وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
معاونت ترویج

روش اجرای سامانه تولید بیوگاز در منازل روستایی

سرشناسه	:	صفری، محمود، ۱۳۴۷ -
عنوان و نام پدیدآور	:	روش اجرای سامانه تولید بیوگاز در منازل روستایی/ نویسنده محمود صفری؛ ویراستاران ترویجی فرانک صحرایی، حسام الدین غلامی؛ ویراستار ادبی محسن ربیعی؛ سرویراستار وجیهه سادات فاطمی؛ تهیه شده در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه های ترویجی.
مشخصات نشر	:	کرج: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	:	۴۸ ص.
شابک	:	978-964-520-413-4
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	بیوگاز
موضوع	:	Biogas
شناسه افزوده	:	صحرایی، فرانک، ویراستار
شناسه افزوده	:	غلامی، حسام الدین، ۱۳۶۲ -، ویراستار
شناسه افزوده	:	سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی. معاونت ترویج. نشر آموزش کشاورزی
شناسه افزوده	:	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. دفتر شبکه دانش و رسانه های ترویجی
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۷ پ۹ص۷/ TP۳۵۹
رده بندی دیویی	:	۶۶۵/۷۷۶
شماره کتابشناسی ملی	:	۵۱۸۵۱۰۱

ISBN:978-964-520-413-4

شابک: ۴-۴۱۳-۵۲۰-۹۶۴-۹۷۸

عنوان: روش اجرای سامانه تولید بیوگاز در منازل روستایی

نویسنده: محمود صفری

ویراستاران ترویجی: فرانک صحرایی، حسام‌الدّین غلامی

مدیر داخلی: شیوا پارسانیک

ویراستارادبی: محسن ربیعی

سرویراستار: وجیهه سادات فاطمی

تهیه شده در: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه های ترویجی

ناشر: نشر آموزش کشاورزی

شمارگان: ۲۵۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول، ۱۳۹۷

قیمت: رایگان

مسئولیت صحت مطالب با نویسنده است.

شماره ثبت در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی ۵۳۵۱۱ به تاریخ ۹۷/۲/۲۴ است.

نشانی: تهران- بزرگراه شهید چمران- خیابان یمن، پلاک ۱ و ۲، معاونت ترویج،
ص. پ. ۱۱۱۳-۱۹۳۹۵
تلفکس: ۰۲۱-۲۲۴۱۳۹۲۳

مخاطبان نشریه

دامداران، کارشناسان و مروجان مسئول پهنه

اهداف نشریه

با مطالعه این نشریه با اهمیت تولید بیوگاز، روش ساخت و اجرای یک واحد بیوگاز ساده و عوامل مؤثر بر مقدار تولید بیوگاز آشنا می شوید.

فهرست

مقدمه	۹
معرفی بیوگاز	۱۰
انواع روش های ورود مواد به دستگاه های تولید بیوگاز	۱۱
مرسوم ترین دستگاه های تولید بیوگاز در روستا	۱۴
طراحی دستگاه بیوگاز برای یک منزل روستایی	۲۲
مراحل ساخت	۲۷
عوامل مؤثر بر مقدار بیوگاز تولید شده	۳۹
کود زیستی	۴۴
نتیجه گیری	۴۵
منابع	۴۶

مقدمه

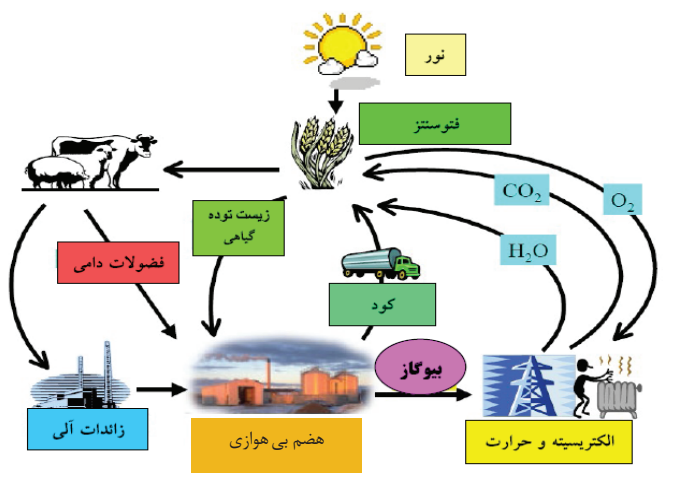
تهیه و تأمین انرژی موردنیاز روستاهای دورافتاده یکی از مهم ترین مشکلات کشورهای جهان و بخصوص کشورهای درحال توسعه است. حتی در کشوری مانند ایران که منابع غنی انرژی را در اختیار دارد، تأمین این نیاز بسیار مشکل و پرهزینه است. استفاده از انرژی های تجدیدپذیر نظیر بیوگاز یکی از راه حل های مناسب برای چنین مشکلی است که علاوه بر تولید انرژی، باعث تولید کودهای زیستی، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و آلودگی زیست محیطی و افزایش اشتغال می شود.

در کشورهایی مانند چین و هندوستان از بیوگاز به وفور استفاده می کنند، به طوری که در چین در فواصل سال های ۱۹۲۰ تا ۱۹۸۵ بالغ بر هفت میلیون دستگاه تولید بیوگاز ساخته شده است که نیاز انرژی پنجاه میلیون روستایی را برطرف می کند و تا سال ۲۰۱۴ بالغ بر ۴۲ میلیون بیوراکتور روستایی در سطح روستاها نصب و راه اندازی شده است. در آمریکا نیز بالغ بر ۴۰۰ ژنراتور بزرگ و کوچک بیوگازسوز به منظور مصارف خانگی و صنعتی استفاده می شود. بررسی های انجام شده در ایران نشان می دهد که به علت شرایط خاص اجتماعی، اقلیمی و کشاورزی، حجم عظیمی فضولات حیوانی و انسانی و زباله تولید می شود که در مناطق روستایی با ساده ترین امکانات می توان سامانه های مناسبی برای تبدیل این مواد به بیوگاز احداث کرد. باقیمانده های تبدیل این مواد به بیوگاز نیز کود مرغوب و مناسبی است که ریشه گیاه راحت تر می تواند آن را جذب کند. این کود عاری از بوهای نامطبوع است و از نظر نیتروژن، پتاسیم و فسفر بسیار غنی است. از کود حاصل می توان برای افزایش حاصلخیزی خاک بهره گرفت و آلودگی زیست محیطی را کاهش داد. توسعه واحدهای

دامداری باعث افزایش آلودگی ناشی از فضولات می شود که اگر درست مدیریت نشوند می تواند باعث مشکلات زیست محیطی شود. در این دستنامه ضمن آشنایی با مرسوم ترین دستگاه های ساده و مناسب برای تولید بیوگاز در روستا، جزئیات طراحی و ساخت یکی از این دستگاه ها تشریح می شود.

معرفی بیوگاز

بیوگاز نوعی گاز قابل اشتعال است که در اثر تخمیر مواد آلی در یک گستره مشخص از pH، در شرایط بی هوازی و توسط میکروارگانیسم های بی هوازی به وجود می آید. این گاز که از ۶۰ تا ۷۰ درصد متان، ۲۰ تا ۲۵ درصد دی اکسید کربن و مقادیر جزئی بخار آب، سولفید هیدروژن، هیدروژن و نیتروژن تشکیل شده است، به صورت طبیعی در پساب ها و مرداب ها وجود دارد. در روستاها و برخی مناطق صعب العبور که امکان دسترسی به منابع انرژی وجود ندارد می توان با استفاده از فضولات دامی و انسانی، همراه با زائدات کشاورزی و چربی ها، بیوگاز تولید کرد و از آن به طور مستقیم برای تأمین انرژی حرارتی، روشنایی و همین طور راه اندازی مولدهای احتراق داخلی به منظور تولید برق استفاده کرد (شکل ۱). هر دستگاه تولید بیوگاز عموماً شامل یک مخزن اصلی است که واکنش های بیولوژیکی تبدیل مواد ورودی به بیوگاز و سایر ترکیبات در آن اتفاق می افتد. این واکنش ها را تخمیر می گویند و مخزن هم اصطلاحاً راکتور یا بیوراکتور نامیده می شود. دستگاه بیوگاز همچنین شامل تجهیزاتی برای ورود و خروج مواد به راکتور و نیز ذخیره و خروج گاز است. در دستگاه های پیچیده تر، تجهیزات بوگیری و تصفیه گاز و کنترل دما نیز وجود دارد.



شکل ۱- چرخه تولید بیوگاز

انواع روش‌های ورود مواد به دستگاه‌های تولید بیوگاز

ورود مواد به دستگاه که اصطلاحاً خوراک‌دهی نیز نامیده می شود، صرف‌نظر از شکل و ظرفیت دستگاه، می‌تواند به یکی از سه روش ناپیوسته، پیوسته یا نیمه‌پیوسته انجام گیرد. در مورد دستگاه‌های تولید بیوگاز نیز این سه روش قابل انجام است که هریک دارای معایب و مزایایی است. در ادامه با این سه روش آشنا می‌شویم.

خوراک‌دهی ناپیوسته

در این روش، دستگاه برای یک‌بار با مواد اولیه مناسب بارگیری می شود و بسته به نوع خوراک و میزان آلودگی موجود، مدت‌زمان مناسب عمل تخمیر مواد زائد آلی در راکتور تعیین می شود (شکل ۲). پس از طی این دوره، محتویات راکتور به‌طور کامل تخلیه می شود. این روش می‌تواند برای فاضلاب‌های غلیظ که تا ۲۵ درصد مواد آلی خشک دارند و برای تخمیر ترکیبات سلولزی استفاده شود. پایان تخمیر زمانی فرا می‌رسد که میزان تولید گاز کاهش یابد.

