

بررسی تأثیر دما و همزن روی شاخص‌های انرژی تولید بیوگاز از فضولات دامی

هادی افاضلی^۱، علی جعفری^{۲*}، شاهین رفیعی^۳، محسن نصرتی^۴، فاطمه الماسی^۵ و احسان فقهی‌پور^۶

چکیده

امروزه یکی از مهم‌ترین بحث‌های کاربردی و مدیریتی، بحث میزان مصرف انرژی در فعالیتهای مختلف است. این مقاله به بررسی تأثیر دما و همزن روی شاخص‌های انرژی حاصل از تولید بیوگاز از فضولات گاوی پرداخته است. در این پژوهش از یک هاضم بی‌هوازی در مقیاس صنعتی به حجم ۹۲۵ لیتر استفاده شد. آزمایش‌ها در ۸ تیمار مختلف شامل دمای (۲۰ الی ۲۵°C)، دمای (۲۶ الی ۳۰°C)، دمای (۳۱ الی ۳۵°C) و دمای (۳۶ الی ۴۰°C)، همراه و بدون استفاده از همزن، در قالب طرح فاکتوریل بر مبنای بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. بیشترین مقدار بیوگاز تولیدی مربوط به تیمار با دمای (۳۶ الی ۴۰°C) همراه با همزن و کمترین مقدار مربوط به تیمار با دمای (۲۰ الی ۲۵°C) بدون همزن، که به ترتیب برابر با ۶۱ و ۸/۷ لیتر به ازای هر کیلوگرم فضولات تازه بود. تیماری که دارای بیشترین بیوگاز تولیدی بود به دلیل میزان انرژی مصرفی بالای گرمکن، از نظر تولید انرژی به صرفه نشد و میزان نسبت انرژی آن برابر با ۰/۸ به دست آمد. بهترین میزان نسبت انرژی در تیمار با دمای (۳۱ الی ۳۵°C) که دارای همزن و کمترین میزان نسبت انرژی در تیمار با دمای (۲۰ الی ۲۵°C) بدون همزن به ترتیب معادل با ۱/۱۳ و ۰/۵۸ بود.

واژه‌های کلیدی: بیوگاز، شاخص‌های انرژی، فضولات دامی، هاضم بی‌هوازی.

ارجاع: افاضلی ه. جعفری ع. رفیعی ش. نصرتی م. الماسی ف. و فقهی‌پور ا. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر دما و همزن روی شاخص‌های انرژی تولید بیوگاز از فضولات دامی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۳(۳): ۱۹-۲۶.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

۲- استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

۳- استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

۴- استادیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس.

۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

۶- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس.

* نویسنده مسئول: jafarya@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۵

مقدمه

ایران سرزمین اعجاز انرژی‌ها است، از یک سو دارای منابع گسترده سوخت‌های فسیلی و تجدیدناپذیر مانند، نفت و گاز است، از سوی دیگر دارای پتانسیل زیادی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، زمین گرمایی، باد، هیدروژن و زیست‌توده است. استفاده از زیست‌توده به عنوان یک منبع انرژی نه فقط به دلیل‌های اقتصادی بلکه به دلیل توسعه پایدار و زیست‌محیطی جذاب بوده و از طرفی آن را عامل تسریع در رسیدن به توسعه پایدار می‌دانند. سامانه‌هایی که زیست‌توده را به انرژی قابل مصرف تبدیل می‌کنند، می‌توانند در ظرفیت‌های کوچک به صورت مائول به کار روند. بقایای محصولات کشاورزی، جنگل‌داری و فضولات دامی از ذخیره‌های اصلی زیست‌توده هستند، که فرصت‌های اساسی را برای توسعه اقتصادی منطقه‌های روستایی و دور افتاده فراهم می‌کنند و بعد از انرژی خورشیدی بالاترین پتانسیل انرژی را دارند (عبدلی و پازکی، ۱۳۹۱). برآوردهای انجام شده نشان می‌دهند که پتانسیل تقریبی تولید متان به وسیله فناوری بی‌هوازی در ایران برای سال ۱۳۷۵ حدود ۹۳۰۰ میلیون مترمکعب متان در سال بوده که ۱۰۰۰ میلیون مترمکعب آن از زباله‌ها است (قارداشی و عدل، ۱۳۸۰) و بخش زیادی از این رقم، مربوط به فضولات دامی و گیاهی حاصل از فعالیت‌های دامپروری و کشاورزی است. در سال ۱۳۷۹ در مرغداری‌های پرورش دهنده مرغ گوشتی و مادر در کشور ۸۵۲۸۱۴ تن کود تولید شده است (صداقت حسینی و همکاران، ۱۳۸۷). در حالیکه استفاده مستقیم از آن‌ها در زمین‌های زراعی و باغی کشور ممکن است سبب انتقال برخی از بیماری‌ها در سطح کشور شوند و یا دپوی کردن آن‌ها در محیط، برای پوسیدن، سبب ایجاد و انتشار مقداری متان و دی‌اکسیدکربن، در اتمسفر شود که این موضوع می‌تواند سبب تخریب لایه ازن شود. در صورتی که می‌توان با استفاده از فناوری بی‌هوازی علاوه بر جلوگیری از خطرات ذکر شده، در حدود ۵۴ میلیون مترمکعب بیوگاز، به دست آورد و به عنوان منبع انرژی استفاده کرد. طبق بررسی‌های انجام شده، با پتانسیل تولید انرژی به صورت بیوگاز از فضولات دامی کشور، معادل ۲۵۵۰۰ بشکه نفت خام را در سال در حال حاضر می‌توان

