



بررسی اقتصادی رآکتور خورشیدی و المنتی ساخته شده جهت تولید بیوگاز از کود دامی

منوچهر مریخی^۱، حسین حاجی آقا علیزاده^۲

کارشناس ارشد، دانشگاه بوعلی سینا؛ m.merrikhi94@yahoo.com

استادیار، دانشگاه بوعلی سینا؛ h-alizade@basu.ac.ir

چکیده

یکی از منابع جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی، بیوگاز حاصل از کودهای حیوانی است. هدف از این پژوهش بررسی اثر همزن بر تولید بیوگاز و بررسی اقتصادی رآکتور خورشیدی نسبت به المنتی می‌باشد. در این پژوهش اثر همزن در دمای 37°C در یک دوره ۵۵ روزه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که حجم گاز تولیدی از کود گوسفند در دمای 37°C با همزن بیشتر از حجم گاز در دمای 37°C بدون همزن می‌باشد. مقدار تولید تجمعی بیوگاز در رآکتورهای خورشیدی و المنتی با همزن به ترتیب به ترتیب 936.14 و 947.05 لیتر و 745.35 و 752.86 لیتر همچنین مقدار تولید تجمعی گاز متان در رآکتورهای خورشیدی و المنتی با همزن به ترتیب 638.45 و 645.89 لیتر و مقدار تولید تجمعی گاز متان در رآکتورهای خورشیدی و المنتی بدون همزن به ترتیب 508.33 و 513.45 لیتر به دست آمدند. لازم به ذکر است که متان و دی اکسید کربن به ترتیب 68.2 و 28.38 درصد اندازه‌گیری شدند. با توجه به نتایج حاصل از دو سناریو در نظر گرفته شده هنگام استفاده از آبگرمکن خورشیدی هزینه به‌دست آمد که نشان می‌دهد استفاده از آبگرمکن خورشیدی به جای المنت حرارتی اقتصادی‌تر می‌باشد.

کلمات کلیدی: بیوگاز، انرژی‌های تجدیدپذیر، بررسی اقتصادی، آبگرمکن خورشیدی، هضم بی‌هوازی

Economic Investigations of Solar and Element Reactors Made for Biogas Production from Animal Fertilizer

Manouchehr merrikhi¹, Hossein Haji Agha Alizadeh²

¹Master's degree, Bu Ali Sina University; m.merrikhi94@yahoo.com

²Assistant Professor, Bu Ali Sina University; h-alizade@basu.ac.ir

ABSTRACT

One of the most suitable alternative sources for fossil fuels is biogas from animal fertilizers. The purpose of this study was to investigate the effect of agitator on the production of biogas and the economic evaluation of solar reactor relative to element. In this study, the effect of the agitator was studied at 37°C for a period of 55 days. The results of the experiments illustrated that the volume of gas produced from sheep fertilizer at 37°C with a stirrer was greater than gas volume at 37°C without mixer. The amount of cumulative production of biogas in reactors with an agglomerated solar and element reactors is 936.14 and 947.05 l, and the cumulative production of biogas in solar and non-agitated reactors is 745.35 and 752.86 , respectively. Also, the cumulative production of methane gas in Solar and element reactors with agitator were 638.45 and 645.89 , respectively, and the cumulative production of methane in reactors of solar and non-agitated reactors was respectively 508.33 and 513.45 liters, respectively. It should be mentioned that methane and carbon dioxide were measured as 68.2 and 28.38% , respectively. According to the results of the two scenarios considered when using solar water heater, the cost of 8886330 Rials while the heat element cost in two



scenarios was 11116650 Rials and 14239056 Rials in 12 years respectively, Which shows that the use of a solar water heater instead of an heating element is more economical.

Keywords: Biogas, Renewable Energy, Economic Investigations, Solar Water Heater, Anaerobic digestion

۱- مقدمه

با توجه به افزایش سریع قیمت انرژی و نگرانی های زیست محیطی و سوخت‌های فسیلی، علاقه عمیق در میان محققان مختلف برای کشف منابع جدید و قابل تجدید انرژی وجود دارد (Lee et al., 2009). کشور ایران از لحاظ منابع مختلف انرژی یکی از غنی ترین کشورهای جهان محسوب می‌گردد. منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران بسیارند که مهمترین آنها انرژی خورشیدی است اجرای طرح های خورشیدی می‌تواند صرفه‌جویی مهمی در مصرف نفت و گاز را به همراه داشته باشد (Sohrabi and Vaisi, 2014).

بیوگاز، شکلی پاک و تجدید پذیر از انرژی است که به خوبی می‌تواند جایگزین منابع متداول انرژی گردد که باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی می‌شود. در کشورهای در حال توسعه، زیست توده سلولزی در مقدار زیادی در دسترس هستند که پتانسیل بسیار خوبی برای تهیه کردن تقاضای انرژی، به ویژه در بخش خانگی می‌باشند. (Sreekrishnan et al., 2004).

بیوگاز مخلوطی از گازهای تولید شده توسط هضم بی‌هوازی از مواد آلی قابل تجزیه می‌باشد. اغلب به عنوان «گاز مرداب» یا «گاز باتلاق» شناخته شده است به دلیل آنکه توسط فرایند بی‌هوازی تولید شده، همان کار در دوران تجزیه در زیر آب از مواد آلی در زمین مرطوب رخ می‌دهد (Joshua et al., 2014).

