



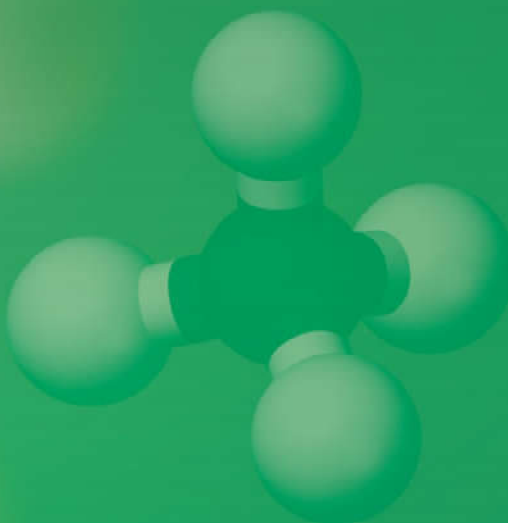
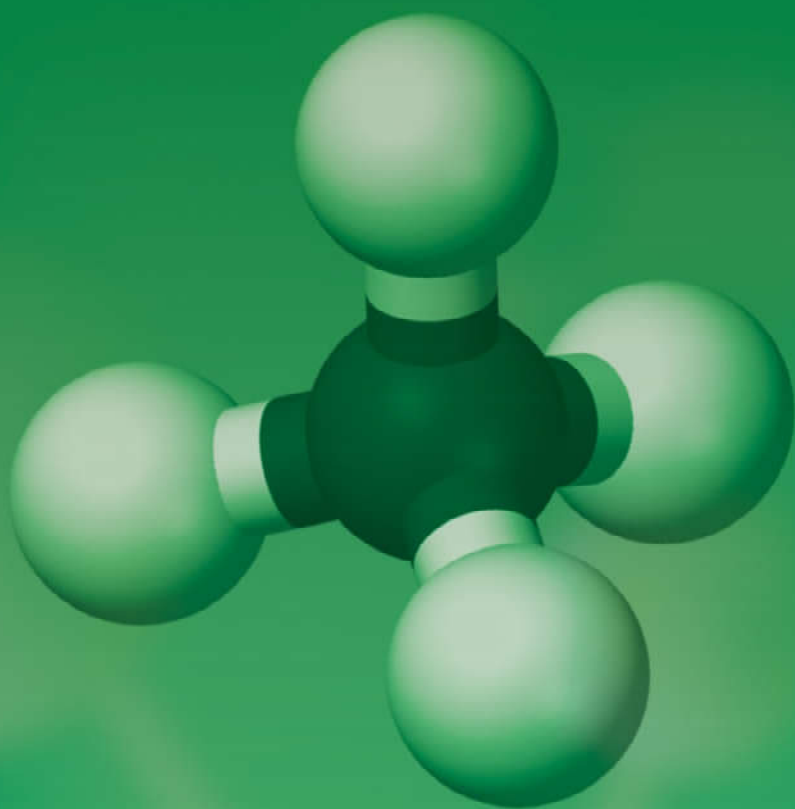
مدیریت سیستم‌های

تولید پیوگاز

مترجمین:

پروفسور ترحم مصری گندشمین

دکتر منصور احمدی پیرلو





مدیریت سیستم‌های تولید بیوگاز



مؤلف:

Mario Alejandro Rosato

مترجمان:

پروفسور ترجم مصری گندشمین

دکتر منصور احمدی پیرلو

مدیریت سیستم‌های تولید بیوگاز
ترجم مصری گندشمین، منصور احمدی پیرلو

پدیدآور / مولف [صحیح: ویراستار ماریو آلیخاندرو روساتو]: Rosato, Mario Alejandro, 1961
مشخصات نشر / اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری / ۳۰۴ ص.: مصور(بخشی رنگی)، جدول، نمودار.
شابک / 978-622-7258-74-5
عنوان اصلی / Managing Biogas Plants: a practical guide, 2018.
موضوع / بیوگاز — صنعت و تجارت — مدیریت
دانشگاه محقق اردبیلی / University of Mohaghegh Ardabili
رده بندی کنگره / HD۹۵۰۲/۵
رده بندی دیویی / ۳۳۳/۹۵۳۹
شماره کتابشناسی ملی / ۸۶۶۹۹۷۶

ویراستار: غلامحسین شاهقلی / صفحه‌آرا: فرشته خدایاری / طرح جلد: علی رسول زاده



+ چاپ اول زمستان ۱۴۰۰ + قیمت ۱۶۵۰۰۰۰ ریال +

«حق چاپ برای مولف محفوظ است»

اردبیل، انتهای خیابان دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، صندوق پستی ۱۷۹

✉ mesrigtm@uma.ac.ir

📞 ۰۹۱۴۳۰۵۷۲۸۴

🌐 www.UMA.ac.ir/press

فهرست مطالب



بهبودسازی فرایند هضم بی‌هوازی.....	۱۳
۱-۱ هضم بی‌هوازی چیست؟.....	۱۳
۱-۱-۱ مفاهیم نظری.....	۱۳
۲-۱-۱ مفاهیم کاربردی.....	۲۰
۲-۱ علائم و اصطلاحات تخصصی.....	۲۳
۱-۲-۱ تعاریف.....	۲۴
۲-۲-۱ مثال‌های عددی و کاربردی.....	۲۸
۳-۱ محدودیت و مشکل مدیریت سیستم بر اساس جدول‌ها.....	۳۶
۱-۳-۱ استفاده از داده‌های جدول.....	۴۳
۴-۱ مدیریت دینامیکی واحد بیوگاز.....	۴۶
۱-۴-۱ pH.....	۴۸
۲-۴-۱ رابطه pH و قلیائیت.....	۵۰
۳-۴-۱ ترکیب شیمیایی سوبسترا.....	۵۱
۴-۴-۱ استفاده از پروفایل VFA.....	۵۳
۵-۴-۱ پایش دبی و ترکیبات بیوگاز.....	۵۴
۶-۴-۱ پایش پتانسیل اکسایش و کاهش (ORP).....	۵۵
۷-۴-۱ پایش رسانایی الکتریکی.....	۵۶
۵-۱ مشکلات برون سپاری مدیریت بیولوژیکی.....	۵۸
۱-۵-۱ نتیجه‌گیری.....	۶۱
۶-۱ تیتراسیون خودکار.....	۶۱
منابع.....	۶۷
۲ مرور بر روش‌های آزمایشگاهی آنالیز فرایند تخمیر.....	۶۹
۱-۲ تکنیک‌های اندازه‌گیری: صحت، دقت و تکرارپذیری.....	۶۹
۱-۱-۲ صحت، دقت و تکرارپذیری.....	۷۰
۲-۱-۲ پراکندگی خطا.....	۷۱
۲-۲ روش‌های اندازه‌گیری در صنعت بیوگاز.....	۷۷
۱-۲-۲ آزمون‌های کلاسیک حجم و فشار.....	۷۸
۲-۲-۲ سیستم‌های اندازه‌گیری خودکار: AMPTS و BRS.....	۹۳
۳-۲-۲ راکتورهای مناسب برای آزمایش‌های بیولوژیک.....	۹۵
۴-۲-۲ اشتباهات رایج اندازه‌گیری جریان گاز.....	۹۶
۱-۴-۲-۲ نرمال‌سازی.....	۹۶
۲-۴-۲-۲ اصلاح رطوبت.....	۹۸
۵-۲-۲ آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی کمکی.....	۱۰۰
۶-۲-۲ آزمایشگاه in-situ کنترل فرایند بیولوژیکی.....	۱۰۵
منابع.....	۱۰۷

۱۰۹.....	شرایط مطلوب انجام آزمایش	۳
۱۰۹.....	۱-۳ مقدمه.....	۳
۱۰۹.....	۲-۳ اندازه‌گیری رطوبت و ماده فرار.....	۳
۱۱۰.....	۱-۲-۳ اندازه‌گیری DM با آنالیز رطوبت.....	۳
۱۱۴.....	۲-۲-۳ مقیاس ماده خشک در اندازه‌گیری با اُون.....	۳
۱۱۵.....	۳-۲-۳ اندازه‌گیری مقدار خاکستر و VS.....	۳
۱۱۷.....	۳-۳ اندازه‌گیری COD و ازت کل.....	۳
۱۲۰.....	۴-۳ چگونگی طراحی آزمایش‌های بیولوژیکی.....	۳
۱۲۱.....	۵-۳ تهیه نمونه و تلقیح.....	۳
۱۲۸.....	۶-۳ نسبت ماده تلقیح به سوستر (I/S).....	۳
۱۳۰.....	۷-۳ تعریف شدت اختلاط (شدت همزنی).....	۳
۱۳۵.....	۸-۳ آزمون BMP و کاربردهای آن.....	۳
۱۳۶.....	۱-۸-۳ اندازه‌گیری BMP.....	۳
۱۳۷.....	۹-۳ فرایند اندازه‌گیری.....	۳
۱۳۷.....	۱-۹-۳ فرایند مرحله‌به‌مرحله تحلیل داده‌ها.....	۳
۱۳۸.....	۲-۹-۳ مشکلات احتمالی در تست BMP.....	۳
۱۴۴.....	۱۰-۳ آزمون فعالیت هیدرولیتیک و متانوژنیک: و سلامت باکتریایی.....	۳
۱۴۵.....	۱-۱۰-۳ تخریب پلی‌ساکاریدها (گلوکز، نشاسته و سلولز).....	۳
۱۴۶.....	۲-۱۰-۳ پودر ژلاتین و کازئین.....	۳
۱۴۷.....	۳-۱۰-۳ اسیدهای پروپیونیک و بوتیریک.....	۳
۱۴۸.....	۴-۱۰-۳ اسیدهای چرب (لیپیدها).....	۳
۱۵۰.....	۵-۱۰-۳ اسید استیک و استات سدیم.....	۳
۱۵۶.....	۱۱-۳ آنالیز انتشار خطا در ارزیابی متان تولیدی و تغییرات آن.....	۳
۱۵۷.....	۱۲-۳ صحت pH، قلیائیت و افزودن ماده خنثی قبل از شروع آزمایش راکتورهای ناپیوسته.....	۳
۱۶۱.....	منابع.....	۳
۱۶۳.....	۴ استفاده از نتایج آزمایشگاهی در صنایع تولید بیوگاز.....	۳
۱۶۳.....	۱-۴ کاربرد عملی آزمون VS.....	۴
۱۶۳.....	۱-۱-۴ اندازه‌گیری بار آلی (OL) و نرخ بار آلی (OLR).....	۴
۱۶۵.....	۲-۱-۴ اندازه‌گیری بازده تبدیل خوراک خام به متان.....	۴
۱۶۷.....	۳-۱-۴ اقدامات لازم در شرایط $\eta_{AD} < 45\%$	۴
۱۷۰.....	۲-۴ کاربرد عملی آزمون BMP.....	۴
۱۷۰.....	۱-۲-۴ قیمت مناسب مواد اولیه.....	۴
۱۷۴.....	۲-۲-۴ بهینه‌سازی تغذیه واحد بیوگاز.....	۴
۱۷۵.....	۳-۲-۴ بازدارندگی سوبستراهای پیچیده.....	۴
۱۷۷.....	۴-۲-۴ بررسی بازده هضم در راکتور بیوگاز.....	۴
۱۷۸.....	۵-۲-۴ تعیین نسبت بهینه SRT/HRT.....	۴

