دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال دوم، شماره‌ی ۵
زمستان۱۳۸۹، صفحات ۵۰-۳۹

کاربرد فرمول‌های ریاضی در تولید بیوگاز

احمد اصل هاشمی
دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز- ایران
aaslhashemi@yahoo.com

دکتر ایمان دیانت
دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی تبریز- ایران

Archive of SID

چکیده

تکنولوژی بیوگاز از نظر جواب گویی به نیازهای زیست محیطی و اقتصادی فوق العاده مناسب است. بیوگاز مخلوطی از گازهای قابل اشتعال است که در اثر تجزیه‌ی بی‌هوازی مواد زائد آلی بوجود می‌آید. عواملی چون نسبت کربن به ازت مواد اولیه، دما، شرایط ژئوگرافی محل و PH در کیفیت و کمیت محصولات تولیدی نقش دارند. بررسی‌ها نشان داده که دستگاه‌های بیوگاز و روش‌های تغذیه دستگاه معمولاً به سه روش ناپیوسته، نیمه پیوسته و پیوسته می‌باشد. در این بررسی به میزان گاز تولیدی متان با استفاده از روش‌های ریاضی در درجه حرارت‌های مختلف لجن و شرایط ژئوگرافی محل پرداخته شده است. طبق نتایج حاصله بیشترین گازهای تولیدی در زمان‌های ۴۰-۱۰ روز و دمای ۳۵-۱۵ درجه سانتی‌گراد و ضریب بیوگاز را بین صفر تا یک برای شرایط مختلف محلی ۶۰ درصد بدست آمده است.

کلمات کلیدی: دستگاه بیوگاز، متان، فضولات حیوانی

۱ – مقدمه

با توجه به نقش کلیدی انرژی در رشد علوم اقتصادی و توسعه کشورها و کمبود آن به عنوان یک مسئله حاد امروزه و از طرفی افزایش روز افزون مواد زائد و فساد پذیر اهمیت گاز زیستی (بیوگاز) به عنون آلترناتیوی مناسب به جای سوخت فسیلی کاملاً مشخص است. بنابراین امروزه گازهای گوناگون و مفیدی برای سوخت، وجود دارند که بیش از سه نوع آن در جهان استفاده می‌شود. این سه نوع عبارتند از: گاز مایع (ال.پی.جی) که مخلوطی از بخش‌های پالایش شده نفت خام از قبیل پروپان، بوتان، پروپیلن و بوتیلن است. این گاز به این دلیل که به آسانی به مایع تبدیل می‌شود، از آن برای سوخت سیلندر استفاده می‌شود. دوم، گاز طبیعی است که از

www.SID.ir

دو منبع عمده منابع گاز مستقل و گاز همراه (گاز حاصل از تفکیک نفت خام) تامین می‌شود و نوع سوم بیوگاز است که با آن بیشتر آشنا می‌شویم. با توجه به نقش کلیدی انرژی در رشد علوم اقتصادی و توسعه کشورها و کمبود آن به عنوان یک مسئله حاد امروزه می‌باشد و از طرفی افزایش روز افزون مواد زائد و فساد پذیر اهمیت بیوگاز را به عنون گزینه مناسب به جای سوخت فسیلی کاملاً مشخص و آشکار است. چنانچه اصول فنی و اقتصادی در دستگاه‌های بیوگاز رعایت شود فضولات حیوانی و انسانی که با ناهنجاری‌های خود مخصوصاً در مناطق روستایی موجبات آلودگی محیط را فراهم می‌آورند با جای دهی در محفظه‌های تخمیر به خوبی قابل کنترل خواهد بود[۱]. از آنجایی که بازیافت یا تثبیت مواد زائد به روش بی‌هوازی بهتر از روش تصفیه هوازی و کمپوست است چرا که تجزیه این مواد آلی در یک سیستم مناسب علاوه بر تولید انرژی باعث ایجاد کود مناسب و بهداشتی خواهد شد که موجب نابودی بذر علف‌های هرز و بسیاری از پارازیت‌ها و انگل‌ها از جمله تخم آسکاریس خواهد شد و درسال‌های اخیر به دلیل مشکلات ناشی از وابستگی گسترده به نفت و محدودیت منابع تجاری انرژی، به استفاده از بیوگاز بیشتر توجه شده است. بنابر شواهد، اولین بار پارسیان باستان به وجود گازهای قابل اشتعال در گیاهان پوسیده پی بردند. آنچه که ما امروز به عنوان بیوگاز یا گاز ناشی از فرایندهای بیولوژیک می‌شناسیم قدمتی چندین‌هزار ساله دارد. اما تاریخچه استفاده از بیوگاز به حدود ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ سال پیش و به چین باستان باز می‌گردد. گفته می‌شود که چینی‌های باستان از گاز حاصل از فاضلاب، و هدایت آن به وسیله لوله‌هایی از جنس بامبو به خانه‌هایشان، برای روشنایی و گرما و پخت و پز استفاده می‌کردند[۲].مشهورترین نمونه‌ی استفاده کاربردی از فاضلاب در ایران در حمام شیخ بهایی است که در دوره‌ی صفویه (قرن ۱۱ هجری) توسط شیخ بهایی طراحی شد. گرمای آب خزینه‌ی این حمام توسط گازهای ناشی از فاضلاب مسجد جمعه و شعله‌ی یک شمع تامین می‌شده است. اما شناخت علمی گاز متان و استحصال و کاربرد گسترده از بیوگاز به شکل امروزی به قرن ۱۹اُم و اوایل قرن بیستم باز می‌گردد. در سال ۱۸۰۸م، سِر همفری دیوی به وجود گاز متان در فضولات حیوانی پی‌برد. وی با استفاده از دستگاه تقطیر و در شرایط خلاء در آزمایشگاه موفق به جمع‌آوری گاز متان ازمخلوط فضولات گاوی و کاه شد. اولین مخزن هاضم بی‌هوازی به شکل نوین در سال ۱۸۵۹ در بمبئی هندوستان ساخته شد. این ایده به انگلستان برده شد و شکل بهتری از مخزن طراحی شد و در سال ۱۸۹۵ از بیوگاز حاصل برای روشنایی چراغ‌های گازی خیابان‌ها که در آن زمان در انگلستان مرسوم بود استفاده شد. با پیشرفت علم میکروب‌شناسی و تحقیقات بوزول(Buswell) و دیگران در۱۹۳۰م باکتری‌های بی‌هوازی و شرایط لازم برای تولید بهینه‌ی متان کشف شد و گام‌های بیشتری در جهت استفاده از بیوگاز در دنیا برداشته شد[۳].

