

طراحی، ساخت و ارزیابی یک رآکتور استوانه‌ای چند بستری برای تولید بیوگاز از ترکیب فضولات دامی و طیور

حسن غفوری ورزنده^{۱*}، حمید رضا ابراهیمی^۲ و علی کمالی^۳

چکیده

پژوهش‌های انجام شده در زمینه بیوگاز، نشان می‌دهد که نوع رآکتور و ترکیب پساب‌های مختلف تأثیر مستقیم روی میزان استحصال بیوگاز دارد. بنابراین، هدف اصلی این تحقیق، طراحی و ساخت یک رآکتور چند بستری با قابلیت جدید و بررسی اثر ترکیب فضولات دامی و طیور روی فرآیند تولید گاز است. به همین منظور، یک رآکتور استوانه‌ای چند بستری مجهز به همزن جداگانه برای هر بستر، طراحی و ساخته شد و اثر ترکیب‌های مختلف فضولات دامی و طیور در سه سطح شامل ۶۰ درصد وزنی فضولات مرغی و ۴۰ درصد وزنی فضولات گاو، ۵۰ درصد وزنی فضولات مرغی و ۵۰ درصد وزنی فضولات گاو و ۴۰ درصد وزنی فضولات مرغی و ۶۰ درصد وزنی فضولات گاو، غلظت ترکیب در دو سطح $TS=10\%$ و $TS=15\%$ و دمای رآکتور در دو سطح ۳۷ و ۴۰ درجه سلسیوس، روی pH و درصد بیوگاز استحصالی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از همزن بستری در این نوع رآکتور، حجم گاز تولیدی را به میزان ۱۷ درصد افزایش می‌دهد. افزایش نسبت فضولات دامی به طیور، موجب متعادل شدن اسیدیته محیط و در نهایت افزایش درصد بیوگاز استحصالی گردید. رقیق‌سازی ترکیب از $TS=15\%$ به $TS=10\%$ منجر به افزایش میزان pH و نزدیک شدن مخلوط به محیط خنثی گردید. هم‌چنین کاهش دمای رآکتور از ۴۰ درجه سلسیوس به ۳۷ درجه سلسیوس، موجب افزایش درصد بیوگاز استحصالی به میزان ۸ درصد شد.

واژه‌های کلیدی: رآکتور، بیوگاز، گاز متان، فضولات دامی، اسیدیته.

ارجاع: غفوری ورزنده ح.، ابراهیمی ح. ر. و کمالی ع. ۱۴۰۳. طراحی، ساخت و ارزیابی یک رآکتور استوانه‌ای چند بستری برای تولید بیوگاز از ترکیب فضولات دامی و طیور. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۳۱: ۲۹-۲۱. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2024.14478.670>

۱- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

۲- دانشیار گروه شیمی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

۳- کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر مجلسی، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول: hasangh28@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

مقدمه

تحقیق انجام شده در زمینه تولید بیوگاز از هضم بی‌هوازی کود مرغی و اثر غلظت مواد جامد آلی در بازده بیوگاز نشان داد، که هضم بی‌هوازی کود مرغی با غلظت TS برابر ۷ درصد، بیش‌ترین مقدار حجم بیوگاز و بازده متان را به ترتیب با مقادیر ۴۷۴ لیتر و ۶۵ درصد داشته است (Rezaei *et al.*, 2013).

در تحقیقی به منظور خالص‌سازی بیوگاز تولید شده از جاذب کربن برای جذب CO₂ از جریان بیوهیدروژن و بیوگاز و استحصال گاز CO₂ برای کاربردهای صنعتی، استفاده کردند (Gil *et al.*, 2015).

تولید بیوگاز از لجن فاضلاب و ریزجلبک‌ها تحت شرایط مزوفیل نشان داد که محتوای متان موجود در بیوگاز، تحت شرایط ترموفیل حاکم بر محیط آزمایش به میزان تقریبی ۵٪ افزایش نشان می‌دهد. از طرفی هضم هم‌زمان ریزجلبک‌ها و رسوبات نیز نتوانست در مقایسه با هضم انفرادی هر یک از این دو مورد، محصول بیوگاز را در حد مطلوب فراهم آورد (Caporgno *et al.*, 2015).

پژوهش انجام شده روی حجم رآکتور نشان دهنده آن است که اگر حجم رآکتور بیش از ۵۰ لیتر در نظر گرفته شود، نتایج به دست آمده قابل تعمیم به رآکتورهای بزرگ و صنعتی است لذا حجم رآکتور مورد استفاده برای استفاده در آزمایشگاه، ۱۲۰ لیتر انتخاب شده است (Brunn *et al.*, 2009). در تحقیق دیگری از بشکه‌های پلاستیکی به حجم ۱۰۰ لیتر برای رآکتور استفاده شده است (Kalori *et al.*, 2012).

