

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

## بررسی فرآیند تولید بیوگاز

امین احمدپور - رضا متقی: شرکت ملی صنایع پتروشیمی - شرکت ره آوران فنون پتروشیمی

محمد پاکدل: شرکت ملی صنایع پتروشیمی - شرکت پتروشیمی شهید تندگویان

### چکیده:

گازهای گوناگون و مفیدی برای سوخت وجود دارد 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 دلیل اینکه به آسانی به مایع تبدیل می‌شود در سوخت سیلندر استفاده می‌شود. نوع دوم گاز طبیعی است که از دو منبع عمده منابع گاز مستقل گاز و گاز همراه (گاز حاصل از تفکیک نفت خام) تامین می‌شود و نوع سوم بیوگاز است. در سالهای اخیر محدودیت منابع و ذخایر فسیلی از یک سو و آلودگی و مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف بی رویه این سوختها از سوی دیگر موجب گردیده که در طی این سالها به منابع دیگر تولید انرژی توجه بیشتری شود. مصرف روزافزون انرژی حاصل از سوختهای فسیلی به واسطه انتشار آلاینده‌های حاصل از احتراق سوختهای فسیلی و افزایش دی‌اکسید کربن در اتمسفر و پیامدهای ناشی از آن جهان را با تغییرات تهدیدآمیزی روبرو کرده است. از دیگر سو محدودیت منابع فسیلی و غیرقابل تجدید بودن این منابع، پیشبینی افزایش قیمتها را موجب گردیده است تا آنجا که باعث شده سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش انرژی، انجام مطالعات ساختاری، تغییر حاملهای انرژی و حرکت به سوی سوختهای پاک را در رئوس برنامه‌های کاری خود قرار دهند و یکی از این گزینه‌ها، استفاده از انرژی حاصل از منابع زیست توده می‌باشد. از طرفی دیگر انتقال گاز از تاسیسات بالادستی به نواحی مصرف مستلزم احداث تعدادی واحدهای تقویت فشار گاز (تلمبه‌خانه) در مسیر انتقال می‌باشد که جهت جبران افت فشار اجتناب‌ناپذیر است. با در نظر گرفتن صرف هزینه‌های بالا جهت احداث خطوط طولی لوله انتقال گاز و واحدهای تقویت فشار و همچنین نیاز به پالایش‌های وسیع و ویژه جهت پیشگیری و کنترل وقوع حوادث غیر مترقبه در مسیر خط لوله و تلمبه‌خانه‌ها بهتر است استفاده از یک سوخت پاک، ارزان قیمت و قابل تولید در محل مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. بیوگاز سوختی است که با استفاده از پسابها و یا ضایعات دامپروری و کشاورزی در راکتورهای حاوی میکروارگانیسمهای بی‌هوازی، به روش بیولوژیکی تولید می‌شود. کنترل دما، PH و نحوه خوراک‌دهی به راکتور در بازدهی تولید بیوگاز و ترکیب درصد آن نقش به‌سزایی دارد.

### ۱- کلیات

#### ۱-۱- بیوگاز چیست و چه خصوصیات دارد

بیوگاز بر اثر واکنش‌های تجزیه‌ای بی‌هوازی میکرو ارگانیسم زنده در محیطی که مواد آلی وجود دارند تولید می‌شود. از این محیطها می‌توان به باتلاقها و مردابها اشاره کرد و گازی که در این محیطها تولید می‌شود، به گاز مرداب معروف است. دلیل نامگذاری این گاز به بیوگاز این است که بر اثر تجزیه بی‌هوازی مواد آلی و بیولوژیک به وسیله میکروارگانیسمهای زنده تولید می‌شود. بیوگاز مخلوطی از ترکیبات متان، دی‌اکسید کربن و سولفور هیدروژن و  $NH_3$  است. بیوگاز سوخت تمیزی است که ایجاد آلودگی محیطی نمی‌کند، در ضمن خطر انفجار بیوگاز کم است، و با توجه  $CO_2$  در آن به عنوان یک ضد آتش عمل می‌کند. افزایش  $CO_2$  در مخلوط بیوگاز انرژی حرارتی و قابلیت اشتعال آن را به شدت کاهش می‌دهد لذا با استفاده از فیلترهایی جهت جداسازی  $CO_2$  میزان انرژی حرارتی بیوگاز را افزایش می‌دهند. این مخلوط گازی که از تخمیر مواد زائد آلی در شرایط بی‌هوازی حاصل می‌شود دارای میزان ۷۰-۲۰ درصد متان، ۴۰-۳۰ درصد دی‌اکسید کربن و مقادیر ناچیز از

گازهای نظیر هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن، منو اکسید کربن و سولفید هیدروژن است و همان طور که مشخص است اعظم این گاز از متان و دی اکسید کربن تشکیل شده است ولی در عین حال نسبت ترکیبات مختلف آن بستگی به نوع مواد اولیه و نیز تا حدودی به میزان حرارت محیط و زمان مانند مواد در مخزن تخمیر دارد. بیوگاز منبع ارزشمندی از انرژی است که اغلب به هدر می‌رود. انرژی متان با ایمنی کامل جمع‌آوری می‌شود و به درستی ذخیره می‌گردد و می‌تواند منبع مهمی از انرژی باشد. از این گاز می‌توان به عنوان یک حامل انرژی مستقیماً جهت تامین انرژی حرارتی و روشنایی ساختمانها استفاده نمود یا اینکه جهت تولید برق در ژنراتورهای گازی به کار برد.

بیوگاز با شعله آبی رنگ می‌سوزد و وقتی با نسبت حجمی ۱ به ۲۰ (یک حجم بیوگاز و ۲۰ حجم هوا) با هوا مخلوط شود به شدت قابل اشتعال بوده و می‌تواند به منظور ایجاد حرارت، روشنایی و نیز پخت و پز قرار مورد استفاده قرار گیرد. ارزش حرارتی بیوگاز به درصد گاز متان تولید شده بستگی دارد که آن هم به کیفیت مواد آلی وارد شده به تانک تخمیر یا راکتور ارتباط مستقیم دارد و هر چه میزان متان تولید بیشتر باشد، در نتیجه قابلیت سوخت گاز بیشتر می‌شود. در صورتیکه تعداد دی‌اکسیدکربن در بیوگاز بیشتر از ۵۰٪ باشد بیوگاز قابل احتراق نیست. در واقع روزانه از مقادیر قابل توجهی از انرژی نهفته در مواد آلی بدون هیچ گونه استفاده به هدر می‌رود. لذا با اجرای فراگیر طرح بیوگاز با عنوان گامی نو در صنایع بازیافت می‌توان با صرف هزینه‌های اندک یا در مقیاس صنعتی با دیدگاه صرف هزینه‌های بازگشت‌پذیر به نتایج قابل توجهی دست یافت. حتی می‌توان در مناطق دور دست و صعب‌العبوری که دسترسی به سیستمهای گاز رسانی امکان‌پذیر نمی‌باشد بیوگاز را به عنوان یک منبع سوختی مهم مورد استفاده قرار داد.