شکل ۲- بیوراکتور غیر پیوسته

خوراک‌دهی پیوسته

در ایـن روش، مـواد اولیـه به‌صـورت روزانـه وارد راکتـور می شـود و در صـورت پربـودن مخـزن، معـادل بـا حجـم ورودی، مـواد تخمیرشـده از راکتـور خـارج می شـود. مـواد آلـی خشـک در ایـن سـامانه بیـن ۵ تـا ۱۰ درصـد اسـت و لازم اسـت کـه بـا طراحـی همزن‌هـای مناسـب، محتویـات مخـزن کامـلاً مخلـوط شـود. در ایـن روش می‌تـوان بـا میـزان معینـی از خـوراک، حجـم ثابتـی از گاز را به‌صـورت روزانـه تولیـد کـرد. در طراحـی نیروگاه‌هـای بـزرگ معمـولاً از ایـن روش اسـتفاده می شـود (شـکل ۳).

شکل ۳- بیوراکتور پیوسته

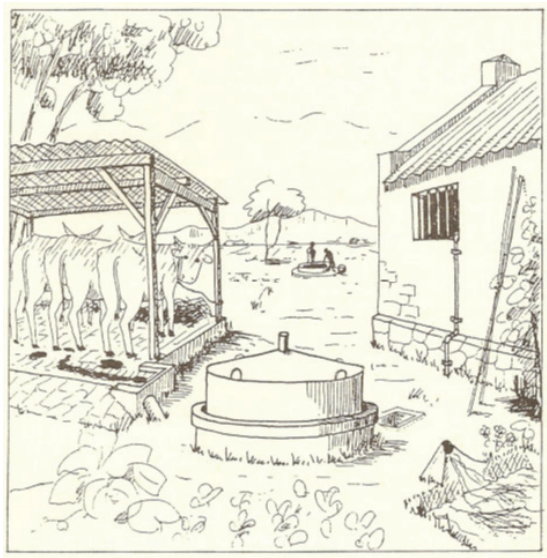
خوراک‌دهی نیمه‌پیوسته

در این روش، خوراک‌دهی به‌صورت متناوب و در فواصل زمانی مختلف انجام می گیرد. با تعیین مدت زمان ماندن مواد در داخل راکتور، می‌توان از این روش برای تخمیر ترکیبات مختلف استفاده کرد. همانند سامانه‌های پیوسته، در اینجا نیز موقع بارگیری در صورت پربودن راکتور، معادل خوراک تغذیه‌شده از محتویات راکتور خارج می شود. در دامداری‌ها و صنایعی که به‌طور دائم پساب ندارند معمولاً از این روش استفاده می شود (شکل ۴).

شکل ۴- بیوراکتور نیمه‌پیوسته

مرسوم‌ترین دستگاه‌های تولید بیوگاز در روستا

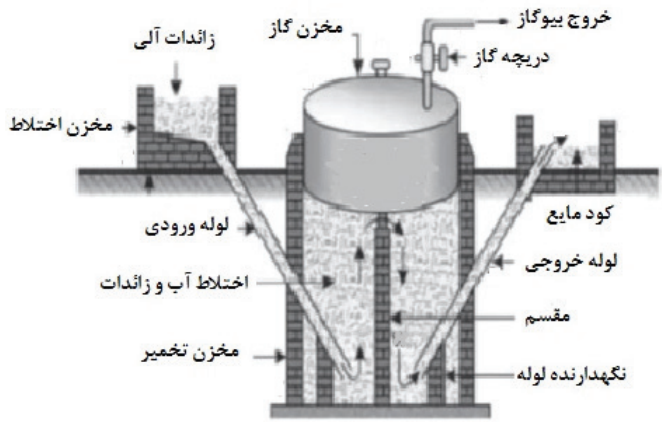
دستگاه‌های تولید بیوگاز در روستا (شکل ۵) ساختاری ساده دارند و از نظر خوراک‌دهی نوع خاصی از روش پیوسته هستند و به سه نوع اصلی تقسیم می‌شوند: ۱- دستگاه هندی، ۲- دستگاه چینی، ۳- دستگاه تایوانی.



شکل ۵- یک واحد بیوگاز روستایی

دستگاه بیوگاز با سرپوش شناور (مدل هندی)

این نوع راکتورها در هند طرفدار زیادی دارند و هزاران دستگاه از آن در حال تولید بیوگاز است. در این نوع دستگاه، مواد اولیه پس از اینکه با آب مخلوط می‌شوند، از طریق حوضچه ورودی به داخل مخزن تخمیر ریخته می شود که داخل زمین قرار دارد. پس از تولید گاز، مواد تخمیرشده به‌طرف حوضچه خروجی که در راستای حوضچه ورودی قرار دارد، حرکت می‌کند و گاز تولیدی در داخل محفظه فلزی (که به‌صورت معکوس روی دهانه مخزن تخمیر قرار گرفته) جمع‌آوری می شود (شکل ۶).



شکل ۶- دستگاه تولید بیوگاز مدل هندی

اجـزای تشـکیل‌دهنده دسـتگاه بیـوگاز هنـدی شـامل حوضچـه ورودی، حوضچـه خروجـی، مخـزن تخمیـر و محفظـه گاز اسـت.

حوضچـــه ورودی: همان‌طـوری کـه در شـکل ۶ می‌بینیـد، ایـن حوضچـه در سـطح فوقانـی زمیـن و در مقابـل حوضچـه خروجـی سـاخته می شـود و از طریـق مجـرای ورودی، مـواد اولیـه را کـه بـا آب مخلـوط شـــده بـه قسـمت تحتانـی مخـزن تخمیـر انتقـال می‌دهـد. عمـل اصلـی ایـن حوضچـه، اختـلاط آب و مـواد اولیـه اسـت. ایـن عمـل معمـولاً بـا دسـت انجـام می شـود. ایـن حوضچـه استوانه‌ای‌شـکل دارای شـعاع و حداکثـر ارتفـاع ۴۰ سـانتی متر اسـت و در ارتفاعـی بالاتـر از سـطح زمیـن قـرار می گیـرد.

حوضچـــه خروجـــی: ایـن حوضچـه در طـرف مقابـل حوضچـه ورودی و طـوری سـاخته می شـود کـه سـطح فوقانـی‌اش هم‌سـطح زمیـن باشـد. هنـگام ورود مـواد اولیـه از حوضچـه ورودی، بنـا بـه قوانیـن فشـار مایعـات و ظـروف مرتبـط، مـواد تخمیرشـده از کـف مخـزن تخمیـر به‌طـرف مجـرای خروجـی و حوضچـه خروجـی هدایـت می شـود. ارتفـاع مجـرای خروجـی ۲۰ سـانتی متر از

سطح زمین است، بنابراین مواد تخمیرشده پس از ورود مواد اولیه از طریق مجرای خروجی می‌توانند خارج شوند.

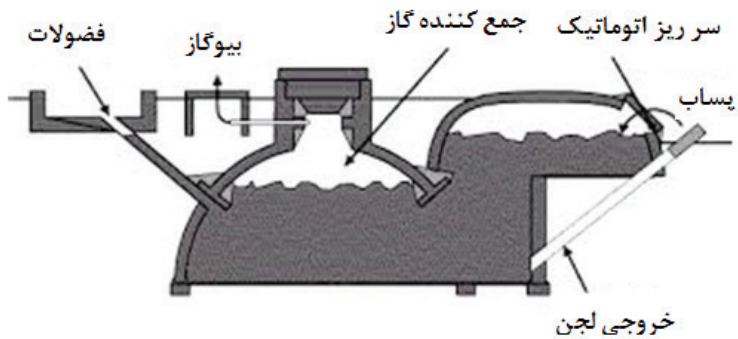
مخزن تخمیر: مهم‌ترین قسمت دستگاه تولید بیوگاز، مخزن تخمیر آن است. در این مخزن، پس از ورود مواد اولیه و تثبیت درجه حرارت و رطوبت (عدم‌نفوذ آب) و عدم‌نفوذ هوا، تخمیر یا تجزیه بی‌هوازی توسط باکتری‌های متان‌زا صورت می گیرد و بدین ترتیب گاز در این مخزن تولید می شود. ساختمان این مخزن با توجه به شرایط آب‌وهوایی و امکانات فنی و اقتصادی متفاوت است. مثلاً در مناطق سردسیر در عمق زمین قرار می گیرد و دیواره‌هایش عایق‌بندی می شود، یا در مناطقی که باران‌زا و احتمال نفوذ آب به داخلش باشد بدنه‌اش را برای جلوگیری از نفوذ آب، آب‌بندی و قیراندود می‌کنند تا هم مانع نفوذ آب شود و هم‌درجه حرارتش ثابت بماند. مجراهای ورودی و خروجی در داخل مخزن باید طوری طراحی و اجرا شود که با ورود مواد جدید، مواد تخمیرشده از کف مخزن به بالای آن منتقل شود و به داخل حوضچه خروجی هدایت شود. گاهی در داخل مخزن یک همزن نیز تعبیه می‌کنند که نقش مهمی در تولید گاز دارد؛ هرچند، جابه‌جایی مواد از قسمت ورودی به خروجی خودش باعث هم‌زدن مواد می شود و بنابراین در راکتورهای روستایی نیازی به تعبیه آن نیست.

