



ساخت یک هاضم بیوگاز خانگی ساده برای تولید انرژی از بقایای کشاورزی

نادره تبریزی^{۱*} و مجتبی مروج^۲

^۱مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
^۲دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

سالانه حجم عظیمی از بقایا و محصولات جانبی کشاورزی، زباله‌های خانگی و فضولات دامی در کشور تولید می‌شوند که پیامدهای مخرب زیست‌محیطی را به دنبال دارند. از این مواد می‌توان در تولید بیوگاز به عنوان یک انرژی پاک چندمنظوره برای پخت‌وپز، حرارت و مصارف انرژی خانگی و نیز کود مایع برای تقویت باغچه استفاده کرد. در این مقاله، ساخت یک دستگاه تولید بیوگاز در مقیاس خانگی با استفاده از تجهیزات ساده و ارزان‌قیمت مانند مخازن پلاستیکی آب و لوله‌های پی‌وی‌سی شرح داده شده است. استفاده از هاضم بیوگاز خانگی یک راهکار اقتصادی و پایدار برای کاهش هزینه‌ها و مدیریت پسماند به‌ویژه برای خانوارها، مراکز آموزشی و مزارع کوچک است.

واژگان کلیدی: انرژی، بقایای کشاورزی، بیوگاز، زباله خانگی، کود مایع، محصولات جانبی کشاورزی



بیان مسئله

ایران به عنوان کشوری با اقتصاد متکی بر منابع فسیلی و نرخ بالای مصرف انرژی، با چالش‌های تأمین امنیت انرژی پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی مواجه است. سالانه بیش از ۱۰۰ میلیون تن انواع پسماند کشاورزی در ایران تولید می‌شود که بخش بزرگی از آن به شیوه‌های غیراصولی مانند سوزاندن در مزارع یا دفن مدیریت می‌شوند (فیروزجایی و همکاران، ۲۰۲۵). این رویکردهای سنتی منجر به از دست رفتن منبع ارزشمند انرژی و مواد مغذی می‌شود. همچنین، پیامدهای مخرب زیست‌محیطی جدی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای (به‌ویژه متان و دی‌اکسید کربن)، آلودگی هوا، فرسایش خاک و آلودگی منابع آب را به دنبال دارد (اسدی و همکاران، ۲۰۱۰).

فناوری هضم بی‌هوازی و تولید بیوگاز به عنوان یک راهکار کارآمد و چندمنظوره برای تبدیل بقایای کشاورزی به انرژی تجدیدپذیر (بیوگاز) و کود آلی غنی (بیوسلاری) در سراسر جهان شناخته شده است (ملتمس^۱ و همکاران، ۲۰۲۵). بیوگاز که عمدتاً از متان و دی‌اکسید کربن تشکیل شده، می‌تواند به عنوان سوخت برای تولید گرما، برق یا حتی سوخت خودرو مورد استفاده قرار گیرد. فقط فضولات دامی کشور پتانسیل تولید میلیاردی مترمکعب بیوگاز در سال را دارند که می‌تواند بخش قابل توجهی از مصرف گاز طبیعی در مناطق روستایی را جایگزین کند (رودنشین و سوسا^۲، ۲۰۲۴). توسعه و استقرار واحدهای بیوگاز در مقیاس عملیاتی در ایران با چالش‌ها و شکاف‌های تحقیقاتی مهمی روبه‌رو است. بسیاری از مطالعات انجام شده، به صورت پراکنده و محدود به یک منطقه جغرافیایی یا یک نوع خاص از ضایعات بوده‌اند و یک تحلیل جامع و یکپارچه وجود ندارد (نورالهی و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر این، موانع فنی-اقتصادی، نبود مدل‌های بهینه برای هضم هم‌زمان^۳ پسماندهای مختلف به منظور افزایش راندمان تولید متان و عدم وجود سیاست‌گذاری‌های حمایتی مدون، از جمله موانعی هستند که گسترش این فناوری را محدود کرده‌اند (صفی‌الدین اردبیلی^۴، ۲۰۲۰). بنابراین، مسئله اصلی این است که با وجود منابع فراوان ضایعات کشاورزی و دانش فنی اولیه، نبود یک مدل جامع فنی-اقتصادی و زیست‌محیطی مانع بهره‌گیری مؤثر از این منبع انرژی پاک در ایران شده است.

