نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۶، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۵، ص ۴۸۷-۴۷۶

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 6, No. 2, Fall - Winter 2016, p. 476-487

مقایسه تولید بیوگاز از بقایای کلزا وگندم در ترکیب با کود دامی

محمود صفری[1*] - رضا عبدی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۱۹

چکیده

در حال حاضر مشکل تأمین انرژی، یکی از مشکلات اساسی تمامی کشورهای جهان به‌خصوص کشورهای درحال توسعه می‌باشد. سوخت‌رسانی به روستاهای دور افتاده حتی در کشوری مانند ایران که منابع غنی انرژی را در اختیار دارد، بسیار مشکل و هزینه بر است. یک راه برای حل مشکل مذکور استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و محلی است. بیوگاز یکی از این نوع انرژی‌هاست که علاوه بر تولید انرژی، کودهای کشاورزی و افزایش سطح بهداشت عمومی جامعه و کنترل بیماری‌ها، راه‌حل مناسبی برای دفع مواد زائد از جوامع انسانی است. در این تحقیق پس از اعمال پیش تیمار مکانیکی، راندمان استحصال بیوگاز از بقایای کلزا و گندم در ترکیب با کود دامی به کمک راکتورهای غیر پیوسته و در شرایط مزوفیلیک، در قالب آزمون t و در سه تکرار، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج تحقیق طی یک دوره ۱۴۰ روزه نشان داد بین تیمارهای آزمایشی در سطح ۵٪ از نظر استحصال متان اختلاف معنی‌داری وجود دارد. متوسط تولید تجمعی گاز متان در بقایای کلزا و گندم به‌ترتیب ۳۱۱/۴ $L.kg^{-1}$ VS و ۱۶۷/۷ $L.kg^{-1}$ VS و درصد گاز متان در روز به‌ترتیب ٪۶۶ و ٪۵۵ بود. بیشترین میزان کاهش مواد فرار جامد، مربوط به بقایای کلزا به‌ترتیب به میزان ٪۵۶/۱ و ٪۵۲/۲ بود. با توجه به این نتایج، از نظر تولید گاز متان، بقایای کلزا در ترکیب با کود دامی، از پتانسیل بالاتری نسبت به گندم برخوردار است و استفاده از آن توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بقایا، بیوگاز، کلزا، کود دامی، گندم

مقدمه

مواد زائد کشاورزی، صنعتی و فاضلاب‌ها باعث آلودگی شدید محیط زیست می شوند که می‌توان با استحصال بیوگاز، خطرات ناشی از این مواد را به شدت کاهش داد و از انرژی و کود تولید نیز استفاده نمود. درحال حاضر با توجه به آلودگی‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی که شهرهای بزرگ کشور را به نقطه بحرانی رسانده است، یکی از فعالیت‌های مهم به منظور کاهش آلودگی، استفاده از سوخت‌های غیر فسیلی نظیر بیوگاز برای مصرف در خودروها و کارخانجات است. بنابراین تحقیق و توسعه درباره این نوع از انرژی‌ها در کشور از ضروریات است چرا که بیوگاز از سوخت‌های دوستدار محیط زیست محسوب می‌گردد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد در صورت استفاده کامل از بیوگاز به‌جای سوخت‌های فسیلی در صنعت حمل و نقل، میزان آلاینده دی اکسید کربن که سبب افزایش گازهای گلخانه‌ای جهان می‌شود ۸۵-۶۵ درصد کاهش می‌یابد (Tahan, 2015). در طی قرن دهم قبل از میلاد مسیح در آشور و در قرن شانزدهم در ایران از بیوگاز برای گرم کردن آب جهت حمام و شستشوی بدن استفاده می‌شد. در سال ۱۷۷۶ میلادی الکساندر ولتا نتیجه گرفت که بین مقدار مواد آلی فسادپذیر و میزان گاز قابل اشتعال رابطه مستقیمی وجود دارد. در سال ۱۸۵۹ اولین واحد تخمیر بی‌هوازی در بمبئی هند ساخته شد و در سال ۱۹۹۷ میلادی کنوانسیون تغییرات آب و هوایی با هدف تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر، قرار داد کیوتو را تصویب نمود که به موجب آن، کشورهای صنعتی ملزم به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شدند و هدف اصلی آن، تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای تا سطحی است که برای فعالیت‌های بشری خطرساز نباشند. از دیگر سوی، مجموعه انرژی‌های تجدیدپذیر روز به روز سهم بیشتری در تأمین انرژی جهان را به‌عهده می‌گیرد (Biogas Litrature, 2015). در جهان سالیانه حدود ۷۴ میلیون تن گاز متان از فضولات دامپروری و ۴۰ میلیون تن از این گاز، تنها از زباله‌های شهری و به‌صورت خود به خود تولید شده و در جو زمین پراکنده می‌گردد که جمع‌آوری آن‌ها به‌صورت بیوگاز امکان‌پذیر است (Omrani *et al.*, 2011). ایران از جمله کشورهایی است که برای تولید بیوگاز دارای منابع گسترده‌ای است. با احتساب مقادیر معمول بازدهی بیوگاز از فضولات دامی، ضایعات کشاورزی،

۱- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی- انرژی در کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: email2safai@yahoo.com)
۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز

زباله‌های شهری و فاضلاب‌های شهری و صنایع غذایی و اعمال ضریب اطمینان، بیوگاز حاصل به طور میانگین حدود ۱۶۱۴۶/۳ میلیون متر مکعب و معادل ۳۲۳ مگاژول انرژی خواهد بود (Shaikh-ahmadi *et al.*, 2008). از مجموع ۱۸ میلیون هکتار زمین کشاورزی کشور، ۷۰ میلیون تن محصول کشاورزی تولید می شود که با احتساب ۸۰ درصد بقایا، سالیانه حدود ۵۶ میلیون تن بقایای گیاهی تولید می‌گردد که در ۸۶ ٪ از استان‌های کشور به‌دلیل تسریع درکشت دوم، این بقایا جهت مبارزه با آفات و علف‌های هرز و آماده شدن زمین برای کشت دوم، سوزانده می‌شوند که با مدیریت مناسب می توان از این حجم وسیع پسماندهای تولیدی در بخش کشاورزی، میزان قابل توجهی از انرژی مورد نیاز کشور را تأمین نمود (Bouglan- dashti *et al.*, 2009). طی تحقیقی با عنوان بررسی میزان تولید بیوگاز از۷۰۰ گرم ضایعات خانگی میوه در تلفیق با ۵۰۰ گرم کود گاوی و ۱/۵ لیتر آب، به دو روش غیر پیوسته و نیمه پیوسته، حداکثر بیوگاز تولیدی ۲۸۳۰ml، در روش غیر پیوسته، در روز دوم آزمایش، در ترکیب ضایعات کهنهٔ میوه و دامی به‌دست آمد. نتایج نشان داد که ضایعات میوه و فضولات دامی به تنهایی قادر به تولید بیوگاز، به میزان بالا نمی‌باشند ولی این دو در تلفیق با یکدیگر، مقدار قابل توجهی گاز را تولید می‌نمایند (Doagooee *et al.*, 2009). در تحقیقی، میزان تولید بیومتان از ترکیب ضایعات سیب زمینی و کود گاوی در سه سطح ۵۰:۵۰ ،۸۰:۲۰ و ۲۰:۸۰ درصد براساس وزن جامد آلی فرار بررسی شد. تمامی تیمارها در شرایط دمایی مزوفیلیک (۳۸-۳۵ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند و در طول این مدت عمل هم زدن به‌طور منظم به ازای هر ۳۰ دقیقه، پنج دقیقه با سرعت ۸۰rpm انجام شد. بیشترین میزان تولید متان در مدت زمان ماند ۵۵-۴۵ روز، ۳۴۱ لیتر بود (Sanaee- moghadam *et al.*, 2013). در تحقیقی با عنوان"طراحی سیستم بازیافت انرژی در مجتمع صنعتی تولید تخم مرغ"، یک دستگاه راکتور آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. با استفاده از این دستگاه و نمونه‌های تهیه شده از مرغداری، زمان‌ماندگاری مواد ۱۳روز و میزان گاز تولیدی روزانه m^3 ۳۴۴/۳ بود. مقدار متان موجود در گاز تولیدی ۵۷/۲۵ درصد و مقدار دی اکسید کربن ۳۴/۶۱ درصد بود. همچنین میزان کاهش مواد جامد[1] ۵۹/۵۵ درصد و کاهش مواد آلی فرار ۵۲/۴۶ درصد تعیین گردید (Sedaghat- hoseini *et al.*, 2009). در تحقیقی با عنوان تخمیر بی‌هوازی فضولات گاوی برای تولید بیوگاز در شرایط ترموفیلیک (۵۳ درجه سانتی‌گراد) و راکتور نیمه پیوسته در طی ۱۰ روز، متوسط میزان متان تجمعی $m^3.kg^{-1}VS$ ۰/۱۵ و درصد متان تولید شده ۴۷٪ بود (Shehu *et al.*, 2012). در تحقیقی، پتانسیل تولید متان از بقایای گیاهی تجزیه‌پذیر نظیر خاک اره و ساقه کلزا بررسی شد. برای هر دو ماده از پیش تیمار بیولوژیکی (قارچ) و شیمیایی (قلیا) استفاده شد. میزان ماده جامد خشک و ماده فرار آلی در ساقه کلزا به‌ترتیب kg^{-1} ۸۸۹/۴g و kg^{-1} ۸۴۸/۱g تعیین شد. بیشترین عملکرد بیوگاز به کمک پیش تیمار قلیائی در ساقه کلزا و به میزان VS kg^{-1} ۳۱۶ L به‌دست آمد. این نتایج نشان داد که پیش تیمار قلیائی عملکرد بیوگاز را افزایش می‌دهد. همچنین استفاده همزمان از مواد قارچی و میکروبی به منظور تخریب سلولز توصیه شده است (Laurinovica *et al.*, 2013).

در تحقیقی با عنوان مطالعه استحصال بیوگاز از ترکیب سبوس برنج با کود دامی (با مواد جامد کل ۸٪) و با نسبت ۵۰٪، در مدت ۳۸ روز، میزان استحصال گاز ۱۶۱/۵ml گزارش شد، از طرفی با نسبت ۲۵٪ کود دامی و ۷۵٪ سبوس، استحصال بیوگاز معنی‌دار نبود و در ترکیب ۰٪ کود دامی و ۱۰۰٪ سبوس، گازی تولید نگردید (Elijah *et al.*, 2009). در تحقیقی با عنوان استفاده از بقایای کلزا و آفتاب‌گردان به منظور استحصال بیوگاز (اثر پیش تیمارها)، میزان تولید گاز از بقایای کلزا و آفتاب‌گردان به‌ترتیب $m^3\ kg^{-1}VS$ ۰/۴۵ و $m^3\ kg^{-1}VS$ ۰/۴۸ بود. همچنین پیش تیمارهای حرارتی، بیولوژیک و التراسونیک اثر معنی‌داری بر افزایش استحصال بیوگاز نداشتند. متوسط استحصال بیوگاز از ساقه کلزا با اعمال پیش تیمار حرارتی $m^3\ kg^{-1}VS$ ۰/۲۸۵ بود. بدون اعمال پیش تیمار حرارتی این مقدار $m^3\ kg^{-1}VS$ ۰/۲۶۴ بود (۷/۵ درصد افزایش). دراین تحقیق، اعمال پیش تیمارهای قلیائی و اسیدی میزان استحصال بیوگاز را کاهش داد (Georgia *et al.*, 2008).

اهداف تحقیق

تعیین پتانسیل تولید بیوگاز از بقایای ساقه کلزا و گندم در ترکیب با کود دامی و مقایسه آن‌ها.

ساخت و راه‌اندازی راکتورهای غیر پیوسته تولید بیوگاز به همراه تجهیزات اندازه‌گیر گاز در مقیاس آزمایشگاهی.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، به منظور تعیین پتانسیل استحصال بیوگاز از بقایای کلزا و گندم در ترکیب با کود دامی، از راکتورهای غیرپیوسته درشرایط مزوفیلیک استفاده گردید. تیمارها شامل:

۱- (بقایای کلزا +پیش تیمار مکانیکی)+کود دامی

۲- (بقایای گندم+ پیش تیمار مکانیکی) +کود دامی بود. قالب طرح آزمایشی t تست در سه تکرار و حجم کل راکتورها ۱۳ لیتر بود که از ۸ لیتر آن برای مواد تخمیری و از ۵ لیتر باقی‌مانده به منظور ذخیره گاز استفاده شد (شکل ۱). مواد پس از ریخته شدن در داخل راکتورها تا انتهای آزمایش در داخل راکتور باقی ماندند.

