یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

طراحی، ارزیابی و بررسی رآکتور تولید بیوگاز و آزمایش آن با استفاده از ترکیبات مختلف فضولات گاوی و باگاس نیشکر

جبار محمدی مجد[1]، مهدی سعادت فرد[2]، مجید رهنما[3]، رسول معمار دستجردی[4]

کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان؛jabbarmohamadi6@gmail.com

استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان؛saadatfardmahdi@gmail.com

استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان؛majid.rahnama@gmail.com

استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان؛rasoul.memar@gmail.com

چکیده

در سالهای اخیر محدویت منابع فسیلی، غیرقابل تجدیدپذیر بودن این منابع و پیش‌بینی افزایش قیمت‌ها موجب گردیده است تا سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش انرژی با انجام مطالعات ساختاری، تغییر حاملهای انرژی و حرآرت به سوی سوخت‌های پاک را در رأس برنامه‌های کاری خود قرار دهند که یکی از این گزینه‌ها، استفاده از انرژی حاصل از منابع زیست توده می‌باشد. روش فرآیند هضم بی‌هوازی، یکی از تکنولوژی‌های قابل قبول، هم از نظر صنعت و هم از نظر اقتصادی، برای تولید انرژی از ضایعات آلی می‌باشد. استان خوزستان به دلیل دارا بودن مزارع وسیع نیشکر، پتانسیل قابل ملاحظه‌ای در تولید ضایعات نیشکر دارد. به این منظور، تحقیقی جهت بررسی فرآیند تولید بیوگاز از ترکیب باگاس نیشکر به همراه فضولات گاوی به روش هضم بی‌هوازی، به صورت آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار سطح باگاس به کود گاوی و سه تکرار (t_4= ۰:۱۰۰) (t_3= ۴۰:۶۰) (t_2= ۳۰:۷۰) (t_1= ۲۰:۸۰) در ایستگاه دامپروری دانشگاه رامین خوزستان انجام شد. این ترکیبات بر اساس وزن ماده خشک فرار با ۱۰٪ در دمای ۳۷ درجه سلسیوس مورد ارزیابی قرار گرفتند. در پایان آزمایشات، بیشترین میزان بیوگاز تولید شده در ترکیب ۳۰:۷۰، به میزان ۰/۳۱۰ متر مکعب و کمترین میزان بیوگاز تولید شده در ترکیب ۰:۱۰۰ که به عنوان شاهد در نظر گرفته شد، به میزان ۰/۲۳۳ مترمکعب حاصل شد. نتایج تحقیق نشان داد بین تیمارها تفاوت معنادار آماری وجود دارد ($P<$ ۰/۱).

کلیدواژه: بیوگاز، باگاس نیشکر، فضولات گاوی، هضم بی‌هوازی

Designing, evaluating and reviewing the biogas reactor and testing it using different combinations of cow manure and sugar cane bagasse

Jabbar Mohammadi Majd, Mahdi Saadatfard, Majid Rahnama, Rasoul Memar Dastjerdi

Master of Agricultural Machinery Mechanics, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; jabbarmohamadi6@gmail.com
Assistant Professor, Agricultural Machinery Mechanics Department, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; saadatfardmahdi@gmail.com
Assistant Professor, Agricultural Machinery Mechanics Department, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; majid.rahnama@gmail.com

[1] جبار محمدی مجد، کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان: ۰۹۱۶۰۴۲۰۳۹۸

Assistant Professor, Agricultural Machinery Mechanics Department, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; rasoul.memar@gmail.com

Abstract

In recent years, the limitation of fossil resources, the non-renewable nature of these resources and the prediction of rising prices have led policy makers and planners of the energy sector to carry out structural studies, shifting energy carriers and greener to clean fuels at the top of their work programs, and one These options include the use of energy from biomass resources. An anaerobic digestion process is one of the accepted technologies, both in terms of industry and economics, for the production of energy from organic waste. Khuzestan province has a considerable potential for sugar cane production due to its high sugarcane fields. To investigate the process of producing biogas from the combination of sugarcane bagasse and cow's manure by anaerobic digestion, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with four levels of bagasse to cow manure and three replications (t1= 20:80), (t2= 30:70), (t3= 40:60), (t4= 0:100) at Ramin University of Khuzestan Animal Breeding Station. these compounds were evaluated based on the weight of dry matter evaporated at 10% at 37° C. At the end of the experiments, the highest amount of biogas produced in the 30:70 Combination was obtained at a rate of 0.310 cubic meters and the lowest amount of biogas produced in the 0:100 Combination, which was considered as control, was obtained at 0.233 cubic meters. There is a statistically significant difference between treatments promote research showed (P<0.1).

***Keywords*:** Biogas, Bagasse Sugar Cane, Cow Manure, Anaerobic Digestion

مقدمه

اولین مخزن هضم بی‌هوازی به شکل نوین در سال ۱۸۵۹ در بمبئی هندوستان ساخته شد. این ایده به انگلستان برده شد و شکل بهتری از مخزن طراحی شد و در سال ۱۸۹۵ از بیوگاز حاصل برای روشنایی چراغ‌های گازی خیابان‌ها که در آن زمان در انگلستان مرسوم بود استفاده شد. سپس این طرح جدید به هندوستان برگردانده شد و بر اساس آن طرح‌های زیادی در هندوستان ساخته شد. به موازات این اقدامات کشورهای دیگر نیز در این زمینه مطالعات گسترده‌ای را آغاز کردند و با طراحی و ساخت دستگاه‌های بیوگاز مختلف و منطبق بر شرایط آب و هوایی منطقه-ای، صنعت بیوگاز روز به روز روند روبه رشدی را طی کرد؛ بطوریکه امروزه بیوگاز در سطح جهان یک انرژی شناخته شده می‌باشد (لودویک، ۱۳۷۴).

در اواسط دهه‌ی ۸۰، اولین دستگاه بیوگاز برای جذب کود حیوانی در آلمان ساخته شد. دانمارک و آلمان شرقی برساخت دستگاه‌های بیوگاز که در سطح وسیعی مجتمع بودند، تمرکز کردند. شرایط بسیار دشوار بود، زیرا هیچ سرمایه‌گذاری و هزینه‌ای برای تولید انرژی وجود نداشت. لذا پس از شروع این حرکت نسبتاً کند، تجارت بیوگاز به‌طور تدریجی، موفقیت خود را آغاز کرد (هایروکا، ۱۹۸۵).

اکثر دستگاه‌های بیوگاز در آلمان، دستگاه‌های سایز متوسط با مقیاس مزرعه‌ای هستند. فرآیند تولید حرارت در آن‌ها میانه خواه است و فنّاوری فرآیند، یک مرحله‌ای می‌باشد. این نوع دستگاه‌ها که دارای مخازن هضم با سایز ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ مترمکعب بوده، تابه‌حال بیش از ۱۰۰ بار تولید شده‌اند. همچنین دستگاه‌های بیوگاز با مخازن بزرگ عمودی ساخته شده‌اند که دارای مبدل‌های گرمایی بیرونی و ترکیب‌کننده‌هایی هستند که در مرکز آن جای گرفته‌اند (هابسون، ۱۹۹۳).

در جهان سالیانه ۷۴ میلیون تن گاز متان از فضولات دامی تولید می‌گردد که ۴۰ میلیون تن از این گاز تنها از زباله‌های شهری تولید شده و در جو زمین پراکنده می‌گردد و جمع‌آوری آن‌ها به صورت بیوگاز امکان‌پذیر است (عمرانی و همکاران، ۱۳۷۵).

مقدار فضولات دامی به منظور تولید سوخت بیوگاز در ایران حدود ۵/۹۷ میلیون تن در سال بوده و سوخت بیوگاز قابل تولید از آن حدود ۸/۲۳ میلیارد مترمکعب خواهد شد. اگر از کل فضولات دامی قابل جمع‌آوری در کشور استفاده شود، ارزش حرارتی آن حدود ۹۶/۵ کیلو وات ساعت به ازای هر مترمکعب در مقایسه با گاز طبیعی ۵۲/۷ کیلووات ساعت (معادل با ۸/۱۸ میلیارد متر مکعب گاز طبیعی) خواهد بود (قائمی و صادقی، ۱۳۹۲).

ترکیب لیگنوسلولزی مربوط به مواد زائد کشاورزی پس از مرحله برداشت مانند کاه، یا پس از انجام فرآیندهای جداسازی مواد مفید همانند نیشکر و تولید مواد زائد کارخانه‌ای همانند باگاس، عمدتاً به علت حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد کربوهیدرات در ساختار آن به عنوان ماده اولیه، پتانسیل مناسبی برای تولید بیوهیدروژن و بیوگاز دارد (شفیعی، ۱۳۹۴).

