



تولید بیوگاز گامی در راستای توسعه پایدار مدیریت پسماند

احمد توहन^۱، پیام سیف الهی^۲، محمد بصیر گنجی^۳، مژده فرهادی^۴

چکیده

روند رو به رشد مصرف انرژی، پدیده بحران انرژی را در جهان به وجود آورده است. همچنین مصرف گسترده سوخت های فسیلی سبب انتشار حجم بالایی از آلاینده ها شده و بحران زیست محیطی را در جهان در پی دارد. از سوی دیگر محدودیت منابع فسیلی، غیر قابل تجدید پذیر بودن این منابع، نوسان قیمت منابع فسیلی، حفظ محیط زیست از آلاینده ها باعث شده تا سیاست هایی در زمینه تغییر حاملان انرژی و حرکت به سوی سوخت های پاک در رأس برنامه کاری اکثر کشورهای جهان قرار بگیرد. بهینه سازی مصرف انرژی، اصلاح ساختار آن، مدیریت پسماند حاصل از فعالیت های انسانی، حفظ محیط زیست از ارکان اساسی جهت رسیدن به توسعه پایدار است. یکی از این گزینه ها به منظور توسعه و دستیابی به پایداری در زمینه های انرژی، کشاورزی و محیط زیست، استفاده از انرژی حاصل از منابع زیست توده است. در سال های اخیر توجه زیادی به تولید بیوگاز جهت تأمین انرژی در سطح جهان به ویژه کشورهای توسعه یافته شده است. از این گاز تولیدی می توان در تأمین انرژی حرارتی، روشنایی و هم به عنوان گزینه مناسب در مولدهای احتراق داخلی، میکروتوربین ها، پیل های سوختی و همچنین تولید برق استفاده نمود. در این تحقیق، به بررسی جایگاه این منبع انرژی زیستی در تأمین انرژی مورد نیاز، حل مشکلات زیست محیطی ناشی از عدم مدیریت صحیح جمع آوری و دفع فاضلاب در جهت رسیدن به توسعه پایدار پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: بحران انرژی، توسعه پایدار، بیوگاز، مدیریت پسماند، انرژی زیست توده

¹ A.tavahen@gmail.com

² seifolahi.p@gmail.com

³ bs.bs7799@gmail.com

⁴ mojdeh_farhadi@aut.ac.ir



مقدمه

در سال های اخیر روند رو به رشد مصرف انرژی، پدیده بحران انرژی را در جهان به وجود آورده است که در صورت ادامه این روند، منابع تجدید ناپذیر انرژی به سرعت تخریب می شود و به سبب تولید آلاینده های حاصل از آن سلامت بشری با تهدید جدی روبرو است. از طرف دیگر، امروزه یکی از معضلات روند رو به رشد افزایش جمعیت، تولید زباله است. جهت رفع این معضل بایستی راهکارهایی صورت گیرد تا ضمن دفع زباله ها از تخریب زیست محیطی هم جلوگیری به عمل آید. تصفیه بیولوژیکی به عنوان بهترین انتخاب تصفیه برای مواد آلی دارای مقدار کالری پایین در مواد زائد جامد پذیرفته شده است. یکی از روش های تصفیه بیولوژیکی، هضم بی هوازی است. امروزه هضم بی هوازی زیست توده به عنوان یکی از فناوری های تولید انرژی مطرح است. هضم بی هوازی جزء آلی مواد زائد جامد یک پدیده نسبتاً جدید است و مزیت های زیادی در مقایسه با گزینه های دیگر دفع مواد زائد جامد دارد که از جمله آن می توان به تولید انرژی، سالم سازی محیط و تهیه کود غنی اشاره کرد. توسعه پایدار با تکیه بر سه اصل پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی به ارائه راه حل هایی در مقابل الگوهای فانی توسعه کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و جلوگیری از بروز مسائلی همچون نابودی طبیعی، تخریب سامانه های زیستی، تغییر اقلیم، افزایش بی رویه جمعیت، بی عدالتی و پایین آمدن کیفیت زندگی پرداخته است به نحوی که با پاسخگویی به نیازهای بشر امروزی بتواند حداقل شرایطی مشابه جهان امروز را برای آیندگان به ارمغان آورد [۱]. در راستای رسیدن به توسعه پایدار، سیاست گذاری و برنامه ریزی هایی بر مبنای محورهای توسعه پایدار صورت گرفته است. یکی از این گزینه ها، استفاده از انرژی حاصل از بیوگاز است. با توجه به سبک انرژی خواه امروزه نیاز به کشف منابع جدید انرژی که قابل تجدید هستند یک ضرورت است [۲]. همچنین ازدیاد روز افزون مواد زائد آلی یکی از معضلات جامعه بشری است. در راستای توسعه پایدار مدیریت پسماندهای تجزیه پذیر و کشف منابع جدید انرژی که قابل تجدید نیز باشد، سیستم های تولید بیوگاز از پسماند مواد آلی تجزیه پذیر، گزینه مناسبی است. بیوگاز به مجموعه گازهای تولید شده از تجزیه و تخمیر فضولات حیوانی، انسانی و گیاهی که در نتیجه فقدان اکسیژن و فعالیت های باکتری های بی هوازی به وجود می آید، گفته می شود. در میان منابع انرژی تجدید پذیر، انرژی زیست توده^۵ حدود ۷۹/۷ درصد کل کاربرد جهانی را به خود اختصاص داده است و برترین کشورهای تولید کننده انرژی از منابع زیست توده عبارتند از: آمریکا، برزیل، فیلیپین، آلمان، سوئد، فنلاند هستند [۳].