1- Total solid (TS)

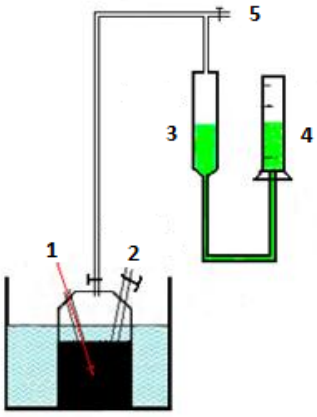
شکل ۱– راکتورهای آزمایشی، تجهیزات اندازه‌گیر حجم گاز و حمام آب گرم

Fig.1. Reactors, gas volume measuring system and warm water bath

راکتورهای طراحی شده دارای قسمت‌های خروجی گاز، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری درجه حرارت بود. به منظور کنترل حرارت راکتورها، از حمام آب گرم استفاده شد. در عملیات تخمیر بی‌هوازی، می‌بایست میزان pH، درجه حرارت و سایر عوامل تأثیرگذار تحت کنترل باشد. درجه حرارت راکتورها در محدوده مزوفیلیک (۳۷-۳۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داشت. از بهم‌زن خارجی به منظور هم‌زدن استفاده شد. در این روش، راکتورها در داخل وان ۶۰ لیتری قرار گرفتند و بهم زدن به کمک چهار چرخ قرار داده شده در زیر وان مربوطه انجام شد. میزان بهم‌زدن، ۱۰ حرکت رفت و برگشتی و به‌صورت روزانه انجام گرفت. به منظور اندازه‌گیری روزانه حجم گاز تولیدی از روش جابه‌جایی آب استفاده شد (شکل ۲). در این روش گاز تولید شده، به داخل استوانه مدرج هدایت می‌شد. در اثر بالا رفتن فشارگاز، آب در داخل بطری به سمت پایین حرکت می‌کرد. به منظور تعیین درصد متان و سایر گازها، از قسمت نمونه‌گیری، توسط سرنگ ویژه (۲/۵ سی سی) نمونه‌های لازم تهیه و به قسمت انژکتور دستگاه گاز کروماتوگراف تزریق شد. به منظور کنترل بیوگاز در مسیرهای مختلف از شیرهای کنترل جریان استفاده گردید.

به منظور اعمال پیش تیمار مکانیکی، از آسیاب مخصوص (Retsch muhle-9001-) استفاده شد. در این روش، بقایا پس از خشک شدن، به قطعات کوچکتر (۳mm-۲) تقسیم شد. میزان غلظت مواد جامد خشک در منابع مختلف ۹-۷ درصد حجم کل توصیه شده است (Elijah *et al.*, 2009) که در این تحقیق ۹ درصد در نظر گرفته شد. مواد مربوطه با نسبت معینی از کود دامی تازه مخلوط و جرم نهایی ۷۲۰ گرم بود که با آب به حجم ۸ لیتر رسید. مقدار ماده جامد خشک و فرار از طریق استاندارد APHA[1] تعیین گردید (APHA, 1998).

1- American public health association



شکل ۲– طرحواره ای از سیستم اندازه‌گیر حجم گاز

۱- سنسور اندازه‌گیر حرارت ۲- لوله نمونه‌گیری ۳- بطری تعادل

۴- استوانه مدرج ۵- خروج گاز و نمونه‌گیری

Fig.2. Schematic of gas volume measuring system 1-Temperature sensor 2- Substra sampling Tube 3-Balance bottle 4-Scale cylinder 5-Gas sampling

کل ماده جامد خشک، عبارتست از درصد کل مواد جامد باقی‌مانده پس از تبخیر محتوی رطوبت نمونه و از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$TS = \frac{\text{وزن کل}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 \qquad (۱)$$

کل ماده فرار، عبارتست از مواد از دست رفته بعد از اینکه کل مواد جامد خاکستر می‌شوند و از رابطه (۲) محاسبه گردید:

$$VS = \left[100 - \left(\frac{V_3 - V_1}{V_2 - V_1}\right)\right] \qquad (۲)$$

V_1= جرم ظرف (گرم)

V_2= جرم بقایای خشک + جرم ظرف (گرم)

V_3= جرم خاکستر + جرم ظرف بعد از خنک شدن (گرم)

با قرار دادن مواد در داخل آون و تحت درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و طی ۲۴ ساعت، مواد جامد خشک و با قرار دادن همان مواد در داخل کوره و با درجه حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، مواد جامد فرار تعیین گردید. با توجه به اینکه محدوده مناسب نسبت کربن به ازت به منظور رشد باکتری‌های متان ساز بین ۳۵- ۳۰ درجه می‌باشد (Kurnani *et al.*, 2010)، ترکیب بقایا با کود دامی طوری انتخاب گردید که مخلوط نهایی در این محدوده قرار گیرد. با توجه به متفاوت بودن نسبت کربن به ازت در هریک از بقایا، نسبت ترکیبی این مواد با کود دامی یکسان نبوده است (جدول ۱).

به منظور اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متراستفاده گردید. در هر نمونه‌برداری، توسط سرنگ نمونه‌گیری، مقدار ۱۵ میلی‌لیتر از راکتورها،

تهیه و پس از اندازه‌گیری میزان pH، نمونه مربوطه به منظور اندازه‌گیری ماده جامد خشک و فرار، مورد استفاده قرار گرفت. تغییرات pH هر ۵-۳ روز یکبار ثبت گردید. در روز بیست و دوم، میزان pH در سه راکتور کمتر از ۵/۵ شد که از محلول کربنات کلسیم (آهک) به میزان ۴ گرم بر لیتر استفاده شد. با توجه به حجم سوبسترا (۸ لیتر)، میزان آهک اضافه شده ۳۲ گرم در نظر گرفته شد که با آب (به منظور راحتی در تزریق) رقیق گردید. پس از اضافه نمودن محلول آهک، میزان pH به‌طور موقت افزایش یافت ولی سریع کاهش یافت و در محدوده ۷/۵-۵/۵ در بین تیمارها ثابت گردید. در طول دوره، فقط یکبار این عمل انجام شد و در بقیه مراحل نیازی به اضافه نمودن آهک نبود. نسبت کربن به ازت با استفاده از روش استاندارد و به روش کجلدال تعیین شد (Iran national standard, 2011).

با استفاده از روش استاندارد کمپوست (نمونه‌برداری و روش‌های آزمون فیزیکی و شیمیایی)، میزان ازت آلی از رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$T_N = \frac{[(V_S - V_B) \times N \times (\frac{M_N}{m}) \times 100]}{(1000)} = 0.1(V_s - V_B) \quad (۳)$$

که در آن:

Vs = حجم اسید سولفوریک مصرفی در تیتراسیون نمونه (ml)

V_B = حجم اسید سولفوریک مصرفی در تیتراسیون شاهد (ml)

N = نرمالیته اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال

M_N = جرم مولی ازت (۱۴ گرم بر مول)

M = جرم نمونه خشک (۰/۱۴ گرم)

به منظور تعیین میزان مواد آلی در ۱۰۰ گرم بقایا، از رابطه (۴) استفاده شد:

$$OM = 100 - (M + A) \quad (۴)$$

OM=درصد مواد آلی، M =درصد رطوبت و A = درصد خاکستر

با تقسیم نمودن درصد مواد آلی به ضریب ۱/۷۲۴ به‌طور تقریب درصد کربن آلی تعیین گردید.

با توجه به رطوبت کود دامی، جرم خشک آن از طریق آون تعیین و با توجه به محتوی رطوبت آن، مابقی از حجم آب افزودنی کسر گردید.