سهم ایران از تولیدات باگاس ۲۴ تن در سال است. این درحالی است که باگاس با سهم ۱۲ درصد رتبه سوم در تولید مواد زائد کشاورزی را دارد. هر تن نیشکر منجر به تولید ۲۸۰ کیلوگرم باگاس می‌شود که ۵۰ درصد از این مواد در همان واحد صنعتی به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. باقیمانده آن نیز به علت دشواری در انبارکردن به عنوان علوفه یا ماده اولیه کاغذسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین به علت ساختار مناسب و درصد کربوهیدرات بالا، باگاس پتانسیل مناسبی برای تولید بیوگاز را دارد (جعفری، ۱۳۹۴).

پتانسیل تولید بیوگاز حاصل از فضولات دامی شامل گاو و گاومیش برای کشور پاکستان محاسبه شد و این نتایج به دست آمد که پاکستان با داشتن تقریباً ۱۵۹ میلیون گاو و گاومیش، روزانه ۶۲۵ میلیون کیلوگرم فضولات تولید می‌کند. این فضولات ۱۶۳ میلیون مترمکعب بیوگاز را در روز و ۲۰ میلیون تن کود غنی‌شده را در سال تولید می‌نماید (امجید و همکاران، ۲۰۱۱).

در تحقیقی، پتانسیل تولید متان از بقایای گیاهی تجزیه‌پذیر نظیر خاک‌اره و ساقه کلزا بررسی شد. برای هردو ماده از پیش تیمار بیولوژیکی و قلیایی که سبب شکستن پیوند بین ساختار آلی مواد و کمک به کاهش زمان تجزیه می‌شود، استفاده گردید. میزان ماده خشک و ماده فرار آلی در ساقه کلزا به ترتیب ۸۸۸/۹۴ کیلوگرم و ۸۴۸/۱ کیلوگرم تعیین شد. بیشترین عملکرد بیوگاز به کمک پیش تیمار قلیائی در ساقه کلزا و به میزان ۳۱۶ کیلوگرم به دست آمد. این نتایج نشان داد پیش تیمار قلیایی عملکرد بیوگاز را افزایش می‌دهد. همچنین در این مطالعه استفاده هم‌زمان از مواد قارچی و میکروبی به‌منظور تخریب سلولز توصیه‌شده است (لورونویکا و همکاران، ۲۰۱۳).

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 گازی معادل ۵/۱۶۱ میلی‌لیتر را گزارش شد. از طرفی با نسبت ۲۵٪ کود دامی و ۷۵٪ سبوس، استحصال بیوگاز معنی دار نبود و در ترکیب ۰٪ کود دامی و ۱۰۰٪ سبوس، گازی تولید نشد. (سنایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۳).

طی تحقیقی پتانسیل تولید بیوگاز از کود مرغی، گاوی و کلش برنج مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق برای تولید بیوگاز از روش هضم بی‌هوازی استفاده شد. این آزمایش در سه مرحله انجام شد و در هر مرحله مواد با نسبت ترکیب متفاوت استفاده گردید. در هر آزمایش از سه هاضم استفاده شد. هاضم اول به ترکیب کود گاوی و کلش برنج، هاضم دوم به ترکیب کود مرغی و کلش برنج و هاضم سوم به کود گاوی اختصاص یافت. نتایج نشان داد بیشترین میزان بیوگاز تولیدی در هاضم‌های یک و دو که شامل ترکیبی از مواد بودند به دست آمد (کلوری، ۱۳۹۱).

طی تحقیقی بررسی میزان تولید بیوگاز از ۷۰۰ گرم ضایعات خانگی میوه در تلفیق با ۵۰۰ گرم کود گاوی و ۱/۵ لیتر آب، به دو روش غیر پیوسته و نیمه پیوسته انجام شد. حداکثر بیوگاز تولیدی در روش غیر پیوسته به میزان ۲۸۳۰ میلی لیتر به دست 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 می-نمایند (دعاگویی و همکاران، ۱۳۸۹).

پتانسیل تولید بیوگاز از فضولات دامی شامل گاو و گوسفند و مرغ را برای کشور ترکیه محاسبه شده و این نتایج به دست آمد که ترکیه با داشتن حدود ۱۱ میلیون رأس گاو، ۲۹ میلیون رأس گوسفند و ۲۳۴ میلیون قطعه مرغ، سالانه حدود ۱۲۱ میلیون تن فضولات تولید می‌نماید. بیوگاز حاصل از این فضولات دامی در کشور مذکور حدود ۲۰۱۸ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده که ۶۵ درصد آن مربوط به گاو، ۵ درصد مربوط به گوسفند و ۳۰ درصد مربوط به مرغ می‌باشد (اونورباس و همکاران ۲۰۱۲).

در تحقیقی، میزان تولید بیومتان از ترکیب ضایعات سیب زمینی و کود گاوی در سه سطح ۲۰:۸۰، ۵۰:۵۰، ۸۰:۲۰ بر اساس وزن جامد آلی فرار بررسی شد. تمامی تیمارها در شرایط دمایی ۳۸-۳۵ درجه سلسیوس نگهداری شده و در طول این مدت عمل هم زدن به طور منظم به ازای هر ۳۰ دقیقه، پنج دقیقه و با سرعت ۸۰ دور بر دقیقه انجام شد. بیشترین میزان متان تولید شده در مدت زمان ۵۵-۴۵ روز معادل ۳۴۱ لیتر بود (الیجا و همکاران ۲۰۰۹).

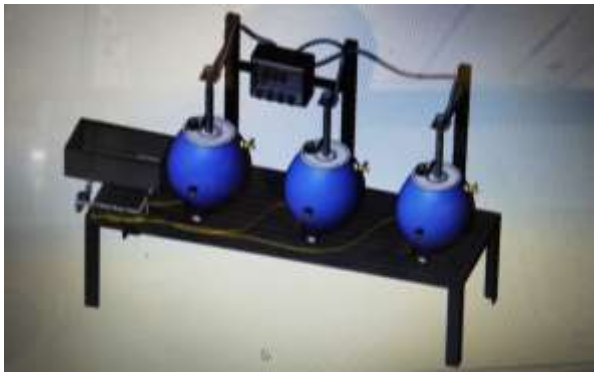
در تحقیقی دیگر، تخمیر بیهوازی مواد زائد گوجه فرنگی و کود دامی تازه در رآکتور نیمه پیوسته و شرایط مزوفیلیک بررسی شد. کود دامی پس از آنکه تهیه شد برای رسیدن به مواد جامد خشک ۷ درصد رقیق شد. پس از آن هر دو ماده با نسبتهای معین مخلوط شدند. متوسط عملکرد تولید بیوگاز ۲۲۰ دکا مترمکعب برکیلوگرم مادۀ جامد خشک فرار بود. مقدار مواد جامد فرار اولیه از ۷ درصد به ۳/۵ درصد رسید. حداکثر بیوگاز تولیدی در نسبت کود به مواد زائد ۸۰:۲۰ حاصل شد (سیو و همکاران، ۲۰۰۹).

طی تحقیقی، میزان تولید بیوگاز از کود دامی خوک و علوفۀ 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 علوفۀ 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 علوفۀ خشک در یک رآکتور نیمه صنعتی۴۸۰ لیتری نیز بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که میزان تولید متان در کود دامی به تنهایی ۱۵۴ میلی‌لیتر بر گرم مادۀ جامد خشک فرار و در ترکیب با علوفه ۲۵۱ میلی‌لیتر بر گرم مادۀ جامد خشک فرار است. در نهایت استفاده از ترکیب کود دامی و علوفه به منظور استحصال متان و کود ارگانیک توصیه شد (شیهانگ، ۲۰۱۲).

در تحقیقی دیگر، از ترکیب پسماندهای کلزا و آفتابگردان در ترکیب با لجن بیهوازی مواد زائد شهری برای استحصال بیوگاز استفاده قرار گرفت. مواد خرد و از الک کمتر از ۱ میلیمتر عبور داده شد. پیش تیمار حرارتی ۱۲۱ درجۀ سلسیوس در ۶۰ دقیقه تحت فشار پخت اعمال گردید. در پیش تیمار اسیدی و قلیایی اسید سولفوریک و سود ۲ درصد به مدت ۶۰ دقیقه با دمای به ترتیب ۲۵ و ۱۲۱ درجۀ سلسیوس در فشار پخت اضافه گردید. نتایج نشان داد که میزان تولید متان از پسماندهای ساقۀ کلزا و آفتاب گردان به ترتیب ۰/۲۶۰ و ۰/۲۶۴ مترمکعب بر کیلوگرم مادۀ جامد خشک فرار است. پیش تیمارهای حرارتی، بیولوژیک و اولتراسونیک اثر معنی‌داری بر افزایش استحصال بیوگاز نداشتند (جورجیا و همکاران، ۲۰۰۸).