۲- بیو گاز

بیوگاز مخلوطی از گازهای قابل اشتعال است که در اثر تجزیه بی‌هوازی و یا تخمیر مواد زائد آلی انسانی– حیوانی، کشاورزی و صنعتی بوجود می‌آید که این اصطلاح در هندوستان به گبار گاز (Go bar gas) و در چین به مارش گاز (Marsh gas) و در آلمان به بی‌هیو گاز (Bihar gas) و در فارسی به انرژی زیستی مشهور است. دلیل نام گذاری این گاز به بیوگاز این است که بر اثر تجزیه بی‌هوازی مواد آلی و بیولوژیک به وسیله میکروارگانیسم‌های زنده تولید می‌شود. بیوگاز مخلوطی از سه ترکیب به نام‌های متان، دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن است. ترکیب عمده و قابل اشتعال بیوگاز، متان است که سهم بیشتر این گاز یعنی ۶۰ تا۷۰ درصد آن را شامل می‌شود. گاز متان، گازی است بی‌رنگ و بی‌بو که اگر یک فوت مکعب آن بسوزد، ۲۵۲ کیلوکالری (۱۰۵۲,۳کیلوژول) انرژی حرارتی تولید می‌کند که در قیاس با سایر مواد سوختی، رقم قابل توجهی است [۴]. وقتی با نسبت حجمی ۱ به ۲۰ (یک حجم بیو گاز و ۲۰ حجم هوا) با هوا مخلوط می‌شود بشدت قابل اشتعال بوده و به عنوان سوختی که هر فوت مکعب آن دارای ارزش حرارتی در حدود 600BTU (۱۵۱/۱۹۷۵ کیلو کالری) می‌باشد می‌تواند به منظور ایجاد حرارت روشنایی و نیز

Archive of SID

www.SID.ir

پخت و پز مورد استفاده قرار گیرد و ترکیب دیگر به ویژه سولفید هیدروژن که سهم آن ناچیز است، جزء ترکیب‌های سمی هستند. از مزیت‌های مهم متان به دیگر سوخت‌ها این است که هنگام سوختن، گاز سمی و خطرناک منواکسید کربن تولید نمی‌کند؛ بنابراین از آن می‌توان به عنوان سوخت ایمن و سالم در محیط خانه استفاده کرد[۵].

۳- حفظ محیط زیست با تولید بیو گاز

افزایش مواد زائد در جهان اعم از مایع یا جامد و تولید بیوگاز از این مواد، با توجه به سهولت فناوری و ساخت دستگاه تولید بیوگاز در شرایط غیرهوازی سبب شده است که تولید مصرف آن در بسیاری کشورها به دو صورت (صنعتی و سنتی) مورد توجه قرار گیرد.

بطور مثال در ارتباط با مسائل محیط زیست که یکی از مشکلاتی که دامداری‌ها با آن دست به گریبان هستند، کنترل فضوات دام‌ها برای کاهش میزان بو و فرآورده‌هایی می‌باشد که باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی می‌گردد. بیوگاز می‌تواند ما را در مواجهه با این مشکلات یاری دهد. منافع زیست محیطی سیستم‌های بیوگاز فراتر از سیستم‌های تصفیه مرسومی است که تاکنون مورد استفاده قرار می‌گرفتند (همانند مخازن ذخیره، برکه‌ها و لاگون‌ها). این منافع زیست محیطی شامل کنترل بو، بهبود کیفیت آب و هوا، بهبود ارزش غذایی کود تولیدی، کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و دست یابی به بیوگاز به عنوان یک منبع انرژی می‌باشد. در ارتباط با پدیده‌ی گلخانه‌ای که مسئله روز جهانی است، گفته می‌شود در جهان سالانه حدود ۷۴ میلیون تن گاز متان از فضولات دامپروری و ۴۰ میلیون تن از این گاز تنها از زباله‌های شهری خود به خود تولید می‌شود و در جو زمین پراکنده می‌گردد و محیط زیست را آلوده می‌سازد. جمع آوری این مواد زاید و تولید گاز متان با استفاده از دستگاه‌های بیوگاز به خوبی امکان پذیراست. کشورهای هند و چین در دهه‌ی ۱۹۳۰ میلادی به طور وسیع به ساخت دستگاه‌های بیوگاز اقدام نمودند. در ایران از سال ۱۳۵۳ مطالعات پراکنده‌ای برای تولید بیوگاز توسط موسسه‌های تحقیقاتی و دانشگاهی انجام گرفته است که منجر به ساخت دستگاه‌های بیوگاز شده است[۶]. جدول۱ مقایسه ویژگی‌های گاز متان با سایر گازها را نشان می‌دهد.

برداشت بیوگاز از دفن‌گاه‌های زباله از مباحث پر اهمیت مدیریت پسماند است. زیرا متان از عمده‌ترین گازهای گلخانه‌ای است که در پدیده‌ی گرم شدن کره زمین تاثیرگذار است و اثر آن در گرمایش زمین بسیار بیشتر از اثر دی‌اُکسیدکربن است. همچنین موارد متعددی از انفجار و آتش‌سوزی این گاز در دفن‌گاه‌های زباله که به‌حال خود رها شده‌اند گزارش شده است. به‌علاوه با در نظر گرفتن مقدار انرژی حاصل از منابع فوق که به‌طور میانگین در ایران سالانه حدود۳۵/۱۶۱۴۶ متر مکعب بیوگاز (۹۱۷۵ میلیون متر مکعب متان) با ارزش حرارتی ۱۰۱۷ ژول انرژی است، صرف نظر کردن از آن عاقلانه نیست[۶].