نسبت مناسب ارتفاع به قطر رآکتور، برای رآکتور بیوگاز بین ۰/۵ تا ۳/۵ توصیه شده است (Nijaguna, 2002). تحقیقات نشان می‌دهد که بهترین مقدار تغذیه مواد جامد به ازای هر مترمکعب رآکتور، ۲ کیلوگرم بر روز است (Ferrer, *et al.*, 2009).

بررسی منابع نشان می‌دهد که نوع رآکتور و نسبت ترکیب هر کدام از پساب‌ها و پسماندها با یکدیگر، شرایط متفاوتی را برای تولید گاز و خلوص آن ایجاد می‌کنند. لذا در این تحقیق ابتدا یک رآکتور استوانه‌ای چند بستری طراحی و ساخته شد و سپس تأثیر غلظت، دما و ترکیب‌های مختلف پسماندهای دام و طیور در تولید گاز، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نوآوری استفاده شده در ساخت این رآکتور، استفاده از یک هم‌زن مجزا برای هر بستر به منظور تحریک بیشتر باکتری‌ها است.

اساسی‌ترین عامل تولید بیوگاز، فاسد شدن مواد و فعال شدن باکتری‌ها است. به طور کلی انواع پساب‌ها شامل پساب انسانی، حیوانی، زباله و ... پس از کشت در محیط بی‌هوازی قادر به تولید گاز هستند. این مورد منوط به خاصیت هر کدام از پساب‌ها است. در حقیقت هر کدام از پساب‌ها شرایط بهتری را برای رشد باکتری‌ها فراهم کنند، باعث تولید بیوگاز بیشتری می‌شوند. تفاوت این شرایط، فرایند تولید بیوگاز را مشکل می‌کند. تغذیه باکتری‌های بی‌هوازی از طریق مصرف پساب‌ها حاصل می‌شود، حال آنکه مساعد نبودن شرایط پساب باعث خودخواری و از بین رفتن باکتری‌ها می‌شود. در ادامه به بررسی پژوهش‌های پیشین در خصوص استفاده از پساب‌های مختلف و ترکیب آن‌ها برای تولید بیوگاز پرداخته می‌شود.

تحقیقات زیادی در خصوص فناوری استخراج بیوگاز و بررسی قابلیت استحصال انرژی زیستی از فضولات دامی، بقایای گیاهان و زباله شهری انجام شده است (Sofestaei, 2010).

تحقیق انجام شده برای تهیه بیوگاز از فضولات دامی و بررسی کیفیت کود تولیدی در سطح آزمایشگاهی نشان داد که نتیجه سوختن گاز تولیدی پس از دو هفته، ایجاد شعله آبی رنگ پایدار بود و با نزدیک کردن میزان اسیدیته مواد به سمت قلیایی و کنترل دقیق اکسیژن مورد نیاز شیمیایی^۱ (COD)، حجم گاز استحصالی افزایش یافت (Afshar Kohan *et al.*, 2010).

بررسی تولید بیوگاز از پساب‌ها و فضولات دامی و تخمین میزان انرژی بیوگاز حاصل از مواد آلی و غیرآلی نشان داد که تخمین انرژی بیوگاز حاصل از زباله به طور میانگین ۱۶۱۴۶/۳۵ میلیون متر مکعب در سال خواهد بود (Hejri & Saheb Jami, 2010).

نتایج حاصل از تخمیر بی‌هوازی فضولات دامی و پسماندهای روستایی نشان داد که می‌توان به تولید سالانه ۱۱۷/۲۷۲ میلیون مترمکعب بیوگاز دست یافت که این میزان انرژی، علاوه بر داشتن مزایای زیست‌محیطی فراوان، می‌تواند جایگزین بخشی از انرژی فسیلی مصرفی باشد (Zarei & Maleki, 2016).

مواد و روش‌ها

در این قسمت، مراحل طراحی و ساخت یک رآکتور چند بستری تشریح شده و سپس مراحل آماده‌سازی و اندازه‌گیری ویژگی‌ها بررسی می‌گردد.

طراحی و ساخت رآکتور

عوامل اصلی در تعیین ابعاد رآکتور، میزان فضولات، انرژی مورد نیاز، هزینه تمام شده و قابلیت حمل و نقل آن است. از طرفی نتایج حاصل از رآکتورهای بالای ۵۰ لیتر برای رآکتورهای صنعتی قابل استناد است (Brunn *et al.*, 2009). در این تحقیق، یک رآکتور تحقیقاتی در مقیاس آزمایشگاهی طراحی گردید که ضمن قابلیت حمل و نقل به مناطق روستایی، نتایج آن قابل استناد به رآکتورهای صنعتی نیز باشد. به همین منظور حجم رآکتور (V_t) بر اساس پژوهش‌های انجام شده توسط سایر محققین، ۱۰۰ لیتر در نظر گرفته شد (Kalori *et al.*, 2012; Brunn *et al.*, 2009). حجم لجن (V_s)، حجم تخمیر (V_f) و حجم گاز (V_g) مطابق معادله (۱) محاسبه شد (Anonymous, 2014):

