بررسی تولید انرژی پایدار از زیست توده با رویکرد امنیت انرژی و پدافند غیرعامل

قربان باقری [۱*]

۱*- دانشکده علوم سیاسی، دانشگاه علوم و فنون فارابی، تهران، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: ba.gorban۹۵@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۱۲/۱۰

چکیده

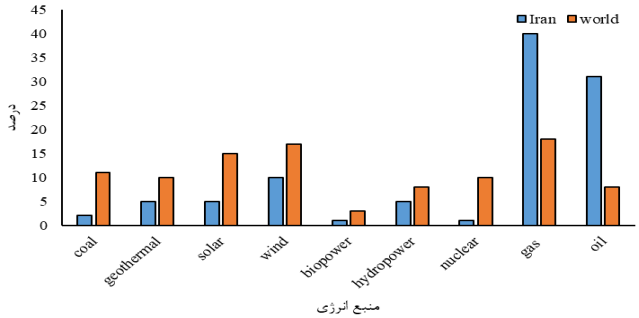
منابع زیست‌توده شامل طیف وسیعی از موادآلی است. مقدار زیادی انرژی زیست‌توده در ایران وجود دارد که می‌تواند به عنوان منبع انرژی‌پایدار جایگزین استفاده شود. اولین هدف مطالعه حاضر بررسی امکان‌سنجی پتانسیل تولید بیوگاز از پسماندغذایی از نقطه نظر امنیت انرژی و پدافند غیرعامل می‌باشد. پتانسیل تولید بیوگاز در یک هضم‌کننده جریان خروجی باز دسته‌ای نوع بی‌هوازی در مقیاس آزمایشگاهی ارزیابی شد. تنظیمات دمایی تولید بیوگاز در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و ۵۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. نتایج نشان می‌دهد که تولید تجمعی بیوگاز در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. نتایج نشان می‌دهد که کل پسماندغذایی تولیدی کشور معادل ٤١٤٤٩١/٧ تن در سال است. این مورد زمانی ارزش می‌یابد که می‌توان ادعا کرد امنیت تولید انرژی بیوگاز بستگی به امنیت فراهم شدن مواد اولیه آن دارد و با سیستمی بسیار ساده می‌تواند به عنوان منبع تولید پایدار به خصوص در مناطق دور افتاده مطرح شود به طوری که هزینه انتقال انرژی به نقاط دور افتاده را کاهش داده و از نقطه نظر پدافند غیرعامل نیز مهم تلقی می‌شود. به طوریکه در صورت آسیب دیدگی شبکه کلی انتقال انرژی، چرخه تولید، انتقال و مصرف انرژی به صورت کاملا مستقل و مکان محور عمل کرده و پایداری در کل شبکه را حفظ می‌کند.

کلیدواژه ها: بیوگاز، پسماند غذایی، امنیت انرژی، پدافند غیرعامل، بیومتان

مقدمه

ایران از منظر سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی بسیار غنی است. پس از سوخت‌های فسیلی، زیست‌توده چهارمین منبع انرژی‌پایدار در ایران و در سراسر جهان است. منابع زیست‌توده شامل طیف گسترده‌ای از مواد آلی است که عمدتاً به شش گروه تقسیم می‌شوند: ۱) چوب، ۲) ضایعات جمع‌آوری شده از جنگل، و کشاورزی، باغبانی و صنایع‌غذایی، ۳) زباله‌های جامدشهری، ٤) فاضلاب، ٥) پسماندهای‌دامی ٦) فاضلاب و پسماندهای آلی صنایع. استفاده مستقیم از این منابع می‌تواند مصارف گرمایشی و در صورت استفاده از آنها برای تولید سوخت‌زیستی مانند بیوگاز، می‌تواند در موتور ژنراتورها برای تولید برق استفاده شود. ایران از یک سو از منابع سوخت فسیلی تجدیدناپذیر مانند نفت و گاز بهره‌مند است و از سوی دیگر، این کشور از پتانسیل بی‌حد و حصر خود برای منابع انرژی پایدار مانند خورشید، زمین‌گرمایی، باد، هیدروژن و زیست‌توده نیز بهره می‌برد [۱]. در واقع، منابع انرژی تجدیدپذیر روز به روز محبوب‌تر می‌شوند این در حالی است که جمعیت انسانی به زودی از منابع‌انرژی تجدیدناپذیر محروم خواهند شد. مواد فاسد شدنی و ضایعات جامد (زیست‌توده) فراوان هستند و عملکرد سیستم بیوگاز بسیار ساده است بنابراین، بسیاری از کشورها از جمله چین، آلمان و سوئد برای تولید بیشتر انرژی زیستی اقدام کرده‌اند [۲].

در دنیای امروزی، سوخت‌های فسیلی بر سیستم‌های انرژی جهانی حاکم است. اما با توجه به کاهش منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر و آلودگی‌ها و آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از آن، جهان به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر روی می‌آورد [۳]. در این مطالعه، شکل ۱ کل مصرف انرژی در ایران و سراسر جهان را نشان می‌دهد [٤-٥-٦]. بر این اساس گاز طبیعی بالاترین میزان مصرف انرژی را در بین سایر منابع انرژی در ایران و در سراسر جهان دارد.



شکل ۱. درصد تخصیص هرکدام از منابع در ایران و دنیا

تخصیص بالاترین درصد انرژی به نفت و گازطبیعی، ایران را به یکی از کشورهایی تبدیل کرده‌است که از منابع انرژی طبیعی خود بهره می‌برند. وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی باعث بحران انرژی شده‌است. تمام روندهای فعلی

نشان دهنده کاهش منابع سوخت فسیلی است. بنابراین، نسل‌های آینده با کمبود شدید تأمین انرژی مواجه خواهند-شد. استفاده از سوخت‌های فسیلی برای فعالیت‌های اقتصادی - از تولید تا صنایع کشاورزی - منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای تقریباً از تمام مناطق جهان میشود [۸]. ایران علاوه بر برخورداری از منابع مختلف انرژی فسیلی، دارای منابع متنوع انرژی تجدیدپذیر نیز می‌باشد [۹]. از جمله منابعی که توسط محققان مورد بحث قرار گرفته‌اند عبارتند از: انرژی خورشیدی [۳]، انرژی باد [٤]، انرژی برق-آبی [۱۰، ۱۱]، زیست‌توده [۱۲، ۱۳] و انرژی زمین‌گرمایی [۱٤، ۱۵].تغییرات در وضعیت سیستم انرژی بر وضعیت اقتصادی و سیاسی هر کشور تأثیر بسزایی دارد. به عبارت دیگر، مهم‌ترین شاخص‌های فعالیت در سطح ملی متأثر از تغییرات در وضعیت سیستم انرژی است. یکی از عوامل موثر بر فعالیت سیستم انرژی، امنیت تأمین انرژی است. این عامل از دیدگاه‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و عوامل مختلفی بر آن تأثیر می‌گذارد. سطح بهینه امنیت انرژی از چند دیدگاه ارزیابی می‌شود. به عنوان مثال، سطح بهینه امنیت انرژی از دیدگاه مصرف‌کننده، دسترسی به انرژی پایدار و مطمئن با کمترین هزینه ممکن است. به عبارت دیگر، حتی اگر مصرف کننده بتواند با استفاده از هزینه نسبتاً کم، به سطح بالاتری از امنیت انرژی دست یابد، از طرفی نیاز به این سطح است اگر امنیت نداشته باشد کاری در مورد آن انجام نخواهد داد. زیرا امنیت انرژی از حد مطلوب خود فراتر رفته و اساساً مناسب نیست. امنیت انرژی با توجه به حوزه تأثیر به سه بخش امنیت منابع تأمین انرژی، امنیت مولدهای انرژی از لحاظ تکنولوژیکی، و امنیت تأمین انرژی در مواقع لازم تقسیم می شود. منابع انرژی، منابعی هستند که عمدتاً در قالب نفت خام، گاز طبیعی، زغال‌سنگ و منابع انرژی تکمیلی (انرژی‌های نو و تجدیدپذیر) استفاده می‌شود. حامل‌های انرژی اولیه معمولاً مستقیماً مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و شامل واحدهای تولید برق هستند که برای استفاده نهایی آماده می‌شوند. برای درک اهمیت امنیت انرژی، تنها به زیان‌های اقتصادی ناشی از قطعی برق در شبکه توزیع و مشکلات مربوط به تأمین منابع انرژی لازم به دلیل در دسترس بودن روزانه و فصلی، بسنده می‌شود. تغییرات سالانه هزینه‌های هنگفتی را برای سازمان‌های دولتی به همراه دارد و آنها خصوصی می‌شوند.