جدول ۱- مشخصات اولیه مواد و سوبسترا

Table1- Feedstock and substrate specifications

مشخصات Specification	کاه ساقه کلزا Rapeseed straw	کاه ساقه گندم Wheat straw	کود گاوی Cattle manure
مواد جامد کل (٪) TS* (%)	94.2	93.1	20.3
مواد جامد فرار (٪) VS** (%)	91.3	87.2	69.31
pH	5.5	5.6	7.3
محتوی رطوبت (٪) Moisture Content (%)	8.0	6.9	75.7
خاکستر (٪) Ash (%)	11.4	15.3	14.3
مواد آلی (٪) OM*** (%)	80.6	100.3	10.0
کربن (٪) C (%)	46.8	59.0	5.8
ازت (٪) N (%)	0.3	0.7	0.4
نسبت کربن به ازت C:N Ratio	150	84.2	14.5
درصد اختلاط Mixing Ratio	85.0	55.0	
نسبت کربن به ازت سوبسترا C:N Ratio (Substrate)	33.5	33.5	

*Total Solids **Volitaile Solids ***Organic Materials

تعیین درصد متان

پس از تزریق نمونه به دستگاه کروماتوگراف گازی[1]، نتایج از طریق قسمت جمع‌آوری اطلاعات[2]، ثبت و توسط نرم افزار PEAK درصد دو گاز متان و دی اکسید کربن تعیین گردید. مساحت پیک‌های به‌دست آمده با مساحت پیک استاندارد که قبلاً توسط گاز خالص متان

1- Gas chromatograph (GC)

2- Data acquisition

(۹۹/۹٪) و دی اکسید کربن (۹۹٪) تعیین شده بودند، مقایسه و درصدهای مربوطه محاسبه شد. زمان ماندگاری برای گاز متان به‌طور متوسط ۲/۳۶ دقیقه و برای گاز دی اکسید کربن۰/۸۷ دقیقه بود. برنامه دمایی کروماتوگراف برای دیتکتور۱۷۰، انژکتور۱۱۰ و ستون۵۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (Heaidari *et al.*, 2012). زمان نگهداری مواد با توجه به روند کاهش درصد متان در راکتورهای آزمایشی ۱۴۰روز بود. پس از جمع‌آوری اطلاعات، به کمک نرم افزار SPSS و از طریق آزمون t تست، میانگین‌ها در سطح ۵ ٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

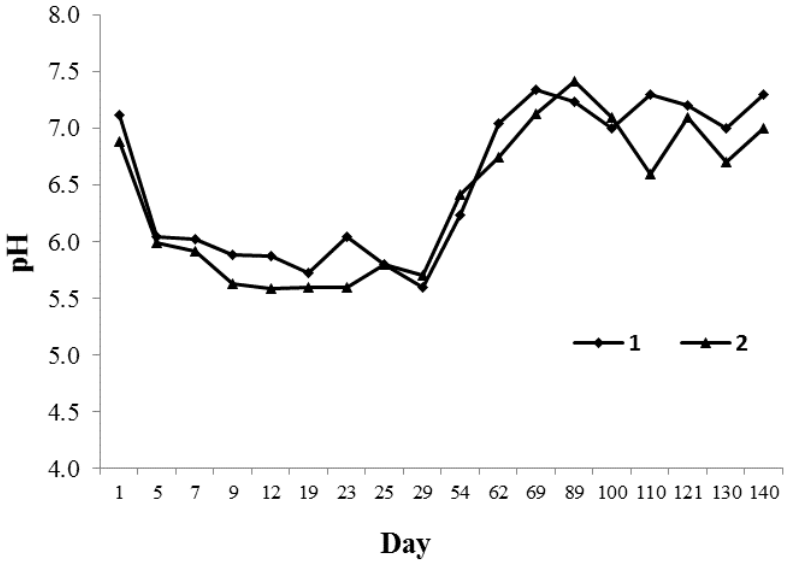
نتایج و بحث

تغییرات pH

مطابق شکل ۳، در روزهای اول، میزان pH در محدوده خنثی قرار داشت و با گذشت زمان و در روزهای بعد این روند تا روزهای ۳۱-۲۱ برای بقایای کلزا و گندم کاهش و پس از آن افزایش یافت. این تغییرات نشان می‌دهد تا روزهای ۳۱-۲۱ محیط اسیدی شده است و فعالیت باکتری‌های اسیدساز بیشتر از باکتری‌های متان‌ساز بوده است. روند تغییرات، یک روند کاهشی و سپس افزایشی بود. باکتری‌های متان‌ساز با توجه به حساسیت بالای آنها به محیطهای اسیدی در روزهای اول، فعالیت کمتری داشته‌اند و با گذشت زمان فعالیت آنها افزایش یافته است. همچنین بقایای گیاهی دارای روند نسبتاً مشابهی از نظر تغییرات pH هستند. این نتایج با نتایج شو و همکاران (Shehu *et al.*, 2012) و ثنائی مقدم و همکاران (Sanaee-moghadam *et al.*, 2013) هم‌خوانی داشت.

کاهش مواد فرار

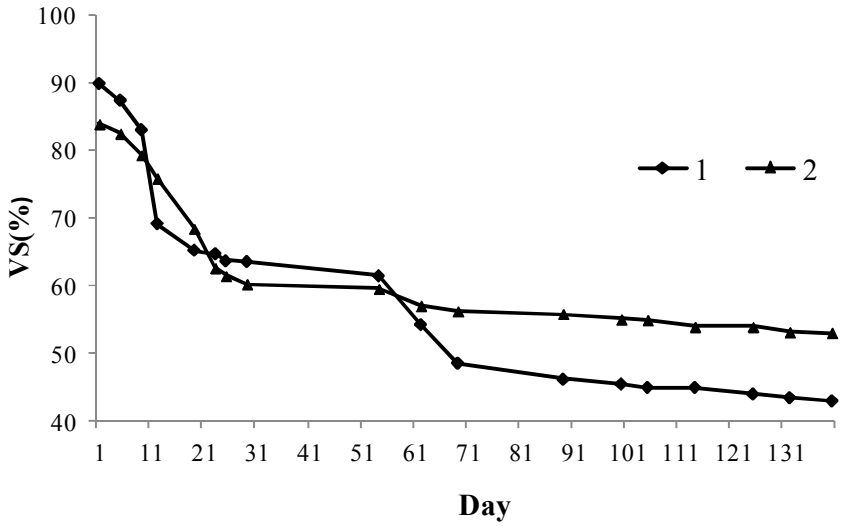
در تیمارهای آزمایشی، با گذشت زمان، میزان مواد فرار اضافه شده روند کاهشی را نشان داد (شکل ۴). میزان مواد فرار اضافه شده اولیه در بقایای کلزا و گندم به‌ترتیب ۹۰٪ و ۸۴٪ بود.