معرفی دستورالعمل

نحوه ساخت یک نیروگاه بیوگاز با اندازه متوسط

بیوگاز مخلوطی از گازها است که عمدتاً حاوی متان، همراه با دی‌اکسید کربن، نیتروژن و سولفید هیدروژن در مقادیر کم است. این گازها توسط میکروارگانیسم‌هایی تولید می‌شوند که مواد آلی را در غیاب هوا هضم می‌کنند. این فرآیند به عنوان هضم بی‌هوازی شناخته می‌شود. متان بسیار قابل اشتعال است و می‌تواند به عنوان سوخت استفاده شود. نیروگاه بیوگاز وسیله‌ای است که به جمع‌آوری گاز متان کمک می‌کند. این نیروگاه از یک مخزن هاضم تشکیل شده که در آن

^۱ Moltames

^۲ Roudneshin & Sosa

^۳ Co-digestion

^۴ Safieddin

ساخت یک هاضم بیوگاز خانگی ساده برای تولید انرژی از بقایای کشاورزی / نادره تبریزی، مجتبی مروج

میکروارگانیسم‌ها مواد آلی را به گاز تبدیل می‌کنند. زباله‌ها از طریق یک لوله تغذیه به داخل مخزن هاضم وارد می‌شوند و دوغاب کاملاً هضم‌شده از طریق لوله خروجی تخلیه می‌شود. از این دوغاب می‌توان به عنوان کود برای گیاهان استفاده کرد. یک خط لوله گاز از مخزن جمع‌آوری گاز این امکان را فراهم می‌کند که از گاز برای پخت‌وپز و روشنایی استفاده شود. مراحل ساخت یک نیروگاه بیوگاز با اندازه متوسط برای مصارف خانگی به شرح زیر است:

انتخاب مخازن، تهیه ابزار و قطعات موردنیاز

برای ساخت نیروگاه بیوگاز به یک مخزن هاضم و یک مخزن نگهدارنده گاز نیاز است. هاضم یک مخزن ۷۵۰ لیتری و نگهدارنده گاز یک مخزن ۵۰۰ لیتری است. نگهدارنده گاز باید در داخل هاضم قرار گیرد و حداقل اختلاف بین عرض آنها وجود داشته باشد تا از هدررفتن گاز از کناره‌ها کاسته شود (شکل ۱). علاوه بر مخازن، به قطعات مختلف پی‌وی‌سی نیز به شرح زیر نیاز است (شکل ۲):



شکل ۱- مخزن بیوگاز

- ✓ یک زانویی درب پی‌وی‌سی به قطر ۱۲۰ میلی‌متر برای تغذیه زباله
- ✓ یک لوله پی‌وی‌سی به قطر ۵۰ میلی‌متر و طول ۳۰۰ میلی‌متر برای خروجی دوغاب
- ✓ چهار قطعه لوله پی‌وی‌سی به قطر ۳۲ میلی‌متر و طول ۲۵۰ میلی‌متر برای سیستم راهنما
- ✓ چهار قطعه لوله پی‌وی‌سی به قطر ۳۲ میلی‌متر و طول ۱۰۰۰ میلی‌متر برای سیستم راهنما
- ✓ چهار قطعه لوله پی‌وی‌سی به قطر ۱۲ میلی‌متر و طول ۱۰۰۰ میلی‌متر برای تثبیت مخزن گاز
- ✓ یک قطعه لوله پی‌وی‌سی به قطر ۱۲۰ میلی‌متر برای تغذیه زباله
- ✓ یک درپوش پی‌وی‌سی به قطر ۱۲۰ میلی‌متر برای لوله تغذیه زباله
- ✓ حدود ۵ متر لوله پی‌وی‌سی به قطر ۵۰ میلی‌متر برای سیستم خروجی دوغاب



- ✓ یک زانویی پی‌وی‌سی به قطر ۵۰ میلی‌متر برای سیستم خروجی دوغاب
 - ✓ چهار کوپلر رزوه‌ای پی‌وی‌سی به قطر ۳۲ میلی‌متر برای سیستم راهنما
 - ✓ چهار کوپلر ساده پی‌وی‌سی به قطر ۳۲ میلی‌متر برای سیستم راهنما
 - ✓ چهار کاهنده زانویی پی‌وی‌سی از ۳۲ میلی‌متر به ۱۲ میلی‌متر برای سیستم راهنما
- برای اتصال قطعات نیروگاه گاز به مواد و ابزار دیگر مانند چسب اپوکسی آرالدیت، ترکیب اپوکسی ام-سیل^۵، سیمان حلال پی‌وی‌سی، اره آهن‌بُر با قاب، تیغه اره آهن‌بُر یک‌طرفه، چاقوی تیز، چکش با اندازه متوسط و مجموعه‌ای از آچارها برای سفت کردن اتصالات لوله گاز نیاز است.