محفظه گاز: این محفظه که محل تجمع گازهای حاصل از تخمیر مواد است، اصولاً از یک استوانه تهبسته با ورقه‌های فولادی به ضخامت ۱ تا ۳ میلی‌متر ساخته می شود. سقفش را به‌صورت مخروطی می‌سازند تا هم مقدار بیش تری گاز در آن ذخیره شود و هم آب باران روی آن جمع نشود و پوسیدگی ایجاد نکند. در مرکز رأس آن هم یک لوله فلزی ثابت را از داخلش عبور می‌دهند تا پایین و بالارفتنش در هنگام مصرف گاز یا

تولید گاز کنترل شود؛ یعنی هرگاه گاز بیش تری تولید شد، محفظه به‌طرف بالا حرکت می‌کند. روی درپوش مخزن، شیری برای تخلیه گاز نصب شده که با بازوبسته‌کردن آن گاز به‌طرف محل مصرف هدایت می‌شود. قسمت داخلی مخزن گاز باید ضدزنگ زده شود تا از زنگ‌زدگی آن جلوگیری شود.

دستگاه بیوگاز با مخزن تخمیر و گاز واحد (مدل چینی)

چون چینی‌ها مبتکر اولیه این نوع دستگاه‌اند، به مدل چینی مشهور شده و معمولاً به‌صورت مخزن گنبدی‌شکل و در عمق زمین ساخته می‌شود. مخزن گاز و تخمیر مشترک است و قرارگرفتن دستگاه در عمق زمین باعث صرفه‌جویی در مکان و فضای موردنیاز می‌شود و نیز به‌دلیل ایزوله‌شدن جداره راکتور با محیط اطراف، موجب تثبیت حرارت در مناطق سردسیر می‌شود. چنین مزیت‌هایی بر اهمیت و کارآیی این مدل افزوده است (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل ۷- راکتور چینی

شکل ۸- برش عرضی راکتور چینی در مقیاس خانگی

سقف مخزن با پوششی آجری یا بتنی به‌صورت گنبدی‌شکل ساخته می‌شود و روی آن یک دریچه با درپوش بتنی با قطر حدود ۵۰ سانتی متر و مناسب برای عبور انسان تعبیه می‌شود. پس از ساخت دستگاه، باید دریچه بتنی آب‌بندی شود تا گاز از اطرافش نشت نکند. ضمناً هنگام فعالیتِ دستگاه باید دریچه به‌وسیله وزنه‌هایی کنترل شود تا فشار گاز داخل مخزن باعث جابه‌جایی دریچه نشود. جنس مصالح به‌کاررفته در این راکتورها می‌تواند از بتن به همراه مصالح محلی از قبیل آجر یا قلوه‌سنگ باشد. سطح داخلی مخزن با لایه‌ای از جنس سیمان پوشانده می‌شود. مسئله کنترل نشتی به علت ترک‌های احتمالی می‌بایست مدنظر قرار گیرد.

اساس کار راکتور چینی مانند راکتورهای هندی است، با این تفاوت که گاز تولیدی به‌طرف درپوش گنبدی‌شکل صعود می‌کند و فشار گاز تولیدی علاوه بر هدایت گاز به محل مصرف از طریق مسیر کنار دریچه بتنی، مواد تخمیرشده را به داخل محفظه خروجی می‌راند. خروج مواد به‌طرف حوضچه خروجی، فشار گاز داخل را تنظیم می‌کند و در اثر ازدیاد

فشار، مواد بیش تری خارج می شود. چنانچه در حینِ مصرف فشارِ داخلی کم شود، مواد از دریچه خروجی به داخل مخزن تخمیر برمی‌گردند تا کمبود فشار را جبران کنند. علاوه بر بازگشت مواد خروجی، ریختن مواد ورودی نیز به جبران کاهش فشار گاز کمک می‌کند.

برای ساختن یک واحد بیوگاز خانگی معمولاً در ابتدای امر حفره‌ای به شعاع ۱/۵ متر و عمق ۳ متر ایجاد می شود. محفظه تخمیر به کمک مصالح محلی و تا ارتفاع ۲ متر ساخته می شود و ۱ متر باقیمانده، جهت تجمع گاز، به‌صورت گنبدی ساخته می شود.

یکی از تفاوت‌های این دستگاه با مدل هندی، ثابت‌بودن حجم مخزن گاز است؛ همچنین از کاربرد آهن و فلز در آن اثری دیده نمی شود. اگرچه طراحی این مدل به محاسبات مهندسی نیاز دارد، ولی ساختش بسیار راحت است و همین امر روستاییان را به استفاده از این دستگاه ترغیب می‌کند. از جمله محاسن این روش می‌توان به ویژگی‌های زیر اشاره کرد:

* صرفه‌جویی در فضای محیط اطراف به‌علت استقرار سامانه در دل خاک؛
* خاک‌های برداشت‌شده می‌توانند برای مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار گیرد؛
* به‌علت قرارگرفتن در دل زمین، در مناطق سردسیر مخزن تخمیر دستگاه از سرما محفوظ می‌ماند و قادر است تا حدودی گرمای مخزن را حفظ کند و از افت حرارتی جلوگیری کند؛
* چون قسمت فوقانی این نوع راکتور بسته است، از شیوع بیماری و بوهای نامطبوع جلوگیری می‌کند و لذا برای فضولات انسانی مناسب‌تر است.

از جمله معایب این راکتورها در مقایسه با مدل هندی، نشت گاز، ایجاد شکاف در دیواره‌ها و مخزن و هدررفت قسمتی از گاز در حوضچه خروجی

است. انتخاب زمین و نوع خاک از جمله مواردی است که در این روش مطرح است، ولی در نوع هندی مشکل‌ساز نیست. مشکل بالابودن سطح آب زیرزمینی و ایزوله‌کردن مخزن از نظر رطوبت و نفوذ آب به داخل مخزن تخمیر (بخصوص در زمستان) نیز از جمله مشکلاتی است که در صورت طراحی نامناسب ممکن است در این مدل ایجاد شود.

این نوع راکتورها در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالاست با مشکلاتی مواجه‌اند که باید در طراحی آن‌ها مدنظر قرار گیرد. ظرفیت مدل‌های کوچک این راکتورها بین ۶ تا ۱۲ مترمکعب است که مناسب خانوارهای ۳ تا ۷ نفره با میزان مصرف ۰/۲ تا ۰/۳ مترمکعب در روز برای هر نفر است. چون حجم مخزن تخمیر ثابت است، هرچه سطح خارجی مخزن بزرگ‌تر باشد، فشار وارده کم‌تر می‌شود و میزان تولید گاز بیش‌تر خواهد بود. درنظرگرفتن نوع خاک، میزان رطوبت و سطح آب زیرزمینی از جمله نکاتی است که در بررسی‌های اولیه انتخاب محل و عملیات مقدماتی می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

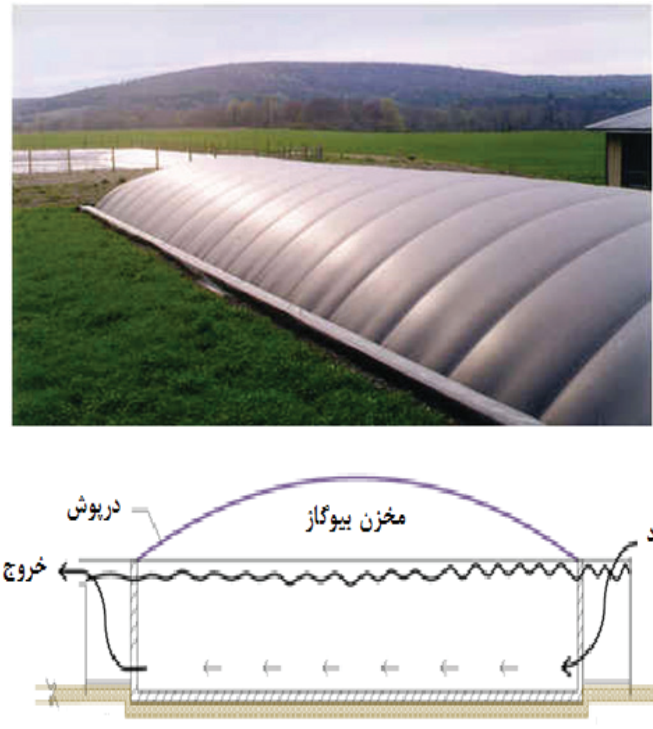
روش دستگاه بیوگاز با مخزن تخمیر و گاز واحد (مدل چینی) به‌دلیل سادگی برای ایران مناسب به نظر می‌رسد.

دستگاه بیوگاز مدل تایوانی

این دستگاه می‌تواند از جنس‌های مختلفی همچون سیمان، فلز و فایبرگلاس ساخته شود. نسبت طول به عرض این سامانه زیاد است و جریان مواد در آن به‌صورت افقی است.

وقتی مواد زائد از قسمت ورودی اضافه می‌شوند، مواد تخمیریافته از

قسمت خروجی تخلیه می‌شوند. بعضی از مواد سریع‌تر حرکت می‌کنند و بعضی از آن‌ها رسوب می‌کنند. این راکتورها محفظه‌ای دارند که از سیمان یا پوشش نفوذناپذیر ساخته شده است. به‌منظور اطمینان از ایجاد جریان افقی، طول این دستگاه به‌طور چشمگیری از عرض و عمق آن زیادتر است، دارای مجرای خروج بیوگاز است و مسیر ورود و خروجِ مواد مقابل یکدیگر قرار دارند. به‌دلیل مشکلات راکتورهای آجری و فلزی (پوسیدگی، زنگ‌زدگی و ایجاد ترک و نهایتاً نشتی)، بسیاری از متخصصان از راکتورهای پلاستیکی استفاده می‌کنند که وزن کمی دارند و به راکتورهای کیسه‌ای معروف‌اند (شکل ۹).