شکل ۳- تغییرات pH در تیمارهای آزمایشی، ۱- بقایای ساقه کلزا ۲- بقایای ساقه گندم

Fig.3. Variation of pH in treatments, 1-Rapesed residues 2-Wheat residues

میزان کاهش ماده فرار اضافه شده در بقایای کلزا و گندم، از آغاز تا انتهای آزمایش به‌ترتیب ۵۲/۲٪ و ۳۶/۷٪ بود. این نتایج نشان می‌دهد که در طی این مدت، در بقایای کلزا بیش از نیمی از مواد فرار و در بقایای گندم حدود ۳۷٪ مواد فرار اضافه شده کاهش یافته است. با توجه به بالاتر بودن تولید گاز در بقایای کلزا، این بقایا دارای کاهش بیشتری از مواد فرار اضافه شده بوده و بیوگاز بیشتری تولید نموده است به عبارت دیگر، ترکیبات آلی نظیر کربن و ازت در بقایای کلزا، بیشتر مصرف شده است. با توجه به نتایج شو و همکاران، درصد کاهش مواد فرار اضافه شده در کود دامی، ۴۷ ٪ می‌باشد (Shehu *et al.*, 2012).

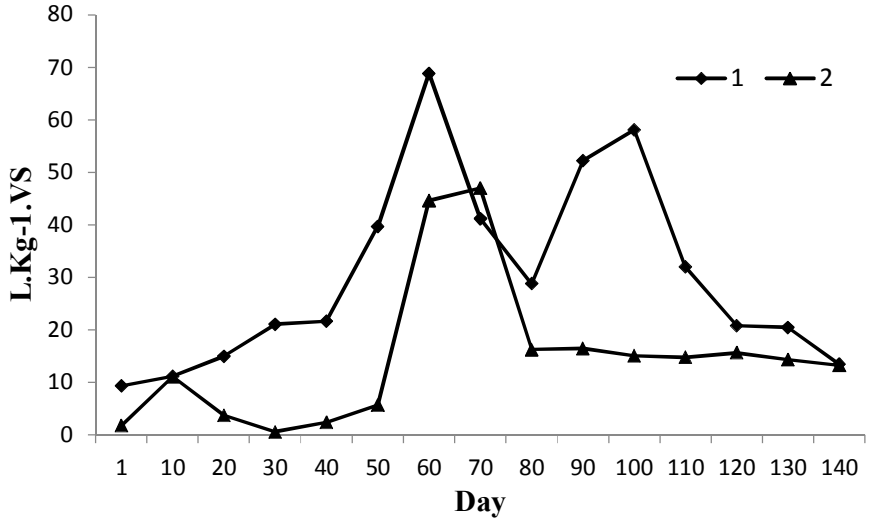


شکل ٤- تغییرات ماده خشک فرار، ۱- بقایای ساقه کلزا ۲- بقایای ساقه گندم

Fig.4. Voltail Solids variations, 1-Rapesed residues 2-Wheat residues

تولید بیوگاز

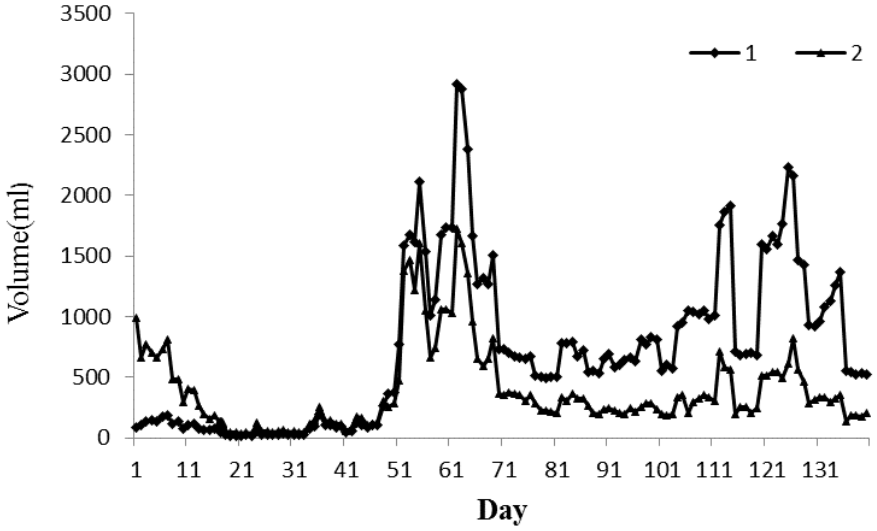
شکل ۵، متوسط تغییرات بیوگاز را در طی صد و چهل روز در تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد. روند تولید گاز در بقایای کلزا و گندم، نسبتاً مشابه بود، بدین معنی که در کلزا، از روز اول تا روز شصت و پنجم روند تولید گاز، افزایشی بوده است و از این روز به بعد روند کاهشی را طی نموده است. در بقایای گندم، این روند تا روز ۴۹ روند نسبتاً افزایشی و پس از این روز کاهشی بوده است. این تغییرات در هردو بقایا، نشان می‌دهد که روند تولید بیوگاز از منحنی نرمال تبعیت می‌نماید و در روزهای اول، تولید بیوگاز کم، به مرور زمان، تولید آن افزایش و سپس کاهش می‌یابد. این روند با نتایج ساهیتو و همکاران همخوانی داشت. در نتایج آن‌ها، با توجه به کوچک بودن حجم راکتورها (۵۰۰cc)، کل زمان تولید بیوگاز برای بقایای کلزا ۳۱ روز و حداکثر تولید بیوگاز برای کلزا و گندم در روز هفتم حاصل گردید. روند تولید بیوگاز تا روز هفتم افزایشی و بعد از آن تا روز سی و یکم کاهشی بوده است (Sahito *et al*., 2013).



شکل ۵- تولید بیوگاز در تیمارها، ۱- بقایای ساقه کلزا ۲- بقایای ساقه گندم

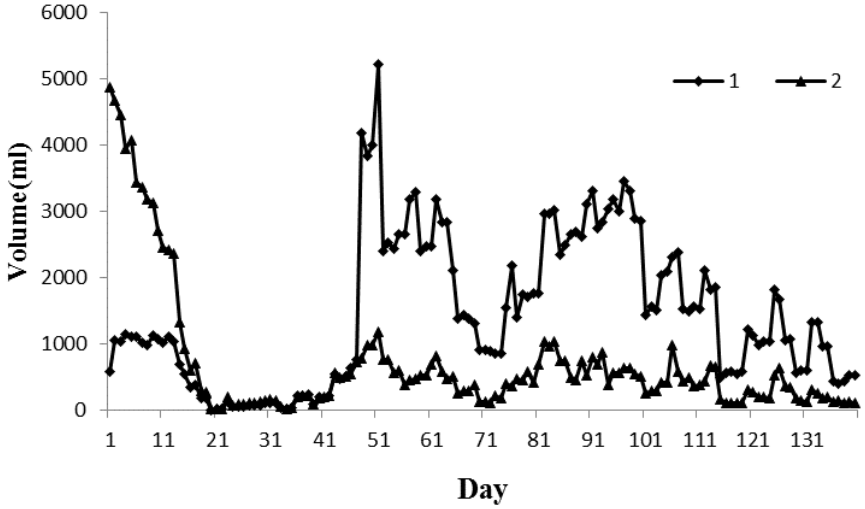
Fig.5. Biogas production in treatments, 1-Rapesed residues 2-Wheat residues