۱۸۰.....	۴-۲-۶ تعیین اثربخشی افزودنی‌ها و پیش‌تیمار
۱۸۴.....	۴-۲-۷ خطاهای متداول در انجام آزمایش‌های بیولوژیکی
۱۸۷.....	۴-۳-۳ استفاده از سوبستراهای مرجع برای بررسی فعالیت‌های هیدرولیتیک
۱۸۷.....	۴-۳-۱ آزمون هیدرولیز سلولز
۱۸۸.....	۴-۳-۲ آزمایش هیدرولیز قند و نشاسته
۱۸۹.....	۴-۳-۳ هیدرولیز پروتئین‌ها
۱۹۱.....	۴-۳-۴ تست فعالیت لیپولیتیک
۱۹۳.....	۴-۳-۵ آزمون‌های عمومی سوبستراهای بازدارنده
۱۹۴.....	۴-۴ آزمون (SMA): انتخاب استارتر مناسب و جلوگیری از فروپاشی بیولوژیکی
۱۹۵.....	۴-۴-۱ آزمون بازدارندگی متانوژنیک ماده تلقیح با استفاده از سرکه سفید
۱۹۷.....	۴-۴-۲ تست SMA و انتخاب تلقیح مناسب برای شروع یک واحد جدید بیوگاز
۱۹۹.....	۴-۴-۳ تعیین مقدار عناصر کمیاب در راکتورهای با $SMA < 10$
۲۰۱.....	۴-۵ نتیجه‌گیری
۲۰۱.....	۴-۵-۱ سودمندی آزمایش با سرکه، اسید استیک و یا استات به‌عنوان سوبسترای مرجع
۲۰۲.....	۴-۵-۲ سوبستراهای مرجع
۲۰۲.....	منابع
۲۰۵.....	۵ چند ترغند ساده برای بهبود عملیات آزمایشگاهی
۲۰۵.....	۵-۱ پیشگفتار
۲۰۵.....	۵-۲ اندازه‌گیری متان بیوگاز راکتور دوگانه و با استفاده از یک سرنگ
۲۰۸.....	۵-۲-۱ مواد لازم برای آزمون سرنگی
۲۰۹.....	۵-۲-۲ اجرای تست با سرنگ
۲۱۱.....	۵-۲-۳ خطای آنالیز با روش سرنگی
۲۱۱.....	۵-۳ حل مشکل تبخیر حمام ترموستاتیک
۲۱۳.....	۵-۳-۱ مهروموم فضای بین راکتور و پلکسی گلاس به کمک اورینگ یا تسمه پلاستیکی
۲۱۳.....	۵-۳-۲ افزودن نمک به آب
۲۱۴.....	۵-۳-۳ جایگزینی سیال مناسب بجای آب در حمام ترموستاتیک
۲۱۶.....	۵-۴ بهبود اتصال موتورهای همزن با جریان DC
۲۱۶.....	۵-۴-۱ تعریف مسئله
۲۲۱.....	۵-۴-۲ فرایند گام‌به‌گام برای اتصال منبع تغذیه در مرکز خطوط
۲۲۴.....	۵-۴-۳ استفاده از موتورهای بدون برس (Brushless)
۲۲۵.....	۵-۵ بررسی کالیبراسیون (روش‌های حجمی)
۲۲۶.....	۵-۵-۱ کالیبراسیون به روش وزن‌سنجی
۲۲۶.....	۵-۵-۲ کالیبراسیون حجمی
۲۲۸.....	۵-۶ بی‌هواسازی حجم فوقانی راکتور با گاز فندک
۲۳۱.....	۵-۷ پیدا کردن نشستی گاز
۲۳۴.....	۵-۸ دستورالعمل‌های ایمنی آزمایشگاه‌های بیوگاز
۲۳۶.....	منابع
۲۳۷.....	۶ بررسی انتقادی مقالات علمی از دیدگاه مدیران تولید بیوگاز

۲۳۷	۱-۶ مقدمه.....
۲۳۷	۲-۶ روش‌های کشف حقیقت: قیاس ارسطویی، اصل شک دکارتی و اجتناب از اشتباهات منطقی.....
۲۳۹	۱-۲-۶ رابطه بین BMP و رسانایی الکتریکی.....
۲۴۴	۲-۲-۶ ارزیابی صحت روش VFA/TA (FOS/TAC).....
۲۴۶	۳-۲-۶ مغالطه علی.....
۲۴۹	۳-۶ اشتباه‌های رایج در مقالات علمی.....
۲۴۹	۱-۳-۶ اهمیت pH و استفاده از بی‌کربنات سدیم به‌عنوان بافر راکتورهای هوازی.....
۲۵۲	۲-۳-۶ اهمیت عناصر کمیاب.....
۲۵۴	۳-۳-۶ گوگردزایی با استفاده از محصولات خاص.....
۲۵۶	۴-۳-۶ مدل‌سازی ریاضی BMP و پایگاه‌های اطلاعاتی.....
۲۵۸	۵-۳-۶ حفاظت از ماده تلقیح.....
۲۵۹	۶-۳-۶ واحد معادل سیلاژ ذرت.....
۲۶۴	۷-۳-۶ ارزیابی صحت و دقت داده‌های مقالات.....
۲۶۹	۴-۶ آزمون‌های BMP در کارخانه‌های صنعتی بیوگاز.....
۲۶۹	۱-۴-۶ مروری بر دستورالعمل آلمانی VDI 4630/2014.....
۲۷۰	۲-۴-۶ استاندارسازی آزمون BMP بر اساس پیشنهاد IWA.....
۲۷۰	۳-۴-۶ پیش‌نویس ایتالیایی استاندارد UNI/TS E0209F670.....
۲۷۲	۴-۴-۶ بررسی انتقادی ضعف‌ها و نقایص استانداردها.....
۲۸۴	۵-۶ نتیجه‌گیری.....
۲۸۶	منابع.....
۲۸۹	۷ واژه‌نامه اصطلاحات و اختصارات.....
۲۹۵	۸ جداول مورد نیاز برای تسریع محاسبات.....
۳۰۱	۱-۸ وزن مخصوص علفه سیلویی به‌صورت تابعی از TS.....
۳۰۱	۲-۸ استفاده از سرکه برای انجام تست SMA.....
۳۰۲	۳-۸ نظارت بر رسانایی الکتریکی لجن.....
۳۰۲	۴-۸ مقادیر مرجع ارزیابی فرآیند AD با استفاده از VFA/TA (FOS/TAC).....
۳۰۳	۵-۸ پروفایل VFA.....
۳۰۳	۶-۸ ریز مغذی‌ها (الیگوالمان‌ها یا عناصر کمیاب).....
۳۰۴	۷-۸ دستورالعمل تعیین VS.....