⁵ Biomass



۱- ضرورت استفاده از بیوانرژی در کشور:

با توجه به افزایش رشد جمعیت و تولید روزافزون مواد زائد مختلف نظیر فضولات انسانی، حیوانی، زباله‌های خانگی، زائدات و پساب صنایع غذایی و کشاورزی، با آلودگی وسیعی در اکوسیستم‌های آب، خاک و هوا مواجه شده ایم. در راستای توسعه پایدار مدیریت پسماند، تولید تأسیسات بیوگاز ضمن اثرات قابل توجه اقتصادی، اجتماعی می‌تواند معضلات فوق را برطرف کند و موجب صرفه جویی در منابع با ارزش سوخت‌های فسیلی شود. اگرچه با وجود منابع فسیلی استفاده از انرژی زیست توده چندان اقتصادی نیست اما محدودیت سوخت‌های فسیلی و نوسان قیمت آن در بازارهای جهانی و مطرح شدن گسترش کاربرد انرژی‌های نوین تجدید پذیر، اهمیت کاربرد این منابع را بیش از پیش حائز اهمیت کرده است. تولید انرژی از زباله‌ها دارای مزایایی است که از جمله آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: برداشت بیوگاز از لندفیل‌ها از مباحث پر اهمیت مدیریت پسماند است، زیرا متان از عمده گازهای گلخانه‌ای است که در پدیده گرم شدن زمین بسیار تاثیر گذار است و اثر آن در گرمایش زمین بسیار تاثیر گذارتر از کربن دی اکسید است. با تأسیس واحدهای بیوگاز می‌توان میزان دفن زباله را در لندفیل‌ها کاهش داد و از تجمع گاز متان که موجب آتش سوزی و انفجار می‌شود جلوگیری کرد. همچنین علاوه بر آثار مثبت زیست محیطی، درآمد حاصل از تولید برق و حرارت این روش بسیار حائز اهمیت است. مقدار انرژی حاصل از منابع زیست توده در ایران به طور میانگین سالانه $16146/35 m^3$ بیوگاز (۹۱۷۵ میلیون متر مکعب متان) با ارزش حرارتی $10^{17} \times 30367$ ژول انرژی است که صرفه نظر کردن از این انرژی پاک عاقلانه نیست. سالانه ایران حدود ۱۵ میلیون تن زباله شهری و ۴/۶ میلیارد متر مکعب فاضلاب شهری و صنعتی تولید می‌کند و فناوری بیوگاز می‌تواند به عنوان یک پتانسیل مهم در راستای مدیریت پسماند پایدار برای تولید انرژی پاک محسوب شود [۴].

۲- معرفی بیوگاز

بیوگاز از اعمال مجموعه‌ای از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیست محیطی مانند تجزیه، تخمیر و... بر روی منابع مختلف زیست توده همچون فضولات و ضایعات آلی ناپایدار اعم از انسانی، گیاهی و حیوانی، در فقدان اکسیژن و فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی در محفظه تخمیر بدست می‌آید که شامل ۷۰-۴۰٪ متان (معمولاً ۶۵-۵۵٪)، کربن دی اکسید و مقدار بسیار کمی گازهای دیگر است [۵] که پس از اعمال یک سری فرآیندهای تصفیه‌ای مطابق استانداردهای جهانی و زیست محیطی بر روی این گاز، می‌توان آن را به عنوان سوختی پاک در نظر گرفت که می‌توان مستقیماً یا بدون حذف دی اکسید کربن مورد استفاده قرار گیرد و یا با کمک ژنراتورهای مناسب به الکتریسیته تبدیل شود. شکل ۱. ترکیب شیمیایی بیوگاز را نشان می‌دهد.