جدول۱ - مقایسه ویژگی‌های گاز متان با سایر گازها [۶]

نوع گاز	متان	بوتان	گاز طبیعی	گاز شهری	بیوگاز
هوای مورد نیاز(متر مکعب)	۹/۵	۳/۹	۷	۳/۷	۵/۷
ارزش حرارتی(کیلووات ساعت بر مترمکعب	۹/۹۴	۳۴/۰۲	۷/۵۲	۷/۰۷	۵/۹۴
چگالی نسبت به هوا	۵۵	۲/۰۷	۳۸	۴۱	۹۶
سرعت فشار هوا (متر بر ثانیه)	۴۳	۴۵	۶۰	۸۲	۴۰

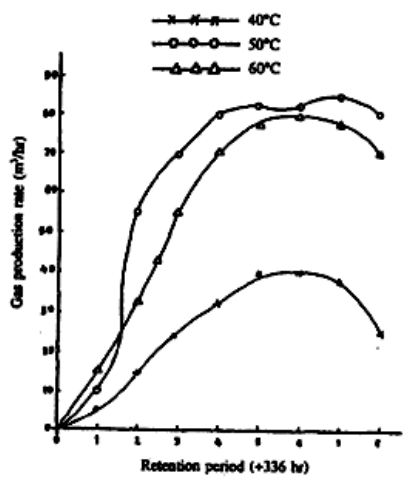
۴- فاکتورهای موثردرتولید بیو گاز

نسبت کربن به ازت، درجه حرارت، pH، غلظت مواد اولیه از مهم‌ترین عواملی هستند که در کیفیت بیوگاز تولیدی موثر می‌باشند.

www.SID.ir

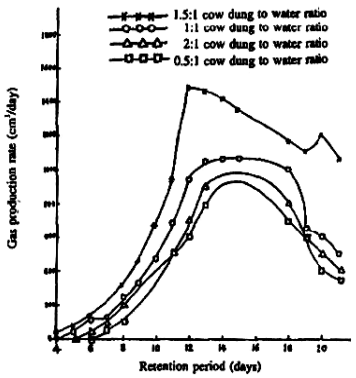
▪ نسبت کربن به ازت: نسبت کربن به ازت بستگی کامل به مواد خام مورد مصرفی در دستگاه بیوگاز دارد ازت و کربن از عناصری هستند که بوسیله باکتری‌های بی‌هوازی مصرف می‌گردند که در این حالت میزان مصرف کربن ۳۰ تا ۳۵ برابر سریعتر از ازت است.البته ازت و کربن به صورت نوترنیت‌هایی $CaCO_3$ و NH_3 به غذ ای اصلی باکتریها اضافه می‌شود. [۷-۸].

درجه سانتیگراد است. که افزایش درجه حرارت بیش از ۶۰ درجه سانتیگراد منجر به کاهش یا حتی توقف تولید بیوگاز می‌شود. شکل(۱)



شکل ۱ – رابطه دما و زمان ماند در تولید بیوگاز[۷]

▪ غلظت مواد اولیه: برای تعیین میزان غلظت مواد اولیه در تولید بیوگاز چهار هاضم با نسبت فضولات حیوانی به آب برابر۱ به ۰/۵، ۱به ۱ ، ۱ به ۱/۵ و ۱ به ۲، را انتخاب می‌کنیم که نتایج آزمایش با توجه به شکل زیر نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تولید بیوگاز در دوره زمان ماند مساوی در نسبت 1.5:1 است (شکل ۲).



▪ درجه حرارت: برای تعیین تاثیر دما بر روی محصولات بیوگاز چهار هاضم با مقدار مساوی از آب و فضولات حیوانی انتخاب کرده و به مخلوط هاضم اجازه داده می‌شود که تحت شرایط هوازی و به مدت ۳۳۶ ساعت بماند. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که اپتیمم محصولات برای دو حالت مزوفیلیک در درجه حرارت (۴۰-۳۰) درجه سانتیگراد و برای حالت ترموفیلیک (۶۰-۵۰)

شکل ۲- رابطه زمان ماند و نسبت غلظت مواد اولیه در تولید بیوگاز[۷].

▪ pH: مناسب‌ترین pH طبق نتایج بدست آمده در حدود ۹-۷ است و چنانچه pH پایین تر از ۴ باشد باید مقدار نوترنیت $CaCO_3$ را زیاد کنیم تا pH به حد مطلوب برسد در برخی از دستگاه‌های بیوگاز به هاضم برای اینکه pH در حد مناسبی باقی بماند از محلول بافر با pH های ۴/۷ و ۹ استفاده می‌کنند[۷-۸].

▪ عدم وجود عناصر بازدارنده سمی: عناصری مانند Fe ,K Ca ,Na ,Mg در غلظت‌های زیاد به عنوان بازدانده تولید گاز هستند

▪ یکنواخت بودن محلول: از نظر غلظت و درجه حرارت[۷-۸].

۵- انواع دستگاه‌های بیوگاز

شرایط محیطی و اقلیمی از قبیل آب و هوا و شرایط اقتصادی و تکنولوژی روز جهانی باعث بوجود آمدن اشکال مختلف از دستگاه بیوگاز گردیده است که در تمام این دستگاه‌ها آب و مواد اولیه در حوضچه ورودی مخلوط شده و از آنجا به مخزن تخمیر هدایت می‌شود. که پس از تخمیر و تولید گاز در نتیجه اضافه کردن مواد اولیه، مواد حاصل به سوی مجرای خروجی و حوضچه خروجی هدایت می‌شود.

دستگاه بیوگاز با سرپوش شناور (مدل هندی) شکل ۳ و دستگاه بیوگاز با مخزن مشترک (مدل چینی) شکل ۴ از دستگاه‌های بیوگاز هستند که در دنیا بیشترین طرفدار را دارند. در نوع هندی تمام دستگاه‌های بیوگاز از نوع فشار گاز ثابت و دستگاه‌های خانگی بیشتر از نوع فشار گاز متغیر هستند[۹].

Archive of SID

www.SID.ir

مسئله مهم در دستگاه بیوگاز روش تغذیه دستگاه که مخلوطی از آب و مواد زائد آلی (فضولات حیوانی) است. که بیشتر به سه روش معمول است.

