

## بررسی استحصال بیوگاز از پسماندهای ساقه کلزا، محتویات شکمبه و کود گاوی

محمود صفری\*، رضا عبدی و مهرداد عدل\*\*

\* نگارنده مسئول: گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. تلفن: ۰۷۳۳۳۵۶۰۰۷ (۰۴۱)، پیام‌نگار: email2safari@yahoo.com

\*\* به ترتیب: دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی- انرژی در کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریز؛ و استادیار پژوهشگاه مواد و انرژی تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۹

### چکیده

یکی از راه‌های بازیافت از پسماندهای گیاهی و فضولات دامی، استفاده از بیوگاز است که طی فرآیند هضم بی‌هواری تولید می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه استحصال بیوگاز از پسماندهای ساقه کلزا، کود گاوی و محتویات شکمبه گاوی است. در این تحقیق، به منظور مقایسه میزان استحصال بیوگاز از این منابع، تجهیزات راکتور، همزن، حمام آب گرم و سامانه اندازه‌گیر حجم طراحی و ساخته شد و مواد، پس از اعمال پیش تیمار مکانیکی و حرارتی و نیز تعیین درصد کربن به نیتروژن، مواد جامد خشک و فرار با نسبت معین در داخل راکتور ها ریخته شد. تیمارهای آزمایشی شامل: پسماندهای ساقه کلزا+کود گاوی+محتویات شکمبه، کود گاوی و محتویات شکمبه گاوی بودند که به کمک راکتورهای یک لیتری در قالب طرح کاملا تصادفی و در سه تکرار مقایسه شدند. نتایج تحقیق نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی از نظر استحصال بیوگاز، درصد متان، میزان متان انباشته و میزان کاهش مواد جامد خشک، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. تیمار ۱ از نظر میزان بیوگاز و متان انباشته به ترتیب: با ۵۰۴/۱ و ۲۷۷/۹ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار در گروه الف، تیمار ۲ با ۱۷۸/۶ و ۱۱۶/۵ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار در گروه ب و تیمار ۳ با ۱۴/۸ و ۴/۰ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار در گروه آخر قرار گرفت. میزان متان در تیمار ۱ و ۲ به ترتیب ۵۵ و ۶۰ درصد و میزان کاهش مواد جامد در تیمار ۱ و ۲ به ترتیب ۵۹ و ۴۶ درصد بود. از نظر نسبت کربن به نیتروژن، بین تیمارهای ۲ و ۳ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با توجه به نتایج به دست آمده، کود گاوی تازه+محتویات شکمبه در ترکیب با پسماندهای ساقه کلزا بیشترین استحصال بیوگاز و متان را به دست می‌دهد و استفاده از این ترکیب توصیه می‌شود.

### واژه‌های کلیدی

بقایای کلزا، بیوگاز، پسماندهای کلزا، کود گاوی، متان، محتویات شکمبه

### مقدمه

سوخت‌های هیدروکربنی و آلودگی‌های پایدار سوخت‌های اتمی، به سمت تولید سوخت‌های پاک معطوف شده است. ادامه روند کنونی مصرف انرژی، اتمام منابع فسیلی را به دنبال خواهد داشت که تهدیدی برای اقتصاد کشورهای صادرکننده نفت است ضمن آنکه نسل‌های آتی را با مشکل جدی تامین انرژی مواجه خواهد ساخت. یکی از شیوه‌های مورد استفاده در تصفیه و بازیافت از ضایعات آلی و فاضلاب تولید شده در مجامع انسانی، استفاده از فناوری

تامین انرژی، امروزه یکی از مشکلات اساسی تمامی کشورهای جهان به خصوص کشورهای در حال توسعه است. بیشتر کشورها برنامه‌هایی گسترده برای تأمین انرژی مورد نیاز خود با به کارگیری منابع انرژی‌های تجدیدپذیر تدارک دیده‌اند. در حال حاضر تفکر جامعه بشری برای حفظ محیط زیست و نجات کره زمین و نیز بررسی پیامدهای مصرف بی‌رویه انرژی، اتمام

است که کلزا یکی از آنهاست. سطح زیر کشت این محصول روغنی قرار است از ۱۰۰ هزار هکتار به ۲۷۰ هزار هکتار در سال افزایش یابد (Anon, 2014). این گیاه یکی از مهمترین منابع روغن گیاهی در کشور محسوب می‌شود. به موازات توسعه کشت این محصول، پسماندهای آن در سطح مزرعه یکی از مشکلات اساسی کشاورزان خواهد بود که باید از آن حداکثر استفاده را ببرند. این پسماند فیبر زیاد دارد و برای دام خوش خوراک نیست، بنابر این در سطح مزرعه دست نخورده باقی می‌ماند و برای کشت بعد مزاحمت ایجاد می‌کند (Amiri et al., 2007). راهکارهای مختلفی به منظور استفاده بهینه از این پسماند وجود دارد. یکی از این راهکارها، ترکیب کردن آنها با فضولات دامی در یک محیط بی‌هوازی به منظور استحصال بیوگاز و کود زیستی است. نسبت کربن به نیتروژن در پسماندهای گیاهی بالاست و در مقابل، در فضولات دامی این نسبت پایین است. به منظور رشد باکتری‌های متان‌ساز، محدوده مناسب نسبت کربن به نیتروژن بین ۳۵-۳۰ است که با ترکیب این مواد با نسبت‌های مناسب، شرایط لازم برای رشد باکتری‌ها فراهم می‌شود.

تولید بیوگاز از ضایعات گل محمدی در فرآیند گلاب‌گیری بررسی شده است. گل محمدی و کود گاوی با نسبت‌های: ۵:۹۵، ۱۰:۹۰، ۱۵:۸۵ و ۲۰:۸۰ مخلوط شدند؛ هر مخلوط در یک راکتور جداگانه ریخته شد. راکتورها پس از اضافه کردن آب و ماده غنی از باکتری، در دو دمای ۳۵ و ۴۵ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ روز نگهداری شدند. نتایج نشان داد که بیشترین تولید تجمعی بیوگاز (به مقدار ۰/۴۲۶۸ متر مکعب بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار، بیشترین مقدار متان (۷۲ درصد) و بیشترین مقدار کاهش ماده آلی فرار (۸۱ درصد)، مربوط به تیمار با دمای ۴۵ درجه سلسیوس با نسبت ترکیبی ۸۰ درصد ضایعات و ۲۰ درصد کود است. در مجموع، تیمارهای با درصد کود

بیوگاز است که طی فرآیند هضم بی‌هوازی تولید می‌شود. این فرآیند به واسطه واکنش‌های بیولوژیکی، تبدیل مواد آلی به متان و دی‌اکسید کربن در محیطی عاری از اکسیژن طی می‌شود. فرآیندهای اصلی شامل؛ ۱- هیدرولیز<sup>۱</sup> مواد آلی تجزیه‌پذیر<sup>۲</sup> - تولید اسید<sup>۳</sup> (اسیدسازی) از مولکول‌های ساده مواد آلی محلول - استات سازی<sup>۴</sup> و - تولید متان<sup>۴</sup> (متان‌سازی) است که طی آن گونه‌های متفاوت میکروبی فعال هستند. با استفاده بهینه از مواد زائد کشاورزی و صنعتی می‌توان علاوه بر استحصال بیوگاز، میزان آلودگی‌های زیست‌محیطی را کاهش داد و کود زیستی مناسبی هم تولید کرد (Gujer & Zehnder, 1983).