تولید بیوگاز روشی برای تثبیت ضایعات آلی مانند ضایعات شهری، لجن فاضلاب، کود حیوانی و باقی مانده محصول است. سیستم هضم بی‌هوازی (AD) می‌تواند به تولید بیوگاز بیشتر برای تامین افزایش تقاضای انرژی اجتماعی دست یابد و همچنین می‌تواند زباله های آلی را به کود با کیفیت بالا تبدیل کند (Wei et al., 2014). تولید بیوگاز بستگی به برخی خصوصیات منحصر به فرد مانند درجه حرارت، فشار، pH و مواد خام دارد (Alvarez et al., 2006).

بیوگاز از دو جز مهم متان (50-75%) و دی اکسید کربن (5-25%) تشکیل شده است و عناصر دیگر مانند سولفید هیدروژن (H_2S) به عنوان ناخالصی در بیوگاز وجود دارند. (Joshua et al., 2014). گازهای متان، هیدروژن و مونوکسید کربن (CO) تولید شده، می‌توانند بسوزند و یا با اکسیژن اکسید شوند. این انرژی آزاد شده اجازه می‌دهد تا بیوگاز به عنوان سوخت استفاده شود. بیوگاز را می‌توان شبیه به گاز طبیعی فشرده کرد و برای توان وسایل نقلیه موتوری استفاده گردد (Dioha et al., 2013).

با توجه به مشکلات زیست محیطی و امکان تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر و همچنین مشکلات دفن فضولات حیوانی امکان استفاده از بیوگاز در مناطق دور افتاده و روستایی و افزایش راحتی افراد در این پژوهش به ساخت راکتور ناپیوسته با همزن پیوسته‌ی کوپل شده با انرژی خورشیدی و بررسی عملکرد اقتصادی این راکتور پرداخته شده است. به دلیل اینکه تا به حال از این نوع روش جهت تولید بیوگاز استفاده نشده است اقدام به استفاده از این روش جهت تولید بیوگاز گردید و هدف صرفه اقتصادی راکتور خورشیدی نسبت به راکتور المنتی می‌باشد.

۲- بخش مواد و روش‌ها

۲-۱- ساخت راکتورها

ابتدا دو نوع راکتور خورشیدی و المنتی توسط برنامه CATIA (V5R20) مدل‌سازی شدند سپس نسبت به ساخت آنها در کارگاه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا اقدام شد. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب شماتیک و دستگاه ساخته شده را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه مواد داخل مخزن راکتور اسیدی می‌باشند، مخزن از ورق آهن گالوانیزه (Haji Agha Alizadeh et al., 2016) (ساخت شرکت ورق خودرو چهارمحال و بختیاری، مدل CQ، کشور ایران) با ضخامت ۲/۵ میلی متری (مقاوم در برابر فشار مخزن، خوردگی و زنگ زدگی) ساخته شد. به منظور عایق کردن مخزن و امکان نصب المنت حرارتی، مخزن‌ها بصورت دو جداره ساخته شدند، با این روش انرژی حرارتی مورد نیاز مخزن هضم توسط آب گرم بین دو جداره مخزن تأمین می‌شود. مخزن اول آب گرم مورد نیاز خود را از آبگرمکن خورشیدی تأمین می‌کند، این آب گرم توسط اتصالات مناسب به درون مخزن وارد شده و پس از سرد شدن توسط شیر برقی که روی دستگاه واقع شده است از مخزن خارج و آب گرم جدید جایگزین آن می‌شود. مخزن دوم انرژی حرارتی مورد نیاز خود را برای گرم کردن آب از المنت حرارتی (۲۰۰۰ وات) تأمین می‌کند. جهت عایق کاری



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

مخزن‌ها از پشم شیشه استفاده شد تا اتلاف حرارت به حداقل برسد. سایر اجزای دستگاه الکتروموتور و گیربکس، ترموستات دیجیتالی (ساخت شرکت SHIVA Amvaj، مدل TR-900K، کشور ایران)، سیستم ثبت‌کننده زمان (ساخت شرکت SHIVA Amvaj، مدل TCB-11YR، کشور ایران) از این سیستم جهت محاسبات برق مصرفی و هزینه آن استفاده شد، فشارسنج و pH متر (ساخت شرکت Lutron Electronic Enterprise، مدل 230 SD، کشور تایوان) می‌باشند که بر روی یک شاسی نصب شده‌اند. به منظور بررسی اثر همزن بر روی تولید گاز حاصل از کود درون مخازن، همزنی قرار گرفته است که هر ۸ ساعت به مدت ۲ دقیقه به وسیله تایمر برقی (ساخت شرکت Micro Max Electronic، مدل Micro-MT104، کشور ایران) و به صورت اتوماتیک روشن می‌شوند.