۱) روش ناپیوسته Butch mode

۲) روش نیمه پیوسته semi-continuous mode

۳) روش پیوسته continuous mode

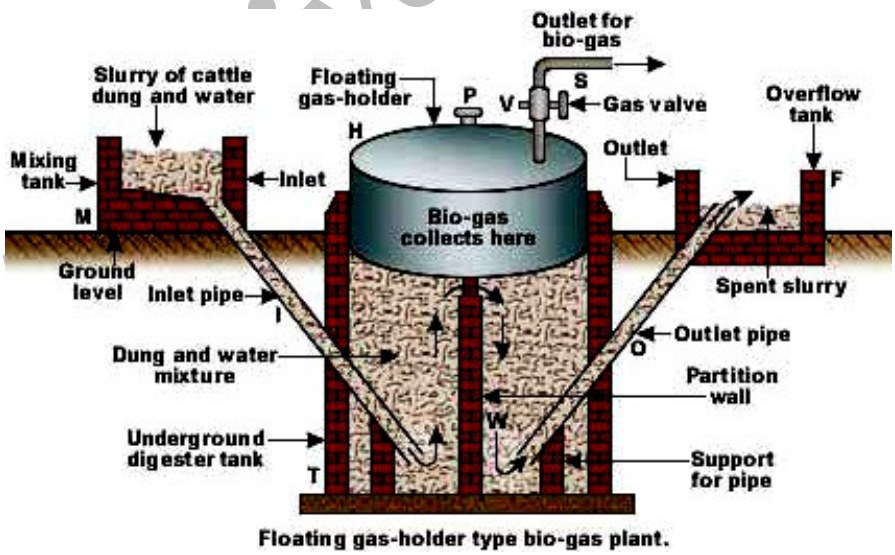
در روش ناپیوسته یک مقدار ثابتی از لجن (Slurry) در هاضم نگهداری می‌شود و این مقدار لجن زمانی که خارج می‌شود که بیشترین مقدار گاز تولیدی را داشته باشیم و تهیه بیوگاز به این صورت ادامه دارد.

در روش نیمه پیوسته بار گذاری لجن هر روز وجود دارد به خاطر اینکه در این روش دستگاه بیوگاز به صورت روزانه با فضولات حیوانی تغذیه می‌شود مناسب هست.

ولی در روش پیوسته تغذیه دستگاه با لجن به صورت دائمی نیاز هست که عملاً انجام این کار مشکل هست.

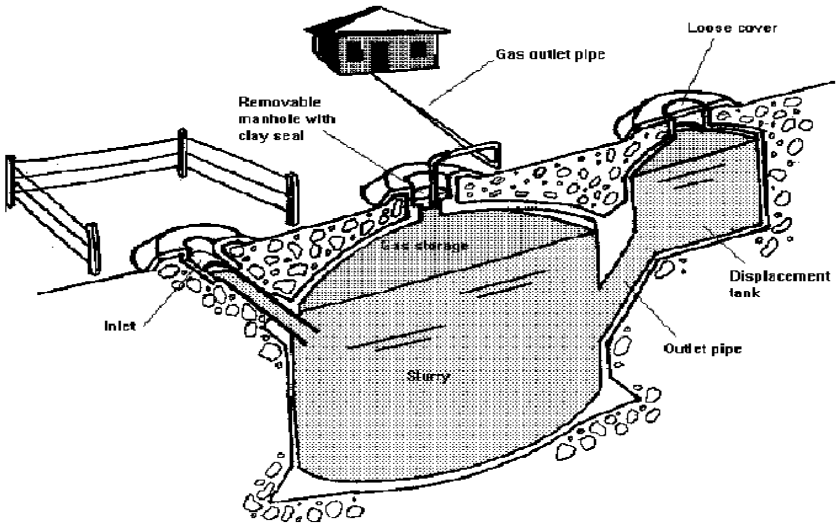
در این مقاله بیشتر منظور مدل هندی به روش نیمه پیوسته است.

علاوه از تمام مسائل فوق در مورد طبقه بندی دستگاه بیوگاز، هاضم بسته به درجه حرارت لجن به دو نوع گرمایی و غیرگرمایی تقسیم می‌شود. در مواردی که دستگاه از نوع گرمایی باشد درجه حرارت در تمام طول سال اپتیمم است ولی در نوع غیرگرمایی لجن در هاضم در اثر ماند به درجه حرارت متعادل می‌رسد که درجه حرارت متعادل در این نوع بستگی به ظرفیت هاضم، مواد و مصالحی که برای بنا (ساختمان) هاضم استفاده شده، درجه حرارت محیط و درجه حرارت مواد آلی دارد که درجه حرارت متعادل در طول سال بسته به شرایط محیطی و ژئوگرافی محل تغییر پیدا می‌کند. چنانچه اصول فنی و اقتصادی در دستگاه‌های بیوگاز رعایت شود فضولات حیوانی و انسانی که با ناهنجاری‌های خود مخصوصاً در مناطق روستایی موجبات آلودگی محیط را فراهم می‌آورند با جای دهی در محفظه‌های تخمیر به خوبی قابل کنترل خواهد بود. شکل۵ دیاگرام تاسیسات بیوگاز را نشان می‌دهد [۱۰-۱۲].

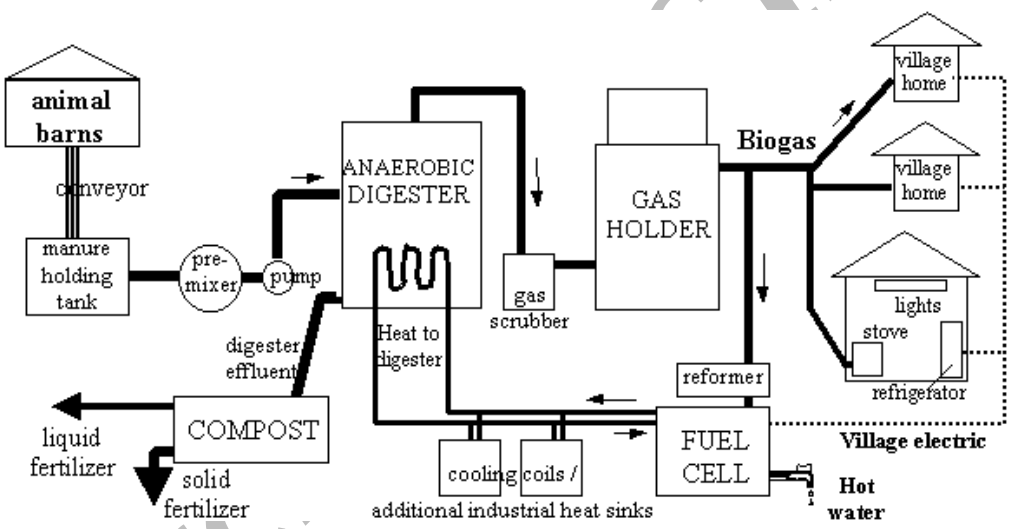


شکل ۳- .بیوگاز نوع هندی[۹]

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۴- .بیوگاز نوع چینی[۹]



شکل۵- دیاگرام تاسیسات بیوگاز[۱۱].