شکل ۱. ترکیب شیمیایی بیوگاز

مراحل تولید بیوگاز به شرح زیر است:

۱. ماکرومولکول های بزرگ نظیر پروتئین، چربی ها و پلیمرهای کربوهیدرات (سلولز، نشاسته)، از طریق فرآیند هیدرولیز به آمینو اسیدها، اسیدهای چرب زنجیره بلند و قندها شکسته می شوند.
۲. این محصولات در طول ایجاد اسید، جهت تشکیل اسیدهای چرب فرار، بوتریک، پروپیونیک، به طور عمده لاکتیک و اسید والریک، تخمیر می یابند.
۳. در استوژنز، باکتری ها این محصولات تخمیری را مصرف نموده و اسید استیک، کربن دی اکسید و هیدروژن تولید می کنند.
۴. ارگانسیم های متانوژنیک، استات، هیدروژن و مقداری از کربن دی اکسید را جهت تولید متان مصرف می کنند.

سه مسیر بیوشیمیایی که به وسیله متانوژن ها برای رسیدن به تولید متان استفاده می شوند عبارتند از:

(۱) مسیر استوتروفیک (۲) مسیر هیدروژنوتروفیک (۳) مسیر متیلوتروفیک

از نظر تئوری، بیوگازها باید شامل حجم مساوی از متان و کربن دی اکسید باشند. به هر حال استوژنز، عموماً تولیدکننده مقداری هیدروژن بوده و برای هر ۴ مول مصرف شده به وسیله متانوژن های هیدروژنوتروفیک، ۱ مول کربن دی اکسید به متان تبدیل می گردد. چربی ها و پروتئین ها باعث تولید بیشتر مقادیر هیدروژن بوده و این بازدهی بیشتر، باعث محتوای بالاتر متان معمولی برای این مواد می گردد. در شرایط ثابت، همچنین این مولکول ها می توانند به دیگر محصولات متان تبدیل شوند. بنابراین



در مجموع بازده بیوگاز و محتوای متان برای مواد مختلف در شرایط هضم و گروه باکتریایی متفاوت است [۵]. مراحل فرآیند شیمیایی تخمیر (شکست مواد آلی اولیه توسط باکتری ها) در شکل ۲ آورده شده است.

سه گروه فیزیولوژیکی باکتری های دخیل تبدیلات بی هوازی مواد آلی عبارتند از:

۱. گروه اول، باکتری های هیدرولیز کننده و تخمیر کننده: این گروه کمپلکس مواد آلی همچون کربوهیدرات ها، پروتئین ها و لیپیدها را به اسیدهای چرب، الکل ها، کربن دی اکسید، آمونیاک و هیدروژن تولید می کنند.
۲. گروه دوم، باکتری های استوژنیک: محصولات گروه اول را به هیدروژن، کربن دی اکسید و اسید استیک تبدیل می کنند.
۳. گروه سوم، شامل دو گروه متفاوت فیزیولوژیکی باکتری های تشکیل دهنده متان است. یکی هیدروژن و کربن دی اکسید را به متان تبدیل می کند و دیگری متان را از دی کربوکسیلاسیون استات، ایجاد می کند [۸-۶].

بیوگاز، گازی تمیز، احتراق پذیر و سبک تر از هواست و نوعی سوخت محسوب می شود. منابع زیست توده قابل استحصال بیوگاز عبارتند از [۹]: ۱. ضایعات و پسماندهای کشاورزی و صنایع وابسته، ۲. پسماندهای جامد شهری، ۳. پساب شهری، ۴. فضولات دامی، ۵. ضایعات جامد و مایع فساد پذیر صنعتی (لجن صنعتی). مشخصات اجزای تشکیل دهنده بیوگاز در جدول ۱ آورده شده است. با فشردن متان موجود در بیوگاز، می توان از آن به طور مستقیم به عنوان گاز شهری، سوخت خانگی برای پخت و پز و گرما استفاده کرد. همچنین می توان به عنوان سوخت CNG^۶ در وسایل نقلیه گازسوز و همچنین تولید برق از آن استفاده کرد. همچنین استفاده از بیوگاز در صنعت حمل و نقل، میزان کربن دی اکسید که سبب افزایش گاز گلخانه ای می شود را تا حدود ۶۵ تا ۸۵ درصد کاهش می دهد [۱۰]. در جدول ۲. خواص گازهای متداول با بیوگاز مورد مقایسه قرار گرفته شده است. این فرآیند از آنجایی که توسط مشارکت میکروارگانیسم ها انجام می گیرد و وابسته به عوامل مختلفی مانند pH، دما، زمان، ماند هیدرولیکی (HRT)^۷ می باشد، یک فرآیند بالنسبه آهسته است. از طرفی عدم ثبات روند، نرخ بارگذاری کم، کم کردن سرعت بهبود پس از تجزیه و شکست و الزامات خاص برای ترکیب زباله، برخی دیگر از محدودیت های این فرآیند است [۱۱].



