پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۲، شماره ۲۴، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، از صفحه ۸۱ تا ۹۰

Dor: 20.1001.1.20089597.1400.12.24.7.9

پتانسیل‌سنجی و ارزیابی توان تولید بیوگاز از زیست توده فضولات دامی (نمونه موردی: گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر)

غلامرضا نبی بیدهندی[۱]، علی دریابیگی زند*[۲]، مریم ربیعی ابیانه[۳]

۱ استاد، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران
۲ استادیار، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران
۳ کاندیدای دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست، گروه مهندسی محیط‌زیست، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، کیش، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۷؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷)

چکیده

مطالعه حاضر با هدف پتانسیل‌سنجی و ارزیابی توان تولید بیوگاز از زیست توده فضولات دامی در گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر انجام گرفت. پس از بررسی تعداد و ظرفیت گاوداری‌های صنعتی فعال، میزان تولید فضولات در گروه‌های مختلف دام برآورد و پتانسیل تولید بیوگاز، انرژی حرارتی و برق قابل استحصال از فضولات دامی، محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در پژوهش حاضر به بررسی تاثیر یکی از عوامل محیطی بسیار مهم یعنی درجه حرارت بر میزان تولید متان در فرآیند هضم بی‌هوازی فضولات دامی پرداخته شده است. مطابق یافته‌ها، گروه‌های مختلف دام در گاوداری‌های صنعتی فعال استان بوشهر در مجموع ۴۲/۵ هزار تن فضولات در سال تولید می‌کنند. بیوگاز قابل تولید از فضولات ۱/۹۷ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. این مقدار بیوگاز تولید شده توانایی فراهم آوردن انرژی حرارتی به میزان ۱۱/۴۴ میلیون کیلووات ساعت در سال را دارد. همچنین، پتانسیل تولید برق از بیوگاز برابر با ۳/۵۵ میلیون کیلووات ساعت در سال است که می‌تواند ۰/۰۵ درصد از انرژی الکتریکی مصرفی سالیانه در بوشهر را جبران کند. بررسی تاثیر درجه حرارت بر محتوای متان موجود در بیوگاز مشخص کرد که درجه حرارت در فرآیند هضم بی‌هوازی فضولات دامی تاثیر بسزایی دارد. بطوریکه بیشترین میزان تولید متان برابر با ۲/۴ میلیون نرمال لیتر در هاضم در درجه حرارت ۳۳/۹ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید و با کاهش درجه حرارت تا ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد، تولید متان تا حد ۹/۴۹ هزار نرمال لیتر در هاضم کاهش یافت.

کلید واژه‌ها: انرژی تجدیدپذیر، بیوگاز، هضم بی‌هوازی، فضولات دامی، بوشهر

*نویسنده مسئول: Email: adzand@ut.ac.ir

سرآغاز

تقاضای انرژی در جهان به دلایلی مانند افزایش جمعیت و پیشرفت‌های تکنولوژیکی، به سرعت رو به رشد است. محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و آلودگی محیط‌زیست، ضرورت کاهش مصرف انرژی فسیلی و استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی را نمایان می‌دارد (Achinas & Euverink, 2016). یکی از گزینه‌های انرژی تجدیدپذیر، بیوگاز است که استفاده از آن در بسیاری از کشورها رو به افزایش است. بیوگاز از طریق تجزیه زایدات آلی توسط باکتری‌ها در شرایط بی‌هوازی تولید می‌شود. در فرآیند هضم بی‌هوازی، مولکول‌های آلی درشت زنجیر تحت تاثیر میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی در غیاب اکسیژن شکسته شده و به مولکول‌های ساده‌تر تبدیل می‌شوند (Abdeshahian et al., 2016). حاصل نهایی این فرآیند یک مخلوط گازی قابل اشتعال است که بیوگاز نام دارد. این گاز شامل ۷۰-۶۰ درصد متان و ۴۰-۳۰ درصد دی اکسید کربن به همراه ناخالصی‌های جزیی دیگر است (Ilaboya et al., 2010). این گاز بی‌رنگ و بی‌بو بوده و می‌تواند به طور مستقیم برای تولید برق، حرارت، روشنایی و انرژی مکانیکی به کار رود (Teymoori Hamzeh-Kolaei et al., 2018). مواد آلی مانند زایدات حیوانی، انسانی و گیاهی قابلیت تجزیه‌پذیری زیستی دارند و می‌توانند تحت شرایط خاص بدون اکسیژن تخمیر شده و به بیوگاز تبدیل شوند (Cu et al., 2015; Zareei, 2018).

فضولات حاصل از صنایع دامداری و دامپروری یکی از منابع گسترده و مقرون به صرفه برای تولید بیوگاز در پروسه بی‌هوازی هستند (Ch'ng et al., 2014). فضولات دامی جزو زایدات آلی هستند که اگر به طور مناسب مدیریت نشوند برای محیط‌زیست خطرناک خواهند بود (Plume et al., 2012). این فضولات حیوانی شامل بقایای برخی از مواد مضر مانند هورمون‌های رشد، آنتی‌بیوتیک‌ها و فلزات سنگین بوده و دفع آنها در طبیعت، آلودگی منابع هوا، خاک و آب و بروز بیماری‌های انسانی را در پی دارد (Meyer et al., 2018). پردازش این فضولات در پروسه هضم بی‌هوازی نتایج سودمندی شامل کاهش آلودگی محیط‌زیست از طریق مدیریت مناسب فضولات، کاهش بوهای نامطبوع و پاتوژن‌های میکروبی و تولید پایدار منبع انرژی بیوگاز را به همراه خواهد داشت (Gebrezgabher et al., 2010). علاوه بر این، تبدیل فضولات به کود غنی برای بهبود رشد محصول در زمین‌های زراعی مطلوب است (De-Vries et al., 2012).