۶- معادلات کاربردی برای تولید گاز متان

اطلاعات بدست آمده در شرایط آزمایشگاهی برای کنترل درجه حرارت فضولات حیوانی در حالت تغذیه نیمه پیوسته است. که در این شرایط ظرفیت (حجم) تولید متان از بیوگاز ۶۰ درصد است طبق جدول ۱ برای زمان ماند بین ۴۰-۱۰ روز و درجه حرارت لجن بین ۳۵-۱۵ درجه سانتیگراد است. که مخلوط آبکی درست شده به مقدارمساوی از فضولات حیوانی و آب است. مقدار مواد جامد فرار ۰/۰۵۱۱ ۰(کیلو گرم) برای هر کیلوگرم از مخلوط آبکی است. که دانسیته مخلوط آبکی ۱۰۰۰ (کیلوگرم بر متر مکعب) است که مقدار آن برابر ثابت طبق فرمول زیراست [۱۱].

$$C = P_s M_{us} / FM \quad (۱)$$

P_s: دانسیته مخلوط آبکی (kg/m^3)

M_{us}:مقدار مواد جامد فرار(کیلو گرم) برای هر کیلوگرم از مخلوط آبکی (kg/kg)

F_m : ضریب متان

که مقدار C برابر ۰/۰۹۱ kg از مواد جامد فرار برای هر لیتر از لجن است.

www.SID.ir

طبق مدل تغذیه نیمه پیوسته حجم تولیدی گاز متان برای درجه حرارتهای مختلف لجن به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$[V_{m(t)}/M_{(u)}]^{-1} = a_{(t)} + b_{(t)} / Z_r \quad (۲)$$

$a_{(t)}$,$b_{(t)}$: ضرایب درجه حرارت

$V_{m(t)}$: گاز متان تولیدی در حرارت داده شده به مخلوط آبکیدمای (l/day)

$M_{(u)}$: مقدار مواد جامد فرار برای هر کیلوگرم از مخلوط آبکی (kg/kg)

Z_r : زمـــــان مانـــــد(روز)

a و b ضرایب برای درجه حرارت هستند که در جدول۳ مقدار آن برای درجه حرارتهای ۳۵-۱۵ درجه سانتیگراد آورده شده و جدول۴ نشان‌دهنده تولید گاز متان در زمان ماند و درجه حرارت‌های مختلف بوده و طبق معادله ۲ محاسبه شده است. در جدول۴میزان تولید گاز متان برای افزایش سریع تبدیل مواد جامد فرار با افزایش زمان ماند را نشان می‌دهد که با افزایش زمان ماند نسبت بیشتری از مواد جامد فرار به بیوگاز تبدیل می‌شود که در نهایت افزایش تولید گاز متان حاکی از رشد سریع میکروبهای متان زا در لجن است ضریب متان[۱۳-۱۴].

جدول۳- ضرایب a,b برای تولید متان[۱۳]

دما	$_t$ a	$_t$ b
۱۵	۰/۰۰۴۹۳۵۱۵۳	۰/۷۰۵۷۷۵۳
۲۰	۰/۰۰۸۲۸۹۹۵	۰/۲۵۹۶۸۲۸
۳۰	۰/۰۰۴۹۰۱۰۵۶	۰/۱۱۷۴۶۶۲
۳۵	۰/۰۰۳۷۲۶۰۲۵	۰/۰۹۶۲۸۵۶۷

زمان ماند (روز)				
دما	10	20	30	40
جامدات فرار (کیلوگرم در روز / گاز متان(لیتر در روز)				
35±1	750	115.9	145.7	152.9
25±1	44.8	71.6	83.7	87.8
15±1	13.2	25.4	34.7	43.8

جدول۴- تولید گاز متان برای واحد جامد فرار در آزمایشگاه[۱۳]

۷- تولید بیوگاز با توجه به شرایط ژئوگرافی محل

تولید بیوگاز را در درجه حرارتهای مختلف لجن در روزهای مختلف از ماه و زمان ماند بسته به ژئوگرافی محل بررسی می‌کنیم که هدف تعیین میزان تولید متوسط سالیانه بیوگاز با توجه به تولید روزانه‌ای آن است.

$$V_{bp}/V_{\prod} = (1/12) \sum_{i=1}^{12} V_{bj}/V_d \quad (۳)$$

Vbp: متوسط سالانه بیوگاز تولیدی در روز در شرایط مشخص شده (L/day)

$V_{\prod}$: مقدار حجم بار مخلوط آبکی (L/day)

V_d: حجم مخزن تخمیر (m^3)

V_{bj}: متوسط ماهانه بیوگاز تولیدی در یک روز شرایط مشخص شده در هر ماه (L/day)

اگر با توجه به شرایط محلی برای لجن در هاضم یک درجه حرارت معینی را به عنوان درجه حرارت معادل انتخاب کنیم و هاضم را در تمام طول سال در آن شرایط قرار دهیم تولید بیوگاز در این حالت هم چون تولید بیوگاز در دستگاه‌های خواهد بود.

فاکتور دیگری که در تولید بیوگاز در مکان‌های مختلف می‌تواند موثر باشد ضریب بیوگاز است که مقدار آن از صفر تا یک است که هر چه قدر به یک نزدیکتر شود ظرایط محلی برای تولید بیوگاز مساعدتر و میزان تولید بیوگاز بیشتر است[۱۳-۱۴ و۹].