شکل ۶، تغییرات روزانه متان و دی‌اکسید کربن در بقایای گندم در ترکیب با کود دامی را نشان می‌دهد. حداکثر استحصال متان بین روزهای ۷۰-۵۰ بود. تا روز ۴۹ روند تولید متان کم و ثابت بوده است و بعد از این روز، تولید این گاز تا روز ۶۵ با نوساناتی روند افزایشی را داشته است. پس از آن، این روند تا روز ۱۴۰ام کاهشی بوده است. در مورد دی اکسید کربن، روند تولید گاز از روز اول تا روز صد و چهلم (به‌جز فواصل روزهای ۷۰-۵۰) کاهشی بوده است. مطابق شکل ۸، میزان متوسط متان تجمعی در طی ۱۴۰ روز برای بقایای گندم ۱۰۱/۴ml است که با در نظر گرفتن ۸۴٪ ماده فرار اولیه و میزان ماده خشک، میزان تولید گاز متان ۱۶۷/۷L $kg^{-1}VS$ محاسبه گردید.



شکل ٦- تغییرات گاز در بقایای گندم، ۱- متان ۲- دی اکسید کربن

Fig.6. Gas variations in wheat residues, 1- Methane 2- Carbon dioxide



شکل۷- تغییرات گاز در بقایای کلزا، ۱- متان ۲- دی اکسید کربن

Fig.7. Gas variations in rapeseed residues, 1- Methane 2- Carbon dioxide

مواد فرار اضافه شده براساس وزن خشک و ترکیبی از بقایای گیاهی و کود دامی با نسبت معین برای رسیدن به نسبت کربن به ازت ۳۰ در نظر گرفته شد. بیشترین روند افزایشی تولید متان در محدوده روزهای ۷۰-۵۰ بود و بعد از آن میزان آن کاهش و روند ثابتی را تا روز ۱۱۳ طی نموده است و پس از آن با نوساناتی افزایش و سپس کاهش یافته است. این نتایج نشان می‌دهد هیدرولیز مواد به

کندی انجام گرفته است (زمان طولانی از روز اول تا روز چهل و نهم). که یکی از دلایل آن می‌تواند اعمال پیش تیمار مکانیکی (به تنهایی) باشد با توجه به نتایج جورجیا و همکاران در سال ۲۰۰۸، پیش تیمار مکانیکی و حرارتی مناسب‌ترین پیش تیمار برای کوتاه‌تر نمودن زمان ماندگاری است (Georgia *et al*., 2008). دلیل احتمالی دیگر، استفاده از راه‌انداز کود گاوی تازه بوده است. راه‌اندازهایی نظیر شکمبه گاوی و لجن بی هوازی فاضلاب‌ها دارای باکتری بیشتری می‌باشند.

مطابق شکل ۷، حداکثر استحصال متان برای بقایای کلزا، بین روزهای ۵۰-۴۳ بوده است و بعد از آن روند کاهشی را نشان می‌دهد. میزان تولید گاز دی اکسید کربن در روزهای اول بالا بود و با گذشت زمان روند کاهشی را تا روز ۴۳ نشان داد. میزان استحصال متان در روزهای اول با توجه به مرحله اسیدی بودن محلول هاضم، پایین و ثابت و بعد از روز چهل و سوم با گذشت زمان این روند افزایش یافته است. این روند تا روز ۱۴۰ با نوساناتی، افزایش و سپس کاهش یافته است. مکانیزم اسیدی شدن و متان‌سازی مشابه بقایای گندم بوده است. میزان متوسط متان تجمعی در طی ۱۴۰ روز برای بقایای کلزا ۲۰۱/۸ml و با در نظر گرفتن ۹۰٪ ماده فرار و ۷۲۰ گرم ماده خشک اولیه، ۳۱۱/۴۵ L kg^{-1}vs محاسبه گردید (شکل ۸).

با توجه به روند تولید متان و کاهش میزان دی اکسید کربن در بقایای گندم و کلزا، به نظر می‌رسد در بقایای گیاهی و در مراحل آغازین، درصد دی اکسید کربن بالا و با گذشت زمان، درصد آن کاهش می‌یابد و در مقابل، در روزهای اول، میزان تولید متان پایین و با کاهش درصد دی اکسید کربن روند تولید آن افزایشی است. این روند تا نقطه پیک که برای هرکدام از بقایا متفاوت است ادامه دارد و سپس میزان متان روند کاهشی را طی می‌نماید. این نتایج با نتایج تحقیق ثنائی مقدم و همکاران در خصوص استحصال بیوگاز از بقایای سیب زمینی، هم‌خوانی داشت (Sanaee- moghadam *et al*., 2013).

با توجه به مقایسه میانگین‌ها، بین متان تجمعی در تیمارهای آزمایشی با انحراف استاندارد ۷/۳، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ وجود دارد (فاصله زیاد سطح معنی‌دار شدن با سطح ۵٪).

جدول ۲- آنالیز واریانس میانگین تیمارها از نظر تولید متان در سطح احتمال ۵٪

Table 2- Analysis of variance for treatments in terms of Methane production in probability level of 5%

تیمار t	درجه آزادی df	اختلاف میانگین‌ها Mean difference	خطای استاندارد Std. Error difference	سطح اطمینان ۹۵٪ 95% Confidence interval of the difference	
				Lower	Upper
گاز متان Methane Gas	19.5	143.7	7.3	123.3	164.1