$$V_t = V_s + V_f + V_g \quad (1)$$

ارتفاع قسمت‌های مربوط به حجم گاز و حجم لجن (به ترتیب F_1 و F_2) از معادلات (۳) و (۴) به دست آمد:

$$F_1 = \frac{D}{5} \quad (3)$$

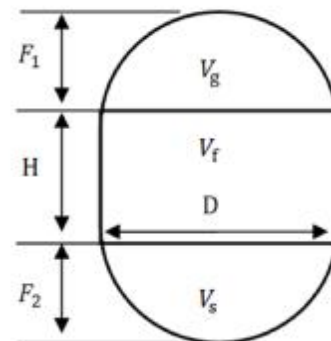
$$F_2 = \frac{D}{8} \quad (4)$$

برای ساخت مخزن رآکتور از یک استوانه پلی‌اتیلن استفاده شد. برای تأمین حرارت مورد نیاز رآکتور، از سامانه چرخش آب‌گرم در جداره بیرونی مخزن استفاده شد و به منظور جلوگیری از اتلاف حرارت جداره مخزن، عایق کاری با الیاف اسفنجی و روکش قلع اندود انجام شد. در درون مخزن نیز از بسترهای طبقاتی جداگانه (۵ طبقه) استفاده شد که محل قرارگیری مواد باشند (شکل ۲).



شکل ۲- بدنه رآکتور عایق کاری شده و بسترهای ۵ طبقه

تغذیه مواد به طبقات، توسط یک پمپ انجام شد. در این فرایند، مواد از کف مخزن به بالاترین طبقه فرستاده شده و با پر شدن هر طبقه، مواد به طبقات پایین‌تر منتقل می‌گردد. یک هم‌زن مرکزی به منظور اختلاط و عدم ته‌نشینی مواد در کف رآکتور به کار گرفته شد. با توجه به این که در این تحقیق از ۵ بستر جداگانه در داخل رآکتور استفاده گردید، برای ایجاد محیط همگن برای فعالیت باکتری‌ها (تحریک باکتری‌ها)، یک هم‌زن در هر طبقه استفاده شد (شکل ۳).



شکل ۱- طرح‌واره قسمت‌های مختلف رآکتور

بهترین نسبت ارتفاع (H) به قطر (D) رآکتور، بر اساس پژوهش‌های انجام شده برابر ۲ در نظر گرفته شد (Nijaguna, 2012).

همچنین حجم قسمت تخمیر با توجه به معادله (۲) محاسبه گردید:

$$V_f = \frac{\pi D^2}{4} H \quad (2)$$

گاز متان استحصالی مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری TS، بر اساس استاندارد CEN/TS 15148، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۴ درجه سلسیوس در داخل آون قرار گرفتند و نسبت ماده خشک به ماده اولیه محاسبه گردید (Al-Rousan & Zyadin., 2014). اندازه‌گیری pH نمونه‌ها توسط دستگاه pH متر رومیزی مدل Jenway 3520 ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد.

فضولات گاوی و مرغی با سه نسبت مختلف شامل ۶۰ درصد وزنی فضولات مرغی و ۴۰ درصد وزنی فضولات گاوی (M1)، ۵۰ درصد وزنی فضولات مرغی و ۵۰ درصد وزنی فضولات گاوی (M2) و نهایتاً ۴۰ درصد وزنی فضولات مرغی و ۶۰ درصد وزنی فضولات گاوی (M3) ترکیب گردید. رقیق‌سازی ترکیب‌های فوق در دو سطح ۱۰٪ TS و ۱۵٪ TS انجام شد. حجم فضولات رقیق‌شده برای هر آزمایش ۱۰ لیتر و مدت زمان اندازه‌گیری، دوره‌های ۱۵ روزه بود. دمای رآکتور با چرخش آب گرم در دو سطح ۳۷ و ۴۰ درجه سلسیوس ثابت نگه داشته شد. برای ارزیابی اثر ویژگی‌های فوق از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی استفاده گردید و برای مقایسه میانگین‌ها آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD^1 در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

طراحی و ساخت رآکتور

حجم رآکتور بر اساس پژوهش‌های سایر محققین، ۱۰۰ لیتر و (Brunn *et al.*, 2009; Ferrer, *et al.*, 2009) نسبت ارتفاع به قطر رآکتور برابر ۲ در نظر گرفته شد (Nijaguna, 2012). همچنین با استفاده از معادله (۲)، قطر و ارتفاع رآکتور به ترتیب ۴۰ سانتی‌متر و ۸۰ سانتی‌متر محاسبه گردید. ارتفاع قسمت‌های مربوط به حجم گاز و حجم لجن بر اساس معادلات (۳) و (۴) به ترتیب برابر ۸ و ۵ سانتی‌متر محاسبه شد. پس از طراحی ابعاد رآکتور، یک مخزن پلی‌اتیلن با ابعاد محاسبه شده تهیه گردید و کلیه متعلقات شامل بسترهای طبقاتی، لوله ماریپیج آب گرم، عایق حرارتی، فشارسنج، همزن، حسگر فشار و شیر یک‌طرفه روی آن نصب گردید.