شکل ۲. فرآیند شیمیایی تخمیر

^۶Compressed Natural Gas

^۷Hydraulic Retention Time (HRT)



جدول ۱. اجزای تشکیل دهنده بیوگاز [۲]

نام گاز	فرمول	درصد ترکیب
متان	CH ₄	۵۵-۶۵
کربن دی اکسید	CO ₂	۳۵-۴۵
ازت	N ₂	۰-۳
هیدروژن	H ₂	۰-۱
اکسیژن	O ₂	۰-۱
هیدروژن سولفور	H ₂ S	۰-۱

جدول ۲. مقایسه خواص گازهای متداول با بیوگاز [۲]

نوع گاز	هوای مورد نیاز (m ₃)	سرعت فشار در هوا $\frac{cm}{s}$	وزن مخصوص نسبت به هوا %	ارزش حرارتی $\frac{KW}{m^3}$	درصد ترکیبات	عناصر تشکیل دهنده ترکیبات
متان	۹/۵	۴۳	۵۵	۹/۹۴	۱۰۰	CH ₄
پروپان	۲۳/۸	۵۷	۱/۵۶	۲۵/۹۴	۱۰۰	C ₃ H ₈
بوتان	۳/۹	۴۵	۲/۰۷	۳۴/۰۲	۱۰۰	C ₄ H ₁₀
گاز طبیعی	۷	۶۰	۳۸	۷/۵۲	۶۵،۳۵	H ₂ ، CH ₄
گاز شهری	۳/۷	۸۲	۴۱	۴/۰۷	۵۰،۲۶،۲۴	N ₂ ، O ₂ ، CH ₄
بیوگاز	۵/۷	۴۰	۹۴	۵/۹۶	۶۰،۴۰	CO ₂ ، CH ₄

برای بهبود بازده کلی فرآیند هضم بی هوازی از روش های مختلفی استفاده می شود که از جمله آن می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ❖ بهینه سازی های متنوع پارامترهای عملکردی
- ❖ رضایت بخش کردن الزامات تغذیه میکروب ها با استفاده از اختلاف بیولوژیکی [۱۲]
- ❖ مواد افزودنی شیمیایی

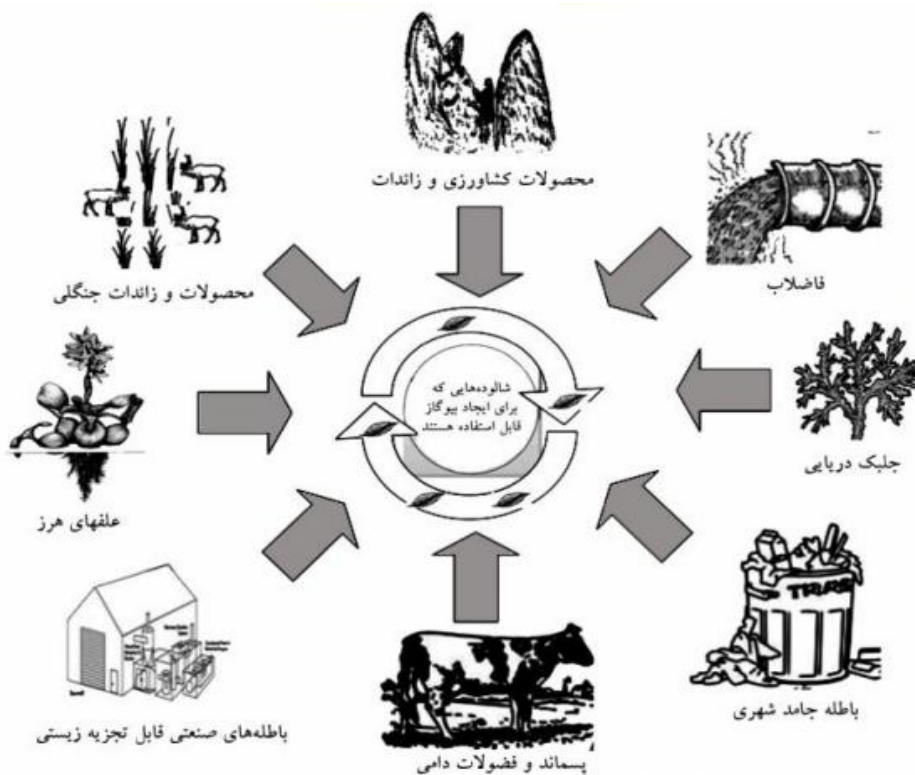


❖ دستکاری کردن نسبت خوراک

❖ تغییر و اصلاح در طراحی دستگاه بیوگاز موجود [۱۳]