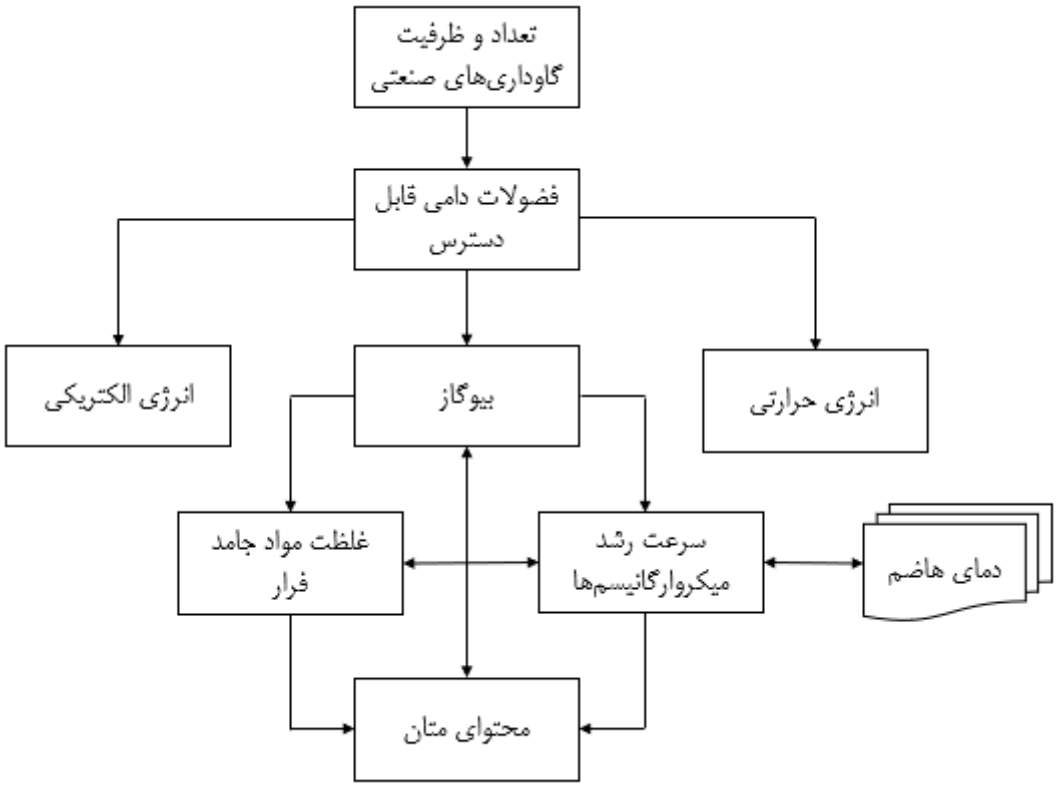
تاکنون مطالعات متعددی به منظور پتانسیل سنجی تولید بیوگاز از فضولات دامی، به عنوان منبع عظیمی از مواد اولیه برای تولید انرژی، صورت گرفته است. به عنوان مثال (Abdeshahian et al., 2016) به بررسی تولید بیوگاز از فضولات دامی در سه منطقه از کشور مالزی پرداختند. براساس نتایج تحقیق، فضولات دامی تولیدی در این مناطق به میزان ۷.۳۵ میلیون تن در سال، توانایی تولید ۵۳۵/۱۶ میلیون متر مکعب بیوگاز در سال را دارند. (Plume et al., 2012) پتانسیل تولید بیوگاز از گروه‌های مختلف دامی را در منطقه Latgale، لتونی مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش پتانسیل تولید بیوگاز در مجموع ۱۱/۲ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده که سهم دام گاوی از این میزان برابر با ۷۷/۶ درصد بوده است. مطالعات مشابه دیگری با هدف برآورد پتانسیل انرژی بیوگاز از فضولات دامی در فنلاند، سوئد و دانمارک صورت گرفته است. نتایج این مطالعات حاکی از آن بوده که در کشورهای مذکور پتانسیل تولید بیوگاز به ترتیب به میزان ۳۳۲/۹، ۳۵۲ و ۴۰۲/۱ میلیون متر مکعب در سال وجود دارد (Höhn et al., 2014; Scarlat et al., 2018). بررسی پتانسیل استحصال بیوگاز از فضولات دامی در استان کردستان نشان داده که مقدار کل فضولات دامی قابل دسترس به منظور تولید بیوگاز در این استان ۸۴۷ هزار تن است که بیوگاز قابل تولید از آن ۱۰۷/۲۴ میلیون متر مکعب می‌باشد (Zareei & Maleki, 2017). (Moradi et al., 2018) پتانسیل‌سنجی سالیانه تولید بیوگاز از فضولات گاوی و گوسفندی در شهرستان ایوان غرب، استان ایلام را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، میانگین حجم کل بیوگاز تولیدی سالیانه از فضولات دامی قابل جمع‌آوری در هر خانوار برابر با ۹/۳۴ هزار متر مکعب برآورد گردید.