شکل ۳- همزن بستری تعبیه شده در طبقات رآکتور

برای جمع‌آوری و فشرده کردن گاز در داخل مخزن فلزی از یک فشرده کننده استفاده شد. دستور راه‌اندازی فشرده کننده توسط یک حسگر فشار ارسال می‌گردد و هنگامی که فشار گاز داخل رآکتور به میزان تنظیم شده توسط متصدی رسید، فشرده کننده عمل مکش گاز از داخل رآکتور و فشرده‌سازی آن در داخل مخزن فلزی را انجام می‌دهد. از یک شیر یک‌طرفه نیز برای عدم برگشت گاز از مسیر خروجی به رآکتور استفاده شد.

برای تعیین دقیق میزان دما و گاز متان ذخیره شده در مخزن، دو عدد تحلیل‌کننده به کار گرفته شد. تحلیل‌کننده دما شامل یک حسگر NTC به همراه پایش‌گر برقی است که در ناحیه فوقانی رآکتور نصب گردید. تحلیل‌کننده گاز متان شامل یک حسگر مدل MQ-4 به همراه مدارهای برقی برای پردازش سیگنال و یک پایش‌گر است که درصد و حجم گازهای تشکیل دهنده را از طریق یک صفحه نمایش، نشان می‌دهد. محدوده تشخیص گاز متان برای این حسگر ۳۰۰ ppm تا ۱۰۰۰۰ ppm در دمای ۱۰- تا ۵۰+ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد است. این تحلیل‌کننده روی مخزن ذخیره گاز نصب گردید.

آماده‌سازی نمونه‌ها

تمام آزمایش‌ها در آزمایشگاه شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی انجام شد. اثر ترکیب‌های مختلف فضولات دامی و طیور، غلظت ترکیب‌ها و دمای رآکتور به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد و اثر ویژگی‌های مذکور بر روی میزان اسیدیته (pH) و درصد

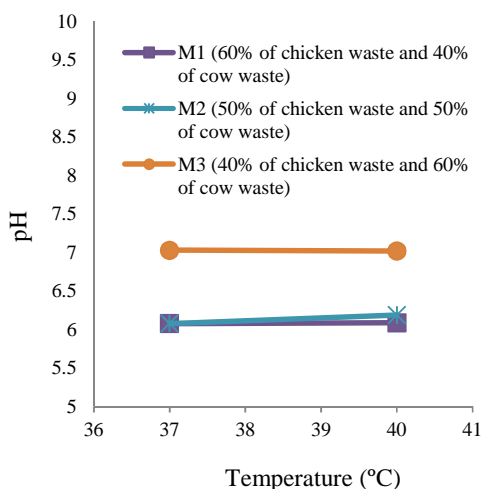
1- Least significant difference

اختلاط، درصد رقیق‌سازی، دما و اثر برهم‌کنش آنها بررسی می‌گردد.

تأثیر نسبت اختلاط، درصد رقیق‌سازی و دما بر میزان اسیدیته (pH) و درصد گاز استحصال، در جدول ۲ نشان داده شده است. از جدول ۲ استنباط می‌شود که میزان اسیدیته مخلوط و درصد گاز استحصال در سطوح مختلف ترکیب و اسیدیته، اختلاف معنی‌داری با هم دارند ولی در سطوح مختلف دما، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

بررسی اثر ویژگی‌های مختلف روی pH

اثر میزان مخلوط‌های مختلف فضولات دامی و مرغی در دماهای مختلف روی pH در شکل ۵ نشان داده شده است.



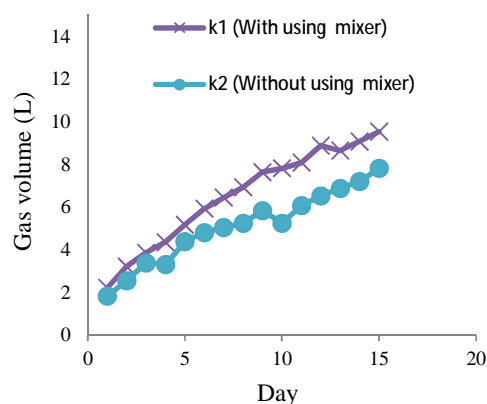
شکل ۵- اثر مخلوط‌های مختلف فضولات دامی و مرغی در دماهای مختلف روی pH

نتایج نشان می‌دهد که مقدار pH برای ترکیب M1 و M2 از ۶/۰۳ تا ۶/۰۹ متغیر است، که این مقدار کمتر از pH محیط خنثی است ولی در ترکیب M3، افزایش نسبت فضولات دامی به مرغی منجر به افزایش pH گردیده و محیط خنثی را ایجاد کرده است. نتایج مشابهی در خصوص افت pH محیط برای استحصال گاز توسط سایر محققین در استفاده از کود مرغی گزارش شده است (Faghipour *et al.*, 2013).