آماده‌سازی مخازن نگهدارنده گاز و هاضم

مخزن با ظرفیت ۵۰۰ لیتر باید از بالا بریده شود تا به عنوان نگهدارنده گاز شناور عمل کند. ابتدا باید یک شکاف اولیه در امتداد خط‌الراس بالایی قابل مشاهده با یک چاقوی تیز ایجاد شود. سپس، یک تیغه اره آهن‌بُر در شکاف قرار داده و در امتداد خط‌الراس برش داده شود تا لبه‌ها صاف و بدون شکاف‌های ناخواسته باشند (شکل ۳). برای جلوگیری از هرگونه نشت احتمالی، برش صیقل داده شود و در سرهم کردن، از آب‌بند طبیعی سطح دوغاب استفاده شود. نگهدارنده گاز وارونه داخل مخزن اصلی گذاشته شود تا لبه‌های پایین آن همیشه ۱۵-۱۰ سانتی‌متر داخل مخلوط آبکی مواد (دوغاب) فرو رفته و مانع از خروج گاز از کناره‌ها شود. قسمت بالایی مخزن هاضم نیز باید بریده و برداشته شود. عرض برش باید به اندازه‌ای باشد که مخزن گاز آزادانه حرکت کند. قسمت بالایی بریده‌شده نگهدارنده گاز را روی مخزن هاضم قرار دهید. سپس، از هر طرف حدود ۲۰ میلی‌متر فاصله بگذارید و خط راهنمای برش را علامت بزنید. با استفاده از اره آهن‌بُر برش دهید و لبه‌های بریده‌شده را با کاغذ سنباده تمیز کنید.

نصب لوله‌های تغذیه و خروجی دوغاب به مخزن هاضم

زانویی درب ۱۲۰ میلی‌متری باید در پایین مخزن هاضم نصب شود. زانویی را قرار داده و خط بُرش را علامت بزنید. با یک چاقوی تیز یک شکاف ایجاد کنید و سپس با تیغه اره آهن‌بُر در امتداد خط راهنما برش دهید. زانویی را در جای خود قرار دهید و با ترکیب اپوکسی ام-سیل در دو طرف بیرونی و داخلی مخزن را آب‌بندی کنید (شکل ۴). لوله ۵۰ میلی‌متری به طول ۳۰۰ میلی‌متر باید در بالای هاضم برای خروجی دوغاب نصب شود. لوله را در قسمت بالایی مخزن هاضم در مقابل لوله تغذیه قرار داده و خط بُرش را علامت بزنید. با یک چاقوی تیز در امتداد خط راهنما برش داده، لوله خروجی دوغاب را وارد کرده و با ترکیب اپوکسی ام-سیل از دو طرف مخزن را آب‌بندی کنید.

⁵ M-Seal

ساخت یک هاضم بیوگاز ساده برای تولید انرژی از بقایای کشاورزی / نادره تبریزی، مجتبی مروج



شکل ۲- قطعات پی وی سی برای تغذیه بیوگاز و خروجی دوغاب



شکل ۳- مخزن نگهدارنده بیوگاز



شکل ۴- نحوه اتصال لوله به مخزن هاضم

نصب راهنماها روی هاضم برای حرکت مخزن نگهدارنده گاز

راهنماها برای حرکت آسان بالا و پایین مخزن نگهدارنده گاز ارائه می‌شوند. از لوله‌های ۳۲ میلی‌متری به طول ۲۵۰ میلی‌متر برای این کار استفاده شود. لوله‌های ۳۲ میلی‌متری روی چهار برآمدگی از شش برآمدگی بالای هاضم نصب شوند. لوله ۳۲ میلی‌متری را روی برآمدگی‌ها قرار داده و علامت بزنید. سپس، با اره آهن‌بر یک قسمت مربع از ناحیه مشخص شده را برش داده و بردارید. لوله‌های ۳۲ میلی‌متری را در تمام این قسمت‌های بریده‌شده قرار داده و با ترکیب اپوکسی ام-سیل ثابت کنید.