همچنین به تازگی تلاش هایی صورت گرفته که HRT را کاهش یا بیوگاز تولیدی را با همان HRT به وسیله مخلوط کردن لایه میکروبی ثابت در راکتور (به منظور حفظ میکروب ها در راکتور) افزایش داد [۱۴]. برای فرآیند تخمیر بی هوازی جهت تولید بیوگاز شرایطی لازم است که از جمله آن می توان به [۱۴]:

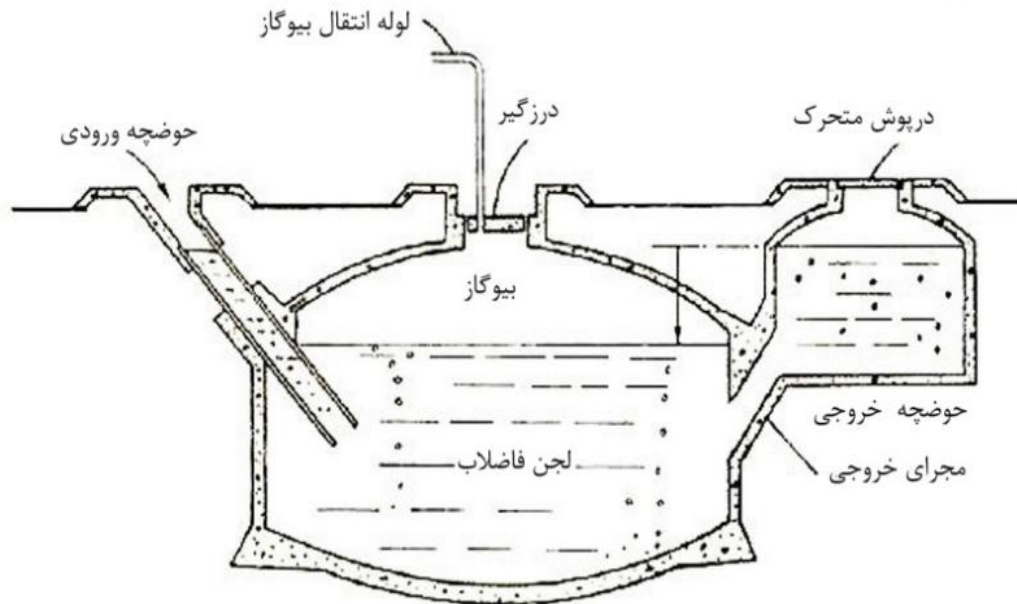
- محیط بی هوازی باشد.
- دمای بین ۳۰ تا ۵۵ درجه سانتی گراد باشد.
- از همزن به منظور ایجاد محیط همگن و تحریک باکتری ها در داخل مخزن هضم استفاده شود.
- خوراک سیستم ۷ تا ۹ درصد ماده آلی خشک باشد.
- pH محیط بین ۸- ۶/۵ باشد
- مواد خام ورودی تنوع زیادی نداشته باشند.
- از حضور بازدارنده ها نظیر نمک های فلزات سنگین، آنتی بیوتیک ها و مواد ضد عفونی کننده جلوگیری به عمل آید.
- مواد تسریع کننده تولید گاز به مخزن هضم اضافه شود.
- از مواد معدنی نظیر نیکل، مولیبدن به منظور پیش روی بهتر واکنش انجام شود.
- نسبت کربن به ازت $\frac{C}{N}$ برای فعالیت باکتری های غیرهوازی بایستی ۳۵-۳۰ باشد [۲]، اشاره کرد.



شکل ۳. منابعی که می‌توانند برای تولید بیوگاز مورد تخمیر بی‌هوازی قرار گیرند

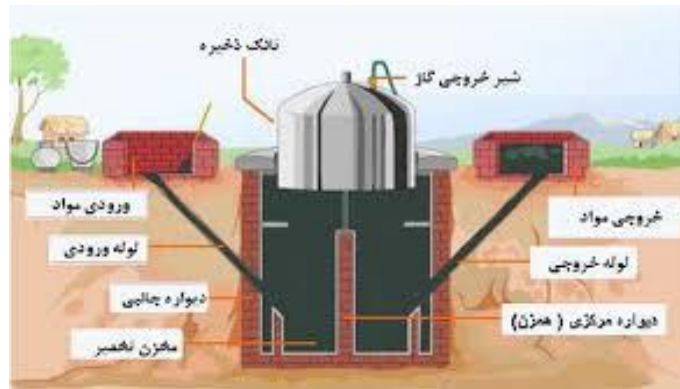
۳- اصول ساختمان دستگاه بیوگاز

کلیه این سیستم‌ها شامل حوضچه ورودی، محفظه تخمیر بی‌هوازی، حوضچه خروجی، مخزن جمع‌آوری بیوگاز و سیستم انتقال و استفاده از بیوگاز است. شکل ۴. اجزای دستگاه بیوگاز را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۴. اجزای دستگاه تولید کننده بیوگاز [۱]