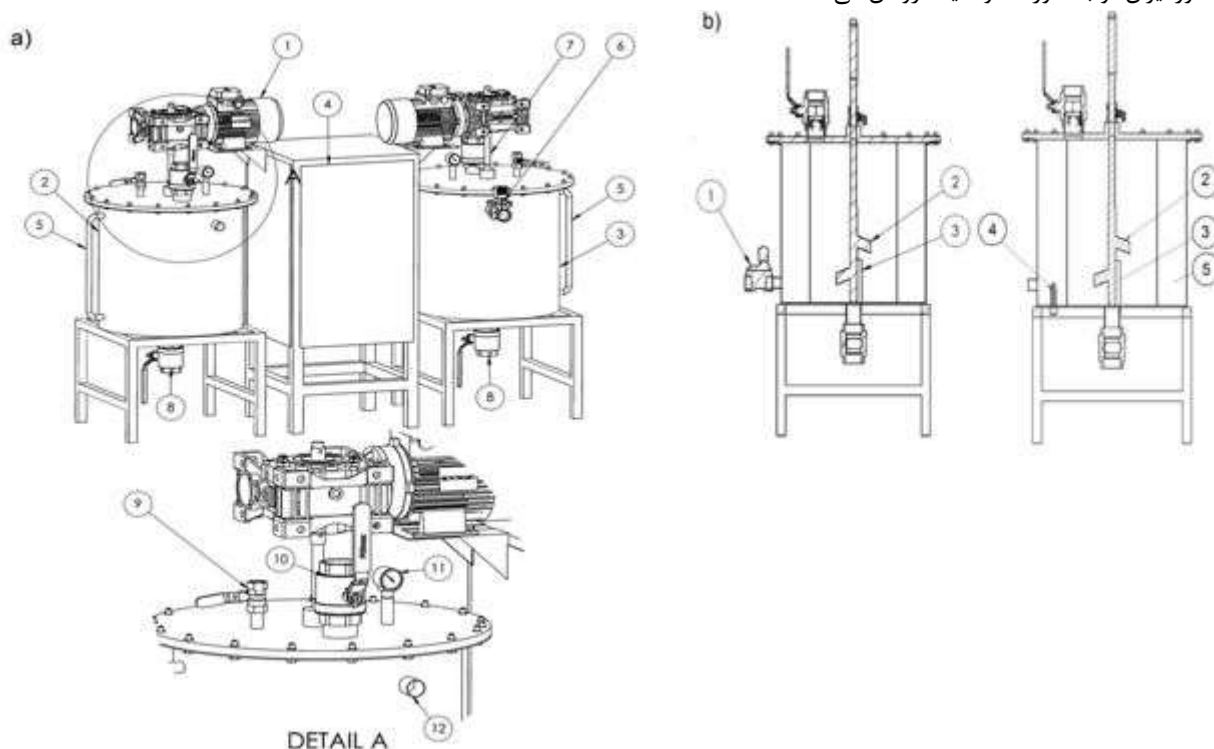


Figure 1: Schematic view of different sections of biogas production reactors, a) Overview that includes: 1) Electromotor and gearbox, 2) Element reactor tank, 3) solar reactor tank, 4) Electrical panel, 5) water screens, 6) Solenoid valve, 7) Agitator, 8) slurry output valve, 9) Biogas evacuation valve, 10) slurry influx valve, 11) Analog barometers, 12) tap water into the wall between the two reservoirs, b) Crushed views of tanks that include, 1) Solenoid valve for water entering, 2) Agitators, 3) Sampling tube, 4) Thermal element, 5) the wall between the two reservoirs (the water supply area for heat supply)

شکل ۱: نمای شماتیک از قسمت‌های مختلف رآکتورهای تولید بیوگاز، (a) نمای کلی که شامل: (۱) الکتروموتور و گیربکس، (۲) مخزن رآکتور المنتی، (۳) مخزن رآکتور خورشیدی، (۴) تابلو برق، (۵) نمایشگرهای آب، (۶) شیر برقی، (۷) همزن، (۸) شیر خروجی کودابه، (۹) شیر تخلیه بیوگاز، (۱۰) شیر ورود مواد، (۱۱) فشارسنج آنالوگ، (۱۲) شیر ورود آب به جداره بین دو مخزن، (b) نمای برش خورده مخازن که شامل، (۱) شیر برقی جهت



ورود آب، ۲) همزن‌ها، ۳) لوله نمونه‌گیری، ۴) المنت حرارتی، ۵) جداره بین دو مخزن (محل آب جهت تامین گرما)



Figure 2: Reactors made to produce biogas

شکل ۲: رآکتورهای ساخته شده جهت تولید بیوگاز

۲-۲- مراحل انجام آزمایش

در این مطالعه کود گوسفندی مورد استفاده از مزرعه عباس آباد واقع در دانشگاه بوعلی سینا تهیه گردید که در آنجا یک جیره غذایی ثابت به آنها داده می‌شد (جدول ۱). مقداری از این کود گوسفندی به همراه آب با نسبت ۱:۱ حجمی (Islam et al., 2009) جهت تست آب‌بندی و گاز بندی درون رآکتورها ریخته شد و بعد از اطمینان از نداشتن نشتی اقدام به انجام آزمایش‌ها گردید. به منظور بررسی عملکرد هاضم‌ها در شرایط دمایی مزوفیلیک (۳۷°C) پارامترهای مختلفی مانند pH، TS^۱ (مقدار جامد کل)، VS^۲ (مقدار جامد فرار)، فشار، مقدار بیوگاز و متان تولیدی در طی یک دوره ۵۵ روزه اندازه‌گیری شدند. روش اندازه‌گیری TS بر اساس استاندارد 2540 B (Total Solids Dried at 103–105°C) و روش اندازه‌گیری VS بر اساس استاندارد 2540 E (Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C) در آزمایشگاه گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. مقدار تقریبی ۱۵ گرم ماده جامد قبل از آماده سازی و وزن ظرف توسط ترازوی دیجیتال (ساخت شرکت AND، مدل GF-6000، کشور ژاپن) با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند و سپس در دستگاه آون (ساخت شرکت Memmert، مدل NLE 500، کشور آلمان) به مدت ۲۴ ساعت نگه داشته شدند بعد از گذشت ۲۴ ساعت به منظور هم دما شدن نمونه‌ها با محیط، نمونه‌ها در داخل دسیکاتور قرار داده شدند، سپس وزن گردیدند. این نمونه‌ها در داخل کوره حرارتی با دمای ۵۵۰ درجه به مدت ۴ ساعت گذاشته شدند مدت زمان‌ها با مقاله (Cestonaro et al., 2015) که از روش APHA استفاده شده است مطابقت دارد بعد از سرد شدن کوره با محیط، نمونه‌ها را داخل دسیکاتور قرار داده سپس وزن شدند. مقادیر TS و VS از رابطه‌های (۱) و (۲) بدست آمدند:

$$TS(\%) = \frac{W_2 - W_0}{W_1 - W_0} \times 100 \quad (1)$$

$$VS(\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_0} \times 100 \quad (2)$$