## ۱-۲- مروری بر سوابق موجود در ایران و جهان

### ۱-۲-۱- نگاهی به تاریخچه بیوگاز در جهان

طی قرن دهم قبل از میلاد مسیح در آشور و در قرن شانزدهم در ایران از بیوگاز برای گرم کردن آب جهت حمام و شستشوی بدن استفاده می‌شد. در سال ۱۷۷۶ میلادی الکساندر ولتا نتیجه گرفت که بین مقدار مواد آلی فسادپذیر و میزان گاز قابل اشتعال رابطه مستقیمی وجود دارد. در سال ۱۸۹۵ اولین واحد تخمیر بی‌هوازی در بمبئی هند ساخته شده و در سال ۱۸۶۰ میلادی اولین واحد استفاده شده برای تصفیه مواد جامد فاضلاب به وسیله شخصی به نام اچ-موراس به کار گرفته شد [۱۰، ۱۴، ۱۷]. در اروپا برخی واحدهای بیوگاز بیشتر از ۲۰۰ سال است که مشغول به کار هستند و در حال حاضر بیش از ۶۰۰ واحد هاضم در اروپا مشغول به کار می‌باشند و تنها در کشور آلمان در حدود ۲۵۰ واحد بیوگاز طی پنج سال گذشته نصب شده است. در دنیا بیش از ۱۵۰۰ واحد بیوگاز در مقیاس صنعتی وجود دارد. ۴۴٪ کل واحدهای صنعتی در اروپا می‌باشد که از این تعداد ۳۰٪ آن در کشور آلمان و در استان OSTFRIESLAND به دلیل تراکم دامی و گسترده بودن صنعت کشاورزی مستقر هستند.

در حدود ۲۵ سال است که تلاش گسترده در توسعه تولید گاز در این کشور صورت گرفته است و در حال حاضر ۲۰۰۰ واحد تولید بیوگاز در آلمان فعال هستند که بیشتر آنها در مقیاس خانگی می‌باشند و ۲۵۰ واحد صنعتی است. در کشور دانمارک نیز که از نظر تولید بیوگاز دارای تجارب بسیاری می‌باشد ۲۰ واحد صنعتی تولید بیوگاز جهت هضم و تجزیه فضولات دامها، تصفیه پسابهای آلی صنایع و ضایعات جامد شهری وجود دارد [۱۶]. در انگلستان نیز تولید بیوگاز از سال ۱۸۹۵ صورت گرفته که بیوگاز تولیدی حاصل عملکرد تجهیزات تصفیه فاضلاب بوده و به عنوان سوخت روشنایی لامپهای خیابان استفاده می‌شده.

۱۴٪ کل واحدهای صنعتی تولید بیوگاز در آمریکای شمالی مستقر هستند و اولین هاضم تصفیه‌کننده ضایعات جامد شهری در آمریکا (۱۹۳۹-۱۹۷۴) فعالیت می‌کرد [۲۷]. در واقع از نیمه اول قرن بیستم در بسیاری از کشورها ساخت دستگاههای تولیدکننده بیوگاز و استفاده از گاز حاصل به منظور پخت و پز، تامین روشنایی و به کار انداختن موتورهای احتراقی وسایل نقلیه به سرعت توسعه یافت و در این بین کشورهای چین و هند بیش از سایر کشورها دیگر به ساخت و

بهره‌برداری از دستگاه‌های تولیدکننده بیوگاز پرداخته‌اند. بیش از نیم قرن پیش در تصفیه‌خانه‌های فاضلابهای شهری در اروپا استفاده از گاز متان حاصل از تخمیر مواد بیولوژیکی مطرح بود اما استفاده از بیوگاز به صورت متداول از جنگ جهانی دوم به بعد مطرح شد و در ده سال اخیر به علت کمبود انرژی و افزایش قیمت آن در کشورهای واردکننده مواد سوختی مورد توجه قرار گرفته است.

### ۱-۲-۲-۱- نگاهی به تاریخچه بیوگاز در ایران

حمام شیخ بهایی (مربوط به قرن دوازدهم) احتمالاً نخستین حمام بوده که به وسیله 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 متر مکعبی در دانشگاه صنعتی شریف مورد مطالعه قرار گرفت. در سال ۶۵-۱۳۶۱ مرکز تحقیقات انرژی 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 سبب لی از توابع 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 ۶۵-۶۳ 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. در مورد هاضمهای لجن و راکتورهای تصفیه بی‌هوازی فاضلاب در ایران، باید گفت که متأسفانه هم اکنون از بیوگاز هاضمهای لجن در هیچ یک از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری استفاده نمی‌گردد و راکتورهای بی‌هوازی نیز کمتر از ۱۰ واحد می‌باشد.

### ۱-۲-۲-۱- پتانسیل تولید بیوگاز در ایران

بیوگاز را می‌توان از تخمیر سه گونه زیست توده به دست آورد.

الف- فضولات دامی و زائدات کشاورزی

ب- فاضلابهای شهری و صنعتی

پ- زباله‌های شهری

با استفاده از مطالعه عدل و همکاران، نتایج پتانسیل تولید بیوگاز در ایران را می‌توان چنین خلاصه نمود [۵]

i. مقدار فضولات دامی قابل دسترس در ایران ۷۴۹۴۶ هزار تن در سال بوده که بیوگاز قابل تولید از آن ۸۶۶۸ میلیون متر مکعب می‌باشد.

ii. جرم زایدات کشاورزی و جنگلی در ایران ۲۳۱۴۷/۵ هزار تن در سال بوده که بیوگاز قابل تولید از آنها ۵۴۷۵/۸ میلیون متر مکعب می‌باشد.

iii. اگر شهرهای بالای ۱۰۰ هزار نفر را ملاک قرار دهیم و با استفاده از فرایند بی‌هوازی فاضلاب را تصفیه نماییم، بیوگاز حاصل از تصفیه بی‌هوازی حدود  $245 \approx 107/8$  میلیون متر مکعب خواهد بود. اگر فرایند هوادهی به کار ببریم این مقادیر کمتر خواهد شد. برای نمونه در فرایند روش لجن فعال، میزان بیوگاز حاصله از هاضمهای لجن در حدود  $209 \approx 107/8$  میلیون متر مکعب خواهد بود.

۱۷. بیوگاز حاصل از فاضلاب‌های صنعتی بسیار متغیر می‌باشد. این مقدار بستگی به نوع صنعت، نوع فرایند تصفیه و مقدار فاضلاب دارد. برای مثال بیوگاز قابل تولید از صنایع بزرگ غذایی (روغن نباتی، الکل‌سازی، کنسرو، کمپوپ، شیلات و...) در کشور در حدود  $۲۷۹/۴ \approx ۸۱/۵$  میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می‌شود.

۱۸. با فناوری موجود، میانگین سالانه استخراج گاز از محلهای دفن زباله حدود ۷ متر مکعب از هر تن زباله می‌باشد که در مقایسه با بازده تولید بیوگاز بسیار پایین است. استخراج گاز در این شرایط برای شهرهای بزرگ مقرون به صرفه خواهد بود. اما با بهره‌گیری از فرایند هضم بی‌هوازی زباله‌های فسادپذیر، مجموع بیوگاز قابل تولید در کشور (با فرض ۶۰٪ بازدهی فرایند)  $۱۶۴۵/۷$  میلیون متر مکعب بیوگاز در سال به دست می‌آید.