Archive of SID

www.SID.ir

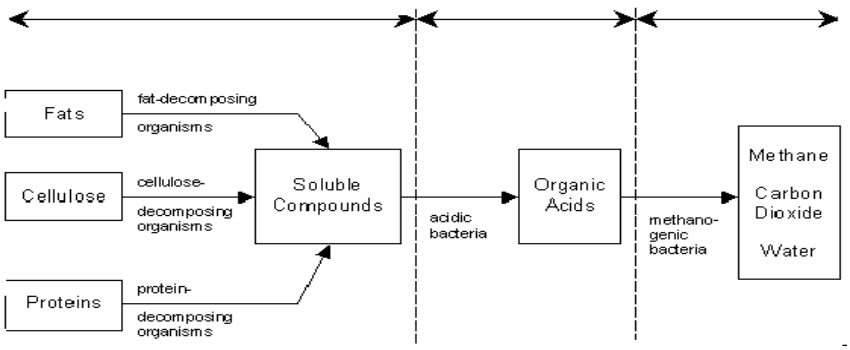
۸- عملیات تخمیر در دستگاه بیوگاز

شرایط اصلی و اساسی در عملکرد دستگاه بیوگاز را در ابتدا بررسی کردیم و چهار عامل دما، pH، نسبت کربن به ازت و غلظت مواد اولیه از عوامل موثر در کیفیت تولید بیوگاز مطرح می‌شد. به طور کلی با مناسب بودن شرایط فوق تخمیر مواد در هاضم همه دستگاه‌های بیوگاز در دو مرحله اساسی انجام می‌شود که طی آن مواد آلی شامل ترکیبات پروتئینی، سلولزی و چربی به دور از اکسیژن و در اثر تخمیر در دستگاه‌های بیوگاز به صورت غیر هوازی تجزیه شده و در نهایت قسمتی از آنها به گازهایی تبدیل می‌شود که مجموعاً به آنها بیوگاز می‌گویند. مرحله اول اسید زایی: در آغاز مواد آلی پیچیده در اثر هیدرولیز تبدیل به مواد آلی ساده شده که باکتری‌های اسید ساز (Acidogens) از این مواد آلی ساده اسیدهای فرار مانند اسید فورمیک، اسید استیک و اسید پروپیونیک (C_3H_8COOH) و ... تولید می‌نمایند. درمرحله دوم باکتری‌های اسید ساز (اسید لاکتیک، اسید پروپیونیک، اسید استیک و اسید بوتیریک) مواد آلی مرکب را به اسیدهای فرار تبدیل می‌کنند. پروتئین‌ها ابتدا به اسیدهای امینه و سپس به اسیدهای فرار شکسته می‌شوند، کربوهیدراتها در ابتدا به قندهای ساده و سپس به اسیدهای چرب فرار تبدیل می‌شوند.

مرحله متان زایی: در این مرحله باکتری‌های متانزا (Methanogens) اسیدهای چرب را تجزیه کرده و از تجزیه آنها متان و دی اکسید کربن بدست می‌آید. رشد و نمو این باکتری‌ها به کندی صورت گرفته و نسبت به محیط و شرایط محیطی خیلی حساس هستند و به خاطر همین امر باید فعالیت هر دو باکتری (methanogens , Acidogens) تحت کنترل باشد. زیرا اگر اسید سازها فعالیت بیشتری داشته باشند pH محلول کاهش یافته و فعالیت باکتری‌های متانزا کاهش و حتی متوقف می‌یابد. مهم‌ترین مسئله در عملیات تخمیر ترکیبات مواد اولیه است چنانچه در ترکیب مواد اولیه مواد غذایی فیبروزدار باشد برای تولید گاز متان خیلی خوب نیست که معمولاً از اسیدها و بازها برای تخریب ترکیبات فیبروزی استفاده می‌شود. عملیات تخمیر در درجه حرارت ۳۷-۵۵ درجه سانتیگراد به مدت زمان یک ماه الی ۴۵ روز انجام می‌گیرد که سرعت عمل تخمیر و تجزیه مواد آلی در تولید بیوگاز از اولین مرحله آماده سازی تا آخرین مرحله استفاده از بیوگاز به شرح زیر است. شکل۶ روند تبدیل مواد آلی در فرایند هضم بی‌هوازی و جدول۵ میزان ترکیبات مهم تولیدی در عملیات تخمیر در مدت یک ماه را نشان می‌دهد.[۱۵-۱۶]

جدول ۵- میزان ترکیبات مهم تولیدی در عملیات تخمیر در مدت یکماه[۱۵]

زمان ماند(روز)	میزان گاز تولیدی(m^3)	ترکیبات مهم	
		CH_4	CO_2
روز اول تا دهم	۴۲۰/۲	۶۳/۸-۵۷/۶	۴۲-۳۵
روز یازدهم تا بیستم	۳۱۰/۱	۶۵	۳۴
روز بیست و یکم تا سی ام	۱۸۲/۶	۶۴-۶۰	۳۷-۳۴/۸
مجموع سی روز	۹۱۲/۹	۶۵-۵۷/۶	۴۲-۳۴



شکل۶- روند تبدیل مواد آلی در فرایند هضم بیهوازی[۱۶]

Archive of SID

www.SID.ir

۹- محصولات بیوگاز

بیوگاز که به گاز مرداب نیز شهرت یافته است عمدتاً ترکیبی از گازهای متان و CO_2 (دی اکسیدکربن) است و گازهای N_2 SH_2 و هیدروژن و اکسیژن به میزان خیلی جزئی تولید می‌شود. طبق مطالعات انجام گرفته در هندوستان آنالیز بیوگاز طبق جدول ۵ است. مطابق جدول ۶ بیشترین مقدار بیوگاز مربوط به گاز متان به دلیل کم بودن وزن مخصوص این گاز از هوا، پس از تولید به آهستگی بالا رفته و پراکنده می‌شود. لذا با توجه به اهمیت گاز متان که ارزش حرارتی و سوختی بیوگاز هم مربوط به متان است توجه به بحث جمع آوری و تصفیه گازهای تولیدی در کیفیت بیوگاز اهمیت زیادی دارد. چرا که هر چه قدر بیوگاز تولیدی دارای CH_4 بیشتر و خالصتری باشد به همان اندازه ارزش حرارتی بالاتری دارد. اما علاوه از تولید این گازها در اثر تخمیر بدون اکسیژن مواد آلی محصولات دیگری نیز تولید می‌شود که کود تخمیر یافته یا کود بیوگاز از آن جمله است.

کودی که در حین تولید بیوگاز بدست می‌آید تقریباً کود کاملی است به غیر از کاهش ناچیزی که در مواد ازته آن هم در اثر کاهش هیدروژن و کربن و اکسیژن در حین آزاد شدن گازهای متان و CO_2 بوجود می‌آید تغییرات چندانی در مقدار مواد مغذی کود حاصل از تخمیر مواد آلی به وقوع نمی‌پیوندد. طبق تحقیقاتی که در چین به عمل آمده در مزارع برنج کاری که از کود تخمیر یافته استفاده کردند میزان محصول ۱۲/۹ درصد نسبت به کود تخمیر نشده یا کود سنتی افزایش داشته است. هم چنین در کود تخمیر یافته وزن P_2O_5، ۵۱۲ گرم است که در کود تخمیر نیافته وزن اکسید دی فسفر (P_2O_5) برابر۲۰۴ گرم در یک مقدار مشخص است[۱۶-۱۸].