فهرست اشکال



- شکل ۱-۱ وضعیت ارگانسیم‌های متانوژنیک در دسته‌بندی آرکایا ۱۵
- شکل ۲-۱ فازهای فرایند هضم بی‌هوازی ۱۶
- شکل ۳-۱ تجزیه بی‌هوازی استات و تغییرات سرعت تجزیه به‌صورت تابعی از درجه حرارت در دو نوع ماده تلقیح متفاوت ۱۸
- شکل ۴-۱ فعالیت تولیدمثل گونه‌های مختلف آرکایاها ۲۱
- شکل ۵-۱ دیاگرام سیستم کنترل حلقه‌باز و سیستم کنترل حلقه‌بسته ۳۷
- شکل ۶-۱ مقایسه تولید تجمعی بیوگاز و جریان خطی ایده‌آل طی هضم بی‌هوازی مواد آلی ۴۰
- شکل ۷-۱ مقایسه تولید روزانه بیوگاز با تولید روزانه ایده‌آل در یک سیستم ناپیوسته ۴۱
- شکل ۸-۱ ساده‌سازی معادلات هاضم پیوسته براساس هاضم‌های ناپیوسته متوالی ۴۱
- شکل ۹-۱ مقایسه جریان واقعی هاضم پیوسته با مجموع هاضم‌های بیچ ۴۲
- شکل ۱۰-۱ پتانسیل متان بیوشیمیایی نشاسته که طی ۱۸ آزمایش مختلف اندازه‌گیری شده است ۴۵
- شکل ۱۱-۱ تصویر IR از سیلوی ذرت علوفه‌ای (موقعیت الف) ۴۷
- شکل ۱۲-۱ تصویر IR از سیلوی ذرت علوفه‌ای (موقعیت ب) ۴۸
- شکل ۱۳-۱ نرخ رشد و سرعت تکثیر آرکایاها به‌صورت تابعی از pH و غلظت سوپسترا ۴۹
- شکل ۱۴-۱ تغییر غلظت VFA و ORP به‌صورت تابعی از زمان ماند ۵۶
- شکل ۱۵-۱ نتایج آنالیز شیمیایی نمونه مواد داخل راکتور ۵۹
- شکل ۱۶-۱ گزارش آزمایشگاهی یک نمونه از مواد داخل راکتور بیوگاز ۶۰
- شکل ۱۷-۱ مقایسه انرژی تولیدی واحد بیوگاز و شاخص VFA/TA بر اساس تیتراسیون FOS/TAC ۶۶
- شکل ۱-۲ بیان تصویری مفاهیم صحت، دقت و تکرارپذیری ۷۰
- شکل ۲-۲ آزمایش اندازه‌گیری حجمی با استفاده از سرنگ ۸۱
- شکل ۳-۲ شماتیک اودیومتر ۸۱
- شکل ۴-۲ اودیومتر آزمایشگاهی ۸۲
- شکل ۵-۲ اودیومتر مطابق با استاندارد DIN 38414 ۸۳
- شکل ۶-۲ نمونه‌ای از برجسب‌گذاری استوانه‌های کلاس A مطابق ISO DIN EN 4788 ۸۳
- شکل ۷-۲ نمونه‌ای از سیستم اندازه‌گیری جابجایی برای بهینه‌سازی هاضم ۸۴
- شکل ۸-۲ شماتیک سیستم اندازه‌گیری جابجایی حجم ساخته شده با ظروف استاندارد آزمایشگاهی ۸۵
- شکل ۹-۲ ابزارهای اندازه‌گیری μ -Flow ۸۵
- شکل ۱۰-۲ سیستم اندازه‌گیری کم‌هزینه (حمام ترموستاتیک، راکتور، بطری حاوی محلول NaOH و دی‌سنج μ -Flow) ۸۸
- شکل ۱۱-۲ سیستم بارومتری ساده ۹۰
- شکل ۱۲-۲ نمونه‌ای از راکتورهای مجهز به بارومترهای دست‌ساز ۹۰
- شکل ۱۳-۲ بطری‌های بارومتریک، ابتدا برای اندازه‌گیریهای تنفس سنجی هوازی طراحی شده بود ۹۱
- شکل ۱۴-۲ انفجار راکتور در اثر فشار بیش‌ازحد ۹۲
- شکل ۱۵-۲ AMPTS II ۹۴
- شکل ۱۶-۲ حسگرهای کوچک و ارزان AMPTS Light ۹۴
- شکل ۱۷-۲ حسگرهای BRS (Bioprocess Control AB.) ۹۴
- شکل ۱۸-۲ مجموعه راکتورها در آزمایشگاه CIEMAT، مادرید ۹۷
- شکل ۱۹-۲ نمونه مدل جیبی Combo برای سنجش مقدار pH، دما، رسانایی الکتریکی، جامد کل محلول ۱۰۱
- شکل ۲۰-۲ نمونه‌ای از آنالایزر رطوبت هالوژنی برای تعیین مواد جامد و رطوبت ۱۰۲

- شکل ۲-۲۱ کوره الکتریکی سرامیکی کوچک حاوی سیستم تخلیه دود و تنفس از حفره‌های زیر درب ۱۰۳
- شکل ۲-۲۲ شماتیک کلی یک اسپکتروفتومتر ۱۰۵
- شکل ۲-۲۳ اسپکتروفتومتر چندپارامتری ویژه مواد سیال ۱۰۵
- شکل ۲-۲۴ آزمایشگاه متداول بیوگاز ۱۰۷
- شکل ۱-۳ هضم سلولز خالص با دو ماده تلقیحی متفاوت ۱۲۵
- شکل ۲-۳ تخریب بی‌هوازی زیست‌توده جلبکی *Ulva* با استفاده از لجن دریا و کود گاوی به‌عنوان ماده تلقیح ۱۲۶
- شکل ۳-۳ راکتور شیشه‌ای یک لیتری با موتور الکتریکی و گیربکس متصل به همزن خمیده ۱۳۱
- شکل ۴-۳ راکتور پیوسته پنج لیتری ساخته‌شده از فولاد ضدزنگ با همزن الکترومکانیکی (brushless motor) ۱۳۱
- شکل ۵-۳ منحنی‌های نرمال شده تولید متان در راکتور ۱۳۹
- شکل ۶-۳ منحنی‌های تولید متان *A.donax* تازه ۱۴۱
- شکل ۷-۳ مثالی از آزمایش ناتمام به دلیل خطای اندازه‌گیری ۱۴۲
- شکل ۸-۳ نمودار هضم تری‌اولئین ۱۵۰
- شکل ۹-۳ تغییرات تولید متان به‌صورت تابعی از I/S در حضور استات سدیم ۱۵۳
- شکل ۱۰-۳ راکتوری نامتعارف حاوی ماده تلقیح با فعالیت متانوژنیک ناکافی (I/S برابر ۵ و دما ۳۸°C) ۱۵۵
- شکل ۱۱-۳ تأثیر منفی میکرو مواد مغذی افزوده در ماده تلقیح راکتور ۱۶۰
- شکل ۱۰-۴ کاهش بازده تبدیل خوراک خام به متان با افزایش ORL در راکتور ۱۶۶
- شکل ۲-۴ کاهش حجم مؤثر هاضم به‌واسطه ته‌نشینی رسوبات در کف هاضم ۱۶۸
- شکل ۳-۴ منحنی تجزیه کامل بی‌هوازی سوبسترای X ۱۷۴
- شکل ۴-۴ افزایش عملکرد تولید متان در دو سوبسترا و اختلاط آنها ۱۷۵
- شکل ۵-۴ بازدارندگی ناشی از افزودن سوبسترای پیچیده و تنوع کم بیولوژیکی ۱۷۶
- شکل ۶-۴ پتانسیل تولید متان پسماند هاضم و مقایسه آن با خوراک اولیه ۱۷۸
- شکل ۷-۴ تجزیه بی‌هوازی پساب یک کارخانه تولید آب‌میوه ۱۷۹
- شکل ۸-۴ اثر افزودن باکتری‌های زنده به ماده تلقیح ۱۸۱
- شکل ۹-۴ مقایسه تأثیر پیش‌تیمار حرارتی و افزودنی تجاری در BMP پسماند کشتارگاه دام ۱۸۲
- شکل ۱۰-۴ مقایسه عملکرد تولید متان خالص تیمار شاهد و تیمارهای با دو نوع افزودنی متفاوت ۱۸۴
- شکل ۱۱-۴ دبی روزانه تولید متان خالص در راکتور شاهد و دو راکتور با افزودنی‌های متفاوت ۱۸۴
- شکل ۱۲-۴ منحنی تولید متان راکتور شاهد و راکتور نمونه ۱۸۵
- شکل ۱۳-۴ نمونه‌ای از منحنی تولید غیرنرمال متان ۱۸۶
- شکل ۱۴-۴ منحنی‌های تجزیه بی‌هوازی ضایعات کاغذی (سلولز)، قند (ساکارز) و نشاسته ذرت ۱۸۹
- شکل ۱۵-۴ آزمون فعالیت پروتئولیتیک با استفاده از ضایعات ماهی به‌عنوان سوبسترای مرجع ۱۹۱
- شکل ۱۶-۴ اثر بازدارندگی گلیسرول در فرایند AD ۱۹۴
- شکل ۱۷-۴ استفاده از سرکه سفید به‌عنوان سوبسترای مرجع در مقایسه با BMP حاوی ۶ درصد محلول اسید استیک ۱۹۶
- شکل ۱۸-۴ تست SMA با سرکه به‌عنوان سوبسترای مرجع و تلقیح یکسان ۱۹۷
- شکل ۱۹-۴ نمودار SMA راکتورهای بیوگاز که با سه ماده تلقیح متفاوت راه‌اندازی شده‌اند ۱۹۸
- شکل ۲۰-۴ اثر افزودن عناصر کمیاب به راکتور بیوگاز با فعالیت متانوژنیک نامطلوب ۲۰۱
- شکل ۱-۵ مقایسه منحنی نرمال تولید بیوگاز و تولید متان و درصد تغییر متان در بیوگاز به‌صورت تابعی از زمان ۲۰۶
- شکل ۲-۵ تولید بیوگاز و متان از استات سدیم ۲۰۷
- شکل ۳-۵ سرنگ مخصوص نمونه‌برداری گاز ۲۰۸
- شکل ۴-۵ ولو نمونه‌برداری گاز با سپتوم پلاستیکی ۲۰۹
- شکل ۵-۵ نمونه‌برداری بیوگاز با سرنگ ۲۰۹
- شکل ۶-۵ سرنگ پر از بیوگاز و محلول سود ۲۱۰
- شکل ۷-۵ سرنگ با پیستونی که موقعیت آن به حالت اولیه برگشته است ۲۱۰
- شکل ۸-۵ منحنی سیگموتیدی اثر تغییرات دما، تبخیر و گردش آب در حمام ترموستاتیک بر میزان گاز تولیدی ۲۱۲