۱۹. دیده می‌شود که تنها از منابع فوق به طور میانگین سالانه  $۱۶۱۴۶/۳۵$  میلیون متر مکعب بیوگاز (۹۱۷۵ میلیون متر مکعب متان قابل استحصال می‌باشد، با فرض ارزش حرارتی متان  $۳۶/۷ \text{ Mj} / \text{m}^3$ ، این حجم  $۱۰^{۱۱} \times ۳/۳۶۷$  ژول انرژی خواهد بود.

### ۱-۲-۲-۲-۱ واحدهای بیوگاز روستایی

در یک تقسیم‌بندی کلی، واحدهای بیوگاز به نحوی که در پی می‌آیند تقسیم‌بندی می‌شوند:

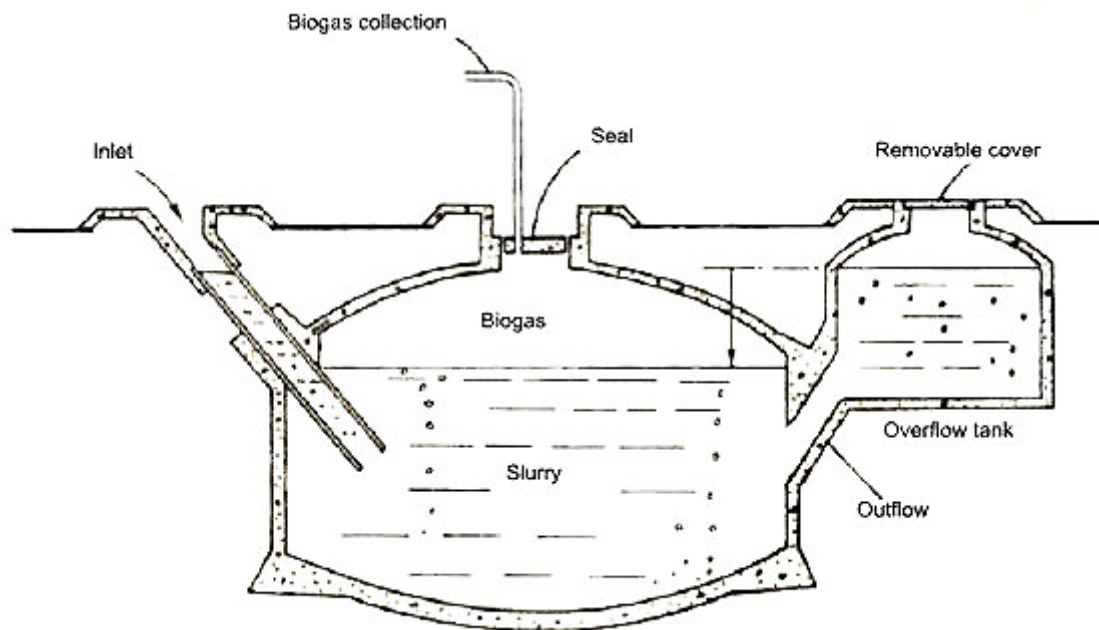
۱) واحدهای بالونی، ۲) واحدهای مخزن گاز ثابت، ۳) واحدهای مخزن گاز متحرک، چون از واحدهای بالونی تاکنون در ایران ساخته نشده است از ذکر جزئیات آن خودداری می‌شود.

### ۱-۲-۲-۳-۱ واحدهای مخزن گاز ثابت

واحدهای مخزن ثابت گاز که در ایران به نام بیوگاز چینی شناخته شده‌اند [۶]، دارای مخزن گاز ثابت غیر متحرک‌اند. گاز حاصل در قسمت فوقانی هاضم ذخیره می‌شود. هنگامی که 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 متر مکعب در نظر نمی‌گیرند. اگر میزان گاز در مخزن ذخیره شده اندک باشد، فشار گاز پایین خواهد بود [۱۹].

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

معایب: غالباً گاز واحدها را نمی‌توان کاملاً مهار نمود (نفوذپذیری و ترک‌خوردگی)، غالباً فشار گاز خیلی بالا بوده و به میزان زیادی در حال تغییر می‌باشد. دمای هاضم پایین است. بنابراین در مناطق سردسیر کارایی ندارد. نیاز به مدیریت صحیح (تحت نظارت افراد آموزش دیده) داشته تا بازده خوبی به دست آید. (شکل ۱)

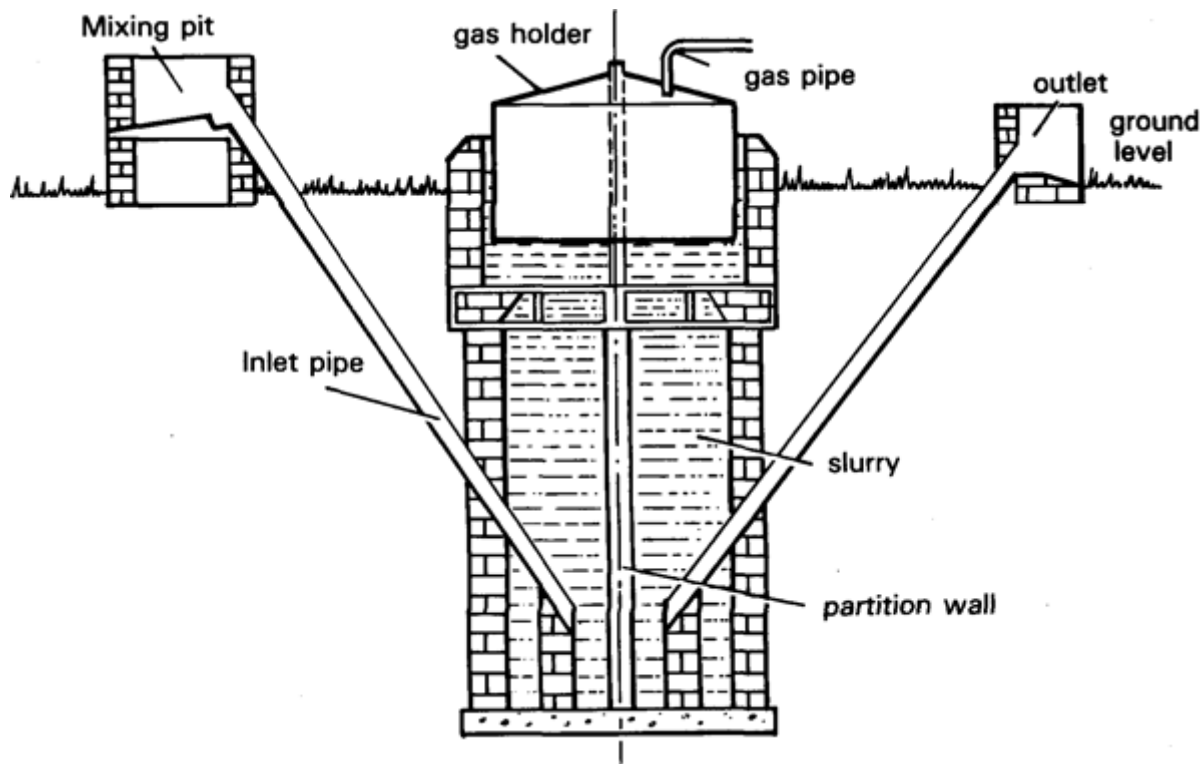


شکل (۱): واحد بیوگاز با مخزن ثابت

#### ۱-۲-۲-۴- واحدهای مخزن گاز متحرک

واحد با مخزن گاز متحرک- که در ایران به نام بیوگاز هندی شناخته شده [۶]، شامل هاضم و مخزن نگهدارنده گاز متحرک است. 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 کار 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 به طور مستقیم قابل رویت است و در ساختمان آن اشتباه کمتری رخ می‌دهد.