ارائه پشتیبانی راهنما روی مخزن نگهدارنده گاز و آماده‌سازی لوله‌های گاز

برای نگهداشتن مخزن نگهدارنده گاز در یک راستا، یک سیستم راهنما در کناره‌های مخازن گاز ارائه می‌شود. از کوپلرهای رزوه‌ای ۴۰ میلی‌متری برای این کار استفاده می‌شود. فقط دو عدد را در مقابل یکدیگر ثابت کنید. سه مجموعه لوله گاز وجود دارد. یکی از مخزن نگهدارنده گاز به لوله اتصال نصب‌شده روی دیوار، دیگری لوله اتصال بین لوله مخزن

ساخت یک هاضم بیوگاز ساده برای تولید انرژی از بقایای کشاورزی / نادره تبریزی، مجتبی مروج

نگهدارنده گاز و آشپزخانه و سومی از لوله اتصال به اجاق گاز بیوگاز. لوله‌ها برای نشستی با بستن شیر توپی بسته در هر انتها به‌طور جداگانه، غوطه‌ور شدن در آب و دمیدن هوا از انتهای دیگر آزمایش می‌شوند.

نصب خروجی گاز از مخزن نگهدارنده گاز

تمام قطعات موردنیاز برای خروجی گاز را سرهم کنید. با استفاده از یک چاقوی تیز، سوراخی کوچک در مرکز مخزن نگهدارنده گاز ایجاد کنید. از واشرهای داخلی و خارجی مناسب در تمام اتصالات استفاده کرده و تمام رزوه‌ها را با نوار تفلون بپوشانید. لوله گاز را به زانویی، زانویی را به نیپل و نیپل را به آداپتور داخل مخزن وصل کنید. با اعمال رزین اپوکسی روی اتصال از بیرون و داخل مخزن، یک اتصال ضدنشست ایجاد می‌شود (شکل ۵).

قراردادن مخزن و نصب لوله خروجی دوغاب

مخزن هاضم را به محل موردنظر خود منتقل کنید. مکانی را انتخاب کنید که نور خورشید بیشتری دریافت کرده، دسترسی آسان‌تری برای تغذیه زباله داشته و فاصله بین واحد بیوگاز و محل استفاده به حداقل برسد. نصب لوله تغذیه زباله: سطح داخلی زانویی درب و سطح خارجی پایین لوله تغذیه زباله ۱۲۰ میلی‌متری را تمیز کنید. سیمان حلال پی‌وی‌سی را روی هر دو سطح تمیزشده بمالید و آنها را بلافاصله قبل از خشک‌شدن سیمان حلال به هم بچسبانید. درپوش را روی لوله تغذیه قرار دهید (شکل ۶). مخزن نگهدارنده گاز را به آرامی بلند کرده و روی مخزن هاضم قرار دهید، به‌طوری که کوپلرهای راهنمای ۴۰ میلی‌متری نصب‌شده در کناره‌های مخزن گاز روی کوپلرهای ۳۲ میلی‌متری روی هاضم قرار گیرند.



شکل ۵- مراحل نصب خروجی گاز از مخزن نگهدارنده گاز



شکل ۶- نصب لوله تغذیه زباله

تغذیه نیروگاه بیوگاز برای اولین بار

استفاده از سرگین تازه گاو، مرغ یا سایر دام‌ها در راه‌اندازی اولیه هاضم بیوگاز توصیه می‌شود. این مواد حاوی میکروارگانیسم‌های طبیعی (باکتری‌های متان‌زا و تجزیه‌گر) برای شروع سریع فرآیند تخمیر بی‌هوازی هستند و سرعت تولید گاز را افزایش می‌دهند. اما راه‌اندازی هاضم با صرفاً پسماندهای آلی آشپزخانه یا باغچه نیز ممکن است، هرچند تخمیر اولیه بسیار کندتر پیش می‌رود و احتمال تولید نامطلوب یا توقف فرآیند، بیشتر است. زیرا جمعیت میکروبی لازم به زمان زیادی برای غلبه و تثبیت نیاز دارد. برای شروع فرآیند باید سرگین تازه دام را تغذیه کنید. ۸۰ کیلوگرم سرگین گاو را با حدود ۳۰۰ لیتر آب رقیق کرده و حدود ۲۵۰ گرم شکر زرد محلی به آن اضافه کنید. این مخلوط را از طریق لوله تغذیه به داخل هاضم بریزید. از آب کلردار استفاده نکنید. زیرا کلر موجود در آب همه میکروارگانیسم‌ها را از بین می‌برد (شکل ۷). تشکیل گاز حدود دو روز پس از تغذیه هاضم با دوغاب سرگین گاو شروع می‌شود. هنگامی که مخزن گاز پُر شد، این گاز اولیه که حاوی ناخالصی‌های زیادی است و نمی‌سوزد، به اتمسفر آزاد می‌شود. بعد از تشکیل گاز، می‌توان مواد زائد را به هاضم وارد کرد. هرگز با نگره داشتن یک چوب کبریت در حال سوختن در مقابل لوله گاز، نسوختن گاز را آزمایش نکنید. این کار می‌تواند باعث انفجار مخزن گاز شود.