نتایج ارزیابی راکتور

با توجه به این که در این تحقیق علاوه بر هم‌زن مرکزی، از هم‌زن مجزا در هر طبقه برای تحریک باکتری‌ها استفاده شده است، در ابتدا نتیجه اثر استفاده از هم‌زن‌های طبقاتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل ۴، میزان گاز استحصال از فضولات گاوی را با استفاده از هم‌زن طبقاتی (k1) و بدون استفاده از هم‌زن طبقاتی (k2) در فشار ۰/۱ بار نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که حجم متوسط گاز تولیدی در زمان استفاده از هم‌زن طبقاتی در طی یک دوره ۱۵ روزه، ۱۷ درصد بیش‌تر از زمانی است که از هم‌زن طبقاتی استفاده نشده است. لذا در ادامه، کلیه آزمایش‌ها در شرایط استفاده از هم‌زن طبقاتی گزارش شده است.

خلاصه تجزیه واریانس مربوط به اثر نسبت اختلاط، درصد رقیق‌سازی و دما بر شاخص‌های میزان اسیدیته و درصد گاز استحصال در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۴- مقایسه حجم گاز استحصال با و بدون استفاده از هم‌زن طبقاتی

از جداول تجربه آماری چنین استنباط می‌گردد که اثر نسبت اختلاط، درصد رقیق‌سازی، دما و اثر برهم‌کنش دوگانه نسبت اختلاط × درصد رقیق‌سازی، نسبت اختلاط × دما، درصد رقیق‌سازی × دما و اثر برهم‌کنش سه‌گانه نسبت اختلاط × درصد رقیق‌سازی × دما بر کلیه شاخص‌های مورد ارزیابی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است ولی اثر دوگانه درصد رقیق‌سازی × دما بر شاخص pH، معنی‌دار نیست. لذا در ادامه، اثر نسبت

جدول ۱- خلاصه جدول تجزیه آماری (میانگین مربعات) میزان اسیدیته (pH) و درصد گاز استحصالی

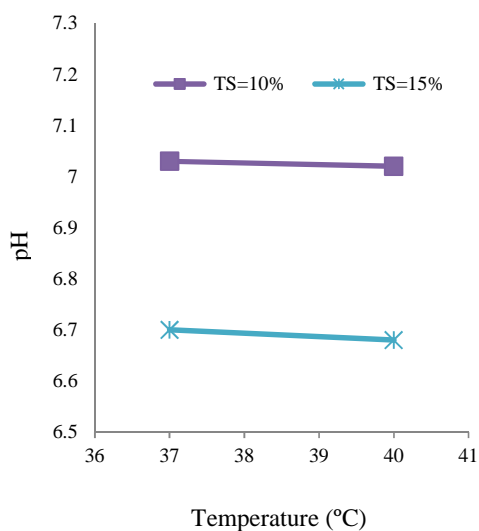
منبع تغییرات	درجه آزادی	میزان اسیدیته (pH)	درصد گاز استحصالی
نسبت اختلاط	۲	۱۶۵/۹۲**	۲۹۴۱/۹۲**
درصد رقیق‌سازی	۱	۱۵۹/۶۲**	۲۵۷۵/۳۵**
دما	۱	۷۵/۶۴**	۲۶۵۹/۲۱**
نسبت اختلاط × درصد رقیق‌سازی	۲	۹۳/۲۱**	۳۰۲۴/۶۲**
نسبت اختلاط × دما	۲	۱۰۱/۹۳**	۱۷۲۴/۲۸**
درصد رقیق‌سازی × دما	۱	۶۳/۲ ^{ns}	۲۳۴۱/۷۳**
نسبت اختلاط × درصد رقیق‌سازی × دما	۲	۱۲۳/۴۳**	۲۳۳۷/۹۲**

** معنی‌دار بودن در سطح ۱٪.

ns: معنی‌دار نبودن

جدول ۲- اثر نسبت اختلاط، درصد رقیق‌سازی و دما بر میزان اسیدیته (pH) و درصد گاز استحصالی