جدول۶- آنالیز بیوگاز[۱۶]

نام گاز	فرمول ترکیبی	درصد ترکیبی
متان	CH_4	۶۵-۵۵
کربنیک	CO_2	۴۵-۳۵
نیتروژن	SH_2	۰،۰۱-۰
سولفید ئیدروژن	SH_2	۰،۰۱-۰
اکسیژن	O_2	۰،۰۱-۰
ئیدروژن	H_2	۰،۰۱-۰

10- اهمیت کاربرد بیوگاز

امروزه از بیوگاز در گرم کردن دیگ‌های بخار کارخانه‌ها، موتور ژنراتورها برای تولید برق، گرم کردن خانه‌ها و پخت و پز استفاده می‌شود. استفاده از فناوری تولید بیوگاز در ایران، تاکنون کاربرد عمومی نیافته است و در مرحله آزمایشگاهی است؛ درحالی که در کشورهای اروپای غربی، جنوب شرقی آسیا و به ویژه چین و هندوستان این فناوری بسیار قابل توجه است و این کشورها با بهره گیری از این فناوری نیاز خود را به سوخت برطرف کرده‌اند. سوئد، یکی از بهترین مصرف کنندگان بیوگاز در صنعت حمل و نقل است و برنامه ریزی شده است تا سال ۲۰۵۰ میلادی ۴۰ درصد از نیاز این کشور در بخش حمل و نقل از طریق بیوگاز تامین شود. براساس این گزارش، هزینه تولید بیوگاز در سوئد از تولید بنزین با صرفه تر است، زیرا تولید یک مترمکعب بیوگاز که شامل تولید، اصلاح و متراکم سازی است، ۵/۳ تا ۵/۴ کرون سوئد است که این مقدار، حدود ۷۰ درصد هزینه‌های جاری بنزین در سوئد است. بررسی‌ها نشان می‌دهد درصورت استفاده از بیوگاز در صنعت حمل و نقل، میزان آلاینده دی اکسیدکربن که سبب افزایش گاز گلخانه‌ای جهان می‌شود تا حدود ۶۵ تا ۸۵ درصد کاهش می‌یابد. در یک نتیجه‌گیری کلی استفاده از بیوگاز در زندگی روزمره می‌تواند فایده‌های زیر را به دنبال داشته باشد:

۱) زیبا شناختی: جمع آوری مواد زاید و حیوانی در یک نقطه و جلوگیری از پراکندگی آنها در محیط اطراف
۲) استفاده در منازل به عنوان سوختی مطمئن
۳) به عنوان تامین کننده منبع حرارتی در تولید نیروی برق به‌طوریکه میزان سوخت بیوگاز به ازاء تولید هر کیلو وات برق ۰/۸۶۵ متر مکعب است.
۴) استفاده حرارتی در خشک کردن فراورده‌های کشاورزی
۵) استفاده حرارتی در کوره خشک کن آجر و سفال در کارخانه‌های ذوب فلزات
۶) به عنوان سوخت در موتورهای دیزلی
۷) به عنوان مواد اولیه صنعتی بسیار مهم به خاطر وجود موادی چون متان CH_4 و دی اکسید کربن

Archive of SID
www.SID.ir

۸) استفاده از مواد جامد با قیمانده در مولدهای بیوگاز به منظور حاصل‌خیز کردن خاک‌های زراعی

۹) استفاده از کود بیوگاز در تکثیر ماهی برای افزایش تولید پلانکتون‌ها جهت تامین غذای ماهی‌ها

۱۰) استفاده از کود بیوگاز در کشت قارچ‌های خوراکی

۱۱) بیوگاز به عنوان یک منبع انرژی محلی و تجدید شونده

۱۲)بهبود وضعیت ایمنی صنعتی و خانگی، همچنین سودآور بودن آن

۱۳) بهبود وضعیت کیفیت هوا و کاهش بوهای نامطبوع

۱۴) کاهش انتشارگازهای گلخانه‌ای دشمن لایه ازن

۱۵) رشد اقتصادی و تضمین منبع انرژی

۱۶) استفاده از بیوماس تولیدی به عنوان کود سالم و مطمئن در کشاورزی

۱۷)از مزیت‌های مهم متان به دیگر سوخت‌ها این است که هنگام سوختن، گاز سمی و خطرناک متواکسید کربن تولید نمی‌کندبنابراین از آن می‌توان به عنوان سوخت ایمن و سالم در محیط خانه استفاده کرد.

۱۸)از سوخت بیوگاز جهت راه اندازی کوره‌های آجر و سفال خشک کنی نیز می‌توان استفاده نمود

۱۹) یکی از نیازهای زندگی روستایی تامین آب گرم است، با بیو گاز، آب گرم مورد نیاز به راحتی تامین می‌گردد

۲۰) در ایالات رانگ سیان چین با انرژی لازم جهت حرکت اتوبوس‌ها از سیستم‌های بیوگاز تامین می‌گردد

۲۱)از متان با وارد کردن آن در فرایندهای شیمیایی مخصوص می‌توان ترکیبات با ارزش زیر را به دست آورد:

- دی کلرو متان: ماده اولیه برای ساختن پاک کننده چربی‌ها – مواد با قابلیت نفوذ زیاد – خنک کننده‌ها – فیلم‌های عکاسی و سینمایی
- مونوکلرومتان: ماده اولیه تولید خنک‌کننده‌ها و حشره‌کش‌ها
- تری‌کلرومتان: ماده اولیه برای ساخت پلاستیک – آنتی بیوتیک‌ها و حلال‌ها
- تتراکلریدکربن: ماده اولیه ساخت مواد ضد حریق
- از متان: استیلن – الکل متانول – آمونیاک کود و ویتامین B12 نیز بدست می‌آید
- تهیه یخ خشک از بیوگاز:Dry Ice

۲۲)استفاده ازکود بیوگازدر استخرهای پرورش ماهی

۱۱- فواید تاسیسات بیوگاز برای تولید کنندگان

۱-کمیت و کیفیت نیتروژن موجود درکود حاصله از تاسیسات بیوگاز به مراتب برتر از کودیست که از شیوه‌های معمول و متداول کودسازی از مواد گیاهی به دست می‌آید. تحقیقات نشان‌دهنده این است که تخمیر مقدار آمونیاک را ۱۲۰٪ و مقدار فسفر سریع الاثر را ۱۵۰٪ افزایش می‌دهد .

۲-کود حاصل از بیوگاز عاری از بوی مشمئز کننده‌ای است که معمولاً از کودهای گیاهی یا حیوانی ناشی می‌شود. انگل‌ها نیز معمولاً در جریان هضم و انبار کردن تفاله‌ها و فضولات کشته می‌شوند .

۳-تاسیسات بیوگاز باعث صرفه جویی در مواد سوختی از جمله نفت و گاز می‌شود و زباله‌های گیاهی را که معمولاً با سوزاندن هدر می‌روند، وفضولات حیوانی و انسانی را که بصورت عادی، خطری جدی برای سلامتی به شمار می‌روند، به کود آلی فوق العاده ای تبدیل می‌کنند .