شکل ۹-۵ فشار بخار آب و محلول اتیلن گلیکول به صورت تابعی از دما.....	۲۱۶
شکل ۱۰-۵ شماتیک اتصال موازی چندین همزن	۲۱۸
شکل ۱۱-۵ مدار الکتریکی معادل اتصال موازی چندین موتور جریان مستقیم (DC).....	۲۱۹
شکل ۱۲-۵ اتصال موتورهای DC از طریق منبع تغذیه در مرکز خط توان	۲۱۹
شکل ۱۳-۵ مقایسه بین توزیع ولتاژ در هر موتور هنگام اتصال موازی با منبع تغذیه	۲۲۱
شکل ۱۴-۵ جزئیات کابل اتصال برای گروهی از موتورهای موازی	۲۲۱
شکل ۱۵-۵ جزئیات زبانه‌های اتصال معمولی موتورهای DC با ولتاژ (۵V) برای همزنی راکتورهای آزمایشگاهی	۲۲۲
شکل ۱۶-۵ مرحله اول	۲۲۳
شکل ۱۷-۵ مرحله دوم	۲۲۳
شکل ۱۸-۵ مرحله سوم اتصال	۲۲۴
شکل ۱۹-۵ دورنمای آرایش اتصال راکتورهای ۱۵ تایی	۲۲۴
شکل ۲۰-۵ کیت کنترل همزن تا حداکثر ۱۵ راکتور با تکنولوژی بدون برس	۲۲۵
شکل ۲۱-۵ شماتیک سیستم کالیبراسیون وزنی ابزار اندازه‌گیری حجم گاز	۲۲۷
شکل ۲۲-۵ شماتیک سیستم کالیبراسیون حجم‌سنجی	۲۲۷
شکل ۲۳-۵ خالی کردن هوای فضای خالی راکتورهای آزمایشگاهی با کپسول گاز	۲۳۰
شکل ۲۴-۵ تنظیم شرایط اولیه آزمایش در سیستم مجهز به الگوریتم محاسبه حجم گاز	۲۳۰
شکل ۲۵-۵ راه‌اندازی و شروع آزمایش	۲۳۲
شکل ۲۶-۵ کشیدن پیستون به انتها و افزایش فشار در محفظه راکتور	۲۳۲
شکل ۲۷-۵ رها کردن پیستون سرنگ و برگشت پیستون به موقعیت اولیه در اثر فشار انباشته	۲۳۳
شکل ۲۸-۵ گیره آزمایشگاهی برای برداشتن اجسام داغ	۲۳۵
شکل ۱-۶ تولید ویژه متان دو نمونه لجن با رسانایی الکتریکی متفاوت و سوبسترای مرجع یکسان	۲۴۲
شکل ۲-۶ تولید ناخالص متان دو نمونه لجن با رسانایی الکتریکی متفاوت و سوبسترای مرجع یکسان	۲۴۳
شکل ۳-۶ مقایسه میزان تولید متان قبل و پس از افزودن آنزیم	۲۴۸
شکل ۴-۶ مقایسه هضم بی‌هوازی آب‌پنیر خام و خنثی شده (pH=7) با بی‌کربنات سدیم	۲۵۰
شکل ۵-۶ تیمار بی‌کربنات سدیم و اثر آن بر تولید ناخالص بیوگاز	۲۵۲
شکل ۶-۶ اثر افزودن عناصر کمیاب به ماده تلقیح	۲۵۴
شکل ۷-۶ هضم بی‌هوازی سلولز میکروکریستال با دو ماده تلقیح مختلف	۲۵۸
شکل ۸-۶ مقایسه فعالیت هیدرولیتیک و متانوژنیک ماده تلقیح تازه و بیات	۲۶۰
شکل ۹-۶ بازدارندگی ناشی از گلیسرول در نسبت‌های بالای I/S	۲۶۳
شکل ۱۰-۶ میزان تولید متان در اختلاط‌های متفاوت سوبسترای یکسان	۲۶۳
شکل ۱۱-۶ تخریب بی‌هوازی پساب گاو حاوی ۴٪ مواد جامد فرار	۲۶۴
شکل ۱۲-۶ ظرفیت بیولوژیکی متان (BMP ₃₀) کود اسب با سوبسترای کاه	۲۶۹
شکل ۱۳-۶ تأثیر همزنی در ظرفیت بیولوژیکی متان	۲۷۶
شکل ۱۴-۶ اثر گاززدایی فضای خالی راکتور بر تولید متان	۲۸۰
شکل ۱۵-۶ تجزیه بی‌هوازی سلولز با ماده تلقیح ضعیف	۲۸۲
شکل ۱۶-۶ هضم نشاسته با ماده تلقیح یکسان با شکل ۱۵-۶	۲۸۳
شکل ۱۷-۶ هضم نشاسته با ماده تلقیح یکسان با شکل ۱۵-۶	۲۸۳

فهرست جداول



جدول ۱-۱	قابلیت هضم مواد آلی از بهترین تا بدترین حالت	۱۶
جدول ۲-۱	استوکیومتری فرایند AD	۱۷
جدول ۳-۱	بازه دمای ایده‌آل فعالیت انواع آرکایاها	۱۹
جدول ۴-۱	مقادیر تخمینی C و N و نسبت C/N برخی زیست‌توده‌های متداول (w.w.% برحسب درصد وزن مرطوب محاسبه شده است)	۲۳
جدول ۵-۱	قابلیت هضم زیست‌توده‌های متداول	۲۴
جدول ۶-۱	نسبت‌های هم‌ارز VS و COD برخی سوسترهای متداول	۳۰
جدول ۷-۱	شاخص BMP چندین سوسترهای کشاورزی	۴۹
جدول ۸-۱	همبستگی بین رسانایی الکتریکی و بازده خالص متان در ۳۸ °C	۵۷
جدول ۹-۱	جدول اصلی نسبت FOS/TAC	۶۵
جدول ۱۰-۱	مقادیر مرجع FOS، TAV و pH در هاضم‌های بی‌هوازی کشاورزی	۶۶
جدول ۱-۲	برخی آزمایش‌های هاضم در شرایط in situ	۸۰
جدول ۲-۲	مزایا و معایب اودیومتر برای اندازه‌گیری بیوگاز از AD	۸۶
جدول ۱-۳	مقدار نمونه لازم برای اندازه‌گیری VS با خطای کمتر از ۱٪	۱۱۷
جدول ۲-۳	استانداردهای بین‌المللی آلاینده‌های آلی، هضم بی‌هوازی (با تأکید بر مصارف تصفیه فاضلاب)	۱۲۳
جدول ۳-۳	سوسترهای مرجع برای آزمون فعالیت بیولوژیکی	۱۴۴
جدول ۱-۴	الگوی اطلاعات مورد نیاز در یک صفحه گسترده	۱۶۷
جدول ۲-۴	نتایج راکتورهای منفرد و متوسط تولید خالص متان آن‌ها	۱۷۲
جدول ۳-۴	دستورالعمل و کاربرد محلول مادر در واحد بیوگاز	۱۹۹
جدول ۱-۵	ولتاژ هر اتصال‌دهنده موتور DC در خطی که ۱۵ موتور به‌صورت موازی به هم متصل شده‌اند	۲۲۰
جدول ۲-۵	ولتاژ هر موتور الکتریکی در خطوط اتصال ۱۵ واحد موازی که از مرکز بوشینگ موتور ۸ تغذیه می‌شوند	۲۲۰
جدول ۱-۶	محتوای مواد معدنی ذرت طبق گزارش FAO (میانگین ۵ نمونه)	۲۴۵
جدول ۲-۶	مقایسه سه محصول تجاری گوگردزدا	۲۵۶
جدول ۳-۶	مقایسه ظرفیت تولید متان سوسترهای رایج کشاورزی	۲۵۷
جدول ۴-۶	ارزش BMP کود اسب که توسط گروه تحقیقاتی Hohenheim تهیه شده است	۲۶۸
جدول ۱-۸	محتوای کربن، نیتروژن و نسبت C/N بیوماس	۲۹۵
جدول ۲-۸	مقدار pH برخی مواد متداول	۲۹۶
جدول ۳-۸	نسبت هم‌ارزی (VS) و (COD) چند ماده خالص که به عنوان بستر مرجع هاضم	۲۹۷
جدول ۴-۸	مقدار دفع روزانه و سرگین برخی از گونه‌های جانوری	۲۹۸
جدول ۵-۸	بسترهای مرجع برای آزمایش فعالیت‌های بیولوژیکی	۲۹۸
جدول ۶-۸	پتانسیل متان بیوشیمیایی (BMP) برخی از بسترهای کشاورزی رایج (تقریبی)	۲۹۹
جدول ۷-۸	دامنه خطای اندازه‌گیری برخی ابزارهای استاندارد در بازار	۳۰۰
جدول ۸-۸	جدول تبدیل واحد	۳۰۰
جدول ۹-۸	ضرایب تصحیح دانسیته به‌صورت تابعی از رطوبت	۳۰۱
جدول ۱۰-۸	همبستگی بین رسانایی الکتریکی و فعالیت متانوژنیک	۳۰۲
جدول ۱۱-۸	مقادیر مرجع FOS، TAC و pH	۳۰۲
جدول ۱۲-۸	مقادیر نرمال، حداکثر مقدار قابل قبول، و آستانه فروپاشی بیولوژیکی VFA که بیشتر در لجن برحسب mg/l بیان می‌شود	۳۰۳
جدول ۱۳-۸	غلظت عناصر کمیاب برای حفظ پایداری فرایند AD	۳۰۳
جدول ۱۴-۸	حداقل مقدار نمونه زیست‌توده برای حفظ خطای VS کمتر از ۱٪	۳۰۴



تقدیم به گوهرهای زندگی ام همسرم فرشته و دخترم دیانا

ارتباط ارکان طبیعت با همدیگر، چرخه نظام‌مندی را شکل داده است؛ چرخه‌ای که بسیاری از نیازهای موجودات در ارتباط با دیگران تأمین می‌شود. در کنار استقلال حرکت و خواست درونی هر نهاد طبیعی برای گسترش و جهان‌شمول شدن خود، وابستگی آنها به چرخه‌های فرودست خود طی یک رابطه ارگانیکی محدودکننده چیرگی بی‌حد و حصر فرادستان طبیعی شده است. یکی از خطرات بزرگی که امروزه تمدن مدرن را در زمینه‌های مختلف با مشکل مواجه کرده است، کاهش وابستگی بشر امروزی به نهادهای طبیعی است. این غلبه به کمک منابع تجدید ناپذیر انرژی فسیلی اتفاق افتاده است. در کنار مزیت‌های زیادی که از این حیث در حیات صنعتی و رفاه عمومی حاصل شده است، نگرانی عمیقی به خاطر تجدید ناپذیری این منبع در زندگی روزمره و صنعتی بوجود آمده است. توان و دست‌اندازی بسیار عظیم انرژی فسیلی، امکان مقاومت و نقش سازنده نهادهای طبیعی را به کلی دگرگون کرده است طوری که این تغلب به تجدید تنوع منجر شده است و از این حیث، تنش و لرزه‌ی شدیدی بر جان طبیعت افتاده است.