شکل ۹- راکتور جریان افقی (تایوانی)؛ راست: طرح‌واره، چپ: مخزن تجمع گاز

طراحی دستگاه بیوگاز برای یک منزل روستایی

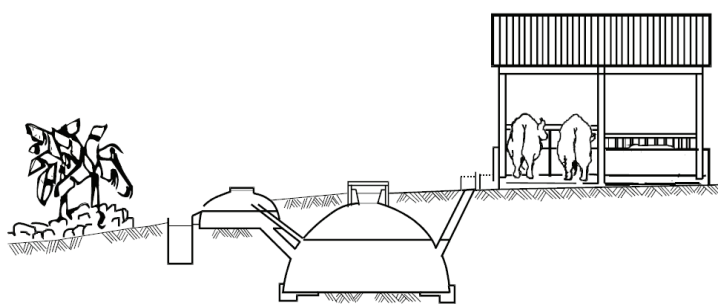
به‌منظور طراحی یک واحد بیوگاز، ابتدا نوع مخازن بیوگازی که قرار است طراحی شود باید مشخص شود. همان‌طور که اشاره شد، راکتورهای نوع چینی برای مناطق روستایی کشور مناسب‌ترند؛ بنابراین این مدل راکتور را مبنای طراحی قرار می‌دهیم (شکل ۱۰). در مرحله بعد باید نوع مواد ورودیِ در دسترس برای تغذیه راکتور بررسی شود و مناسب‌ترین نوع انتخاب شود. در روستاهایی که شغل اصلی آن‌ها کشاورزی و نگهداری از دام و طیور است، بهترین نوع مواد، فضولات دامی و انسانی است. بعد از تعیین نوع مواد ورودی راکتور، باید تعداد نفرات هر خانوار و میزان و نوع نیاز آن‌ها به بیوگاز (پخت‌وپز، گرمایش، روشنایی یا ترکیب آن‌ها) مشخص شود. برای حجم‌های مختلف بیوراکتور، باید مطابق جدول ۱ تعداد احشام موردنیاز در نظر گرفته شود.

جدول ۱- تعداد دام‌های موردنیاز برای ظرفیت‌های مختلف راکتور*

نوع دام	راکتور ۶/۴ مترمکعبی	راکتور ۸ مترمکعبی	راکتور ۱۲ مترمکعبی	راکتور ۱۶ مترمکعبی
گاوهای شیری	۲	۳	۵	۷
گاوهای گوشتی	۳	۶	۱۲	۱۸
بوفالو	۲	۳	۸	۱۳
گوسفند (بز)	۱۰	۱۵	۲۵	۳۸

* برای ۲۰۰ عدد مرغ (پرنده) بیوراکتور ۱ مترمکعبی استفاده می شود.

برای مثال، یک خانواده پنج‌نفره را در نظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم این خانواده دارای حیوانات اهلی شامل سه رأس گاو (دو گاو ماده برای شیردهی و یک گاو نر برای پروار) و ۱۰ رأس گوسفند است. طویله‌های نگهداری دام‌ها نزدیک به خانه است. باتوجه‌به نوع روستا و حیوانات اهلی این خانواده، بهترین خوراک برای راکتور، فضولات تازه گاو و گوسفند و بقایای گیاهی مزرعه (ذرت و کلزا) است که از میان این‌ها، فضولات گاو و گوسفند به‌دلیل نزدیکی به محل سکونت مناسب‌تر است. می‌توان از ترکیب بقایای گیاهی و فضولات گاوی به‌منظور کنترل نسبت کربن به ازت و افزایش بازدهی تولید بیوگاز استفاده کرد. قدم بعدی، تعیین نوع نیاز این خانواده از نظر مصرف انرژی است. این روستا دارای برق شهری است، بنابراین نیاز اصلی این خانواده گرمایش زمستانی و نیاز به انرژی برای پخت‌وپز است.



شکل ۱۰- موقعیت سامانه تولید بیوگاز

معیارهایی که برای ساخت راکتور خانگی بیوگاز باید مدنظر قرار گیرد شامل این موارد است:

۱- به‌منظور تولید پایدار گاز، کشاورز باید حداقل ۳ گاو و ۱۰ گوسفند یا معادل آن‌ها (با توجه به جدول ۱) دارا باشد.

۲- فاصله طویله از محل ساخت دستگاه بیوگاز بیش تر از ۲۰ متر نباشد.

۳- حیوانات هر شب در طویله نگهداری شوند (حداقل ۱۲ ساعت در شبانه‌روز در طویله باشند).

۴- کانال زهکش طویله مستقیماً به ورودی راکتور متصل باشد.

۵- فاصله تا منابع آبی نباید بیش از ۱۰۰ متر باشد.

۶- کشاورز و اعضای خانواده‌اش به تولید بیوگاز و کاهش آلودگی زیست‌محیطی علاقه‌مند باشند.

۷- اعتبار لازم برای ساخت بیوراکتور تأمین شده باشد.

براورد حجم راکتور

ابعاد راکتور تابعی از میزان نیاز به بیوگاز و فضولات در دسترس است. مقدار بیوگاز تولیدی، تعیین‌کننده اندازه راکتور است. عوامل اصلی تعیین‌کننده شامل میزان فضولات، انرژی موردنیاز و هزینه تمام‌شده است. باتوجه‌به اینکه تعداد دام هر خانواده معمولاً متغیر است، لازم است ساختار راکتور تاحدامکان برای بیش ترین تعداد دامی که معمولاً نگهداری می شود در نظر گرفته شود. از طرف دیگر، اگر راکتور بزرگ‌تر از اندازه موردنیاز باشد، میزان تولید گاز افت می‌کند؛ زیرا ممکن است فشار گاز برای جابه‌جایی لجن به قسمت خروجی کافی نباشد. در این صورت میزان تغذیه لجن ورودی بیش تر از خروجی است، سطح مواد بالا می‌آید و وارد محفظه گاز و حتی لوله گاز می شود؛ بنابراین ابعاد دستگاه باید طوری طراحی شود که مواد در دسترس برای خوراک‌دهی مطابق مقدار تجویزشده باشد.

برای تعیین ابعاد راکتور باید عواملی نظیر حجم، طول اقامت مواد و میزان ته‌نشینی لجن در روز تعیین شود. در مثال موردنظر، مواد ورودی

جهت تخمیر، فضولات دامی است که با آب مخلوط می‌شود. در این منزل روستایی، روزانه هر گاو ۸ کیلوگرم و هر گوسفند ۱ کیلوگرم فضولات تازه تولید می‌کند (جدول ۲).

جدول ۲- ظرفیت تولید روزانه فضولات دامی در احشام مختلف

نوع دام	ظرفیت کوددهی روزانه (کیلوگرم)
گاو شیری	۱۵
گاو گوشتی	۸
بوفالو	۸
گوسفند (بز) بالاتر از ۶۰ کیلوگرم	۲
گوسفند (بز) پایین‌تر از ۶۰ کیلوگرم	۱

باتوجه‌به تعداد گاو و گوسفندها، میزان فضولات تولیدشده روزانه به قرار زیر است:

۸ ×۳=۲۴ کیلوگرم

۱ ×۱۰=۱۰ کیلوگرم

۲۴+۱۰=۳۴= مجموع کیلوگرم

برای تأمین غلظت ۷ تا ۹ درصد، باید این فضولات با ۳۴ کیلوگرم آب مخلوط شود؛ بنابراین، خوراک روزانه راکتور ۶۸ کیلوگرم خواهد بود. اگر زمان ماندن مواد در داخل راکتور ۹۰ روز باشد، حجم مخزن راکتور برابر است با:

۶۸ × ۹۰= ۶۱۲۰ لیتر

حجم مخزن ۶۱۲۰ لیتر است که معادل ۶/۱۲ مترمکعب است.

حجم مخزن ذخیره گاز به مقدار گاز تولیدشده از راکتور بستگی دارد. تولید گاز نیز تابعی از نوع و میزان مواد مورد استفاده برای تخمیر، دمای راکتور و زمان نگهداری است.

با درنظرگرفتن ۹۰ روز برای زمان ماندن مواد در داخل راکتور، میزان تولید روزانه گاز در دمای ۳۳ درجه سانتی‌گراد، ۵۴ لیتر بر کیلوگرم خواهد بود. از ۳۴ لیتر فضولات دامی، میزان گاز تولیدی در روز برابر است با:

۵۴×۳۴=۱۸۳۶ لیتر

معمولاً ظرفیت مخزن گاز برای راکتورهای خانگی معادل ۶۰ درصد گاز تولیدی در شبانه‌روز در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین حجم مخزن گاز برابر است با:

۱۸۳۶×۰/۶۰=۱۱۰۱/۶ لیتر

که این حجم معادل ۱/۱ مترمکعب است. حجم پرشده با گاز در راکتور، کم‌تر از یک‌پنجم حجم پرشده با مواد است.

تعیین ابعاد راکتور بر اساس حجم برآوردشده، قطر و ارتفاع قسمت استوانه‌ای و ارتفاع قسمت گنبدی محاسبه می‌شود. با درنظرگرفتن شعاع فرضی ۱ متر و باتوجه‌به حجم بیوراکتور (۶/۱۲ مترمکعب)، ارتفاع استوانه بیوراکتور برابر ۱/۹۴ متر (حدوداً ۲ متر) خواهد بود.

ابعاد لوله‌های ورودی و خروجی مواد

معمولاً قطر لوله ورودی از مخزن مخلوط‌کننده آب و خوراک به راکتور بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود که میانگینش ۲۰ سانتی‌متر است. همچنین قطر لوله خروجی نیز ۲۰ سانتی‌متر است که بهتر است کمی بیش‌تر از قطر لوله ورودی در نظر گرفته شود. حجم

حوضچـه مخلوط‌کننـده آب و خـوراک مـواد باتوجه‌بـه حجـم مـواد ورودی (۶۸ لیتـر در روز) ۷۵ لیتـر در نظـر گرفتـه می‌شـود.