۴- از بیوگاز می‌توان برای سوخت موتورهای احتراق داخلی استفاده کرد یا آن را به جای گازوئیل در ژنراتورهای کوچک برق به کاربرد .

۵- این گاز برای آشپزی خانگی سوختی تمیز و مناسب و برای خواندن نوری خوب فراهم می‌آورد .

۶- تاسیسات بیوگاز، مکمل توسعه دامداری هستند

۷- انرژی یک متر مکعب بیو گاز تقریبا با انرژی حاصل از ۰/۶ متر مکعب گاز طبیعی، ۰/۸۵ L بوتان، ۰/۶۹ L بنزین، ۰/۶۲ L گازوئیل برابری می‌نماید . بیو گاز کمی از هوا سبکتر بوده و با سرعت ۴۰ سانتیمتر در ثانیه در هوا منتشر می‌گردد.

۱۲- نتیجه‌گیری

مشکل انرژی امروزه یکی از مشکلات اساسی تمامی کشورهای جهان بخصوص کشورهای در حال توسعه می‌باشد. سوخت رسانی به روستاهای دور افتاده حتی در کشوری مانند ایران که منابع غنی انرژی را در اختیار دارد

Archive of SID

www.SID.ir

بسیار مشکل و هزینه بر می‌باشد. استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و محلی یکی از راه حل‌هایی می‌باشد که امروزه پیشنهاد می‌گردد. بیوگاز یکی از این انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد که علاوه بر تولید انژی باعث ایجاد کودهای کشاورزی و افزایش سطح بهداشت عمومی جامعه و کنترل بیماری‌ها می‌شود و یک راه حل مناسب برای دفع مواد زائد جامد می‌باشد. فاضلاب و مواد زائد جامدی که توسط صنایع و جوامع تولید می‌گردد باعث آلودگی شدید محیط می‌شود که می‌توان با استحصال بیوگاز خطرات ناشی از این مواد را به شدت کاهش داد و از انژی و کود تولیدی نیز استفاده نمود. استحصال بیوگاز را می‌توان از فرایندهای بی‌هوازی تصفیه فاضلاب مانند UASB و همچنین از محل‌های دفن زباله نیز انجام داد و بخشی از هزینه‌های مصرفی را جبران نمود. با توجه به اینکه هر ساله جامعه‌ی ایرانی حدود ۱۵ میلیون تن زباله‌ی شهری و ۴/۶ میلیارد متر مکعب فاضلاب شهری و صنعتی تولید می‌کنند. فناوری بیوگاز پتانسیل مهمی برای تولید انرژی در کشور است. استفاده از بیوگاز طی سال‌های گذشته به‌طور مداوم رشد داشته است، اما بخش عظیمی از این پتانسیل بی‌استفاده مانده است[۱۸]. از آنجایی که بازیافت یا تثبیت مواد زائد به روش بی‌هوازی بهتر از روش تصفیه هوازی و کمپوست است چون تجزیه این مواد آلی در یک سیستم مناسب علاوه بر تولید انرژی باعث ایجاد کود مناسب و بهداشتی خواهد بود که موجب نابودی بذر علف‌های هرز و بسیاری از پارازیت‌ها و انگلها از جمله تخم آسکاریس خواهد بود. بررسی‌ها نشان داده که دستگاه‌های بیوگاز و روش‌های تغذیه دستگاه که معمولاً به سه روش ناپیوسته، نیمه پیوسته و پیوسته صورت می‌گیرد که با استفاده از روش‌های ریاضی به بررسی میزان گاز تولیدی متان در درجه حرارت‌های مختلف لجن و شرایط ژئوگرافی محل پرداخته گردید که طبق نتایج حاصله بیشترین گازهای تولیدی را در زمان های۴۰-۱۰ روز و درجه حرارت‌های ۳۵-۱۵ درجه سانتیگراد ۶۰ درصد بدست آمده است به امید اینکه بتوان در آینده نزدیک از این سیستم در جهت کنترل آلودگی‌های زیست محیطی به صورت جامع و گسترده در کشورمان استفاده نمود.

Archive of SID

www.SID.ir

۱۳- منابع

[۱] دکتر قاسمعلی عمرانی، "تولید بیوگاز از فضولات شهری و روستایی"، چاپ اول، سال (۱۳۷۵)، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران

[۲] سانا امینی - بروحبنی، حمیدرضا. "ویژگی و چگونگی تولید بیوگاز". استاندارد و کالاهای ایرانی دوره هشتم شماره ۷۸ (اسفند ۱۳۷۶).

[3]http://en.wikipedia.org/wiki/Anaerobic_digestion#History
[4] http://www.adelaide.edu.au/biogas
[5] http://www.knowclub.com/paper/?p
[6]roshd.ir/Default.aspx?tabid=471&EntryID=2149&SSOReturnPage=Check&Rand
[v] "Effect of some operating parameters on biogas production rate" Http://www. Tbzmed.ac.ir] 0960-1481 (95)0027-S
[8]Fernando,C.E.C(2005)Factors effect biogas production. Nigerian journal of solar energy,4,150-154
[9] Bioresearch Technology 73(2006) 191-193. "Anaerobic digestion of banana stems waste" Http://www. Tbzmed.ac.ir
[10] ALTERNATIVE ENERGY SOURCES - BIOGAS PRODUCTION Adobe PDF - View as html London Swine Conference - Today's Challenges… Tomorrow's Opportunities 3-4 April 2007 119 ALTERNATIVE ENERGY SOURCES - BIOGAS PRODUCTION Harold House, P.Eng. Engineer..
[11] www.biogas- energy.com/docs_en/BiogasEnergy.pdf
[12] www.biogas.psu.edu
[13] PII: 50196-8904(96) 00177-x "Computer model performance prediction and optimization of unheated biogas plant" Http://www. Tbzmed.ac.ir
[14] The Kinetic of Biogas Production Rate from Cattle Manure in Batch ... Adobe PDF - View as html Biogas formed was measured by 'liquid displacement method' as also has been used by [25]CSTR digester configuration for improving biogas production from manure
[15] www.biogas- energy.com/docs_en/BiogasEnergy.pdf
[16]www.habmigern2003.info/biogas/methane-digester
[17]www.habmigern2003.info/biogas/methane-digester.html
[18] سازمان انرژی‌های نو ایران SUNA

Archive of SID

www.SID.ir