مواد و روش ها

اکنون انواع مختلفی از دستگاه های بیوگاز به صورت تک سایتی در نواحی مختلف ایران و اکثراً در مناطق روستایی ساخته شده‌اند. با توجه به اقلیم‌های مختلف ایران ساختار بیشتر این سایت‌ها با یکدیگر فرق می‌کند. با توجه به اینکه این پروژه در استان خوزستان اجرا گردید، بنابراین می-بایست سیستمی طراحی و ساخته شود که بتواند در مناطق گرم تولید گاز نماید. اصولاً سیستم‌های بیوگاز را بایستی در زیر زمین ساخت؛ ولی از آنجائیکه آب و هوای خوزستان اکثر ماههای سال گرم است اما در بعضی از ماه‌های سال به علت سرما، قرار دادن مخزن هضم در خاک نمی‌تواند دمای هضم مناسبی را برای دستگاه فراهم کند. از این رو تصمیم بر آن شد تا مخزن هضم در داخل اتاقک عایق ساخته شود و در درون مخزن هضم از المنت حرارتی استفاده گردد. این تحقیق در ایستگاه دامپروری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در در۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز- شهرستان ملاثانی (عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه با ارتفاع ۵۱ متر از سطح دریا) انجام شد. به طور کلی اجرای تحقیق شامل دو مرحله بود. مرحله اول طراحی و ساخت رآکتور بیوگاز و نصب تجهیزات مورد استفاده در رآکتور و مرحله دوم ارزیابی مقدماتی با استفاده از ترکیب فضولات گاوی همراه با باگاس نیشکر در مقادیر مختلف بود. تکمیل این دستگاه در اواسط دی ماه ۱۳۹۵ شروع و در اواخر فروردین به اتمام رسید. پس از بررسی موارد بالا و اتخاذ بهترین تصمیم و قبل از اینکه ساخت دستگاه اجرائی شود، لازم بود که کلیه مراحل ساخت آن بوسیله نرم افزار سالیدورک طراحی گردد تا با استفاده از آن بتوان با اطمینان بیشتری دستگاه را ساخت (شکل ۱).



شکل ۱- تصویر شماتیک طراحی دستگاه تولید بیوگاز به کمک نرم افزار سالیدورکس

برای احداث دستگاه بیوگاز بایستی شرایط آب و هوائی منطقه بدقت بررسی گردد و با توجه به اقلیم آن منطقه دستگاه را طوری ساخت که در آن شرایط بتواند تولید گاز نماید. در واقع نوع و شرایط آب و هوائی مناطق یک فاکتور مهم در طراحی و ساخت دستگاه بیوگاز می‌باشد. برای این منظور مکان ساخت دستگاه، ایستگاه دامپروری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بود که به دقت مورد مطالعه قرار گرفت. این مکان که در جنوب دانشگاه قرار داشته و به این دلیل مناسب تشخیص داده شد که کودهای دامی در همان محل نگهداری شده و نیازی به انتقال آنها نبود. براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی شهر ملاثانی در دو ماه تیر و مرداد با متوسط دمای ۴۳/۵ درجه سلسیوس گرمترین ماههای سال و ماههای دی و بهمن با متوسط ۲۵/۳ درجه سلسیوس، سردترین ماه سال به شمار می رود. متوسط درجه حرارت: ۴۷ درجه در تابستان و ۳۵ درجه در زمستان است. بنابراین تصمیم بر آن شد که یک دستگاه بیوگاز در این شرایط آزمایش شود. همچنین برای فراهم کردن محیط گرم جهت تولید گاز و تثبیت دمای ۳۷ درجه، به عایق حرارتی مناسب و همچنین وسایل گرم کننده جانبی نظیر المنت حرارتی احتیاج دارد. در ایستگاه دامپروری دانشگاه رامین حدود ۳۰ رأس گاو، برای کارهای تحقیقاتی موجود می‌باشد که برای انجام تحقیق حاضر از فضولات تازه گاوی استفاده گردید. همچنین برای تهیه باگاس نیشکر جهت ترکیب با کود گاوی، از شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) شهرستان شوشتر به مقدار مورد نیاز استفاده گردید.بیشتر مواد خام مورد مصرف دستگاه بیوگاز فضولات گاو است. پهن گاو شامل ترکیبات آمونیاکی است در صورتی که باکتریهای غیرهوازی برای انجام فعالیتهای خود نیاز به کربن هم دارند؛ بنابراین مواد خام گیاهی مانند بقایای کاه و کلش به آن افزوده می شود. تحقیقات نشان میدهد که بهترین نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در حدود ۳۰ است. در صورتی که این نسبت بیشتر شود، مقدار نیتروژن تمام میشود و درنتیجه کربن بیشتری در محیط باقی می‌ماند. در این حالت بسیاری از باکتریها تلف شده و ازت ذخیره شده در سلول آزاد می‌شود. این عمل موجب می‌شود تا برقراری تعادل در محیط تخمیری مجددا با صرف زمان بیشتری برقرار شود. در حالت دیگر، اگر مقدار ازت در محیط تخمیر زیاد باشد (نسبت C/N کمتر از۳۰)، واکنش‌های تخمیری به علت نبود کربن کافی متوقف شده و ازت موجود در محیط به صورت گاز آمونیاک متصاعد می‌شود. بدین ترتیب، با ازدست دادن ازت تولید بیوگاز متوقف می‌شود. بدیهی است که مقدار کربن و ازت بستگی به نوع فضولات دامی و گیاهی دارد (نجفی، ۱۳۹۰). برای اینکه باکتری‌ها بتوانند مواد آلی را جذب کنند، لازم است که مواد بصورت محلول رقیق درآیند.در مخازن بیوگاز بهترین غلظت مواد جهت عملیات تخمیر بی‌هوازی در حدود۷ الی ۱۰ درصد مواد جامد می‌باشد. ازدیاد غلظت مواد موجب چسبندگی و مانع رشد باکتری‌ها و کاهش غلظت موجب لایه لایه شدن محلول می‌شود که مستلزم همزدن مداوم محلول است. معمولا مواد اولیه مورد استفاده در تخمیر بی‌هوازی غلظت بالایی داشته و لازم است تا با نسبت معینی آب رقیق شوند و در رآکتور بیوگاز ریخته شوند (روشنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ نجفی، ۱۳۹۰؛ ال سعید، ۲۰۱۰).

مکانیسم تولید بیوگاز

مکانیسم تولید بیوگاز در فرآیند هضم بیهوازی نسبتاً پیچیده و تحت تأثیر عوامل شیمیایی و بیوشیمیایی متنوعی می‌باشد، این مکانیسم به طور کلی به ۳ مرحله تقسیم می گردد: مرحله اول: هیدرولیز مواد آلی پیچیده و نامحلول و تبدیل این مواد به ترکیبات محلول مرحله دوم: ترکیبات آلی حاصل از مرحله اول به وسیله باکتریهای اسیدساز شکسته شده و اسیدهای آلی تولید می شود. معمولاً هیدروکربن های پنج و شش کربنی در آب حل شده و توسط باکتریهای اسیدساز مصرف گردیده و به ترکیباتی از قبیل هیدروژن، فورمات، استات، پروپیونات و گاز کربنیک تبدیل می‌گردند. مرحله سوم: تمام ترکیبات آلی و اسیدهای تولید شده در مرحله اسیدسازی توسط باکتریهای متان ساز به بیوگاز تبدیل می‌گردند (لاری و اعلمی، ۱۳۹۲).

ساخت مخزن هضم

برای انجام این پروژه سه مخزن استوانه ای عمودی از جنس پلی‌اتیلن که گنجاش هر یک ۴۵ لیتر بود، انتخاب گردید. این مخازن پس از اندازه‌گذاری و برشکاری محل اتصالات و لوله‌ها، به محل انجام پروژه انتقال یافت.). پس از آنکه رآکتور و اجزاء آن طراحی گردید و جایگاه و اندازه هر یک از لوله ها و اتصالات آن مشخص گردید، ساخت دستگاه به صورت مرحله به مرحله شروع شد که شامل مراحل زیر است (شکل ۲).

شکل ۲- تصویر واقعی دستگاه بیوگاز ساخته شده

لوله ورودی مواد به هاضم

لوله ورود مواد از جنس PVC و با قطر ۶ سانتی‌متر با توجه به ابعاد مخزن هضم و سهولت در تخلیه مواد، انتخاب گردید(شکل ۳). یک طرف این لوله به مخزن هضم متصل گردید و طرف دیگر آن آزاد و به سمت بالا قرار گرفت تا به عنوان مسیر ورودی مواد، مورد استفاده قرار بگیرد (رحیمی سرداری، ۱۳۹۳).