عوامل آزمایش	میزان اسیدیته (pH)	درصد گاز استحصالی
نسبت اختلاط		
M1	۶/۲	۹
M2	۶/۸	۱۸.۷۴
M3	۷/۰۹	۵۲
LSD/۰.۰۵	۰/۴۸	۷/۶۵
درصد رقیق‌سازی		
TS=۱۰٪	۶/۶۷	۲۸/۵
TS=۱۵٪	۶/۵	۲۴/۶
LSD/۰.۰۵	۰/۱۲	۳/۶۳
دما		
۳۷	۶/۶۱	۲۷/۸۳
۴۰	۶/۶۳	۲۵/۳۳
LSD/۰.۰۵	۰/۱۵	۲/۷۵



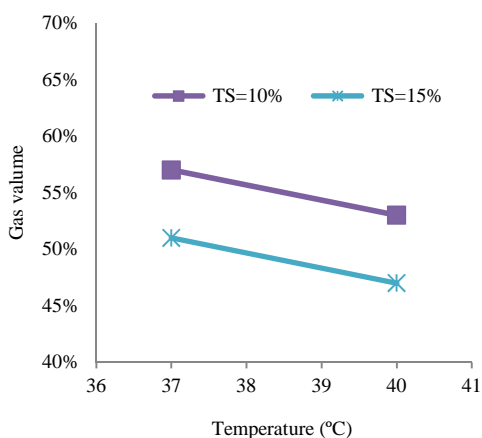
شکل ۶- اثر TS در دماهای مختلف روی pH

اثر TS در دماهای مختلف روی pH در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با رقیق‌سازی ترکیب از ۱۵ درصد به ۱۰ درصد، pH افزایش یافته و از محیط اسیدی به محیط خنثی تبدیل می‌شود. در پژوهش انجام شده توسط سایر محققین میزان TS مناسب برای تخمیر بی‌هوازی، ۸ درصد گزارش شده است (Rittmann & McCarty, 2012).

اثر مخلوط‌های مختلف فضولات دامی و مرغی در TS مختلف روی pH در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار pH برای ترکیب M1 و M2 کمتر از pH محیط خنثی است، ولی ترکیب M3، افزایش محیط خنثی را ایجاد کرده است. همچنین مشاهده می‌شود که رقیق‌سازی مخلوط از ۱۵ درصد به ۱۰ درصد منجر به افزایش pH شده و این افزایش در ترکیب M3 بیش‌ترین مقدار بوده است.

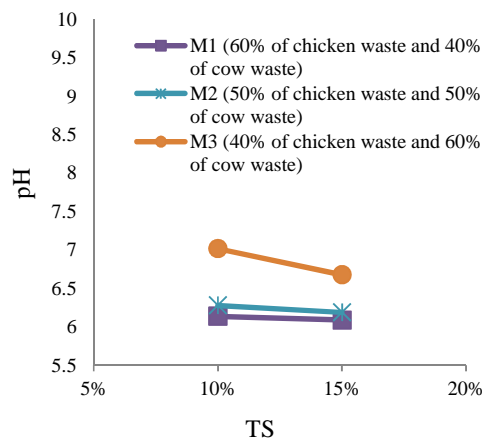
است که افزایش میزان کود گاوی در مخلوط، منجر به افزایش میزان گاز استحصالی شده است (Maleki *et al.*, 2020).

اثر TS در دماهای مختلف روی درصد گاز استحصالی در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با رقیق‌سازی ترکیب از ۱۵ درصد به ۱۰ درصد، میزان گاز استحصالی افزایش یافته است. از مقایسه شکل‌های ۶ و ۹ چنین استنباط می‌شود که رقیق‌سازی مخلوط، به دلیل این که pH راکتور را به نزدیکی عدد ۷ رسانده است، فعالیت باکتری‌ها افزایش یافته و تولید گاز بیشتری داشته‌اند. پژوهش‌های انجام شده توسط محققین نشان داد که TS نزدیک به ۹ درصد برای تولید بیوگاز مناسب است (David, 2010; Leckie *et al.*, 1981).



شکل ۹- اثر TS در دماهای مختلف روی درصد گاز استحصالی

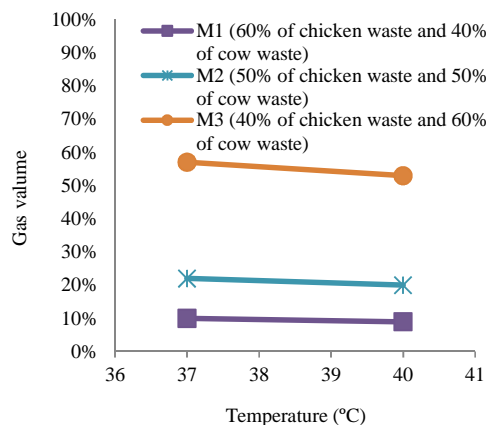
اثر مخلوط‌های مختلف فضولات دامی و مرغی در TS مختلف روی درصد گاز استحصالی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار گاز استحصالی برای ترکیب M1 و M2 کمتر از ۲۰ درصد است، ولی ترکیب M3، به دلیل ایجاد محیط خنثی، توانسته است درصد گاز تولیدی را به ۵۷ درصد برساند. همچنین مشاهده می‌شود که رقیق‌سازی مخلوط از ۱۵ درصد به ۱۰ درصد در ترکیب M1 تأثیر معنی‌داری بر درصد گاز استحصالی نداشته، ولی در ترکیب‌های M2 و M3 منجر به افزایش درصد گاز استحصالی شده است.