ایران از جمله کشورهایی است که منابعی گسترده برای تولید بیوگاز دارد. با احتساب بازدهی بیوگاز از فضولات دامی، مواد زائد کشاورزی، زباله‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنایع غذایی و اعمال ضریب اطمینان، بیوگاز حاصل به طور میانگین حدود ۱۶۱۴۶/۳۵ میلیون متر مکعب در سال خواهد بود (Shaikhahmadi & Zargarzadeh, 2007).

از مجموع ۱۸ میلیون هکتار زمین کشاورزی کشور، هر سال ۷۰ میلیون تن محصول کشاورزی تولید می‌شود که با احتساب حدود ۸۰ درصد پسماندهای این مقدار محصول، سالیانه حدود ۵۰ میلیون تن پسماند گیاهی به دست می‌آید که برای آن روند عملی مناسبی جهت استفاده در نظر گرفته نشده است و به دلیل تسریع درکشت دوم (مبارزه با علف‌های هرز و آفات)، بخشی از آن سوزانده می‌شود که در صورت مدیریت مناسب، می‌توان از این حجم وسیع پسماند تولیدی در بخش کشاورزی، میزان قابل توجهی انرژی و کود ارگانیک تولید کرد (Mohammadnejad et al., 2010).

برای اجرای سیاست‌های ابلاغی اقتصاد مقاومتی در کشور، افزایش تولید ۹ محصول زراعی مدنظر قرار گرفته

1- Hydrolysis  
3- Acetogenesis

2- Acidogenesis  
4- Methanogenesis

به میزان ۳۴۱ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار و بیشترین میزان کاهش COD<sup>۱</sup>، ۶۷ درصد بود (Sanaemoghadam et al., 2012).

بررسی‌ها درباره میزان استحصال بیوگاز از سبوس برنج با نسبت‌های مختلف کود دامی نشان داد که در دمای ۲۶-۲۹ درجه سلسیوس استحصال بیوگاز معنی‌دار نمی‌شود. با نسبت ترکیبی ۵۰ درصد، میزان استحصال بیوگاز طی ۳۸ روز ۱۶۱/۵ میلی‌لیتر و با نسبت ۲۵ درصد کود دامی و ۷۵ درصد سبوس، میزان استحصال معنی‌دار نیست. در ترکیب بدون کود دامی و ۱۰۰ درصد سبوس، گازی تولید نمی‌شود. در این بررسی، استفاده از مواد تخمیری به دست آمده به عنوان کود ارگانیک توصیه شده است (Elijah et al., 2009).

در تحقیقی، از ترکیب پسماندهای کلزا و آفتاب‌گردان در ترکیب با لجن بی‌هوازی مواد زائد شهری (MSW)<sup>۲</sup> برای استحصال بیوگاز استفاده شد. مواد خرد و از الک کمتر از ۱ میلی‌لیتر عبور داده شد. پیش‌تیمار حرارتی ۱۲۱ درجه سلسیوس در ۶۰ دقیقه تحت فشار پخت اعمال گردید. در پیش‌تیمار اسیدی و قلیایی اسید سولفوریک و سود ۲ درصد به مدت ۶۰ دقیقه با دمای به ترتیب ۲۵ و ۱۲۱ درجه سلسیوس در فشار پخت اضافه گردید. نتایج نشان داد که میزان تولید متان از پسماندهای ساقه کلزا و آفتاب‌گردان به ترتیب ۰/۲۶۰ و ۰/۲۶۴ مترمکعب بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار است. پیش‌تیمارهای حرارتی، بیولوژیک و اولتراسونیک اثر معنی‌داری بر افزایش استحصال بیوگاز نداشتند (Georgia et al., 2008).

پتانسیل تولید بیوگاز از پسماندهای موز، ساقه کلزا، ساقه پنبه، ساقه برنج، مواد زائد نیشکر و ساقه ذرت در ترکیب با کود دامی بوفالو نشان داد که میزان تولید متان بعد از روز بیستم، به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. درصد متان در ۱۵ روز اول ۷۶-۶۸ درصد و در روز بیستم

بیشتر (۱۵ و ۲۰ درصد)، به طور معنی‌داری، زودتر به نقطه بیشینه در تولید روزانه بیوگاز رسیدند (Doagooae et al., 2011).

در تحقیقی دیگر، تاثیر مقدار ماده جامد خشک و آهک بر تولید بیوگاز از محتویات شکمبه گاوی بررسی گردید. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین مقدار جمعی بیوگاز مربوط به ماده جامد کل ۵/۴۴ درصد و به میزان ۲۴ دکا مترمکعب بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار است. بیشترین بازده تولید متان نیز برای ماده جامد ۱۹/۸ درصد و به میزان ۵/۲۹ دکا مترمکعب بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار حاصل شد. همچنین، افزودن آهک، ۴۷ درصد بیوگاز تولیدی را افزایش داد (Kalantari et al., 2013). در یک تحقیق، محتویات شکمبه به عنوان راه انداز در ترکیب با کود گاوی و با نسبت‌های مختلف از محتویات شکمبه، کود گاوی و آب به منظور تولید بیوگاز با نسبت‌های مختلف محتویات شکمبه (۰، ۱۲/۵، ۲۵، ۳۷/۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین استحصال بیوگاز در روز هشتم و مربوط به تیمار ۵۰ درصد محتویات شکمبه، ۵۰ درصد کود گاوی و صفر درصد آب است و بهترین نتیجه در محدوده ۵۰-۲۵ درصد محتویات شکمبه حاصل می‌شود. از تیماری که دارای ۱۰۰ درصد محتویات شکمبه، صفر درصد آب و صفر درصد کود گاوی بود گاز تولید نشد (Budiyono et al., 2010).

در تحقیقی دیگر، تولید متان از هضم بی‌هوازی ترکیب ضایعات سیب زمینی و کود گاوی در سه نسبت ۲۰:۸۰، ۵۰:۵۰، ۸۰:۲۰ (بر اساس وزن جامد آلی فرار) بررسی شد. به کمک یک راکتور آزمایشگاهی تمامی تیمارها در شرایط دمایی مزوفیلیک (۳۵-۳۸ درجه سلسیوس) نگهداری شدند و مدت زمان ماند ۴۵-۵۵ روز بسته به نوع تیمار متغیر بود. در این دوره، تیمارها به طور منظم هم‌زده شدند. بیشترین میزان تولید جمعی متان،

بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار) بود. این نتایج نشان داد که پیش تیمار قلیایی عملکرد بیوگاز را افزایش می‌دهد. همچنین استفاده همزمان از مواد قارچی و میکروبی به منظور فراهم کردن شرایط مناسب رشد میکروبی توصیه شده است (Laurinovic et al., 2013)

طی تحقیقی، میزان تولید بیوگاز از کود دامی خوک و علوفه سیلویی به کمک پیش تیمار شیمیایی - حرارتی (مقیاس آزمایشگاهی و نیمه صنعتی) بررسی گردید. بیشترین عملکرد متان به میزان ۳۰۴/۲ میلی‌لیتر بر گرم ماده جامد خشک فرار در نسبت کود به علوفه ۳ به ۱ به دست آمد. عملکرد تولید بیوگاز در دو حالت استفاده از کود دامی به تنهایی و استفاده از کود دامی به همراه علوفه خشک در یک راکتور نیمه صنعتی ۴۸۰ لیتری نیز بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که میزان تولید متان در کود دامی به تنهایی ۱۵۴ میلی‌لیتر بر گرم ماده جامد خشک فرار و در ترکیب با علوفه ۲۵۱ میلی‌لیتر بر گرم ماده جامد خشک فرار است. در نهایت استفاده از ترکیب کود دامی و علوفه به منظور استحصال متان و کود ارگانیک توصیه شده است (Sihuang, 2012).