در روابط (۱) و (۲) داریم:

W_0 : وزن ظرف برحسب گرم

W_1 : وزن ظرف و نمونه قبل از خشک شدن در دمای ۱۰۵ °C برحسب گرم

W_2 : وزن نهایی ظرف و نمونه بعد از خشک شدن در دمای ۱۰۵ °C برحسب گرم

W_3 : وزن نهایی ظرف و نمونه بعد از خشک شدن در دمای ۵۵۰ °C برحسب گرم

مقدار کاهش TS و VS از رابطه‌های (۲-۳) و (۴-۲) محاسبه شدند (Xu et al., 2011):

^۱ Total Solids
^۲ volatile solids



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

$$TS_{\text{removed}}(\%) = \frac{TS_{\text{initial}} - TS_{\text{final}}}{TS_{\text{initial}}} \times 100 \quad (3) \quad VS_{\text{removed}}(\%) = \frac{VS_{\text{initial}} - VS_{\text{final}}}{VS_{\text{initial}}} \times 100 \quad (4)$$

در روابط (۳) و (۴) مقادیر TS_{initial} و TS_{final} به ترتیب نشان دهنده مقادیر ماده جامد کل کودابه قبل از ورود به رآکتور و بعد از خروج از رآکتور می‌باشند. همچنین مقادیر VS_{initial} و VS_{final} به ترتیب نشان دهنده مقادیر فرار کودابه قبل از ورود به رآکتور و بعد از خروج از رآکتور می‌باشند.

جدول ۱: نوع و مقدار مواد تشکیل دهنده خوراک گوسفند

Table 1: Type and amount of sheep feed ingredients

Row	Kind of feed	Amount (%)
1	Alfalfa	59.32
2	Straw	4.4
3	Soybean meal	5.46
4	barley	30.82

مقدار pH به وسیله دستگاه pH متر و میزان فشار بیوگاز تولید شده در رآکتورها توسط فشار سنج آنالوگ ۲/۵ بار اندازه‌گیری گردید. از گاز تولیدی با استفاده از کیسه نمونه برداری هوا، نمونه برداری انجام گردید و به شرکت گاز شهرستان همدان جهت اندازه‌گیری مقدار گاز تولیدی منتقل شد. به دلیل اینکه دستگاه موجود در اداره گاز همدان تنها قادر به اندازه‌گیری متان می‌باشد، بنابراین برای سنجش گازهای دیگر موجود در بیوگاز تولیدی از دستگاه Testo مدل t350 XL استفاده گردید.

در این طرح از آبگرمکن خورشیدی لوله خلاء نوع ترموسیفونی (ساخت شرکت فناوران انرژی‌های سبز آویسا، مدل FX100، کشور ایران) استفاده شد. زمانی که درجه حرارت آب درون دوجداره رآکتور کمتر از مقدار تعیین شده باشد شیر برقی‌های واقع در ورودی و خروجی آب باز شده و آب گرم داخل مخزن آب گرمکن خورشیدی جایگزین آب سرد موجود در رآکتور می‌شود تا زمانی که آب درون دوجداره رآکتور به درجه حرارت تعیین شده نرسیده باشد شیر برقی‌های نصب شده روی رآکتور باز می‌مانند. تصویر آبگرمکن خورشیدی مورد استفاده در این طرح در شکل (۳) نشان داده شده است.

۳-۲- روش ارزش فعلی خالص (NPV)

روشهای متعددی جهت ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها معرفی شده‌اند. یکی از مهمترین تکنیک‌های ارزیابی پروژه‌های اقتصادی، محاسبه «ارزش فعلی خالص» می‌باشد. در این روش با محاسبه‌ی ارزش فعلی یک فرآیند مالی و تبدیل ارزش آینده‌ی کلیه درآمدها و هزینه‌ها به ارزش فعلی در زمان حال یا مبدأ، به مقایسه درآمدها و هزینه‌ها می‌پردازند. معادله (۵) این فرآیند را برای هزینه‌های یک دوره مالی نمایش می‌دهد. در این معادله C_t و i به ترتیب هزینه سال t ام و نرخ تنزیل می‌باشند (Alizadeh et al., 2017).

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (5)$$

در این پژوهش جهت بررسی صرفه‌های اقتصادی دو نوع رآکتور خورشیدی و المنتی، یک سناریو طراحی شده است. در این سناریو از هزینه‌های ساخت و درآمد صرف نظر شده است و فقط هزینه آبگرمکن خورشیدی، هزینه المنت و برق مصرفی جهت بررسی اقتصادی لحاظ گردیدند.



