, T. O. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresour. Technol. 100: 5478-5484.
10. Niles Road, S.T. and Joseph, M.I. 1993. Standard Engineering Practices Data, 40th ed., American Society of Agricultural Engineering.
11. NITA, I., NEAGU, A., GEACAI, S., DUMITRU, A. and STERPU, A. 2010. Study of the behavior of some vegetable oils during the thermal treatment. Technol. and Chem. Engr. Dept. 21: 5-8.

12. Nosrati, M., Shojaosadati, S. A., Sreekrishnan, T. R. and Mukhopadhyay, S. N. 2004. Inhibition of thermophilic anaerobic digestion of waste food by long chain fatty acids and propionate. IJB. 2(4): 261-268.
13. Tritt, W. P. and Schuchardt, F. 1992. Materials flow and possibilities of treating liquid and solid wastes from slaughterhouses in Germany. A review. Bioresour. Technol. 41: 235-245.
14. Wang, L., Aziz, T. N. and de los Reyes, F. L. 2013. Determining the Limits of Anaerobic Co-digestion of Thickened Waste Activated Sludge with Grease Interceptor Waste. Water Res. 47:3835-3844.
15. Xiaojiao, W., Yibing, L., Gaihe, Y., Min, L., GuangXin, K. and Yong Zhong, F. 2010. Fermentetion and process optimization of mixed cow dung, chicken manure and rice straw for biogas production. Trans. Chinese Soc. Agric. Mach. 41(3): 104-108.

Production of biogas from dairy manure and frying oil in a continuous flow digestion equipped with an automatic control system

Sahar Khademi[1*], Jalil Razavi[2], Aminollah Masoumi[3]

1. Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, s.khademi@ag.iut.ac.ir
2. Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, jrazavi@cc.iut.ac.ir
3. Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, masoumi@cc.iut.ac.ir

Abstract

An increase in global energy demand vis-a-vis the depletion of fossil fuel reserves on one hand, and environmental degradation and global warming due to the use of fossil fuels on the other hand are one of the challenges ahead. Hence, renewable energy sources such as biogas should be developed. In this study, an automatic control system for controlling pressure inside a continuous plug flow digester with an approximate volume of 3600 liters and the temperature of materials was developed. After installing the control system, in four separate periods, the production of biogas and methane for four different types of substrate including a combination of dairy manure and water (slurry) with a ratio of 1: 1(treatment 1), co-digestion of manure slurry and 8% used frying oil (treatment 2), co-digestion of manure slurry 10% used frying oil (treatment 3), co-digestion of manure slurry and 12% used frying oil (treatment 4). At each feeding and discharging stage, the substrate and the outgoing material were used to determine the pH level, total solids (TS), volatile solids (VS), ammonia and organic loading (COD). Also, the amount of gas generated at each digester discharge was recorded from a gas flow meter. Data were analyzed in SAS statistical software. Using LSD mean comparison, the significance difference of each parameter was evaluated. The results showed that the oil additive had a great influence on the production of biogas and the increase of methane content. In addition, the mean comparison of LSD showed significant difference between the average volumes of biogas produced for four different types of substrate.

Key words: Energy, continuous flow digestion, dairy manure, frying oil.

*Corresponding author
E-mail: s.khademi@ag.iut.ac.ir