شکل۳- لوله ورودی مواد به مخزن هاضم

لوله خروجی کودآبه

در این دستگاه برای خروج مواد از لوله ای واقع در قسمت پایین مخزن هاضم استفاده شد(شکل ۴). این خروجی برای مواقعی به کار می رود که دستگاه تحت بارگذاری غیر پیوسته می‌باشد. این خروجی دارای یک شیر است و در زیر مخزن قرار دارد که کودابه را به دریچه خروجی هدایت می‌کند. لوله خروجی هم شبیه به همه طرح‌های رایج، در طرف مقابل لوله ورودی نصب گردید. لوله خروجی در نهایت به انباره و دریچه خروجی متصل می‌شود. همانطور که در شکل۴ دیده می‌شود، طراحی لوله خروج کودابه، با طرح‌های رایج تا حدودی فرق می‌کند. این نوع قرارگیری باعث می‌شود که لوله خروجی به طور مستقیم با دریچه خروجی رابطه نداشته باشد و اتلاف دما به حداقل برسد (رحیمی سرداری، ۱۳۹۳).

شکل ۴- لوله خروج کودابه از مخزن هضم

قطر لوله‌های ورودی و خروجی به اندازه‌ای است که مواد آلی به راحتی به درون مخزن وارد و از آن خارج شود و در عین حال، طراحی آن به گونه‌ای می‌باشد که دارای کمترین سطح باشد تا از اتلاف بیش از حد دمای مخزن جلوگیری گردد. مخزن توسط پایه‌هائی از سطح زمین فاصله دارد. در زیر مخزن هضم یک شیر خروجی تعبیه شده است و کار آن تخلیه کود بصورت خیلی سریع می‌باشد که هنگام استفاده از دستگاه به صورت بارگیری غیر پیوسته بسیار کارساز می‌باشد.

شیر خروجی گاز

در این تحقیق برای تعبیه شیر خروجی گاز از یک شیر گازی به عنوان خروجی گاز استفاده شد که در انتهای آن یک سه شاخه فلزی قرار گرفت. شاخه عمودی آن برای نصب فشار سنج و شاخه افقی آن برای اتصال به تیوب ذخیره گاز استفاده شد. (شکل ۵).

شکل ۵- سه شاخه فلزی برای خروج گاز و نصب فشار سنج

شیر اندازه‌گیری PH

غلظت یون هیدروژن (pH): پارامتر مهمی است که توسط پی‌اچ‌متر اندازه‌گیری شده و در تولید بیوگاز حائز اهمیت می‌باشد. چون باکتری‌های متان‌زا نسبت به pH محیط بسیار حساس‌اند و تنها در محدوده ۶/۸ تا ۷/۲ فعال هستند، محیط اسیدی باعث توقف عمل تخمیر و محیط بازی باعث کندی عمل تخمیر و تولید گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود.از آنجائیکه که pH در تولید گاز متان بسیار موثر می‌باشد، بنابراین لازم است تا pH مواد درون مخزن به صورت منظم اندازه‌گیری شود تا در صورت لزوم تغییرات لازم در مواد درون مخزن ایجاد گردد و تولید گاز تداوم داشته باشد. در اطراف مخزن هضم یک شیر پلاستیکی به قطر ۲ سانتی متر برای نمونه برداری از دستگاه و اندازه گیری pH مواد داخل مخزن نصب گردید که یک سر آن بیرون مخزن و سر دیگر آن داخل مخزن و زیر سطح مواد آلی قرار دارد (شکل ۶). در این تحقیق هر چند روز یک بار از طریق دریچه نمونه‌گیری مقداری از محتویات درون مخزن خارج گردیده و با دستگاه pH متر تست شد (آل سعید؛ ۲۰۱۰ نجفی، ۱۳۹۰).

شکل ۶.- شیر اندازه گیری PH مواد

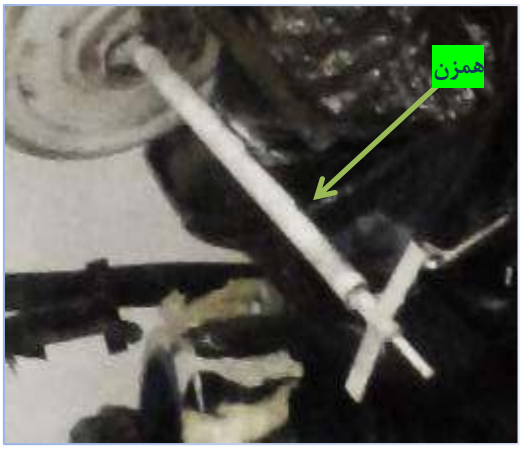
فشار سنج

فشار گاز تولید شده، با استفاده از فشارسنج اندازه گیری شد (شکل ۷)، که معمولاً بین ۱تا ۲ بار بود که برای سهولت در محاسبه داده‌ها، بار به سانتی‌متر تبدیل می‌گشت. برای این منظور یک فشارسنج روی شاخه عمودی سه شاخه که در انتهای لوله خروجی گاز تعبیه شده بود، قرار می‌گرفت. گاز تولید شده در مخزن هضم پس از خروج ابتدا توسط این فشار سنج انداه گیری شده و سپس به داخل تیوب انتقال داده می‌شد (علیدادی و همکاران، ۱۳۹۶).

شکل ۷- فشارسنج

همزن

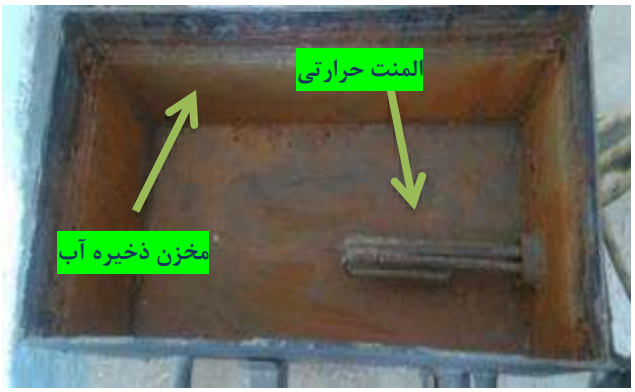
شناخت و بهینه سازی ویژگی های مخزن و همزن داخل آن مانند موقعیت همزن فاصله همزن از کف مخزن، سرعت همزن، قطر همزن، تعداد بافلها، تعداد همزنها ساختارهای چند همزنی و عوامل دیگری به دلیل تاثیری که بر الگوهای جریان سیال و زمان اختلاط فازهای ورودی به مخزن دارند بسیار مهم بوده و برای بهبود عملکرد این مخازن ضروری می باشد (رکنی و اسکندری نصب، ۱۳۹۵). در این تحقیق برای هر سه مخزن از همزن نوع پارویی با جریان شعاعی استفاده شد. در هر سه نوع مخزن، همزن‌ها به صورت الکتریکی و از طریق تایمر دستگاه کنترل می‌شدند. (شکل ۷).



شکل ۸- همزن جریان شعاعی مورد استفاده در مخزن هضم

مخزن آب گرم

با توجه به اینکه در بعضی ماههای سال دمای محیط پایین‌تر از دمای مورد نظر برای تولید بیوگاز است، بنابراین تصمیم بر آن شد که در ساخت دستگاه به منظور تأمین حرارت لازم برای هضم مواد آلی از مخزن آب گرم استفاده شود. مخزن با توجه به مقدار آب مورد نیاز برای گرم کردن مخازن، با ابعاد ۴۰ سانتیمتر (عرض)، ۶۰ سانتیمتر (طول) و ۳۰ سانتیمتر (ارتفاع) ساخته شد با توجه به حجم مخزن و میزان حرارت مورد نیاز به طوریکه بتوان در کمترین زمان ممکن و با صرف حداقل انرژی مصرفی دمای بهینه را تولید کرد، از المنت با توان ۱۴۹ وات استفاده گردید. المنت حرارتی به صورت افقی داخل مخزن آب قرار گرفت دما: سیستم حرارتی راکتور بیوگاز با توجه به اینکه واکنش‌های غیرهوازی در راکتور بیوگاز در دمای ۳۷ درجه سلسیوس در محدوده فعالیت باکتری‌های متانزا صورت می‌گیرد، لذا برای نگهداری راکتور در دمای مذکور از یک سیستم گرم‌کننده الکتریکی استفاده خواهد شد و برای این کار از یک مخزن ذخیره آب و المنت برقی جهت گرم کردن آب مخزن و پمپ جهت گردش آب و لوله pvc جهت انتقال آب استفاده خواهد شد. در این پژوهش قصد بر این است که جهت تأمین حرارت مواد داخل راکتور از تماس غیر مستقیم استفاده شود بطوریکه لوله pvc را در اطراف مخزن هضم پیچانده و عمل گرم‌کردن مخزن هاضم رآکتور انجام خواهد شد. برای اندازه‌گیری دمای راکتور از سنسور حرارتی که درون مخزن هاضم تعبیه و نمایش دما توسط حسگر دما خوانده و ثبت می‌شود. حسگر دما به حرارت‌سنج دیجیتالی متصل می‌شود و حرارت مخزن راکتور را اندازه‌گیری می‌نماید. بعد از گرم شدن آب توسط المنت، آب توسط پمپ آب (نوع سانتریفوژی) به گردش درآمد و از طریق لوله‌های مسی که به دور مخازن پیچیده شده بودند منتقل گردید تا مخزن به دمای مورد نظر برسد (آل سعید، ۲۰۱۰؛ نجفی، ۱۳۹۰). کلیه کلیدها، فیوز و دستگاه ترموستات بر روی تابلوی برق نصب گردید (شکل ۸).



شکل ۹- مخزن آب گرم جهت گرم کردن هاضم

مدار کنترل کننده دما، همزن‌ها و المنت حرارتی

دمای المنت‌ها توسط ترموستات که وظیفه‌اش تثبیت دمای مورد نظر هاضم بود کنترل گردید. به گونه‌ای که هنگام رسیدن دمای مخزن به دمای مشخص، اتصال المنت‌ها بصورت خودکار توسط ترموستات قطع گردید. در نتیجه دمای داخل مخزن در یک محدوده مشخص و ثابت باقی می‌ماند. در این پروژه، درجه حرارت کودابه به صورت روزانه از طریق حسگر حرارتی آن که درون مخزن هضم تعبیه شده است و نمایش دما توسط نمایشگر ترموستات خوانده می‌شد.حسگر ترموستات به حرارت سنج دیجیتالی متصل شده که حرارت کودآبه را اندازه گیری می‌نماید. همچنین این سیستم کنترلی به شکلی طراحی شده که همزن مکانیکی را در یک شبانه روز به طور اتوماتیک به مدت دو ساعت راه اندازی می‌نمود(علیزاده و همکاران، ۱۳۹۳).

شکل ۱۰- مدار کنترل‌کننده المنت، ترموستات و همزن‌ها

ارزیابی هاضم تولید بیوگاز بعد از تکمیل ساخت دستگاه

برای اطمینان از صحت کار دستگاه می‌بایست دستگاه مورد آزمایش قرار می‌گرفت. سه نوع آزمون بر روی دستگاه انجام گرفت: آزمون آب-بندی، آزمون گازبندی و آزمون کارآیی المنت‌ها.

مخزن آب و آهک

برای جداسازی دی‌اکسیدکربن از گاز تولیدی، سوخت تولیدی بیوگاز از یک مخزن کوچک که حاوی مخلوطی از آب و آهک بوده عبور داده شد. و برای جداسازی گاز بد بوی سولفور هیدروژن، از مخزن حاوی براده‌های آهن استفاده گردید. برای این منظور براده آهن را داخل یک مخزن کوچک ریخته و گاز تولیدی از آن عبور داده شد. این کار باعث خالص‌تر شدن متان حاصل از بیوگاز شده و منجر به بالا رفتن سرعت خود اشتعالی سوخت بیوگاز می‌شود (نجفی، ۱۳۹۰). (شکل ۱۱).

شکل ۱۲- مخزن آب و آهک و براده آهن

بررسی و انجام آزمایش ترکیب کود گاوی با باگاس نیشکر در دمای ثابت ۳۷ درجه سلسیوس

همانطور که بیان شد دستگاه بیوگاز بایستی حتی‌الامکان به مواد مورد نیاز قابل هضم نزدیک باشد تا تولید گاز راحت و مقرون به صرفه باشد. بنابراین سعی بر آن شد تا رآکتور مذکور تقریبا نزدیک اسطبل ساخته شود. هر رأس گاو در ایستگاه دامپروری دانشگاه، روزانه حدود ۸ تا ۱۳ کیلوگرم کود تولید می‌کند. این مقدار کود تولیدی برای تغذیه سه هاضم ۴۵ لیتری کافی بود. همچنین در این تحقیق نیز از باگاس نیشکر جهت ترکیب با کود گاوی و به منظور تولید بیوگاز استفاده گردید. که به مقدار نیاز، باگاس خشک با رطوبت خیلی پایین از کشت و صنعت امام خمینی (ره) شهرستان شوشتر تهیه و در هوای آفتابی نگهداری شد تا درصد رطوبت آن تا کاهش یابد (شکل ۱۲). همچنین قبل از ترکیب باگاس با کود گاوی مقداری از آن در آون به مدت چند ساعت با دمای ۱۰۵ درجه نگهداری شد تا درصد مواد جامد و رطوبت آن برای انجام آزمایش تعیین گردد (صفری و عبدی، ۱۳۹۴).

شکل ۱۳- تصویر نمونه باگاس نیشکر برای ترکیب با کود گاوی در تولید بیوگاز

از موادی که می توان بطور گسترده به عنوان بیومس مورد استفاده قرار داد، باگاس نیشکر می‌باشد. این ماده در طول فرآیند آسیاب پس از خرد کردن و عصاره‌گیری از گیاه نیشکر بدست می‌آید که حاوی فیبر، مواد سلولزی، مواد آلی و مقداری رطوبت با درصدهای مختلف می‌باشد (عچرش زاده، ۱۳۸۷).

پروتئین خام	1.5
چربی	0.50
فیبر خام	44
هیدرات کربن	44
کلسیم	0.95
فسفر	0.29
پتاسیم	0.50
انرژی کل	1.98 kg

جدول ۱- ترکیبات موجود در باگاس نیشکر

پس از طراحی، ساخت و ارزیابی اولیه دستگاه به منظورآب بندی، گازبندی و صحت کار المنت‌ها، مخازن به منظور تولید گاز بارگذاری گردیدند. مخازن پلی اتیلنی به دلیل یکپارچگی بدنه دارای گاز بندی بالا و از لحاظ واکنش شیمیائی با مواد درون خود، در حالت خنثی می‌باشند؛ بنابراین با مواد درون خود به راحتی واکنش نمی‌دهند. درون این مخازن تاریک می‌باشد و این باعث بوجود آوردن شرایط بهتری برای تولید میکروارگانیسم‌های متان‌زا می‌شود. هاضم‌ها ابتدا با استفاده از کود گاوی و باگاس نیشکر بارگذاری گردیدند. قبل از اجرای آزمایش، درصد کربن و نیتروژن و در نهایت نسبت کربن به نیتروژن کود گاوی و باگاس نیشکر تعیین شد تا بتوان با استناد به این نسبت ها، برای تیمارهای ترکیبی، نسبت مناسب را محاسبه کرد. از آنجائیکه در این طراحی مواد به صورت درصد کود گاوی و پیوسته در مخزن نگهداری می‌شد، از سیستم همزن جهت همزدن یکنواخت مواد استفاده گردید. بنابراین در تمام ترکیبات و تیمارها، مواد به مدت ۳۰ روز داخل مخازن نگهداری و از همزن ها شبانه‌روز به مدت ۲ ساعت (هر ساعت ده دقیقه) استفاده شد. در این آزمایش ترموستات روی ۳۷ درجه سلسیوس تنظیم گردید. در طول سیکل بارگذاری هر ۵ روز یک بارحجم، فشار و pH گاز درون مخزن اندازه گیری و ثبت می‌گردید. در این آزمایش از یک تیوب لاستیک ترآکتور به عنوان مخزن گاز استفاده گردید.گاز تولیدی که از همان پنج روز اول آزمایش شروع به تولید کرد جهت کاهش فشار آن به مخزن، لازم گردید که هر پنج روز یک بار گاز داخل مخازن تخلیه گردد. از آنجائیکه گاز تولید شده دارای دی‌اکسیدکربن زیادی بود، تا روز هیجدهم قابل سوختن نبود. اما بعد از گذشت این زمان، بیوگاز تولید شده هنگام سوختن شعله کاملا آبی داشت و این نشان از کامل بودن درصد متان آن بود. مراحل انجام تیمارهای آزمایش به شرح زیر می‌باشد: آزمایش بررسی میزان بیوگاز تولیدی از ترکیب کود تازه گاوی و باگاس نیشکر با چهار تیمار و هر تیمار با سه تکرار،

شروع شد. تیمارها به ترتیب باگاس نیشکر به کود گاوی شامل ۲۰:۸۰، ۳۰:۷۰، ۴۰:۶۰ و ۰:۱۰۰ بودند. برای ترکیب اول که شامل ۸۰ درصد کود تازه گاوی و ۲۰ درصد باگاس نیشکر بود، حدود ۱۵ کیلوگرم کود تازه گاوی همراه با باگاس نیشکر فراهم گردید و قبل از اینکه به داخل مخزن هضم ریخته شود با توجه به تحقیقات و تجربیات در ایران و کشورهایی که قبلاً این آزمایشات در آنها صورت گرفته، اولین مسئله‌ای که می‌بایست رعایت می‌شد، مخلوط کردن این کود با میزان دقیقی از آب بود تا جایی که رطوبت کل مواد ترکیب شده ۹۰ درصد برسد. حجم مواد جامد کل هم که شامل ۱۰ درصد بود، در نظر گرفته شد. سپس المنت‌ها روشن شدند و ترموستات روی دمای ۳۷ درجه سلسیوس تنظیم گردید. پس از گذشت ۱۸ ساعت دمای مخزن به دمای مورد نظر یعنی دمای ۳۷ درجه سلسیوس رسید. در این حالت فشار و دمای مخزن ثبت گردید. و یک نمونه از مواد برای گرفتن pH اولیه مواد جداسازی شد. پس از آنکه دما به ۳۷ درجه رسید. با توجه به اینکه گاز تولیدی تا حدود ۱۸ روز اول قابل سوزاندن نبود هر ۵ روز این گاز از مخزن خارج می‌گردید تا در درون مخزن ایجاد فشار نکند. در روز ۱۸ گاز تولیدی ایجاد اشتعال کرد، روز ۳۰ ام پس از شروع آزمایش مخزن تخلیه گردید تا برای بارگذاری مجدد برای تیمارهای بعدی آماده شود. سیکل کامل برای هر تیمار ۳۰ روز بود که روی هم رفته ۱۲۰ روز طول کشید تا تمام تیمارها آزمایش گردند. گاز تولیدی هر ۵ روز یک بار در یک تیوپ تراکتور به قطر ۷۵ سانتی‌متر جمع‌آوری می‌شد (خمیرچی و همکاران، ۱۳۹۱).

شکل ۱۴- تیوب مورد استفاده برای جمع‌آوری و ذخیره بیوگاز

برای اندازه‌گیری گاز داخل تیوپ، از روش جابجایی آب استفاده گردید. گاز داخل تیوپ توسط شیلنگی به استوانه مدرج که به طور وارونه در ظرف آب قرار گرفته بود منتقل شد تا از طریق جابه‌جایی آب درون استوانه، حجم گاز اندازه‌گیری شود (جانتاراسیری، ۲۰۱۱).

شکل ۱۵- ظرف حاوی آب و استوانه مدرج جهت اندازه گیری گاز تولید شده

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر زمان و ترکیب روی میزان حجم، فشار و pH در جدول ۱ نشان داده شده است. این طرح در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملا تصادفی انجام شد. نتایج تجزیه واریانس این طرح در جدول زیر آمده است.

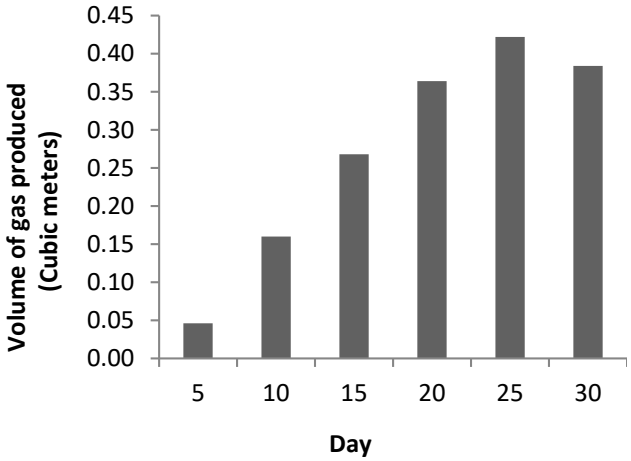
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش

MS				
Pressure	pH	Volume	N-1	CV
1126.53**	0.069 n.s	0.257**	5	Time
113.46 **	0.04 5n.s	0.021**	3	Combination
3.13 n.s	0.102 **	0.0002 n.s	15	t-C
2.47	0.034	0.003	48	Error

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد، * معنی‌داری در سطح ۵ درصد، n.s عدم معنی‌داری

بررسی اثر زمان روی حجم بیوگاز تولید شده از ترکیب کود گاوی و باگاس نیشکر

مطابق جدول ۲ زمان در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی داری بر درصد حجم گاز داشت. این بدین معنی است که با افزایش زمان، مقدار حجم گاز تولید شده در دمای ثابت ۳۷ درجه سلسیوس هم روند افزایشی داشت. بعد از تکمیل دوره بارگذاری، روند تولید گاز به علت کاهش مواد مغذی که در دسترس باکتری‌های متان ساز بود کاهش یافت. بیشترین گاز تولید شده که مقدار آن ۰/۴۲۲ متر مکعب بود، در زمان پنجم (روز بیست و پنجم) و کمترین گاز تولید شده که مقدار آن ۰/۰۴۶ بود، در زمان اول (روز پنجم) به دست آمد.

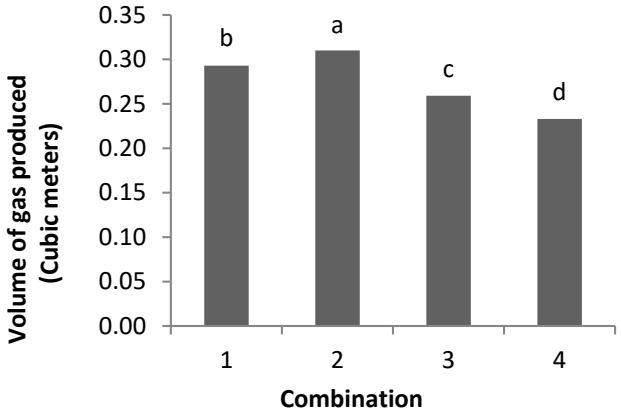


شکل ۱۶- نمودار مقایسه میانگین حجم گاز تولید شده در زمان‌های مختلف

بررسی اثر ترکیب روی حجم بیوگاز تولید شده از ترکیب کود گاوی و باگاس نیشکر

با توجه به نتایج به دست آمده که در شکل ۱۷ نشان داده شده است، درصد ترکیبات در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی داری بر میزان حجم گاز داشت. بیشترین گاز تولید شده که مقدار آن ۰/۳۱۰ متر مکعب بود، در ترکیب دو (۳۰ درصد باگاس نیشکر و ۷۰ درصد کود گاوی) و

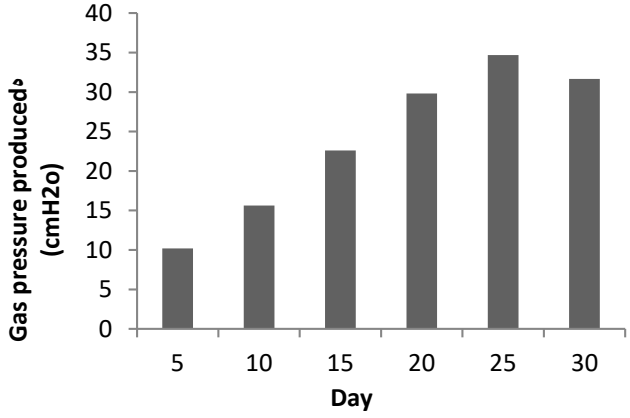
کمترین گاز تولید شده که مقدار آن ۰/۲۳۳ بود، در ترکیب چهارم (۰ درصد باگاس نیشکر و ۱۰۰ درصد کود گاوی) به دست آمد. در حقیقت با افزایش میزان باگاس تا ۳۰ ٪، حجم گاز تولیدی به طور معنی‌داری افزایش یافت.



شکل ۱۷- نمودار مقایسه میانگین‌های حجم بیوگاز تولید شده در ترکیبات مختلف

بررسی اثر زمان روی فشار بیوگاز تولید شده از ترکیب کود گاوی و باگاس نیشکر

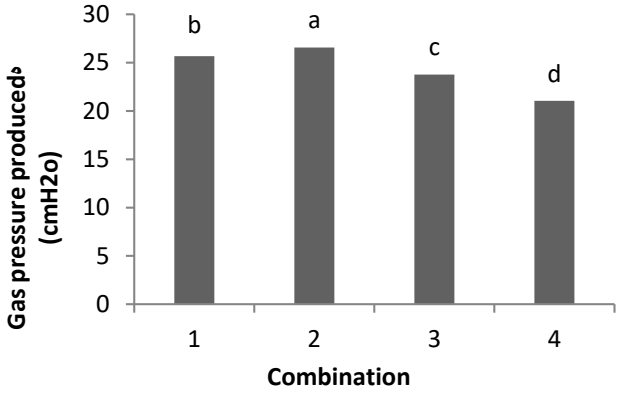
در آزمایش کود دامی و باگاس نیشکر در دما ^{0}C ۳۷ با توجه به اینکه در روز پنجم مقداری گاز تولید شد، بنابراین فشار داخل رآکتور به تدریج زیاد گشت. در این دما کمترین فشار روزانه رآکتور از حدود ۱۰/۲ سانتیمتر آب در روز پنجم آغاز گردید. در طول سیکل آزمایش فشار همواره بصورت نوسانی یک منحنی افزایشی را طی نمود. بالاترین فشار در روزبیست و پنجم، ۳۴/۶۹ سانتی‌متر آب ثبت گردید. در این آزمایش تغییرات فشار با تغییرات حجم رابطه مستقیم داشت. همانطور که در شکل ۱۸ نشان داده شده است فشار درون رآکتور در روزهای اول آزمایش یک روند صعودی داشته است.



شکل ۱۸= نمودار زمان- فشار کود گاوی و باگاس نیشکر در دمای ^{0}C ۳۷

بررسی اثر ترکیب روی فشار بیوگاز تولید شده از ترکیب کود گاوی و باگاس نیشکر

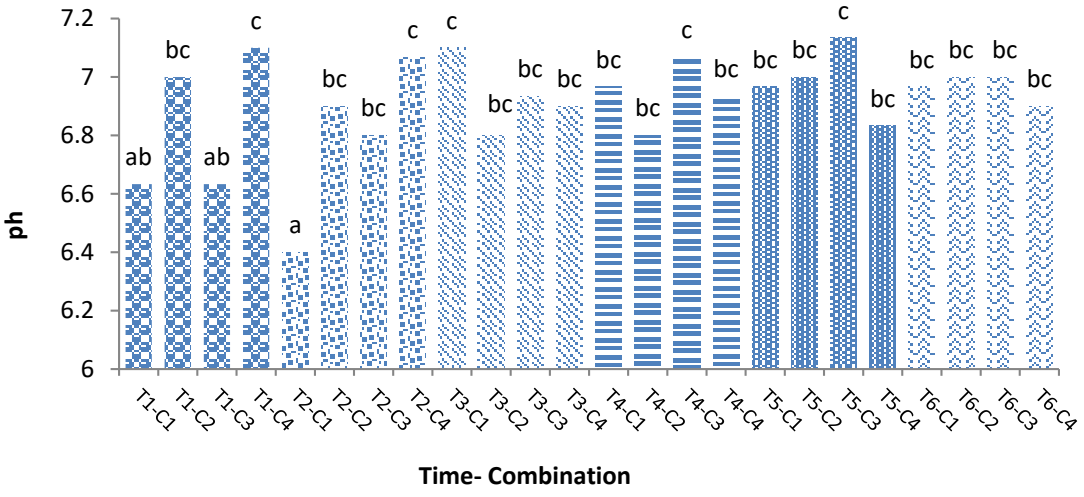
با توجه به نتایج به دست آمده که در شکل ۱۹ نشان داده شده است، درصد ترکیبات در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌داری بر میزان فشار گاز داشت. بیشترین فشار تولید شده که مقدار آن ۲۶/۵۷ سانتیمتر بود، در ترکیب دو (۳۰ درصد باگاس نیشکر و ۷۰ درصد کود گاوی) و کمترین فشار تولید شده که مقدار آن ۲۱/۰۶ بود، در ترکیب چهارم (۰ درصد باگاس نیشکر و ۱۰۰ درصد کود گاوی) به دست آمد.



شکل ۱۹- نمودار ترکیب- فشار کود گاوی و باگاس نیشکر در دمای ۳۷ $^{\circ}C$

بررسی اثر زمان - ترکیب بر روی pH بیوگاز تولید شده از ترکیب کود گاوی و باگاس نیشکر

در جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل زمان و ترکیب روی میزان pH گاز تولید شده تاثیر معنی‌داری داشت. ترکیبات مختلف کود گاوی و باگاس نیشکر در شش زمان مختلف مورد مطالعه در شکل ۲۰ آورده شده است. با توجه به اینکه میزان pH بر تولید بیوگاز تاثیر زیادی دارد و بهترین محدوده آن بین ۶/۵ تا ۷/۲ است، به دلیل تغییرات سریع pH در این محدوده و همچنین کنترل آن در تمام ترکیبات، تاثیر چشمگیر و معنی‌داری روی حجم و فشار بیوگاز نداشت. این بدین معنی است که با کنترل pH در محدوده مذکور شاهد بیشترین فعالیت باکتری‌های متان‌ساز برای تولید گاز بودیم. همانطور که در نمودار نشان داده شده است، بیشترین میزان pH در زمان پنجم (روز بیست و پنجم) و در ترکیب ۴۰:۶۰ (۶۰ درصد کود گاوی و ۴۰ درصد باگاس نیشکر) و کمترین میزان pH در زمان دو (روز دهم) و در ترکیب ۲۰:۸۰ (۸۰ درصد کود گاوی و ۲۰ درصد باگاس نیشکر) به دست آمد.



شکل ۲۰- نمودار اثر زمان- ترکیب بر pH گاز تولید شده از کود گاوی و باگاس نیشکر در دمای ۳۷ $^{\circ}C$

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تجهیزات مناسب رآکتور از جمله سیستم گرمایی و همزن که توسط مدار کنترل کننده، کنترل می‌شوند، نقش موثری در افزایش میزان تولید بیوگاز دارند. همچنین میزان دما و pH به عنوان پارامترهای مهم در تولید بیوگاز، حائز اهمیت می‌باشند. همچنین مقایسهٔ چهار ترکیب مختلف کود گاوی و باگاس نیشکر نشان داد که میزان بیوگاز تولیدی در ترکیب ۳۰:۷۰ برابر با ۰/۳۱۰ متر مکعب، به دست آمد، یعنی برابر با ۲۰,۶۶ لیتر به ازای هر کیلوگرم مواد بود. نتایج این ترکیب نسبت به سایر ترکیبات اختلاف معنی‌داری نشان داد. یکی از دلایل آن می‌تواند میزان نسبت کربن به نیتروژن در محدوده مناسب جهت رشد باکتری‌های متان‌ساز باشد. چنانچه نتایج نشان داد که کمترین بیوگاز تولیدی در ترکیب ۰:۱۰۰ بود و دلیل آن می‌تواند علت عدم وجود باگاس در ترکیب مذکور باشد. در این تحقیق نتایج حاصل شده با نتایج حاصل از تحقیق

دعاگویی و همکاران مقایسه شد. در پژوهش ضایعات با کود گاوی با نسبت های ۲۰:۸۰، ۱۵:۸۵، ۱۰:۹۰ و ۵:۹۵ درصد در هاضم ۴ لیتری از جنس پلی اتیلنی مخلوط گشتند. سپس هر مخلوط را در یک رآکتور ریخته و پس از اضافه نمودن آب در دو دمای ۳۵ و ۴۵ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ روز نگهداری نموده تا درصد متان حاصل از آن تولید گردد. فرآیند تولبد تجمعی بیوگاز در قالب یک طرح کامل فاکتوریل با سه تکرار انجام شد. نتایج آزمایشات نشان داد که بیشترین تولید تجمعی بیوگاز به مقدار ۰,۱۳۵ متر مکعب مربوط به تیمار ۲۰:۸۰ بود. به ازای هر کیلو مواد، ۳۳ لیتر بیوگاز تولید شد (دعاگویی و همکاران، ۱۳۸۹). نتایج تحقیق حاضر با نتایج دعاگویی و غضنفری مقایسه شد. پتانسیل تولید بیوگاز از ضایعات خانگی میوه و ضایعات دامی (گاوی) به دو روش غیر پیوسته و نیمه پیوسته مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش ها در ۵ رآکتور مختلف ، از نظر حجم و ترکیبات مواد بکار رفته و همچنین تاثیر تازه و کهنه بودن مواد آلی، و با تغییر pH محیط در دو رآکتور، در ۵ مرحلهٔ مختلف انجام شد به

طوریکه بیشترین میزان تولید بیوگاز در روش نیمه پیوسته، در ترکیب ضایعات کهنه میوه و ضایعات دامی، بعد از افزایش $p\mathcal{H}$ محیط و برابر۲۷۷۵

میلی لیتر حاصل شده است. ماکزیمم بیوگاز تولیدی در روش غیر پیوسته نیز متعلق به ترکیب ضایعات کهنهٔ میوه و دامی، برابر ۲۸۳۰ میلی لیتر در روز دوم آزمایش اتفاق افتاد (دعاگویی و غضنفری، ۱۳۸۷). نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق فقهی پور و همکاران مقایسه شد. در پژوهش مشابه، فضولات گاوی با فضولات مرغی در یک رآکتور با حجم ۹۲۵ لیتر به نسبت های ۱/۴، ۲/۴، ۳/۴ در دمای ۳۰ تا ۴۰ درجه با ماندگاری ۱۲ روز مخلوط گشتند. بیشترین گاز تولیدی در تیمار ۳/۴ به میزان ۹۴۸ لیتر در هر روز بود که برابر با ۶۸ لیتر گاز به ازای هر کیلوگرم فضولات بود.
نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که محتویات کود گاوی به تنهایی، ترکیب مناسبی برای تولید بیوگاز نیست ولی با توجه به نتایج، بررسی‌های سایر محققان و متناقض بودن نتایج، در این خصوص باید تحقیقات بیشتری انجام شود. ترکیب کود گاوی و باگاس نیشکر در رآکتورهای تولید بیوگاز نشان می‌دهد که متان تولیدی در ترکیب این دو به منظور بالا بردن میزان تولید متان قابل توصیه است.

پیشنهادات

واکنش‌های غیرهوازی در دستگاه بیوگاز در دمای معادل ۳۷ درجه سلسیوس در محدوده فعالیت باکتری‌های مزوفیلیک صورت می‌گیرد. لذا برای رآکتور در دمای مذکور یک سیستم گرم کننده الکتریکی طراحی و ساخته شد که به طور غیر مستقیم محتویات رآکتور را گرم می‌کرد. البته در طرح تکمیلی برای کاهش هزینه تولید بیوگاز می‌توان از انرژی خورشیدی استفاده کرد. میزان تولید بیوگاز در دمای بالاتر از ۳۷ درجه سلسیوس بیشتر است، ولی نگهداری سیستم در گرمای بالا موجب هزینه زیاد می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، بقایای نیشکر (باگاس) به منظور تولید بیوگاز، از پتانسیل بالایی برخوردار است. اگر در مقیاس‌های صنعتی و نیمه صنعتی از این محصول استفاده شود، علاوه بر بالا رفتن میزان و کیفیت تولید گاز، می‌تواند از نظر صرفه اقتصادی بررسی شود. از طرفی ترکیب این محصول با کود گاوی دارای پتانسیل مناسبی برای تولید کودهای زیستی است. لذا توصیه می‌شود این دستگاه از نظر اقتصادی و تولید کود زیستی به لحاظ کیفیت، مورد مقایسه قرار گیرد.

منابع

۱. جعفری، امید. ۱۳۹۴. تولید بیوهیدروژن و بیوگاز از باگاس به کمک فتوکاتالیست نانودیاکسیدتیتانیوم. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. حاجی آقا علیزاده، حسین.، راد مرد، سیدعباس. و رحیمی سرداری، فیض اله. ۱۳۹۳. تاثیر دمای راکتور در میزان تولید بیوگاز از کود بلدرچین. دانشگاه بوعلی همدان. سال انتشار: ۱۳۹۲.
۳. دعاگویی، ع. و غضنفری، احمد. ۱۳۹۰. بررسی میزان تولید بیوگاز از ضایعات خانگی میوه در تلفیق با کود دامی به دو روش غیر پیوسته و نیمه پیوسته. انجمن مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران, دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۴۲-۹۵ :(۹۲) ۱.
۴. رحیمی سرداری، فیض اله. ۱۳۹۳. شرح مراحل ساخت یک نمونه دستگاه تولید بیوگاز و آزمایش آن با کود حیوانی. کارشناس ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
۵. رکنی, رضوان و محمود اسکندری نسب، ۱۳۹۵، مروری بر مخازن همزن دار و مقایسه برخی پارامترهای عملیاتی موثر بر میزان اختلاط و الگوی جریان شبیه سازی شده به روش CFD در آنها، *سومین کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی*، تهران.
۶. روشنی، آزاده.، شایگان، جلال. و بابایی، انیس. ۱۳۹۱. هضم بی‌هوازی و تولید گاز متان از پسماندهای مرغداری. محیط شناسی. شماره. ۸۸-۸۳ :(۳۸) ۶۲.

۷. سنایی مقدم، اکبر.، آق خانی، محمد حسین.، عاقل، حسن. و عباسپورفرد، محمد حسین، ۱۳۹۳، تولید بیومتان از هضم بی هوازی مشترک ضایعات سیب زمینی و کود دامی توسط سیستم هاضم بیهوازی تک‌مرحله، دومین کنفرانس بین المللی سالانه انرژی پاک، کرمان، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.
۸. شفیعی بافتی، فرح. و بهروان، حمیدرضا. ۱۳۹۴. اثرات زیست محیطی تولید و فرآوری نیشکر. مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان.
۹. صفری، محمود. و عبدی، رضا. ۱۳۹۴. مقایسه تولید بیوگاز از بقایای کلزا وگندم در ترکیب با کود دامی. دانشگاه فردوسی مشهد. نشریه ماشین‌های کشاورزی. ۴۸۷-۴۷۶ :(۲) ۶.
۱۰. علیدادی، حسین.، اعتمادی مشهدی، سمیه.، نجف پور، علی‌اصغر.، محب راد، بتول. و دهقان، علی‌اکبر. ۱۳۹۶. مطالعه فرآیند تولید بیوگاز با استفاده از مخلوط شیرابه زباله شهری و فضولات حیوانی. دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، ایران. سال انتشار: ۱۳۹۶.
۱۱. عمرانی، قاسمعلی. ۱۳۷۵. مبانی تولید بیوگاز از فضولات شهری و روستایی. انتشارات دانشگاه تهران. صفحه. ۱۱۸-۹۳.
۱۲. قائمی، فرزانه. و صادقی، حسین. ۱۳۹۲. پتانسیل تولید بیوگاز از فضولات دامی در ایران. چهارمین همایش بیوانرژی ایران.
۱۳. کلوری، علیرضا. ۱۳۹۱. بررسی مقادیر ترکیبات مختلف فضولات گاوی و مرغی به همراه کلش برنج بر میزان تولید بیوگاز. سومین همایش بیوانرژی ایران (بیوماس و بیوگاز). سال انتشار: ۱۳۹۱.
۱۴. لاری، فرشاد. و اعلمی، حبیب اله. ۱۳۹۲. ارائه روشهای استفاده از فناوری بیوگاز به منظور تولید انرژی الکتریکی و حرارتی در کشور ایران. دانشگاه جامع امام حسین. سال انتشار: ۱۳۹۲.
۱۵. لودویک، ساسه. " تأسیسات واحدهای بیوگاز" ترجمه دکتر قاسم نجف زاده، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۵.
۱۶. نجفی، بهمن. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر استفاده ازبیودیزل و بیوگاز به جای گازوییل و گازطبیعی در موتور دیزل دوگانه سوز. نشریه علمی پژوهشی سوخت و احتراق. ۸۶-۷۳ :(۴)۱.
17. Al Said, Hamid M. 2010. Design and building of biogas digester for organic materials gained from solid waste. Master of Science thesis. An-najah national university, Nablus-Palestine. 131 pages.
18. Amjid, Syed, Bilal, Muhammad. And Hossain, Atlaf. 2011. Biogas, renewable energy resource for Pakistan. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 15(6): 2833-2837.
19. 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.
20. Georgia, A., Stamatelatou, 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.
21. Hiraoka, M. 1985 Highly efficient anaerobic digestion with thetmal preter atment. Mater sci. Technol (United Kingdom). V. 17(4-5): 529-53.
22. Hobson, Peter N and et.al, (1993). Anareobic Digestion Modern Theory and Practice.Halsted Press, John Wiley&Sons, Inc., New York, NY.
23. Juntarasiri, P., Nijsunkij, S., Buatick T., Jamkrajang, E., Wacharawichanant, S., 2011. Enhancing Biogas Production from Padauk Angsana Leave and Wastewater Feedstock through Alkaline and Enzyme Pretreatment, Energy Procedia, Vol. 9 207 – 215.
24. Laurinovica, L., J. J, E. S, and E. D. 2013. Biochemical methane potential of biologically and chemically pretreated sawdust and straw engineering for rural development Jelgava 5: 23-24.
25. Onurbas, Ayten and Turker, Umut. 2012. Ankara Üniversity, Agriculture Faculty. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey.
26. Saev, M., Koumanova1, 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.