Figure 3: Solar water heater



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



شکل ۳: آبگرمکن خورشیدی

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات مواد اولیه

تعدادی از خصوصیات کود گوسفندی مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲: خصوصیات کود گوسفندی

Table 2: Characteristics of sheep fertilizer

Parameter	Before loading in the reactor	After evacuating the reactor
pH	6.84	7.22
TS(%)	10.69	7.325
VS(%)	80.68	27.612
TS _{removed} (%)	-	31.48
VS _{removed} (%)	-	65.77

۳-۲- تغییرات مقادیر TS و VS در طول فرآیند هضم بی‌هوازی

با توجه به جدول ۱ مقادیر TS و VS در طی دوره آزمایش کاهش می‌یابند. Tampio و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که کاهش مقادیر TS و VS به دلیل این است که ذرات جامد مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده‌اند و به حالت محلول در شیرابه تبدیل می‌شوند. همچنین ذرات جامد مواد آلی در طی زمان ماند در راکتور به ترکیبات محلول آلی تبدیل می‌گردند که نشان دهنده مؤثر بودن مرحله هیدرولیز و تبدیل بیشتر ذرات مواد جامد آلی به ترکیبات محلول می‌باشد. ترکیبات محلول توسط میکروارگانیسم‌ها مصرف می‌گردند و در نهایت منجر به تولید گاز متان می‌شوند. همچنین تجزیه ذرات جامد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها در طول زمان ماند موجب افزایش مقادیر TS_{removed} و VS_{removed} می‌گردد.

۳-۳- تغییرات مقادیر pH در طول فرآیند هضم بی‌هوازی

pH عامل مهمی در رشد میکروارگانیسم‌ها و معیار تعیین میزان پایداری هاضم می‌باشد. pH یک راکتور بی‌هوازی با فعالیت متابولیکی میکروارگانیسم‌ها که منجر به تولید CO₂، اسیدهای چرب فرار و آمونیاک می‌شود تغییر می‌کند. Sreekrishnan و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که عدم تعادل در فرآیند هضم بی‌هوازی باعث تجمع اسیدهای چرب فرار و کاهش pH می‌شود که اثر بازدارندگی بر تجزیه بیولوژیکی دارد. روزانه مقدار pH اندازه‌گیری گردید و نتایج نشان داد که در همه آزمایش‌ها در طی زمان ماند در دمای ۳۷°C ابتدا مقدار pH کاهش و سپس مقدار pH در طی زمان ماند افزایش یافت (شکل ۴). این مقدار کاهش pH در ابتدای آزمایش‌ها را می‌توان به تجزیه مولکول‌های بزرگ و تبدیل به ترکیبات اسیدی نسبت داد که موجب شتاب دهی به مرحله اسیدسازی فرآیند هضم بی‌هوازی می‌گردد. همچنین افزایش pH به همراه افزایش تولید بیوگاز به دلیل مصرف VFAs و تولید حالت قلیایی توسط متانوژن‌ها می‌باشد (Lee et al., 2009).

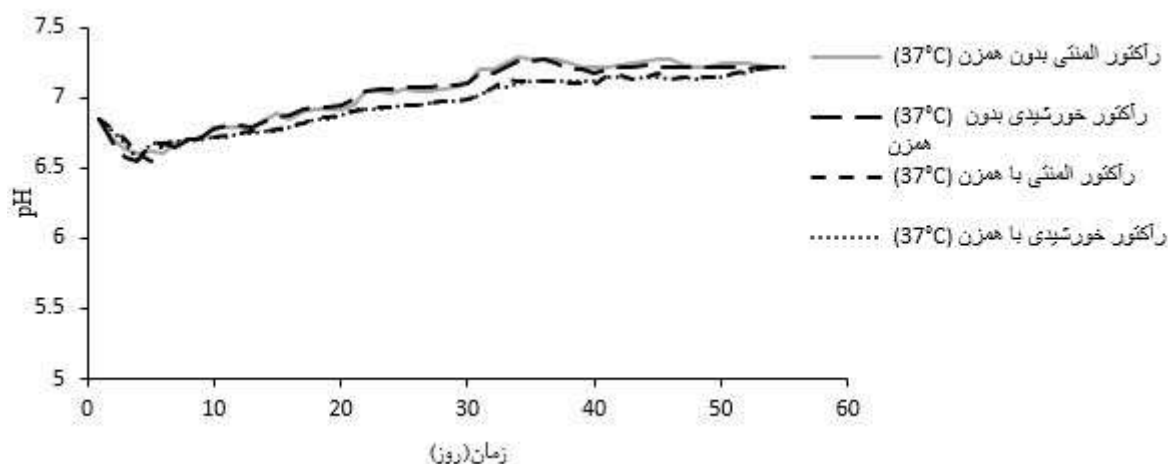


Figure 4: Changes in pH values

شکل ۴: تغییرات مقادیر pH

۳-۴- تولید روزانه بیوگاز و متان از فرآیند هضم بی‌هوازی در دمای ۳۷°C با همزن و بدون همزن

تولید روزانه بیوگاز و متان از فرآیند هضم بی‌هوازی در مدت ۵۵ روز در دمای ۳۷°C در راکتورهای خورشیدی و المنتی هنگام استفاده از همزن



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



و بدون همزن در شکل (۵) ارائه شده است. همان طور که در شکل (۵) قسمت (الف) مشخص شده است، مقدار تولید روزانه بیوگاز در راکتورهای خورشیدی و المنتی با همزن از ابتدای آزمایش پس از گذشت ۲۳ روز به ترتیب به مقادیر ۳۷/۶ و ۳۷/۸۵ لیتر در روز افزایش و سپس با گذشت زمان ماند ۵۵ روز کاهش می‌یابند. همچنین مقدار تولید روزانه بیوگاز در راکتورهای خورشیدی و المنتی بدون همزن از ابتدای آزمایش تا روز بیست و ششم به ترتیب به مقادیر ۲۸/۴ و ۲۸/۴ لیتر در روز افزایش و سپس روند کاهشی را تا زمان ماند ۵۵ روز طی می‌کنند و به مقادیر صفر می‌رسند. بر اساس شکل (۵) قسمت (ب) مقدار تولید روزانه گاز متان در راکتورهای خورشیدی و المنتی با همزن از ابتدای آزمایش پس از گذشت ۲۳ روز به ترتیب به مقادیر ۲۵/۶۴۳ و ۲۵/۸۱۴ لیتر در روز افزایش و سپس کاهش می‌یابند. همچنین مقدار تولید روزانه گاز متان در راکتورهای خورشیدی و المنتی بدون همزن از ابتدای آزمایش تا روز بیست و ششم به ترتیب به مقادیر ۱۹/۳۶۹ و ۱۹/۳۶۹ لیتر در روز افزایش و سپس روند کاهشی را طی می‌کنند و به مقادیر صفر می‌رسند.