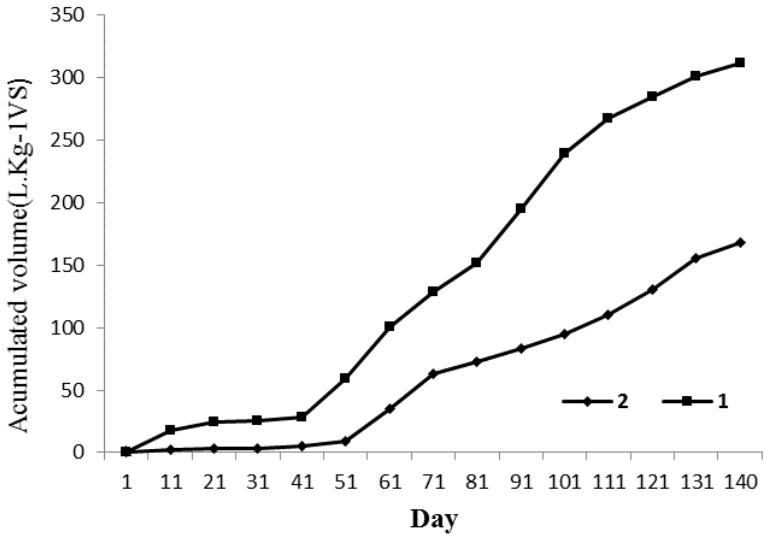
جدول۳- میانگین متان تجمعی

Table 3- Mean of accumulated methane

	ماده راکتور Feedstock	تعداد N	میانگین Mean	انحراف استاندارد Std. Deviation	میانگین خطای استاندارد Std. Error mean
o	گندم Wheat	3	167.7	9.32	5.38
	کلزا Rapeseed	3	311.4	8.64	4.99

میزان متان تجمعی در بقایای گندم ۱۶۷/۷ L kg^{-1} VS و در بقایای کلزا ۳۱۱/۴ Lit kg^{-1} vs. بود (جدول ۳ و شکل ۸). این نتایج نشان می‌دهد که بقایای کلزا به منظور تولید بیوگاز دارای پتانسیل بالاتری است. این نتایج، می‌تواند به دلیل تجزیه‌پذیری مواد آلی وابسته به میزان کربوهیدرات‌ها، لیپیدها و پروتئین‌ها در کنار ترکیب سلولز، همی سلولز و لیگنین باشد که به دلیل درصدهای متفاوت این ترکیبات در بقایای مختلف استحصال بیوگاز در آنها متفاوت است. مهمترین مرحله در تجزیه بی‌هوازی مواد آلی، هیدرولیز ترکیبات پیچیده آلی است. این فرآیند در واقع شکستن ترکیبات پیچیده مواد آلی به محصولات ساده‌تر است که باعث می‌شود این محصولات به‌طور ساده‌تر به‌وسیله باکتری‌های بی‌هوازی مصرف شوند. با توجه به طولانی شدن روند استحصال متان در تیمارهای مورد مقایسه، به نظر می‌رسد کود دامی تازه به تنهایی راه‌انداز مناسبی برای ترکیب با بقایا نباشد و می‌بایست از راه‌اندازهایی نظیر باکترهای موجود در فاضلاب کارخانجات و یا مواد موجود در محتوی شکمبه در کشتارگاه‌ها استفاده نمود. این راه‌اندازها که در محیط بی‌هوازی بوده‌اند سرشار از باکتری هستند و زمان استحصال متان را کوتاه‌تر می‌نماید (Budyono *et al*., 2010) از طرفی اعمال پیش تیمار مکانیکی به تنهایی باعث

کوتاه نمودن زمان نمی‌گردد و می‌بایست از سایر پیش تیمارها، نظیر شیمیایی، حرارتی و التراسونیک استفاده نمود (Cecilia *et al.*, 2013). به هرحال انتخاب پیش تیمار مناسب مشکل است. در روش مکانیکی و حرارتی به انرژی زیادی نیاز است، روش شیمیایی و التراسونیک دارای هزینه بالایی هستند و نتایج متناقضی از سایر محققین به‌دست آمده است (Zhang, 2010).



شکل ۸- مقایسه متان تجمعی، ۱-بقایای ساقه کلزا ۲- بقایای ساقه گندم

Fig.8. Comparison of Acumulated methane, 1-Rapesed residues 2-Wheat residues

نتیجه‌گیری

به دلیل بالا بودن روند کاهش مواد فرار اضافه شده در بقایای کلزا، نسبت به بقایای گندم، بیوگاز بیشتری تولید گردید و این بقایا از پتانسیل بیشتری جهت تولید بیوگاز نسبت به گندم برخوردار هستند. از طرفی با توجه به خوش خوراک نبودن بقایای کلزا به منظور تعلیف دام‌ها، استفاده از این بقایا و مدیریت آنها در اراضی کشور نسبت به گندم، دارای توجیه اقتصادی بوده و از این مواد زائد می‌توان گاز و کود ارگانیک (تخمیر یافته) تولید نمود. بنابراین با توجه به پایین‌تر بودن پتانسیل تولید بیوگاز در بقایای گندم و عدم توجیه اقتصادی آن، استفاده از بقایای کلزا جهت تولید گاز توصیه می‌گردد.

پیشنهادات

با توجه به نتایج این تحقیق، بقایای کلزا به منظور تولید بیوگاز، از پتانسیل بالاتری نسبت به گندم، برخوردار است. اگر در مقیاس‌های صنعتی و نیمه صنعتی این دو بقایا با هم مقایسه شوند، علاوه بر برتری تولید گاز در بقایای کلزا، از نظر اقتصادی، استفاده از این بقایا، با صرفه‌تر است. کاه گندم برای دام‌ها مصرف خوراکی دارد ولی بقایای کلزا به دلیل خوش خوراک نبودن، به‌عنوان خوراک دام مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. از طرفی هر دو بقایا در ترکیب با کود دامی، دارای پتانسیل مناسبی برای تولید کودهای زیستی هستند که توصیه می‌شود این دو بقایا از نظر تولید کود زیستی و ارزیابی اقتصادی نیز مورد مقایسه قرار گیرند.

References

1. APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. and later revisions, American public health association, 1015 15thStreet NW, Washington, DC 20005. 1-35: Section 1090 (Safety).
2. Biogas Litrature .2015.Available in http://www.environmentalhealth.ir/68.
3. Bouglan-dashti, B., J. Mohammad-nejad and A. Shabani-kia. 2009. Assessing the potential of energy production from agricultural waste. The first congress of bioenergy. Available in http://www.civilica.com/paper- bioenergy 01_041.html.
4. Budiyono, I. S., and S. Sumardiono. 2014. Effect of Total solid content to biogas production rate from