صرفه‌جویی کرد (مرندی، ۱۳۷۸). دانش بررسی مصرف انرژی در عملیات تولیدی، روش مفیدی برای تعیین منطقه‌های انرژی‌بر است که با تجزیه و تحلیل میزان انرژی مصرفی در عملیات تولید مشخص می‌شوند. تجزیه و تحلیل انرژی به یک واحد تولیدی این امکان را می‌دهد که مراحل عملیاتی موجود آن واحد با روش‌های جدید تولید مقایسه شود و یا حتی خط‌های تولید اصلاح شوند (الماسی، ۱۳۹۱). پژوهش‌های زیادی در زمینه میزان انرژی مصرفی و تولیدی بیوگاز در شرایط مختلف، انجام شده است، که به عنوان نمونه می‌توان به (برگلاند و بورجسون، ۲۰۰۶) که بازده انرژی تولید بیوگاز، از مواد خام مختلف، (پرادا و همکاران، ۲۰۱۲) که بازده انرژی بیوگاز حاصل از کف صنعتی و (بوهن و همکاران، ۲۰۰۷) که بازده انرژی بیوگاز برای یک هاضم در مقیاس مزرعه‌ای، در شرایط دمایی مختلف را بررسی کردند، اشاره کرد. در این مطالعه ما به بررسی میزان تولید بیوگاز و میزان بازده انرژی حاصل از بیوگاز تولیدی در شرایط مختلف می‌پردازیم و هدف به دست آوردن بهترین شرایط برای تولید بیوگاز از نظر بازده انرژی است.

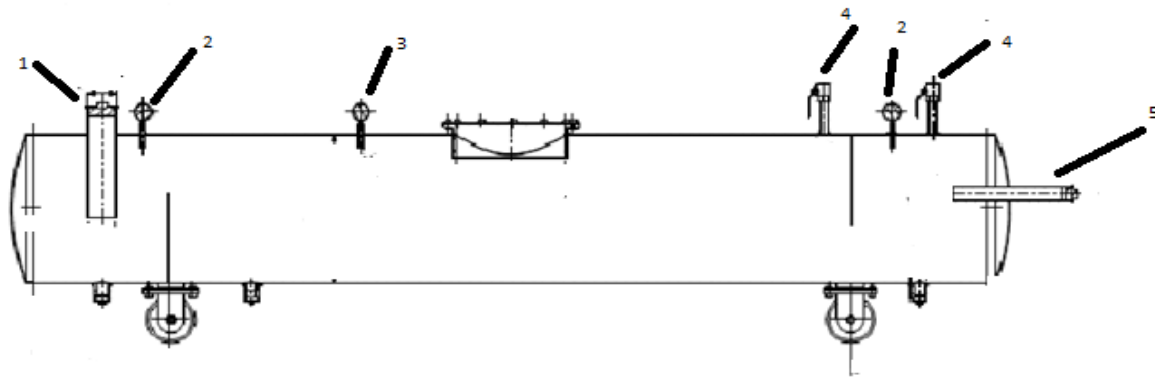
مواد و روش‌ها

آزمایش‌های به عمل آمده در این پژوهش در دو بخش آزمایشگاهی و میدانی است.