بر اساس شکل (۵) مولکول‌های بزرگ و پیچیده به مولکول‌های کوچک‌تر و ساده‌تر تبدیل می‌شوند و هیدرولیز پسماندها آسان‌تر می‌باشد؛ بنابراین در ابتدای همه آزمایش‌ها، ترکیبات مواد آلی به مقدار زیادی در دسترس تمام میکروارگانیسم‌ها می‌باشند که باعث افزایش تولید بیوگاز در فرآیند هضم بی‌هوازی می‌گردد؛ به عبارت دیگر در طول مدت زمان ماند، ترکیبات آلی جامد تقریباً به طور کامل به ترکیبات محلول تبدیل می‌گردند که در نهایت موجب افزایش تولید بیوگاز می‌شود (Haji Agha Alizadeh et al., 2016).

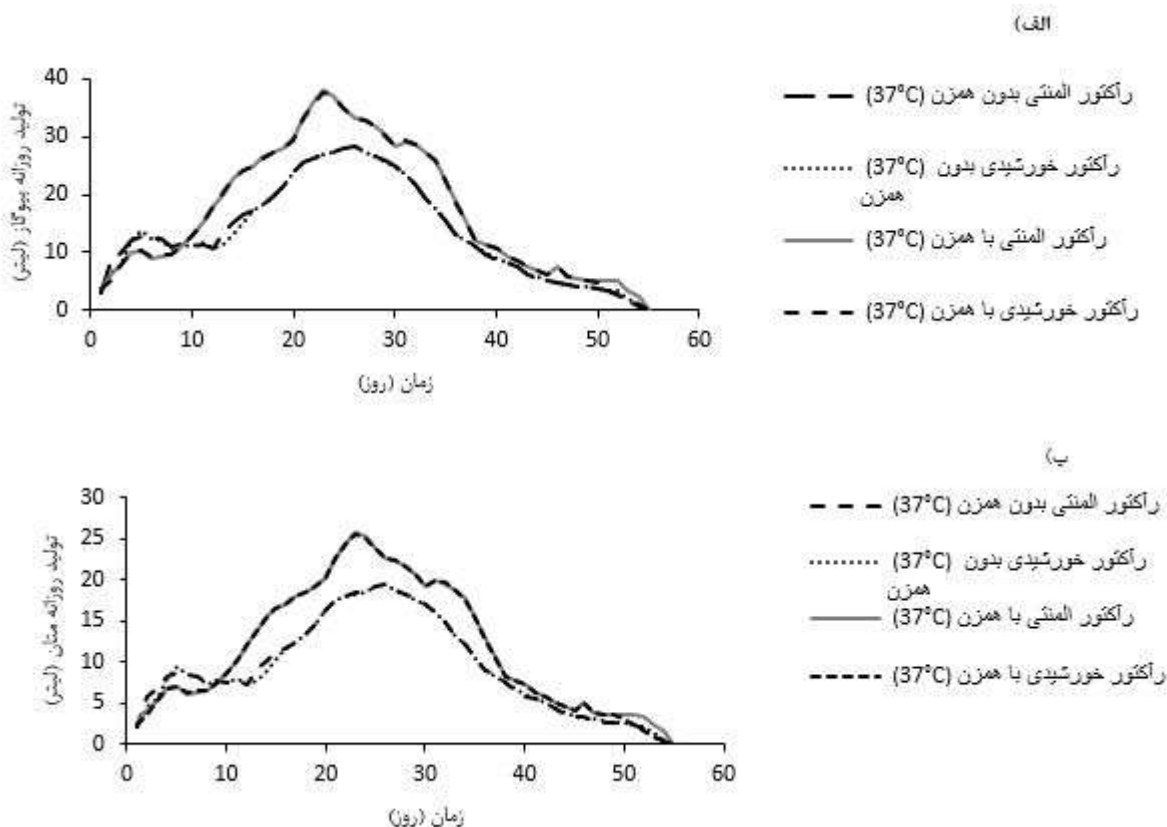


Figure 5: a) daily production of biogas, b) Daily production of methane gas, at 37 °C with agitator and non-agitating in two solar and element reactors

شکل ۵: الف) تولید روزانه بیوگاز، ب) تولید روزانه گاز متان در دمای ۳۷°C با همزن و بدون همزن در دو راکتور المنتی و خورشیدی

۵-۳- تولید تجمعی بیوگاز و گاز متان از فرآیند هضم بی‌هوازی در دمای ۳۷°C با همزن و بدون همزن

تولید تجمعی بیوگاز و متان از فرآیند هضم بی‌هوازی در مدت ۵۵ روز در دمای ۳۷°C در راکتورهای خورشیدی و المنتی هنگام استفاده از همزن و بدون همزن در شکل (۶) ارائه شده است. همان طور که در شکل (۶) قسمت (الف) مشخص شده است، مقدار تولید تجمعی بیوگاز در راکتورهای خورشیدی و المنتی با همزن به ترتیب ۹۳۶/۱۴ و ۹۴۷/۰۵ لیتر و مقدار تولید تجمعی بیوگاز در راکتورهای خورشیدی و المنتی بدون همزن به ترتیب ۷۴۵/۳۵ و ۷۵۲/۸۶ لیتر به دست آمدند.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



BuAli Sina University

بر اساس شکل (۶) قسمت (ب) مقدار تولید تجمعی گاز متان در رآکتورهای خورشیدی و المنتی با همزن به ترتیب ۶۳۸/۴۵ و ۶۴۵/۸۹ لیتر و مقدار تولید تجمعی گاز متان در رآکتورهای خورشیدی و المنتی بدون همزن به ترتیب ۵۰۸/۳۳ و ۵۱۳/۴۵ لیتر به دست آمدند.