هدف از انجام این مطالعه، پتانسیل‌سنجی تولید بیوگاز از فضولات دامی با استفاده از فرآیند هضم بی‌هوازی در گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر می‌باشد. بدین منظور پس از بررسی تعداد و ظرفیت گاوداری‌های صنعتی فعال، میزان تولید فضولات در گروه‌های مختلف دام برآورد و پتانسیل تولید بیوگاز، انرژی حرارتی و برق قابل استحصال از فضولات دامی، محاسبه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین در پژوهش حاضر، به بررسی تاثیر یکی از عوامل محیطی بسیار مهم یعنی درجه

حرارت، بر میزان تولید متان در فرآیند هضم بی‌هوازی فضولات دامی، پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

مراحل روش کار در پژوهش حاضر مطابق آنچه در شکل (۱) قابل مشاهده است، به تفصیل در زیر بخش‌های مربوطه که در ذیل آمده توضیح داده شده است.



شکل (۱): نمودار مراحل روش کار در پژوهش حاضر

- **تعداد و ظرفیت گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر**

براساس نتایج حاصل از آخرین آمارگیری گاوداری‌های صنعتی کشور در سال ۱۳۹۵، تعداد کل گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر ۲۸۸ واحد با ظرفیت ۳۴۱۱۷ راس می‌باشد. از این تعداد، ۵۸ گاوداری صنعتی با ظرفیت کل ۶۶۹۴ راس مربوط به فعالیت پرورش گاو شیری و تعداد ۲۳۰ گاوداری صنعتی با ظرفیت کل ۲۷۴۲۲ راس مربوط به فعالیت پرواربندی گاو و گوساله است. تعداد ۲۱۷ گاوداری صنعتی در این استان فعال و بقیه غیرفعال می‌باشند (۷۱ واحد). تعداد گاو و گوساله موجود در گاوداری‌های صنعتی فعال بوشهر ۹۵۲۵ راس است که از این تعداد ۷۳/۷۸ درصد گاو و گوساله آمیخته، ۵ درصد گاو و گوساله اصیل و بقیه گاو و گوساله‌های بومی هستند (Statistical Centre of Iran, 2017). تعداد گاو و گوساله در گاوداری‌های صنعتی فعال بر حسب نژاد در جدول (۱) قابل مشاهده است.

جدول (۱): تعداد گاو و گوساله گاوداری‌های صنعتی فعال بر حسب نژاد در استان بوشهر
(Statistical Centre of Iran, 2017)

نژاد		تعداد
اصیل	هلشتاین	۴۴۶
	سایر نژادها	۳۱
آمیخته (دو رگه)	هلشتاین	۵۱۴۰
	سایر نژادها	۱۸۸۸
بومی		۲۰۲۰
جمع		۹۵۲۵

• محاسبه میزان تولید فضولات دامی

میزان تولید فضولات دامی از عوامل مختلفی مانند نوع حیوان، روش‌های تغذیه، اندازه بدن، نوع پرورش و زمان نگهداری در روز یا شب تاثیر می‌پذیرد (Abdeshahian et al., 2016; Onurbas-Avcioglu & Turker, 2012). میزان فضولات تولیدی از گروه‌های مختلف دام براساس معادله (۱) قابل محاسبه است (Plume et al., 2012).

$$M = \sum_{n=1}^{i} N_i * M_i \qquad (۱)$$

در معادله (۱)، M نشان‌دهنده فضولات دامی تولید شده در سال (t)، n تعداد جمعیت دام در گروه‌های مشخص، N_i میانگین تعداد دام حاضر در یک سال در گروه i^{th} دام و m_i فضولات تولیدی هر راس دام در سال در گروه i^{th} دام (t) می‌باشد.

• پتانسیل تولید بیوگاز، انرژی حرارتی و برق قابل استحصال از فضولات دامی

میزان تولید بیوگاز از فضولات دامی، انرژی حرارتی قابل استخراج از زیست توده فضولات و پتانسیل تولید برق از بیوگاز حاصله، به ترتیب مطابق معادلات (۵-۲) تعیین می‌گردد (Plume et al., 2012; Abdeshahian et al., 2016).

$$V_B = \sum_{n}^{i} N_i * m_i * K_{DMi} * K_{OMi} * v_{Bi} \qquad (۲)$$

در معادله (۲) V_B نشانگر حجم بیوگاز قابل استحصال از زیست توده فضولات در سال (m^3)، K_{DMi} محتوای ماده خشک در فضولات تولیدی توسط گروه i^{th} دام، K_{OMi} محتوای ماده آلی در ماده خشک فضولات تولیدی توسط گروه i^{th} دام و v_{Bi} خروجی بیوگاز ویژه از ماده آلی فضولات برای گروه i^{th} دام (m^3/t) می‌باشد.

$$E_B = \sum_{n=1}^{i} N_i * m_i * K_{DMi} * K_{OMi} * v_{Bi} * e_{Bi} \qquad (۳)$$

در معادله (۳) E_B نشانگر پتانسیل انرژی حرارتی قابل استحصال از بیوگاز تولیدی از فضولات (kWh) و e_{Bi} محتوای انرژی حرارتی ویژه از بیوگاز بدست آمده از فضولات تولیدی توسط گروه i^{th} دام (kWh/m^3) است.

$$e_{biogas} = E_{biogas} * n \qquad (۴)$$

در معادله (۴) e_{biogas} نشان‌دهنده میزان برق تولیدی از بیوگاز (kWh/year)، E_{biogas} انرژی خام غیر قابل تبدیل در بیوگاز (kWh/year) و n بازده کلی تبدیل بیوگاز به برق (٪) است. انرژی خام غیر قابل تبدیل در بیوگاز (E_{biogas}) از طریق معادله زیر بدست می‌آید.

$$E_{biogas} = Energycontent_{biogas} * m_{biogas} \qquad (۵)$$

در معادله (۵) $Energy\ content_{biogas}$ نشان‌دهنده ارزش گرمایی بیوگاز (kWh/m^3) و m_{biogas} میزان بیوگاز تولیدی در سال (m^3/year) است. میزان $Energy\ content_{biogas}$ با مدنظر قرار دادن این نکته که ارزش حرارتی بیوگاز ۲۱/۵ مگاژول بر مترمکعب بیوگاز است، برابر با ۶ kWh/m^3 در نظر گرفته می‌شود (Hosseini & Wahid, 2014).