مواد مناسب و نامناسب برای هاضم بیوگاز

پوست سبزی‌ها و سبزی‌های فاسد، پوست میوه، غذای مانده فاسد، کشک بسیار ترش، خمیر دوسا که بیش از حد تخمیر شده است، روغن نباتی باقیمانده، بریده‌های چمن و علف‌های هرز، گل‌های خشک، ساقه‌های لطیف موز، ضایعات گاو و فضولات طیور، تفاله قهوه و چای باقیمانده، برای هاضم بیوگاز مناسب هستند. برای یک هاضم با ظرفیت ۱۰۰۰ لیتر، تقریباً

ساخت یک هاضم بیوگاز خانگی ساده برای تولید انرژی از بقایای کشاورزی / نادره تبریزی، مجتبی مروج

۵۰۰۰ گرم زباله را تغذیه کنید. تغذیه بیش از حد هاضم، زباله‌های نیمه‌هضم‌شده را تخلیه می‌کند که باعث افزایش اسیدیته دوغاب در هاضم و کاهش تعداد میکروارگانیسم‌های فعال روی زباله‌ها می‌شود.



شکل ۷- تغذیه نیروگاه بیوگاز خانگی برای نخستین بار با سرگین گاو

برخی مواد روی کارایی تولید گاز، عملکرد میکروارگانیسم‌ها و ایمنی هاضم تأثیر منفی دارند و نباید در هاضم بیوگاز وارد شوند. ورود مواد نامناسب به بیوگاز می‌تواند بازده تولید متان را کاهش داده، فرآیند را مختل کند یا باعث آسیب مکانیکی و تجمع لجن غیرقابل استفاده شود. مواد نامناسب برای هاضم بیوگاز به شرح زیر هستند:

پوست خشک پیاز و سیر: این پوسته‌ها دارای مواد ضدباکتری طبیعی و ترکیبات گوگردی قوی هستند که باعث اختلال در جمعیت باکتری‌های متان‌زا شده، تولید گاز را به شدت کاهش داده و چرخه هضم بی‌هوازی را مختل می‌کند.

پوست تخم‌مرغ: پوست تخم‌مرغ عمدتاً از کربنات کلسیم سخت (گچی) تشکیل شده و قابل تجزیه توسط باکتری‌های هضم بی‌هوازی نیست. حضور این مواد موجب تجمع مواد غیرآلی، افزایش بار جامدات و اشکال در تخلیه و عملکرد هاضم می‌شود.



مواد الیافی بسیار سخت مانند پوست نارگیل: این مواد ساختار الیافی و لیگینی دارند که تجزیه آنها به انرژی زیاد و زمان طولانی نیاز دارد. این نوع مواد در شرایط معمول هاضم تجزیه نمی‌شوند و فقط موجب تجمع و پُرسیدن بی‌ثمر هاضم خواهند شد.

استخوان (خام یا پخته): استخوان‌ها حاوی پروتئین مقاوم به تجزیه و مقدار زیادی مواد معدنی غیرآلی هستند که توسط میکروارگانیسم‌های هاضم قابل تجزیه نیستند. استخوان موجب کاهش کارایی هاضم، انسداد یا اختلال مکانیکی و افزایش لجن غیرقابل استفاده می‌شود.

پس از تغذیه زباله‌های آشپزخانه از طریق لوله تغذیه، ممکن است متوجه شوید که برخی از تکه‌های بزرگ‌تر در داخل لوله تغذیه شناور هستند. برای فشاردادن این تکه‌ها به پایین می‌توان از یک رام تهویه‌دار استفاده کرد.