ضایعات آلی با آب مخلوط شده و از طریق حوضچه ورودی که در سطح فوقانی زمین ساخته شده است به قسمت تحتانی محفظه تخمیر فرستاده می شود. محفظه تخمیر با ایجاد شرایط مناسب حرارتی، رطوبتی و عدم حضور هوا، میزان تولید گاز متان حاصل از تجزیه بی هوازی را به حداکثر می رساند. این مواد پس از تخمیر و تولید گاز، و با اضافه کردن مواد جدید از مجرای ویژه ای به حوضچه خروجی (حوضچه کمپوست) منتقل می شوند. محفظه گاز در بالای محفظه تخمیر قرار دارد و عمل جمع آوری و ذخیره گاز را انجام می دهد. پس از شروع کار دستگاه، بیوگاز تولیدی از طریق شیر مخصوص گاز که در بالای مخزن قرار دارد به محل مصرف فرستاده می شود [۱۵و۲]. بهترین مدل دستگاه بیوگاز، مدلی است که بدنه آن از آجر و مصالح بومی کشور ایران ساخته می شود و اغلب اسکلت آن در زیر زمین واقع است. مزیت این مدل دستگاه هزینه ساخت پایین و همچنین تعمیر و نگهداری آسان آن است. این مدل در دنیا به مدل چینی معروف است [۲]. شکل ۵. ساختمان مدل چینی را نشان می دهد.