مسئله دیگری که زندگی مدرن بر محیط‌زیست خود تحمیل کرده است، تمرکز تولیدات و تمرکز انرژی در محیط فشرده شهری است. بخش قابل‌توجهی از منابع طبیعی در مصارف دنیای مدرن به دلایل و شکل‌های مختلفی از چرخه مصرف کنار رفته و از زنجیره تأمین جدا می‌شوند و در جای نامناسب بصورت پسماند رها می‌شوند. بازیافت در کنار وارد کردن این منابع به چرخه مصرف، رشد برداشت و استخراج مواد اولیه را از منابع محدود زمین کاهش داده و از قطع زنجیره و نشتی منابع جلوگیری به عمل می‌آورد.

تولید انرژی از این منابع که در محل نامناسب و به شکل انبوه رها شده‌اند، تیری است در کمان که با

اهداف ارزشمندی را نشانه رفته است. تأمین انرژی از این منابع راه‌حلی برای کاهش هراس از اتمام سوخت‌های فسیلی است. به‌علاوه، این کار به کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای به‌واسطه فعالیت‌های انسانی و تأثیر آن بر تغییرات آب‌وهوایی نیز کمک شایانی خواهد نمود.

هسته پژوهشی مدیریت انرژی در صنایع زیستی در کنار کارهای پژوهشی که در مدت‌زمان کوتاهی که از تشکیل آن می‌گذرد، افتخار می‌نماید که کتاب حاضر را به پژوهشگران، دانشجویان، علاقمندان و دوستداران زندگی تقدیم نماید. این کتاب به‌عنوان منبع بین‌رشته‌ای به دنبال ارائه چارچوب دقیق و راهکارهای تولید انرژی تجدیدپذیر از پسماندهای آلی است.

خداوند متعال را شاکر هستیم که توان ترجمه و چاپ این کتاب ارزشمند را به ما عطا فرمود. از زحمات و تلاش جناب آقای دکتر منصور احمدی که زحمت بخش قابل توجهی از این کار ارزشمند را برعهده داشتند تشکر و قدردانی می‌نمایم. قدردان محبت همکاران و تمام عزیزانی هستیم که در اتمام این کار به انحنای مختلف کمک و دستیار ما بودند و مشتاقانه منتظر دریافت نظرات، تحلیل‌ها و انتقادات صاحب‌نظران در خصوص این کتاب و راه پیش روی هستیم.

ترجمه مصری گندشمین

بهینه‌سازی فرایند هضم بی‌هوازی

۱-۱ هضم بی‌هوازی چیست؟

۱-۱-۱ مفاهیم نظری

هضم بی‌هوازی (AD) فرایندی بیولوژیکی است که منجر به تخریب ماده آلی در غیاب هوا می‌شود. از آنجا که ۲۱٪ حجم هوا را اکسیژن تشکیل می‌دهد، هضم بی‌هوازی را فرایند آنوکسی نیز می‌نامند. انواع فرایندهای تخمیر بی‌هوازی در طبیعت عبارت‌اند از:

- تخمیر الکلی: برای تولید بیواتانول
- تخمیر لاکتیک: به‌عنوان مثال، در طی تولید سبزیجات تخمیری مانند کلم ترش، ذرت، سس سویا
- تخمیر تاریک: یک نوع خاصی از تخمیر بی‌هوازی است که بیوهیدروژن تولید می‌کند و نیازمند انرژی حرارت است.
- فوتوتخمیر: اگر انرژی به‌صورت نور تأمین شود بعضی از باکتری‌ها و سیانوباکتری‌ها می‌توانند بیوهیدروژن تولید کنند.
- تخمیر بوتیریک^۲: یک نوع خاصی از تخمیر تاریک است که منجر به تولید هم‌زمان هیدروژن، بوتانول و استون می‌شود.

¹ Anaerobic digestion

² Butyric fermentation

thermophilic conversion of granular and dispersed sludge, *Water Research*, 30(1), 199–207, 1996.

Varnero Moreno, M.T., *Manual de biogás*, Edition by FAO (Food and Agriculture Organization) and Government of Chile, Santiago, Chile, ISBN 978-95-306892-0, 2011.

Violante, P., *Chimica e fertilità del suolo*, Edagricole, Bologna, Italy 2013.

مروری بر روش‌های آزمایشگاهی آنالیز فرایند تخمیر

۱-۲ تکنیک‌های اندازه‌گیری: صحت، دقت و تکرارپذیری

«من اغلب می‌گویم، موقع صحبت کردن در مورد چیزی، چنانچه مقدار آن را اندازه‌گیری کرده و اندازه آن را با عدد بیان کنید، چیزی در مورد آن می‌دانید؛ اما هنگامی که نمی‌توانید آن را اندازه‌گیری کنید و مقدار آن را با عدد بیان کنید، دانش شما ناچیز و نامفهوم است. این مرحله ممکن است شروع دانش باشد، اما به‌ندرت اندیشه‌قادر به حصول مرحله علم خواهد بود، هر چه که باشد.»

William Thomson (Lord Kelvin)

این جمله ویلیام تامسون (مبدع مقیاس درجه حرارت کلوین)، ماهیت این بخش را خلاصه می‌کند. در سیستم‌های تولید بیوگاز، هدف از اندازه‌گیری و کنترل پارامترهای سیستم، ماکزیم‌سازی تولید متان به ازای هر مترمکعب حجم راکتور (بهینه‌سازی فرایند) یا به ازای هر تن ماده اولیه (بهینه‌سازی سوبسترا)، است. سؤال اینجاست که "اندازه‌گیری" چیست؟

اندازه‌گیری یعنی تعیین عددی بزرگی و اندازه یک متغیر برحسب واحد اندازه‌گیری (متغیر) مربوطه.

اندازه‌گیری یک واحد فیزیکی مشخص و تعریف‌شده (مانند وزن، طول یا جریان الکتریکی) کار نسبتاً آسانی است. در مقابل اندازه‌گیری متغیرهای یک فرایند پیچیده مانند هضم بی‌هوازی بسیار دشوار است، چون که از جزئیات فرایند مانند تعداد باکتری‌های زنده و نوع فعالیت‌های متابولیکی آن اطلاع دقیقی در دسترس نیست. تنها می‌توان وضعیت کل اکوسیستم متشکل از باکتری و سوبسترا را بر اساس اطلاعات

- Energy from Biomass and Waste, San Servolo, Venice, Italy, 2012.
- Schnurer, A., and Jarvis, A., *Microbiological Handbook for Biogas Plants*, Swedish Waste Management U2009:03, Swedish Gas Centre Report 207, 2010.
- Strömberg, S., Nistor, M., and Liu, J., Standardization as a key to reliable gas measurements in biochemical methane potential (BMP) tests, *Proceedings of the Fourth International Symposium on Energy from Biomass and Waste, San Servolo, Venice, Italy, 2012*.
- Thomson, W. (Lord Kelvin); *Lecture on "Electrical Units of Measurement"* , Popular Lectures Vol. I, p. 73, May 3, 1883.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), Norm VDI 4630/2006-Fermentation of organic materials. Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Germany, 2006.

شرایط مطلوب انجام آزمایش

۱-۳ مقدمه

در فصل قبل، ابزارها و آزمایش‌های موردنیاز برای مدیریت واحد بیوگاز (تکنیک‌های لازم برای بهینه‌سازی فرایند هضم بی‌هوازی) مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل راهنمای عملی انجام آزمایش‌ها در مجموعه تولید بیوگاز مرور خواهد شد. کاربرد عملی این آزمون‌ها نیز در فصل ۴ مرور خواهد شد.

۲-۳ اندازه‌گیری رطوبت و ماده فرار

اصلی‌ترین آزمون‌های بهینه‌سازی فرایند هضم بی‌هوازی عبارت‌اند از:

- تعیین مقدار ماده خشک (DM)
- تعیین مواد جامد فرار (VS).

آزمون‌های مورد نیاز بر اساس نوع ماده اولیه و ویژگی‌های استراتژیک بهینه‌سازی و پیش‌تیمار سوبسترا تعیین می‌گردند تا به کاهش نسبت مواد جامدات فرار ورودی به باقی‌مانده آن پس از هضم کمک کند. اگرچه تعیین هر دو متغیر DM و VS بسیار ساده است ولی اهمیت آن‌ها برای درک کیفیت مواد اولیه و بازده فرایند هضم بی‌هوازی بسیار مهم است. کیفیت مواد اولیه به مقدار زیادی تابع رطوبت است، زیرا رطوبت نه تنها به تولید بیوگاز کمک نمی‌کند بلکه هزینه‌های حمل‌ونقل را نیز افزایش می‌دهد. رطوبت زیاد رشد قارچ و کپک زدن مواد اولیه را تسریع می‌کند که تولید میکوتوکسین‌ها را بیشتر کرده و