اجاق گاز بیوگاز

برای استفاده از بیوگاز به اجاقی نیاز دارید که مخصوص بیوگاز ساخته شده باشد. سوراخ‌های اجاق گاز بیوگاز بزرگ‌تر از سوراخ‌های اجاق‌های LPG است و نازل مشعل نیز دارای دهانه بزرگ‌تری است. برای پخت‌وپز، انتهای آزاد لوله گاز را به اجاق گاز وصل کنید. از یک لایه نوار عایق می‌توان برای آب‌بندی اتصال از هرگونه نشتی استفاده کرد (شکل ۸). قبل از آزمایش بیوگاز در اجاق گاز، باید بررسی شود که گاز جمع‌آوری‌شده در مخزن، فشار کافی برای جریان از طریق لوله گاز به اجاق گاز را داشته باشد. قراردادن وزنه تعادل در بالای مخزن نگهدارنده گاز از برگشت جریان جلوگیری می‌کند (شکل ۹). گازی که در ابتدا تولید می‌شود ممکن است حاوی ناخالصی‌های زیادی باشد و نسوزد. مخزن نگهدارنده گاز را سه بار قبل از آزمایش گاز خالی کنید. سپس، لوله ورودی گاز را وصل کرده و دستگیره را کمی باز کنید و یک چوب کبریت روشن را روی مشعل نگه دارید (شکل ۱۰).



شکل ۸- اتصال شلنگ گاز به اجاق گاز

ساخت یک هاضم بیوگاز ساده برای تولید انرژی از بقایای کشاورزی / نادره تبریزی، مجتبی مروج



شکل ۹- اضافه کردن وزنه تعادل در بالای مخزن نگهدارنده گاز برای جلوگیری از برگشت جریان



شکل ۱۰- آزمایش و روشن کردن اجاق گاز خانگی با بیوگاز

دوغاب هضم شده به عنوان کود مایع

هر زمان که هاضم از ضایعات پُر می شود، دوغاب هضم شده از لوله خروجی خارج می شود. این دوغاب یک کود آلی مایع بی بو است و مگس را جذب نمی کند.

توصیه ترویجی (جمع بندی)

استفاده از فناوری تولید بیوگاز از بقایای کشاورزی و دامی می تواند به عنوان یک راهکار ساده و کاربردی در روستاها مورد توجه قرار گیرد. کشاورزان و دامداران با جمع آوری بقایای گیاهی و فضولات دامی می توانند آنها را در یک هاضم بیوگاز خانگی ساده به انرژی پاک و تجدیدپذیر تبدیل کنند. انرژی تولید شده برای پخت و پز و گرمایش خانه ها قابل استفاده است و



می‌تواند بخشی از هزینه‌های سوخت را کاهش دهد. در کنار تولید انرژی، این روش از انباشته‌شدن بقایای گیاهی و زباله‌های خانگی و در نتیجه، آلودگی خاک و آب جلوگیری می‌کند و انتشار گازهای مضر به هوا را به حداقل می‌رساند. علاوه‌براین، کود مایع آلی ارزشمندی به‌دست می‌آید که می‌تواند جایگزین بخشی از کودهای شیمیایی شود و به بهبود خاک و افزایش حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی کمک کند. گسترش ساخت چنین هاضم‌هایی در روستاها علاوه بر حفاظت از محیط زیست موجب بهبود معیشت کشاورزان و توسعه پایدار کشاورزی خواهد شد.

فهرست منابع

1. Asadi, A., M. Akbari, Y. Mohammadi and G. Hossaininia. 2010. Agricultural wheat waste management in Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4: 421-428.
2. Firozjaee, T.T., F.G. Kootenaei, S.F. Khakzad and S. Khoshnevisan. 2025. Assessment of biomass resources for a clean and sustainable energy generation in Iran. *Biomass and Bioenergy*, 199: 107908.
3. Moltames, R., Y. Noorollahi, H. Yousefi, B. Azizimehr and A. Naseri. 2025. Assessment of potential sites for biogas production plants from domestic, agricultural, and livestock waste. *Fuel Communications*, 22: 100132.
4. Noorollahi, Y., M. Kheirrouz, H. Farabi-Asl and H. Yousefi. 2015. Biogas production potential from livestock manure in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50:748-754.
5. Roudneshin, M. and A. Sosa. 2024. Optimising agricultural waste supply chains for sustainable bioenergy production: A comprehensive literature review. *Energies*, 17: 2542.
6. Safieddin Ardebili, S.M. 2020. Green electricity generation potential from biogas produced by anaerobic digestion of farm animal waste and agriculture residues in Iran. *Renewable Energy*, 154: 29-37.