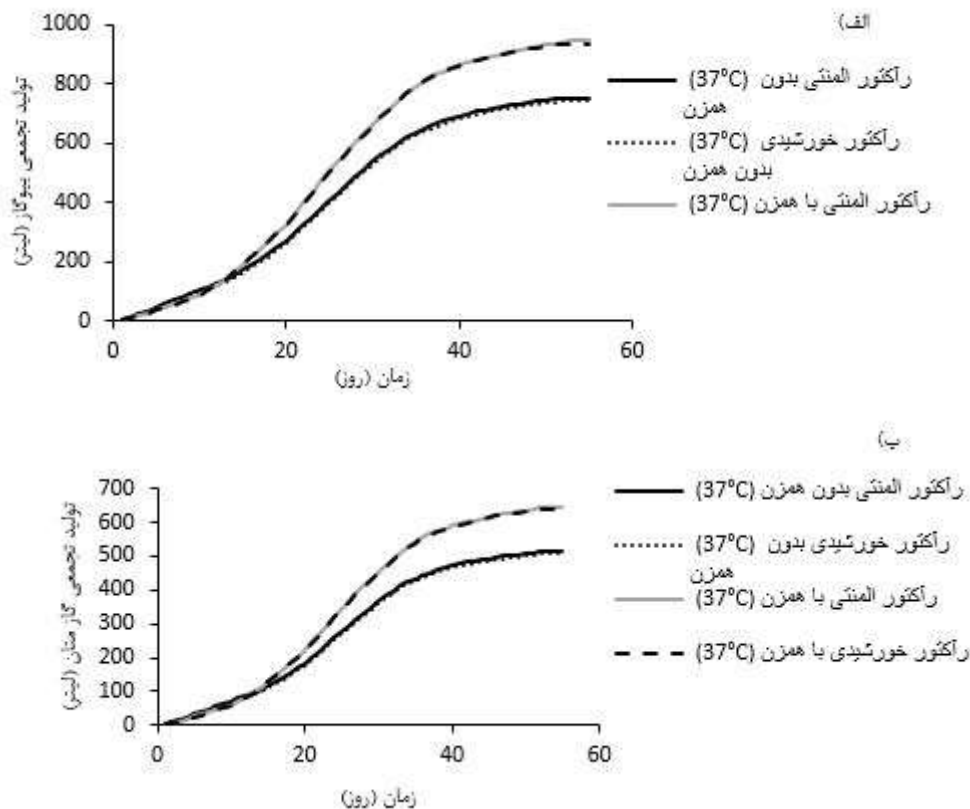


Figure 6: (a) cumulative production of biogas; (b) cumulative production of methane gas, at 37 °C with agitator and non-agitating in two solar and element reactors

شکل ۶: الف) تولید تجمعی بیوگاز، ب) تولید تجمعی گاز متان در دمای ۳۷°C با همزن و بدون همزن در دو رآکتور المنتی و خورشیدی



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



هم زدن مواد درون رآکتور برای ایجاد یکنواختی محیط هضم و محیط رشد باکتری‌ها، لازم و ضروری می‌باشد. یکنواخت بودن محلول داخل رآکتور، باعث افزایش تولید گاز و افزایش کارایی رآکتورهای بیوگاز می‌گردد (Kaparaju et al., 2008). نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از همزن بیوگاز بیشتری نسبت به زمانی که از همزن استفاده نمی‌شود تولید می‌کند. نتایج تحقیق با نتایج Lindmark و همکاران (۲۰۱۴) یکسان می‌باشد.

۳-۶- مقایسه اقتصادی رآکتور خورشیدی با المنتی

به دلیل اینکه هزینه ساخت دو رآکتور یکسان می‌باشد از آن صرف نظر می‌شود و هزینه‌های خرید و برق مصرفی لحاظ می‌گردد. جهت مقایسه اقتصادی دو نوع رآکتور خورشیدی و المنتی دو سناریو مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

سناریو اول

در این سناریو فرض می‌کنیم هزینه برق مصرفی و قیمت المنت حرارتی در طول ۱۲ سال همواره ثابت می‌ماند. فرضیات و نتایج به دست آمده از آزمایشات در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: فرضیات

Table 3: Assumptions

Assumptions and results		amount
1	The cost of solar water heater (Rial)	19000000
2	The cost of heating element (Rial)	650000
3	The cost of electricity (Rial)	861588
4	Shelf life value of solar water heater (Rial)	2000000
5	Cost per kWh of electricity consumed (Rial)	1950
6	عمر مفید آبگرمکن خورشیدی (سال)	12
7	عمر مفید المنت حرارتی (سال)	2
8	Discount rate (percent)	15
9	Inflation rate (percent)	10

با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول (۳) هزینه‌های دو نوع رآکتور محاسبه گردید. جدول (۴) محاسبات این بخش در طی ۱۲ سال را نمایش می‌دهد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که صرفه‌ترین رآکتور، رآکتور خورشیدی می‌باشد زیرا هزینه برق ندارد و فقط یک هزینه ثابت اولیه را دارا می‌باشد در حالی که هنگام استفاده از المنت حرارتی علاوه بر هزینه خرید المنت باید هزینه برق مصرفی را نیز پرداخت کرد که با توجه به سناریو فوق مقرون به صرفه نمی‌باشد.