مراحل ساخت

عواملـی کـه در مراحـل سـاخت بایـد مدنظـر قـرار گیرنـد عبارت‌انـد از: انتخـاب محـل، خـط مبنـا، عمـق حفـاری، سـاخت دیواره‌هـا، بررسـی سـطوح، سـاخت گنبـد، سـاخت مخـزن انبسـاط، سـاخت مخـزن ورودی، نصـب خـط لولـه گاز و اتصـالات. راکتـور بایـد از نظـر نشـتی مایعـات و گاز آزمایـش شـود؛ بنابرایـن عملیـات نگهـداری شـامل بررسـی واحـد تغذیـه مـواد، تولیـد و اسـتفاده از گاز و هشـدارها خواهـد بـود. نگهـداری و مراقبـت شـامل مراقبت‌هـای روزانـه، ماهانـه و سـالانه اسـت.

انتخاب محل

برای انتخاب محل ساخت بیوراکتور، باید عوامل زیر را مدنظر قرار داد:

۱- بـرای اسـتفاده از حـرارت طبیعـی، منطقـه‌ای آفتاب‌گیـر انتخـاب شـود؛ حـرارت باعـث افزایـش عملکـرد تولیـد بیـوگاز می‌شـود.

۲- در نزدیک‌ترین محل به طویله و منبع آب احداث شود.

۳- در نزدیک‌تریـن نقطـه بـه محـل مصـرف نصـب شـود؛ فاصلـه طولانـی باعـث مصـرف لولـه گاز بیش‌تـر و افزایـش هزینه‌هـا و نشـتی می‌شـود.

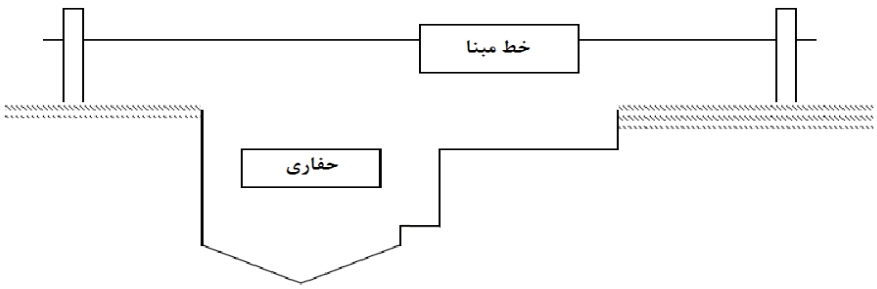
۴- به منظـور جلوگیـری از صدمـات احتمالـی بـه تجهیـزات بیوراکتـور، نظیـر فیلترهـای سـولفید هیـدروژن و جداکننده‌هـای آب از ترکیـب بیـوگاز، لبـه فونداسـیون بیوراکتـور در فاصلـه ۲ متـری منـزل نصـب شـود.

۵- جهـت جلوگیـری از نشـت و آلودگـی، دور از چـاه آب زیرزمینـی و حداقـل در فاصلـه ۱۰ متـری نصـب شـود.

۶- برای زهکشی مناسب در موقع بارندگی و سیلاب، زمین انتخابی باید شیب دار باشد. این خصوصیت باعث جریان یافتن لجن خروجی به سمت مزرعه نیز می شود.

تعیین خط مبنا

خط مبنا به کمک کشیدن یک ریسمان کاملاً افقی از قسمت ورودی به خروجی تعیین می شود. این ریسمان از مرکز مخزن تخمیر عبور می کند؛ این خط باعث افزایش دقت ساخت می شود و به عنوان مبنایی برای اندازه گیری های عمودی مورداستفاده قرار می گیرد. همچنین باعث می شود میزان خاک در پوشش سطحی راکتور به حداقل برسد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- تنظیم خط مبنا

عمق حفاری

زمانی که محل مناسب انتخاب شد، یک میخ در مرکز مخزن تخمیر و در زمین کوبیده می شود و یک طناب به آن متصل می شود. طول این طناب معادل با شعاع مخزن تخمیر است و به کمک آن دایره ای بر روی زمین ترسیم می شود که محل حفاری را مشخص می کند (شکل ۱۲). دیواره

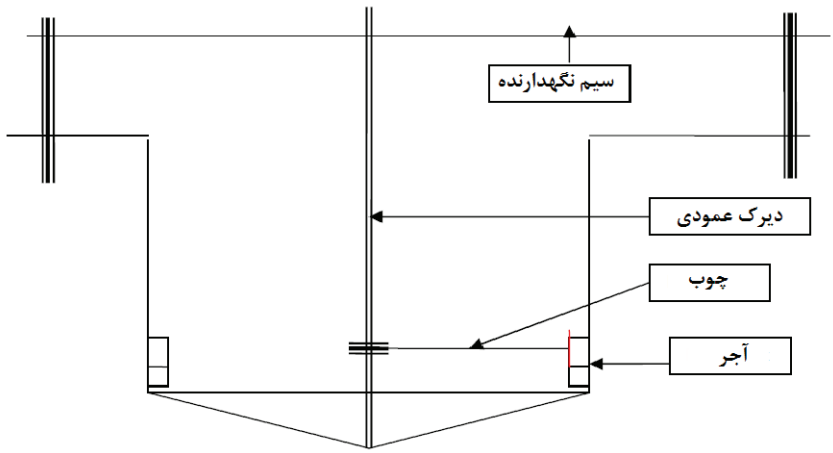
گودال حتی الامکان عمودی و کف آن مخروطی شکل باشد. قبل از شروع عملیات حفاری، موقعیت مخزن انبساط و مخزن خروجی نیز مشخص می شود. محل تخلیه خاک های حفاری باید حداقل ۳۰ سانتی متر با محل حفاری فاصله داشته باشد تا مجدداً به داخل گودال نریزد. در شکل ۱۳ عمق حفاری نشان داده شده است.

شکل ۱۲- انتخاب محل احداث بیوراکتور

شکل ۱۳- عمق حفاری

ساخت دیواره استوانه ای مخزن تخمیر

در مرکز گودال باید یک لوله به حالت عمودی تعبیه شود. روی سطح زمین چهار سیم یا لوله به طور محکم بسته می شود و از طرف دیگر به دیواره وصل می شود (شکل ۱۳). یک میله چوبی بین میله عمودی و دیواره قرار می گیرد. یک سانتی متر طول اضافه به منظور قرارگرفتن در داخل گچ در نظر گرفته می شود. فاصله میله عمودی و لبه های آجر کناری (در شکل ۱۴ با خط قرمز مشخص شده است) در تمام نقاط باید یکسان باشد.



شکل ۱۴- آزمون ترازبودن سطوح راکتور

بعد از این مرحله، ساخت دیواره آغاز می شود. اولین ردیف آجرها باید در قسمت تحتانی و در بستری محکم قرار داده شود؛ سپس ردیف بعدی آجرها قرار داده می شود که ضخامتش ۱۱/۴۳ سانتی متر است. خاک بین دیواره گودال و دیواره مخزن تخمیر باید فشرده و محکم شود. قبل از اقدام به ساخت اولین مرحله می بایست این فضا به طور کامل فشرده شود. در غیر این

صورت، فشردگیِ کم باعث ایجاد ترک در بدنه و گنبد راکتور می شود. اگر از قلوه سنگ برای ساخت دیواره استفاده می شود، قلوه سنگ می بایست روی دیواره گودال قرار داده شود. بتون بدنه می تواند با نسبت ۱ به ۴ یا ۱ به ۶ از سیمان به ماسه ساخته شود.

برای جلوگیری از گیرکردن مواد، لوله ورودی مواد تا جایی که امکان دارد باید عمودی نصب شود. دهانه لوله در محل اتصال به مخزن ۲۵ تا ۳۰ سانتی متر بالاتر از کف مخزن تخمیر قرار دارد. این لوله ها از جنس سیمان یا پولیکای فشار قوی و به قطر ۱۰ سانتی متر ساخته می شوند. لجن تخمیریافته از طریق این مجرا به سمت مخزن انبساط جریان پیدا می کند. زمانی که ارتفاع دیواره به مقدار مناسبی رسید، قسمت داخلی آن با سیمان و ماسه نرم (نسبت ۱ سیمان و ۳ ماسه) صیقل داده می شود.

ساختن گنبد

بعد از خاتمه دیواره عمودی، بر روی میله عمودیِ وسط علامتی زده می شود که نشان دهنده ارتفاع گنبد از کف مخزن است. روی دیوارِ عمودی چیدنِ آجرها به کمک یک قطعه چوب شعاع متغیر آغاز می شود. این قطعه چوب از دو قطعه دیگر تشکیل شده که به هم بسته شده اند و طول آنها قابل تنظیم است. فاصله آجرها باید تاحدامکان به هم نزدیک باشد؛ در غیر این صورت، ضخیم بودن ملاط استفاده شده باعث ایجاد ترک در گنبد ساخته شده می شود.

قسمت انتهایی گنبد، دریچه فوقانی روی گنبد است. این دریچه از بتون مسلح ساخته می شود و قسمت تحتانی آن باریک تر از فوقانی است. لبه های تماس آن با قسمت فوقانی گنبد می بایست با سیمان آبکاری شده باشد. بعد از کامل شدن دهانه، باید قسمت داخلی دیواره طی چند

مرحلـه توسـط دوغـاب سـیمان و طبـق راهنمـای زیر صیقـل داده شـود (شـکل ۱۵):

۱- اولین لایه به کمک دوغاب سیمان و ماسه با نسبت ۱ سیمان و ۲ ماسه؛

۲- یـک روز بعـد، دومیـن لایـه بـه ضخامـت ۵ میلیمتـر، بـا دوغـاب سـیمان ضـدآب، سـیمان معمولـی و ماسـه بـا نسـبت ۱: ۱: ۱؛

۳- بعد از دو روز، سومین لایه مطابق بند ۲؛

۴- روز سوم، چهارمین لایه مطابق بند ۲؛

فاصله بین ایجاد لایه ها حداقل باید یک روز باشد.