الف- آزمون‌های آزمایشگاهی

هاضم

در این بخش از یک هاضم در مقیاس صنعتی استفاده شد. هاضم استفاده شده در این طرح، یک هاضم پلاگ (لوله‌ای) بفل‌دار به حجم ۹۲۵ لیتر به قطر ۵۸ سانتی‌متر و طول ۳/۵ متر بود، گرمکنی با توان ۲ kw برای تنظیم دمای دستگاه نصب شد. برای جبران کمبود تماس لجن با مایع از پمپ برگشت‌دهنده مقطعی استفاده شد. نحوه انتخاب پمپ به گونه‌ای بود که حداقل آشفستگی را در سیستم ایجاد کند. بدین منظور از پمپ با توان ۵۵۰w و پره باز با دور ۱۵۰۰rpm که برای گردش مایعات با ویسکوزیته بالا طراحی شده بود، استفاده شد. مشخصات بیوراکتور استفاده شده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیک دستگاه (۱- دریچه ورود مواد، ۲- ترمومتر، ۳- مانومتر، ۴- خروجی گاز، ۵- خروجی دستگاه)

آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. هدف از انجام آزمایش‌ها تولید بیوگاز در شرایط مختلف و مقایسه انرژی مصرفی و عملکرد بود. چهار سطح دما و دو سطح همزن به عنوان تیمارهای طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۱۲ تکرار در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها به شرح زیر بودند:

- تولید بیوگاز از فضولات گاوی با دستگاه در فاصله دمایی ۲۰ الی ۲۵ درجه سلسیوس بدون استفاده از همزن و با استفاده از همزن.
- تولید بیوگاز از فضولات گاوی با دستگاه در فاصله دمایی ۲۶ الی ۳۰ درجه سلسیوس بدون استفاده از همزن و با استفاده از همزن.
- تولید بیوگاز از فضولات گاوی با دستگاه در فاصله دمایی ۳۱ الی ۳۵ درجه سلسیوس بدون استفاده از همزن و با استفاده از همزن.
- تولید بیوگاز از فضولات گاوی با دستگاه در فاصله دمایی ۳۶ الی ۴۰ درجه سلسیوس بدون استفاده از همزن و با استفاده از همزن.

شرایط آزمایش‌ها

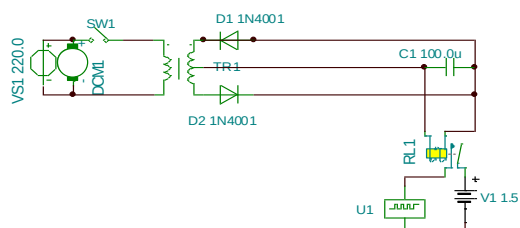
در ابتدای هر بارگذاری میزان کود لازم از طریق یک واحد دامپروری به فاصله ۵ کیلومتر با دستگاه تهیه می‌شد که بدین منظور از ماشینی با مصرف سوخت (0.9 L km^{-1}) استفاده شد. روزانه مقدار ۵۰ لیتر مخلوط آب و فضولات گاوی با یک فرد بارگذاری می‌شد. زمان ماند ۱۲ روز بود. چون هدف ما رسیدن دستگاه به یک پایداری در تولید بیوگاز بود، داده‌های پرت در تولید بیوگاز حذف شد و در نهایت به ۱۲ روز تکرار رسیدیم. بارگذاری به گونه‌ای انجام

شد که میزان آب حدود ۳ برابر فضولات گاوی بود. از ۵۰ لیتر ۳۵ لیتر مخلوط به صورت تازه با نسبت اختلاط ۱ به ۳ با آب و ۱۵ لیتر از خروجی دستگاه بدون هیچ گونه تغییر، به ورودی برگردانده می‌شد و مقدار ۳۵ لیتر از خروجی دستگاه خارج می‌شد. دلیل برگرداندن دوباره مواد از خروجی به ورودی برای بالا بردن افزایش عملکرد تولید بیوگاز (باودیکا و همکاران، ۲۰۰۴) و صرفه‌جویی در میزان کود مصرفی روزانه بود. روزانه مقدار بیوگاز تولیدی با استفاده از کنتور نصب شده در خروجی گاز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری جامدات کل (TS)، حجم خاصی از نمونه برداشته، سپس داخل یک بوتله چینی خالی و خشک توزین شده ریخته شد. سپس بوتله حاوی نمونه داخل کوره با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفت تا نمونه به طور کامل خشک شود. بوتله حاوی رسوب خشک شده وزن شده و از طریق فرمول زیر جامدات کل بر حسب mg L^{-1} محاسبه شد (الماسی، ۱۳۹۱):

$$TS = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (1)$$

که در آن، TS غلظت جامدات کل، mg L^{-1} ، W_1 وزن بوتله چینی خشک (g)، W_2 وزن بوتله و رسوب خشک شده (g) و V حجم نمونه برداشته شده (mL) است.