• محتوای متان موجود در بیوگاز تولیدی از فضولات دامی

میزان محتوای متان در بیوگاز تولید شده از فضولات دامی با توجه به منبع فضولات متفاوت می‌باشد. در مطالعات گوناگون صورت گرفته به طور میانگین محتوای متان در بیوگاز به دست آمده از پروسه هضم بی‌هوازی فضولات دامی بین ۵۰ تا ۷۰ درصد گزارش شده است (Nasir et al., 2012; Ounnar et al., 2012). (Hashimoto et al., 1981) برای محاسبه میزان تولید متان حاصل از فضولات دامی معادله (۶) را ارایه کردند که عموماً به عنوان مدل مرجع برای برآورد محتوای متان موجود در بیوگاز تولیدی از فضولات دامی به کار می‌رود.

$$\gamma = \frac{\beta_0 * S_0}{HRT}\left(1 - \frac{K}{HRT * \mu m - 1 + K}\right) \qquad (۶)$$

در معادله (۶) γبرابر با بازده متان ($NLCH_4digester^{-1}day^{-1}$)، β_0 میزان پتانسیل متان بیوشیمیایی از سوبسترا خاص ($NL\ CH_4\ kg\ VS^{-1}$)، S_0 غلظت مواد جامد فرار ($g\ kg^{-1}$)، HTR زمان نگهداری هیدرولیک (۳۰ روز)، K ثابت کینتیکی ($K = 0.6 + 0.0206 * Exp[0.051 * S_0]$) و μm حداکثر سرعت رشد ویژه (day^{-1})، ($\mu m = 0.013T - 0.129$)، برای T (درجه حرارت) بین ۲۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. Rennuit & Sommer (2013) به منظور محاسبه بازده متان برای هاضم بیوگاز معادله Hashimoto را بسط دادند. معادله بسط داده شده تفاوت در رژیم‌های درجه حرارت پایین و بالا را

در نظر می‌گیرد. فرض بر این است که میانگین ماهانه دمای هوا نمایانگر میانگین ماهانه دمای هوای هاضم است (Perrigault et al., 2012). در این صورت محتوای متان تولیدی برای درجه حرارت بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد توسط معادله (۷) و برای درجه حرارت بین ۲۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد توسط معادله (۸) محاسبه می‌شود.

$$\gamma_{winter}(HRT,\mu m,TD)=\beta_0*\left[1-\frac{K}{\mu m(TD)*\left(HRT+\frac{1}{\mu m(TD)}\right)-1+K}\right] \quad (۷)$$

$$\gamma_{summer}(HRT,\mu m,TD)=\beta_0*\left[1-\frac{K}{\mu m(TD)*HRT-1+K}\right] \quad (۸)$$

در معادلات (۸-۷) پارامتر $\mu m(Td)$ برابر با حداکثر سرعت رشد خاص میکروارگانیسم‌ها در دمای هاضم در بازه دمایی ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد (day^{-1})، ($\mu m[Td]=0.0039e^{0.1188*(Td)}$) و Td دمای هاضم است که برابر با میانگین دمای هوای ماهانه بر حسب درجه سانتی‌گراد در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شود.

مقدار پتانسیل متان بیوشیمیایی (β_0 در معادله Hashimoto) از انواع مختلف زیست توده را می‌توان براساس ترکیب شیمیایی آنها پیش‌بینی کرد. اگرچه غلظت کم مواد آلی مانند لیپیدها و پروتین‌ها، منجر به کاهش میزان تولید بیوگاز می‌گردد، از طرف دیگر غلظت بسیار بالای مواد آلی نیز در زیست توده، اثر منفی بر میزان تولید بیوگاز خواهد داشت (Kougias et al., 2013). آنچه مشخص است، ارتباط مستقیمی بین محتوای لیپید زیست توده و پتانسیل متان بیوشیمیایی وجود دارد و این پارامتر به عنوان مهم‌ترین عامل برای برآورد پتانسیل متان بیوشیمیایی در مقایسه با سایر اجزا به شمار می‌رود (Cu et al., 2015). بدین ترتیب، پتانسیل متان بیوشیمیایی با در نظر گرفتن محتوای لیپید در زیست توده با استفاده از معادله (۹) قابل محاسبه می‌باشد.

$$\beta_0=57.9+35*Lipid \quad (۹)$$

نتایج

• برآورد میزان فضولات تولیدی در گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر

ضرایب تولید فضولات از گروه‌های مختلف دام، مورد نیاز برای محاسبه میزان فضولات تولیدی به شرح جدول (۲) می‌باشد.