شکل ۱۵- کاربرد دوغاب سیمان و ماسه در قسمت داخلی مخزن خروجی و بیوراکتور

ساختن مخزن انبساط

به منظـور کنتـرل لجـن خروجـی و فشـار گاز تولیـدی از مخـزن انبسـاط اسـتفاده می شـود. ایـن مخـزن بعـد از مخـزن تخمیـر قـرار دارد. چنانچـه مخـزن ورودی و خروجـی را بـا یـک خـط راسـت بـه هـم متصـل کنیـم، زاویـه افقـی بیـن مخـزن ورودی و خروجـی (انبسـاط) نبایـد کم تـر از ۹۰ درجـه باشـد. مناسـب ترین حالـت بـرای اسـتقرار ایـن مخـزن حالتـی اسـت کـه در زاویـه ۱۸۰ درجـه نسـبت بـه مخـزن ورودی قـرار داشـته باشـد و بـه عبـارت دیگـر، در یـک راسـتا باشـند (شـکل ۱۵). عمـق حفـاری از خـط مبنـا اندازه گیـری

می شـود و کـف مخـزن بایـد به انـدازه کافـی فشـرده باشـد، وگرنـه باعـث ترک خوردگـی می شـود. حجـم مخـزن انبسـاط معـادل حجـم محوطـه گاز اسـت (۱/۱ مترمکعـب).

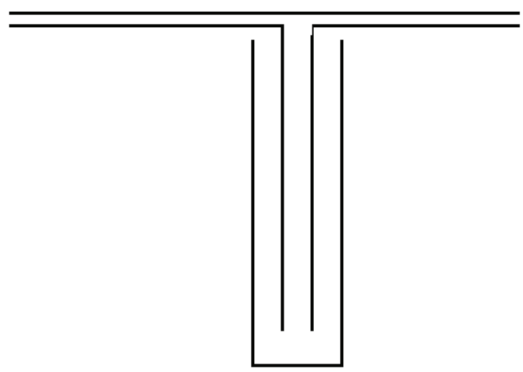
ساختن مخزن ورودی

از ایـن مخـزن بـرای مخلوط کـردن فضـولات و آب اسـتفاده می شـود و می توانـد بـا یـا بـدون واحـد همـزن باشـد؛ ولـی توصیـه می شـود کـه همـزن اسـتفاده شـود. همـزدن هـم بازدهـی تولیـد بیـوگاز را بـالا می بـرد و هـم جابه جایـی مـواد را راحت تـر می کنـد. داخـل بیوراکتـور بایـد به طـور کامـل بـا دوغـاب سـیمان و آب بـا نسـبت ۱ بـه ۳ آبـکاری شـود. کـف ایـن مخـزن بایـد حداقـل ۲۵ سـانتی متر بـالای سـطح سـرریز خـروج مـواد از بیوراکتـور باشـد. بـرای صرفه جویـی در مصـرف مـواد و سـهولت هـم زدن بهتـر اسـت ایـن مخـزن به صـورت اسـتوانه ای یـا بیضـی سـاخته شـود (شـکل ۱۶).

شکل ۱۶- مخزن ورودی

نصب خط لوله گاز

خط لوله گاز از راکتور به محل مصرف در معرض صدمه توسط انسان، نور خورشید، سرما و... است؛ بنابراین توصیه می شود از لوله های فشار قوی (پی وی سی) استفاده شود و در عمق ۳۰ سانتی متری از سطح زمین دفن شود. برای اتصالات از نوار تفلون استفاده شود. بیوگاز حاوی مقدار زیادی بخار آب است. این بخار آب روی جداره های داخلی لوله گاز مایع می شود و در داخل لوله جمع می شود و در نهایت باعث گرفتگی لوله می شود. برای پیشگیری از این مشکل لازم است یک سامانه برای به تله انداختن آب تعبیه شود. این سامانه می بایست به طور عمودی زیر پایین ترین نقطه از خطوط لوله گاز نصب شود (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- به تله انداختن آب در مسیر لوله

کنترل بو

یکی از پردردسرترین مشکلات بهره برداری از دستگاه های بیوگاز، حذف بو و مخصوصاً بوهای ناشی از هیدروژن سولفوره است. این بوها در غلظتی معادل ۰/۵ قسمت در میلیون قابل تشخیص هستند. بعد از طی

زمـان کوتاهـی از تمـاس افـراد بـا هیـدروژن سـولفوره، حـس بویایـی آنـان دچـار خسـتگی می شـود و دیگـر ایـن بـو را حـس نمی کننـد. حس نکـردن ایـن بوهـا ممکـن اسـت باعـث بـروز خطـرات ناشـی از تشـخیص ندادن گازهـای خطرنـاک شـود. برحسـب غلظـت هیـدروژن سـولفوره، هـر نـوع نشـتی از بیـوگاز احتمـالاً بـا پیدایـش بـو تـوأم اسـت. محتویـات خروجـی راکتـور هـم بـدون شـک دارای مقادیـر کمـی هیـدروژن سـولفوره خواهـد بـود کـه در هنـگام جریـان فاضـلاب خروجـی در محیـط رهـا می شـود. بهتـر اسـت محـل تخلیـه فاضـلاب خروجـی و مخصوصـاً نقـاط رهاشـدن گازهـای هیـدروژن سـولفوره را بـا مـوادی چـون صافی زغالـی یـا سـایر وسـایل جـذب هیـدروژن سـولفوره مجهـز کنیـد تـا از پخـش آن در فضـای اطـراف جلوگیـری شـود. در بعضـی از راکتورهـا بـرای جـذب گاز هیـدروژن سـولفوره از صافی هـای محتـوی مـواد آلـی اسـتفاده می شـود.

بیـوگاز ترکیبـی اسـت از گازهـای مختلـف کـه تنهـا گاز متـان آن ارزش حرارتـی دارد؛ بنابرایـن، به منظـور افزایـش کیفیـت آن، گازهـای همـراه آن نظیـر بخـار آب، دی اکسـید کربـن و سـولفید هیـدروژن می بایسـت جـدا شـوند. بدیـن منظـور، سـه مخـزن گالوانیـزه مجـزا در نظـر گرفتـه شـده اسـت (حجـم مخـازن بخـار آب و دی اکسـید کربـن ۲۰ لیتـر و حجـم مخـزن سـولفید هیدروژن ۱۰ لیتـر) کـه هـر یـک از آنهـا یـک شـیر تخلیـه در کـف دارد و توسـط دو شـیر در ورودی و خروجـی آن قابل کنتـرل اسـت (شـکل ۱۸). مخـزن اول مربـوط بـه جداسـازی بخـار آب اسـت کـه بـه خروجـی گاز متصـل شـده اسـت. ابعـاد ایـن مخـزن بـه قطـر قاعـده ۲۴ سـانتی متر و ارتفـاع ۵۰ سـانتی متر اسـت و بیـوگاز تولیـدی بـا بازکـردن شـیر خروجـی گاز و شـیر ورودی ایـن مخـزن بـه آن وارد می شـود و پـس از برخـورد بـا دیـواره مخـزن سـرد می شـود و در کـف مخـزن جمـع می شـود. پـس از مدتـی می تـوان بـا بسـتن شـیرهای ورودی و خروجـیِ ایـن مخـزن و بازکـردن شـیر تخلیـه، آب جمع شـده را تخلیـه کـرد. روی ایـن

مخـزن، فشارسـنج، سـوپاپ اطمینـان و دماسـنج نصـب شـده اسـت. خروجـی مخـزن جداکننـده بخـار آب بـه مخـزن تصفیـه دی‌اکسـید کربـن متصـل اسـت کـه مشـابه مخـزن تصفیـه بخـار آب اسـت، بـا ایـن تفـاوت کـه داخلـش مقـداری آب آهـک ریختـه شـده تـا بـا دی‌اکسـید کربـن موجـود در بیـوگاز واکنش نشـان دهـد و آن را جـذب کنـد. فشـار سـتون آب آهـک نبایـد از فشـار گاز تولیـدی بیش تـر باشـد؛ در غیـر ایـن صـورت مانـع خـروج گاز می شـود. خروجـی ایـن مخـزن بـه ورودی مخـزن سـوم متصـل اسـت کـه در آن گاز سـولفید هیـدروژن از بیـوگاز جـدا می شـود. حجـم ایـن مخـزن ۱۰ لیتـر (قطـر قاعـده ۲۰ سـانتی متر و ارتفـاع ۳۰ سـانتی متر) اسـت و داخلـش مقـداری بـراده آهـن ریختـه شـده تـا سـولفید هیـدروژن را جـذب کنـد. روی ایـن مخـزن یـک رگلاتـور (شـیر کنتـرل فشـار) نصـب شـده اسـت.