شکل ۵. ساختمان مدل چینی بیوگاز

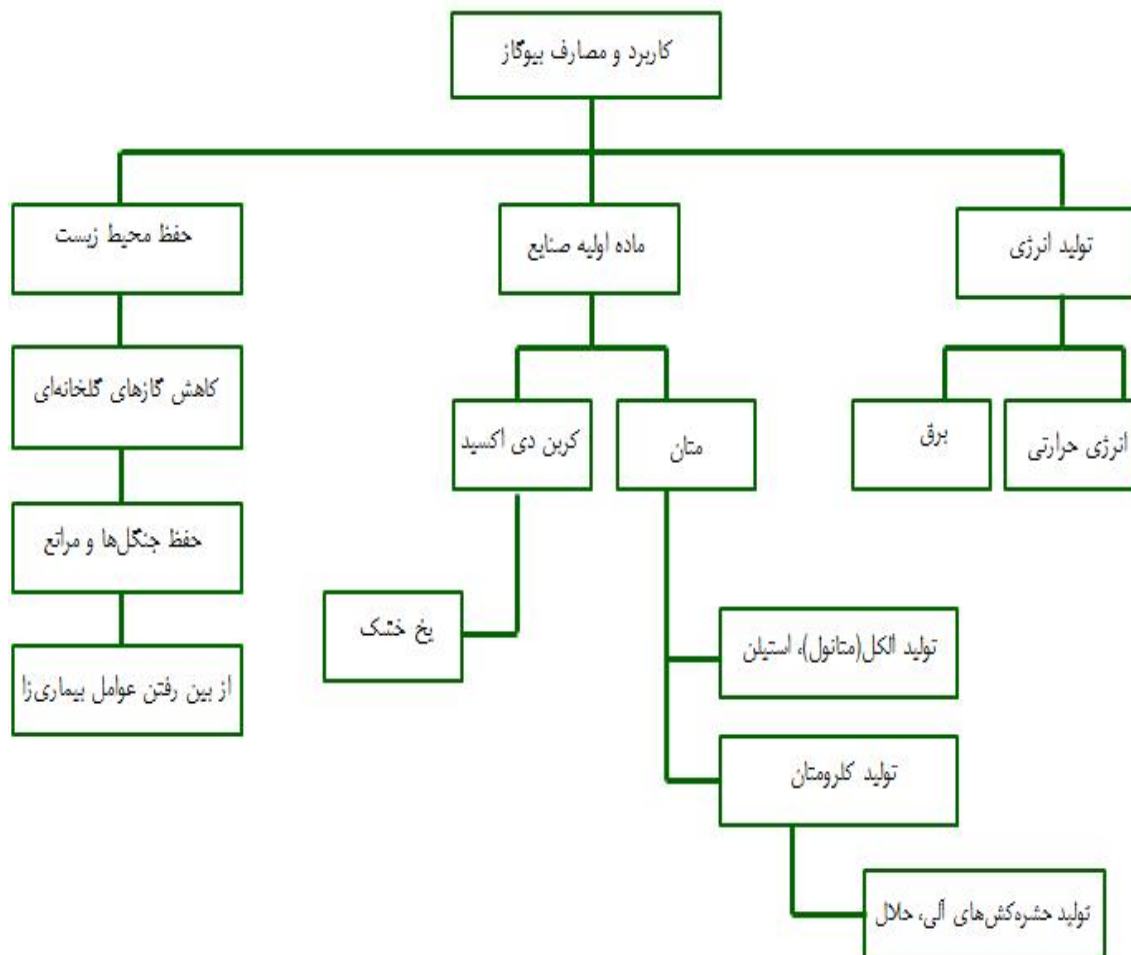
۴- مزایای تولید بیوگاز

- ❖ تولید متان و کربن دی اکسید از تجزیه بی هوازی مواد آلی، به عنوان ماده اولیه صنعتی (از متان به عنوان ماده اولیه تولید استیلن، الکل نظیر متانول، آمونیاک، کود و حتی ویتامین B₁₂، همچنین از کربن دی اکسید در تهیه کود، یخ خشک استفاده می شود.
- ❖ پساب حاصل از مخازن هضم، جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی است. کودهای حاصل از این روش فاقد آلودگی زیست محیطی (دود، بو) است. کمیت و کیفیت نیتروژن موجود در کود حاصل از این روش بهتر و غنی تر از کودهای متداول است
- ❖ تأسیسات بیوگاز موجب حفظ مراتع، جنگل ها و صرفه جویی در سوخت هایی نظیر چوب، زغال سنگ یا نفت می شود و فضولات حیوانی و گیاهی را به کودهای آلی تبدیل می کنند و آلودگی های ناشی از آن برطرف می شود.
- ❖ گاز تولیدی از این تأسیسات، احتیاجات سوختی و روشنایی خانوارها را تأمین می کند.
- ❖ این تأسیسات قادر به تأمین انرژی روستاهای دور از شبکه انرژی و صعب العبور است.
- ❖ این روش جایگزین مناسبی برای سوخت های انرژی زا است و میزان آلودگی حاصل از سوختن آن به مراتب کمتر از سوخت های فسیلی است.
- ❖ بهینه سازی وضعیت حاشیه روستاها، شهرها و بسترهای طبیعی محل دفن زباله و فاضلاب
- ❖ این روش از افزایش گازهای گلخانه ای و به دنبال آن افزایش درجه حرارت زمین و تغییرات شدید آب و هوایی جلوگیری به عمل می آورد.
- ❖ ایجاد درآمد از طریق فروش انرژی، کود آلی و آب قابل استفاده در کشاورزی
- ❖ جلوگیری از توسعه محل های دفن زباله و کاهش هزینه های مربوطه

- ❖ جلوگیری از خروج ارز با توجه به تولید کود آلی جهت کاهش مصرف کود شیمیایی و کاهش تقاضا برای سموم دفع آفات، علف‌های هرز و کاهش تقاضا برای سوخت‌های فسیلی
- ❖ بهینه سازی وضعیت شهرها و روستاها
- ❖ بهبود وضعیت کشاورزی به دلیل دسترسی محلی به کود آلی غنی و عاری از عوامل بیماری زا [۱۸-۱۶]

۵- کاربرد و مصارف بیوگاز

کاربرد و مصرف بیوگاز در بخش‌های مختلف به صورت انرژی و ماده اولیه در صنایع مختلف نمایش داده شده است [۱۹]:



شکل ۶. کاربرد و مصارف بیوگاز



۶- نتیجه گیری

امروزه با توجه به محدودیت منابع فسیلی، آلودگی های حاصل از این منابع، نوسان قیمت آن در بازارهای جهانی، استفاده از منابع تجدید پذیر حائز اهمیت است. یکی از ابعاد مطرح شده در توسعه پایدار، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر همچون انرژی خورشیدی، باد، زمین گرمایی، زیست توده، هیدروژن و ... است. همچنین افزایش رشد جمعیت سبب تولید روز افزون مواد زائد آلی شده که علاوه بر ایجاد مناظر بد و مسمم کننده سبب آلودگی وسیع در منابع آب، خاک و هوا می شود. در راستای مدیریت پسماند پایدار با احداث واحدهای تولید بیوگاز سالانه می توان از زباله های حاصل مقدار چشمگیری برق و حرارت و همچنین هزاران تن کود طبیعی برای کشاورزی تولید کرد و موجب صرفه جویی در منابع با ارزش سوخت های فسیلی شد همچنین با توسعه واحدهای تولید بیوگاز ضمن اثرات مثبت قابل توجه اقتصادی و اجتماعی، معضلاتی همچون آلودگی های آب، خاک و هوا کاهش چشمگیری پیدا می کند. از جمله مهمترین پیامدهای بسیار با ارزش و مثبت زیست محیطی این روش می توان به کاهش اثرات سوء زیست محیطی سوخت های فسیلی، کاهش اکسیدهای نیتروژن، تولید گرما و الکتریسیته بدون اثرات منفی زیست محیطی، جلوگیری از توسعه لندفیل ها، کاهش نیاز به کودهای شیمیایی، تولید متان و کربن دی اکسید به عنوان ماده اولیه صنعتی، بهینه سازی خاک به دلیل استفاده از کود آلی و اصلاح ساختار خاک در دراز مدت اشاره کرد.