سطح امنیت مورد نیاز در سیستم انرژی از مصرف‌کننده، تولیدکننده و بالاتر از همه موقعیت دولت که رابطه سازنده بین بخش‌های اقتصادی و سیاسی و بخش انرژی را تضمین می‌کند متفاوت است. این صنایع رویکردها و سیاست‌های متفاوتی برای افزایش ایمنی دارند. با این حال، افزایش تنوع سیستم انرژی و افزایش قابلیت اطمینان سیستم از راه‌های مهم دستیابی به امنیت انرژی در بخش‌های مختلف تلقی می‌شود. دلایل متعددی برای دستیابی به دو ویژگی ذکر شده در بالا در چند حوزه وجود دارد مانند: منابع، فناوری‌های تولیدی و شبکه‌های توزیع. از میان عوامل موثر بر امنیت منابع انرژی می‌توان به ایجاد تنوع در منابع تأمین انرژی و حرکت به سمت منابع جدید انرژی، ایجاد تنوع در منابع فسیلی تأمین کننده انرژی کشور، تطبیق منابع انرژی فعلی و آینده با قوانین و موانع زیست‌محیطی و افزایش تنوع در کشورهای تأمین‌کننده انرژی از لحاظ تعدد کشورها و مناطق جغرافیایی اشاره کرد. همانطور که می‌بینید امکان دستیابی به امنیت انرژی در حوزه‌های مختلف وجود دارد و از راهبردهای مختلف و در برخی موارد از اجرای یا ترکیبی از سیاست‌ها استفاده می‌کنند تا دستیابی به امنیت انرژی مطلوب را امکان-پذیر کنند. منابع انرژی‌های زیست‌توده یکی از پتانسیل‌های انرژی بالقوه در ایران می‌باشد که هم نادیده گرفته شده است و هم می‌تواند از نقطه نظر امنیت انرژی تاثیر بسزایی داشته باشد. این امنیت انرژی در پدافند غیرعامل نیز می‌تواند موثر واقع شود. امروزه توجه زیادی به انرژی‌های تجدیدپذیر معطوف شده‌است. دلیل این امر این است که از یک سو منابع سوخت فسیلی محدود و از سوی دیگر منابع انرژی تجدیدپذیر مانند پسماندهای مایع و جامد قابل فساد فراوان است [۱۳]. گزارش‌ها نشان می‌دهد که کشورهایی مانند آلمان، سوئد، چین و هند از انرژی های تجدیدپذیر برای تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز خود استفاده می‌کنند [۱۳]. علاوه بر موارد ذکر شده، مطالعات مختلف نشان می‌دهد که بین استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای رابطه مستقیم وجود دارد [۱٦-۱۹]. هدف اولیه تولید بیوگاز کاهش گازهای گلخانه ای در بخش انرژی است [۲۰]. مطالعات متعددی در رابطه با تولید بیوگاز و کاهش گازهای گلخانه‌ای (GHG) انجام شده‌است. دی-اکسیدکربن (CO^2) در بین تمام گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در طی تولید انرژی فسیلی مهم‌ترین فاکتور است [۲۱]. لیو و همکاران [۱۹] امکان توسعه هضم بی‌هوازی (AD) برای زباله‌های زیست توده شهری (MBW) در چین را که بر تولید بیوگاز و کاهش GHG متمرکز بود، مطالعه کرده‌اند.

آنها گزارش دادند که کاهش GHG یک مزیت زیست محیطی مهم است که از هضم MBW به دست می‌آید.
در مطالعه‌ای که توسط ژانگ و چن [۲۲] انجام شد، یک مدل LCA برای توصیف کاهش انتشار کربن برای یک پروژه معمولی بیوگاز خانگی پیشنهاد شد. نتایج نشان می‌دهد که پروژه‌های بیوگاز خانگی روش مناسبی برای کاهش انتشار کربن هستند. در مطالعه دیگری، اوسیتالو و همکاران [۱۸] انتشار گازهای گلخانه‌ای از حمل و نقل را بر اساس سوخت بیوگاز مطالعه کرده و آن را با تولید برق و گرما و کمپوست سازی حمل و نقل مواد اولیه مقایسه کرده‌اند. آنها از روش LCA استفاده کردند و گزارش دادند که استفاده از بیوگاز در بخش حمل و نقل، انتشار گازهای گلخانه‌ای را در مقایسه با سوخت‌های حمل و نقل مبتنی بر فسیل در تمام موارد مورد مطالعه کاهش می‌دهد. همچنین تولید بیوگاز و استفاده از آن در تولید برق و گرما نیز باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با کمپوست مواد اولیه می‌شود. همچنین با توجه به قابلیت تبدیل هرگونه مواد طبیعی و تجدیدپذیر از جمله فرآوری ضایعات محصولات کشاورزی و ضایعات کشاورزی به بیوگاز، می‌توان نتیجه گرفت که توسعه این فناوری می‌تواند موجب رونق بخش کشاورزی و ایجاد فرصت شغلی در این زمینه شود. اگر بخواهیم در مورد منابع طبیعی و در دسترس ایران توضیح مختصری بدهیم، می‌توان گفت که ایران توسط ۲۷۰۰ کیلومتر مرز دریایی احاطه شده است که می‌تواند حدود ۱۲۰ مترمکعب از منابع آبی را بهره‌برداری کند. همچنین دارای حدود ۱۶۴.۸ میلیون هکتار زمین با ۳۱ درصد دسترسی است [۱۳]. اگر بخواهیم قاعده‌ای را در نظر بگیریم، واضح است که مقدار زیادی انرژی زیست‌توده وجود دارد که می‌تواند به عنوان منبع انرژی جایگزین استفاده شود. در واقع زیست‌توده منبعی ارزشمند برای تامین انرژی است.بر این اساس، ساختار مقاله حاضر، به شرح زیر است: ارائه پتانسیل تولید بیوگاز از زیست‌توده در ایران

- تبدیل انرژی تولید شده به تولید برق در ایران و تاثیر آن بر انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی رویکرد اقتصادی تولید بیوگاز در ایران از نقطه نظر امنیت اقتصادی تولیدروش تولید بیوگاز در هر کشور به منابع اولیه و جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بستگی دارد. هدف اصلی مطالعه حاضر بررسی امکان پتانسیل تولید بیوگاز از زیست‌توده و بررسی امنیت انرژی در ایران است. هدف ثانویه مطالعه جایگزینی این انرژی با منبع انرژی مبتنی بر فسیل و تأثیر آن بر کاهش انتشار گازهای گلخانه ای است.بنابراین، این مطالعه مقدمه‌ای بر منابع، وضعیت و چشم‌انداز ضایعات پسماند غذایی به عنوان زیست‌توده اصلی در راستای تولید انرژی پایدار بیوگاز در ایران است. این مطالعه شامل پنج مرحله است. در مرحله اول، مقدمه‌ای بر نمای کلی تحقیق ارائه می‌کنیم. در مرحله دوم، تولید بیوگاز و میزان تولید زیست‌توده را مورد بحث قرار می‌دهیم و همچنین تولید و مصرف انرژی را اندازه‌گیری می‌کنیم. در مرحله سوم، کاهش آلودگی ناشی از گازهای گلخانه‌ای را مورد بحث قرار می‌دهیم. در مرحله چهارم، طرح را از منظر اقتصادی مشاهده می‌کنیم و در نهایت نتیجه‌گیری جامعی از موضوع ارائه می‌کنیم.

مواد و روش ها

فرایند تولید بیوگاز از پسماند غذایی

در این مطالعه از پسماند موادغذایی به عنوان اصلی‌ترین ماده زیست‌توده برای تولید بیوگاز استفاده شد. پسماند موادغذایی مورد نیاز از رستوران‌هایی واقع در استان اردبیل تهیه شد. برای اندازه‌گیری رطوبت اولیه پسماند موادغذایی ابتدا ۱۰۰ گرم پسماند موادغذایی به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار داده شد و مجددا وزن شد. تفاوت وزن نشان دهنده میزان رطوبت پسماند موادغذایی بود. کل مواد جامد (TS) با کسر مقدار رطوبت از مقدار کل پسماند موادغذایی تعیین شد. مواد جامد فرار (VS) نیز با سوزاندن ۵ گرم (TS) در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت در فربرقی بر اساس استاندارد انجمن بهداشت عمومی آمریکا (APHA) تعیین شد [۵۴-۵۶]. مقدار نیتروژن موجود در زیست‌توده و سطح کربن آلی به ترتیب مطابق با استاندارد APHA با استفاده از روش کجلدال و سوختگی شیمیایی بود. جدول ۲ نتایج تجربی را نشان می دهد.