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



شکل (۲): واحد بیوگاز با مخزن متحرک

### ۱-۲-۲-۵-انواع واحدهای ساخته شده در ایران

از انواع یاد شده نوع بالونی در ایران ساخته نشده است و از حدود ۶۰ واحد بیوگاز ساخته شده [۳]، نوع مخزن متحرک بیشتر بوده است. با مطالعاتی که جهاد سازندگی بر روی دستگاههای مولد بیوگاز در پاره‌ای از کشورهای جهان انجام داده، از دو نوع مولدهای ثابت و شناور دستگاههای مولد بیوگاز از نوع شناور برای کشور مناسب‌تر تشخیص داده شده است. مرکز تحقیقات و انرژی‌های نو سازمان 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 است [۷].

همانگونه که اشاره شد، مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی به صورت پراکنده کارهایی در این زمینه انجام داده‌اند 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 به کار 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 بهره‌برداری رسانید. اما بعداً هر دوی این واحدها از سوی اداره بهداشت تخریب شدند. در برخی گزارشها چنین ذکر شده که بیوگاز از نوع شناور حدود ۴۰٪ گرانتر از نوع ثابت هزینه دارد، همچنین با توجه به ساخت ساده، عمر طولانی و تعمیرات اندک، برخی از کارشناسان بیوگاز با مخزن ثابت را کلاً ترجیح داده‌اند [۲۹، ۲۰، ۲۱]. مسئولین احداث واحدهای بیوگاز وزارت جهاد سازندگی، نکاتی را مطرح کرده‌اند که قضاوت‌های فوق را مورد تردید قرار می‌دهد. ایشان اشاره کردند که از ۴۰ دستگاه 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 راه‌حلهای کارشناسان چینی در این موارد کارساز نبوده است. آخر الامر این ۷ دستگاه نیز به مدلهای شناور تبدیل شدند. مهمترین مشکل از نظر ایشان تامین دمای لازم برای هضم بوده است. در

مقابل این پرسش که آیا در مناطق گرمسیر نیز چنین مشکلی وجود داشته است، اشاره داشتند به چند دستگاه بیوگاز با مخزن متحرک که توسط سازمان انرژی اتمی در استان سیستان و بلوچستان احداث شده و به مرحله گزدهی 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 جهادسازندگی، 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 گرمایشی هاضم در مناطق سردسیر را ضروری دانسته و در غیر این صورت توصیه می‌نماید که از بیوگاز در این مناطق چشم‌پوشی شود.

مجموعه نکات فوق این نتیجه را به دست 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 این صورت واحدهایی 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، امکان‌پذیر نیست. برای انتخاب صحیح مدل بیوگاز نیاز به همه اطلاعات ساخت نظیر حجم هاضم، حجم مخزن گاز، جزییات سرپوش و جزییات ورودی و خروجی و اطلاعات راهبری پایش شده (از جمله نوع خوراک، مقدار ترکیب خوراک با آب، درصد تولید گاز، درصد گازهای جزیی تشکیل دهنده 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 پیروی انسانی ماهر را در بر می‌گیرد [۱۵، ۱۶، ۱۷]. همان طور 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 جهان سوم شهرت پیدا کرده است. اگر این نکته را بپذیریم که صنعت ساختمان که زیر گروه‌های زیادی از جمله سازه، مکانیک و برق را دارد، در ایران بالنسبه پیشرفته است، می‌توان حکم داد که با توجه به بررسی‌های فوق سازندگان احتمالی بیوگاز روستایی در ایران می‌توانند بسیاری از شرکتهای ساختمانی و تاسیساتی باشند. در تایید 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 سازندگی هیچ گونه مشکلی اجرایی نداشته و همه وسایل و استادکاران در محل احداث وجود داشته‌اند. حتی سرپوش متحرک دستگاه که ساخت نیاز به مهارت بیشتری نسبت به سایر اجزا دارد، در کارگاههای محلی ساخته شدند [۲۱]، همچنین مهندس شیخ الاسلامی اظهار می‌داشت 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 جزییات-مثل اتصالهای ضعیف و قوی در پوسته کروی-سهل‌انگاری به وجود نیاید [۴، ۸].

پس در مجموع می‌توان گفت که طراحان این دستگاهها می‌توانند وزارتخانه‌ها یا سازمانهای باشند که در این زمینه فعالیت داشته‌اند. مشاورین و پیمانکاران نیز می‌توانند کلیه شرکتهای ساختمانی-تاسیساتی، خصوصاً شرکتهای فعال در احداث و بهره‌برداری پروژه‌های فاضلاب باشند. این شرکتهای نیز می‌توانند کار را به پیمانکاران محلی واگذار کرده، خود بر کار آنها نظارت داشته و بعضی مصالح یا تجهیزات مورد لزوم را تهیه نمایند.

### ۱-۳- مشخص نمودن شرایط عملیاتی راکتورهای بیهوازی

هر جامعه در اثر مصرف پسماند تولید می‌کند که این پسماند می‌تواند مایع یا جامد باشد. بخش مایع را اصطلاحاً پساب یا فاضلاب می‌گویند که در اثر مصرف آب و آلوده‌سازی آن بر اثر مصارف مختلف به وجود می‌آید. فاضلاب ترکیبی است از مایع یا



آب حاوی مواد زاید که از آزمایشگاه‌ها، جوامع و صنایع دفع می‌شود و می‌تواند با آب‌های سطحی، زیر زمینی و جریان‌های سیلابی همراه باشد.

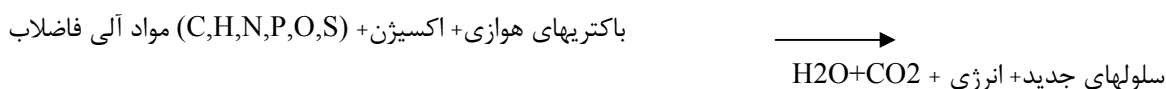
روش‌های مختلفی برای تصفیه این فاضلاب وجود دارد که همه این روشها به سه شکل عمده فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تقسیم می‌شوند [۲۱].

### ۱-۳-۱- تصفیه بیولوژیکی

هدف از تصفیه بیولوژیکی فاضلاب تصفیه شیمیایی، حذف مواد محلول و کلئیدی غیرقابل ته‌نشینی و تثبیت مواد آلی می‌باشد. برای ایجاد یک چنین فرایند طبیعی در یک زمان محدود و معقول تعداد زیادی میکروارگانیسم قابل دسترس در یک مخزن نسبتاً کوچک (راکتور) لازم است. با آنالیز مناسب و کنترل عوامل محیطی، بسیاری از فاضلابها قابل تصفیه بیولوژیکی می‌باشند. به طور کلی روشهای تصفیه بیولوژیکی به دو گروه هوازی و بی‌هوازی طبقه‌بندی می‌شوند.