جدول (۲): ضرایب تولید فضولات از گروه‌های مختلف دام (Plume et al., 2012)

نوع دام	تولید فضولات به ازای هر راس دام (t/year)
تلیسه	۸
گوساله	۲/۶
گاو نر	۱۲

همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین مقدار تولید فضولات به ازای هر راس گاو برای تمامی گروه‌های دام به جز گاو شیری در جدول (۲) نشان داده شده است. متوسط تولید فضولات به ازای هر گاو شیری بستگی به میزان تولید شیر گاو دارد و با استفاده از معادله رگرسیونی به دست آمده از داده‌های تولید فضولات گاوهای شیری مطابق زیر محاسبه می‌شود (Plume et al., 2012).

$$m_1=0.0024*Y_d+0.447 \quad (۱۰)$$

در معادله (۱۰) m_1 نشان دهنده میانگین فضولات تولیدی به ازای هر راس گاو شیری (t/year) و Y_d میانگین بازده شیر در هر راس گاو شیری (kg/year) می‌باشد.

به منظور بهبود دقت در محاسبه تولید فضولات از منابع مختلف، حیوانات در ۴ گروه عمده (گاو ماده، تلیسه، گوساله و گاو نر) تقسیم‌بندی شدند. تعداد دام در گروه‌های مشخص در استان بوشهر در جدول (۳) نشان داده شده است.

با در نظرگرفتن تعداد دام در گروه‌های مشخص (جدول ۳)، میزان فضولات تولیدی از هر گروه دام مطابق معادله‌های (۱) و (۶) محاسبه و در جدول (۴) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول (۳): تعداد دام در گروه‌های مشخص در گاوداری‌های صنعتی فعال استان بوشهر (Statistical Centre of Iran, 2017)

نوع دام			تعداد
گاو ماده	در حال شیردهی		۱۰۲۶
	خشک	آبستن	۶۰۹
		غیر ابستن	۳۸۱
تلیسه	آبستن		۳۴۶
	غیر آبستن		۳۰۸
گوساله	نر		۶۳۳۵
	ماده		۱۵۱
گاو نر	داشتی		۵۳
	سایر		۳۱۶

جدول (٤): میزان فضولات تولیدی از گروه‌های مختلف دام در گاوداری‌های صنعتی فعال استان بوشهر

نوع دام		میزان تولید فضولات (t/year)
گاو ماده	در حال شیردهی	۴۱۰۴
	خشک	۱۱۸۸۰
تلیسه		۵۲۳۲
گوساله		۱۶۸۶۳
گاو نر		۴۴۲۸
مجموع		۴۲۵۰۷

• برآورد پتانسیل تولید بیوگاز از فضولات دامی در گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر

خصوصیات فضولات دامی مورد نیاز جهت محاسبه تولید بیوگاز در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): ضرایب ماده خشک، ماده آلی، بیوگاز تولیدی و محتوای انرژی بیوگاز (Plume et al., 2012)

پارامتر	مقدار
محتوای ماده خشک	۰/۱۸
محتوای ماده آلی موجود در ماده خشک	۰/۸۶
بیوگاز تولیدی از فضولات (m^3/t)	۳۰۰
انرژی گرمایی بیوگاز (kWh/m^3)	۵/۸

بدین ترتیب، پتانسیل تولید بیوگاز در هر گروه دام مطابق معادله (۲) محاسبه و در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول (٦): پتانسیل تولید بیوگاز از گروه‌های مختلف دام در گاوداری‌های صنعتی فعال استان بوشهر

نوع دام		پتانسیل تولید بیوگاز (m^3/year)
گاو ماده	در حال شیردهی	۱۹۰۵۸۹
	خشک	۵۵۱۷۰۷
تلیسه		۲۴۲۹۷۴
گوساله		۷۸۳۱۴۵
گاو نر		۲۰۵۶۳۶
مجموع		۱۹۷۴۰۵۱

• برآورد محتوای متان موجود در بیوگاز تولیدی از فضولات دامی در گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر

خصوصیات بیوشیمیایی فضولات گاوی، مورد نیاز برای محاسبه پتانسیل متان بیوشیمیایی (β_o در معادله Hashimoto) در جدول (۷) نشان داده شده است. بر این اساس، پتانسیل متان بیوشیمیایی با در نظر گرفتن محتوای لیپید در ترکیب زیست توده، مطابق معادله (۹) برابر با ۱۸۴/۹۵محاسبه گردید.

جدول (۷): خصوصیات شیمیایی فضولات گاوی (Cu et al., 2015)

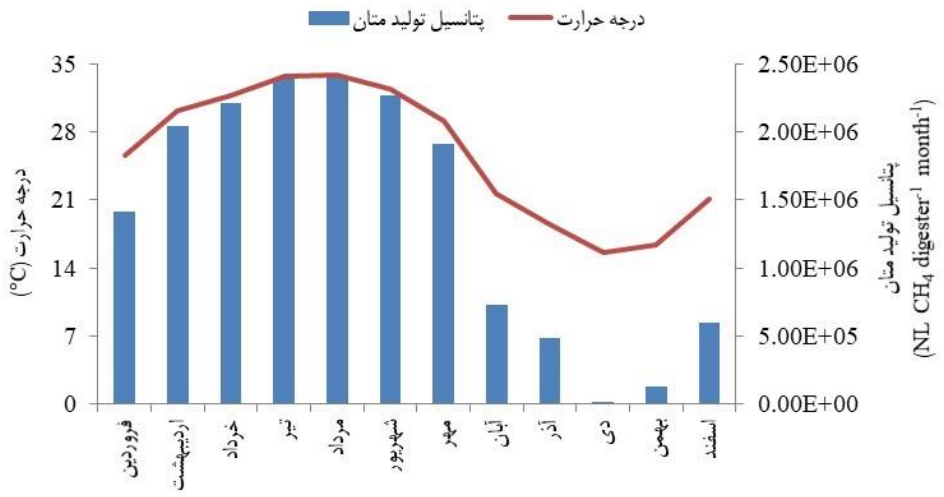
پارامتر	مقدار (٪)
ماده خشک	۱۰/۹۴
جامدات فرار *	۷۳/۰۱
پروتین *	۷/۵۵
لیپید *	۲/۶۳