شکل ۷- اثر مخلوط‌های مختلف فضولات دامی و مرغی در TS مختلف روی pH

بررسی اثر ویژگی‌های مختلف روی درصد گاز استحصالی

اثر مخلوط‌های مختلف فضولات دامی و مرغی در دماهای مختلف روی درصد گاز استحصالی در شکل ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که درصد گاز استحصالی با افزایش میزان کود گاوی، افزایش یافته و از ۹ درصد در ترکیب M1 به ۵۷ درصد در ترکیب M3 رسیده است.



شکل ۸- اثر مخلوط‌های مختلف فضولات دامی و مرغی در دماهای مختلف روی درصد گاز استحصالی

از مقایسه شکل‌های ۵ و ۸ چنین استنباط می‌شود که افزایش میزان کود گاوی، به دلیل این که محیط راکتور را از حالت اسیدی به محیط خنثی نزدیک کرده است، باکتری‌ها، فعالیت بهتری برای تولید گاز داشته‌اند. تحقیق انجام شده توسط سایر محققین نشان دهنده آن

اثر ترکیب‌های مختلف فضولات دامی و طیور در سه سطح، غلظت ترکیب در دو سطح و دمای رآکتور در دو سطح، روی pH و درصد بیوگاز استحصالی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که، استفاده از هم‌زن بستری در این نوع رآکتور، حجم گاز تولیدی را به میزان ۱۷ درصد نسبت به عدم استفاده از هم‌زن بستری، افزایش داده است.

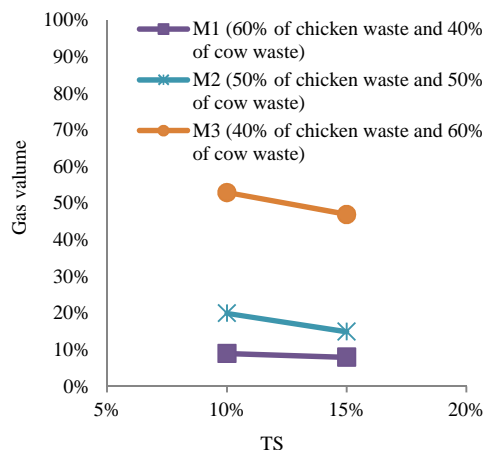
ترکیب ضایعات مختلف برای نزدیک کردن pH به محیط خنثی و افزایش بیوگاز استحصالی از اهمیت زیادی برخوردار است و درصد ماده خشک زیست توده در درجه بعدی قرار دارد.

ترکیب M1 کم‌ترین مقدار pH و کم شدن درصد بیوگاز استحصالی را به دنبال داشته است. در حالی که ترکیب M3 دارای محیطی خنثی بوده و بالاترین درصد بیوگاز استحصالی را داشته است. همچنین ترکیب با ۱۰% TS=، بیشترین میزان pH و بیشترین حجم بیوگاز استحصالی را داشته است.

تغییر دمای رآکتور از ۳۸ درجه سلسیوس به ۴۰ درجه سلسیوس، تأثیر معنی‌داری روی میزان Ph نداشته ولی درصد بیوگاز استحصالی را ۸ درصد افزایش داده است.

منابع

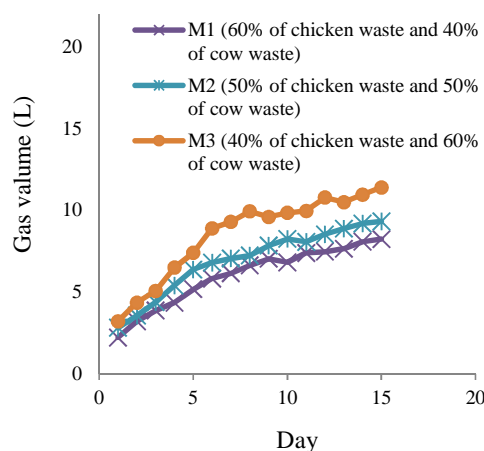
- Al-Rousan, A., & Zyadin A. (2014). A technical experiment on biogas production from small-scale dairy farm. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 4: 10-18.
- Afshar Kohan, N., Kazemi, M. A., Moheb Rad, B., Tourani, A., Bagheri, A., & Majidian, P. (2010). Preparation of biogas from animal waste and evaluation of the quality of produced fertilizer at the laboratory level. *13th National Conference on Environmental Health of Iran*, 8 pages. (In Persian).
- Anonymous. (2014). Design of biogas Plant, Biogas Training Center (BRC). Chengdu, Sichuan, China, 12 pages.
- Brunn, L., Dornack, C., & Bilitewski, B. (2009). Application of laboratory scale experiments to industrial scale in case of anaerobic waste treatment. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(2): 196-203.
- Caporgno, M. P., Trobajo, R., Caiola, N., Ibanez, C., Fabregat, A., & Bengoa, C. (2015). Biogas production from sewage sludge and microalgae co-digestion under mesophilic and thermophilic conditions. *Renewable Energy*, 75: 374-380.