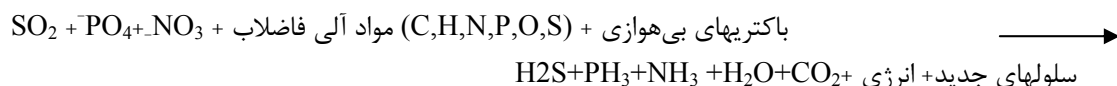
### ۱-۱-۳-۱- تصفیه هوازی

در این روش باکتریهای هوازی استفاده از اکسیژن محلول و یا تزریقی به فاضلاب مواد آلی را به صورت زیر تجزیه می‌نمایند.



### ۱-۲-۳-۱- تصفیه بیهوازی

در این روش باکتریهای بی‌هوازی با استفاده از اکسیژن موجود در ترکیبات شیمیایی از قبیل  $\text{SO}_4$  و  $\text{NO}_3$  ترکیبات آلی را به صورت زیر تجزیه می‌نمایند و انرژی حاصل از آن را جهت فعالیت و تکثیر مورد استفاده قرار می‌دهند.



### ۱-۳-۱-۳- مقایسه تصفیه هوازی و تصفیه بیهوازی

فرایندهای تصفیه بی‌هوازی از حدود ۲۰۰۰ سال قبل به کار گرفته شده‌اند اما به دلیل پایین بودن راندمان و سرعت کم صرفاً در هضم لجن غلیظ مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند و گاز متان متساعد شده به اتمسفر رها می‌گردید. تا اینکه در دهه هفتاد میلادی تحقیقات در این زمینه افزایش سرعت واکنش در این سیستمها منجر به ابداع فرایندهایی با سرعت بالاتر شد، به طوری که آنها را قابل رقابت با فرایندهای هوازی نمود و امروزه سیستم‌های بی‌هوازی به عنوان یک روش ارزان قیمت در کشورهای در حال توسعه جهت تصفیه اغلب فاضلاب‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر یک از روشهای تصفیه هوازی و بی‌هوازی از امتیازات و معایبی برخوردار می‌باشند که به صورت اجمالی به آنها اشاره خواهیم داشت.

### ۱-۳-۱-۴- مزایای فرایندهای بیهوازی در مقایسه با هوازی [۲۱، ۳۰]

الف- تولید لجن بسیار

باکتریهای هوازی رشد بسیار بالایی داشته و قسمت اعظم مواد آلی را به سلولهای جدید تبدیل می‌کنند به طوری که به ازای هر ۱ کیلوگرم COD حدود ۵۰ کیلوگرم VSS تولید می‌شود در حالی که در سیستم‌های بی‌هوازی تقریباً ۱۰ کیلوگرم

VSS تولید می‌شود. در فرایند هوازی مواد آلی از فاضلاب جدا شده و به سلولهای جدید میکروبی تبدیل می‌گردند که در این صورت مواد آلی تثبیت نشده‌اند بلکه تغییر شکل داده‌اند با این تفاوت که سلولها، قابل جداسازی از فاضلاب هستند. در این روش حجم لجن تولید شده مشکلات فراوانی را ایجاد می‌کند ولی قسمت اعظم مواد آلی قابل تجزیه بوده و به گاز متان و دی اکسید کربن تبدیل می‌گردند و این نشان‌دهنده تثبیت فاضلاب است.

ب- احتیاج کم به مواد مغذی

از آنجا که در تصفیه بی‌هوازی قسمت کوچکی از فاضلاب به سلولهای جدید تبدیل می‌شود احتیاج به مواد مغذی همچون ازت و فسفر کم است. در حالی که در سیستم‌های هوازی، غلظت فسفر و ازت برای تأمین نیاز باکتریایی، بایستی نسبت  $BOD_5:N:P$  حدوداً برابر ۱:۵:۱۰ باشد و این موضوع در تصفیه فاضلابهای صنعتی که تا حدودی تهی از این عناصر است حائز اهمیت است [۱۵].

ج- عدم احتیاج به اکسیژن و تجهیزات هوادهی

در روشهای هوازی مقدار اکسیژن عامل محدودکننده‌ای در تصفیه به شمار می‌آید. برای مثال هوادهی نفوذی  $mg/l.h$  ۴۵ و هوادهی سطحی مکانیکی  $mg/l.h$  ۶۰ تا ۷۵ و سیستم‌های انتقال‌دهنده گاز اکسیژن خالص  $mg/l.h$  ۱۵۰ را می‌توانند انتقال دهند و سیستم‌های لجن فعال تقریباً مقدار  $mgO_2/mgBOD$  ۱ اکسیژن را مورد مصرف قرار می‌دهند. برای مثال فاضلابهای شهری بعد از ته‌نشینی دارای  $BOD_5$  معادل  $mg/l$  ۱۴۵ می‌باشند. در سیستم‌های لجن فعال در صورت استفاده از هوادهی نفوذی ۵ ساعت در صورت انتقال‌دهنده اکسیژن خالص ۱/۵ ساعت وقت برای هوادهی لازم است. برای فاضلاب‌های صنعتی که دارای بار آلی زیاد می‌باشند زمان لازم برای هوادهی خیلی بیشتر خواهد شد به همین علت برای فاضلاب صنعتی سیستم بی‌هوازی مناسب‌تر خواهند بود زیرا در این صورت هزینه‌ها بسیار کاهش خواهد یافت.

د- تولید محصول نهایی باارزش

گاز متان تولید شده در روش بی‌هوازی منبع مفیدی برای تأمین انرژی است و معمولاً برای گرم کردن ساختمانها و یا گرمایش جریان ورودی فاضلاب به راکتور استفاده می‌شود.

ه- لجن تثبیت شده

لجن تولید شده در سیستم بی‌هوازی می‌تواند به مدت یک سال یا حتی بیشتر بدون آنکه در آن تخریب ایجاد شود (لجن متعفن شود)، حفظ شده و دوباره مورد استفاده قرار گیرد در حالی که در فرایندهای هوازی با قطع شدن هوا، باکتری‌های بی‌هوازی شروع به رشد کرده و باعث تخریب لجن می‌گردند (لجن متعفن می‌شود) [۲۱].

### ۱-۳-۱-۵- معایب فرایندهای تصفیه بی‌هوازی در مقایسه با فرایندهای هوازی

الف- زمان راه‌اندازی اولیه طولانی

مدت راه‌اندازی سیستم تصفیه بی‌هوازی معمولاً ۸ الی ۱۲ هفته می‌باشد در حالی که راه‌اندازی سیستم هوازی ۲ الی ۳ هفته طول می‌کشد. که این، به خاطر رشد نسبتاً کند باکتری‌های متان‌زا در فرایندهای بی‌هوازی می‌باشد.

ب- استفاده از سیستم بی‌هوازی به عنوان پیش‌تصفیه

از سیستم بی‌هوازی معمولاً به عنوان پیش‌تصفیه استفاده می‌شود. چرا که راندمان تصفیه سیستم‌های بی‌هوازی پایین است (در حدود ۸۰٪) بنابراین COD فاضلاب خروجی نمی‌تواند زیاد پایین باشد، بنابراین جهت تثبیت بیشتر فاضلاب باید به دنبال سیستم‌های هوازی استفاده کرد.