* درصد در ماده خشک

در ادامه، میزان تولید متان حاصل از فضولات دامی در رژیم‌های حرارتی مختلف براساس معادلات (۳) و (۴) محاسبه شد. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، در معادله بسط داده شده Hashimoto توسط Rennuit & Sommer (2013)، فرض بر این است که میانگین ماهانه دمای هوا نمایانگر میانگین ماهانه دمای هوای هاضم است. بنابراین میانگین دمای ماهانه استان بوشهر در سال ۱۳۹۸ از سایت سازمان هواشناسی کشور استخراج و برای برآورد میزان تولید متان استفاده گردید. نتایج در شکل (۲) قابل مشاهده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر استفاده از انرژی بیوگاز در بسیاری از نقاط دنیا



شکل (۲): میزان تولید متان حاصل از فضولات دامی در رژیم‌های حرارتی مختلف در استان بوشهر

برای تولید انرژی در واحدهای دامپروری پذیرفته شده است و بسیاری از کشورها برنامه‌هایی برای حمایت‌های علمی و مالی از نصب هاضم‌های بی‌هوازی در دامپروری‌ها دارند. این در حالیست که در کشور ما انباشت فضولات دامی با ایجاد شرایط مناسب برای رشد و گسترش انواع عوامل بیماری‌زا در کنار بوی بد و تجمع حشرات، شرایط نامطلوبی را ایجاد کرده و موجب شده تا لزوم راه‌اندازی واحدهای تولید بیوگاز بصورت توسط دامداران هر چه بیشتر احساس شود. به این ترتیب، این مطالعه با هدف بررسی و تعیین پتانسیل تولید انرژی از فضولات دامی در گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر صورت گرفت. براساس یافته‌های پژوهش حاضر، گروه‌های مختلف دام در گاوداری‌های صنعتی فعال در استان بوشهر در مجموع ۴۲/۵ هزار تن فضولات در سال تولید می‌کنند. در این میان، دام گوساله و گاو ماده خشک به ترتیب با ۱۶/۸۳ و ۱۱/۸۸ هزار تن، حدود ۶۸ درصد فضولات تولیدی را بخود اختصاص می‌دهند. بیوگاز قابل تولید از فضولات دامی قابل دسترس در گاوداری‌های صنعتی فعال استان بوشهر ۱/۹۷ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. این مقدار بیوگاز تولید شده توانایی فراهم آوردن انرژی حرارتی به میزان ۱۱/۴۴ میلیون کیلووات ساعت در سال را دارد. همچنین، پتانسیل تولید برق از بیوگاز در استان بوشهر برابر با ۳/۵۵ میلیون کیلووات ساعت در سال است. مقدار مذکور می‌تواند ۰/۰۵ درصد از انرژی الکتریکی مصرفی در بوشهر در سال ۱۳۹۸ را با میزان کل مصرف ۶/۱ میلیارد کیلووات ساعت فراهم آورد. لازم به ذکر است ۸۰ درصد مشترکان استان در بخش خانگی، ۱۳ درصد تجاری، ۴ درصد عمومی و اداری، یک درصد کشاورزی و یک درصد صنعتی هستند. به این ترتیب تولید برق از فضولات دامی گاوداری‌های صنعتی فعال در استان بوشهر می‌تواند ۰/۰۷، ۰/۴۴، ۱/۴۵ و ۵/۸۲ درصد از انرژی الکتریکی مصرفی در بخش‌های خانگی، تجاری و عمومی و اداری و ۵/۸۲ درصد از انرژی الکتریکی مصرفی در بخش‌های کشاورزی و صنعتی در سال ۱۳۹۸ را جبران کند. در سال‌های اخیر با توجه به خرید تضمینی برق و اقتصادی بودن احداث واحدهای بزرگ بیوگازی، تاسیسات بزرگی در کشور اجرا شده و در خصوص بهره‌گیری از هاضم بی‌هوازی تجربیات ارزشمندی وجود دارد. لذا با توجه به برآورد قابل توجهی از پتانسیل تولید انرژی الکتریکی حاصل از فضولات دامی در گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر، پیشنهاد می‌شود که پس از تعیین مکان مناسب برای احداث واحدهای تولید بیوگاز با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف فنی و محیط‌زیستی مانند فاصله مناسب از مناطق حفاظت شده، منابع آب، مناطق مسکونی و جاده‌ها، و همچنین امکان‌سنجی مالی نسبت به احداث سامانه بیوگاز صنعتی اقدام گردد. چرا که احداث این نیروگاه علاوه بر تامین بخشی از نیازهای انرژی استان بوشهر، در اصلاح زیرساخت‌های مدیریت اصولی پسماندهای دامی و نیز کاهش آلاینده‌های محیط‌زیستی نیز موثر خواهد بود.