جدول ۴: نتایج به دست آمده از سناریو اول

Table 4: Results from the first scenario

Net present value of Total Costs	Electricity costs after 12 years	Price after 12 years	device type
11116650	8018295	3098355	Heating element
8886330	-	8886330	Solar Water Heater

سناریو دوم

در این سناریو فرض می‌کنیم هزینه برق مصرفی و قیمت المنت حرارتی در طول ۱۲ سال هر سال به میزان ۵ درصد افزایش می‌یابند. با توجه به اطلاعات موجود در جدول (۳) محاسبات انجام شده در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵: نتایج به دست آمده از سناریو دوم

Table 5: Results from the second scenario

Net present value of Total Costs	Electricity costs after 12 years	Price after 12 years	device type
14239056	10339056	3900000	Heating element
8886330	-	8886330	Solar Water Heater

با توجه به جدول (۵) در این سناریو نیز هزینه رآکتور المنتی نسبت به رآکتور کوپل شده با آبگرمکن خورشیدی بیشتر می‌باشد که این نشان می‌دهد استفاده از آبگرمکن خورشیدی به صرفه‌تر از المنت حرارتی می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش فرآیند تولید بیوگاز از کود گوسفند در دمای 37°C در دو رآکتور ساخته شده‌ی خورشیدی و المنتی با همزن و بدون همزن مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین این دو رآکتور از لحاظ اقتصادی بررسی شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که حجم گاز تولیدی فضولات گوسفند در دمای 37°C هنگام استفاده از همزن بیشتر است از حجم گاز نسبت به زمانی که از همزن استفاده نمی‌شود. همچنین بر اساس نتایج استفاده از آبگرمکن خورشیدی به صرفه‌تر از المنت حرارتی می‌باشد.



- Alizadeh, E., Rezaei Firouzjaei, M., Hajipour, S., & Khorshidian, M. (2017). *Economic evaluation of fuel cell, battery, hybrid and internal combustion technology in passenger cars from consumers' point of view*, Fourth International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, University of Tehran Environmental School. (Persian)
- Alizadeh, H.H., Seifi, R., & Radmard, S.A. (2016). Evaluation of the anaerobic digestion of kitchen waste by thermal pretreatment in a batch leach bed reactor with down flow and the kinetics of methane yields. *Biofuels*, pp.1-9.
- Alvarez, R., Villca, S., & Lidén, G. (2006). Biogas production from llama and cow manure at high altitude. *Biomass and Bioenergy*, 30(1), pp.66-75.
- Cestonaro, T., de Mendonça Costa, M.S.S., de Mendonça Costa, L.A., Rozatti, M.A.T., Pereira, D.C., Lorin, H.E.F., & Carneiro, L.J. (2015). The anaerobic co-digestion of sheep bedding and $\geq 50\%$ cattle manure increases biogas production and improves biofertilizer quality. *Waste Management*, 46, pp.612-618.
- Dioha, I.J., Ikeme, C.H., Nafi'u, T., Soba, N.I., & Yusuf, M.B.S. (2013). Effect of carbon to nitrogen ratio on biogas production. *International Research Journal of Natural Sciences*, 1(3), pp.1-10.
- Islam, M., Salam, B., & Mohajan, A. (2009). Generation of biogas from anaerobic digestion of vegetable waste. ICME-2009), Chittagong, Bangladesh
- Joshua, O.S., Ejura, G.J., Bako, I.C., Gbaja, I.S., & Yusuf, Y.I. (2014). Fundamental Principles of Biogas Product. vol, 2, pp.47-50.
- Kaparaju, P., Buendia, I., Ellegaard, L., & Angelidakia, I. (2008). Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: lab-scale and pilot-scale studies. *Bioresource technology*, 99(11), pp.4919-4928.
- Lee, D.H., Behera, S.K., Kim, J.W., & Park, H.S. (2009). Methane production potential of leachate generated from Korean food waste recycling facilities: a lab-scale study. *Waste Management*, 29(2), pp.876-882.
- Lindmark, J., Eriksson, P., & Thorin, E. (2014). The effects of different mixing intensities during anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste. *Waste management*, 34(8), pp.1391-1397.
- Sohrabi, A., & Vaisi, F. (2014). *The Effect of Reservoir Volume on the Efficiency of Vacuum Tubular Solar Collectors*, National Conference on Energy Consumption Optimization in Science and Engineering, Babol, Alzahra Faculty of Engineering, Babol. (Persian)
- Sreekrishnan, T.R., Kohli, S., & Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. *Bioresource technology*, 95(1), pp.1-10.
- Tampio, E., Ervasti, S., Paavola, T., Heaven, S., Banks, C., & Rintala, J. (2014). Anaerobic digestion of autoclaved and untreated food waste. *Waste Management*, 34(2), pp.370-377.
- Wei, S., Zhang, H., Cai, X., Xu, J., Fang, J., & Liu, H. (2014). Psychrophilic anaerobic co-digestion of highland barley straw with two animal manures at high altitude for enhancing biogas production. *Energy Conversion and Management*, 88, pp.40-48.
- Xu, S.Y., Lam, H.P., Karthikeyan, O.P., & Wong, J.W. (2011). Optimization of food waste hydrolysis in leach bed coupled with methanogenic reactor: effect of pH and bulking agent. *Bioresource technology*, 102(4), pp.3702-3708.