¹ Dry Matter

² Volatile Solids

هضم بی‌هوازی را مختل می‌کند. در کشورهایی که مواد اولیه هضم بی‌هوازی از محصولات کشاورزی تأمین می‌شود (مانند کشور ایتالیا و آلمان)، قیمت مواد اولیه بر اساس میزان ماده خشک تعیین می‌شود. چنین معیاری تا حدودی دقیق نیست، چون که برخی مواد خام علی‌رغم داشتن مقدار DM برابر، پتانسیل تولید متان متفاوتی دارند یا مقدار لیگنین زیست‌توده یا میزان خاکستر آن‌ها نیز متفاوت است. با اندازه‌گیری مقدار خاکستر و تعیین تفاوت ماده خشک و خاکستر می‌توان پتانسیل بیوشیمیایی تولید متان (BMP^۱) را تخمین زد. تفاوت ماده خشک و خاکستر بیانگر مقدار مواد جامد فرار است که بیانگر درصد بالقوه تجزیه‌پذیری مواد آلی نیز است. به عبارت «تجزیه‌پذیری بالقوه» دقت کنید، این بدین معنی است که دو مقدار برابر یک سوبسترا که مواد جامد فرار یکسانی هم دارند، در شرایط نابرابر تولید متان متفاوتی (BMP) دارند. پتانسیل متان‌زایی تابعی از مقدار لیگنین، وجود یا عدم وجود مواد بازدارنده (قارچ‌ها، آفت‌کش‌ها و ...)، نسبت C/N، اندازه ذرات و پیش‌تیمارهای (حرارتی، شیمیایی یا بیولوژیکی) سوبسترا است. بر این اساس آزمون‌های تعیین کیفیت سوبسترا به صورت زیر باید مدنظر قرار گیرد:

تعیین DM ← تعیین مقدار خاکستر ← محاسبه VS ← تعیین BMP

یکی دیگر از کاربردهای تعیین مواد جامد فرار اندازه‌گیری بازده هاضم است. مقدار بیوگاز تولید شده طی فرایند هضم بی‌هوازی متناسب با محتوای مواد جامد فرار است. شاخص راندمان تبدیل زیست‌توده به متان عبارت است از نسبت VS مواد خام (ورودی هاضم) به VS باقیمانده مواد هضم شده (خروجی هاضم). آزمایش‌های مورد نیاز برای تعیین بازده کلی واحد بیوگاز به شرح زیر است:

تعیین VS مواد خام و پسماند هاضم ← محاسبه بازده هاضم ← تعیین BMP مواد هضم شده

(آزمایش تکمیلی)

۱-۲-۳ اندازه‌گیری DM با آنالیز رطوبت

این آزمایش جزو ساده‌ترین آزمایش‌های ماده خام است و به راحتی به صورت زیر قابل انجام است:

- ظرف را در ترازو قرار داده و ترازو را صفر کنید.

¹ Biochemical methane potential

- ظرف را به صورت یکنواخت با مقدار توصیه شده (معمولاً ۱۰ گرم) از ماده اولیه پر کنید.
 - ظرف را در آن قرار داده و دمای آن را روی ۱۰۵ درجه سلسیوس تنظیم کنید.
- چرخه خشک شدن نمونه در آن شروع می شود و زمانی که تغییرات وزنی نمونه قطع شد، چرخه خشک شدن را متوقف کنید. تفاوت وزن اولیه ماده و وزن نهایی، مبنای محاسبه مقدار رطوبت است. تحلیل و اندازه گیری رطوبت در عین حال که ابزار و روش بسیار ساده ای دارد ولی به واسطه اشتباهات کوچک می تواند منشأ اتلاف وقت و خطای آزمایشی نیز باشد. نمونه هایی از اشتباهات متداول اندازه گیری DM و VS در ذیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۱-۲-۳ خطای مقیاس رطوبت و ماده خشک

به طور پیش فرض رطوبت سنج ها، محتوای رطوبت را بر اساس وزن نمونه مرطوب و خشک و به صورت درصد اندازه گیری می کنند (برحسب). مدل های تجاری روش های مختلفی را برای گزارش نتایج استفاده می کنند که از جمله آن داریم:

- رطوبت برحسب درصد (ترپایه WW) یا رطوبت ATRO

- ماده خشک برحسب درصد (ترپایه WW) یا ماده خشک ATRO

کلمه ATRO از نام آلمانی Absolut TROcken (ماده خشک مطلق) گرفته شده است و یک روش متداول برای اندازه گیری رطوبت مطلق در صنعت چوب است که مقدار DM ترپایه را برحسب درصد محاسبه می کند:

- رطوبت برحسب درصدی از WW

$$M [\%] = \frac{WW - DW}{WW}$$

- DM برحسب درصدی از WW (معیار مفید برای این فرایند)

$$DM [\%] = \frac{DM}{WW}$$

- رطوبت ATRO

$$DM_{ATRO} [\%] = \frac{WW - DW}{DW}$$

- DM_{ATRO}

استفاده از نتایج آزمایشگاهی در صنایع تولید بیوگاز

۱-۴ کلیرد عملی آزمون VS

مقدار کربن کل که پیش‌تر به‌عنوان قابل‌هضم در نظر گرفته می‌شد، منحصراً به مواد جامد فراری اطلاق می‌شود که بخشی از مواد جامد را شامل می‌شوند. با اجرای آزمون VS که بسیار ساده است می‌توان به اطلاعات بسیار مفیدی برای نظارت و کنترل فرایند هضم بی‌هوازی دست یافت.

۱-۱-۴ اندازه‌گیری بار آلی^۱ (OL) و نرخ بار آلی^۲ (OLR)

اولین کاربرد عملی اندازه‌گیری VS، بررسی بار آلی و نرخ بار آلی است که به‌منظور ارزیابی واحد بیوگاز در محدوده طراحی قابل‌استفاده است. اغلب واحدهای بیوگاز کشاورزی ساخته شده در اروپا را می‌توان در زمره راکتورهای با همزن پیوسته^۳ (CSRT) طبقه‌بندی کرد. نرخ بار آلی این نوع راکتورها نمی‌توانند بیش از $3 \text{ kgVS/m}^3 \cdot \text{day}$ را تحمل کنند. در صورتی بارگذاری از این مقدار تجاوز کند، بازده تبدیل زیست‌توده به متان به سطح غیرقابل قبولی کاهش می‌یابد. به‌طور معمول، نرخ بار آلی واحدهای بیوگاز تک‌مرحله‌ای و دومرحله‌ای باید در محدوده $2/5-3 \text{ kg VS/m}^3 \cdot \text{day}$ ثابت باقی بمانند. برخی از تولیدکنندگان آلمانی راکتورهایی طراحی کرده‌اند که تا $5 \text{ kg VS/m}^3 \cdot \text{day}$ در روز را تحمل می‌کنند. در چنین راکتورهایی به‌منظور حفظ بازده هضم در سطح قابل‌قبول، اکوسیستم باکتریایی را با افزودن روزانه مخلوطی از آنزیم-

¹ Organic Load

² Organic Load Rate

³ continuously stirred reactor tank

ها، مواد معدنی و باکتری‌های lyophilized تثبیت می‌کنند. سازندگان این هاضم‌ها معتقدند که این راکتورها از نوع راکتورهای CSRT نیستند. این راکتورها در واقع، به صورت هاضم‌های جریان پلاگ (PFD)^۱ عمل می‌کنند که به صورت تئوریک از راکتورهای با همزن پیوسته کارآمدتر است. علی‌رغم، ملاحظات تئوریک و مرور مقالات مربوطه چنین برآورد می‌شود که تجربه برخی از پژوهشگران ایتالیایی در ارتباط با چنین هاضم‌هایی بسیار منفی است. دلایل آن را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- هاضم‌های آلمانی تجاری کمپکت را نمی‌توان واقعاً یک هاضم جریان پلاگ در نظر گرفت. در واقع از لحاظ کارکردی آن‌ها در محدوده هاضم‌های CSRT و هاضم‌های PFD می‌توان طبقه‌بندی کرد.
- مواد افزودنی به دلیل فرمول‌های خاصی که دارند از طرف سازنده هاضم‌ها، هزینه بالایی را مطالبه می‌کنند. با این وجود، در دوره بهره‌برداری تجاری از راکتورها، مالکان کارخانه‌ها خیلی به اثربخشی چنین افزودنی‌هایی در حفظ بازده هضم اعتمادی ندارند و قابلیت مواد افزودنی را بسیار پایین‌تر از ادعای سازندگان آن ارزیابی کرده‌اند. کارایی پایین این مواد در راکتورهای ناپیوسته^۲ (BR) آزمایشگاهی نیز نشان داده شده‌اند. خروجی پسماند هضم راکتورهای جریان پلاگ تقریباً دارای ۵۰ درصد BMP خوراک خام ورودی را دارا هستند.

خوراک‌دهی زیست‌توده کشاورزی راکتورهای پیوسته تک‌مرحله‌ای دارای همزن CSRT اگر بیش از $3 \text{ kg VS/m}^3 \cdot \text{day}$ باشد، محیط را اسیدی نموده و در نهایت به فروپاشی بیولوژیکی فرایند هضم بی-هوازی منجر خواهد شد. برای محاسبه نرخ بار آلی (OLR) واحدهای بیوگاز حاوی دو یا تعداد بیشتری هاضم، باید بار آلی (OL) روزانه را بر مجموع حجم همه راکتورها تقسیم کنید.

۱-۱-۴ کاربردهای اجرایی

در صنایع تولید بیوگاز لازم است که ماهانه حداقل یک بار آزمون‌های زیر تکرار شود:

- یک نمونه از خوراک خام (یا یک نمونه مخلوط حاوی خوراک و زیست‌توده‌های مختلف) را تهیه کنید و VS آن را اندازه‌گیری نمایید. اگر ذرت یا سایر سوبستراها از سیلو تأمین می‌شوند، بهتر است که نمونه‌ها را از شش نقطه مختلف سیلو تهیه کرده و همه آن‌ها را در یک ظرف مخلوط و سپس مقدار مورد نیاز را از آن بردارید. برای تهیه نمونه از لجن یا کود مایع، توصیه می‌شود قبل از نمونه‌برداری آن

¹ plug flow digester

² batch

چند ترفند ساده برای بهبود عملیات آزمایشگاهی

۱-۵ پیشگفتار

اغلب تکنیک‌های توصیف شده در این فصل با AMPTS II پیاده‌سازی و انجام شده‌اند و اجرای آن با ابزار و تجهیزات دیگر نیز امکان‌پذیر است.

۲-۵ اندازه‌گیری متان بیوگاز راکتور دوگانه و با استفاده از یک سرنگ

در اغلب آزمایشگاه‌ها و فعالیت‌های دانشگاهی، کروماتوگرافی گازی یکی از مرسوم‌ترین تکنیک‌های آنالیز ترکیب شیمیایی بیوگاز است. روش GC اگرچه بسیار دقیق است ولی اجرای مداوم آن برای مدیر واحد بیوگاز علاوه بر پیچیدگی از هزینه بالایی نیز برخوردار است. اغلب همه واحدهای بیوگاز مجهز به آنالایزر آنالین درصد بیوگاز هستند که معمولاً بر اساس اسپکتروفتومتری فروسرخ (IRS) عمل می‌کنند که مقادیر دی‌اکسیدکربن و متان بیوگاز را تعیین می‌کند. آنالایزرهای قابل‌حمل IRS و سنسورهای حالت جامد نیز در مراکز فروش موجود هستند. این قبیل تجهیزات برای اندازه‌گیری عملیات آزمایشگاهی مناسب نیستند، چون که این سنسورها نیازمند حجم بالایی راکتورهای بیوگاز در هر خوانش هستند. برای مثال، آنالایزر قابل‌حمل Geotech نیازمند دبی بیوگاز به میزان ۵۰۰ ml/min است که فراتر از ظرفیت هر راکتور آزمایشگاهی است. در برخی از آزمایش‌ها، علاوه بر مقدار خالص متان تولیدی نمونه‌ها، کیفیت بیوگاز (درصد متان) نیز مهم است. یک روش ساده برای این ارزیابی، تهیه دو منحنی جداگانه و ترسیم میزان متان تولیدی و دی‌اکسیدکربن به‌طور مستقل از هم است که بدین طریق می‌توان میزان روزانه

- improve biogas production. *Bioresource Technology*, 101(22), 8713–8717. doi:10.1016/j.biortech.2010.06.108.
- Burgstaler, J., Wiedow, D., Godlinski, F., and Kanswohl, N., Einsatz von Natriumhydrogencarbonat in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, *Landbauforschung—VTI Agriculture and Forestry Research*, 4, 343–352, 2011. https://www.thuenen.de/media/publikationen/landbauforschung/Landbauforschung_Vol61_4.pdf.
- Choong, Y.Y., Norli, I., Abdullah, A.Z., and Yhaya, M.F., Impacts of trace element supplementation on the performance of anaerobic digestion process: A critical review, *Bioresource Technology*, 209, 369–379, 2016.
- Dupont, Biogas enzymes brochure, <http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/industrial-biotechnology-documents/DuPontBiogas-Enzymes-brochure-web-EN.pdf>.
- FAO, Maize in human nutrition, *FAO Food and Nutrition Series*, No. 25, ISBN 92-5-103013-8, Rome, 1992. <http://www.fao.org/docrep/t0395e/t0395e03.htm>.
- Garuti, M., Soldano, M., and Fabbri, C., Conducibilità elettrica, utile monitorarla nel digestato, article published by *L'Informatore Agrario*, 40, 2014.
- Gustavsson, J., Cobalt and Nickel, Bioavailability for Biogas Formation, *Linköping Studies in Arts and Science No. 549, Water and Environmental Studies*, Linköping, Sweden, 2012.
- Helffrich, D., and Oechsner, H., The Hohenheim biogas yield test: comparison of different laboratory techniques for the digestion of biomass, *Landtechnik* 3/2003.
- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., Bougrier, C., Buffière, P., Carballa, M., de Wilde, V., Ebertseder, F., Fernández, B., Ficara, E., Fotidis, I., Frigon, J.-C., de Lacroix, H.F., Ghasimi, D.S.M., Hack, G., Hartel, M., Heerenklage, J., Horvath, I.S., Jenicek, P., Koch, K., Krautwald, J., Lizasoain, J., Liu, J., Mosberger, L., Nistor, M., Oechsner, H., Oliveira, J.V., Paterson, M., Paus, A., Pommier, S., Porqueddu, I., Raposo, F., Ribeiro, T., Pfund, F.R., Strömberg, S., Torrijos, M., van Eekert, M., van Lier, J., Wedwitschka, H., and Wierinck, I., Towards a standardization of biomethane potential tests, *Water Science & Technology*, 2016. <http://wst.iwaponline.com/content/ppiwawst/early/2016/09/19/wst.2016.336.full.pdf>.
- ISO/IEC Guide 98-1:2009, Uncertainty of measurement—Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement. <https://www.iso.org/standard/46383.html>.
- ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement—Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). <https://www.iso.org/standard/50461.html>.
- Lebuhn, M., Liu, F., Heuwinkel, H., and Gronauer, A., Biogas production from monodigestion of maize silage—long-term process stability and requirements, *Water Science & Technology*, 58(8), 1645–1651, 2008.
- Luna del Risco, M., Normak, A., and Orupõld, K., Biochemical methane potential of different organic wastes and energy crops from Estonia, *Agronomy Research*, 9(1–2), 331–342, 2011.

- Michener, B., Scarlata, C., and Hames, B., Rounding and significant figures: Laboratory analytical procedure (LAP), issued July 17, 2005, Technical Report NREL/TP-510-42626, January 2008.
- Mönch-Tegeder, M., Lemmer, A., Oechsner, H., and Jungbluth, T., Investigation of the methane potential of horse manure, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(2), 161–172, 2013.
- Petta, L., Giuliano, A., Porzio, V., and Gamberini, P., Con il pretrattamento enzimatico cresce la sostenibilità della filiera, *Terra e Vita*, 29–30, 50, 2013.
- Ploechl, M., Hilse, A., Heiermann, M., Quiñones, T.S., Budde, J., and Prochnow, A., Application of hydrolytic enzymes for improving biogas feedstock fluidity, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, IX, 2009.
- Södeborg, S., Nistor, M., and Liu, J., Towards eliminating systematic errors caused by the experimental conditions in biochemical methane potential (BMP) tests, *Waste Management*, 34, 1939–1948, 2014.
- Verein Deutscher Ingenieure, VDI 4630-2014 Vergärung organischer Stoffe Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche (Entwurf—April 2014), ICS 13.030.30, 27.190. <https://www.vdi.de/technik/fachthemen/energie-und-umwelt/fachbereiche/energiewandlung-und-anwendung/richtlinien/vdi-4630/>.

واژه نامه اصطلاحات و اختصارات

هضم بی‌هوازی توسط میکروارگانیزم‌ها در غیاب اکسیژن انجام می‌شود که محصول نهایی فرایند متان و دی‌اکسیدکربن است. تجهیزات هضم بی‌هوازی.	AD Anaerobic digestion
واحد مقاومت محلول در برابر کاهش pH. واحد اندازه‌گیری مقاومت محلول در برابر کاهش pH که با غلظت بی‌کربنات‌ها یا کربنات‌ها در محلول متناسب است. وقتی به صورت معادل کربنات کلسیم (برحسب mg) بیان شود، قلیایی کل می‌نامند. سیستم آزمایشگاهی تعیین پتانسیل متان.	ADP Alkalinity
بخش معدنی مواد آلی.	AMPTS Automatic methane potential test system
شرایطی که در یک یا چند گروه از میکروارگانیزم‌ها مهار می‌شوند و زنجیره تغذیه تجزیه مواد آلی می‌شکند. این اتفاق به انباشت محصولات میانی زنجیره (معمولاً اسیدهای چرب فرار (VFA) و کاهش شدید (یا صفر شدن) تولید متان می‌شود.	Ash Biological collapse
راکتور(هایی) که فقط حاوی ماده تلقیح هستند. تولید خالص متان به صورت تفاوت بین تولید راکتور تیماری (میانگین تکرارها) منهای راکتور شاهد (میانگین تکرار راکتورهای بلنک) تعیین می‌شود.	Blank
پتانسیل متان بیوشیمیایی: مقدار خالص متان تولید شده طی هضم بی‌هوازی. در برخی مواقع پسوندی به دنبال آن قرار می‌گیرد که نشان	BMP Biochemical methane potential

<p>دهنده زمان ماند و روزهای آزمایش است به عنوان مثال BMP_{30} به معنای BMP حاصل طی یک آزمایش ۳۰ روزه است.</p>	BOD₅
<p>نیاز بیولوژیکی اکسیژن در ۵ روز: معیاری برای تجزیه‌پذیری هوازی زیست‌توده است. لازم به ذکر است که ارتباط مستقیمی بین زیست‌تخریب‌پذیری هوازی و هضم بی‌هوازی مواد آلی وجود ندارد.</p>	Buffer capacity
<p>واحد مقاومت محلول در برابر کاهش pH. واحد اندازه‌گیری مقاومت محلول در برابر کاهش pH که با غلظت بی‌کربنات‌ها یا کربنات‌ها در محلول متناسب است.</p>	COD Chemical oxygen demand
<p>اکسیژن مورد نیاز شیمیایی: میزان کربن موجود در ماده آلی را بیان می‌کند. این شاخص را می‌توان به جای مواد جامد فرار به عنوان یک پارامتر محاسبه BMP استفاده کرد. هم‌ارزی COD و VS در فصل ۸ بحث شده است.</p>	CRT
<p>مشابه زمان نگهداری مواد جامد (SRT) است با این تفاوت که به بخش مواد جامد حاوی باکتری‌های زنده اشاره دارد.</p>	CSRT
<p>مخزن راکتور دارای همزن مداوم (CSRT) که متداول‌ترین هاضم‌های صنعت بیوگاز کشاورزی هستند.</p>	Digestate
<p>لجن باقیمانده (پسماند هضم) پس از فرآیند هضم بی‌هوازی (AD) که عمدتاً از مواد غیرقابل هضم (لیگنین، مواد معدنی) و زیست‌توده میکروبی زنده تشکیل شده است.</p>	DM Dry matter
<p>کسر ماده به جز رطوبت که مترادف کل مواد جامدات (TS) است وزن مواد جامد.</p>	d.w.: Dry weight
<p>تفاوت بین مقدار واقعی یک متغیر و مقداری که توسط یک ابزار یا دستگاه مشخص اندازه‌گیری شده است.</p>	E Absolute error
<p>خطای نسبی: نسبت خطای مطلق به مقدار متغیر اندازه‌گیری شده.</p>	e Relative error
<p>انتشار خطا: هنگام محاسبه یک شاخص با استفاده از دو یا چند متغیر اندازه‌گیری شده (به‌صورت جداگانه)، خطاهای تک‌تک متغیرها تمایل به تجمع دارند و در نتیجه مقدار خطای نهایی (عدم قطعیت) بزرگ‌تر از خطای تک‌تک متغیرها است.</p>	Error propagation
<p>نام تجاری آزمون نسبت VFA/TA مخفف عبارت آلمانی <i>Flüchtige Organische Säuren/Total Anorganisches Carbonat</i></p>	FOS/TAC