Vinasse. International Journal of Engineering 27 (2): 177-184.
5. Cecilia, S. 2012. Physical, chemical and biological pretreatments to enhance biogas production from lignocelluloses substrates. PhD thesis. DICA (Department of Civil and Environmental Engineering), Environmental Section Doctoral Program in Environmental and Infrastructure Engineering.Politechnic MILANO.
6. Doa-gooee, A., and A. Ghazanfari. 2008. Study biogas production from household fruit residues with manure by batch and continue methods. 5th Congress of Farm machinery, Mashhad. (In Farsi).
7. Elijah, T. I., A. M, Ibifuro, and S. M. Yahaya. 2009. The study of cow dung as co- substrate with rice husk in biogas production. Scientific Research and Essay 4 (9): 861-866.
8. Georgia, A., K. Stamatelatou, and G. Lyberatos. 2010. Exploitation of rapeseed and sunflower residues for methane generation through anaerobic digestion: the effect of pretreatment. Chemical Engineering Transactions: 20.
9. Heaidari, H., and M. Heaidari. 2012. Service and Guide of GC2550-TG. Taif Gostar Faraz Co Press – .Available from: www.IranGC.com. (In Farsi).
10. Iran national standard. 2011. Compost. samplenig, chemical and physical tests.Organization of standard and industrial research of Iran. No: 13320 Press 1. (In Farsi).
11. Kurnani, A., Y. A. Hidayati, D. Fitriani, and O. Imanudin. 2010. The effect of C/N ratios of a mixture of beef cattle feces and water hyacinth (Eichorniacrassipes) on the quality of biogas and sludge. Lucrari Scientifice: 55.
12. Laurinovica, L., J. Jasko, E. Skripsts, and E. Dubrovskis. 2013. Biochemical methane potential of biologically and chemically pretreated sawdust and straw engineering for rural development Jelgava 5: 23-24.
13. Omrani, G. 2010. Procdure of biogas development in Iran and World. Ecology paper, Sixth term, No: 2 (In Farsi).
14. Sahito, A. R., R. B. Mahar, and K. M. Brohi. 2013. Anaerobic biodegradability and methane potential of crop residue co-digested with buffalo dung mehran University Research Journal of Engineering & Technology 32 (3).
15. Sanaee-moghadam, A., M. H. Aghkhani, H. Aghel, M. H. Abaspoor-Fard, and H. Khodaparast. 2013. Production of biomethane from anaerobic digestion of waste potatoes combined cattle manure by batch daigester.The second conference of clean energy. 21-22 July. Kerman. Iran. (In Farsi).
16. Sedaghat-hosseini, M., M. Almasi, S. Minaee, and A. M. Borgeae. 2009. Design of energy recycling system in Egg Production complex, 5th congress of Farm machinery, Mashhad. (In Farsi).
17. Shaikh- ahmadi, A., and M. Zargar-zade. 2007. Using of renewable energy to product electrical energy. Master science thesis, technical college, electrical department, Islamic Azad University – Tehran –South branch (In Farsi).
18. Shehu, B., and N. Smail. 2012. Anaerobic digestion of cow dung for biogas production. Journal of Engineering and Applied Sciences 7 (2).
19. Tahan, H. 2015. Biogas as forgotten energy. Available from: http://vista.ir/article/219671/ (In Farsi).
20. Zhang, H. J. 2010. Sludge treatment to increase biogas production of trita-LWR degree roject 10 (20).

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 6, No. 2, Fall - Winter 2016, p. 476-487

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۶، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۵، ص ۴۸۷-۴۷۶

Comparison of biogas production from rapeseed and wheat residues in compound with cattle manure

M. Safari[1*]- R. Abdi[2]
Received: 06-04-2015
Accepted: 10-08-2015

Introduction

Seventy million tons of agricultural crops are produced from 18 million hectares of agricultural lands in Iran every year. Since 80% of the crops (wt. basis) ends up as residues, therefore, about 50 million tons of crop residues are generated annually the majority of which is burnt on field leading to vast emissions of greenhouse gases (GHG) due to the incomplete combustion process. These residues could potentially be transformed into heat energy directly by adopting a burning process or indirectly by first transforming them into secondary fuel as hydrogen, bio-methane, methanol or ethanol.

Materials and Methods

The present study was conducted using, wheat and rapeseed straws dried at ambient temperature co-digested with fresh cow dung while the total solid content and detention time were kept constant. To conduct the Anaerobic Digestion (AD) experiments, cylinder reactors (13 L) were constructed and placed in a water bath equipped with a heater and sensor to maintain the temperature at 35±2 ^{o}C. The biogas produced in the digester was investigated by measuring the displacement of the water in a measuring tube connected to the reactor. Gas samples were obtained from the sampling port and were analyzed gas chromatograph. The temperature for detector, injector and oven were 170, 110 and 50 ^{o}C respectively. Before the test, the first CH_4 and CO_2 net gases, peaks corresponding percentage was determined with respect to the retention time of the area. Then sample was compared with standard gas and samples gas percentage was determined. The residues were mechanically pretreated using a mill in order to increase the availability of the biomass to enzymes. After the pre-treatment, the material (<2 mm) was mixed with a different proportion of fresh cow dung, Initial Total Solids (TS) content in the reactor was adjusted at 9%. Factors such as PH, Volatile Solids (VS) were determined by the standard method.

Results and Discussion

A decrease in the process pH was observed in the first few days of the digestion and this is due to high volatile fatty acid (VFA) formation**.** These results were compatible with Sanaee moghadam *et al*. (2013). The results obtained showed that, the highest rate of VS reduction belonged to rapeseed residues at 52.22%. The lowest rate of VS reduction attributed to wheat residues at 36.79%. The rapeseed residues with 311.45 Lit.kg^{-1} VS had the highest accumulated methane followed by wheat straw with 167.69.28 L kg^{-1} VS in probability level of 5%. The average percentages of methane production for rapeseed straw and wheat straw during the 140 days experiment under mesophilic condition were 66% and 55%, respectively. Production of methane had delay and started after 46th day. Much reason may be possible. Inoculums used in this study were only fresh cattle dung. The mixture of fresh cattle dung and effluent of anaerobic digester or fresh rumen fluid may be decrease retention time and increase biogas production. According results of Budiyono the rumen fluid inoculated to biodigester significantly affected the biogas production. Rumen fluid inoculums caused biogas production rate and efficiency increase more than two times in compare to manure substrate without rumen fluid inoculums (Budyono *et al.,* 2010). The other reason was pretreatment. This study applied just mechanical pretreatment. According to Cecilia studies, different pretreatment combined with mechanical pretreatment decrease retention time and increase biogas production efficiency (Cecilia *et al.,* 2013). However, Zhang *et al*. claimed that it is hard to say which method is the best because each has its own strong point and weak point. Yet, until now, none of the pretreatment technologies has found a real breakthrough.

1- Phd Student of Biosystems Department, Tabriz University
2- Associate Professor of Biosystems Department, Tabriz University
(*- Corresponding Author Email: email2safari@yahoo.com)

Conclusions

According to this study, rapeseed residues had the highest level of methane production in comparison with wheat residues. The rapeseed residues combine with cattle dung had suitable potential to methane production. The 140 days, Biomaethane Potential (BMP) of rapeseed residues combine with cattle manure had 311. 45 Lit/kg vs. add. Moreover, it had high percentage of VS content reduction (52.22%). The high retention time was observed (140 day). One reason was lack of suitable inoculums and pretreatment. Furthermore, the lingo-cellulose nature of the crop residues, lower will be the biodegrade ability. Furthermore, the anaerobic co-digestion of rapeseed straw with cattle manure is feasible for production of methane.

Keywords: Biogas, Cattle manure, Rapeseed residues, Wheat residues