ج- تاثیر درجه حرارت

درجه حرارت عامل تأثیر گذار بر روی فرایندهای هوازی و بی‌هوازی می‌باشد. فرایندهای بی‌هوازی در مقایسه با فرایندهای هوازی به دلیل داشتن راندمان بالا احتیاج به درجه حرارت بالاتری دارند. اطلاعات موجود نشان می‌دهد که هر  $10^{\circ}\text{C}$  افت درجه حرارت، سرعت واکنشهای هوازی و بی‌هوازی را به نصف کاهش می‌دهد. برای جبران کاهش راندمان می‌توان از گاز متان تولید شده برای گرم کردن خوراک استفاده کرد اما از آنجا که فاضلابهای رقیق نمی‌توانند به اندازه کافی گاز متان برای گرم کردن فاضلاب ورودی تولید کنند. در نتیجه به دلیل پایین بودن درجه حرارت، راندمان تصفیه در سیستم‌های بی‌هوازی افت خواهد کرد.

د- تجربه اندک

از آنجا که کاربرد سیستم‌های بی‌هوازی جهت تصفیه مستقیم فاضلاب صنعتی طی سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است، در مقایسه با سیستم‌های هوازی تجربه محدودی در راه اندازی و راهبری این سیستم‌ها وجود دارد.

ه- تأثیر نامناسب شوکها بر روی آن

تغییرات در شرایط محیطی از قبیل تغییر ناگهانی دما، PH، وجود مواد سمی در فاضلاب ورود ناگهانی آن به سیستم بی‌هوازی تأثیر منفی بر فرایند خواهد داشت و در مواردی که به طور کلی سبب مرگ باکتریها شده و از کار افتادن سیستم را به دنبال دارد. که در مقایسه با فرایند هوازی تأثیر موارد فوق در فرایند بی‌هوازی بیشتر است [۲۱].

### ۱-۳-۲- تاریخچه کاربرد فرایندهای بی‌هوازی

هضم بی‌هوازی فرایندی است طبیعی که در آن میکرو ارگانیسم‌های مختلف برای تبدیل ترکیبات آلی به بیوگاز با یکدیگر کار می‌کنند. ولتا اولین کسی بود که ارتباط بین فساد گیاهان و گاز قابل اشتعال را فهمید. در سال ۱۷۷۶ او نشان داد که " هوای قابل احتراق" از رسوبات دریاچه‌ها و، آبگیرها و جوی‌ها تشکیل می‌شود. نخستین استفادهٔ تجهیز بی‌هوازی، برای تصفیه پساب خانگی و با استفاده از فیلترهای بی‌هوازی و سیستم‌های هیبریدی بوده است، که ترکیبی از مخزن بی‌هوازی در یک فیلتر بی‌هوازی.

اولین فرایند ثبت شده تصفیه بی‌هوازی یک محفظه بدون منفذ (کیپ) می‌باشد که در دههٔ ۱۸۶۰ در فرانسه گسترش داده شد [۲۲]. بر این اساس در سال ۱۸۹۵ دونالد کامرون نوعی از تانک سپتیک را در انگلیس برای تصفیه پساب شهر اگزیر (در جنوب غربی انگلیس) گسترش داد، در حالی که در سال ۱۸۹۴ تالبوت تانک سپتیک مشابهی با چند جدا کننده (baffle) در شهر ایلینوز<sup>۱</sup> در آمریکا به کار برده بود.

در نیمه اول قرن بیستم، فرایندهای بی‌هوازی به ویژه برای هضم (تثبیت) جامدات معلق به کار برده می‌شدند. در طی دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ علاقه به مصرف متان تولید شده در هاضم‌های لجن به ویژه در آلمان افزایش یافته و همچنین از گاز برای گرم کردن هاضم‌ها نیز استفاده می‌شد. در سال ۱۹۲۷ در آلمان گاز حاصل از لجن (بیوگاز) برای تولید برق تصفیه خانه بیولوژیکی مورد مصرف قرار گرفت. این مورد هم اکنون در تمام جهان رایج است.

توسعهٔ تصفیه بی‌هوازی پسابهای صنعتی در نیمه دوم قرن بیستم شروع شد. همچنین بوسول<sup>۲</sup> مطالعات گسترده‌ای را در این باره انجام داد. به منظور کاهش اندازهٔ سیستم‌های بی‌هوازی در دههٔ ۱۹۵۰ استاندر<sup>۳</sup> در آفریقای جنوبی تانک امحای و اصلاح شده‌ای را با یک ته‌نشین کننده داخلی در بالای آن ابداع کرد [۲۶]. در این دوره [۲۵] راکتوری را با سیرکولاسیون لجن از

1 - Illions

2 - Buswell

3 - Stander

تانک ته‌نشین شبیه تصفیه خانه بی‌هوای مورد استفاده قرار داد. این فرایند، فرایند تماس بی‌هوای نامیده شد. تصفیه بی‌هوای پساب صنعتی پس از بحران انرژی در اوایل دهه هفتاد میلادی قرن گذشته توسعه زیادی پیدا کرد زیرا تصفیه بی‌هوای نسبت به تصفیه هوای بازده انرژی زیادی دارد. همچنین یکی از فاکتورهای مهم جهت توسعه شناخت، اهمیت زمان اقامت جامدات بود. نتیجه مفاهیم جدید راکتور این بود که حجم راکتور کاهش یافت و توانست بارهای آلی بیشتر از فرایندهای تصفیه هوای مرسوم را با راکتورهای بی‌هوای سازگار کند. برجسته‌ترین این سیستم‌های جدید، فرایند UASB می‌باشد که توسط Lettinga در هلند گسترش داده شده است [۱۸].

در دو دهه اخیر تمایل به کاربرد پیش تصفیه بی‌هوای برای پسابهای خانگی در کشورهای با آب و هوای گرم نمایان شده است که معمولاً پس از تصفیه بی‌هوای تصفیه هوای قرار می‌گیرد.

### ۱-۳-۳- میکروبیولوژی فرایند

به نظر می‌رسد تجزیه مواد آلی در فرایند تصفیه بی‌هوای در سه مرحله انجام می‌شود: اولین مرحله مربوط به تجزیه مواد آلی سنگین در هاضم‌های بی‌هوای به ترکیبات مناسب به عنوان منبع انرژی می‌باشد که به این مرحله هیدرولیز می‌گویند. دومین مرحله مربوط به تجزیه ترکیبات مرحله اول توسط باکتریها می‌باشد که در این مرحله ترکیبات حاصل از مرحله اول به ترکیبات واسطه‌ای با جرم مولکولی کمتر تبدیل می‌شود و به این مرحله اسیدزایی می‌گویند.

و سومین مرحله در ارتباط با تبدیل باکتریایی ترکیبات واسطه‌ای به محصولات نهایی ساده‌تر که به طور عمده متان و دی‌اکسید کربن می‌باشند است، که به این مرحله، مرحله متان‌زایی می‌گویند.