شکل ۱۰- اثر مخلوط‌های مختلف فضولات دامی و مرغی در مختلف TS روی درصد گاز استحصالی

بررسی میزان تولید روزانه گاز استحصالی

نتایج میزان تولید روزانه گاز برای سه ترکیب مختلف در شکل ۱۱ نشان داده شده است. اندازه‌گیری مربوط به یک دوره ۱۵ روزه و بر اساس ذخیره‌سازی گاز در فشار ۰/۱ بار است. بیش‌ترین و کم‌ترین حجم متوسط گاز تولیدی به ترتیب مربوط به ترکیب M1 و M3 است. نتایج نشان می‌دهد که متوسط حجم گاز تولیدی در ترکیب M3 برابر ۹/۹ لیتر به ازای هر روز بوده است.



شکل ۱۱- حجم گاز استحصالی از ترکیب‌های مختلف در یک دوره ۱۵ روزه

نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک رآکتور آزمایشگاهی ۵ بستری با اضافه کردن هم‌زن بستری برای هر بستر، طراحی و ساخته شد.

- and applications*. McGraw-Hill Education. 754 p.
- Sofestaei, A. (2010). Biogas extraction technologies and investigating the potential of bioenergy extraction from landfills in Isfahan city. The 1th Iranian National Bioenergy Conference Iran Bioenergy Conference, Tehran, 25 p. (In Persian).
- Zarei, S., & Maleki, M. R. (2016). Investigating the potential of biogas production from livestock waste and rural waste in Kurdistan province using GIS. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 48(1): 173-178. (In Persian).
- David, H. (2010). *The Complete Biogas Handbook*. Alternative House Information, 289 p.
- Faghihipour, S. E., Afazeli, H., Almasi, F., & Nosrati, M. (2013). Effect of the combination of chicken and cow excrement and pH investigation in a semi-industrial anaerobic tubular reactor on biogas production. *The 4th Iranian Bioenergy Conference (Biomass and Biogas)*, Tehran, 6 p. (In Persian).
- Ferrer, I., Gamiz, M. Almeida, M. Ruiz, A. 2009. Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperature in Ventanilla (Lima, Peru). *Waste Management*, 29(1): 168-173.
- Gil, M. V., Alvarez-Gutierrez, N., Martinez, M., Rubiera, F., Pevida, C., & Moran, A. (2015). Carbon adsorbents for CO₂ capture from bio-hydrogen and biogas, streams: Breakthrough adsorption study. *Chemical Engineering Journal*, DOI:10.1016/j.cej.2015.01.100
- Hejri, Z., & Saheb Jami, N. (2010). Investigation of biogas production from sewage and waste. *The 1th Iranian Bioenergy Conference*, Tehran, 16 p. (In Persian).
- Kalori, A., Tabatabai Kalor, R., & Hashemi, S. J. (2012). Investigating the effect of loading rate on the amount of biogas produced from cow waste. *The 3rd Iranian Bioenergy Conference (Biomass and Biogas)*, Tehran, 10 p. (In Persian).
- Leckie, J., Masters, G., Whitehouse, H., & Young, L. (1981). *More Other Homes and Garbage: Designs for Self-Sufficient Living*, Complete Revised, Expanded, and Updated. Sierra Club, San Francisco, CA. 302 p.
- Maleki, A., Dorondi, H., Ebrahimi, R., & Mahmoudi, M. (2020). Effect of Chemical Pre-treatment on Methane Production from Co-Digestion of Cow Manure and Pistachio Wastes. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 9(1): 81-90. (In Persian).
- Nijaguna, B. T. (2002). *Biogaz Technologies*. New Age Internacional publishers Principal, ISS Academy of Technical Education, Bangalore, Karnataka, India. 298 p.
- Rezaei, M., Khojastepour, M., Emadi, B., & Haddad Khodaparast, M. (2013). Biogas production from anaerobic digestion of chicken manure: the effect of organic solids concentration on biogas yield. *The 4th Iranian Bioenergy Conference (Biomass and Biogas)*, Tehran, 9 pages. (In Persian).
- Rittmann, B. E., & McCarty, P. L. (2012). *Environmental biotechnology: principles*