جدول ۱. خواص و مشخصات زیست توده و کاه گندم

پارامتر	واحد	پسماند غذایی	کاه گندم
Total Solids (TS)	W%	۱۹.۱	۸۶.۷
Volatile Solid (VS)	W%	۶۴.۲	۸۱.۷
Moisture	W%	۸۰.۹	۱۳.۳
C/N value	-	۱۲.۱	۸۰.۷
Nitrogen percent	%	۲.۴	۰.۷۸
Organic carbon	%	۲۹	۶۳

پتانسیل تولید بیوگاز در یک هضم‌کننده جریان خروجی‌باز دسته‌ای نوع بی‌هوازی در مقیاس آزمایشگاهی ارزیابی شد. استفاده از یک راکتور نوع دسته‌ای به دلیل سادگی، راه‌اندازی آسان و نظارت و ارزیابی آسان آن رایج‌تر است [۵۷]. چهار بطری پلاستیکی سه لیتری به عنوان هاضم استفاده شد (شکل ۲). استانداردهای اروپایی اساس طراحی و ساخت هاضم‌ها بود [۵۸].هاضم‌ها در حمام آب گرم در دمای ۳۵

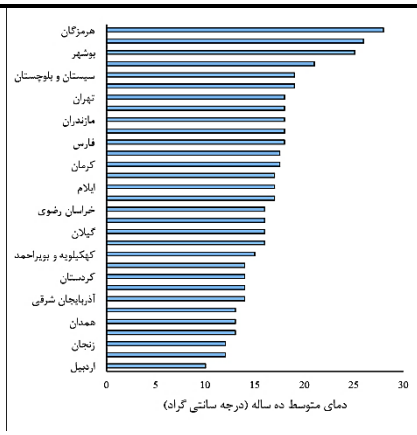
درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. دماها با استفاده از ترموستات دیجیتال با دقت ۰.۱± درجه سانتی‌گراد اندازه-گیری و کنترل شدند. بیوگاز تولید شده از هاضم‌ها به مجموعه دیگری از بطری‌های پلاستیکی منتقل شد و حجم آنها با استفاده از روش جابجایی آب اندازه‌گیری شد [۵۹]. بیوگاز تولید شده به محلول سود سوزآور (NaOH) منتقل شده و پس از جذب CO^{2} و $H^{2}S$، متان استخراج و درصد آن با استفاده از روش جابجایی با دقت ۵± میلی‌لیتر محاسبه شد [۶۰].

شکل ۲. هاضم های تولید بیوگاز

برای بارگیری هاضم‌ها، ۵۰۰ گرم پسماندغذایی با رطوبت اولیه ۵۸/۹ درصد با ۱۸۵۰ گرم آب به مقدار VS در ۱۰ درصد مخلوط شد. تنظیمات تولید بیوگاز در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد (دمای مزوفیل) تهیه شد. به منظور ارزیابی تکرارپذیری آزمایش، آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.

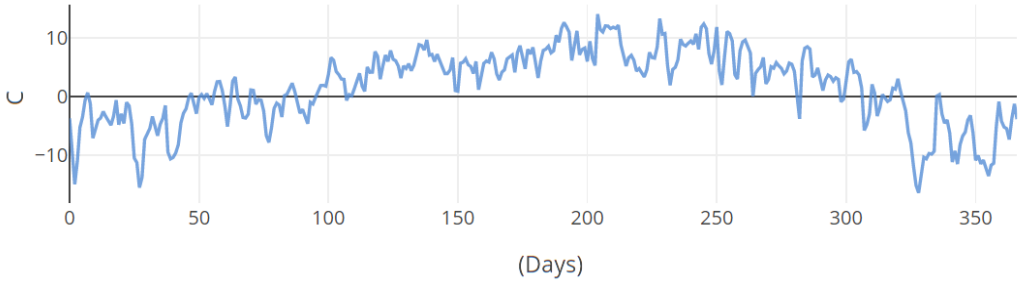
طراحی راکتور تولید بیوگاز از پسماند غذایی‌در ایران، سیستم‌های تولید بیوگاز دارای دو نوع چینی و هندی هستند [۱۲]. سیستم چینی دارای مخزن گاز ثابت است. گاز تولید شده در قسمت بالایی هاضم ذخیره می‌شود و تولید گاز باعث افزایش فشار گاز می‌شود. به همین دلیل حجم هاضم را بیش از ۲۰ مترمکعب در نظر نمی‌گیرد. این نوع هاضم‌ها به دلیل نداشتن قطعه متحرک، هزینه ساخت پایین و ماندگاری طولانی (بیش از ۲۰ سال) دارند [۶۱]. در سیستم هند، مخزن گاز متحرک است و فشار گاز همیشه ثابت است. از این رو، با توجه به تعادل تخمیر بی‌هوازی، فرآیند هضم بهبود می‌یابد و نرخ تولید بیوگاز افزایش می‌یابد. اما به دلیل مخزن شناور و هزینه ساخت بالاتر، عمر مفید آن نسبت به نمونه چینی آن کوتاه‌تر است. مدل هندی در مناطق سرد تا ۱۵ سال و در مناطق گرم تا ۵ سال دوام می‌آورد [۶۱]. در این مطالعه، یک هاضم نوع بسته چندتایی با ترکیب سیستم‌های چینی و هندی طراحی شد در حالی که مزایای هر دو سیستم را داشت. به منظور طراحی ظرفیت راکتور، جمع‌آوری داده‌ها از یک سالن تولید انجام شد. زیست‌توده خروجی از هر سالن تولید در ۶۰ روز (یک دوره تولید) معادل ۱۲ تن با رطوبت ۸۰.۹ درصد است. لازم به ذکر است که محاسبات قبل از طراحی راکتور برای یک مخزن تولید انجام شده است. برای محاسبه حجم و ابعاد راکتور هدف، ۱۲ تن پسماند موادغذایی با ۱۲ تن آب مخلوط شد تا ۱۰ درصد TS بدست آید به منظور این‌که وزن محتویات راکتور برابر با ۲۴ تن شود. با در نظر گرفتن اعداد گزارش شده برای چگالی پسماند موادغذایی و آب در منابع مختلف [۶۲، ۶۳]، چگالی محتوا حدود ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب اندازه گیری شد. حجم مواد آلی داخل راکتور در طول فرآیند تخمیر منبسط شد، بنابراین ضریب ایمنی برابر با ۱.۲ در نظر گرفته شد و در نتیجه حجم مورد نیاز راکتور طراحی شده ۴۸ متر مکعب محاسبه شد. بنابراین می تواند یک راکتور استوانه ای با ارتفاع ۲.۵ متر و قطر ۵ متر باشد.انرژی مصرف شده برای تولید بیوگاز از پسماند غذایی‌استان اردبیل (۳۸.۴۸۵۳ درجه شمالی، ۴۷.۸۹۱۱ درجه شرقی) در ایران یکی از شمالی‌ترین مراکز گردشگری و دارای آب و هوای سرد است. شکل ۳ اندازه-گیری دمای هوای ایران را از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ نشان می‌دهد [۳۶]. این نتیجه حاکی از آن است که استان اردبیل دارای کمترین میانگین دمای سالانه در بین سایر استان‌های ایران است که تقریباً برابر با ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. از این رو استانی با سخت‌ترین شرایط تولید بیوگاز به عنوان نمونه مورد مطالعه در این تحقیق انتخاب شد. با توجه به اینکه Ta یک پارامتر متغیر است، برای ساده‌سازی محاسبات در این تحقیق، میانگین دمای ماهانه به صورت $\overline{\mathrm{Ta}}$ در نظر گرفته شده‌است. با جایگزینی مقادیر عددی معادله ۱، انرژی حرارتی مورد نیاز برای یک دوره تولید (۲۱ روز) در (کیلووات ساعت)، با استفاده از معادله ۱ به دست می آید:

$$Q_{consumption} = 2450.882 - 63.853\overline{T}_a \qquad (1)$$



شکل ۳. متوسط دمای ده ساله برای استان های ایران

شکل ٤ میانگین دمای روزانه و ماهانه استان اردبیل را در سال ۱۳۹۵ نشان می دهد [۳٦]. واضح است که میانگین دمای ماهانه کمترین مقدار (۳.٦- درجه سانتی گراد) در دی ماه و بیشترین مقدار (۲۱.۹ درجه سانتی گراد) در مرداد ماه است. همچنین میانگین کمترین دمای روزانه ۱۱.۹- درجه سانتی‌گراد نیز در ماه ژانویه اندازه‌گیری شده‌است که یک شرایط بحرانی برای تولید بیوگاز است.



شکل ٤ متوسط دمای سالانه اردبیل در ۲۰۱٦

با توجه به مقدار پسماند غذایی با رطوبت ۸۰.۹ درصد، انرژی مورد نیاز برای ۱ تن پسماند در یک دوره تولید به میزان کیلووات ساعت بر تن با استفاده از معادله ۲ به دست می آید:

$$Q_{Specific_Consumption} = 204.24 - 5.35\overline{T}_a \qquad (۲)$$

انرژی تولید شده از بیوگاز

نتایج تجربی این مطالعه نشان می‌دهد که مقدار بیوگاز تولیدی در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد برابر با ۳۱٤/۱۱ L/kg.VS و در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد به ۳٦٤/۸ L/kg.VS افزایش می‌یابد. حدود ۱۷.۷٪ از کل VS است ، بنابراین، برای ۱۲ تن پسماند، VS برابر با ۲.۱۲٤ تن است. به این ترتیب، حجم بیوگاز کاهش یافته ٦٦۷.۱۹ مترمکعب است. با فرض ارزش گرمایی کم بیوگاز (۱۸ Mj/m^3) [٦۱]. کل ارزش گرمایشی بیوگاز تولیدی ۳۳۳۵.٤۸ کیلووات ساعت خواهدبود. انرژی تولیدشده در یک دوره تولید بیوگاز، با مقدار ۱۲ تن پسماند، ۲۷۷/۹۵ kW.h/ton در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و ۳۲۲/۸٤ kW.h/ton در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

پایداری و اطمینان به سیستم تولید بیوگاز

به منظور بررسی پایداری سیستم تولید بیوگاز، ضریب اطمینان به عنوان نسبت انرژی تولیدشده خاص به انرژی حرارتی مورد نیاز تعریف می‌شود که در معادله ۳ نشان داده شده است:

$$\eta_{IS} = \frac{Q_{Specific_Consumption}}{Q_{\text{Energy Production}}} \qquad (۳)$$

زمانی که تولید بیوگاز پایدار باشد، ضریب اطمینان بیش از ۱ است، بنابراین شرایط بحرانی زمانی رخ می‌دهد که ضریب اطمینان برابر با ۱ باشد. در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، با جایگزینی مقدار انرژی تولید شده (۲۷۷/۹۵ کیلووات) و انرژی حرارتی مورد نیاز و دمای ماهانه در شرایط بحرانی در ۳۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. لازم به ذکر است که حداقل دمای میانگین به عنوان دمای بحرانی برای تولید در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد. با توجه به مقادیر دما در ۱۰ سال گذشته، میانگین دمای ماهانه استان‌های ایران هرگز به مقدار کمتر از ۱۳.۷- درجه سانتی‌گراد کاهش نمی‌یابد، بنابراین مشخص است که سیستم تولید در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد کاملاً پایدار خواهد بود. در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد دمای بحرانی ۱/۰۸+ درجه سانتی‌گراد است، بنابراین در اکثر استان‌های ایران شرایط پایداری برای تولید بیوگاز وجود ندارد. تولید بیوگاز در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد در فصول سرد سال مستلزم مصرف انرژی اضافی از شبکه سراسری گاز طبیعی است و در این شرایط تعادل انرژی

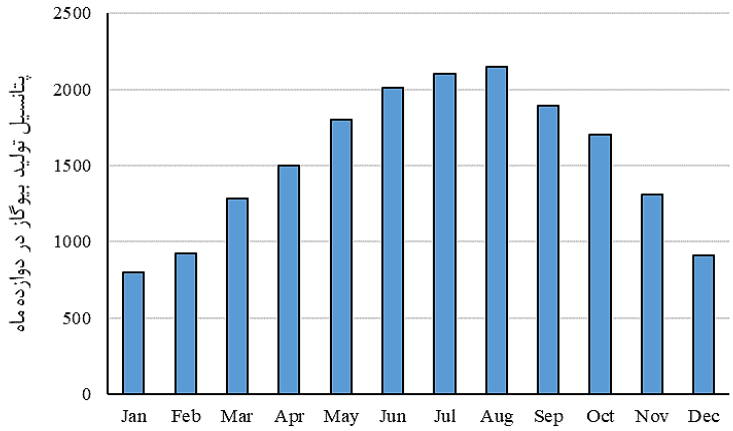
منفی وجود دارد و سیستم تولید از وضعیت پایدار خارج می-شود. محاسبات زیر در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد انجام شد. انرژی خالص تولید شده از بیوگاز پسماندغذایی برابر است با اختلاف انرژی ویژه تولیدشده و انرژی حرارتی مورد نیاز ویژه (کیلووات بر تن) در معادله ٤ ارائه شده است:

$$Q_{\text{Net Energy Production}} = Q_{\text{Energy Production}} - Q_{Specific_Consumption} \quad (٤)$$
$$= 73.786 + 5.35\overline{T_a}$$

شکل ۵ انرژی خالص تولیدشده از بیوگاز را برای یک راکتور در یک دوره یک‌ساله نشان می‌دهد. واضح است که تولید بیوگاز پایدار (در محدوده ۸۲۱ تا ۲۱۲۳ کیلووات ساعت) در تمام ماه‌های سال وجود دارد. پتانسیل تولید بیوگاز از پسماندغذایی کمترین مقدار را در ماه‌های سرد سال (دسامبر، ژانویه و فوریه) و بیشترین مقدار را در ماه‌های گرم سال (آگوست، جولای و ژوئن) دارد.نتایج تجربی این تحقیق نشان می‌دهد که میانگین درصد متان در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد معادل ٦۵ درصد بیوگاز است. با فرض کمترین مقدار انرژی حرارتی از بیوگاز (۱۸ مگاژول بر مترمکعب) و با جایگزینی در معادله ٤، مجموع متان تولید شده در هر تن پسماند مواد غذایی با استفاده از معادله ۵ محاسبه شد:

$$V_{\text{Net Methane Production}} = 9.592 + 0.695\overline{T_a} \quad (۵)$$

در جدول ۲ میزان متان تولیدشده از پسماندغذایی ایران در سال ۱۳۹٤ ارائه شده است. آمارها نشان می دهد که کل پسماند غذایی تولیدی کشور معادل ٤۱٤٤۹۱/۷ تن در سال است. بر این اساس، پتانسیل تولید متان ۸٦۹۰/۸ *۱۰۳ مترمکعب در سال به دست آمد که استان‌های قزوین و تهران به ترتیب با ۱۷۳۱/۱*۱۰۳ و ۱۲٤۹/٤*۱۰۳ بیشترین میزان تولید متان را داشتند. بیشترین مقدار تولید متان از پسماند غذایی در کشور در تیر و مرداد (به ترتیب ۱۰۲۸/۹ مترمکعب و ۱۰۰۰/۹*۱۰۳ مترمکعب) و کمترین مقدار تولید متان از پسماند غذایی در دی و مرداد مشاهده شد.



شکل ۵. تعادل تولید بیوگاز از پسماند غذایی در ۱۲ ماه

جدول ۲ آمار تولید بیوگاز برای ماه‌های مختلف در استان‌های ایران

استان	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUNE	JULY	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
Alborz	۳٦.۲	٤۲.۵	۵۵.۹	٦۷.۷	۷۸.۹	۹۰.۹	۹٦.٦	۹٤.٤	۸٦.۰	۷۱.٤	۵۳.۰	٤۲.۲
Ardebil	۱۱.۱	۱۳.۰	۱۷.۲	۲۰.۹	۲۵.۰	۲۷.۸	۲۹.٤	۲۹.۵	۲٦.٦	۲۲.۷	۱۷.۱	۱۳.٤
Azarbaijan Gharbi	۳.٦	٤.٦	٦.٤	۸.۱	۹.۵	۱۱.۱	۱۲.۰	۱۱.۸	۱۰.۳	۸.۳	٦.۰	٤.٤
Azarbaijan Sharghi	٦.۷	۸.٦	۱۱.۷	۱٤.۸	۱۷.۷	۲۱.۰	۲۲.٦	۲۲.۷	۲۰.۰	۱٦.۰	۱۱.۳	۸.۱
Bushehr	۲.٤	۲.٦	۲.۸	۳.۲	۳.٦	۳.۸	۳.۹	٤.۰	۳.۸	۳.۵	۳.۰	۲.٦
Chaharmahal va Bakhtiari	۷.٤	۱۱.۰	۱٤.۸	۱۸.۰	۲۱.۷	۲۵.٦	۲۸.۱	۲٦.۷	۲۳.۲	۱۹.۳	۱٤.۰	۱۰.۰
Fars	٤۱.٦	٤۸.٤	۵۷.۷	٦٦.۹	۸۰.۲	۹۰.٦	۹۵.۱	۹۱.۹	۸۳.۳	۷۱.۰	۵۵.۰	٤٤.۷
Ghazvin	۷۳.٤	۸۷.۹	۱۱٦.۵	۱٤۱.۰	۱٦۷.٦	۱۹٦.۳	۲۱۰.۰	۲۰٤.۲	۱۸۳.۹	۱۵۱.۸	۱۱۱.۲	۸۷.۲
Ghom	۱.۱	۱.۳	۱.۸	۲.۱	۲.۵	۲.۸	۳.۰	۲.۹	۲.٦	۲.۱	۱.٦	۱.۲
Golestan	۲.۳	۲.۵	۲.۹	۳.٤	٤.۰	٤.٦	٤.۸	٤.۸	٤.۵	۳.۸	۳.۱	۲.٦
Guilan	۵.۳	۵.۲	٦.۱	۷.۲	۸.۷	۹.۸	۱۰.۲	۱۰.۲	۹.٤	۸.۲	٦.۸	۵.۹
Hamedan	٤.۸	٦.۸	۹.۷	۱۱.۹	۱٤.۰	۱٦.۷	۱۸.۵	۱۸.۰	۱۵.۷	۱۲.۷	۹.۰	٦.۷
Hormozgan	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
Ilam	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰

Isfahan	۳۱.۲	۳۸.۲	۴۸.۷	۵۷.۱	۶۷.۶	۷۷.۷	۸۲.۶	۷۸.۵	۷۱.۰	۵۹.۵	۴۳.۸	۳۴.۲
Kerman	۷.۵	۸.۷	۱۰.۹	۱۲.۸	۱۵.۱	۱۶.۸	۱۷.۴	۱۶.۴	۱۵.۰	۱۲.۹	۹.۹	۷.۹
Kermanshah	۸.۱	۹.۶	۱۲.۲	۱۴.۵	۱۷.۳	۲۰.۸	۲۲.۶	۲۲.۲	۱۹.۵	۱۶.۲	۱۲.۰	۹.۷
Khorasan Jonubi	۲.۴	۲.۸	۳.۷	۴.۵	۵.۳	۵.۸	۶.۰	۵.۷	۵.۲	۴.۴	۳.۴	۲.۷
Khorasan Razavi	۱۵.۴	۱۷.۷	۲۳.۶	۲۹.۲	۳۴.۸	۳۹.۷	۴۱.۴	۳۹.۷	۳۵.۲	۲۹.۱	۲۲.۰	۱۷.۶
Khorasan Shomali	۰.۲	۰.۳	۰.۴	۰.۴	۰.۵	۰.۶	۰.۷	۰.۶	۰.۶	۰.۵	۰.۳	۰.۳
Khuzestan	۳۹.۹	۴۴.۸	۵۲.۲	۶۱.۳	۷۱.۵	۷۷.۹	۸۰.۳	۷۹.۴	۷۲.۸	۶۳.۷	۵۰.۹	۴۲.۶
Kohgiluye va Boyerahmad	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
Kordestan	۱۰.۱	۱۲.۴	۱۶.۲	۱۹.۶	۲۳.۲	۲۸.۲	۳۰.۸	۳۰.۳	۲۶.۲	۲۱.۳	۱۵.۵	۱۲.۱
Lorestan	۳.۹	۴.۵	۵.۵	۶.۴	۷.۷	۹.۱	۹.۸	۹.۷	۸.۵	۷.۱	۵.۴	۴.۴
Markazi	۳.۹	۵.۴	۷.۴	۸.۸	۱۰.۶	۱۲.۶	۱۳.۶	۱۳.۱	۱۱.۶	۹.۵	۶.۷	۵.۲
Mazandaran	۱۱.۵	۱۱.۷	۱۳.۶	۱۵.۸	۱۸.۷	۲۱.۰	۲۲.۱	۲۲.۲	۲۰.۶	۱۷.۹	۱۴.۷	۱۲.۵
Semnan	۱.۳	۱.۶	۲.۱	۲.۵	۳.۰	۳.۴	۳.۶	۳.۴	۳.۱	۲.۶	۱.۹	۱.۵
Sistan va Baluchestan	۲.۱	۲.۴	۳.۰	۳.۵	۴.۰	۴.۳	۴.۴	۴.۲	۳.۸	۳.۳	۲.۷	۲.۱
Tehran	۵۸.۲	۶۶.۴	۸۵.۷	۱۰۳.۱	۱۲۱.۳	۱۳۸.۹	۱۴۷.۴	۱۴۲.۸	۱۳۰.۲	۱۰۸.۷	۸۱.۵	۶۵.۱
Yazd	۱.۴	۱.۶	۲.۱	۲.۴	۲.۸	۳.۲	۳.۳	۳.۱	۲.۹	۲.۴	۱.۹	۱.۵
Zanjan	۲.۵	۳.۲	۴.۵	۵.۶	۶.۶	۷.۸	۸.۵	۸.۴	۷.۴	۶.۰	۴.۳	۳.۲

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تولید و مصرف انرژی، تولید بیوگاز از پسماندهای غذایی در اقلیم‌های نیمه خنک مقرون به صرفه است. در مناطق سردسیری مانند استان اردبیل، منطقه مورد مطالعه که سردترین آب و هوا را دارد، تهیه و آماده‌سازی پسماند غذایی مقرون به صرفه است و صنعت از گسترش خوبی برخوردار است، اما از لحاظ انرژی کمی هزینه بیشتری را می‌طلبد. خوشبختانه بر اساس محاسبات تراز تولید انرژی در استان اردبیل، تراز انرژی در تولید بیوگاز عددی مثبت است.رویکرد اقتصادی به تولید پایدار بیوگاز از پسماند غذایی‌چالش‌های اصلی در تأمین امنیت انرژی به کارگیری منابع تولید اقتصادی است. در حال حاضر هزینه تولید انرژی از بیوگاز به دلیل فناوری به کار رفته در آن کمی بیشتر از سایر انواع انرژی است [۷۰]. پسماند موادغذایی یکی از منابع کم هزینه تولید بیوگاز در ایران است. استان اردبیل سردترین استان ایران و بهترین نمونه برای تحلیل اقتصادی تولید بیوگاز است. ابتدا هزینه‌های مربوط به راکتور طراحی شده مورد بحث قرار گرفت. همانطور که قبلا ذکر شد، راکتور طراحی شده دارای ارتفاع ۲.۵ متر و قطر ۵ متر است و دیوارهای آن دارای مصالح ساختمانی معمولی (آجر و سیمان) به ضخامت ۰.۲۵ متر است، سقف و کف آن از بتن با یک ضخامت ۰.۱ متر و عایق پشم شیشه با ضخامت ۰.۰۵ متر برای پوشش رآکتور استفاده‌شد. با در نظر گرفتن قیمت مصالح‌ساختمانی در ایران، هزینه ساخت مجتمع حدود ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ دلار است [۶۹].

سیستم گرمایش راکتور بیوگاز شامل دیگ‌های بخار با لوله-های گرمایش از کف و دیوار است که حدود ۱۲۵۰ دلار قیمت دارد. هزینه‌های نیروی کار، هزینه‌های نصب و راه‌اندازی حدود ۱۰۰۰ دلار خواهد بود. بنابراین هزینه ساخت و تجهیز راکتور بیوگاز حدود ۴۷۵۰ تا ۵۲۵۰ دلار است. اگر هزینه نگهداری و استهلاک ۱۰ درصد تعیین شود، کل هزینه برای ساخت مجموعه بیوگاز حدود ۵۲۲۵ تا ۵۷۷۵ دلار خواهدبود [۶۹].درآمد حاصل از تولید بیوگاز از پسماند غذایی را می-توان به دو بخش تقسیم کرد: درآمد حاصل از فروش لجن باقی‌مانده در هاضم بیوگاز به عنوان کود و درآمد حاصل از فروش بیوگاز . بر اساس محاسبات، بیوگاز تولیدی از ۱۲ تن پسماند حدود ۶۶۷/۱۹ مترمکعب است. اگر درصد متان در بیوگاز ۶۰ درصد در نظر گرفته‌شود، مجموع متان تولیدی معادل ۴۰۰/۳ مترمکعب است. قیمت ۱ مترمکعب گاز طبیعی در ایران حدود ۰.۰۵ دلار است. بنابراین، درآمد حاصل از فروش بیوگاز ۲۰ دلار خواهد بود که مقدار ناچیزی است، اما لجن باقی‌مانده در هاضم که به عنوان کود نیتروژن غنی شده فروخته می‌شود، مشتری بیشتری در بخش های کشاورزی و باغبانی دارد. می‌توان پیش بینی کرد که پس از عملیات تخمیر در هر دوره تولید بیوگاز، حدود ۱۱ تن کود مرطوب با رطوبت ۸۰ درصد حاصل می‌شود که معادل ۶.۶ تن کود آلی نیتروژن با رطوبت ۴۰ درصد است. در حال حاضر قیمت کودهای آلی در ایران ۲۵ دلار در تن است [۶۹]. در نتیجه، درآمد حاصل از فروش کودهای آلی در هر دوره تولید حدود

۱۶۵ دلار است. جدول ۳ رویکرد اقتصادی تولید پایدار بیوگاز از پسماند غذایی را نشان می‌دهد.

جدول۳. رویکرد اقتصادی تولید بیوگاز از پسماند غذایی

Parameter	Unit	value
هزینه ساخت کل	total	۵۲۲۵$ to ۵۷۷۵$
هزینه تهیه پسماند	Per month	۱۲ $
درآمد فروش بیوگاز سالانه	Per month	۲۰ $
درآمد فروش کود سالانه	Per month	۱۶۵ $

هشدارها در مورد گرمایش جهانی برای مدت طولانی بسیار واضح بوده‌است. ما با یک بحران جهانی آب و هوا مواجه هستیم و روز به روز بدتر می‌شود. ما وارد دوره‌ای از پیامدهای آن می‌شویم. در همین حال، کنوانسیونی با مشارکت برخی کشورها و اعضای آن متعهد به جلوگیری از آلودگی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های صنعتی تشکیل شده است. از دسامبر ۲۰۱۶، ۱۹۲ کشور و اتحادیه اروپا این توافق را امضا کرده‌اند. حدود ۱۲۵ عضو از آنها این توافقنامه را تصویب کرده و به آن ملحق شده‌اند که مهمترین آنها چین، ایالات متحده و هند، سه نمونه از بزرگترین تولیدکنندگان گازهای گلخانه‌ای در میان امضاکنندگان هستند. این سه کشور روی هم حدود ۴۲ درصد از کل انتشار را تشکیل می‌دهند [۷۱، ۷۲]. سهم ایران در این قرارداد حدود ۱.۳ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای است. به منظور کاهش هر تن کربن، گواهی انتشار کربن به صاحب پروژه‌ها تعلق می‌گیرد. بر این اساس، صنعتگران بیوگاز می‌توانند پس از اجرای طرح و کسب دستاوردهای مورد نیاز که می‌تواند منبع درآمدی برای آنها باشد، CER دریافت کنند. محرک های انتشار زیربنایی شامل گزینه های کاهش آلودگی بلندمدت و کوتاه‌مدت، چرخه‌های اقتصادی، قیمت‌های مرتبط با انرژی و شرایط آب و هوایی است [۷۴].

نتیجه گیری

کشور ایران از نظر منابع زیست‌توده به اندازه‌ای غنی است که می توان از آن برای تولید انرژی های تجدیدپذیر استفاده کرد. پسماند غذایی با تولید سالانه ۴۱۴۴۹۱/۷ تن یکی از این منابع موجود است. نتایج مطالعه حاضر نشان می دهد که پتانسیل قابل توجهی برای استفاده از پسماند غذایی به عنوان یک منبع پایدار برای تولید بیوگاز در ایران وجود دارد. هدف از مطالعه حاضر بررسی امنیت انرژی تولید بیوگاز از پسماند غذایی با رویکرد پدافند غیرعامل بود. همچنین با هدف بررسی جایگزینی این انرژی با انرژی مبتنی بر فسیل و تاثیر آن بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام شد. به منظور مطالعه پتانسیل تولید بیوگاز از پسماند غذایی، یک نمونه تجربی در یک هاضم در مقیاس کوچک مورد بررسی قرار گرفت. هاضم با ترکیب سیستم هاضم هندی و چینی طراحی شد تا از مزایای هر دو بهره‌مند شود. نتایج نشان داد که تولید بیوگاز تجمعی در دمای ترموفیل (۵۵ درجه سانتی‌گراد) بیشتر از دمای مزوفیل (۳۵ درجه سانتیگ‌راد) به ترتیب با مقادیر ۳۶۴/۸ لیتر بر کیلوگرم بر کیلوگرم و ۳۱۴/۱۱ لیتر بر کیلوگرم بر کیلوگرم است. تولید بیوگاز و ثابت نگه داشتن دمای داخل راکتور به دمای محیط و شرایط اقلیمی منطقه بستگی دارد، بنابراین انرژی حرارتی مورد نیاز راکتور برای هر استان به طور جداگانه بررسی شد. به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر، جزئیات تولید بیوگاز از پسماند غذایی مورد بحث قرار گرفت، میزان کل پسماند غذایی تولید شده در ایران ارائه شد و میزان کل انرژی قابل دسترسی از این نوع زیست توده نیز اندازه‌گیری شد. استان اردبیل با میانگین دمای سالانه ۱۰ درجه سانتی گراد سردترین استان ایران است. از این رو به عنوان مطالعه موردی استانی با سخت‌ترین شرایط تولید بیوگاز در کشور انتخاب و منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که انرژی بیوگاز تولیدی از پسماند غذایی در یک دوره تولید برابر با ۲۷۷/۹۵ کیلووات ساعت در تن در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و ۳۲۲/۸۴ کیلووات ساعت بر تن در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد است. بررسی پایداری و اطمینان سیستم نشان داد که سیستم تولید بیوگاز می تواند در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد در تمامی استان‌های کشور پایدار باشد. اما در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد در اکثر استان‌های کشور شرایط پایداری وجود ندارد. بیشترین پتانسیل تولید متان از پسماند غذایی مربوط به تیر و مرداد و کمترین پتانسیل مربوط به ماه های آذر و دی می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که پتانسیل تولید متان در کشور ۸۶۹۰/۹*۱۰۳ مترمکعب در سال است. استان‌های قزوین و تهران به ترتیب بیشترین میزان تولید متان را به خود اختصاص دادند. در این مطالعه، سوخت متان تولیدشده از پسماند غذایی به عنوان منبع جایگزین سوخت گاز طبیعی مطرح شد. بنابراین با توجه به محاسبات انجام شده در این تحقیق، با جایگزینی متان تولیدی با گاز طبیعی، حدود ۴۵۱۷/۶ تن دی اکسید کربن کمتری به جوّ منتشر شد. با توجه به نگرانی‌ها در مورد گرمایش زمین و تعهد کشورها به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای طبق معاهده پاریس، می‌توان گفت که استفاده از بیوگاز تولیدی می‌تواند مفید باشد. محاسبات اقتصادی نشان داد که با در نظر گرفتن کلیه

درآمدهای حاصل از فروش بیوگاز و کود و میزان هزینه اولیه و هزینه نگهداری تولید بیوگاز، هزینه اولیه سرمایه گذاری برای ساخت بیوگاز از پسماند غذایی پس از ۳۶ ماه پس از بازگشت قابل بازگشت است. تولید بیوگاز و سیستم به عنوان یک منبع درآمد خالص و پایدار برای صاحبان آن عمل خواهد کرد.این مورد زمانی ارزش می‌یابد که می‌توان ادعا کرد امنیت تولید انرژی بیوگاز بستگی به امنیت فراهم شدن مواد اولیه آن دارد و با سیستمی بسیار ساده می‌تواند به عنوان منبع تولید پایدار به خصوص در مناطق دور افتاده مطرح شود به طوری که هزینه انتقال انرژی به نقاط دور افتاده را کاهش داده و از نقطه نظر پدافند غیرعامل نیز مهم تلقی می‌شود. به طوریکه در صورت آسیب دیدگی شبکه کلی انتقال انرژی، چرخه تولید، انتقال و مصرف انرژی به صورت کاملاً مستقل و مکان محور عمل کرده و پایداری در کل شبکه را حفظ می‌کند.

Refrences

[۱] Abdoli M. Biogas. Iran Renewable Energy Organization: SUNA. available from: http://www.suna.org.ir.

[۲] Abdoli M, Pazekey M. Potential of biomass energy technologies in rural areas. : Iran: Motahari Publication; ۲۰۱۲.

[۳] Afsharzade N, Papzan A, Ashjaee M, Delangizan S, Van Passel S, Azadi H. Renewable energy development in rural areas of Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۱٦;٦٥:٧٤٣-٥٥.

[٤] Mostafaeipour A, Abarghooei H. Harnessing wind energy at Manjil area located in north of Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۰۸;۱۲:۱۷٥۸-٦٦.

[٥] Najafi G, Ghobadian B, Tavakoli T, Yusaf T. Potential of bioethanol production from agricultural wastes in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۰۹;۱۳:۱٤۱۸-۲۷.

[٦] Hamzeh Y, Ashori A, Mirzaei B, Abdulkhani A, Molaei M. Current and potential capabilities of biomass for green energy in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۱۱;۱٥:٤۹۳٤-۸.

[۷] Moghaddam NB, Mousavi SM, Nasiri M, Moallemi EA, Yousefdehi H. Wind energy status of Iran: Evaluating Iran's technological capability in manufacturing wind turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۱۱;۱٥:٤۲۰۰-۱۱.

[۸] Ben Jebli M, Ben Youssef S. The role of renewable energy and agriculture in reducing CO۲ emissions: evidence for North Africa countries. ۲۰۱٥.

[۹] Bahrami M, Abbaszadeh P. Development a scenario-based model for Iran′ s energy future. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۱٦;٦۲:۹٦۳-۷۰.

[۱۰] Derakhshan S, Nourbakhsh A. Experimental study of characteristic curves of centrifugal pumps working as turbines in different specific speeds. Experimental thermal and fluid science. ۲۰۰۸;۳۲:۸۰۰-۷.

[۱۱] Ghorashi AH, Rahimi A. Renewable and non-renewable energy status in Iran: Art of know-how and technology-gaps. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۱۱;۱٥:۷۲۹-۳٦.

[۱۲] Noorollahi Y, Kheirrouz M, Asl HF, Yousefi H, Hajinezhad A. Biogas production potential from livestock manure in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۱٥;٥۰:۷٤۸-٥٤.

[۱۳] Afazeli H, Jafari A, Rafiee S, Nosrati M. An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۱٤;۳٤:۳۸۰-٦.

[۱٤] Noorollahi Y, Yousefi H, Ehara S, Itoi R. Geothermal energy development in Iran. Presented at the Workshop for Decision Makers on Direct Heating Use of Geothermal Resources in Asia۲۰۰۸.

[۱٥] Bahrami M, Abbaszadeh P. An overview of renewable energies in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۱۳;۲٤:۱۹۸-۲۰۸.

[۱٦] Agostini A, Battini F, Giuntoli J, Tabaglio V, Padella M, Baxter D, et al. Environmentally sustainable biogas? The key role of manure co-digestion with energy crops. Energies. ۲۰۱٥;۸:٥۲۳٤-٦٥.

[۱۷] Agostini A, Battini F, Padella M, Giuntoli J, Baxter D, Marelli L, et al. Economics of GHG emissions mitigation via biogas production from Sorghum, maize and dairy farm manure digestion in the Po valley. Biomass and Bioenergy. ۲۰۱٦;۸۹:٥۸-٦٦.

[۱۸] Uusitalo V, Havukainen J, Manninen K, Höhn J, Lehtonen E, Rasi S, et al. Carbon footprint of selected biomass to biogas production chains and GHG reduction potential in transportation use. Renewable Energy. **۲۰۱٤□٦٦:۹۰-۸.**

[۱۹] Liu X, Gao X, Wang W, Zheng L, Zhou Y, Sun Y. Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste: Focusing on biogas production and GHG reduction. Renewable energy. ۲۰۱۲;٤٤:٤٦۳-۸.

[۲۰] Reinelt T, Liebetrau J, Nelles M. Analysis of operational methane emissions from pressure relief valves from biogas storages of biogas plants. Bioresource technology. ۲۰۱۶.
[۲۱] Li T, Baležentis T, Makutėnienė D, Streimikiene D, Kriščiukaitienė I. Energy-related CO ۲ emission in European Union agriculture: Driving forces and possibilities for reduction. Applied Energy. **۲۰۱۶۱۸۰:۶۸۲-۹۴.**
[۲۲] Zhang B, Chen B. Dynamic Hybrid Life Cycle Assessment of CO ۲ Emissions of a Typical Biogas Project. Energy Procedia. ۲۰۱۶;۱۰۴:۳۹۶-۴۰۱.
[۲۳] Williams B, McMullan J, McCahey S. An initial assessment of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. Bioresource Technology. ۲۰۰۱;۷۹:۲۲۷-۳۰.
[۲۴] Guo M, Chorover J, Fox RH. Effects of spent mushroom substrate weathering on the chemistry of underlying soils. Journal of environmental quality. ۲۰۰۱;۳۰:۲۱۲۷-۳۴.
[۲۵] Beyer D. Spent mushroom substrate. Online mushroom spawn cas psu edu/spent htm. ۱۹۹۹.
[۲۶] Wisniewska G, Pankiewicz T. Evaluation of the suitability of spent mushroom substrate for tulip cultivation. Prace Instytutu Sadownictura kwiaciarstwa w skerniewicack. ۱۹۸۹;۱۴:۷-۱۳.
[۲۷] Meng L, Li W, Zhang S, Wu C, Lv L. Feasibility of co-composting of sewage sludge, spent mushroom substrate and wheat straw. Bioresource Technology. ۲۰۱۶.
[۲۸] Grujić M, Dojnov B, Potočnik I, Duduk B, Vujčić Z. Spent mushroom compost as substrate for the production of industrially important hydrolytic enzymes by fungi Trichoderma spp. and Aspergillus niger in solid state fermentation. International Biodeterioration & Biodegradation. ۲۰۱۵;۱۰۴:۲۹۰-۸.
[۲۹] Luo WH, Yuan J, Luo YM, Li GX, Nghiem LD, Price WE. Effects of mixing and covering with mature compost on gaseous emissions during composting. Chemosphere. ۲۰۱۴;۱۱۷:۱۴-۹.
[۳۰] Fang W, Zhang P, Gou X, Zhang H, Wu Y, Ye J, et al. Volatile fatty acid production from spent mushroom compost: Effect of total solid content. International Biodeterioration & Biodegradation. ۲۰۱۶.
[۳۱] Kulcu R, Sönmez İ, Yaldiz O, Kaplan M. Composting of spent mushroom compost, carnation wastes, chicken and cattle manures. Bioresource technology. ۲۰۰۸;۹۹:۸۲۵۹-۶۴.
[۳۲] ZHAO X-l, LI B-q, NI J-p, XIE D-t. Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting. Journal of Integrative Agriculture. ۲۰۱۶;۱۵:۲۳۲-۴۰.
[۳۳] Levanon D, Danai O. Chemical, physical and microbiological considerations in recycling spent mushroom substrate. Compost Science & Utilization. ۱۹۹۵;۳:۷۲-۹.
[۳۴] Chong C, Rinker DL. Use of spent mushroom substrate for growing containerized woody ornamentals: an overview. Compost Science & Utilization. ۱۹۹۴;۲:۴۵-۵۳.
[۳۵] Fleming R, MacAlpine M. Feasibility of processing spent mushroom substrate to recover additional value. MUSHROOM NEWS-KENNETT SQUARE THEN WASHINGTON-. ۲۰۰۶;۵۴:۶.
[۳۶] Iran Meteorogical Center. Availble from: <http://irimo.ir/eng/index.php>.
[۳۷] Azizi A. Abstract of strategic plans to promote edible mushrooms of research, training and agricultural organization Ministry of Agriculture. ۲۰۰۸.
[۳۸] Raja¹ SA, Lee CLR. BIOMETHANATION OF WATER HYACINTH USING ADDITIVES UNDER FORCED MIXING IN A BIO REACTOR. ۲۰۱۲.
[۳۹] Satyanarayan S, Murkute P. Biogas production enhancement by Brassica compestries amendment in cattle dung digesters. Biomass and Bioenergy. ۲۰۰۸;۳۲:۲۱۰-۵.
[۴۰] Sathianathan M. Bio-gas: achievements & challenges: Association of Voluntary Agencies for Rural Development: distributors, Lakshmi Book Store; ۱۹۷۵.
[۴۱] Cho JK, Park SC, Chang HN. Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes. Bioresource technology. ۱۹۹۵;۵۲:۲۴۵-۵۳.
[۴۲] Zhang R, El-Mashad HM, Hartman K, Wang F, Liu G, Choate C, et al. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. Bioresource technology. ۲۰۰۷;۹۸:۹۲۹-۳۵.
[۴۳] Heo NH, Park SC, Kang H. Effects of mixture ratio and hydraulic retention time on single-stage anaerobic co-digestion of food waste and waste activated sludge. Journal of Environmental Science and Health, Part A. ۲۰۰۴;۳۹:۱۷۳۹-۵۶.
[۴۴] Budiyono B, Seno J, Sunarso S. Influence of Inoculum Content on Performance of Anaerobic Reactors for Treating Cattle Manure using Rumen Fluid Inoculum. International Journal of Engineering and Technology. ۲۰۰۹;۱:۱۰۹-۱۶.

[٤٥] Wang X, Yang G, Feng Y, Ren G, Han X. Optimizing feeding composition and carbon–nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw. Bioresource Technology. ۲۰۱۲;۱۲۰:۷۸-۸۳.
[٤٦] Moreda IL. The potential of biogas production in Uruguay. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۱٦;٥٤:۱٥۸۰-۹۱.

[٤٧] Long JH, Aziz TN, Francis L, Ducoste JJ. Anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease (FOG): a review of gas production and process limitations. Process Safety and Environmental Protection. ۲۰۱۲;۹۰:۲۳۱-٤٥.
[٤٨] Salminen EA, Rintala JA. Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading. Water research. ۲۰۰۲;۳٦:۳۱۷٥-۸۲.
[٤٩] Mshandete A, Kivaisi A, Rubindamayugi M, Mattiasson B. Anaerobic batch co-digestion of sisal pulp and fish wastes. Bioresource technology. ۲۰۰٤;۹٥:۱۹-۲٤.
[٥۰] Chamy R, Vivanco E. Biogas Potential in Chile. ۲۰۰٦.
[٥۱] Uddin W, Khan B, Shaukat N, Majid M, Mujtaba G, Mehmood A, et al. Biogas potential for electric power generation in Pakistan: A survey. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ۲۰۱٦;٥٤:۲٥-۳۳.
[٥۲] dos Santos IFS, Barros RM, Tiago Filho GL. Electricity generation from biogas of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: an assessment of feasibility and potential. Journal of Cleaner Production. ۲۰۱٦;۱۲٦:٥۰٤-۱٤.

[٥۳] O'Shea R, Wall D, Murphy J. Modelling a demand driven biogas system for production of electricity at peak demand and for production of biomethane at other times. Bioresource technology. ۲۰۱٦;۲۱٦:۲۳۸-٤۹.
[٥٤] Gutiérrez-Gutiérrez SC, Coulon F, Jiang Y, Wagland S. Rare earth elements and critical metal content of extracted landfilled material and potential recovery opportunities. Waste Management. ۲۰۱٥;٤۲:۱۲۸-۳٦.
[٥٥] American Public Health Association (APHA). Standard Methods for the Determination of Water and Waste Water
Washington, DC: APHA; ۲۰۱۱.
[٥٦] U S Environmental protection Agency. Method ۱٦۸٤: Total, Fixed and Volatile Solids in Water, Solids and Biodsolids. ۲۰۰۱.

[٥۷] Krátký L, Jirout T, Nalezenec J. Lab-scale technology for biogas production from lignocellulose wastes. Acta Polytechnica. ۲۰۱۲;٥۲.
[٥۸] ٤٦۳۰ V. Fermentation of organic materials: characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation test. The Association of German Engineers. ۲۰۰٦.
[٥۹] Engineers TAoG. VDI ٤٦۳۰-Fermentation of organic materials: characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation test. ۲۰۰٦.
[٦۰] Ware A, Power N. What is the effect of mandatory pasteurisation on the biogas transformation of solid slaughterhouse wastes? Waste Management. ۲۰۱٦;٤۸:٥۰۳-۱۲.
[٦۱] Esmaeil pour S, Najafi B. Feasibility of Biogas producing from Spent Mushroom Compost. Ardabil, Iran.: University of Mohaghegh Ardabili; ۲۰۱٥.
[٦۲] Fidanza MA, Sanford DL, Beyer DM, Aurentz DJ. Analysis of fresh mushroom compost. HortTechnology. ۲۰۱۰;۲۰:٤٤۹-٥۳.

[٦۳] Noble R, Gaze R. Preparation of mushroom (Agaricus bisporus) composts in controlled environments: factors influencing compost bulk density and productivity. International biodeterioration & biodegradation. **۱۹۹٦;۳۷:۹۳-۱۰۰.**

[٦٤] Rutz D, Mergner R, Janssen R. Sustainable heat use of biogas plants. A Handbook, Biogas Heat, WIP Renewable Energies, Munich, Germany. ۲۰۱۲.
[٦٥] Holman JP. Heat Transfer: ۳d Ed: McGraw-Hill; ۱۹۷۲.
[٦٦] Mudhoo A, Mohee R. Overall heat transfer coefficients in organic substrates composting. Journal of Environmental Informatics. ۲۰۰۷;۹:۸۷-۹۹.
[٦۷] Incropera FP, De Witt DP. Fundamentals of heat and mass transfer. ۱۹۸٥.
[٦۸] Statistics of Agriculture Organization of Iran. Agricultural organization of Iran. ۲۰۱٤-۲۰۱٥.
[٦۹] http://amar.org.ir. Statical Center Of Iran.

[۷۰] Godfrey B. Renewable Energy: Power for a Sustainable Development: Published by Oxford University; ۲۰۰٤.
[۷۱] https://en.wikipedia.org/wiki/Paris_Agreement.
[۷۲] Collection UNT. Paris Agreement. ۸ july ۲۰۱٦.
[۷۳] Secretariat CC. Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its seventh session, held in Durban from ۲۸ November to ۱۱ December ۲۰۱۱. Bonn: Climate Change Secretariat; ۲۰۱۱.
[۷٤] Chesney M, Gheyssens J, Taschini L. Environmental finance and investments: Springer Science & Business Media; ۲۰۱۳.

Investigation of sustainable energy production from biomass with the approach of energy security and passive defense

Ghorban Bagheri[۱]*

[۱] Faculty of Political Science, Farabi University of Science and Technology, Tehran, Iran

Email Address: ba.gorban۹۵@gmail.com

Abstract

Introduction

Iran is very rich in fossil fuels such as coal, oil, and natural gas. After fossil fuels, biomass is the fourth source of sustainable energy in Iran and around the world. Biomass resources include a wide range of organic materials, which are mainly divided into six groups: ۱) wood, ۲) waste collected from the forest and agriculture, horticulture, and food industries, and ۳) garbage. urban solids, ٤) sewage, ٥) animal waste, ٦) sewage, and industrial organic waste. The direct use of these sources can produce heat and if they are used to produce biofuels such as biogas, which can be used in engine generators to produce electricity. On the one hand, Iran benefits from non-renewable fossil fuel sources such as oil and gas, and on the other hand, this country has unlimited potential for sustainable energy sources such as the sun, geothermal, wind, hydrogen, and biomass. also benefits. In fact, renewable energy sources are becoming more popular day by day. The human population will soon be deprived of non-renewable energy sources. Perishable materials and solid waste (biomass) are abundant, and the operation of the biogas system is very simple, therefore, many countries, including China, Germany, and Sweden, have requested to produce more bioenergy. Nowadays, much attention is paid to renewable energies. Several studies have been conducted in relation to biogas production and GHG reduction. Carbon dioxide (CO_2) is the most important factor among all the greenhouse gases released during fossil energy production. This study is an introduction to the sources, status, and prospects of food waste as the main biomass in the direction of sustainable biogas energy production in Iran. This study consists of five stages. In the first step, we present an introduction to the overview of the research. In the second stage, we discuss the production of biogas and the amount of biomass production and also measure the production and consumption of energy. In the third stage, we discuss the reduction of pollution caused by greenhouse gases. In the fourth stage, we observe the plan from an economic point of view and finally provide a comprehensive conclusion of the issue.

Methodology

In this study, food waste was used as the main biomass material for biogas production. The required food waste was obtained from the canteen of Mohaghegh Ardabili University located in Ardabil province. To measure the initial moisture content of food waste, ۱۰۰ grams of food waste was placed in the oven for ۲٤ hours and weighed again. The difference in weight showed the amount of moisture in food waste. Total solids (TS) were determined by subtracting the amount of moisture from the total amount of food waste. Volatile solids (VS) were also determined by burning ٥ grams (TS) at ٥٥۰°C for two hours in an electric oven based on the American Public Health Association (APHA) standard. The amount of nitrogen in the biomass and the level of organic carbon were in accordance with the APHA standard using the Kjeldahl and chemical burning methods. Digesters were placed in a hot water bath at a temperature of ۳٥ degrees Celsius. Temperatures were measured and controlled using a digital thermostat with an accuracy of ±۰,۱°C. The biogas produced from the digesters was transferred to another set of plastic bottles and their volume was measured using the water displacement method. The produced biogas was transferred to NaOH solution and after absorbing CO_2 and H_2S, methane was extracted and its percentage was calculated using the displacement method with an accuracy of ±٥ ml. The experimental results of this study show that the amount of biogas produced at a temperature of ۳٥°C is equal to ۳۱٤,۱۱ L/kg.VS and at a temperature of ٥٥°C it increases to ۸.۳٦٤ L/kg.VS. It is about ۱۷.۷٪ of the total VS, so, for ۱۲ tons of waste, VS is equal to ۲,۱۲٤ tons. In this way, the reduced volume of biogas is ٦٦۷,۱۹ cubic meters. Assuming the low heating value of biogas (۱۸ MJ/m۳), the total heating value of produced biogas will be ۳۳۳٥,٤۸ kWh. The energy produced in a period of biogas production, with the amount of ۱۲ tons of waste, will be ۲۷۷,۹٥ kW.h/ton at a temperature of ۳٥ degrees Celsius and ۳۲۲,۸٤ kW.h/ton at a temperature of ٥٥ degrees Celsius. The main challenges in ensuring energy security are the use of economic production resources. Currently, the

cost of producing energy from biogas is slightly higher than other types of energy due to the technology used in it.

Conclusion

Based on calculations, biogas produced from ۱۲ tons of waste is about ٦٦٧,١٩ cubic meters. If the percentage of methane in biogas is considered to be ٦٠٪, the total amount of methane produced is equal to ٤٠٠,٣ cubic meters. The price of ۱ cubic meter of natural gas in Iran is about $٠,٠٥. Therefore, the income from the sale of biogas will be $۲۰, which is a small amount, but the remaining sludge in the digester, which is sold as nitrogen-enriched fertilizer, has more customers in the agricultural and horticultural sectors. It can be predicted that after the fermentation operation in each period of biogas production, about ۱۱ tons of wet fertilizer with ۸۰٪ humidity will be obtained, which is equivalent to ٦,٦ tons of organic nitrogen fertilizer with ٤٠٪ humidity. Currently, the price of organic fertilizers in Iran is ۲٥ dollars per ton. As a result, the income from the sale of organic fertilizers is about ١٦٥ dollars per production period.
In this study, methane fuel produced from food waste was proposed as an alternative source of natural gas fuel. Therefore, according to the calculations made in this research, by replacing produced methane with natural gas, about ٤٥١٧,٦ tons of carbon dioxide was released into the atmosphere. Considering the concerns about global warming and the commitment of countries to reduce greenhouse gas emissions according to the Paris Agreement, it can be said that the use of produced biogas can be beneficial. Economic calculations showed that considering all the income from the sale of biogas and fertilizer and the amount initial cost and maintenance cost of biogas production, the initial investment cost to make biogas from food waste can be returned after ٣٦ months after the return. Biogas production and the system will serve as a source of the net and sustainable income for its owners. This case is valued when it can be claimed that the security of biogas energy production depends on the security of providing its raw materials, and with a very simple system, it can be presented as a source of sustainable production, especially in remote areas, so that It reduces the cost of energy transmission to remote points and is also considered important from the point of view of passive defense. So that in case of damage to the overall energy transmission network, the cycle of energy production, transmission and consumption operates in a completely independent and location-oriented manner and maintains the stability of the entire network.

Keywords: Biogas, food waste, energy security, passive defense, biomethane