در یک فرایند بی‌هوای، یک گروه از میکروارگانیسمها مسئولیت هیدرولیز پلمیرهای آلی و چربی را به عهده دارند. دومین گروه باکتریهای بی‌هوای تولیدات شکسته شده را تخمیر کرده، به اسیدهای آلی ساده تبدیل می‌کنند که متداول‌ترین این اسیدها، اسید استیک می‌باشد. به این گروه که از باکتریهای بی‌هوای اختیاری و اجباری هستند، باکتریهای اسیدزا می‌گویند. سومین گروه از باکتریها هیدروژن و اسید استیک حاصل از گروه اسیدزا را به متان تبدیل می‌کنند. این گروه را باکتریهای متان‌زا می‌نامند که باکتریهای کاملاً بی‌هوای هستند. باکتریهای گروه متان‌زا به دلیل اینکه سرعت رشد بسیار کمی دارند کل فرایند بی‌هوای را متأثر ساخته و به عنوان یک عامل محدودکننده در سرعت کل فرایند عمل می‌کنند و به همین دلیل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. برای ابقای یک سیستم بی‌هوای با راندمان خوب باکتریهای متان‌زا و غیر متان‌زا باید در حالت تعادل دینامیکی باشند و برای برقراری چنین حالتی فاضلاب داخل راکتور باید فاقد اکسیژن محلول بوده و ترکیباتی مانند فلزات سنگین و سولفیدها، که مانع رشد هستند، وجود نداشته باشد.

### ۱-۳-۴- مراحل مختلف تجزیه بیولوژیکی به روش بی‌هوای

یک سیستم سه مرحله‌ای برای تبدیل مولکول‌های سنگین به گاز متان و دی‌اکسید کربن در نظر گرفته شده است که شامل موارد ذیل می‌باشد:

- هیدرولیز پروتئین، لیپیدها، کربن‌هیدراتها، قند و آمینو اسیدها
- اکسیداسیون بی‌هوای چرب با زنجیر طولانی، الکل‌ها و اسیدهای چرب فرار
- تبدیل استات هیدروژن به متان

### ۱-۳-۴-۱- هیدرولیز

به دلیل اینکه باکتریها فقط می‌توانند مواد آلی محلول را گرفته و مصرف کنند، جذب میکروبی بیوپلمرها در قدم اول نیازمند شکسته شدن و یا هیدرولیز می‌باشند. این فرایند توسط آنزیم‌های خارج سلولی صورت می‌گیرد و همچنین ذرات بزرگتر که نسبت سطح به حجم آنها کوچک می‌باشند در مقایسه با ذرات کوچکتر با سرعت کمتری هیدرولیز می‌شوند، پس با

اطمینان می‌توان گفت مواد نشاسته‌ای، پروتئین‌ها و سلولز با سرعت متفاوتی تجزیه می‌گردند. متان و  $CO_2$  در نتیجه تجزیه ترکیبات محلول تولید می‌شوند. بنابراین سرعت کاهش خالص ذرات و سرعت تجمع ترکیبات محلول می‌تواند برای تخمین سرعت تولید گاز استفاده شود. سیستم‌های که حاوی کربوهیدرات (بیشتر از ۱۰٪ کل محلول) باشند مانند قند و نشاسته به راحتی هیدرولیز شده و به سرعت اسیدی می‌شوند. تبدیل سوبستره (مواد آلی فاضلاب) در چنین سیستمی به تشکیل گاز متان منجر خواهد شد و یک شوک ناگهانی در میزان باردهی می‌تواند منجر به افزایش در تولید اسید شود که در نهایت نمی‌تواند با افزایش مشابه در متان‌زایی جبران شود. تولید اسیدهای واسطه سبب کاهش PH می‌شوند و در نتیجه بازدارندگی بیشتر در تولید متان صورت خواهد رفت.

### ۱-۳-۴-۲- تخمیر

باکتریهای مخمر، مواد محلول تولید شده در مرحله هیدرولیز را جذب و پس از متابولیسم، آنها را به صورت ترکیبات ساده آلی و معدنی دفع می‌کنند. به این فرایند که در آن اسیدهای آلی، الکل و مقدار کمی ترکیبات معدنی تولید می‌شود در اصطلاح مرحله اسید ساز می‌گویند. باکتریهای بی‌هوازی می‌توانند قسمت اصلی انرژی خود را از واکنش‌های اکسیداسیون و احیا که در آن الکترون‌ها از دهنده الکترون (ماده آلی واسطه و حاصل از شکستن قند) به پذیرنده الکترون (ماده آلی دیگر) در فرایند تخمیر انتقال می‌یابد به دست آورند. عموماً قندها متداولترین سوبستره برای تخمیر بی‌هوازی هستند اما برخی باکتریهای بی‌هوازی می‌توانند اسیدهای چرب، آمینو اسیدها، پورین و یا پریمیدن‌ها را تا حد متوسط تخمیر کنند.

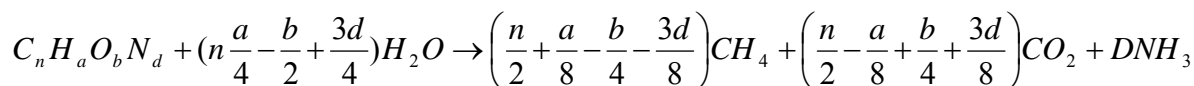
### ۱-۳-۴-۳- تولید گاز متان

در مرحله متان‌سازی، استات به متان تبدیل می‌شود. این عمل توسط دو گونه از باکتریهای متان‌ساز انجام می‌شود که بی‌هوازی هستند. یک گروه متان را از استات و گروه دیگر متان را از هیدروژن تولید می‌کنند. منشاء حدود ۷۰٪ از متان تولید شده در یک سیستم بی‌هوازی استات می‌باشد. شکسته شدن اسید استیک به متان توسط متان‌سازها از لحاظ کنیتیکی آنالیز شده و سه فاز ذیل تشخیص داده شده است:

- افزایش و تجمع استات، سرعت متان‌سازی را افزایش می‌دهد
- وجود یک ضریب تقریباً ثابت در سرعت تولید متان
- افت سریع متان به همراه افت استات

### بحث و نتیجه گیری

برای بسیاری از انواع پسابها تولید بیوگاز به عنوان یک منبع خوب انرژی تجدیدپذیر می‌باشد. از لحاظ تئوری، در حدود  $0.5m^3$  بیوگاز به ازای تبدیل  $1 \text{ kgCOD}$  تولید می‌شود. مبنای اساسی تخمیر بی‌هوازی این است که قسمتی از کربن کاملاً اکسید شود در حالی که قسمت دیگر کاملاً احیا می‌شود با این نتیجه که درجه میانگین اکسیداسیون کربن یکسان باقی می‌ماند نیتروژن و اکسیژن کاملاً احیا می‌شوند. با فرض اینکه مولکول آلی، فرمول عمومی  $C_nH_aO_bN_d$  دارد، جزء  $x$  کربن به  $CH_4$  تبدیل می‌شود (درجه اکسیداسیون  $C = -4$ ) و جزء  $(1-x)$  کربن به  $CO_2$  تبدیل می‌شود (درجه اکسیداسیون  $C = +4$ ) و به حساب آوردن اینکه درجه اکسیداسیون تغییر نمی‌کند، می‌توان گفت که درجه اکسیداسیون مولکول آلی  $\frac{2b+3d-a}{n}$  برابر است با  $-4x+4(1-x)$ . از این نتیجه معادله بوسول حاصل می‌شود که بیانگر تولید بیوگاز تئوری است که از هر مولکول آلی تولید می‌شود:



مقدار واقعی تولید بیوگاز به فاکتورهای مختلفی بستگی دارد، مانند دما، فشار اتمسفر، PH، تولید گرما، فسادپذیری آلودگی پساب، مقدار COD که برای نگهداری و رشد سلول استفاده قرار می‌گیرد و غلظت سولفات در پساب. مقدار  $CO_2$  قویاً به PH ارتباط دارد. PH بالاتر، فشار جزیی کمتر  $CO_2$  در بیوگاز را به همراه دارد. سولفات، مقدار متان در بیوگاز را کاهش خواهد داد. به صورت تئوری هر ۲ گرم COD با هر گرم سولفات توسط باکتریهای احیای سولفات کاهش می‌یابد. در اینجا الکترونهای تولید شده بجای تولید متان برای تشکیل  $H_2S$  مصرف می‌شوند. در نتیجه مقدار متان در بیوگاز کاهش می‌یابد. بیوگاز می‌تواند در جاهای مختلف بجای گاز طبیعی استفاده شود مانند کوره‌ها، بویلرها یا در موتورهای گازی برای تولید برق.

### فهرست منابع

#### منابع فارسی:

۱. سید جواد شیخ الاسلامی، علیرضا کشتکار " فرآیند تولید بیوگاز " دومین کنفرانس سراسری و انرژی، خرداد ۱۳۷۷.
۲. علیزاده بخش بیوگاز مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی نو "مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز در ایران" سازمان انرژی اتمی ایران ۱۳۷۵.
۳. قاسمعلی عمرانی " روند توسعه بیوگاز در ایران و جهان. مجموعه مقالات اولین سمینار بیوگاز در ایران " ص ۱۵-۱.
۴. لود ویک ساسه " تاسیسات واحدهای بیوگاز " ترجمه دکتر قاسم نجف زاده، دانشگاه صنعتی امیرکبیر-۱۳۷۴.
۵. مهرداد عدل " برآورد قابلیت‌های تولید انرژی از زائدات زیستی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست به دانشگاه تهران-۱۳۷۸.
۶. محمد علی عبدلی " بیوگاز " سازمان انرژی اتمی ایران بهمن ۱۳۶۴.
۷. مصاحبه با مهندس شیخ الاسلامی " مسئول بخش بیوگاز انرژی اتمی " و بازدید از واحد گاز ماهیدشت کرج خرداد ۱۳۷۹.
۸. مصاحبه با مهندس بلوچستانی (مسئول پروژه های بیوگاز وزارت جهاد سازندگی، اردیبهشت ۱۳۷۹.
۹. مهندس شاهین محمد نژاد-مهندس ناهید صالح-" مقدمه ای بر تصفیه بی هوازی پسابهای صنعتی " ص ۱۹-۲۳.

## منابع لاتین:

1. Anonymous. Annual Report Of Ministry Of Non-Conventional Energy Sources. New Delhi: Govt. Of India; 2002
2. Breure A.M. 1986, Breuve Et Al , 1985 , Cohen A. Etal , 1985 Poland , F.G. & S. Ghosh 1971
3. David Parro , "Co2 Hydrocarbon Membrane Separation System From Laboratory To Commercial Success. The Cynara Company, Houston, Texas., 5-6.
4. Godfrey Boyle, "Renewable Energy Power For A Sustainable Future", Oxford University Press In Association With The Open University, New York, 1998.
5. Karottki, R. And Boyle O.G., " Biogas In India: A Sustainable Energy Success Story".
6. Kelly Saikkonen, Cornell University , " Feasibility Of Upgrading Agricultural To Biogas Natural Gas Quality For Injection Into The Natural Gas Pipeline"
7. Lettinga, G, Von Haandel, A., "Anaerobic Digestion For Energy Production & Environmental Protection " Island Press, 1992.
8. Litchman, Rj, " Biogas System In India, Vita (Volunteers In Technical Assistance)", Virginia, Usa, 1993.
9. Letting , G. A.F.M. Van Velsen. S.W. Hopping , W. J. De Zeeuw And A K Liplike. 198 Use Of The Up Flow Sludge Blanket (Uses) Reactor Concept For Biological Wastewater Treatment. Specially For Anaerobic Treatment , 22, 699-934.
10. Ludwig Sasse, Christopher Kellner & Ainea Kimaro "Improved Biogas Unit For Developing Countries" , 9.
11. Mahmoud , N.J.A., 2002. Anaerobic Pre-Treatment Of Sewage Under Low Temperature (15°C Conditions In An Integrated Uasb-Digester System.
12. Mat Calf & Eddy Inc, Waste Water Engineering: Treatment Disposal Reuse.
13. Mccarty, P.L, 2001. The Development Of Anaerobic Treatment And It,S Future. Proceeding Of The Farewell.
14. Rebac , S , J , B. Van Lier , P.N.L. Lens , A. J.M. Stamen , F Dekkrs, K T M Shekels And Legating , 1999. Psychophysics Anaerobic Treatment (15 C) Condition In An Integrated Uasb-Digester System.
15. Schraa , G And W. J. Jewel , 1984 High Rate Conversions Of Soluble Organic White The Hemophilic Anaerobic Hatched Expanded Bed. Journal Water Pollution Control Federation , 56, 556-232.
16. Schroeffer , G. J. Anderson , 1955 , The Anaerobic Contac Process As Applied To Packinghouse Wastes Sewage And Industrial Wastes, Z, 117-142.
17. Stander , G.J. 1966. Water Pollution Research-A Key To Waste Water Management. Journal Water Pollution Control Federation , 38 994.
18. Tata, "Tata Energy Data And Directory Year Book", Tata Energy Research Institute, New Delhi, 1998.
19. Treatment Of Biogas Produced In Anaerobic Reactors For Domestic Waste Water: Odor Control And Energy / Resource Recovery Adiabatic ; Loyola , Juan Manuel (Morgan-Sagastume & Jorge E. Lope 2-Hernandez. Pp A4-95
20. Vim Van Nes, Mathew Mendij " Biogas In Rural Household Energy Supply: The Nepal Biogas Support Program Renewable Energy World , March-April 2000. Pp 100-113.
21. Vanlier , J. B. Rantala. G. Effect Of Short-Term Temperature Increase On The Performance Of A Mesophilic Uasb Reactor " , Wat , Res , Vol.22, No.9, Pp 183-190, 1999.
22. Velson , A.F.M Van 1979. Adaptation Of Mchhanogenic Sludge To High Ammonium-Nitrogen Concentration Water Research , 13, 995-999.
23. Wilkie, A.C., Et Al., " Anaerobic Digestion For Oudor Control", In Nuisance Concerns In Animal Manure Management, " Odours And Flies ", Florida Cooperaive

24. Younger , J, C. And P.L.Mecorty , 1969. The Anaerobic Filter For Waste Treatment. J Water Pollution. Control. Federation , 41, R160.



# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله