



تولید بیوگاز از ضایعات آلی در فرآیند هضم بی هوازی - مقاله‌ی مروری

سیدسینا حسینی^{۱*}، مرتضی آغباشلو^۲ و شاهین رفیعی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

۳- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

ایمیل مکاتبه کننده: hosseini.sina@ut.ac.ir

چکیده

این مقاله فرآیند تولید بیوگاز به روش هضم بی‌هوازی، ویژگی‌ها و کاربردهای آن را به عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر در قالب مروری مورد بررسی قرار می‌دهد. انواع زیست توده‌ها برای تولید بیوگاز قابل استفاده‌اند به شرطی که حاوی کربوهیدرات، پروتئین، چربی و سلولز به عنوان مولفه‌های اصلی باشند. فرآیند هضم بی‌هوازی، تجزیه‌ی میکروبی مواد آلی در غیاب اکسیژن است که در چهار مرحله‌ی هیدرولیز، تولید اسید آلی، تولید استات و تولید متان صورت می‌گیرد. خروجی فرآیند هضم بی‌هوازی، تولید بیوگاز و مواد تثبیت شده می‌باشد. بیوگاز به عنوان سوخت تجدیدپذیر به مصارف مختلفی از قبیل سوخت اجاق گاز، سوخت وسائط نقلیه و تولید الکتریسیته می‌رسد و مواد تثبیت شده، بعد از فرآوری به عنوان کود و کمپوست استفاده می‌شود. در صورت جایگزین کردن بیوگاز با همیزم و ذغال سنگ، انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن و دی‌اکسیدگوگرد به ترتیب ۳۹۷ الی ۴۱۹۳ و ۲۱،۳ الی ۶۲ هزار تن در سال کاهش می‌یابد. مولفه‌های تاثیرگذار بر فرآیند هضم بی‌هوازی، دما، PH، زمان نگهداری و نسبت کربن به نیتروژن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیوگاز، هضم بی‌هوازی، کاربرد بیوگاز، تاثیرات زیست محیطی

مقدمه

نیاز بشر به انرژی به سرعت در حال افزایش است و در حال حاضر ۸۸٪ این نیاز توسط سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که نیاز به انرژی در قرن حاضر با نرخ دو یا سه رشد خواهد کرد (IEA ۲۰۰۶). نیاز روزافزون به انرژی در جهان صنعتی در کنار مشکلات آلودگی که نشأت گرفته از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی است، الزام گسترش منابع تجدیدپذیر را هرچه بیشتر معلوم می‌کند (مهتر و همکاران ۲۰۰۶). علاوه بر این سالانه میلیون‌ها تن ضایعات جامد شهری، صنعتی و کشاورزی تولید می‌شود. این ضایعات در صورت رها شدن به حال خود، تجزیه شده و باعث آلودگی آب، خاک و هوا خواهند شد. منابع تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی



و بیوگاز از پتانسیل بالایی جهت پاسخگویی به نیاز انرژی بشر برخوردارند (مونیر و همکاران ۲۰۰۶). بیوگاز یک منبع انرژی تجدیدپذیر بوده که می‌تواند جایگزین موثر سوخت‌های فسیلی شود. بر خلاف دیگر انواع انرژی تجدیدپذیر، بیوگاز نه تنها محدودیت جغرافیایی نداشته بلکه نیازمند تکنولوژی خاص و پیچیده‌ای نیست (طالقانی و همکاران ۲۰۰۵).

تعریف بیوگاز

بیوگاز، محصول مطلوب فرآیند هضم بی‌هوازی، ترکیبی از گاز متان، دی‌اکسیدکربن و مقادیر کمی از دیگر گازها مانند سولفید هیدروژن می‌باشد (مک‌کندری ۲۰۰۲). بیوگاز، به عنوان سوخت پاک و تجدیدپذیر، می‌تواند جایگزین سوخت‌های فسیلی شود، سوخت‌هایی که باعث آلودگی محیط شده و سریعاً در حال کاهش هستند (سانتوش و همکاران ۲۰۰۴). متان، دی‌اکسیدکربن و سولفید هیدروژن مولفه‌های اصلی بیوگاز می‌باشند که مقادیر این گازها در جدول ۱ ارائه شده است (آنونیتیکل و همکاران ۲۰۰۴).

جدول ۱. ترکیبات بیوگاز.

مقادیر %	ترکیب شیمیایی	گاز
55-65	CH ₄	متان
35-45	CO ₂	کربن دی‌اکسید
0-1	H ₂ S	سولفید هیدروژن
0-3	N ₂	نیتروژن
0-1	H ₂	هیدروژن
0-2	O ₂	اکسیژن
0-1	NH ₃	آمونیاک

بیوگاز به دلیل مقادیر بالای متان، که حاصل از تجزیه مواد آلی بدون حضور اکسیژن بوده، منبع انرژی کارایی به حساب می‌آید. گاز طبیعی در حدود ۹۰ الی ۹۵٪ حاوی متان بوده، در حالی که بیوگاز ۵۵ الی ۶۵٪ حاوی متان می‌باشد، بنابراین بیوگاز، گاز طبیعی از درجه پایین محسوب می‌شود (هاوس ۲۰۰۷). جدول ۲ خواص نمونه‌ی نوعی بیوگاز را نشان می‌دهد.

جدول ۲ - خواص احتراقی بیوگاز

نقطه احتراق	چگالی	غلظت گاز احتراقی	ارزش گرمایی
۷۰۰ درجه سلیسیوس	۱,۲ کیلوگرم بر مترمکعب	۱۲-۶٪	۷,۵-۵ کیلووات ساعت بر مترمکعب

تاریخچه‌ی تولید بیوگاز



تا قبل از قرن ۱۷ میلادی، بیوگاز ناشناخته بود. تا اینکه در سال ۱۸۹۰ کشور انگلستان از این روش برای کنترل ضایعات فاضلاب‌ها استفاده کرد (ماهونی و همکاران ۲۰۰۲). با پیشرفت علم میکروبی شناسی در دهه‌ی ۱۹۳۰ محققان دریافتند فرآیند هضم بی‌هوازی به باکتری‌های بی‌هوازی بستگی دارد (لوسک ۱۹۹۸)

منابع تولید بیوگاز

تولید بیوگاز به طور معمول برای کنترل ضایعات (ضایعات کشاورزی، شهری و صنعتی) به کار می‌رود (هارتمان و همکاران ۲۰۰۵). جدول ۳ موادی که قابلیت تولید بیوگاز دارند (از طریق هضم بی‌هوازی) را نشان می‌دهد (بوکینز ۲۰۰۵). انواع زیست توده‌ها برای تولید بیوگاز قابل استفاده‌اند به شرطی که حاوی کربوهیدرات، پروتئین، چربی و سلولز به عنوان مولفه‌های اصلی تشکیل دهنده باشند. مولفه‌های تشکیل دهنده بیوگاز و بازده متان بستگی به مواد اولیه تولید بیوگاز دارند (بران ۲۰۰۷).

جدول ۳- مواد اولیه‌ی تولید بیوگاز

بخش کشاورزی	بخش شهری	بخش صنعتی
کود دامی	لجن فاضلاب	فاضلاب صنعتی
ضایعات محصولات	زباله‌های جامد آلی	لجن صنعتی

فرآیند تولید بیوگاز

بیوگاز، گاز تولیدشده از فرآیند هضم بی‌هوازی مواد آلی توسط مجموعه‌ای از میکروارگانیسم‌هاست که به عنوان سوخت جایگزین حداقل از سال ۱۹۵۸ به کار می‌رود (آنونپتیکل و همکاران ۲۰۰۴).. فرآیند هضم بی‌هوازی، تجزیه‌ی میکروبی مواد آلی در غیاب اکسیژن است که نتیجه این فرآیند، تولید متان و مواد تثبیت شده می‌باشد. هضم بی‌هوازی دارای سه مرحله‌ی پیش تصفیه، هضم و پس تصفیه است. تولید بیوگاز در هضم بی‌هوازی به دو روش تک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای صورت می‌گیرد. حدود ۹۰٪ روش‌های تولید بیوگاز در اروپا به صورت تک مرحله‌ای هستند که به دو بخش هضم تر و خشک تقسیم می‌شوند. مزیت هاضم تک مرحله‌ای پیچیدگی کم آن می‌باشد (دی‌بتر ۲۰۰۰). در سامانه هضم تر حداکثر غلظت مواد جامد ۱۰٪ بوده و مابقی را آب تشکیل می‌دهد که در این روش، دوغاب تشکیل شده قابلیت پمپ شدن و جریان یافتن دارد. در حالی که در روش هضم خشک مقادیر مواد آلی جامد بین ۱۵ الی ۳۵٪ می‌باشد. یادویکا و همکاران در سال ۲۰۰۴ تکنیک‌هایی جهت افزایش تولید بیوگاز ارائه کردند که می‌توان به کاربرد افزودنی‌ها، کاربرد بیوفیلترها، تغییرات عوامل دمایی و زمان نگه داری در هاضم، اشاره کرد. فرناندز و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی تاثیر غلظت مواد اولیه آلی جهت تولید بیوگاز بر هضم بی‌هوازی در دمای مزوفیلی پرداختند. در مطالعه‌ی مذکور، راکتور از نوع ناپیوسته، دمای ۳۵ درجه و زمان نگه داری در هاضم ۸۵ الی ۹۵ روز در نظر گرفته شد. حداکثر مقدار متان تولید شده ۰٫۱۱ مترمکعب متان به ازای هر کیلوگرم مواد آلی بدست آمد (فرناندز و پرز ۲۰۰۸). فرآیند هضم بی‌هوازی در ۴ مرحله‌ی ذیل صورت می‌گیرد:



هیدرولیز

در این مرحله ترکیبات آلی پیچیده به ترکیبات تشکیل دهنده آنها تجزیه شده و ترکیبات نامحلول ایجاد می‌شوند. در این مرحله اسید به اسیدهای چرب، پلی ساکاریدها و سلولزها به قند و پروتئین‌ها به اسید آمینه تبدیل می‌شوند (استرم ۲۰۰۴). در فرآیند هیدرولیز مولکول‌های درشت مانند چربی‌ها، پلی ساکاریدها و پروتئین‌ها به مولکول‌هایی با وزن کمتر که قابل حل در آب هستند، تبدیل می‌شوند.

تولید اسیدهای آلی

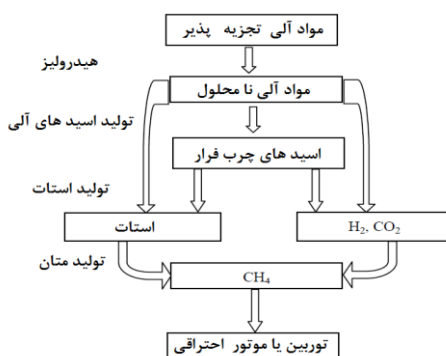
در این مرحله باکتری‌های اسیدوژن، ترکیبات حاصل از مرحله‌ی قبل را به ترکیبات آلی ساده تبدیل می‌کنند که غلظت ترکیبات به PH و دما بستگی دارد (استرم ۲۰۰۴).

تولید استات

نتیجه‌ی این مرحله تولید هیدروژن، دی‌اکسیدکربن و استات می‌باشد. تبدیل مواد آلی به اسیدهای آلی در این مرحله و مرحله قبل، باعث افت PH شده که این کاهش PH بدلیل اینکه باکتری‌های مراحل ۲ و ۳ در محیط اسیدی بهتر فعالیت می‌کنند، مفید واقع شده ولی از طرفی دیگر در مرحله‌ی تولید متان (مرحله‌ی ۴) که نیاز به محیط بازی دارد، یک عامل محدودکننده به حساب می‌آید (استرم ۲۰۰۴).

تولید متان

در این مرحله، باکتری‌های متانوژن با مصرف ترکیبات مراحل قبل، متان تولید می‌کنند. این باکتری‌ها محیط خنثی تا کمی قلیایی را ترجیح می‌دهند و در PH کمتر از ۶ از بین می‌روند. نرخ رشد این باکتری‌ها نسبت به باکتری‌های اسیدوژن، کمتر است (دیویس و همکاران ۱۹۹۸). شکل ۱ مراحل چهارگانه هضم بی‌هوازی را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد.



شکل ۱ - مراحل هضم بی‌هوازی

بطور کلی در فرآیند هضم بی‌هوازی واکنش‌های ذیل رخ می‌دهد (استرم و همکاران ۲۰۰۴).



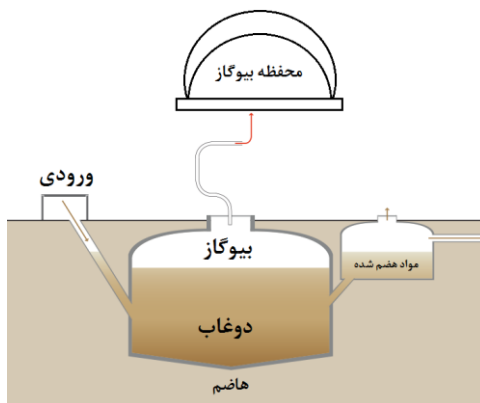
بیوگاز تولید شده در فرآیند هضم بی‌هوازی می‌تواند ۸۰٪ حجمی حاوی متان باشد (بنیتو همکاران ۲۰۰۷). محصولات نهایی فرآیند هضم بی‌هوازی یکی بیوگاز و دیگری مواد هضم شده (تثبیت شده) هستند. بیوگاز تولید شده می‌تواند به مصارف مختلفی همچون سوخت خودرو، سوخت مصرفی بویلر در چرخه بخار برای تولید الکتریسیته و به عنوان گاز طبیعی برای مصارف خانگی به کار رود. کسر جامد مواد هضم شده نیز دارای مقادیر زیادی آمونیاک بوده و می‌تواند به عنوان کود آلی بکار گرفته یا تبدیل به کمپوست شود. کسر مایع مواد هضم شده نیز شامل مواد آلی قابل حل بوده که می‌تواند به مصارف کود آلی مایع برسد. در یک تاسیسات نوعی هضم بی‌هوازی، بیوگاز ۱۵٪ جرمی و مواد هضم شده مایع و جامد هریک ۴۲٫۵٪ جرمی جریان ورودی را تشکیل می‌دهند (سانتیر و همکاران ۱۹۸۲ و استرم و همکاران ۲۰۰۴). از طرفی دیگر فرآیند هضم بی‌هوازی امکان تولید انرژی توسط چرخه ترکیبی توان و گرما را ایجاد می‌کند، ضمن اینکه در طی این فرآیند مواد اولیه (ضایعات شهری و صنعتی) که عموماً باعث آلودگی محیط زیست گشته، کنترل می‌شوند. تولید توان از بیوگاز کاربردهای فراوانی دارد که هریک از این کاربردها نیازمند آگاهی از مولفه‌های تشکیل دهنده بیوگاز و مقدار آنها دارد (اسکات و همکاران ۲۰۰۶). گرچه اکثر سامانه‌های هضم بی‌هوازی در دمای مزوفیلی (۳۵-۳۷ درجه‌ی سلسیوس) به عنوان دمای هاضم به کار می‌روند، این در حالی است که بسیاری از ضایعات فاضلابی در دمای بالاتری از دمای مذکور هستند، بر این اساس این ضایعات قابلیت هضم ترموفیلی داشته که نسبت به هضم ترموفیلی معایبی از قبیل عدم امکان ایجاد لجن گرانوله شده (دوغاب برای هضم) را دارا می‌باشند (پندیر و همکاران ۲۰۰۴). جدول ۴ مقایسه‌ای بین هضم مزوفیلی و ترموفیلی ارائه می‌دهد (ورنر و همکاران ۱۹۸۹)

جدول ۴ - مقایسه دمای هضم مزوفیل و ترموفیل (سلسیوس)

حد اکثر دما	دمای بهینه	حداقل دما	روش هضم
۷۵-۸۰	۴۰-۶۰	۲۵-۴۵	ترموفیلی
۳۵-۴۵	۲۸-۳۳	۱۰-۲۰	مزوفیلی

انواع راکتورهای بیوگاز

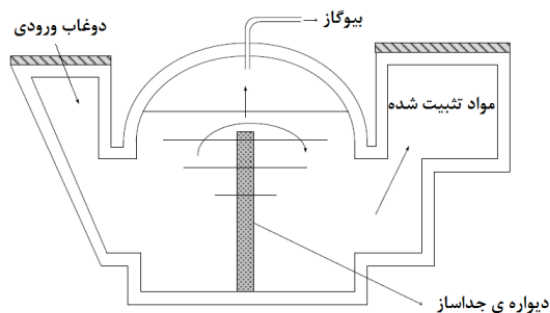
طراحی راکتورها بسته به موقعیت جغرافیایی و شرایط جوی تغییر می‌کند (ژانگ ۱۹۸۹ و فرناندز و پرز ۲۰۰۸). شکل ۲ طرح شماتیک راکتور تولید بیوگاز را نمایش می‌دهد.



شکل ۲- شماتیک فرآیند تولید بیوگاز

راکتورهای سقف ثابت

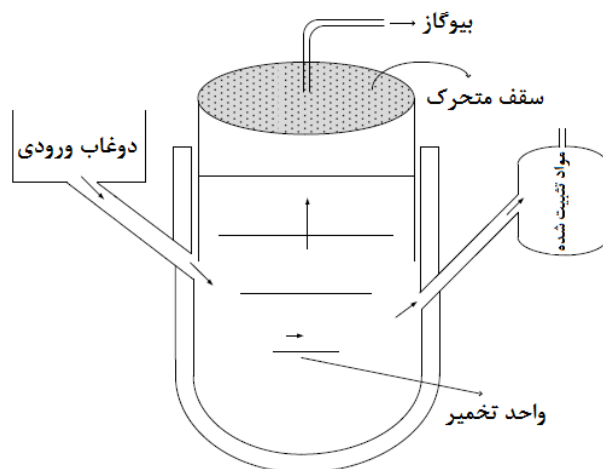
این راکتورها شامل محفظه نگهدارنده‌ی گاز ثابت بوده که در قسمت فوقانی راکتور قرار می‌گیرد. گاز تولید شده در قسمت فوقانی راکتور ذخیره می‌شود. این نوع راکتورها هزینه‌ی ساخت کمتری دارند. اگر این راکتورها در زیر زمین ساخته شوند، این مزیت را دارند که تغییرات دمای محیط تأثیری بر آنها نمی‌گذارد (سنتیر ۱۹۸۲ و ایسات ۱۹۹۹). شکل ۳ طرح شماتیک نمونه‌ای از راکتورهای سقف ثابت را نشان می‌دهد.



شکل ۳- شماتیک راکتور سقف متحرک

راکتورهای سقف شناور

این راکتورها از یک سقف شناور که با افزایش حجم گاز بالا و پایین می‌رود تشکیل یافته و نسبت به راکتورهای سقف ثابت دارای این مزیت است که گاز خروجی دارای فشار ثابتی می‌باشد (ژانگ ۱۹۸۹). شکل ۴ طرح شماتیک این نوع راکتور را نشان می‌دهد.



شکل ۴- شماتیک راکتور سقف متحرک

کاربردهای بیوگاز

شکل ۵ نمونه‌ای از نیروگاه تولید بیوگاز و کاربردهای آن را نشان می‌دهد. به‌طور کلی از مهم‌ترین کاربردهای بیوگاز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

اجاق گاز

کاربرد بیوگاز در اجاق گازهای رایج بدلیل خواص فیزیکی و شیمیایی بیوگاز غیر ممکن است، با این حال این اجاق گازها با کمی اصلاح قابلیت بکار بردن بیوگاز را دارند (بونند و همکاران ۲۰۱۱). تغییرات انجام شده شامل تغییر افسانک اجاق و سطح مقطع آن می‌باشد. این اجاق‌ها، ترکیبی از بیوگاز و هوا را با نسبت ۱ به ۱۰ می‌سوزانند (سوبرامانیان ۱۹۷۷ و بارت و همکاران ۱۹۷۸)

کود

مواد تثبیت شده خروجی از هاضم، حاوی مقادیر قابل توجهی از نیتروژن، فسفر و پتاسیم بوده و می‌تواند به عنوان کود مورد استفاده قرار گیرد (گوتام و همکاران ۲۰۰۹)

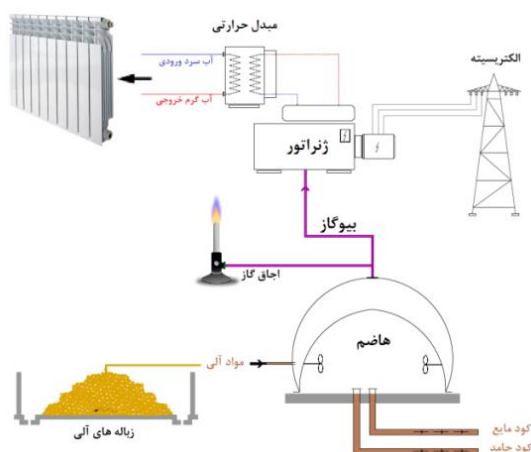
تولید توان یا الکتریسیته

یکی دیگر از کاربردهای بیوگاز، تولید توان و الکتریسیته است. در بسیاری از کشورهای توسعه یافته بیوگاز تولید شده از هضم بی‌هوازی وارد یک موتور احتراقی شده و تولید توان الکتریکی و مکانیکی می‌کند (محمد ۱۹۹۱). سوخت‌های دیزلی می‌توانند با بیوگاز برای تولید الکتریسیته ترکیب شوند (دوک و همکاران ۲۰۰۷). امروزه تولید برق از بیوگاز توسط پیل‌های سوختی به موضوع جالبی برای تحقیق تبدیل شده است، این در حالی است که به‌دلیل هزینه‌ی بالای پیل‌های سوختی این روش از توجیه اقتصادی برخوردار نیست (بونند و همکاران ۲۰۱۱)



سوخت و سائت نقلیه

به منظور به‌کاربردن بیوگاز به عنوان سوخت و سائت نقلیه، دی‌اکسیدکربن و رطوبت آن بایستی حذف گردد. به طور معمول بیوگازی که برای سوخت و سائت بکار برده می‌شود حاوی ۹۷٪ یا بیشتر متان می‌باشد. این نوع بیوگاز بعد از حذف ناخالصی‌ها، بیوگاز متان غنی شده شناخته می‌شود که مقدار انرژی ۳۶,۶-مگاژول بر متر مکعب را دارا می‌باشد. معمولاً از یک متر مکعب بیوگاز، می‌توان ۰,۵۷ متر مکعب بیوگاز متان غنی شده تولید کرد (مارفی ۲۰۰۵).



شکل ۵- نمونه‌ای از نیروگاه تولید بیوگاز و کاربردهای آن

تأثیرات زیست محیطی بیوگاز

یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که جهان صنعتی با آن روبروست، تغییرات آب و هوایی و گرم شدن کره زمین است. یکی از عوامل گرم شدن کره زمین، گازهای گلخانه‌ای هستند که بخش اعظم آن از سوزاندن سوخت‌های فسیلی ایجاد می‌شود. تولید بیوگاز می‌تواند نرخ گرم شدن کره زمین را کاهش دهد (پی‌دونگ و همکاران ۲۰۰۷). دی‌اکسیدکربن و متان جزو اصلی‌ترین گازهای گلخانه‌ای هستند، این در حالی است که پتانسیل گاز متان در گرم شدن کره زمین، ۲۱ برابر کربن دی‌اکسید می‌باشد (کلار و همکاران ۲۰۰۸). تحقیقات نشان می‌دهد در صورت جایگزین کردن بیوگاز با هیزم و ذغال‌سنگ، انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن و دی‌اکسیدگوگرد به ترتیب ۳۹۷ الی ۴۱۹۳ و ۲۱,۳ الی ۶۲ هزار تن در سال کاهش می‌یابد (پی‌دونگ و همکاران ۲۰۰۷). دوغاب تغذیه‌ی هاضم‌ها در صورتی که به درستی به کار گرفته نشوند، محل رشد حشرات و گسترش بیماری‌ها خواهد شد (سوریندرا و همکاران ۲۰۱۱).

مولفه‌های تأثیرگذار در فرآیند تولید بیوگاز

از جمله مولفه‌های تأثیرگذار در فرآیند هضم بی‌هوازی جهت تولید بیوگاز می‌توان به PH، نسبت کربن به نیتروژن، دما و زمان نگهداری در هاضم اشاره کرد. تغییرات شدید این مولفه‌ها می‌تواند فرآیند تولید بیوگاز را در راستای



نامطلوب تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین، تغییرات این پارامترها جهت ارزیابی فرآیند، در یک محدوده‌ی مطلوب در نظر گرفته می‌شود (سانتوش و همکاران ۲۰۰۴).

PH

محدوده‌ی قابل قبول PH برای هضم بی‌هوازی از ۵,۵ تا ۸,۵ می‌باشد. این در حالی است که فرآیند متان‌زایی در PH 6.7 تا ۷,۴ صورت می‌گیرد (بوکینز ۲۰۰۵). کاهش PH در طی فرآیند هضم بی‌هوازی، باعث افزایش تجمع اسید و ناپایداری هاضم خواهد شد (استرم ۲۰۰۴). به منظور اینکه فرآیند هضم به صورت عادی انجام شود، غلظت اسیدهای چرب و اسید استیک بایستی کمتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد (سانتوش و همکاران ۲۰۰۴).

نسبت کربن به نیتروژن

به منظور بالا بودن بازده فرآیند هضم بی‌هوازی، بایستی نسبت ترکیبات مواد اولیه در محدوده‌ی مطلوب قرار گیرد. این محدوده، بستگی به سرعت مصرف هر یک از ترکیبات توسط میکروارگانیسم‌ها دارد. میکروارگانیسم‌ها کربن را ۲۰ الی ۳۰ بار سریعتر از نیتروژن تجزیه می‌کنند. بنابراین نسبت صحیح کربن به نیتروژن در مواد اولیه ۲۰ الی ۳۰ به ۱ می‌باشد (سانتوش و همکاران ۲۰۰۴). در صورتی که نسبت کربن به هیدروژن بیشتر از این مقدار بود، نیتروژن سریعتر از کربن مصرف شده و در نتیجه بیوگاز کمتری تولید می‌شود، از سوی دیگر نسبت پایین کربن به نیتروژن باعث تجمع آمونیاک و در نتیجه افزایش PH (بالای ۸,۵) خواهد شد که این PH باعث از بین رفتن باکتری‌های تولیدکننده‌ی متان (باکتری‌های متانوژن) خواهد شد (ورما ۲۰۰۲).

دما

باکتری‌ها در محدوده‌ی دمایی خاصی فعالیت می‌کنند (الانگو همکاران ۲۰۰۶). گرچه تولید متان در محدوده‌ی وسیعی از دماها امکان پذیر است، ولی بیشترین فعالیت باکتری‌ها در شرایط مزوفیلی ۲۵ تا ۴۰ درجه‌ی سلسیوس و در شرایط ترموفیلی ۵۰ تا ۶۵ درجه‌ی سلسیوس رخ می‌دهد. به منظور کارکرد بهینه، هاضم‌های مزوفیلی بایستی در محدوده‌ی دمایی ۳۰ الی ۳۵ درجه‌ی سلسیوس و هاضم‌های ترموفیلی در حدود ۵۰ درجه‌ی سلسیوس نگه داشته شوند (میتال ۱۹۹۶، اومتسو همکاران ۱۹۹۲ و استرم و همکاران ۲۰۰۴). فرآیند تولید متان نسبت به تغییرات دمایی از حساسیت بالایی برخوردار است (گاربا ۱۹۹۶).

زمان نگهداری در هاضم

به مدت زمانی که دوغاب اولیه‌ی هاضم داخل راکتور نگه داشته می‌شود زمانی نگهداری گویند. در هضم بی‌هوازی دو نوع روش هضم وجود دارد: اولی هضم از نوع پیوسته و دیگری از نوع ناپیوسته. در حالت ناپیوسته مواد اولیه داخل هاضم قرار گرفته و تا هضم کامل داخل هاضم باقی می‌مانند. در این حالت منحنی تولید بیوگاز نسبت به زمان زنگوله‌ای شکل خواهد بود. زمان نگهداری در هاضم در این حالت از ۳۰ تا ۵۰ روز برای مناطق گرمسیری و ۱۰۰



روز برای مناطق سردسیری متغیر است (یادویکا ۲۰۰۴). عیب این سامانه در این است که نیازمند محافظه‌ی نگاه‌داری بزرگ‌تری می‌باشد. با کاهش اندازه‌ی هاضم (ظرفیت) می‌توان زمان نگاه‌داری را کاهش داد که این مورد به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر از حالتی است که ظرفیت هاضم را زیاد در نظر بگیریم (استرم و همکاران ۲۰۰۴).

نتیجه‌گیری

فرآیند تولید بیوگاز در هضم بی‌هوایی از طرفی باعث کنترل ضایعات (شهری، کشاورزی و صنعتی) شده و از طرفی دیگر قابلیت تولید انرژی را فراهم می‌کند. مهم‌ترین گازهای تشکیل دهنده بیوگاز، متان و دی‌اکسیدکربن می‌باشد. به طور کلی بیوگاز از متان (۵۵-۶۵٪)، دی‌اکسیدکربن (۳۵-۴۵٪)، هیدروژن (۰-۱٪)، نیتروژن (۰-۳٪) و سولفید هیدروژن (۰-۱٪) تشکیل شده است. فرآیند هضم بی‌هوایی، تجزیه‌ی میکروبی مواد آلی در غیاب اکسیژن است که نتیجه‌ی این فرآیند، تولید متان و مواد تثبیت شده می‌باشد. مقادیر متان در بیوگاز تولید شده به روش هضم بی‌هوایی، معمولاً ۵۵ الی ۶۵ می‌باشد که با افزایش بازده تولید و بهینه‌سازی عوامل موثر در تولید می‌توان درصد متان در بیوگاز را تا ۸۰ درصد بالا برد. فرآیند مذکور در سه مرحله‌ی هیدرولیز مواد آلی، تولید اسیدهای آلی و تولید بیوگاز انجام می‌شود. بیوگاز تولید شده به مصارف مختلفی همچون سوخت و سائت نقلیه، تولید توان، تولید الکتریسیته و غیره می‌رسد. کاربرد بیوگاز برای سوخت و سائت نقلیه نیازمند غنی‌سازی مقادیر متان در بیوگاز بوده و به طور کلی می‌توان از یک متر مکعب بیوگاز، ۰٫۵۷ متر مکعب بیوگاز متان غنی شده برای سوخت و سائت نقلیه بدست آورد. مواد تثبیت شده نیز به مصارف کودهای آلی مایع و جامد و تولید کمپوست می‌رسد. پارامترهای تاثیرگذار در فرآیند هضم بی‌هوایی، دما، نسبت کربن به نیتروژن، PH و زمان نگاه‌داری در هاضم بوده که هر یک از این مولفه‌ها کیفیت و کمیت ترکیبات بیوگاز را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

منابع و مآخذ

1. Anunputtikul, W. and Rodtong, S. 2004. Laboratory scale experiments for biogas production from cassava tubers. The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)," Hua Hin, Thailand, December 1-3.
2. Barnett, A. Pyle, L. Subramanian, S.K. Biogas Technology in the Third World: A Multi-Disciplinary Review; International Development Research Centre: Ottawa, Canada,
3. Benito, M. Garcia, S. Ferreira-Aparicio, P. Garcia Serrano, L. and Daza, L. 2007. Development of biogas reforming Ni-La-Al catalysts for fuel cells. J. Power Sources.
4. Bond, T. Templeton, M.R. 2011. History and future of domestic biogas plants in the developing world. Energy Sustain. Dev. 15, 347-354.
5. Braun, R. 2007 anaerobic digestion: a multi-faceted process for energy, environmental management and rural development. In: Ranalli P (ed) Improvement of crop plants for industrial end uses. Springer, Dordrecht pp. 335-415.
6. Buekens, A. 2005. Energy Recovery from Residuals by Means of Anaerobic Digestion Techs. Conference "The Future of Residual Waste Management in Europe," Luxemburg.



7. Cuellar, A.D. Webber, M.E. 2008. Cow power: The energy and emissions benefits of converting manure to biogas. *Environ. Res. Lett.* 3, doi:10.1088/1748-9326/3/3/034002.
8. Davis, M. and Cornwell, D. 1998. *Introduction to Environmental Engineering*. New York, WCB/McGraw-Hill.
9. De Baere, L. 2000. Anaerobic digestion of solid waste: State-of-the-art. *Water Sci. Tech.* 283-290.
10. Duc, P.M. and Wattanavichien, K. 2007. Study on biogas premixed charge diesel dual fuelled engine. *Energy Convers. Manage.* 48: 2286-2308.
11. Elango, D. Pulikesi, M. Baskaralingam, P. Ramamurthi, V. and Sivanesan, S. 2006. Production of biogas from MSW with domestic sewage. *Energy Sources, Part A* 28:1127.
12. Fernandez, and J. Perez, M. 2008. Effect of substrate concentration on dry mesophilic anaerobic digestion of (OFMSW). *Bio resource Tech.* 99:6075-6080
13. Garba, B. 1996. Effect of temperature and retention period on biogas production from lignocellulosic material. *Renew. Energy—An Int. J.* 9 (1-4), 938-941.
14. Gautam, R. Baral, S. and Herat, S. 2009. Biogas as a sustainable energy source in nepal: Present status and future challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13, 248-252.
15. Hartmann, H. and Ahring, B. K. 2005. The future of biogas production. *Riso International Energy Conference on Tech. for Sustainable Energy Development in the Long Term, Riso-R-1517*, Roskilde, Denmark, May 23-25, pp. 163-172.
16. House, H. 2007. *Alternative Energy Sources Biogas Production*. London Swine Conference-Today's Challenges, Tomorrow's Opportunities, London, April 3-4.
17. IEA. 2006. *World Energy Outlook*. International Energy Agency, Paris IPCC (2000) Special report on emission scenarios, Intergovernmental Panel on Climate Change.
18. ISAT (Editor); GTZ (Editor). 1999. *Biogas Basics*. (= *Biogas Digest*, 1). Information and Advisory Services on Appropriate Technology (ISAT) and German Agency for Technical Cooperation GmbH (GTZ).
19. Lusk, P.D. 1998. *Methane Recovery from Animal Manures: The Current Opportunities Casebook*; National Renewable Energy Laboratory Colorado: Golden, CO, USA, Volume 3.
20. Mahony, T. O'Flaherty, V. et al. 2002. *Feasibility Study for Centralised Anaerobic Digestion for the Treatment of Various Wastes and Wastewaters in Sensitive Catchment Areas*. Ireland, Environmental Protection Agency.
21. McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 2): Conversion technologies. *Bioresour. Technol.* 83, 47-54.
22. Meher, L. C. Sagar, D. V. and Naik, S. N. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification-A review. *Renew. & Sustain. Energy Rev.* 10:248-268.
23. Mital, K. 1996. *Biogas System-Principle and Apps*. New age International (P) Ltd.
24. Mohammad, N. 1991. Biogas plants construction technology for rural areas. *Bioresour. Technol.* 35, 283-289. Utilization of biogas as a transport fuel. *Engineers J.* 59:571576.
25. Muneer, T. Maubleu, S. and Asif, M. 2006. Prospects of solar water heating for textile industry in Pakistan. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 10:1-23.
26. Murphy, J. D. 2005. CH₄ enriched biogas utilized as a transport fuel: The case for the
27. Murphy, J.D. and McKeogh, E. 2004. Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. *Renew. Energy* 29:1043-1057.
28. Ostrem, K. 2004. *Greening waste: AD for treating the organic fraction of municipal solid waste*. M.S. Thesis, Department of Earth and Environmental Eng., Columbia University, New York, NY.
29. Ostrem, K. Millrath, K. and Themelis, N. J. 2004. Combining anaerobic digestion and waste-to energy. 12th North American Waste to Energy Conference, Georgia, May 17-19.



30. Pei-dong, Z. Guomei, J. Gang, W. 2007. Contribution to emission reduction of CO₂, SO₂ by household biogas construction in rural China. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 11, 1903–1912.
31. Pender, S. Toomey, M. Carton, M. Eardly, D. Patching, J. W. Colleran, E. and O'Flaherty, V. 2004. Long-term effects of operating temperature and sulphate addition on the methanogenic community structure of anaerobic hybrid reactors. *Water Res.* 38:619–630.
32. Santerre, M.T. and Smith, K.R. 1982. Measures of appropriateness: The resource requirements of anaerobic digestion (biogas) systems. *World Dev.* 10, 239–261.
33. Santerre, M.T. Smith, K.R. 1982. Measures of appropriateness: The resource requirements of anaerobic digestion (biogas) systems. *World Dev.* 10, 239–261.
34. Santosh, Y. Sreekrishnan, T. R. Kohli, S. and Rana, V. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—A review. *Biores. Technol.* 95:1–10.
35. Scott, N. R. Zicari, S. Saikkonen, K. and Bothi, K. 2006. Characterization of dairy-derived biogas and biogas processing. Paper no. 064177. ASABE Annual Meeting, Portland, Oregon, July 9–12.
36. Subramanian, S.K. 1977. *Bio-Gas Systems in Asia*; Management Development Institute: New Delhi, India, Volume 11.
37. Surindra, S. 2010. Potential of domestic biogas digester slurry in vermintechnology. *Bioresour. Technol.* 101, 5419–5425.
38. Taleghani, G. and Kia, A. S. 2005. Technical Economical analysis of the Saveh biogas power plant. *Renew. Energy* 30:441–446.
39. Umetsu, K. Takahata, H. and Kawamoto, T. 1992. Effect of temperature on mesophilic anaerobic digestion of dairy cow slurry. *Res.Bull. Obihiro Univ.Ser.I* 17 (4), 401–408.
40. Verma, S. 2002. Anaerobic digestion of biodegradable organics in MSW. M.S. Thesis, Columbia University, New York, NY.
41. Werner, U. STOEHR, U. and HEES, N. 1989. *Biogas Plants in Animal Husbandry*. German Appropriate Technology Exchange and German Agency for Tech. Cooperation.
42. Yadvika Santosh, T. R. Striktishnan Kohli, S. Rana, V. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review doi: 10.1016/j.biortech. 02.010.
43. Zhang, D. 1989. An analysis of domestic biogas storage installations in China. *Biomass*, 20, 61–67.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Biogas production from organic wastes using anaerobic digestion method

Abstract

This article reviews biogas production process using anaerobic digestion, methods, properties and its applications as a renewable energy source. All types of biomass containing carbohydrates, proteins, fats and cellulose as main components can be used as raw material for biogas production. Anaerobic digestion is a collection of processes e.g., hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, and methanogenesis which microorganisms break down organic material in the absence of oxygen. The final products of anaerobic digestion are biogas and digestates. Biogas can be used readily for biogas stoves fuel, transport fuel, and electricity generation. As well, the digestates can be used as a fertilizer and compost. By replacing firewood and coal with biogas, carbon dioxide and sulfur dioxide emissions can be reduced between 397-4193 and 21.3-62 thousand tons per year, respectively. The biogas production in anaerobic digestion process can be affected by variation in parameters like temperature, PH, retention time, carbon/nitrogen ratio.

Keywords Biogas, Anaerobic digestion, biogas application, Environmental Impacts