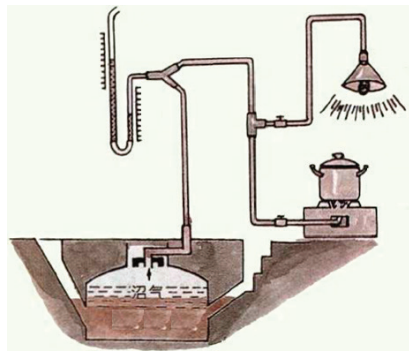
شکل ۱۸- فیلترهای آب و سولفید هیدروژن

اتصال به مشعل

بـرای اتصـال خـط لولـه بـه مشـعل توصیـه می شـود از لوله هـای پلاسـتیکی اسـتفاده نشـود و به جایـش از لوله هـای لاسـتیکی باکیفیـت اسـتفاده شـود. همـه اتصـالات بـه کمـک محلـول صابـون از نظـر نشـتی کنتـرل شـود.

نگهداری و عملیات

راکتور قبل از استفاده می بایست از نظر نشتی آزمایش شود. به منظور کنترل نشتی در مخزن تخمیر لازم است از یک لوله شفاف U شکل حاوی آب به عنوان فشارسنج (بارومتر) استفاده شود (شکل ۱۹). این لوله به لوله خروج گاز نصب می شود و سایر منافذ مخزن مسدود می شوند. سپس مخزن با پمپ کردن آب یا هوا به داخلش تحت فشار قرار می گیرد و با افزایش فشار، ارتفاع آب در داخل فشارسنج به میزان ۹۰ سانتی متر بالا می رود. بعد از سپری شدن ۲۴ ساعت، میزان افت ارتفاع نباید بیش از ۲ تا ۳ سانتی متر باشد. این عملیات می بایست ۲ تا ۳ مرتبه تکرار شود. فشار داخل مخزن نباید بیش تر از ۱۰۰ سانتی متر آب افزایش یابد. اگر فشار داخل راکتور افت پیدا کرد، با کمک آب و صابون باید محل نشت مشخص شود و سپس مسدود شود.



شکل ۱۹- استفاده از لوله U شکل جهت کنترل فشار گاز

شروع به کار سامانه

کود و آب به نسبت مساوی در حوضچه ورودی مخلوط می شوند و بعد از طریق لوله ورودی وارد راکتور می شوند. در این شرایط، لوله گاز باید

باز باشد. نبایستی بیش تر از ۷۵ تا ۸۰ درصد از حجم راکتور پر شود تا فضای کافی برای ذخیره گاز باقی بماند. مقدار مواد ورودی به طور روزانه اضافه می شود.

تولید و استفاده از گاز

تولید گاز و پرشدن محفظه گاز بین ۷ تا ۲۰ روز طول می کشد. گاز ذخیره شده اولیه ممکن است قابل اشتعال نباشد و باید تخلیه شود. قبل از استفاده اجازه دهید تا هوای اضافی توسط فشار گاز تخلیه شود. زمانی که گاز غیرقابل اشتعال تخلیه شد، باید مقداری مواد از قسمت ورودی اضافه شود تا حجم مواد کاسته شده در داخل بیوراکتور جبران شود. هم زدن به کمک چوب خیزران و مواد مشابه از طریق لوله های ورودی و خروجی انجام می شود. این عمل باعث شکستن لایه ایجادشده در مخزن تخمیر می شود.

هشدارها

۱- هرگز نباید فشار بیوگاز در داخل بیوراکتور به بالاتر از ۱۰۰۰ میلی متر برسد، وگرنه باعث تخریب بیوراکتور می شود.

۲- به منظور جلوگیری از نشت گاز لازم است شیر گاز بسته باشد.

۳- هرگز نباید در زمانی که داخل مخزن مواد وجود دارد، کسی واردش شود.

۴- در مواقعی که ورود یا خروج مواد انجام نمی شود، در مخازن ورودی و خروجی به وسیله درپوش سیمانی مسدود شود.

نگهداری و مراقبت عمومی

مراقبت روزانه

۱- مواد ورودی قبل از ورود به راکتور با نسبت ۱: ۱ با آب مخلوط شود.

۲- از ورود هرگونه سنگ یا ماسه به راکتور پیشگیری شود.

۳- مشعل گاز تمیز شود.

مراقبت ماهانه

به کمک محلولِ صابون نشتی های احتمالی کنترل شود.

مراقبت سالانه

۱- نشتی های گاز و آب کنترل و تعمیر شود.

۲- نشتی خطوط لوله گاز کنترل شود.

۳- هرچند سال یک بار عمق مخزن تخمیر از نظر میزان رسوب مواد در ته آن کنترل شود. (برای این منظور، فاصله قسمت فوقانی تا کف مخزن اندازه گیری می شود و در صورت کاهش ارتفاع، پس از تخلیه کامل بیوراکتور، مواد رسوبی تخلیه می شوند.)

عوامل مؤثر بر مقدار بیوگاز تولید شده

تولید بیوگاز به عوامل متعددی بستگی دارد که در این قسمت به آن اشاره می شود. لازم است کارشناسان و مروجان کشاورزی به منظور اطلاع رسانی به کشاورزان از این عوامل مطلع باشند. رعایت این عوامل باعث بهبود بازدهی تولید بیوگاز می شود. در شرایط روستایی کنترل برخی از این عوامل ممکن نیست، ولی بعضی عوامل نظیر درجه حرارت، میزان غلظت، زمان ماندگاری و نرخ بارگذاری مواد را می شود کنترل کرد.

pH

شرایط اسیدی یکی از عوامل اصلی ایجاد اختلال در کار راکتورهاست. در راکتور دارای تعادل مناسب، میزان pH به کمک ایجاد بی کربنات توسط باکتری های متان ساز کنترل می شود. استفاده از مواد قلیایی می تواند

باعث کنترل pH شود و انباشتگی مواد اسیدی را کاهش دهد. فرایند هضم بی هوازی در pH های کم تر از ۶ دچار مشکل جدی خواهد شد و این حالت زمانی رخ می دهد که میزان بارگیری مواد آلی بیش از میزان تعیین شده باشد. باکتری های اسیدی نوعی اسید آلی تولید می کنند که عاملی اساسی در کاهش میزان pH فرایند است. تحقیقات نشان داده است pH مناسب برای تولید بیوگاز در محدوده ۶/۸ تا ۷/۲ است. هرگونه نوسانی خارج از این محدوده، باعث اختلال در زندگی باکتری های متان زا می شود و تولید گاز متان را متوقف می کند. در صورت افت pH، مقدار کمی مواد قلیایی به محیط اضافه می شود و در صورت افزایش هیچ گونه موادی به راکتور اضافه نمی شود و می بایست صبر کرد تا میزان pH پایین بیاید. درصورتی که محیط بازی شده باشد به هیچ وجه نباید مواد اسیدی به محیط افزوده شود.

درجه حرارت

مناسب ترین درجه حرارت برای تولید بیوگاز را ۳۷ درجه سانتی گراد گزارش کرده اند. در درجه حرارت های پایین تر از ۳۰ درجه ممکن است محیط اسیدی شود. در درجه حرارت های بالاتر از ۷۰ درجه سانتی گراد باکتری ها از بین می روند و تولید گاز متوقف می شود.

غلظت مواد

برای اینکه باکتری ها بتوانند مواد آلی را جذب کنند، مواد باید به صورت محلول رقیقی درآیند. برای این منظور، خوراک ورودی از جمله کود تازه گاوی را با مقدار مناسب آب کاملاً مخلوط می کنند و در داخل راکتور می ریزند. مقدار آب مناسب باید در حدی باشد که مخلوط حاصل

شامل ۷ تا ۹ درصد ماده جامد باشد.

عناصر بازدارنده و سمی

وجود عناصری مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن در غلظت های زیاد در سامانه های بیوگاز بازدارنده هستند و فعل وانفعالات را مختل می کنند. درحالیکه این عناصر در غلظت های کم می توانند باکتری ها را تحریک کنند و باعث تسریع فعل وانفعالات شوند.

یکنواختی مواد

به منظور فراهم سازی شرایط تجزیه مناسب مواد، آنزیم ها و باکتری ها باید با مواد داخل راکتور در تماس باشند. به هم زدن مواد به منظور ایجاد محیطی صورت می گیرد که مواد آلی کاملاً در دسترس جمعیت باکتریهای موجود در راکتور قرار گیرند. به هم زدن استاندارد مواد درون راکتور علاوه بر پخش مؤثر میکروارگانیسم های بی هوازی، عامل مؤثری در انتقال و کنترل درجه حرارت است که یکی از عوامل کلیدی در افزایش بازده راکتور محسوب می شود. هم زدن می تواند به صورت مکانیکی، هیدرولیکی یا مغناطیسی باشد. میزان هم زدن باید متناسب و بهینه باشد، زیرا هم زدن زیاد در کار میکروب های بی هوازی اختلال ایجاد می کند. شدت و فواصل هم زدن نیز در این رابطه مؤثر هستند. بررسی های انجام گرفته هم زدن آهسته را تأیید می کند.

زمانِ ماند مواد

زمانِ ماند مدت زمانی است که مواد در داخل راکتور باقی می ماند. زمانِ ماند یکی از عوامل مهم در بازدهی تبدیل مواد محسوب می شود.

زمـان طولانـی نگهـداری باعـث تولیـد بیـوگاز بیش تـر می شـود. از طـرف دیگـر، زمـان مانـد کوتـاه باعـث کاهـش هزینه هـا و افزایـش بازدهـی فـرآوری می شـود. زمـان نگهـداری بـا حجـم راکتـور نسـبت مسـتقیم دارد، بنابرایـن بـرای یـک میـزان خـوراک روزانـه معلـوم، انتخـاب زمـان نگهـداری کوتاه تـر باعـث کاهـش حجـم راکتـور می شـود و در نهایـت هزینه هـای سـرمایه گذاری را کاهـش می دهـد. زمـان نگهـداری بـا نـوع مـواد تغییـر می کنـد. مـواد حـاوی لیگنـو سـلولزِ بـالا دارای زمـان نگهـداری بیش تـری هسـتند. تحقیقـات نشـان داده اسـت کـه زمـان مانـد مناسـب بـرای مـواد لیگنـو سـلولزی نظیـر کاه گنـدم، کلـزا، ذرت، جـو و سـایر بقایـای گیاهـی بیـن ۶۰ تـا ۹۰ روز اسـت. در تخمیرهـای معمولـی، ایـن زمـان بیـن ۱۵ تـا ۳۰ روز اسـت. با اینکـه زمـان نگهـداری کوتاه تـر بهتـر اسـت، ولـی باکتری هـای متان سـاز کنـد هسـتند و بـه حداقـل ۱۰ تـا ۱۵ روز زمـان نگهـداری نیـاز دارنـد؛ در غیـر ایـن صـورت عملیـات متان سـازی متوقـف خواهـد شـد. یـک راهـکارِ مناسـب به هـم زدن مـواد اسـت کـه ایـن زمـان را کوتاه تـر می کنـد.

نسبت کربن به ازت

اهمیـت ایـن نسـبت بسـیار زیـاد اسـت و عاملـی تأثیرگـذار در فراینـد راکتـور محسـوب می شـود. بالابـودن ایـن نسـبت به معنـی تغذیـه نامناسـب باکتری هـای فعـال در فراینـد هضـم بی هـوازی اسـت کـه نهایتـاً بـه کاهـش نـرخ تولیـد بیـوگاز منجـر خواهـد شـد. کم بـودن ایـن نسـبت در مـوادی نظیـر کودهـای دامـی نیـز باعـث می شـود کـه نیتـروژن اضافـی به صـورت آمونیـوم در داخـل راکتـور تجمـع کنـد کـه بـه افزایـش pH تـا ۸/۵ منجـر می شـود و ایـن میـزان pH بـرای باکتری هـای متان سـاز کشـنده اسـت. دامنـه مناسـب ایـن نسـبت بیـن ۲۰ تـا ۳۰ اسـت. به منظـور حفـظ ایـن نسـبت لازم اسـت کـه

مـواد مختلـف ورودی بـه راکتـور بـه نسـبت مناسـب بـا هـم مخلـوط شـوند یـا از مـوادی اسـتفاده شـود کـه قابلیـت تنظیـم ایـن نسـبت را داشـته باشـد. در بقایـای گیاهـی و مـواد زائـد شـهری ایـن نسـبت بالاسـت و بنابرایـن ترکیـب ایـن مـواد بـا کـود حیوانـی می توانـد یـک راهـکار مناسـب بـرای تنظیـم نسـبت کربـن بـه ازت باشـد. بـا ایـن روش می تـوان ترکیـب نهایـی مـواد راکتـور را در سـطح بهینـه نگـه داشـت.

حجم مواد ورودی به مخزن

در راکتورهـای پیوسـته مقـدار مواد آلـی فـرار درون راکتور تابعی از میـزان ورود روزانـه مـواد آلـی بـه واحـد حجـم راکتـور اسـت کـه هرچـه زیادتـر باشـد، باعـث کاهـش حجـم راکتـور و در نهایـت هزینه هـای سـرمایه گذاری می شـود؛ امـا از طـرف دیگـر مقـدار زیـادی میکروارگانیسـم را طلـب می کنـد کـه در صـورت مسـاعدنبودن شـرایط، خطرنـاک اسـت و بـه ازکارافتـادن تولیـد بیـوگاز منجـر می شـود. همچنیـن ورود مـواد آلـیِ زیـاد بـه فعالیـت زودهنـگام باکتری هـای اسـیدی منجـر می شـود و نهایتـاً pH راکتـور شـدیداً کاهـش می یابـد. تثبیـت فعالیـت میکروارگانیسـم های متان سـاز زمـان بیش تـری را نیـاز دارد و از سـوی دیگـر ایـن میکروارگانیسـم ها بشـدت در برابـر pH اسـیدی حسـاس هسـتند؛ بنابرایـن اسـیدی بودن محیـط بـه عدم فعالیـت ایـن میکروارگانیسـم ها و نهایتـاً کاهـش یـا عدم تولیـد گاز متـان منجـر می شـود. حداکثـر حجـم مـواد ورودی بـه مخـزن در شـبانه روز بـه طراحـی راکتـور و خصوصیـات مـواد ورودی بسـتگی دارد. در کل می بایسـت بیـن نـرخ بارگـذاری و زمـان نگهـداری تعـادل برقـرار باشـد کـه ایـن عامـل از طریـق تحقیـق و بررسـی به دسـت می آیـد.

کود زیستی

محصول جانبی دستگاه های تولید بیوگاز، کودی بهداشتی است که ارزشش بعضاً از بیوگاز تولیدی بیش تر است (شکل ۲۰). تخمیر کود دامی و طیف وسیعی از پسماندها در طی تولید بیوگاز، موجب نابودی علف های هرز و بسیاری از انگل ها و از جمله تخم کرم اسکاریس می شود و با ازدیاد هوموس و عناصر ازت، فسفر و پتاس بر مرغوبیت این کود از نظر مواد غذایی می افزاید. کود ارگانیک و بهداشتی تولیدشده در سامانه بیوگاز، کربن خاک را اصلاح می کند. علاوه بر این به دلیل کاهش حشرات و بوی نامطبوع و ازبین بردن بذر علف های هرز و عوامل بیماری زا مانند قارچ های موجود در کود، درآمد کشاورزان را افزایش می دهد.

شکل ۲۰- استفاده از کود زیستی در مزرعه

نتیجه گیری

تولید بیوگاز علاوه بر فوایدی که برای کشاورز دارد، دارای فواید اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی زیادی است. بیوگاز باعث افزایش توانایی اقتصادی کشاورزان، اشتغال زایی، اصلاح استانداردهای زندگی و توسعه اقتصادی و اجتماعی می شود. از نظر اجتماعی، منبعی است تجدیدپذیر که باعث کاهش گازهای گلخانه ای و گرمایش جهانی، وابستگی به سوخت های فسیلی و مواد زائد می شود و اشتغال زایی را افزایش می دهد و دارای قابلیت انعطاف برای اهداف مختلف است.

در مناطق روستایی، مدیریت و کنترل ضایعات و بهره وری از آنها بسیار ضروری است. یکی از راه های کنترل این ضایعات، استحصال بیوگاز از این منابع است. کشور ما با اینکه منابع عظیم گازی را در اختیار دارد، گازرسانی به مناطق دورافتاده یکی از مشکلات اساسی است که با فناوری تولید بیوگاز، هم این مناطق به گاز دسترسی پیدا می کنند و هم از پساب حاصل از تخمیر، کود زیستی مناسبی برای محصولات کشاورزی تولید می شود. کاهش آلودگی های زیست محیطی از مزایای دیگر این روش است. با توجه به سطح درآمد روستاییان و سادگی ساخت راکتورهای چینی در مقیاس کوچک، طراحی و ساخت این راکتورها در این مناطق کم هزینه است و به سادگی قابل اجراست و با ساخت آن، خانوارهای روستایی براحتی به گاز و برق دسترسی پیدا می کنند.

منابع

۱- امیری نـژاد، ع. ۱۳۸۸. جایگزینـی انـرژی بیـوگاز به جـای سـوخت های فسـیلی در ایـران، سـومین همایـش بهینه سـازی مصـرف سـوخت در سـاختمان.

۲- ایمانی چگینـی، س.، الماسـی، م و بهرامـی، ه. ۱۳۸۹. بازیافـت فضـولات گاوداری راهـی جهـت اسـتفاده بهینـه از انـرژی و حفـظ محیط زیسـت. پنجمیـن همایـش ملـی مدیریـت پسـماند.

۳-شـکیبی، خ.، شـعبانی کیا، ا و نظـری، ع. ۱۳۸۸. بررسـی و تعییـن قابلیت تولیـد بـرق از منابـع زیسـت توده ایـران (بـه روش هضـم بی هـوازی). ماهنامـه بین المللـی راه و سـاختمان، ص ۹۷-۵۷.

۴- صالحـی، ا و عبدلـی، م. ع. ۱۳۸۸. ضـرورت توسـعه نیروگاه هـای تولیـد هم زمـان بـرق و حـرارت بیوگازسـوز در کشـور، نشـریه انـرژی ایـران، شـماره ۳۰.

۵- صفـری، م.، عبـدی، ر و عـدل، م. ۱۳۹۴. بررسـی اسـتحصال بیـوگاز از پسـماندهای سـاقه کلـزا، محتویـات شـکمبه و کـود گاوی. مجلـه تحقیقـات مهندسـی سـامانه ها و مکانیزاسـیون کشـاورزی. دوره ۱۶، شـماره ۶۵، صفحـه ۹۸-۱۰۳.

۶- صفـری، م و عبـدی، ر. ۱۳۹۵. مقایسـه تولیـد بیـوگاز از بقایـای کلـزا و گندمـدر ترکیـب بـا کـود دامـی، نشـریه ماشـین های کشـاورزی، جلـد ۶، شـماره ۲، نیمسـال دوم ۱۳۹۵، ص ۴۸۷-۴۷۶.

۷- عمرانـی، ق. ع. ۱۳۷۵. تولیـد بیـوگاز از فضـولات شـهری و روسـتایی. انتشـارات دانشـگاه تهـران.

۸- محمد نـژاد سـیگارودی، ج.، شـعبانی کیا، ا و بوغـلان دشـتی، ب. ۱۳۸۹. پتانسـیل سـنجی تولیـد انـرژی از پسـماندهای کشـاورزی ایـران، نخسـتین همایـش بیوانـرژی ایـران، تهـران.

یادداشت

یادداشت