

بیوگاز در ایران (پتانسیل موجود، استحصال فعلی و دورنمای آینده)

ابوالقاسم علی قارداشی، مهرداد عدل
گروه انرژی های نو، پژوهشگاه نیرو

خلاصه

این مقاله مروری سریع بر تولید بیوگاز از فضولات حیوانی و فاضلاب های شهری و صنعتی در ایران دارد. ابتدا به صورت کلی تصفیه بیهوازی، تاریخچه بیوگاز و پتانسیل استحصال بیوگاز در ایران بررسی می گردد. سپس در دو بخش جداگانه به بررسی واحدهای بیوگاز روستایی و رآکتورهای بیهوازی پرداخته می شود. در هر بخش انواع مولد(رآکتور)های ساخته شده در ایران مورد بررسی کلی قرار گرفته و به ذکر مهارتها، تجهیزات و وسایل مورد نیاز برای ساخت هر واحد اشاره می شود. علیرغم وجود پتانسیل خوب برای تولید بیوگاز در ایران (۹۱۷۵,۲ میلیون مترمکعب متان معادل ۳۰٪ مصرف گاز طبیعی در بخشهای خانگی، تجاری و صنایع کشور در سال ۱۳۷۶)، فرایند های بیهوازی و تولید بیوگاز گسترش زیادی نیافته است. تعداد واحدهای هضم فضولات دامی در ایران حدود ۶۰ واحد بوده که ۳ واحد آن در حال کار می باشد و کمتر از تعداد انگشتان دست، راکتور و هاضم بیهوازی تصفیه فاضلاب در حال بهره برداری می باشند. اهم علل عدم گسترش این فن آوری ها عبارتند از: ارزان بودن انرژی و پیچیده بودن این پدیده در ایران، نبودن مرجع و متصدی مشخص برای بیوگاز در کشور، نبودن روحیه مشارکت در مردم، عدم آشنایی و آموزش کافی در این زمینه.

واژه های کلیدی: ایران، بیوگاز، انرژی، تصفیه بیهوازی

مقدمه

استفاده از روشهای جدید تولید انرژی که معایب روشهای کلاسیک را نداشته باشند، امری متداول در سراسر جهان شده است. از جمله این روشها، تولید انرژی از زیست توده می باشد. این روش نیز به چند روش اصلی مانند سوزاندن، تولید بیواتانول، تولید گاز مصنوعی ترموشیمیایی و بیوگاز تقسیم می گردد. بیوگاز از روش تخمیر بیهوازی زیست توده حاصل می شود. منابع عمده برای تولید بیوگاز، فضولات دامی، فاضلاب های شهری و صنعتی، زباله و زائدات کشاورزی می باشند.

در باره این فن آوری، کارهای پراکنده و معدودی در ایران صورت گرفته است. گزارش این فعالیتها در اولین سمینار بیوگاز در ایران ارائه شده است [۱]. بیشترین مقالات این سمینار جنبه تئوری داشته و یا به شرح تجربیات و آزمایش های خاصی می پردازد. چند مقاله هم به وضعیت بیوگاز در ایران پرداخته که از یافته های آنان در این مقاله استفاده شده است [۲ و ۳]. در کنفرانس ها و سمینارهای دیگر نیز بعضاً به این مقوله پرداخته شده است که مهمترین آنها را می توان در منابع [۴ و ۵] یافت.

روش تحقیق و آزمایش

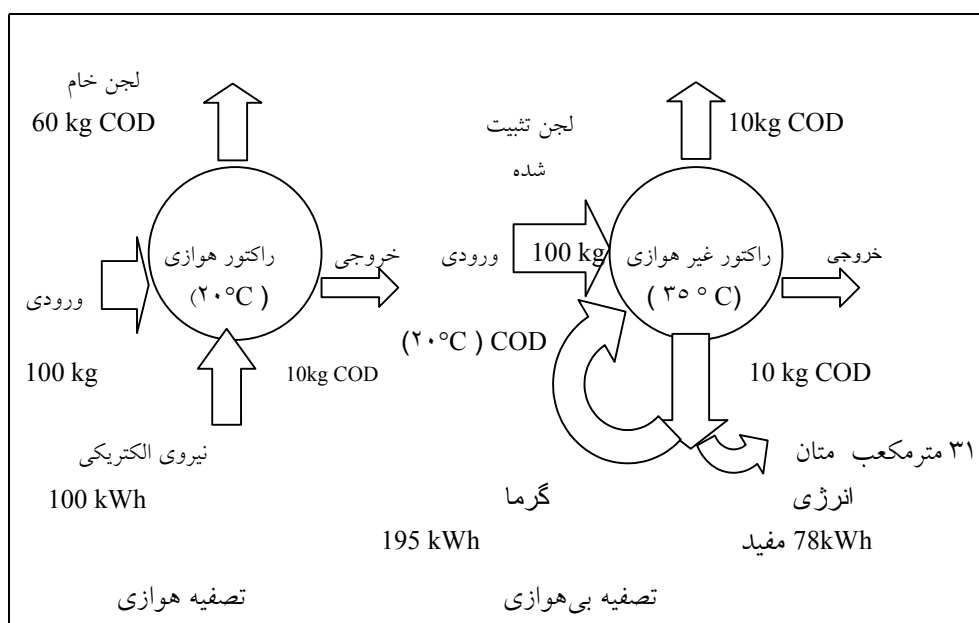
در این تحقیق ابتدا روشهای گوناگون استحصال انرژی و بیوگاز از زیست توده بررسی شده و سپس واحدهای تولید کننده بیوگاز شناسایی گردیده و آنگاه مطالعه نسبتاً کاملی از کارهای انجام شده در این باره در کشور انجام گرفته است. برای شناخت بهتر موضوع و اطلاعات بیشتر با اکثر قریب به اتفاق مسئولین و دست اندرکاران بیوگاز در کشور مصاحبه شده و در بعضی موارد هم بازدید از واحدهای ساخته شده صورت گرفته است. همچنین بسیاری از محاسبات و برآوردها توسط مؤلفین انجام شده است. این مقاله خلاصه ای از تحقیق فوق با روند برشمرده شده می باشد.

۱- کلیات

۱-۱- شناخت کلی تصفیه بیهوازی

به طور کلی برای حذف مواد آلی دو راه موجود است: هوازی و بیهوازی. در تصفیه هوازی مواد آلی در یک راکتور هوازی به آب و دی اکسید کربن تبدیل می شوند، در حالیکه در تصفیه بیهوازی این مواد در غیاب اکسیژن محلول به گاز متان و دی اکسید کربن تبدیل می گردند. انتخاب روش زیست شناختی مناسب برای حذف مواد آلی به عوامل متعددی از جمله نوع و غلظت مواد ورودی، درصد حذف مورد نظر، عوامل محیطی، وسایل موجود، عوامل اقتصادی و ... بستگی دارد.

انرژی حاصل از تغییر و تبدیل بیهوایی اندک بوده و در واقع انرژی به صورت ذخیره شده در متان باقی می‌ماند. به همین دلیل رشد باکتریها در این گونه سیستم‌ها کم بوده و به تبع آن هزینه‌های مربوط به دفع لجن مازاد کاهش می‌یابد. شکل (۱) تولید و مصرف انرژی برای حذف مقدار یکسانی از بار آلودگی ورودی در دو سیستم هوایی و بیهوایی را نشان می‌دهد [۶].



شکل ۱- مقایسه سیستم هوایی و بی‌هوایی [۶]

۱-۲- نگاهی به تاریخچه بیوگاز در ایران

تاریخچه تولید بیوگاز به اوایل سده نوزدهم بر می‌گردد که شخصی به نام دیوی در سال ۱۸۰۸ از طریق تخمیر کود گاوی وباستفاده از تقطیر در خلاء ۰/۳ لیتر گاز متان تولید نمود [۲]. اما در ایران، حمام شیخ بهایی (مربوط به قرن یازدهم هجری) احتمالاً نخستین حمام بوده که بوسیله گاز متان گرم می‌شده است. اما اولین هاضم تولید متان به صورت نوین در سال ۱۳۵۴ در روستای نیازآباد لرستان ساخته شد. در سال ۱۳۶۱ یک واحد ۳ مترمکعبی در دانشگاه صنعتی شریف مورد مطالعه قرار گرفت.

در سالهای ۶۵-۱۳۶۱ مرکز تحقیقات انرژی‌های نو در سازمان انرژی اتمی، پژوهشهای ویژه‌ای را در این زمینه به انجام رساند که از جمله می‌توان به احداث ۱۰ واحد بیوگاز در استانهای سیستان و بلوچستان، ایلام و کردستان اشاره کرد. در دهه ۱۳۶۰ وزارت جهاد سازندگی نیز در این راه

اقداماتی صورت داد: ابتدا در سال ۱۳۶۳ یک واحد آزمایشی در حیدرآباد کرج ساخته شد، سپس در سال ۱۳۶۴ یک نمونه واقعی در روستای چین سیب لی از توابع بخش آق قلا در منطقه گرگان احداث گردید. این وزارتخانه ۴۰ هاضم دیگر در مناطق مختلف کشور ساخت که ۱۸ واحد آن به مرحله گازدهی رسید. همچنین مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی در این زمینه گامهایی برداشته‌اند. از جمله می‌توان به واحد احداث شده توسط جهاد دانشگاهی دانشکده کشاورزی کرج در سالهای ۶۳-۶۵ و واحد احداث شده توسط مهندس خلیل شیخ قاسمی (کارشناس شرکت آب و فاضلاب) در شاهین دژ آذربایجان در سال ۱۳۷۲ اشاره کرد. متأخرترین واحدهای ساخته شده، یک واحد بیوگاز برای هضم فاضلاب انسانی در جزیره کیش و یک واحد تخمیر فضولات دامی (گاوداری) در ماهدشت کرج بوده که هر دو توسط سازمان انرژی اتمی در سالهای ۷۸-۱۳۷۷ طراحی و ساخته شده‌اند [۲،۸،۹،۱۰]. در مورد هاضمهای لجن و راکتورهای تصفیه بیهوازی فاضلاب در ایران، باید گفت که متأسفانه هم اکنون از بیوگاز هاضمهای لجن در هیچیک از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری استفاده نمی‌گردد و راکتورهای بیهوازی نیز کمتر از ۱۰ واحد بوده که در بخش سوم مورد اشاره قرار خواهند گرفت.

۱-۳- پتانسیل تولید بیوگاز در ایران

بیوگاز را می‌توان از تخمیر سه گونه زیست توده بدست آورد:

الف- فضولات دامی و زائدات کشاورزی

ب- فاضلاب‌های شهری و صنعتی

پ- زباله‌های شهری

با استفاده از مطالعه عدل و همکاران، نتایج پتانسیل‌سنجی تولید بیوگاز در ایران را

می‌توان چنین خلاصه نمود [۱۱]:

- i. مقدار فضولات دامی قابل دسترس در ایران ۷۴۹۴۶ هزارتن در سال بوده که بیوگاز قابل تولید از آن ۸۶۶۸ میلیون مترمکعب می‌باشد.
- ii. جرم زائدات کشاورزی و جنگلی در ایران ۲۳۱۴۷/۵ هزارتن در سال بوده که بیوگاز قابل تولید از آنها ۵۴۷۵/۸ میلیون مترمکعب می‌باشد.
- iii. اگر شهرهای بالای ۱۰۰ هزارنفر را ملاک قرار دهیم و با استفاده از فرایند بیهوازی فاضلاب را تصفیه نماییم، بیوگاز حاصل از تصفیه بیهوازی حدود ۱۰۷/۸-۲۴۵ میلیون مترمکعب خواهد بود. اگر فرایند هوادهی به کار ببریم، این مقادیر کمتر

خواهند شد. برای نمونه در فرایند روش لجن فعال، میزان بیوگاز حاصله از هاضمهای لجن حدود ۸/۱۰۷~۹/۲۰ میلیون مترمکعب خواهد بود.

iv. بیوگاز حاصل از فاضلاب های صنعتی بسیار متغیر می باشد. این مقدار بستگی به نوع صنعت، نوع فرایند تصفیه و مقدار فاضلاب دارد. برای مثال بیوگاز قابل تولید از صنایع بزرگ غذایی (روغن نباتی، الکل سازی، کنسرو، کمپوت، شیلات و ...) در کشور حدود ۴/۲۷۹~۵/۸۱ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده می شود.

v. با فناوری های موجود، میانگین سالانه استخراج گاز از محلهای دفن زباله حدود ۷ مترمکعب از هر تن زباله می باشد که در مقایسه با بازده نظری تولید بیوگاز بسیار پایین است. استخراج گاز در این شرایط برای شهرهای بسیار بزرگ مقرون به صرفه خواهد بود. اما با بهره گیری از فرایند هضم بیهوازی زباله های فسادپذیر، مجموع بیوگاز قابل تولید در کشور (با فرض ۶۰٪ بازدهی فرایند)، ۷/۱۶۴۵ میلیون مترمکعب بیوگاز در سال بدست می آید.

دیده می شود که تنها از منابع فوق به طور میانگین، سالانه ۳۵/۱۶۱۴۶ میلیون مترمکعب بیوگاز (۹۱۷۵ میلیون مترمکعب متان) قابل استحصال می باشد. با فرض ارزش حرارتی متان 3677 MJ/m^3 ، این حجم متان معادل $10^{17} \times 3367$ ژول انرژی خواهد بود.

از آنجا که موضوع مقاله وضعیت بیوگاز در ایران می باشد، مواردی بررسی می شود که فن آوری آن در ایران بکار رفته و تجربیاتی در این زمینه صورت گرفته است. فن آوری های مزبور در دو قسمت بیوگاز روستایی و رآکتور های بیوگاز فاضلاب بررسی می شوند.

۲- واحدهای بیوگاز روستایی

در یک تقسیم بندی کلی، واحدهای بیوگاز به نحوی که در پی می آید، تقسیم بندی می شوند:

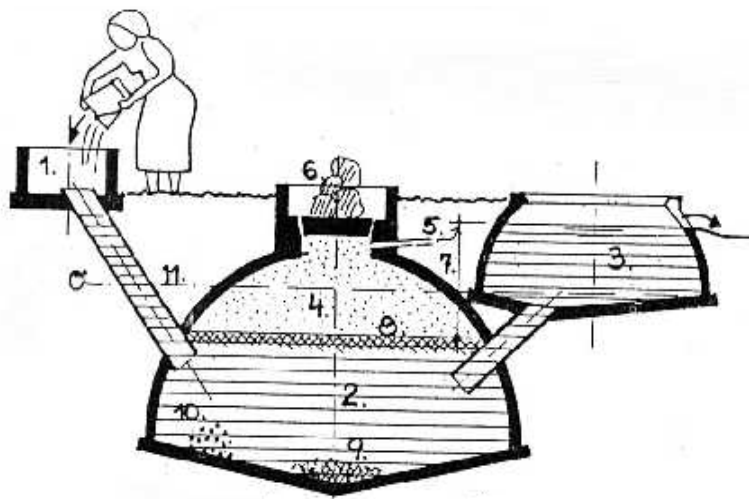
۱) واحدهای بالونی، ۲) واحدهای مخزن گاز ثابت، ۳) واحدهای مخزن گاز متحرک
چون از واحدهای بالونی تا کنون در ایران ساخته نشده است، از ذکر جزئیات آن خودداری می شود.

۲-۱- واحدهای مخزن گاز ثابت

واحدهای مخزن گاز ثابت که در ایران به نام بیوگاز چینی شناخته شده‌اند [۱۲]، دارای مخزن گاز غیرمتحرک‌اند. گاز حاصل در قسمت فوقانی هاضم ذخیره می‌شود. هنگامیکه تولید گاز آغاز می‌گردد، لجن تخمیری به سمت مخزن خروجی یا دفع لجن جابجا می‌شود. تولید بیشتر گاز موجب افزایش فشار گاز ذخیره شده می‌شود، به همین دلیل حجم هاضم را بیش از ۲۰ مترمکعب در نظر نمی‌گیرند. اگر میزان گاز در مخزن ذخیره شده اندک باشد، فشار گاز پایین خواهد بود.

مزایا: هزینه ساختمان پایین می‌باشد. اجزای واحد متحرک نبوده و قطعات زنگ نمی‌زنند بنابراین عمر طولانی (بیش از ۲۰ سال) خواهند داشت. ساختمان زیرزمینی داشته که از سرمای زمستان محافظت شده و در فضا نیز صرفه‌جویی می‌شود. استخدام نیروی بومی را دربردارد. احداث آن نیاز به بنای ماهر ندارد.

معایب: غالباً گاز واحدها را نمی‌توان کاملاً مهار نمود (نفوذپذیری و ترک خوردگی)، غالباً فشار گاز خیلی بالا بوده و به میزان زیادی در حال تغییر می‌باشد. دمای هاضم پایین است. بنابراین در مناطق سردسیر کارایی مطلوب را ندارد. نیاز به مدیریت صحیح (تحت نظارت افراد آموزش دیده) داشته تا بازده خوبی بدست آید (شکل ۲).



شکل ۲- واحد بیوگاز با مخزن ثابت [۱۳]

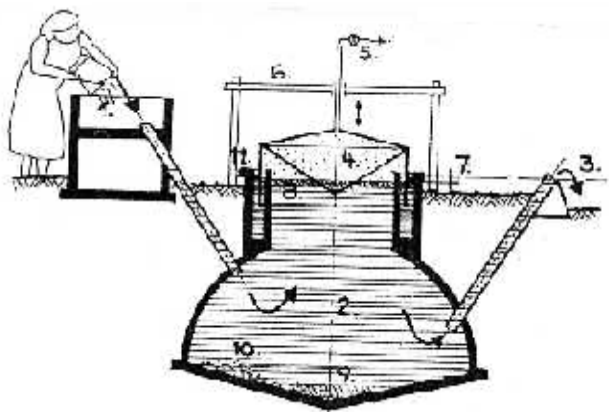
۱- بهم زن با لوله ورودی، ۲- هاضم، ۳- مخزن خروجی، ۴- مخزن نگهدارنده گاز، ۵- لوله گاز، ۶- درپوش ورودی (با استفاده از وزنه‌ها مهار شده است)، ۷- اختلاف ارتفاع برابر با اختلاف فشار برحسب سانتی‌متر آب، ۸- لایه زلال، ۹- انباشتگی لجن غلیظ، ۱۰- انباشتگی سنگ و شن، ۱۱- خط مبدأ (صفر) ارتفاع پر شدن مخزن بدون فشار گاز.

۲-۲- واحدهای مخزن گاز متحرک

واحد با مخزن گاز متحرک- که در ایران به نام بیوگاز هندی شناخته شده [۱۲]، شامل هاضم و مخزن نگهدارنده گاز متحرک است (شکل ۳). مخزن نگهدارنده گاز یا بر روی لجن تخمیری و یا در پوسته (ژاکت) آب مخصوص به خود شناور است. گاز متصاعد شده در مخزن شناور جمع‌آوری می‌شود. اگر گاز مصرف شود، مخزن مجدداً به حالت اول بر می‌گردد.

مزایا: فراگیری کارکرد آن آسان است. وجود سرپوش متحرک باعث می‌شود که فشار ثابت باقی مانده و بستگی به وزن سرپوش داشته باشد (تقریباً ۷ الی ۱۵ سانتیمتر آب). حجم گاز ذخیره شده بطور مستقیم قابل رؤیت است و در ساختمان آن اشتباه کمتری رخ می‌دهد.

معایب: هزینه سنگین برای ساخت مخزن شناور دارد. قطعات فولادی که با زنگ زدگی مواجه می‌شوند، سبب کوتاه شدن عمر واحد می‌گردد (تا ۱۵ سال و در نواحی گرمسیری تا ۵ سال). وجود همین سرپوشها باعث اتلاف حرارتی می‌شود. مخارج تعمیر و نگهداری ناشی از هزینه‌های رنگ آمیزی زیاد است.



شکل ۳- واحد بیوگاز با مخزن متحرک [۱۳]

۱- مخزن بهم زن با لوله ورودی، ۲- هاضم، ۳- جریان سرریز از لوله خروجی، ۴- مخزن نگهدارنده گاز که در سطح مایع شناورست، ۵- خروجی گاز با خمش لوله اصلی، ۶- اسکلت راهنما برای مخزن گاز، ۷- اختلاف ارتفاع برابر با فشار گاز برحسب سانتی‌متر، آب، ۸- لایه شناور هنگامی که از الیاف به عنوان خوراک استفاده شود، ۹- لجن غلیظ، ۱۰- انباشتگی شن و سنگ

۲-۳- انواع واحدهای ساخته شده در ایران

از انواع واحدهای یاد شده، نوع بالونی در ایران ساخته نشده است و از حدود ۶۰ واحد بیوگاز ساخته شده [۲]، نوع مخزن متحرک بیشتر بوده است. مؤلف مقاله ارائه شده به اولین سمینار بیوگاز [۱] اظهار داشته است که، با مطالعاتی که جهاد سازندگی بر روی دستگاه های مولد بیوگاز در پاره ای از کشورهای جهان انجام داده، از دو نوع مولدهای ثابت و شناور، دستگاه مولد بیوگاز از نوع شناور برای کشور مناسب تر تشخیص داده شده است.

مرکز تحقیقات و انرژی های نو سازمان انرژی اتمی بعد از طراحی و ساخت دو نوع مولد ثابت و متحرک (در سالهای ۶۳-۱۳۶۱) و انجام آزمایشها و مطالعات دیگر، نوع مخزن ثابت را ترجیح داده و واحدهای ساخته شده در جزیره کیش و ماهدشت نیز از نوع ثابت بوده اند [۱۰].

همانگونه که در بخش یکم اشاره شد، مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی به صورت پراکنده کارهایی در این زمینه انجام داده اند که جزئیات دقیق و فنی آنها منتشر نگردیده است، فقط باید اشاره کرد که در مورد واحد احداث شده در شاهین دژ، سیستم جدید «دین باندهو» که یک مدل مخزن ثابت هندی است، بکار گرفته شده است. همچنین کانون مطالعات توسعه پایدار دو دستگاه بیوگاز چینی در «الشر» لرستان و روستای «کلم بالا» ایلام به ترتیب در سالهای ۱۳۵۸ و ۱۳۶۲ ساخته و به بهره برداری رسانید. اما بعداً هر دوی این واحدها از سوی اداره بهداشت تخریب شدند [۱۴]. نویسندگان این مقاله سعی کردند با بررسی گزارشها و انجام مصاحبه های حضوری با دست اندرکاران این رشته، علل اختلاف در ترجیح یک نوع مولد بر انواع دیگر را بدست بیاورند. در برخی گزارشها چنین ذکر شده که بیوگاز از نوع شناور حدود ۴۰ درصد گرانتر از نوع ثابت هزینه دارد [۹]، همچنین با توجه به ساخت ساده، عمر طولانی و تعمیرات اندک، برخی کارشناسان، بیوگاز با مخزن ثابت را کلاً ترجیح داده اند [۲۵، ۱۲، ۸].

اما در مصاحبه حضوری با مسئولین احداث واحدهای بیوگاز وزارت جهاد سازندگی، نکاتی مطرح گردید که قضاوت های فوق را مورد تردید قرار میدهد. ایشان اشاره کردند که از ۴۰ دستگاه واحد بیوگاز ساخته شده توسط جهاد در مناطق مختلف (بیشتر در استانهای خراسان، گلستان، مازندران و ایلام) ۷ دستگاه به صورت بیوگاز با مخزن ثابت ساخته شد که هیچگاه به مرحله گازدهی نرسید و حتی نظرات و راه حل های کارشناسان چینی در این موارد کارساز نبوده است. آخر الامر این ۷ دستگاه نیز به مدلهای شناور تبدیل شدند. مهمترین مشکل از نظر مصاحبه شوندگان تأمین دمای لازم برای هضم بوده است. در مقابل این پرسش که آیا در مناطق گرمسیر نیز چنین مشکلی وجود داشته است، اشاره ای داشتند به چند دستگاه بیوگاز با مخزن متحرک که توسط سازمان انرژی اتمی در استان سیستان و بلوچستان احداث شد و به مرحله گازدهی نرسید.

از سوی دیگر دست اندرکاران بخش بیوگاز مرکز تحقیقات انرژی‌های نو سازمان انرژی اتمی، در مقابل نکات فوق مطالبی را مطرح کردند که اهم آنها را می‌توان چنین تقریر کرد: علت اصلی به گاز نرسیدن واحدهای جهاد سازندگی، گازبندی نکردن درست و کامل و عایق‌بندی نامطلوب آنها بوده است. ساخت هاضم ثابت نیاز به دقت زیاد در بندکشی و سیمان کاری آن دارد که عموماً رعایت نمی‌گردد. هم‌چنین آن مرکز استفاده از وسایل گرمایش هاضم در مناطق سردسیر را ضروری دانسته و در غیر این‌صورت توصیه می‌نماید که از بیوگاز در این مناطق چشم‌پوشی شود.

مجموعه نکات فوق این نتیجه را بدست می‌دهد که قضاوت نهایی درباره انتخاب بیوگاز منوط به داشتن اطلاعات دقیق و کامل از بیوگازهای ساخته شده و هم‌چنین پایش و ثبت پارامترهای راهبری (در صورت امکان واحدهای موجود و در غیر این‌صورت واحدهای جدید آزمایشی) می‌باشد. متأسفانه گزارشهای فنی و یا اطلاعات واحدهای ساخته شده در دسترس نیست و قضاوت نهایی که اشکالات طراحی و به خصوص راهبری را مشخص کند، امکان پذیر نیست. برای انتخاب صحیح مدل بیوگاز نیاز به همه اطلاعات ساخت نظیر حجم هاضم، حجم مخزن گاز، جزئیات سرپوش و جزئیات ورودی و خروجی) و اطلاعات راهبری پایش شده (از جمله نوع خوراک، مقدار ترکیب خوراک با آب، درصد تولید گاز، درصد گازهای جزئی تشکیل‌دهنده بیوگاز، ثبت pH، دما و فشار) می‌باشد. وجود این اطلاعات نشان می‌دهد که عیوب کار چقدر به طراحی و چقدر به راهبری مرتبط است. این نکات وقتی برجسته می‌شود که یادآور شویم که بازده دستگاه بیوگاز با حجم ثابت رابطه مستقیم با راهبری صحیح دستگاه دارد.

مهارتها و تجهیزات لازم برای ساخت و راهبری واحدهای بیوگاز در مراجع مختلف به تفصیل مورد اشاره قرار گرفته است و گستره‌ای از مصالح و لوازم متداول ساختمانی و نیروی انسانی ماهر را در برمی‌گیرد [۱۳، ۱۲، ۱۰، ۸، ۱]. همان‌طور که در این مراجع دیده می‌شود، فن‌آوری بیوگاز ساده بوده و نیاز به تجهیزات پیشرفته یا متخصصین خاص ندارد، به نحوی که به یک فن‌آوری جهان‌سومی شهرت پیدا کرده است. اگر این گفته را بپذیریم که صنعت ساختمان که زیرگروه‌های زیادی از جمله سازه، مکانیک و برق دارد، در ایران بالنسبه پیشرفته است، می‌تواند حکم داد که با توجه به بررسی‌های فوق، سازندگان احتمالی بیوگاز روستایی در ایران می‌توانند بسیاری از شرکتهای ساختمانی و تأسیساتی باشند. در تأیید این برداشت می‌توان به گفته‌های مسئولین اجرایی بیوگاز وزارت جهاد سازندگی و سازمان انرژی اتمی استناد کرد: بنابر اظهارات مهندس بلوچستانی برای ساخت واحد بیوگاز با مخزن متحرک، وزارت جهاد هیچگونه مشکل اجرایی نداشته و همه وسایل و استادکاران در محل احداث وجود داشته‌اند. حتی سرپوش متحرک دستگاه که ساخت آن نیاز به مهارت بیشتری نسبت به سایر اجزاء دارد، در کارگاههای محلی

ساخته شدند [۱۶]. همچنین مهندس شیخ الاسلامی اظهار می داشت که برای ساخت واحدهای بیوگاز با مخزن ثابت فقط ناظر مجرب مورد نیاز است. این ناظر باید کار بنا را کنترل کرده تا احیاناً در ساخت بعضی جزئیات - مثل اتصالات ضعیف و قوی در پوسته کروی - سهل انگاری بوجود نیاید [۱۰].

پس در مجموع می توان گفت که طراحان این دستگاهها می توانند وزارتخانه ها یا سازمانهایی باشند که در این زمینه فعالیت داشته اند. مشاورین و پیمانکاران نیز می توانند کلیه شرکت های ساختمانی - تأسیساتی ، خصوصاً شرکت های فعال در احداث و بهره برداری پروژه های فاضلاب باشند. این شرکتها نیز می توانند کار را به پیمانکاران محلی واگذار کرده، خود بر کار آنها نظارت داشته و بعضی مصالح یا تجهیزات مورد لزوم را تهیه نمایند.

۳- راکتورهای بیهوازی

راکتورهای بیهوازی به دو صورت عمده به کار می روند: الف - راکتورهای هضم بیهوازی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب ب - راکتورهای تصفیه بیهوازی فاضلاب .

هاضم های لجن دارای انواع گوناگون بوده که چهار نوع بسیار متداول آن عبارتند از هاضم متعارف، بانرخ بالا، دو مرحله ای و تخم مرغی شکل. معمولترین این هاضمها دو مرحله ای می باشد که بازده بالاتری در تولید متان و همچنین از بین بردن پاتوژن ها (عوامل بیماریزا) دارد. هاضم های تخم مرغی شکل اخیراً در حال گسترش بوده و مزایای زیادی نسبت به انواع قدیمی تر دارد. راهبری هاضمها بیشتر به اختلاط و گرمایش هاضم بر می گردد. انواع روشهای اختلاط شامل تزریق گاز، هم زدن مکانیکی و پمپاژ مکانیکی به کار می رود. روشهای گوناگونی نیز برای گرم کردن هاضم وجود دارند. یک راه گرم کردن هاضم، گرمایش لجن و فرستادن آن به درون هاضم و راه حل دیگر استفاده از لوله های آب گرم در داخل هاضم می باشد. دمای بهینه هضم ۲۹ تا ۳۸ درجه سانتیگراد و pH بهینه درحد ۷ تا ۷/۲ ذکر شده است [۱۷].

برای کاربردهای معمولی (مثلاً سوزاندن) معمولاً هیچ عملی روی گاز انجام نمی شود، اما برای استفاده به عنوان سوخت موتورهای احتراق درونی و توربین های گازی باید درصد سولفید هیدروژن (H_2S) را به کمتر از ۰/۰۱۵٪ رساند. مقدار گاز حاصله بستگی به نوع تصفیه بکار رفته متفاوت است و می تواند بین ۶۵ تا حتی ۱۰۰ درصد انرژی مورد نیاز تصفیه خانه فاضلاب را برآورده سازد [۱۷]. از گاز حاصله می توان برای گرم کردن هاضمها، گرم کردن آب برای مصرف در نقاط دیگر تصفیه خانه ، تولید الکتریسیته ، پمپاژ و ... استفاده کرد. یک نمونه قابل ذکر در این مورد تصفیه خانه هیپریون (Hyperion) در غرب لس آنجلس می باشد [۱۸]: این تصفیه خانه

روزانه ۱/۲۱۰ تا ۱/۵۱۰ میلیون لیتر فاضلاب را تصفیه می‌کند. از سال ۱۹۸۷ دو راه حل برای تولید انرژی در تصفیه‌خانه در نظر گرفته شده است، ۱- بیوگاز حاصل از هاضم‌های بیهوازی برای تولید برق بوسیله سه توربین - هریک به ظرفیت ۴۵۰۰ کیلووات - بکار می‌رود. ۲- مواد جامد باقیمانده در هاضم‌ها خشک شده، در کوره‌های بستر سیال سوزانده شده و احتراق صورت می‌گیرد. خاکستر حاصل نیز به عنوان سیمان به کار گرفته می‌شود.

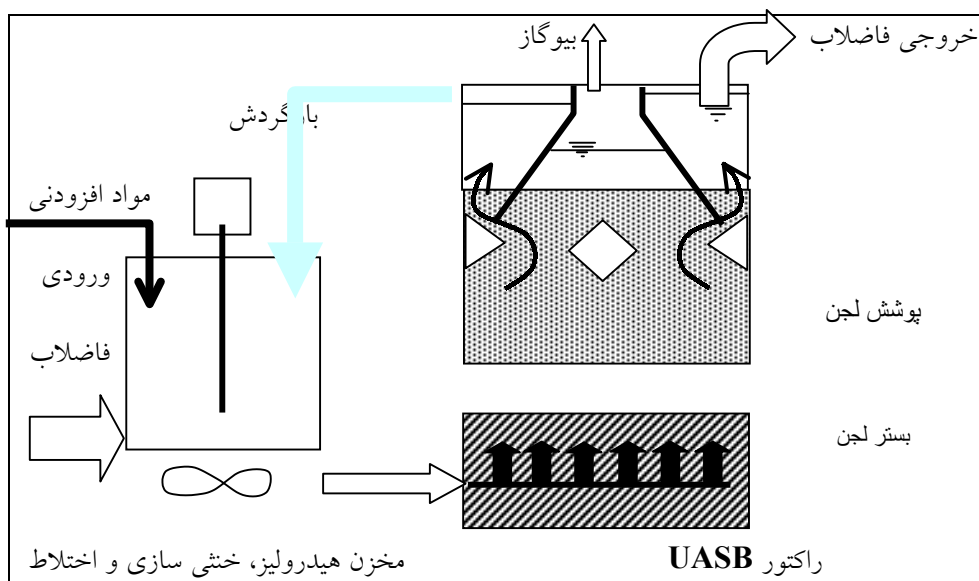
سه هاضم موجود در تصفیه‌خانه از نوع دومرحله‌ای بوده که با یکدیگر سری می‌باشند. این هاضم‌ها به طور متوسط ۲۲۱۲۵۰ مترمکعب بیوگاز در روز تولید می‌کنند. سولفید هیدروژن موجود در بیوگاز بوسیله افزایش ترکیبات آهن به هاضم و ته نشینی اولیه کنترل می‌گردد. بیوگاز تولیدی دارای ۶۰ تا ۱۰۰ ppm سولفید هیدروژن است که در یک واحد سولفور زدایی به ppm ۴۰ می‌رسد. این واحد روزانه حدود ۲۲/۷ تا ۲۷/۲ کیلوگرم گوگرد تولید می‌نماید. به علت حجم کم تولید لجن، سوزاندن لجن هنوز به صرفه نمی‌باشد (۱۹۹۳). ژنراتورهای بخار و گاز مجموعاً ۲۵/۲ مگاوات برق تولید می‌کنند، هرچند که دامنه معمولی تولید بین ۱۶ تا ۲۶ مگاوات است. میزان صرفه‌جویی سالیانه در هزینه‌های الکتریسیته حدود ۸/۴۲ میلیون دلار می‌باشد.

در ایران تنها تصفیه‌خانه جنوب اصفهان از هاضم استحصال بیوگاز را انجام داده که آنهم در مشعل تصفیه‌خانه سوزانده می‌شود [۱۹]. متأسفانه هیچگونه اطلاعات راهبری دیگری از هاضم‌های ایران در دسترس نویسندگان نبوده است.

اما رآکتورهای بیهوازی بسیار متنوع و گوناگون می‌باشند که معمولاً بر اساس فرایند تقسیم بندی می‌شوند: فرایند تماس بیهوازی، فرایند رشد چسبنده بیهوازی و فرایند بیهوازی ترکیبی. چون از این سه نوع، نوع سوم در ایران بیشتر به کار رفته است، مختصری درباره آن توضیح داده می‌شود.

رآکتورهای بیهوازی ترکیبی برای تصفیه فاضلاب‌های قوی و ضعیف، بکار می‌روند. معمولترین روش در این حالت، بستر لجن بیهوازی با جریان بالارو (UASB: Upflow Anaerobic sludge Blanket) می‌باشد. در این روش که در هند ابداع شد، فاضلاب ورودی از پایین به رآکتور وارد می‌شود و هنگام بالا رفتن، ذرات و دانه‌های بیولوژیک به اندازه‌های ۱/۶ تا ۶/۴ میلیمتر تشکیل می‌گردد. گاز حاصل از فرایند بیهوازی، مواد داخل رآکتور را کمی مخلوط کرده و مواد تشکیل شده سبک را به سمت بالا می‌آورد (شکل ۴). در ایران از اواخر دهه ۱۳۶۰ تحقیقاتی در زمینه استفاده از UASB در دانشگاه صنعتی شریف آغاز گردید. در مقیاس واقعی، شش رآکتور از این نوع در ایران بکار گرفته شده که دو مورد آن - خوراک دام لرستان و خمیر مایه خراسان - توسط شرکتهای خارجی طراحی و ساخته شده‌اند و

اطلاعات دقیقی از مشخصات آنها بدست نیامد [۶]. اما چهار رآکتور دیگر توسط شرکت ها و طراحان ایرانی طراحی و ساخته شده اند. خلاصه‌ای از مشخصات آنها در پی می‌آید:



شکل ۴- ساختار رآکتور UASB

۱- سه رآکتور UASB برای تصفیه فاضلاب کارخانه قند میان‌دوآب توسط شرکت «آب پردازان بهار» طراحی و ساخته شده‌اند. حجم این رآکتورها به ترتیب ۸۰۰ و ۴۵۰ و ۴۵۰ مترمکعب بوده و جنس آنها از بتن مسلح می‌باشد. آهنگ بارگذاری رآکتورها $20-30 \text{ ton BOD/day}$ و تولید بیوگاز ۱۰۰۰۰ مترمکعب در روز گزارش شده است. هم چنین این شرکت یک رآکتور UASB با حجم ۵۵ مترمکعب برای کشتارگاه مرغ در نوشهر طراحی و اجرا کرده که علاوه بر تصفیه بسیار مناسب فاضلاب، از آن بیوگاز نیز استخراج می‌گردد [۲۰].

۲- رآکتور UASB مجتمع الکل سازی بیدستان قزوین: در این مجتمع دو رآکتور فلزی - هر یک به ظرفیت ۴۰۰ مترمکعب توسط دکتر هاشمیان و دکتر شایگان طراحی و توسط مجتمع ساخته شده است. این رآکتورها حدود ۱۵۰ مترمکعب فاضلاب در روز را تصفیه می‌کنند. COD ورودی به رآکتورها 40000 mg/L و COD خروجی از آنها حدود 8000 mg/L (درصد حذف ۸۰ درصد) می‌باشد.

متأسفانه پایش منظم و دقیقی از بیوگاز تولیدی صورت نمی‌گیرد اما در زمستان از بیوگاز برای گرمایش رآکتور استفاده می‌شود [۲۱].

۳- رآکتور UASB کارخانه نشاسته و گلوکز یاسوج: این رآکتور توسط شرکت "زالال ایران" طراحی و ساخته شده است. جنس آن بتن مسلح بوده و روزانه ۶۰۰ تا ۷۰۰ مترمکعب فاضلاب را با غلظت COD ۷۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر دریافت می‌کند. بدلیل وجود پاره‌ای نقایص در سیستم گازبندی، استخراج بیوگاز در این رآکتور تا کنون قابل ملاحظه نبوده است [۲۲].

۴- رآکتور UASB کارخانه شیر پاستوریزه: پس از نیمه کاره ماندن طرح تصفیه‌خانه فاضلاب شیر پاستوریزه تهران که به کنسرسیوم مشاورین ایرانی و آلمانی سپرده شده بود، ادامه کار به مرکز آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف واگذار گردید و با ارائه طرح فرایند توسط دکتر هاشمیان، عملیات ساخت شروع شده و تا کنون به پایان رسیده است. این تصفیه‌خانه از یک مخزن متعادل سازی، چهار دستگاه رآکتور UASB و واحد تصفیه هوازی تشکیل شده است. ظرفیت هر یک از رآکتورها ۳۲۰ مترمکعب و جنس آن از بتن مسلح می‌باشد. به دلیل تولید و پرورش لجن گرانوله سازگار با فاضلاب صنایع شیر در مخزن متعادل سازی و انتقال آن به درون رآکتور، فرایند تصفیه خیلی سریع آغاز شد و تولید بیوگاز از همان روزهای نخست راه اندازی شروع گشت. متأسفانه هم اکنون از بیوگاز حاصله استفاده نشده و تنها سوزانده می‌شود.

۴- عوامل بازدارنده در گسترش فن‌آوریهای تولید بیوگاز در ایران

علل متعددی باعث شده اند که تولید بیوگاز در ایران گسترش نیافته و جایگاه درخوری را میان انواع انرژی نداشته باشد. مواردی که در پی می‌آید مهمترین این علل می‌باشند:

الف- ارزان بودن انرژی در ایران: انرژی‌های در دسترس در کشور به علت متکی بودن بر منابع زیرزمینی و تعلق یارانه به آنها، با بهای اندک به دست مصرف‌کننده می‌رسند (مقایسه شود قیمت انرژی در آمریکا ۱۲/۹ ریال بر مگاژول با قیمت انرژی در ایران ۲/۳ ریال بر مگاژول با برابری هر دلار ۳۰۰۰ ریال [۱۱]). این در حالی است که تولید هر انرژی غیرمتعارف جدید مانند انرژی خورشیدی، باد و زیست توده، مستلزم صرف هزینه‌های به نسبت زیادی می‌باشد. از جمله این هزینه‌ها می‌توان به هزینه‌های زیر اشاره کرد:

(۱) هزینه‌های تحقیق و توسعه، (۲) هزینه‌های پشتیبانی مقدماتی، (۳) هزینه‌های توسعه اقتصادی و فن‌آوری صنایع وابسته، (۴) هزینه‌های حفاظتی و مراقبتی، (۵) تخفیف‌های مالیاتی و

سایر هزینه‌های متعارف دیگر مانند سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های راهبری و مدیریت، تعمیرات و ... باید لحاظ شوند. از طرف دیگر باید توجه داشت که حتی قیمت تمام شده انرژی‌های متعارف - نظیر سوخت‌های فسیلی - قیمت واقعی آنها نبوده و برای محاسبه قیمت‌های اصلی آنها، هزینه‌های دیگری را نیز باید در نظر داشت که در این کشور لحاظ نمی‌شوند. از مهمترین این هزینه‌ها، هزینه‌های رفع آلودگی ایجاد شده توسط نیروگاهها، هزینه‌های زیست محیطی استفاده از سوخت‌های آلاینده و هزینه‌های تخریب منابع طبیعی می‌باشند.

در هر حال بدون در نظر گرفتن عوامل فوق، نگارندگان این مقاله قیمت هر گیگاژول انرژی معادل بیوگاز تولیدی در ایران را ۱۰ تا ۱۳ دلار برآورد کرده اند [۲۳] که در مقایسه با قیمت سوخت‌های دیگر (مثلاً گاز طبیعی $1/21\$/GJ$) عدد بزرگی می‌باشد.

مسئله دیگری که مطرح می‌شود این است که تغییر قیمت انرژی، مسئله‌ای بسیار پیچیده بوده که به عوامل گوناگون اقتصادی، سیاسی، اجتماعی در سطح ملی و جهانی بستگی دارد و هرگونه تغییر در قیمت انرژی ممکن است به بحرانهای اجتماعی و سیاسی بی‌انجامد و در نتیجه سیاستگذاری در امر انرژی مستلزم بررسی‌های کارشناسانه، دقیق و طولانی مدت بوده که در نهایت راه را برای جایگزین کردن سوخت‌های پاکیزه و تجدیدپذیر هموار کند.

ب - نبودن مرجع و متصدی مشخص برای بیوگاز در کشور: هرچند که از گسترش بیوگاز در جهان زمان زیادی نمی‌گذرد و تا چندی پیش به عنوان یک فن آوری فقر تلقی می‌شد، اما این مسئله دلیل قانع کننده‌ای برای عدم گسترش این فن آوری در ایران نمی‌شود. با توجه به فن‌آوری‌های نسبتاً ساده ساخت هاضم‌های لجن، مولدهای بیوگاز روستایی و رآکتورهای بیهوازی، انتظار می‌رود که با یک برنامه‌ریزی صحیح و حساب شده، بیوگاز جایگاه ویژه خود را پیدا کند. مهمترین عامل که باعث شده است در این زمینه سیاست مشخص و مدونی وجود نداشته باشد، تعدد مراکز تصمیم‌گیری - به عبارت بهتر نبود یک مرکز مشخص تصمیم‌گیری - برای این گونه انرژی می‌باشد.

تاکنون سازمانها و مراکز متعددی مانند مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو سازمان انرژی اتمی، سازمان انرژی‌های نو ایران (وابسته به وزارت نیرو)، وزارت جهاد سازندگی، مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی (نظیر جهاد دانشگاهی و پژوهشگاه نیرو) و چند سازمان و مرکز غیر دولتی دیگر (مانند کانون مطالعات توسعه پایدار) درباره بیوگاز تحقیقات و مطالعاتی انجام داده اند. به نظر می‌رسد مهمترین کار در این باره گردآوری، تنظیم و منتشر کردن کارهای انجام شده تا کنون و ایجاد یک مرکز یا سازمان - کوچک اما کارآمد و فعال - برای هماهنگ کردن مطالعات، برنامه‌ریزی و گسترش این فن آوری در ایران باشد.

ج - نبود روحیه مشارکت در مردم: یکی از دلایل مهم عدم گسترش بيوگاز - خصوصاً بيوگاز روستایی در ایران - عدم مشارکت مردمی در ایجاد و اداره واحدهای ایجاد شده بوده است. این مطلب در مصاحبه با دست اندرکاران بيوگاز جهاد سازندگی و سازمان انرژی اتمی و بازدیدهای محلی به وضوح مشاهده شد. متأسفانه دسترسی به انرژی ارزان، گریز از کارهای سخت و کارهای به اصطلاح غیر تمیز (مثل حمل و بارگذاری فضولات دامی) و عدم تشویق مسئولین در این زمینه باعث شده است که این روحیه انفعالی و بی تفاوتی بیشتر تشدید گردد. نبود روحیه همکاری و مشارکت در مردم ایران - خصوصاً در سده های اخیر - بحثی است که مفصل بوده و به عوامل گوناگون اجتماعی، سیاسی و تاریخی بر می گردد و نمود آن در عدم تشکیل و پایداری حزب های بزرگ، نبود شرکتهای بزرگ خصوصی چند نفره، عدم موفقیت در ورزشهای گروهی تجلی پیدا کرده است.

د- آگاهی کم و آموزش ناکافی: یکی دیگر از دلایل مهم عدم گسترش فن آوریهای بيوگاز به آگاهی کم مردم - و حتی مسئولین - از مزایای این فن آوری ها و معایب سایر انرژی های غیر تجدیدپذیر و آموزش ناکافی در این زمینه ها در سطح ملی می باشد. توضیح اینکه سایر فن آوریهای تولید انرژی از عوامل مهم مخرب محیط زیست و منابع طبیعی هستند و از سوی دیگر فن آوریهای تولید بيوگاز علاوه بر اینکه خود آلاینده نیستند، از ورود عوامل آلاینده محیط زیست و بیماری زا (مانند فضولات و فاضلابها) به محیط جلوگیری کرده، ایجاد اشتغال نموده و به رفاه عمومی جامعه کمک شایانی می نمایند. متأسفانه مسائلی نظیر موارد فوق نه برای مسئولین و نه برای مردم اهمیت نداشته و به آنها بها داده نمی شود. همین امر باعث می گردد که هیچ گونه آموزشی برای معرفی این فن آوری ها و مزایای آنها و به تبع آن استفاده از آنها به عنوان منابع مهم تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر صورت نگرفته باشد. در نتیجه طبیعی است که اهمیت و لزوم استفاده از این انرژی برای مردم مشخص نبوده و با استقبال روبرو نشود.

ایجاد یک برنامه جامع، ملی و کلی نگر برای انرژی های تجدیدپذیر و از جمله انرژی های حاصل از زیست توده و بيوگاز باید از اولویت های اساسی سازمانها و وزارتخانه های مرتبط با امر انرژی، محیط زیست و منابع طبیعی باشد.

ه - کمبود اطلاعات فنی: متأسفانه جزئیات کارهای پراکنده و معدودی که در کشور صورت گرفته، ثبت و نگهداری نشده اند. از سویی عدم دقت در ثبت داده ها (در همه مراحل طراحی، ساخت و راهبری) و از طرف دیگر به روز نبودن دانش فنی موجود در این رشته علمی باعث شده است که هم بازده واحدهای بيوگاز احداث شده اندک بوده و هم تصمیم گیری درباره واحدهای بعدی با شک و تردید زیاد همراه باشد.

علاوه بر شناخت این فن‌آوری سودمند و آموزش ملی آن، ارتقاء دانش فنی این رشته علمی نیز از وظایف ضروری سازمانها و ارگانهای مرتبط (مانند دانشگاهها، پژوهشگاهها و ...) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

ایران از جمله کشورهایی است که دارای منابع گسترده‌ای برای تولید بیوگاز می‌باشد. با احتساب مقادیر معمول بازدهی بیوگاز از فضولات دامی، زائدات کشاورزی، زباله‌های شهری و فاضلاب‌های شهری و صنایع غذایی و اعمال ضرایب اطمینان، بیوگاز حاصل به طور میانگین حدود ۱۶۱۴۶/۳۵ میلیون مترمکعب، معادل ۳۲۳ پتاژول (10^{15} ژول) انرژی خواهد بود.

متأسفانه علی‌رغم داشتن این پتانسیل و فن‌آوری نسبتاً ساده مولدها و رآکتورهای بیوگاز، از این منابع هیچ‌گونه استفاده شایانی در کشور نمی‌گردد. واحدهای انگشت شمار موجود هم به علت مشکلات اجرایی و عدم راهبری صحیح و کارآ، بازده مطلوبی ندارند. هم‌اکنون ۲ مولد بیوگاز روستایی (هضم فضولات دامی)، یک مولد هضم فاضلاب انسانی و سه رآکتور تصفیه فاضلاب‌های صنعتی از بیوگاز تولیدی استفاده می‌کنند. این اعداد در مقایسه با تعداد واحدهای بیوگاز روستایی در کشورهای چین، هند و نپال (به ترتیب ۵,۰۰۰,۰۰۰، ۲,۷۰۰,۰۰۰ و ۳۷,۰۰۰ [۲۴]) در حکم صفر است. مهمترین عوامل بازدارنده در توسعه بیوگاز در ایران عبارتند از ارزان بودن انرژی، نبودن مرجع و متصدی مشخص و واحد برای این نوع انرژی، عدم مشارکت مردمی و عدم آموزش و آشنایی کافی.

مراجع

- ۱- علی‌زاده
بخش بیوگاز مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو
"مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز در ایران"
سازمان انرژی اتمی ایران-۱۳۷۵
- ۲- قاسمعلی عمرانی
"روند توسعه بیوگاز در ایران و جهان"
"مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز در ایران"-صص ۱۵-۱
- ۳- غلامرضا علیزاده
"بیوگاز و ضرورت توسعه آن در ایران از دیدگاه اقتصادی"
مجموعه مقالات اولین ...، آبان ۱۳۷۵-صص ۹۳-۸۴

- ۴- حسن ستاری ساریانقلی، داوود کبیری
 "مشکلات، موانع و محاسن توسعه بیوگاز در روستا"
 مجموعه مقالات سومین کنفرانس سراسری روستا و انرژی- صص ۳۸۶-۳۷۲ - وزارت جهاد
 سازندگی، دفتر مطالعات انرژی -۱۳۷۸
- ۵- فاطمه تابنده
 "انرژی حاصل از زیست توده و جایگاه آن در ایران"
 مجموعه مقالات سمینار توسعه و کاربرد انرژی های نو، صص ۲۶۵-۲۵۲، وزارت نیرو، امور
 انرژی، دفتر انرژی های نو، ۱۳۷۶
- ۶- جلال الدین شایگان، حسین مهدیزاده و فریده قوی پنجه
 "تبدیل مواد آلی فاضلاب به گاز متان با استفاده از روش تصفیه بی هوازی"
 مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز -۱۳۷۵- صص ۴۶-۳۲
- 7- Metcalf & Eddy Inc. Revised by G. Tchobanoglous and F.L Berton
 "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse"
 McGraw Hill, 1991
- ۸- سید جواد شیخ الاسلامی، علیرضا کشتکار
 "فرایند تولید بیوگاز"
 دومین کنفرانس سراسری روستا و انرژی، خرداد ۱۳۷۷.
- ۹- خلیل شیخ قاسمی
 "تکنولوژی ساخت دستگاه Deenband hu و تجارب به دست آمده در حین ساخت در ایران"
 مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز - آبان ۱۳۷۵- صص ۱۳۷-۱۲۸
- ۱۰- مصاحبه با مهندس شیخ الاسلامی (مسئول بخش بیوگاز سازمان انرژی اتمی) و بازدید از واحد
 بیوگاز ماهدشت کرج، خرداد ۱۳۷۹
- ۱۱- مهرداد عدل
 "برآورد قابلیت های تولید انرژی از زائدات زیستی"
 پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران - ۱۳۷۸.
- ۱۲- محمدعلی عبدلی
 "بیوگاز"
 سازمان انرژی اتمی ایران، بهمن ۱۳۶۴
- ۱۳- لودویک ساسه
 "تأسیسات واحدهای بیوگاز"
 ترجمه دکتر قاسم نجف زاده، دانشگاه صنعتی امیرکبیر-۱۳۷۴

- ۱۴- مصاحبه با دکتر فرور و کاترین رضوی (عضو کانون مطالعات توسعه پایدار)-خرداد ۱۳۷۹
- ۱۵- برات قبادیان
"طراحی بیوگاز گنبدی ثابت"
مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز-۱۳۷۵-صص ۱۰۸-۱۲۷
- ۱۶- مصاحبه با مهندس بلوچستانی (مسئول پروژه‌های بیوگاز وزارت جهادسازندگی)، اردیبهشت ۱۳۷۹
- 17-Reynolds/Richards.
Unit Operation and Processes in Environmental Engineering" , PWS Publishing Company, 1996.
- 18-Internet: <http://www.greenhouse.gov.au/ago/copyright.html>
- ۱۹- مصاحبه با مهندس شریفی سیستانی (مسئول بهره برداری تصفیه خانه های فاضلاب در شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)، مهر ۱۳۷۹
- ۲۰- مصاحبه با مهندس مهدیزاده (کارشناس شرکت آب پردازان بهار)، تیر ۱۳۷۹
- ۲۱- مصاحبه با مهندس خوانساری (مسئول تصفیه خانه فاضلاب الکل سازی بیدستان)، شهریور ۱۳۷۹
- ۲۲- مصاحبه با دکتر شایگان ، (از طراحان رآکتور UASB در ایران)، تیر ۱۳۷۹
- ۲۳- ابوالقاسم علی قارداشی ، مهرداد عدل
"گزارش بررسی اقتصادی پروژه زیست توده"
گروه انرژیهای نو، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۷۹.
- 24- Vim Van Nes, Mathew Mendij
"Biogas in Rural Houshold Energy Supply: The Nepal Biogas Support Program"
Renewable Energy World, March-April 2000, pp100-113.