در مطالعه مشابه صورت گرفته، Moradi et al., (2018) پتانسیل‌سنجی سالیانه تولید بیوگاز از فضولات گاوی و گوسفندی در شهرستان ایوان غرب، استان ایلام را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق میانگین حجم کل بیوگاز تولیدی

سالیانه از فضولات دامی قابل جمع‌آوری برابر با ۹/۳۴ هزار متر مکعب برآورد شد. اگر فضولات قابل جمع‌آوری برای تولید بیوگاز استفاده شود، انرژی حرارتی قابل ملاحظه‌ای برابر با ۳۵/۵ هزار کیلووات به دست می‌آید. بنابراین در صورت تولید بیوگاز، هر خانوار متوسط (۴ نفره) در این شهرستان می‌تواند تمام نیازهای حرارتی خود را تامین نماید. از سوی دیگر، (Díaz-Vázquez et al., 2020) امکان‌پذیری تولید انرژی از فضولات دامی در ایالت Jalisco، مکزیک را ارزیابی کردند. نتایج نشان می‌دهد که با تخمیر بی‌هوازی فضولات دامی، می‌توان به تولید سالانه ۵۰۵۲۱۰/۷۶ مگاگرم بیوگاز دست یافت که این میزان انرژی، توانایی تامین ۵.۵ درصد از کل تقاضای انرژی الکتریکی در Jalisco را دارا است.

دما به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی، سرعت تولید بیوگاز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. دو محدوده دمایی بهینه برای فرآیند تخمیر بی‌هوازی گزارش شده است. محدوده دمایی مزوفیلیک (۴۰–۳۰ درجه سانتی‌گراد) و محدوده دمایی ترموفیلیک (۶۰–۵۵ درجه سانتی‌گراد) که در این محدوده دمایی سرعت تجزیه مواد آلی دو برابر محدوده قبلی است. نرخ تولید متان در دماهای کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد پایین است و در زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد عملاً متوقف می‌شود (Im et al., 2020). این مهم در تایید یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد. مطابق شکل (۲)، در فصل بهار با میانگین درجه حرارت ۲۹/۲ درجه سانتی‌گراد، شاهد تولید متان به میزان ۵/۶۷ میلیون نرمال لیتر در هاضم هستیم. در فصل تابستان با افزایش میانگین دمای ماهانه به میزان ۴/۱ درجه سانتی‌گراد، پتانسیل تولید متان به مجموع ۷/۰۶ میلیون نرمال لیتر در هاضم می‌رسد. بیشترین پتانسیل تولید متان در بین رژیم‌های حرارتی مختلف سال، برابر با ۲/۴ میلیون نرمال لیتر در هاضم مربوط به مرداد ماه با درجه حرارت ۳۳/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بعد از آن در ماه‌های تیر و شهریور بالاترین مقدار تولید متان به ترتیب به میزان ۲/۳۹ و ۲/۲۷ میلیون نرمال لیتر در هاضم مشاهده می‌گردد. با کاهش درجه حرارت میزان تولید متان در ماه‌های سرد سال (مهر تا اسفند) تا حد زیادی کاهش پیدا می‌کند. به طوری که مجموع متان تولید شده در دو فصل پاییز و زمستان برابر با ۳/۸۶ میلیون نرمال لیتر در هاضم است. در دی ماه با پایین‌ترین میزان درجه حرارت در تمام طول سال (۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد)، پتانسیل تولید متان نیز به پایین‌تر حد خود برابر با ۹/۴۹ هزار نرمال لیتر در هاضم می‌رسد.

بررسی مشابهی توسط (Cu et al., 2015) در ویتنام به منظور بررسی تاثیر درجه حرارت بر تولید متان از فضولات حیوانی انجام شده است. در این پژوهش، میزان تولید متان در دو شهر Hanoi و Sapa که به ترتیب کمترین و بیشترین میانگین درجه حرارت ماهانه را در ویتنام دارا هستند، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان داده در هر دو شهر، در ماه‌های سرد زمستان (آبان تا دی) میزان تولید متان به حداقل می‌رسد، به طوری که در آذر ماه متان تولیدی در Hanoi برابر با ۱۲/۴۶ متر مکعب و در Sapa برابر با ۶/۰۴ متر مکعب بوده است. این در حالیست که در ماه‌های تابستان (تقریبا از اواخر خرداد تا مرداد) مقدار تولید بیوگاز در Hanoi و Sapa به ترتیب به ۲۳/۵۸ متر مکعب و ۱۹/۴۳ متر مکعب افزایش می‌یابد. در پژوهش انجام شده دیگر توسط (Afazeli et al., 2014) به منظور بررسی تاثیر دما روی شاخص‌های انرژی تولید بیوگاز از فضولات گاوی، مشخص شده که با افزایش دما در بازه ۲۰ الی ۴۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار تولید بیوگاز افزایش می‌یابد. در این مطالعه آزمایش‌ها در ۸ تیمار مختلف شامل دمای ۲۵–۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰–۲۶ درجه سانتی‌گراد، ۳۵–۳۱ درجه سانتی‌گراد و ۴۰–۳۶ درجه سانتی‌گراد انجام شده است. نتایج حاکی از آن بوده که بیشترین مقدار بیوگاز تولیدی مربوط به تیمار با دمای ۳۶ الی ۴۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار مربوط به تیمار با دمای ۲۰ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

با توجه به آمار و ارقام مورد بررسی در این پژوهش، این نتیجه حاصل می‌گردد که در گاوداری‌های صنعتی استان بوشهر پتانسیل استفاده از بیوگاز وجود دارد و تنها با مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب می‌توان این منبع پایان‌ناپذیر را به کار گرفت و از مزایای آن حداکثر استفاده را نمود.

فهرست منابع

Abdeshahian, P.; Lim, J.S.; Ho, W.S.,;Hashim, H. & Lee, C.T. 2016. Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 60: 714-723.

Afazeli, H.; Jafari, A.; Rafiee, S.; Nosrati, M.; Almasi, F. & Feghhipour, A. 2014. Effects of temperature and mixing modes on energy indices of biogas production from animal waste. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 3(2): 19-26. (in Persian)

Achinas, S. & Euverink, G.J.W. 2016. Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural waste. Resource-Efficient Technologies. 2(3): 143-147.

Ch'ng, H.Y.; Ahmed, O.H.; Kassim, S. & Majid, N.M.A. 2014. Recycling of sago (Metroxylon sagu) bagasse with chicken manure slurry through co-composting. Journal of Agricultural Science and Technology, 16: 1441-1454.

Cu, T.T.T.; Nguyen, T.X.; Triolo, J.M.; Pedersen, L.; Le, V.D.; Le, P.D. and Sommer, S.G. 2015. Biogas Production from Vietnamese Animal Manure, Plant Residues and Organic Waste: Influence of Biomass Composition on Methane Yield. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 28(2): 280-289.

De-Vries, J.W.; Vinken, T.M.W.J.; Hamelin, L. & De-Boer, I.J.M. 2012. Comparing environmental consequences of anaerobic mono- and co-digestion of pig manure to produce bio-energy – a life cycle perspective. Bioresource Technology. 125: 239-248.

Díaz-Vázquez, D.; Alvarado-Cummings, S.C.; Meza-Rodríguez, D.; Senés-Guerrero, C.; de Anda, J. & Gradilla-Hernández, M.S. 2020. Evaluation of Biogas Potential from Livestock Manures and Multicriteria Site Selection for Centralized Anaerobic Digester Systems: The Case of Jalisco, México. Sustainability. 12: 3527.

Gebrezgabher, S.A.; Meuwissen, M.P.M.; Prins, B.A.M. & Lansink, A.G.J.M.O. 2010. Economic analysis of anaerobic digestion-a case of Green power biogas plant in The Netherlands. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences. 57(2): 109-115.

Hashimoto, A.G.; Chen, Y.R. & Varel, V.H. 1981. Theoretical aspects of methane production: State-of-the-art. In Livestock Wastes: A Renewable Resource. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph. MI, USA.

Höhn, J.; Lehtonen, E.; Rasi, S. & Rintala, J. 2014. A Geographical Information System (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland. Applied Energy. 113: 1-10.

Hosseini, S.E. & Wahid, M.A. 2014. Development of biogas combustion in combined heat and power generation. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 40: 868-875.

Ilaboya, I.R.; Asekhame, F.F.; Ezugwu, M.O.; Erameh, A.A. & Omofuma, F.E. 2010. Studies on biogas generation from agricultural waste; analysis of the effects of alkaline on gas generation. World Applied Sciences Journal. 9(5): 537-545.

Im, S.; Petersen, S.O.; Lee, D. & Kim, D-H. 2020. Effects of storage temperature on CH_4 emissions from cattle manure and subsequent biogas production potential. Waste Management. 101: 35-43.

Kougias, P.G.; Boe, K. & Angelidaki, I. 2013. Effect of organic loading rate and feedstock composition on foaming in manure-based biogas reactors. Bioresource Technology. 144: 1-7.

Moradi, H.; Mobli, H.; Jafari, A. & Khanali, M. 2018. Potential of biogas production from animal waste in rural areas of west Eyvan county, Ilam province. Journal of Agricultural Mechanization. 4(2): 101-110. (in Persian)

Meyer, A.K.P.; Ehimern, E.A. & Holm-Nielsen, J.B. 2018. Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. Biomass and Bioenergy. 111: 154-164.

Nasir, I.M.; Ghazi, T.I.M. & Omar, R. 2012. Anaerobic digestion technology in livestock manure treatment for biogas production: a review. Engineering in Life Sciences. 12: 258-269.

Onurbas-Avcioglu, A. & Turker, U. 2012. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16(3): 1557-1561.

Ounnar, A.; Benhabyles, L. & Igoud, S. 2012. Energetic valorization of biomethane produced from cow-dung. Procedia Engineering. 33: 330-334.

Perrigault, T.; Weatherford, V.; Marti-Herrero, J. & Poggio, D. 2012. Towards thermal design optimization of tubular digesters in cold climates: A heat transfer model. Bioresource Technology. 124: 259-268.

Plume, I.; Dubrovskis, V. & Plume, B. 2012. Specified evaluation of manure resources for production of biogas in planning region Latgale. International scientific conference of Renewable Energy and Energy Efficiency. Latvia University of Agriculture. May 28th-30th, Jelgava, Latvia.

Rennuit, C. & Sommer, S.G. 2013. Decision support for the construction of farm-scale biogas digesters in developing countries with cold seasons. Energies. 6(10): 5314-5332.

Scarlat, N.; Fahl, F.; Dallemand, J.F.; Monforti, F. & Motola, V. 2018. A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 94: 915-930.

Statistical Centre of Iran. 2017. Statistical surveys of dairy industry in Iran (2016). Office of the Head, Public Relations and International Cooperation, Statistical Centre of Iran, Tehran, Iran. (in Persian)

Teymoori Hamzeh-Kolaei, F.; Amjady, N. & Jazaeri, M. 2018. Techno-economic analysis of a combined biogas heat and power system: case study of a typical livestock farm in Iran. Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research. 4(3): 147-180. (in Persian)

Zareei, S. & Maleki, M.R. 2017. A survey on potential of biogas production from livestock and rural wastes using GIS in Kurdistan province. Iranian Journal of Biosystem Engineering. 48(1): 173-178. (in Persian)

Zareei, S. 2018. Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran. Renewable Energy. 118: 351-356.