مراجع

- [۱] عادل‌گیلانی، الهیار و فیروزه سوری، ۱۳۸۹، فناوری بیوگاز، گامی در راستای توسعه پایدار روستایی، نخستین همایش بیوانرژی ایران، تهران
- [۲] عمرانی، قاسم علی. مبانی تولید بیوگاز از فضولات شهری و روستایی. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۵.
- [۳] سازمان انرژی‌های نو ایران، سانا، [اینترنتی] قابل دسترس در www.suna.org.ir تاریخ بازدید آبان ماه ۱۳۹۴.
- [۴] علاقبندراد، مجتبی، ۱۳۶۹، بیوگاز چیست؟ چگونه تولید می‌شود؟ چه مصرفی دارد؟. سازمان ترویج کشاورزی، تهران.
- [5] Abbasi, T., Tauseef, S. M., & Abbasi, S. A. (2011). *Biogas energy* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- [6] Balch, W. E., Fox, G. E., Magrum, L. J., Woese, C. R., & Wolfe, R. S. (1979). Methanogens: reevaluation of a unique biological group. *Microbiological reviews*, 43(2), 260.
- [7] Bryant, M. P., Wolin, E. A., Wolin, M. J., & Wolfe, R. S. (1967). Methanobacillusomelianskii, a symbiotic association of two species of bacteria. *ArchivfürMikrobiologie*, 59(1-3), 20-31.
- [8] Mosey, F. E. (1983). Mathematical modelling of the anaerobic digestion process: regulatory mechanisms for the formation of short-chain volatile acids from glucose. *Water Science & Technology*, 15(8-9), 209-232.
- [۹] طلایی، امیر رضا، روش‌های استحصال بیوگاز [اینترنتی] قابل دسترس در ghkashani.blogfa.com، بازدید تابستان ۱۳۹۰.
- [10] Wu, D. W., & Wang, R. Z. (2006). Combined cooling, heating and power: a review. *progress in energy and combustion science*, 32(5), 459-495.
- [11] Bardiya, N., & Gaur, A. C. (1997). Effects of carbon and nitrogen ratio on rice straw biomethanation. *J. Rural Energy*, 4(1-4), 1-16.
- [12] Babu, K. S., Nand, K., Srilatha, H. R., Srinath, K., & Madhukara, K. (1994). Improvement in biomethanation of mango processing wastes by addition of plant derived additives. In *Biogas Forum* (Vol. 3, No. 58, pp. 16-19).



[13] Barnett, A., Pyle, L., & Subramanian, S. K. (1978). Biogas technology in the third world: a multidisciplinary review (No. IDRC-103e). International Development Research Center, Ottawa, Canada

[۱۴] رحیمی سرداری، فیض اله؛ حسین حاجی آقاعلیزاده؛ ابراهیم احمدی و حسین باریکلو، ۱۳۹۱، ارائه راهکارها و روشهای مختلف به منظور سرعت بخشیدن فرآیند هضم و افزایش تولید بیوگاز در جاذبههای بیهوازی و بهینه کردن تولید بیوگاز در این سیستمها، اولین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم، همدان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

[۱۵] شعبانی کیا، اکبر. نظری، علی. بررسی میزان تولید بیوگاز از هضم بی هوازی لجن حاصل از تخلیه چاههای جذبی. سازمان انرژی اتمی ایران. مرکز توسعه انرژیهای نو، بخش بیوگاز. مجموعه مقالات سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان.

[۱۶] عباسی سلطانی، بهنام و سمیرا معتمد، ۱۳۹۴، اثرات استفاده از انرژی زیست توده (بیوماس) بر حفظ محیط زیست، دومین کنگره سراسری فناوریهای نوین ایران با هدف دستیابی به توسعه پایدار،

[۱۷] شعبانی کیا، اکبر. نظری، علی. انتخاب جایگاه مناسب برای نیروگاههای بیوگاز در تامین انرژی کشور در برنامه پنج ساله چهارم.

[18] Khandelwal, K. C., & Mahdi, S. S. (1988). Biogas technology: a practical handbook. Tata McGraw-Hill

[19] Rajakovic, N., & Knezevic, M. (2006). Biogas Energy Instead of Waste. Sixth International Symposium Nikola Tesla, Belgrad, SASA, Serbia.