در تحقیق حاضر، پتانسیل استحصال بیوگاز از سه منبع کلزا، کود گاوی تازه و محتویات شکمبه گاوی از نظر میزان تولید بیوگاز، درصد متان، متان انباشته و میزان کاهش مواد جامد بررسی شده است. این نتایج می‌تواند به عنوان مبنا و معیار در تحقیقات آتی آزمایشگاهی و صنعتی استفاده شود.

### مواد و روش‌ها

در تحقیقات مرتبط با بیوگاز از کود دامی و محتویات شکمبه گاوی به عنوان راه‌انداز و در بسیاری از موارد به عنوان ماده اصلی تولید بیوگاز استفاده می‌شود و به دلیل پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن آنها، این مواد با

۸۵-۹۱ درصد متغیر بود. پتانسیل تولید متان طی ۳۰ روز و دمای ۳۷ درجه سلسیوس بر حسب میلی‌لیتر نرمال بر گرم ماده جامد خشک فرار برای ساقه‌های گندم، کلزا، نیشکر، پنبه و موز به ترتیب ۳۲۲، ۲۶۰، ۱۷۰، ۱۳۸، ۱۴۹، ۱۴۲ بود. درحالی که حداکثر مقدار تئوری به ترتیب ۴۷۳، ۴۴۶، ۴۳۲، ۳۸۵، ۴۸۱ و ۴۷۳ است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که پسماندهای گیاهی در ترکیب با کود دامی بوفالو، دارای پتانسیل مناسبی در تولید متان هستند (Sahito, et al., 2013).

در تحقیقی دیگر، تخمیر بی‌هوازی مواد زائد گوجه‌فرنگی و کود دامی تازه در راکتور نیمه پیوسته و شرایط مزوفیلیک بررسی شد. کود دامی پس از آنکه تهیه شد برای رسیدن به مواد جامد خشک ۷ درصد رقیق شد. پس از آن هر دو ماده با نسبت‌های معین مخلوط شدند، متوسط عملکرد تولید بیوگاز ۲۲۰ دکا متر مکعب بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار بود. مقدار مواد جامد فرار اولیه از ۷ درصد به ۳/۵ درصد رسید. حداکثر بیوگاز تولیدی در نسبت کود به مواد زائد ۲۰:۸۰ حاصل شد (Saev et al., 2009).

نتایج یک بررسی در باره پتانسیل تولید اتانول و بیوگاز از پسماندهای چاودار، کلزا و لوبیا نشان داد که میزان تولید اتانول به ترتیب ۶۶، ۷۰ و ۵۲ درصد و عملکرد تولید متان بدون اعمال پیش تیمار، به ترتیب ۰/۳۶، ۰/۴۲ و ۰/۴۴ لیتر بر گرم ماده جامد خشک فرار است (Pettersson et al., 2007).

به منظور تعیین پتانسیل تولید متان از پسماندهای گیاهی تجزیه پذیر مانند خاک اره و ساقه کلزا، از پیش تیمار بیولوژیکی (قارچ) و شیمیایی (قلیا) استفاده شد. میزان ماده جامد خشک و فرار در ساقه کلزا به ترتیب ۸۴۸/۱ و ۸۸۹/۴ گرم بر کیلوگرم تعیین شد. بیشترین عملکرد بیوگاز به کمک پیش تیمار قلیایی در ساقه کلزا به میزان ۳۰۱ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک (۳۱۶ لیتر

دمایی امکان پذیر است. دامنه دمایی انواع هاضم به طور معمول در محدوده مزوفیلیک است. این دامنه دمایی بین ۳۰ تا ۳۷ درجه سانتی گراد نوسان دارد که بهترین دمای آن ۳۵ درجه سانتی گراد است. باکتری‌هایی که در این دامنه دمایی فعالیت می‌کنند قابلیت مناسبی خواهند داشت و در برابر بسیاری از شرایط نامناسب محیطی نیز مقاوم هستند. تغییرات عمده دمایی به خصوص خارج از این محدوده، فعالیت میکروارگانیسم‌ها را مختل می‌سازد. بهره‌گیری از محدوده بالاتر دمایی در طراحی هاضم‌ها (دمای ترموفیلیک) علاوه بر کارایی مؤثرتر، امکان بارگیری بالاتر مواد آلی، کاهش مدت زمان فرآیند و کاهش اندازه هاضم را فراهم می‌کند (Mackie & Bryant, 1995). با این حال، استفاده از این دامنه دمایی، از نظر بازده انرژی چالش برانگیز است. به منظور فراهم آوردن محیط آزمایش در محدوده مزوفیلیک و مقایسه راکتورها با در نظر گرفتن تیمارهای اعمال شده، لازم بود دما در محدوده ۳۰-۳۷ درجه سلسیوس نگه داشته شود، بنابراین این راکتورها در داخل یک مخزن حمام آب گرم قرار گرفتند.

### سامانه اندازه گیر کمیت و کیفیت گاز

از روش جابه‌جایی آب به منظور اندازه‌گیری حجم گاز استفاده شد (شکل ۱-ب). در این روش، گاز تولید شده از طریق لوله‌های رابط به داخل بطری تعادل هدایت می‌شود. در اثر بالا رفتن فشار، آب در داخل استوانه مدرج به سمت بالا حرکت می‌کند (شکل ۱-ب). میزان حجم آب جابه‌جا شده معادل با میزان گاز تولید شده است (استاندارد اروپایی 2006, Anon) از دستگاه گاز کروماتوگراف مدل SP-3400 ساخت کشور چین برای تعیین درصد متان استفاده شد. نمونه گاز با سرنگ به قسمت انژکتور دستگاه و در قسمت سپتوم تزریق شد. با توجه به سطح زیر منحنی و استفاده از نرم افزار PEAK، درصد هر یک از گازها با معلوم بودن زمان ماندگاری

پسماندهای گیاهی مخلوط می‌شوند که دارای نسبت کربن به نیتروژن بالایی هستند. در این تحقیق این مواد به منظور تعیین پتانسیل‌شان در تولید بیوگاز و درصد کاهش مواد جامد خشک، به طور مستقل و در ترکیب باهم، در قالب طرح کاملاً تصادفی و به کمک راکتورهای یک لیتری در شرایط مزوفیلیک مقایسه شدند. حجم بطری‌های راکتور، یک لیتر و حجم کاری ۸۰۰ میلی‌لیتر بود. لذا ۹ راکتور مجهز به همزن مغناطیسی طراحی و ساخته شد. مبنای طراحی و ساخت راکتورها بر اساس استانداردهای اروپا (Anon, 2006) و اندازه‌گیری سایر عوامل بر اساس استاندارد انجمن سلامتی عمومی آمریکا (Anon, 1998) بود. بنابر این تحقیق دارای دو مرحله بود: ۱- طراحی و ساخت سامانه استحصال بیوگاز ۲- اضافه کردن مواد و اندازه‌گیری‌ها

### طراحی و ساخت سامانه استحصال بیوگاز

این سامانه شامل اجزای زیر بود:

#### راکتور تولید بیوگاز

برای تولید بیوگاز، با توجه به شرایط کاری و دسترس بودن مواد، از سه نوع راکتور؛ پیوسته<sup>۱</sup>، نیمه پیوسته<sup>۲</sup> و غیر پیوسته<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. استفاده از راکتور غیر پیوسته به دلیل سادگی و راه‌اندازی، نمایش و ارزیابی راحت‌تر آن، گسترده‌تر است (Lukas et al., 2012) در این تحقیق از همین راکتور استفاده شد (شکل ۱-الف). در راکتور غیر پیوسته، مواد یک بار در داخل راکتور ریخته می‌شود و تا انتهای آزمایش ماده دیگری اضافه نمی‌شود. بنابر این در ابتدا، این راکتور طراحی و ساخته شد، از همزن مغناطیسی جهت همزدن مواد استفاده شد.

#### حمام آب گرم

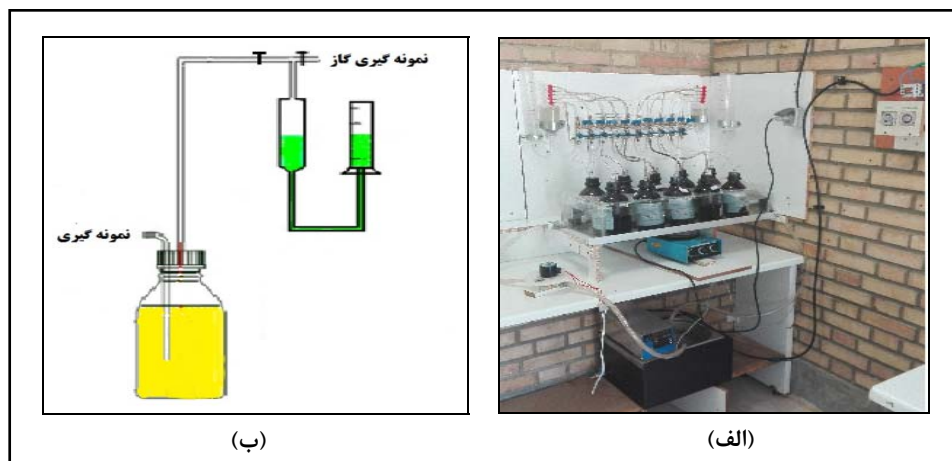
دما نقش مهمی در فرآیند بی‌هوازی دارد زیرا فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی تنها در محدوده ای خاص از دامنه

1- Continious  
3- Batch

2- Semi continious

گردید. از نیترژن که گازی خنثی، ارزان و در دسترس است به عنوان گاز حامل استفاده شد. ستون استفاده شده در کروماتوگراف گازی از نوع TCD بود. دماهای انژکتور، فیلمان، ستون و دیتکتور به ترتیب روی ۱۰۰، ۱۱۰، ۵۰ و ۱۷۰ درجه سلسیوس تنظیم شد.

تعیین گردید. به منظور کالیبره کردن دستگاه برای گاز متان، قبل از تزریق نمونه آزمایشی، یک میلی‌لیتر گاز خالص (خلوص ۹۹/۹ درصد) به کروماتوگراف گازی تزریق و نقطه ماندگاری و سطح زیر منحنی مشخص شد. پس از آن، به کمک نرم افزار Excel درصد حجمی نمونه تعیین



شکل ۱- الف- سامانه استحصال بیوگاز، ب- تجهیزات اندازه‌گیر حجم گاز

کوچکتر شود تجزیه سریع‌تر خواهد بود و از این رو زمان هضم شدن کاهش می‌یابد. به منظور خرد کردن مواد از آسیاب مخصوص استفاده شد. برای کلیه راکتورها میزان مشخصی از پسماندهای خرد شده در داخل ظرف زودپز ریخته شد. با توجه به تحقیقات جورجیا و همکاران، دمای مناسب به منظور متلاشی کردن لیگنین و همی سلولز در ساقه کلزا، ۱۲۱ درجه سلسیوس در فشار پخت و طی یک ساعت است (Georgia et al., 2008). در این تحقیق همین شرایط اعمال گردید. به منظور تعیین میزان کاهش مواد جامد خشک و فرار، قبل و بعد از آزمایش مقادیر ماده جامد خشک و فرار مطابق استاندارد APHA تعیین شد (Anon, 1998).

کل مواد جامد<sup>۱</sup> عبارت است از کل مواد جامدی که پس از تبخیر مایعات نمونه باقی می‌ماند. برای این منظور نمونه‌های ۱۰۰ گرمی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵

در حین آزمایش، روزانه حجم گاز در هر راکتور تعیین و در ساعتی معین هر راکتور به میزان ۱۰ دقیقه به هم زده شد. دما در محدوده مزوفیلیک تنظیم گردید و به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی، میزان کار کرد حمام آب گرم برای فاصله زمانی ۴ ساعت استراحت و ۱۵ دقیقه روشن تنظیم شد. هر ۴-۵ روز یک بار درصد متان با دستگاه کروماتوگراف گازی تعیین و در پایان میزان متان انباشته محاسبه گردید.

### اضافه کردن مواد و اندازه‌گیری‌ها

#### پیش تیمار

پسماندهای کلزا پس از خشک شدن، به قطعات کوچکتر تقسیم گردید. خردکن مواد ورودی، سطح تماس ذرات را برای تجزیه بیولوژیک و پیرو آن تولید متان آماده می‌سازد؛ به عنوان یک قانون کلی، وقتی اندازه ذرات

1- Total Solid

### نسبت کربن به نیتروژن

باکتری‌های بی‌هوازی برای زنده ماندن و ادامه فعالیت‌های خود نیازمند کربن و نیتروژن هستند. این باکتری‌ها معمولاً کربن را به عنوان منبع انرژی جهت رشد و نمو و نیتروژن را برای ساختن دیواره سلولی خود مصرف می‌کنند. نسبت این مواد در کنترل واکنش‌ها بسیار مهم است، میزان مصرف کربن نسبت به مصرف نیتروژن ۳۰ تا ۳۵ برابر سریع‌تر است و از این رو نسبت موجود در مواد اولیه برای فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی و سرعت تخمیر و متعاقب آن تولید گاز متان بسیار موثر است. وقتی نسبت بالا باشد، نیتروژن زودتر از کربن تمام می‌شود و کربن باقیمانده محیط را اسیدی می‌کند و بالعکس زمانی که نسبت پایین باشد، کربن زودتر از نیتروژن تمام می‌شود و نیتروژن مازاد به صورت گاز آمونیاک از محیط خارج و موجب قلیایی شدن محیط می‌شود ضمن اینکه تولید گاز به علت نبود کربن نیز متوقف خواهد شد (Omran, 1996) میزان کربن با استفاده از کوره حرارتی طی درجه حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس و در مدت یک ساعت از رابطه ذیل تعیین شد:

$$O_M = 100 - (M_C + Ash) \quad (3)$$

که در آن،

$O_M$  = درصد مواد آلی؛  $M_C$  = درصد رطوبت؛ و  $Ash$  = درصد خاکستر است.

درصد خاکستر از رابطه زیر تعیین شد:

$$A = M_2 / M_1 \times 100 \quad (4)$$

که در آن،

$M_2$  = وزن مواد پس از کوره (گرم)؛ و  $M_1$  = وزن مواد پس از آن و قبل از کوره (گرم) است.

درجه سلسیوس در داخل آون قرار داده شد و پس از تعیین درصد رطوبت، مقدار مواد جامد به دست آمد (رابطه ۱).

$$TS = \frac{\text{وزن کل}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 \quad (1)$$

افزایش یا کاهش زیاده از حد رطوبت مواد در مخزن تخمیر، تأثیر بسزایی در تولید گاز دارد. برای اینکه باکتری‌ها بتوانند مواد آلی را جذب کنند، لازم است آن مواد به صورت محلولی رقیق درآیند. ازدیاد غلظت مواد، موجب افزایش چسبندگی و مانع از رشد باکتری‌هاست و کاهش غلظت، موجب لایه لایه شدن محلول می‌شود که مستلزم هم زدن مداوم است. در منابع مختلف میزان غلظت برای مواد مختلف ۷-۹ درصد توصیه شده است (Omran, 1996) در این تحقیق میزان مواد جامد خشک ۸ درصد در نظر گرفته شد. حجم کاری ۸۰۰ میلی‌لیتر بود و ۲۰۰ میلی‌لیتر باقیمانده برای تجمع گاز تولیدی روزانه در نظر گرفته شد.

کل مواد فرار  $(VS)^1$  عبارت است از مواد از دست رفته بعد از اینکه کل مواد جامد خاکستر می‌شود. برای این منظور، مواد جامد باقیمانده از آون در بوته‌های مخصوص و به وزن ۱۰ گرم ریخته و در داخل کوره و در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس و به مدت ۲ ساعت قرار داده شد (Anon, 1998) کل مواد فرار از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$VS = \left[ 100 - \left( \frac{V_3 - V_1}{V_2 - V_1} \right) \right] \quad (2)$$

که در آن،

$V_1$  = وزن ظرف؛  $V_2$  = وزن پسماندهای خشک + وزن ظرف؛ و  $V_3$  = وزن خاکستر + وزن ظرف (بعد از خنک شدن) است. در تعیین مواد جامد خشک، درصد مواد آلی و معدنی تعیین گردید.

درصد رطوبت، درصد کربن و درصد نیتروژن هر یک از مواد، نسبت کربن به نیتروژن مخلوط نهایی قابل محاسبه است. مقادیر وزنی کود دامی، محتویات شکمبه و پسماندهای کلزا طوری انتخاب شد که نسبت مخلوط نهایی در محدوده ۳۵-۳۰ قرار گیرد. قبل از ریختن مواد، داخل راکتورها، با گاز نیتروژن فلاش گردید. این عمل باعث خارج کردن اکسیژن و فراهم آوردن شرایط بی‌هوازی شد. پس از طی شدن مرحله پیش تیمار، مواد آزمایشی با در نظر گرفتن مقادیر به دست آمده از نسبت کربن به نیتروژن مناسب (مشخص شدن نسبت ترکیبی کود دامی به پسماندهای کلزا جهت رسیدن نسبت کربن به نیتروژن ۳۵-۳۰) با آب مخلوط و با قیف آزمایشگاهی به داخل راکتورها ریخته شد.

### تعیین pH

باکتری‌های متان‌ساز که در فرآیند تخمیر شرکت می‌کنند نسبت به pH محیط حساسیت دارند. کاهش pH باعث اختلال در زندگی باکتری‌های متان‌ساز می‌شود و در نتیجه تولید گاز متان متوقف خواهد شد. در صورتی که محیط قلیایی شود و pH آن بالا رود، باید صبر کرد تا pH محیط دوباره به حالت تعادل برگردد. از دستگاه pH متر به منظور تعیین pH استفاده شد. طی روزهایی که محیط اسیدی شده بود از آهک به میزان ۵ گرم در لیتر استفاده شد. برای این منظور، آهک پس از غربال شدن، با آب رقیق و با سرنگ ۵ میلی‌لیتر به داخل راکتورها تزریق شد (Anon, 1998).

### آنالیز و تجزیه آماری

در این تحقیق، سه تیمار کود گاوی (C)، محتویات شکمبه گاوی (R)، و ترکیب پسماندهای ساقه کلزا با کود و محتویات شکمبه (M) در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار از نظر پتانسیل تولید بیوگاز و درصد کاهش مواد

درصد کربن از تقسیم کردن  $O_M$  به  $1/72$  تعیین گردید. میزان نیتروژن با استفاده از استانداردهای APHA و به روش کلجدال به دست آمد (Anon, 2011). آزمایش اندازه‌گیری نیتروژن شامل ۳ مرحله بود:

- مرحله هضم: در این مرحله، یک گرم از تیمارهای آزمایشی (خشک) در اسید سولفوریک غلیظ در حضور ۲ کاتالیزور (۷ گرم سولفات سدیم و ۱ گرم سولفات مس) جوشانده می‌شود که این عمل باعث تسریع در هضم خواهد شد.

- مرحله تقطیر: در این مرحله، نیتروژن از ماده غذایی کاملاً هضم شده در مرحله اول به صورت گاز آمونیاک آزاد می‌شود. این گاز که به صورت بخار است پس از عبور از میرد به مایع تبدیل و وارد اسید بوریک موجود در ارلن می‌شود و بورات آمونیوم تشکیل می‌دهد.

- مرحله تیتراسیون: در این مرحله، بورات آمونیوم تشکیل شده در مرحله قبلی با اسید هیدروکلریک ۰/۱ نرمال تیترو می‌شود. پس از این مرحله، با توجه به میزان حجم تیتراسیون، نرمالیتته اسید و وزن مواد مورد آزمایش، درصد نیتروژن کل از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Anon, 2011).

$$TN = [(VS-VB) \times N \times (MN/m) \times 100] / 1000 = 0.1 (VS-VB) \quad (5)$$

که در آن،

$V_s$  = حجم اسید سولفوریک مصرفی در تیتراسیون نمونه (میلی‌لیتر)؛  $V_b$  = حجم اسید سولفوریک مصرفی در تیتراسیون شاهد (میلی‌لیتر)؛  $N$  = نرمالیتته اسید سولفوریک (۰/۱ نرمال)؛  $M_n$  = جرم مولی نیتروژن (۱۴ گرم بر مول)؛ و  $m$  = وزن نمونه خشک (گرم) است.

به منظور تعیین نسبت نهایی کربن به نیتروژن در تیمارها، از محاسبه‌گرهای نسبت کربن به نیتروژن استفاده شد. در این نرم‌افزارها با داشتن مقدار وزن،



### تغییرات pH

محیط اسیدی باعث از بین رفتن باکتری‌های متان‌ساز می‌شود. بنابراین لازم بود هر چند روز یک بار میزان pH کنترل شود. با توجه به روند تغییرات pH در اکثر تیمارها (شکل ۲)، در روزهای اول در تیمارهای کود و تیمار ترکیبی، میزان pH در محدوده خنثی قرار داشت و با گذشت زمان و در روزهای بعد این روند در کود گاوی از روز نهم به بعد روندی نسبتاً ثابت در محدوده خنثی را طی کرد (شکل ۲).

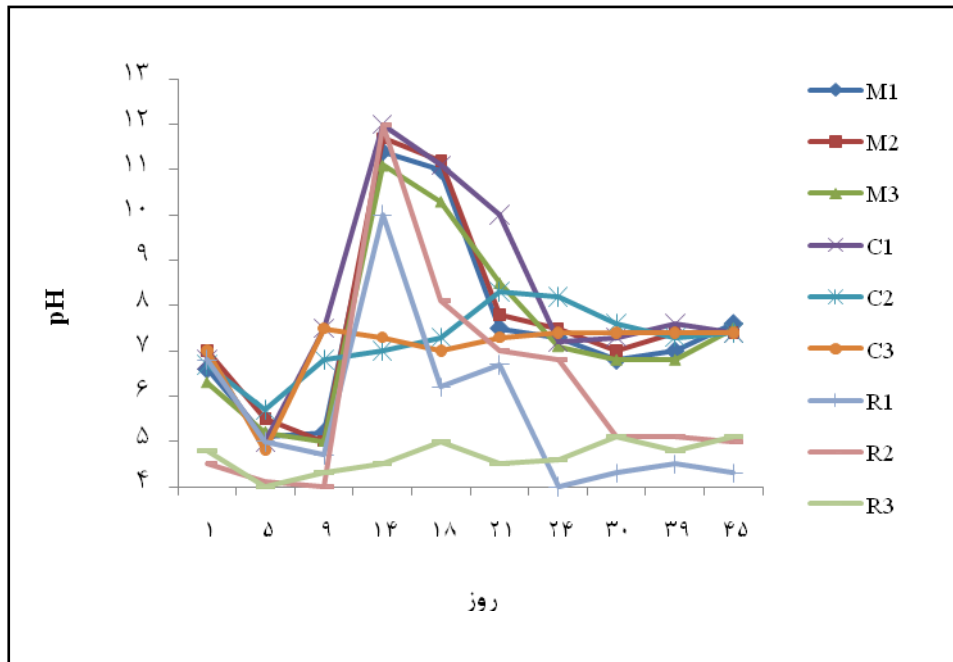
در تیمار ترکیبی (M)، روند رو به کاهش بود که در روز چهاردهم به ناچار محلول آهک تزریق شد (جهش ناگهانی افزایش pH در نمودار به دلیل اضافه کردن آهک است). این تغییرات برای تیمار محتویات شکمبه (R)، روند مشخصی را نشان نمی‌دهد و در غالب نمونه‌ها، محیط اسیدی و pH در محدوده ۵/۵ - ۴ است. این تغییرات نشان می‌دهد که در کود گاوی تا قبل از مرحله متان‌سازی (روز نهم) محیط اسیدی شده است و فعالیت باکتری‌های اسیدساز بیشتر از فعالیت باکتری‌های متان‌ساز بوده است. در خصوص تیمار ترکیبی (M)، این روند از روز چهاردهم به بعد اتفاق افتاده است. در تیمار محتویات شکمبه (R)، با توجه به اسیدی بودن محیط، به رغم اینکه به راکتورهای مربوطه، محلول آهک اضافه شد، محیط تخمیر به وضعیت ایده‌آل برای باکتری‌های متان‌ساز برگشت. در کل، روند تغییرات pH در تیمارهای کود و تیمار ترکیبی، روندی کاهشی و پس از آن افزایشی و سپس در محدوده خنثی ثابت گردید. این نتایج با نتایج تحقیقات ثنائی‌مقدم و همکاران (Sanaemoghadam *et al.*, 2012) همخوانی دارد.

جامد خشک مقایسه شدند. به منظور آنالیز آماری از نرم افزار SPSS استفاده و نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد بررسی شد.

### نتایج و بحث

#### نسبت کربن به نیتروژن

قبل از اجرای آزمایش، درصد کربن و نیتروژن و در نهایت نسبت کربن به نیتروژن کلزا، کود گاوی و محتویات شکمبه تعیین شد تا بتوان با استناد به این نسبت‌ها، برای تیمار ترکیبی، نسبت مناسب را محاسبه کرد. نسبت کربن به نیتروژن به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (Anon, 2011). آنالیز آماری نتایج، اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد بین تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد (جدول ۱). از نظر مقایسه میانگین‌ها، پسماندهای ساقه کلزا با نسبت ۸۲/۵۳ در گروه الف، کود گاوی و محتویات شکمبه به ترتیب با نسبت‌های ۲۱/۹۳ و ۲۰/۵ در گروه ب قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که این نسبت‌ها در پسماندهای گیاهی بالا و در کود گاوی و محتویات شکمبه پایین است و مخلوط کردن این مواد برای رسیدن به نسبت ۳۰-۳۵ ضروری است. این نتایج با تحقیقات کورنانی و همکاران همخوانی دارد (Kurnani *et al.*, 2010). در تحقیق مذکور که روی ترکیب کود گاوی با یک نوع پسماند گیاهی بومی صورت گرفته است، این نسبت برای کود گاوی ۱۹ و برای پسماندهای گیاهی ۳۹/۶ به دست آمده است که نشان می‌دهد بین پسماندها و کود گاوی از نظر نسبت کربن به نیتروژن اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

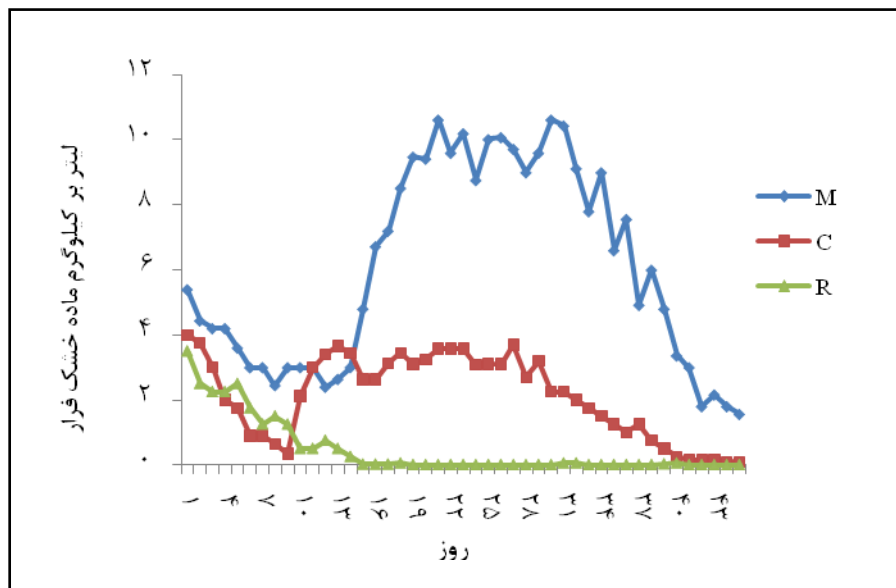


شکل ۲- تغییرات pH (M= تیمار ترکیبی، C= کود گاوی، R= محتویات شکمبه)

## تولید بیوگاز و متان

روی پسماند ساقه کلزا است. این پسماندها دارای ترکیب سلولز و لیگنین هستند که هضم شدن آنها زمان بر است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که از نظر تولید بیوگاز بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. از نظر مقایسه میانگین‌ها، ترکیب کلزا + کود گاوی + محتویات شکمبه با ۵۰۴/۱ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار در گروه الف، کود گاوی با ۱۷۸/۶ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار در گروه ب و محتویات شکمبه با ۱۴/۸ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار در گروه آخر قرار گرفت. با توجه به اینکه بیوگاز ترکیبی از گازهای متان، دی‌اکسید کربن و سایر گازهاست، لازم است درصد متان و در نهایت میزان متان انباشته مد نظر قرار گیرد. به هر حال این نتایج بیانگر فعالیت بالای میکروبی در این ترکیبات است.

شکل ۳ متوسط تغییرات روزانه بیوگاز در تیمارهای آزمایشی را نشان می‌دهد. مدت زمان ماندگاری ۴۵ روز سپری شد. روزهای بعد نیز قابل اندازه‌گیری بود ولی با توجه به کم بودن گاز استحصالی مد نظر قرار نگرفت. مطابق شکل، حداکثر استحصال تولید بیوگاز برای کود دامی بین روزهای ۱۰-۲۹ و برای ترکیب کلزا، کود و شکمبه بین روزهای ۱۹-۳۱ بوده است. برای محتویات شکمبه به تنهایی روند مشخصی وجود نداشت و از روز اول تا پانزدهم روند کاهشی و بعد از آن مقدار تولید گاز ناچیز بود. با توجه به این نتایج، روند تولید متان در کود گاوی زودتر آغاز شد و زودتر هم خاتمه یافت. در صورتی که در تیمار ترکیبی، این روند دیرتر آغاز شد و دیرتر نیز خاتمه یافت. با توجه به تاخیر در تولید متان حداکثر در تیمار ترکیبی، یکی از دلایل آن کندی مرحله هیدرولیز



شکل ۳- تغییرات روزانه بیوگاز در تیمارهای آزمایشی (M= ترکیب کلزا، شکمبه و کود، C= کود و R= محتویات شکمبه)

معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر است که ممکن است به دلیل فراهم شدن نسبت کربن به نیتروژن مناسب در محدوده ۳۵-۳۰ باشد. در این محدوده، شرایط مناسب برای باکتری‌های متان‌ساز فراهم است. پایین بودن این نسبت در کود دامی باعث کاهش تولید متان شده است و پسماندهای گیاهی نظیر کلزا که دارای نسبت کربن به نیتروژن بالایی هستند می‌توانند در ترکیب با کود دامی، میزان قابل توجهی متان تولید کنند. در خصوص محتویات شکمبه، میزان استحصال متان بسیار ناچیز است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که محتویات شکمبه، به تنهایی، ماده اولیه مناسبی برای تولید بیوگاز نیست و باید از آن صرفاً به عنوان راه‌انداز استفاده کرد. نتایج بررسی‌های پاره‌ای از محققان نشان می‌دهد که محتویات شکمبه به تنهایی برای تولید بیوگاز مناسب نیست ولی ترکیب آن با مواد دیگر دارای پتانسیل مناسبی است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (Budiyono *et al.*, 2010) نتایج این تحقیق همخوانی دارد (Sunars *et al.*, 2012) با این حال نتایج تحقیقات تعداد دیگری از محققان بیانگر پتانسیل مناسب محتویات شکمبه (به خصوص با اضافه کردن محلول آهک) برای تولید بیوگاز است (Kalantari *et al.*, 2013).

میزان متوسط متان انباشته طی ۴۵ روز با در نظر گرفتن میزان ماده خشک اولیه (TS) و ماده فرار (VS) محاسبه شد. از نظر تولید متان انباشته، بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. در میانگین‌ها، ترکیب کلزا + کود گاوی + محتویات شکمبه با ۲۷۷/۹ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار در گروه الف، کود گاوی با ۱۱۶/۵ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار در گروه ب و محتویات شکمبه با ۴/۰۰ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار در گروه آخر قرار دارد (جدول ۲). میزان تولید متان به دست آمده در این تحقیق از پسماندهای ساقه کلزا، با نتایج تحقیقات ساهیتو و جورجیا که میزان تولید متان را ۲۶۰ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار به دست آورده‌اند (Georgia *et al.*, 2008; Sahito *et al.*, 2013). همخوانی دارد ولی در خصوص کود گاوی، این نتایج با نتایج سیانگ و همکاران اندکی متفاوت است. این محققان میزان تولید متان از کود گاوی را ۱۵۴ لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار به دست آورده‌اند (Sihuang *et al.*, 2012) که بیش از نتایج این تحقیق است. میزان تولید متان در تیمار ترکیبی به طور

### درصد متان

تیمارهای آزمایشی از نظر درصد متان نیز مقایسه شدند. مطابق جدول، بین تیمارهای ترکیبی و کود گاوی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، هرچند میزان تولید متان در کود گاوی ۶۰ و در تیمار ترکیبی ۵۵ درصد به دست آمد. بین این دو تیمار و تیمار محتویات شکمبه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در واقع، در محتویات شکمبه تولید متان عملاً بسیار ناچیز است. با توجه به این نتایج، به رغم یکسان بودن درصد متان در دو تیمار ترکیبی و کود گاوی، میزان تولید متان انباشته در تیمار ترکیبی به طور معنی‌داری بیشتر است و این مطلب بیانگر تولید گاز بیشتر در تیمار ترکیبی و موثر واقع شدن استفاده از پسماندهای گیاهی به منظور بالا بردن میزان استحصال متان است.

### کاهش مواد جامد

در تیمارهای آزمایشی، قبل و پس از آزمایش، میزان ماده جامد خشک بر حسب درصد تعیین و اختلاف این دو

از نظر کاهش مواد جامد خشک مقایسه شد. مطابق جدول ۲، میزان کاهش مواد جامد خشک در تیمار ترکیبی ۵۹، در تیمار کود گاوی ۴۶ و در محتویات شکمبه ۰/۰۶ درصد دیده می‌شود. بین تیمار ترکیبی و کود گاوی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. ولی بین این تیمارها و محتویات شکمبه اختلاف معنی‌دار دیده می‌شود. هرچند بین تیمار ترکیبی و کود گاوی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، درصد کاهش مواد جامد در تیمار ترکیبی بیشتر است. از طرفی، این اختلاف به دلیل فاصله زیاد این دو تیمار با تیمار محتویات شکمبه است. اگر این اختلاف کمتر بود، اختلاف بین تیمار ترکیبی و کود گاوی هم ممکن بود معنی‌دار شود. این نتایج نشان می‌دهد که مواد موجود در راکتور حاوی محتویات شکمبه را باکتری‌ها مصرف نکرده‌اند در صورتی که این مواد در دو تیمار دیگر مصرف شده است. بنابراین، به نظر می‌رسد بین میزان تولید متان و میزان کاهش مواد جامد رابطه‌ای وجود داشته باشد.

جدول ۱- آنالیز واریانس تیمارهای آزمایشی

تیمار	منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
نسبت C/N	تیمار	۷۵۲۲/۵۴	۲	۳۷۶۱/۲۷	۱۷۰/۸۹
	خطا	۱۳۲/۰۵	۶	۲۲/۰۰	
	کل	۷۶۵۴/۶	۸		
بیوگاز	تیمار	۳۴۱۶۶۲/۲۷	۲	۱۷۰۸۳۱/۱۳	۳۰۴/۲۲
	خطا	۵۶۱/۵۳	۶	۳۳۶۹/۲	
	کل	۳۴۵۰۳۱/۴۸	۸		
درصد متان	تیمار	۰/۶۴	۲	۰/۳۲	۲۳۸/۰۶
	خطا	۰/۰۰۸	۶	۰/۰۰۱	
	کل	۰/۶۵	۸		
متان انباشته	تیمار	۱۱۳۷۷۸/۹۴	۲	۵۶۸۸۹/۴۷	۵۰/۰۳
	خطا	۶۸۲۱/۵۳	۶	۱۱۳۶/۹۲	
	کل	۱۲۰۶۰۰/۴۸	۸		
کاهش TS	تیمار	۰/۴۶	۲	۰/۲۳	۳۱/۷
	خطا	۰/۴۴	۶	۰/۰۷	
	کل	۰/۵۱	۸		

جدول ۲- مقایسه میانگین نسبت کربن به نیتروژن\*

C/N	نوع مواد
۸۲/۵۳a	پسماند ساقه کلزا
۲۱/۹۳bc	کود گاوی
۲۰/۵bc	محتویات شکمبه گاوی

\* تیمارهای با حروف غیر مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد هستند.

جدول ۳- مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی\*

کاهش TS (درصد)	متان انباشته (لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار)	متان (درصد)	بیوگاز (لیتر بر کیلوگرم ماده جامد خشک فرار)	نوع مواد
۵۹ab	۲۷۷/۹a	۵۵ab	۵۰۵/۰۷a	کلزا+ کود دامی + محتویات شکمبه
۴۶ab	۱۱۶/۵b	۶۰ab	۱۷۸/۶b	کود دامی
۶c	۴c	۱c	۴۰/۳c	محتویات شکمبه

\* تیمارهای با حروف غیر مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد هستند.

## نتیجه گیری

بیشترین مقدار مربوط به کود گاوی است در حالی که میزان تولید گاز متان در تیمار ترکیبی بیشتر است تا در کود گاوی. نتایج این تحقیق نشان می دهد که محتویات شکمبه گاوی (به تنهایی)، ترکیب مناسبی برای تولید بیوگاز نیست ولی با توجه به نتایج بررسی های سایر محققان و متناقض بودن نتایج، در این خصوص باید تحقیقات بیشتری انجام شود. همچنین، استفاده از پسماندهای گیاهی کلزا در ترکیب با کود گاوی و محتویات شکمبه به منظور بالا بردن میزان تولید متان قابل توصیه است.

مقایسه سه ماده کود گاوی، محتویات شکمبه و ترکیب پسماندهای کلزا + کود گاوی + محتویات شکمبه در رآکتورهای تولید بیوگاز نشان می دهد که متان تولیدی از تیمار ترکیبی از سایر تیمارها بیشتر است و با تیمارهای دیگر اختلاف معنی داری نشان می دهد. یکی از دلایل آن می تواند کنترل نسبت کربن به نیتروژن در محدوده مناسب جهت رشد باکتری های متان ساز باشد. از نظر میزان تولید متان، هر چند بین تیمار ترکیبی و کود گاوی اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد ولی

## مراجع

- Amiri, M., Fesahat, P. and Taheri, A. 2007. Canola cultivation problems and reasons to development failure by farmers. *Livestock and Agro-Industry Magazine*. (in Persian)
- Anon. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18<sup>th</sup> Ed. Later Revisions. American Public Health Association, 1015. 15<sup>th</sup> Street NW, Washington, DC 20005.
- Anon. 2006. Fermentation of organic materials, Characteristic of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. VDI4630 (Verein Deutscher Ingenieure)
- Anon. 2011. *Composot, sampling and physical and chemical test methods*. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. No. 13320. Iran National Standard. (in Persian)

- Anon. 2014. Latest Events Agriculture and Food Industry. IANA (Iranian Agriculture News Agency). (in Persian)
- Budiyono, O., Widiyasa, I. N., Johari, S. and Sunars, O. 2010. Increasing biogas production rate from cattle manure using rumen fluid as inoculums. *Int. J. Basic App. Sci. IJBAS-IJENS* .10(1).
- Doagooae, A., Gazanfari, M. and Fooladi, M. 2011. Kinetics and modeling of the process of producing biogas from waste water rose. *J. Bio-Sys. Eng.* 42(1): 95-102. (in Persian)
- Elijah, T. I., Ibifuro, A. M. and Yahaya, S. M. 2009. The study of cow dung as co-substrate with rice husk in biogas production. *Scientific Research and Essay*. 4(9): 861-866.
- Georgia, A., Stamatelatos, K. and Lyberatos, G. 2008. Exploitation of rapeseed and sunflower residues for methane generation through anaerobic digestion: the effect of pretreatment. Department of Chemical Engineering, University of Patras, 1 Karatheodori st., 26500, Patras, Greece Institute of Chemical Engineering and High Temperature Chemical Processes, P.O. BOX 1414, 26504, Patras, Greece.
- Gujer, W. and Zehnder, A. 1983. Conversion Processes in Anaerobic Digestion. *Water Sci. Technol.* 15(8): 127-167.
- Kalantari Maibodi, S., Danesh, S. H., Ebarhimi, H. and Haydarian, V. 2013. Evaluate the effects of Total Solids and lime in the production of biogas from cow rumen contents. 4<sup>th</sup> National Conference bioenergy. Tehran, Iran. (in Persian)
- Kurnani, A., Hidayati, Y. A., Fitriani, D. and Imanudin, O. 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. *Lucrări Științifice*.
- Laurinovica, L., Jasko, J., Skripsts, E. and Dubrovskis, V. 2013. Biochemical methane potential of biologically and chemically pretreated sawdust and straw engineering for rural development Jelgava.
- Lukas, K., Tomas, J. and Jir, N. 2012. Scale technology for biogas production from lignocelluloses wastes. *Acta. Polytech.* 52(3).
- Mackie, R. and Bryant, M. P. 1995. Anaerobic digestion of cattle waste at mesophilic and thermophilic temperatures. *App. Microbiol. Biotechnol.* 43(2): 346-350.
- Mohammadnejad, M., Shabanikia, A. and Booglandashti, B. 2010. Potential of agricultural residues for energy production. 1<sup>st</sup> Bioenergy Conference. Tehran. Iran. (in Persian)
- Omrani, G. 1996. Biogas production from urban and rural waste. Tehran University Pub. (in Persian)
- Petersson, A., Thomsen, M., Hauggaard-Nielsen, H. and Homsen, A. B. 2007. Potential bioethanol and biogas production using lignocelluloses biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass. Bioenerg.* 31, 812-819.
- Saev, M., Koumanova, B. and Simeonov, I. V. 2009. Anaerobic co-digestion of wasted tomatoes and cattle dung for biogas production. *J. Uni. Chemical Technol. Metallurg.* 44(1): 55-60.
- Sahito, A. R., Mahar, R. B. and Brohi, K. M. 2013. Anaerobic biodegradability and methane potential of crop residue co-digested with buffalo dung. *Mehran Uni. Res. J. Eng. Technol.* 32(3): 509-518.
- Sanaemoghadam, A., Aghkhani, H., Aghel, M., Abaspor Fard, M. and Khodaparast, H. 2012. Bio-methane production from anaerobic digester common potato waste and manure by anaerobic digester system single stage. The 2<sup>nd</sup> Clean Energy Conference. July. 22-21. Kerman, Iran. (in Persian)

- Shaikhahmadi, A .and Zargarzadeh, M. 2007. The use of renewable energy to generate electrical energy. Master's thesis. Faculty of Engineering, Department of Electrical, Islamic Azad University, Tehran SE. (in Persian)
- Sihuang, X. 2012. Evaluation of biogas production from anaerobic digestion of pig manure and grass silage. Ph. D. Thesis. Civil Engineering, National University of Ireland, Galway.
- Sunars, O., Johari, S., Widiassa, I. N. and Budiyono, O. 2012. The Effect of feed to inoculums ratio on biogas production rate from cattle manure using rumen fluid as inoculums. *Int. J. Waste Resour.* 2(1):1-4.

Archive of SID

## **Study of biogas production from Canola Straw Residues, Cattle Manure and Cattle Rumen Contents**

**M. Safari<sup>\*</sup>, R. Abdi and M. Adl**

<sup>\*</sup>Corresponding Author: PhD Candidate Student of Tabriz University, Tabriz, Iran. email: 2safari@yahoo.com

Received: 14 October 2015, Accepted: 8 February 2016

One way to recycle crop residue and animal manure is the production of biogas by anaerobic digestion. The present study evaluated and compared the extraction of biogas from residual canola straw, cattle manure and rumen contents. Reactors, mixers, and a hot water bath were designed and manufactured to compare the extraction of biogas from these resources. Substrates were cast into the reactors after mechanical and thermal pretreatment to determine the percentage of carbon to nitrogen and the total and volatile solids. The treatments included: (1) residue of canola straw + manure + rumen contents, (2) manure, and (3) rumen contents. The treatments were compared in a completely randomized design with three replications in one-liter reactors. The results showed that the experimental treatment factors of biogas production, percentage of methane, accumulated methane, and decrease in total solids showed significant differences. Treatment (1) fell into group A with 504.1 l/kg VS of biogas produced and accumulated methane of 277.9 l/kg VS. Treatment (2) fell into group B with 178.6 l/kg VS of biogas produced and accumulated methane of 116.5 l/kg VS. Treatment 3 fell into group C with 14.8 l/kg VS of biogas produced and accumulated methane of 4 l/kg VS. The percentage of methane in groups A and B was 55% and 60%, respectively. The percentage of decrease in total solids in treatments (1) and (2) was 59% and 46%, respectively. There were no significant differences between groups B and C for ratio of carbon to nitrogen. The results indicate that fresh cattle manure + rumen contents in combination with canola residue produced the highest accumulated methane and use of this combination is recommended.

**Keywords:** Biogas, Methane, Canola residue, Cattle manure, Cattle rumen contents