روزانه مقدار ۸/۷۵ لیتر فضولات گاوی با TS ۰/۷۶٪ برای بارگذاری آماده می‌شد. با توجه به اینکه چگالی کود گاوی برابر با $1050/48 \text{ kg m}^{-3}$ بود. طبق رابطه‌های زیر (سفیدپری و همکاران، ۲۰۱۲) مقدار آب لازم برای مخلوط شدن با ۸/۷۵ لیتر فضولات دامی برای دستیابی به TS ۰/۲۰ به دست آمد. در آزمایش‌هایی که از همزن استفاده می‌شد، پمپ روزانه به مدت ۱ دقیقه عمل اختلاط را انجام می‌داد. با توجه به اینکه مقدار TS خروجی برابر با



شکل ۲- مدار نشان‌دهنده تعداد ساعت روشن بودن گرمکن در یک شبانه روز

ب- بخش میدانی

جریان انرژی در دستگاه تولید بیوگاز

نهاده‌های مورد استفاده در تولید بیوگاز در دستگاه موردنظر شامل نیروی انسانی، سوخت، الکتریسیته و خوراک است. برای ستانده در سامانه مورد مطالعه بیوگاز تولیدی و کود درنظر گرفته شد.

برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌ها و ستانده‌ها از ضریب‌های انرژی متناظر با هر یک که در مطالعات پیشین نیز مورد استفاده شده‌اند، بهره گرفته شد (پیشگر کمله و همکاران، ۲۰۱۲ و سفیدپری و همکاران، ۲۰۱۳). برای محاسبه انرژی ورودی و خروجی معادل هر یک از نهاده‌ها و ستانده‌ها، میزان مصرف هر یک از آن‌ها در ضریب انرژی مخصوص آن نهاده یا ستانده ضرب شد (سفیدپری، ۱۳۹۱).

جدول ۱- محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید بیوگاز

عنوان	واحد	محتوای انرژی (MJ/Unit)	مرجع
نهاده‌ها			
۱. نیروی انسانی	h	۱/۹۶	(کیتانی، ۱۹۹۹)
۲. کود گاوی	kg	۰/۳۰	(سینق و میتال، ۱۹۹۲)
۳. سوخت‌های فسیلی			
بنزین	L	۴۶/۳	(کیتانی، ۱۹۹۹)
۴. الکتریسیته	kWh	۱۱/۹۳	(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)
ستانده‌ها			
۱. بیوگاز	m ³	۲۲	(بانکس، ۲۰۰۹)
۲. کود گاوی	kg	۰/۳۰	(سینق و میتال، ۱۹۹۲)

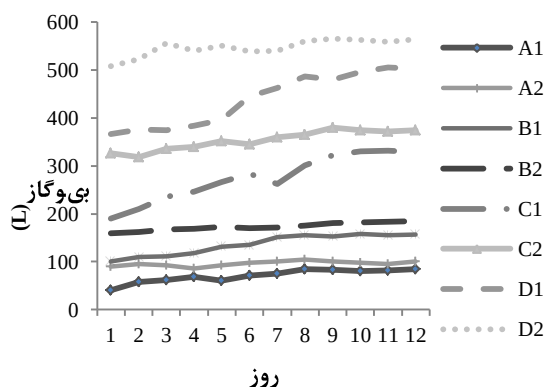
شاخص‌های انرژی

در این قسمت از پژوهش شاخص‌های انرژی در سامانه‌ی تولیدی موردنظر، مطالعه شد که یکی از مهم‌ترین اقدامات در فرایند تحلیل انرژی محسوب می‌شود. در این راستا از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود. بعضی از این شاخص‌ها که امکان شناخت جامع از وضعیت انرژی در

کشاورزی را آماده می‌کنند، شامل نسبت انرژی^۱، بهره‌وری انرژی^۲، انرژی ویژه^۳ و افزوده خالص انرژی^۴ است (الماسی و همکاران، ۱۳۸۷).

1- Energy Ration (ER)
1- Energy Productivity (EP)
2- Specific Energy (SE)
3- Net Energy Gain (NEG)

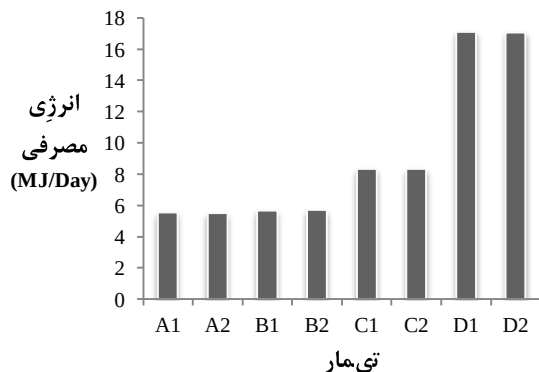
می‌رسد. کمترین انرژی مصرفی مربوط به تیمار (A₁) دمای ۲۰ الی ۲۵ درجه سلسیوس بدون استفاده از همزن بود. اما به دلیل عملکرد پایین بیوگاز تولیدی در این آزمایش، این تیمار نیز از لحاظ تولید انرژی با صرفه نبود، که این موضوع دلیلی بود که دماهای پایین‌تر بررسی نشدند.



شکل ۳- مقایسه عملکرد تولید بیوگاز در تیمارهای مختلف



شکل ۴- شعله گرفته شده از دستگاه



شکل ۵- مقایسه مصرف انرژی در تیمارهای مختلف

$$(۶) \quad \text{نسبت انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول بر واحد)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر واحد)}}$$

$$(۷) \quad \text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد (لیتر)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول)}}$$

$$(۸) \quad \text{انرژی ویژه} = \frac{\text{انرژی ورودی (واحد بر مگاژول)}}{\text{عملکرد (لیتر)}}$$

$$(۹) \quad \text{انرژی ورودی} - \text{انرژی خروجی} = \text{افزوده خالص انرژی}$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌ها با نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شد. تیمارهای (A₁, A₂) به ترتیب مربوط به دمای (۲۰ الی ۲۵°C) بدون استفاده از همزن و با استفاده از همزن هستند. تیمارهای (B₁, B₂), (C₁, C₂) و (D₁, D₂) نیز به ترتیب مربوط به دمای (۲۶ الی ۳۰°C), (۳۱ الی ۳۵°C) و (۳۶ الی ۴۰°C) بدون استفاده و همراه با همزن هستند.

نتایج و بحث

مقایسه عملکرد

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است اندازه‌گیری عملکرد تولید بیوگاز نشان داد که در بین تیمارها، بیشترین عملکرد مربوط تیمار D₂ (دمای ۳۶ الی ۴۰ درجه سلسیوس همراه با همزن)، وقتی که دستگاه به یک پایداری مناسب برای تولید بیوگاز می‌رسد برابر با ۵۶۰ لیتر در روز بود و کمترین عملکرد تولید بیوگاز مربوط به تیمار A₁ (دمای ۲۰ الی ۲۵ بدون استفاده از همزن)، ۸۰ لیتر در روز بود. از گاز خروجی از دستگاه شعله گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، رنگ آبی شعله نشان از درصد بالای متان موجود در بیوگاز است.

مقایسه مصرف انرژی

همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است در تیمار (D₂) دمای ۳۶ الی ۴۰ درجه سلسیوس همراه با همزن با وجود اینکه عملکرد تولید بیوگاز بیشترین مقدار را داشت ولی به دلیل اینکه میانگین انرژی مصرفی بالایی داشت، از نظر تولید انرژی با صرفه نبود. که این موضوع یکی از دلایل بود که دماهای بالاتر از ۴۰ درجه سلسیوس بررسی قرار نشدند. دلیل دیگر بررسی نشدن دماهای بالاتر این بود که کشور ما دارای شرایط آب و هوایی هست که در بیشتر منطقه‌ها، به ندرت دما به بیش از ۴۰ درجه سلسیوس

مقایسه میزان شاخص‌های انرژی

با محاسبه میزان انرژی نهاده و به دست آوردن انرژی ستانده، میزان نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده خالص انرژی محاسبه شد. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، نسبت انرژی در تیمار با دمای ۳۱ الی ۳۵ همراه همزن، بیشترین مقدار (۱/۱۳) را دارد، در سایر تیمارها نسبت انرژی کمتر از ۱ بود. در سوئد توازن انرژی از نظر چرخه عمر برای سامانه‌های بیوگاز براساس ۸ ماده خام مختلف تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که انرژی خالص خروجی از سامانه بیوگاز براساس مواد خامی که محتوی آب زیاد و عملکرد پایین بیوگاز (به‌عنوان مثال کود) به نسبت کم است همچنین تفاوت در حمل و نقل مورد نیاز مواد خام می‌تواند انرژی ورودی در سامانه‌های بیوگاز را به میزان زیادی تغییر دهد (برگلاند و بورجسون، ۲۰۰۶). توازن انرژی برای بیوگاز و سوخت زیستی جامد از کف صنعتی در منطقه‌ای از سوئد بررسی شد. این مطالعه در چهار بخش مختلف انجام گرفت که بخش احتراق دارای بالاترین بازده خالص انرژی و نسبت انرژی خروجی به ورودی بود. بخش تولید بیوگاز از نظر انرژی ورودی و بازده ضعیف بود اما محصولات با کیفیت بهتر مانند برق و سوخت خودرو تولید می‌کرد (پرادا و همکاران، ۲۰۱۲). در آلمان بازده انرژی از سامانه‌های بیوگاز مختلف شامل

خوراک‌دهی تکی و مشترک مواد خام بررسی شد. انرژی ورودی بسیار تحت تأثیر مواد اولیه بود. به‌عنوان مثال باقیمانده‌های کشاورزی در بیشتر موارد نیاز به پیش‌تصفیه نداشتند، بنابراین انرژی ورودی دستگاه کمتر می‌شد. توازن انرژی وابسته به عملکرد بیوگاز، بازده استفاده و ارزش انرژی سوخت جایگزین سوخت فسیلی در نظر گرفته شد. برای مثال نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در حالیکه ارتقا بیوگاز به متان برای تزریق به شبکه گازی، انرژی ورودی را به طور بالقوه تا ۱۰۰ درصد افزایش داده ولی بازده انرژی از سامانه بیوگاز تا ۶۵ درصد بهبود می‌یابد. توازن انرژی برای حالت‌هایی که مسافت‌های حمل و نقل مواد خام بیش از ۲۲ کیلومتر برای کود گاوی و بیش از ۴۲۵ کیلومتر برای ضایعات جامد شهری بود، منفی شد (پوسچل و همکاران، ۲۰۱۰). همان‌طور که در بالا اشاره شد حمل و نقل مواد اولیه تأثیر قابل توجهی در میزان نسبت انرژی دارد. در این پژوهش اگر دستگاه در محلی مستقر می‌شد که دیگر نیاز به حمل و نقل کود برای مصرف روزانه دستگاه نبود، نسبت انرژی در چند تیمار دیگر بزرگ‌تر از ۱ می‌شد چون انرژی سوخت از میزان انرژی مصرفی حذف می‌شد.

جدول ۲- شاخص‌های انرژی

تیمار	انرژی نهاده (MJ L ⁻¹)	انرژی ستانده (MJ Day ⁻¹)	نسبت انرژی	بهره‌وری انرژی (L MJ ⁻¹)	انرژی ویژه (MJ Day ⁻¹)	افزوده خالص انرژی
A ₁	۵/۵۱	۳/۲۳	۰/۵۸	۱۲/۷۳	۰/۰۸	-۲/۳۱
A ₂	۵/۵۹	۳/۷۹	۰/۶۸	۱۷/۴۵	۰/۰۶	-۱/۷۲
B ₁	۵/۶۹	۴/۶۸	۰/۸۲	۲۳/۹۷	۰/۰۴	-۱/۰۱
B ₂	۵/۷۱	۵/۴۹	۰/۹۶	۳۰/۳۸	۰/۰۳	-۰/۲۱
C ₁	۸/۳۳	۷/۷۴	۰/۹۲	۳۳/۰۷	۰/۰۳	-۰/۵۸
C ₂	۹/۷۷	۹/۴۵	۱/۱۳	۴۲/۳۸	۰/۰۲	۱/۱۱
D ₁	۱۷/۱۱	۱۱/۳۴	۰/۶۶	۲۵/۶۷	۰/۰۴	-۵/۷۶
D ₂	۱۷/۰۶	۱۳/۷۱	۰/۸	۳۲/۰۵	۰/۰۳	-۳/۳۴

تجزیه واریانس طرح

همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود. از نظر نسبت انرژی بین سطوح دما و سطوح‌های همزن اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. طبق نتایج به دست آمده تیمار C₂ دارای اختلاف معنی‌داری با سایر

تیمارها بود. از نظر میزان نسبت انرژی این تیمار را می‌توان به‌عنوان تیمار بهینه معرفی کرد. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده سطوح دما و سطح همزن اثر معنی‌داری بر میزان بیوگاز تولیدی دارند، یعنی با افزایش دما در بازه دمایی مورد نظر و استفاده از همزن میزان

و واولیلن و همکاران، ۲۰۰۷). پژوهش‌های ذکر شده نشان می‌دهد که هاضم‌های به طور کامل همزده، با نرخ بارگذاری زیاد، عملکرد بی ثباتی دارند، در حالیکه هاضم‌های با حداقل میزان همزدن، در تمام نرخ‌های بارگذاری عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند. همان‌طور که در موارد فوق اشاره شد استفاده از همزن در برخی از موارد سبب افزایش و در برخی از موارد سبب کاهش میزان تولید بیوگاز می‌شود. اما تولید بیشتر بیوگاز در این پژوهش پس از استفاده از همزن می‌تواند به خاطر گازی باشد که در مخلوط ذخیره شده و پس از هم خوردن توسط پمپ از آن خارج می‌شود.

تولید بیوگاز افزایش یافت. در مطالعه‌ای دیگر نیز نشان داده شد که افزایش دما سبب افزایش عملکرد بیوگاز می‌شود (چی و همکاران، ۲۰۰۸). در مطالعه‌ای در ایران پژوهشگران، ابتدا یک واحد بیوگاز مدل چینی طراحی کردند و سپس با توجه به سادگی عملکرد دستگاه، یک همزن مکانیکی از نوع پارویی طراحی و روی واحد مربوطه نصب کردند. نتیجه اینکه میزان گاز تولیدی این دستگاه پس از استفاده از همزن تا حدود ۴۲ درصد افزایش یافت (عمرانی و همکاران، ۱۳۸۵). در پژوهش‌های مشابه دیگر پژوهشگران کاهش در میزان و شدت همزدن را سبب بهبود کارایی راکتور دانستند (استورت و همکاران، ۲۰۰۱).

جدول ۳- تجزیه واریانس طرح فاکتوریل بررسی اثر تیمارهای مختلف بر میزان نسبت انرژی و بیوگاز تولیدی

P value*												
تیمارهای آزمایش												
صفت	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	D ₁	D ₂	SEM	دما	همزن	دما×همزن
نسبت انرژی	۰/۵۸ ^f	۰/۶۸ ^{ef}	۰/۸۲ ^d	۰/۹۶ ^c	۰/۹۲ ^{bc}	۱/۱۳ ^a	۰/۶۸ ^{ef}	۰/۸۲ ^d	۰/۰۴	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۶۵ ^{ns}
بیوگاز تولیدی	۷۱ ^h	۹۶ ^g	۱۳۷ ^f	۱۷۳ ^e	۲۷۶ ^d	۳۵۳ ^c	۴۳۹ ^b	۵۴۷ ^a	۸/۵	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱

* حروف غیر مشابه تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن (P < ۰/۰۵)
ns: غیر معنی‌دار

نتیجه‌گیری

در این مقاله تأثیر دما و همزن بر شاخص‌های انرژی، حاصل از تولید بیوگاز از فضولات گاوی بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش دما در بازه (۲۰ الی ۴۰°C) مقدار تولید بیوگاز افزایش یافت ولی دمایی که بیشترین مقدار تولید بیوگاز را داشت دارای نسبت انرژی کوچک‌تر از ۱ بود. همچنین استفاده از همزن نیز تأثیر زیادی در تولید بیوگاز داشت. بازه دمایی (۳۱ الی ۳۵°C) که دارای همزن بود، اگرچه از نظر بیوگاز تولیدی بیشترین مقدار را نسبت به سایر تیمارها نداشت ولی در بین تیمارها

بیشترین نسبت انرژی (۱/۱۳) را داشت و از نظر بازده انرژی به‌عنوان تیمار بهینه معرفی شد.

تقدیر و تشکر

در اینجا لازم است از حوزه معاونت علمی پردیس برای حمایت مالی و همچنین تمامی کسانی که در این پژوهش ما را یاری کردند (و نامشان در لیست نویسندگان نیست) همانند گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی و ایستگاه علوم دامی و به‌خصوص دکتر گنج‌خانلو، امیر اکبری، علی امامی و عبدالکریم نامی به‌دلیل همکاری‌های آن‌ها که بسیاری از سختی‌ها را آسان‌تر کردند، سپاس‌گزاری کنیم.

منابع

۱. الماسی ف. ۱۳۹۱. طراحی و ساخت دستگاه تولید بیوگاز در مقیاس آزمایشگاهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ۹۱ ص.
۲. الماسی م. کیانی ش. و لویمی ن. ۱۳۸۷. مبانی مکانیزاسیون کشاورزی. انتشارات جنگل. چاپ چهارم. ۳۴۸ ص.
۳. سفیدپری پ. ۱۳۹۱. مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای پرورش گاو شیری و مرغ تخمگذار به کمک روش‌های بهینه‌سازی فازی، مطالعه موردی: شهرستان‌های ری و کرج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ۱۳۰ ص.
۴. صداقت‌حسینی م. الماسی م. مینایی س. و برقی م. ۱۳۸۷. طراحی سیستم بازیافت انرژی در مجتمع صنعتی تولید تخم‌مرغ. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵. عمرانی ق. ع. صفا م. و گلبابایی ف. ۱۳۸۵. بررسی کارایی همزن مکانیکی از نوع پارویی ویژه دستگاه‌های بیوگاز مدل چینی. محیط‌شناسی. ۴۰: ۱۹-۲۶.
۶. عبدلی م. و پازکی م. ۱۳۹۱. پتانسیل و فناوری تولید انرژی از زیست‌توده در مناطق روستایی ۱. انتشارات استاد مطهری. چاپ اول. ۱۵۸ ص.
۷. قارداشی ع. و عدل م. ۱۳۸۰. هضم بی‌هوازی زباله: شیوه‌ای نو برای دفع مواد زائد جامد فسادپذیر و تولید انرژی. نشریه انرژی ایران. ۶(۱۲): ۲۶-۴۶.
۸. مرندی ع. ۱۳۷۸. بررسی امکان استفاده از بیوگاز در ایران. مجموعه مقالات دومین همایش ملی انرژی.
9. Banks C. 2009. Optimization anaerobic digestion: University of Southampton. 39 p.
10. Berglund M. and Börjesson P. 2006. Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. Biomass and Bioenergy. 30(3): 254-266.
11. Bohn I. Bjornsson L. and Mattiasson B. 2007. The energy balance in farm scale anaerobic digestion of crop residues at 11–37 °C. Process Biochemistry. 42: 57-64.
12. Chae K. Jang A. Yim S. and Kim I. S. 2008. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. Bioresource Technology. 99(1): 1-6.
13. Jekayinfa S. O. 2007. Energetic analysis of poultry processing operations. Leonardo Journal of Sciences. 10: 77-92.
14. Kitani O. 1999. CIGR handbook of agricultural engineering. Vol 5, Energy and Biomass Engineering. ASAE publication, ST Joseph, MI.
15. Ozkan B. Kurklu A. and Akcaoz H. 2004. An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. Biomass and Bioenergy. 26(1): 89-95.
16. Pishgar-Komleh S. Sefeedpari P. and Ghahderijani M. 2012. Exploring energy consumption and CO₂ emission of cotton production in Iran. Journal of Renewable Sustainable Energy 4, 033115.
17. Pöschl M. Ward S. and Owende P. 2010. Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. Applied Energy. 87(11): 3305-3321.
18. Prade T. Svensson S. E. and Mattsson J. E. 2012. Energy balances for biogas and solid biofuel production from industrial hemp. Biomass and Bioenergy. 40: 36-52.
19. Sefeedpari P. Rafiee S. and Akram A. 2012. Providing electricity requirements by biogas production and its environmental benefit in sample dairy farms of Iran. International Journal of Renewable Energy Research (IJRER). 2(3): 384-387.
20. Sefeedpari P. Ghahderijani M. and Pishgar-Komleh S. 2013 Assessment the effect of Wheat farm sizes on energy consumption and CO₂ emission. Journal of Renewable Sustainable Energy. 5: 023131.
21. Singh S. and J. Mittal. 1992. Energy in production agriculture. Mittal Publications. New Delhi. 169 p.
22. Stroot P. G. McMahon K. D. Mackie R. I. and Raskin L. 2001. Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions-I. Digester performance. Water Research. 35(7): 1804-1816.
23. Vavilin V. Lokshina L. Flotats X. and Angelidaki I. 2007. Anaerobic digestion of solid material: Multidimensional modeling of continuous-flow reactor with non-uniform influent concentration distributions. Biotechnology and bioengineering. 97(2): 354-366.
24. Yadvika Santosh Sreekrishnan T. R. Kohli S. and Rana V. 2004. Enhancement of biogas production from solid Substrates using different techniques-A review. Bioresource Technology. 95: 1-10.