<p>فضای خالی راکتور: بخشی از هاضم یا راکتور آزمایشگاهی که توسط بیوگاز اشغال شده است.</p>	<p>Headspace</p>
<p>زمان ماند هیدرولیک: میانگین زمانی که حجمی از زیست توده مایع یا رقیق شده در هاضم باقی می ماند.</p>	<p>HRT Hydraulic retention time</p>
<p>تلقیح: زیست توده متشکل از میکروارگانیسم های زنده است که می تواند مواد آلی را در شرایط مناسبی تجزیه کند. بسته به نوع فرآیند، تلقیح ها هوازی یا بی هوازی هستند. به عنوان مثال، مخمر مایه تلقیح برای تخمیر خمیر نان (هوازی) یا تولید بیوگاز (بی هوازی) است. کود نشخوارکنندگان هم تلقیح و هم سوبسترای AD است. پسماند هضم ماده تلقیح متداول برای ارزیابی BMP است.</p>	<p>Inoculum</p>
<p>اسیدهای چرب با زنجیره بلند: اسیدهای چربی که بیش از شش اتم کربن دارند. این اسیدها معمولاً در آب نامحلول هستند، تمایل به تشکیل امولسیون و صابونی شدن دارند. به طور کلی، LCFA برای فرآیند AD بازدارنده است و برای هضم کامل آن ها به زمان طولانی (۴۵ تا ۶۰ روز) نیاز دارد.</p>	<p>LCFA Long chain fatty acids</p>
<p>نسبت اختلاط: شدت هم زدن در راکتور CSRT. لیتر یا مترمکعب در شرایط نرمال: از آنجایی که حجم گازها تابعی از دما و فشار است، باید شرایط اندازه گیری حجم گاز مشخص شود. در صنعت بیوگاز حجم گاز را در صفر درجه سلسیوس و در فشار اتمسفر 101.3kPa اندازه می گیرند.</p>	<p>Mix ratio</p> <p>NI</p> <p>Nm³</p>
<p>توده خشک آلی: مترادف VS که معمولاً در ادبیات فنی اروپا استفاده می شود (ترجمه عبارت آلمانی Organische trocken Masse).</p>	<p>ODM Organic dry mass</p>
<p>بار آلی: میزان (kg) مواد جامد فرار (VS) یا COD بارگیری شده به هاضم در روز kgVS (or COD)/day.</p>	<p>OL Organic load</p>
<p>میزان (kg) مواد جامد فرار (VS) یا COD بارگیری شده به ازای هر مترمکعب هاضم در روز kgVS (or COD)/m³/day.</p>	<p>OLR Organic loading rate</p>
<p>پتانسیل کاهش اکسیداسیون ORP (یا ردوکس): اندازه گیری ظرفیت تبادل الکترون بین گونه های شیمیایی (۲۵۷ میلی ولت). اگر مقدار ORP مثبت باشد، واکنش ها اکسیداتیو هستند (به طور معمول فرایندهای هوازی) و اگر منفی باشد، کاهش می دهند (به طور معمول فرایندهای بی هوازی).</p>	<p>ORP Oxidation reduction potential (aka redox)</p>

<p>پتانسیل هیدروژن: مقیاس بی‌بعدی که اسیدیته یا خاصیت بازی یک محلول را اندازه‌گیری می‌کند. $pH = 7$ بیانگر محلول خنثی است (آب مقطر و گاز زدایی شده). pH کمتر از ۷ در محلول اسیدی بروز می‌یابد (سرکه، کوکاکولا، آب لیمو، آب غیرمعدنی، پراکسید هیدروژن). محلول را بازی یا قلیایی نیز pH بزرگ‌تر از ۷ دارد (محلول سود سوزآور، آب لوله‌کشی، آب دریا، آمونیاک، سفید کننده، صابون ماشین ظرف‌شویی).</p>	pH
<p>اتصال کوتاه (به طور صحیح‌تر، اتصال کوتاه هیدرولیکی): شرایط دینامیک سیالات باعث ایجاد HRT بسیار کوتاه‌تر از زمان ماند اسمی می‌شود. این عامل را معادل کاهش مجازی حجم هاضم نیز در نظر می‌گیرند.</p>	Short circuit (more correctly, hydraulic short circuit)
<p>لیتر یا مترمکعب استاندارد: مفهوم مشابه Nl یا Nm^3 است که به عنوان شرایط استاندارد در ۲۰ درجه سلسیوس و $۱۰۱/۳$ کیلو پاسکال تعریف می‌شود. در صنعت بیوگاز خیلی متداول نیست و بیشتر در صنعت گاز طبیعی استفاده می‌شود.</p>	Sl or Sm³ Standard liters or cubic meters
<p>لجن: محتویات هاضم معمولاً از مواد آلی زنده (باکتری‌ها و آرکایاها) و سوبسترای نیمه تخریب‌شده تشکیل شده است.</p>	Sludge
<p>فعالیت متانوژنیک خاص SMA: حداکثر مقدار متان تولید شده از استات سدیم (یا اسید استیک) در روز، به ازای هر گرم VS تلقیح. سوبسترا: ماده آلی که BMP آن اندازه‌گیری می‌شود. مواد اولیه (خوراک) نیروگاه بیوگاز.</p>	SMA Specific methanogenic activity Substrate
<p>کل کربن آلی (Idem COD) که با روشی متفاوت اندازه‌گیری می‌شود $TOC = COD \times 12/32$</p>	TOC Total organic carbon
<p>کل مواد جامد موجود در بستر (اعم از آلی و معدنی). زمان گردش: ضربی که به صورت نسبت بین حجم هاضم/جریان گردش تعریف می‌شود. به عنوان یک پارامتر کنترل پمپ همزن در هاضم‌های CSRT استفاده می‌شود. مقدار مطلوب در محدوده ۲۰-۳۰ دقیقه است.</p>	TS Turnover time
<p>جریان گاز واحد: ضربی که به صورت نسبت جریان/حجم بیوگاز تزریقی تعریف می‌شود در هاضم‌های CSRT که با دمیدن بیوگاز از پایین فرایند همزنی انجام می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار مطلوب در محدوده $۰/۲۴ - ۰/۳ (m^3/h)/m^3$ digester قرار دارد.</p>	Unit gas flow

<p>توان واحد: ضریبی که به صورت نسبت توان شفت/حجم همزن تعریف می شود (ویژه هاضم های CSRT با همزن های مکانیکی، مقادیر مطلوب در محدوده ۵ تا ۸ وات بر مترمکعب برای همزنی کامل).</p>	<p>Unit power</p>
<p>حجم مفید هاضم: بخشی از هاضم که به طور مؤثر توسط لجن فعال اشغال می شود.</p>	<p>V Useful volume of the digester</p>
<p>گرادیان سرعت: $VG = [P_{stirrers}/(V_{digester} \cdot \mu)]^{1/2}$ (که μ ویسکوزیته دینامیکی یا مطلق لجن است). به طور تئوریک، بهترین معیار تعریف شدت هم زدن است، اما اندازه گیری μ عملاً غیرممکن است، زیرا لجن یک سیال غیرنیوتنی است. مقدار ایده آل آن در محدوده $VG = 50 - 80 \text{ s}^{-1}$ است.</p>	<p>VG Velocity gradient</p>
<p>اسیدهای چرب فرار VFA: اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه (>۶ اتم کربن). اسیدهای استیک، پروپیونیک و بوتیریک که اغلب در فرآیندهای هضم طبیعی موجود هستند.</p>	<p>VFA Volatile fatty acids</p>
<p>VS جامدات فرار: کسری از TS که به طور کامل توسط میکروارگانیسم ها قابل هضم است. $(VS = TS - \text{ash})$</p>	<p>VS Volatile solids</p>
<p>وزن مرطوب: VS را به صورت کسری از DM یا کسری از w.w بیان می کنند. در سراسر این کتاب، VS به عنوان کسری از w.w بیان شده است، مگر در مواردی که نحوه محاسبه مشخص شده باشد.</p>	<p>w.w. Wet weight</p>

جدول مورد نیاز برای تسریع محاسبات

جدول ۱-۸ محتوای کربن، نیتروژن و نسبت C/N بیوماس

C/N	C (%d.w.)	N (%d.w.)	
56.6	68	1.2	کاه ذرت
12.5	45	3.6	کلم
12	48	4	یونجه Hay
16	40	2.5	یونجه Alfalfa
25	40	1.6	علوفه لگوم
17-25	30-40	1.6-1.8	کود گاوی
13-20	49-76	3.8	کود گوسفندی
27.4	22	0.8	کود طویله
25	57.5	2.3	کود اسب
6.2-13.7	23-38	2.8-3.8	کود خوک (جامد)
10	4	0.4	کود خوک (پساب)
80	40	0.5	کاه جو دوسر
100	50	0.5	کاه گندم
48	48	1	کاه جو
5-9.6	31-35	3.7-6.3	کود بستر مرغ
12.5	41	3.3	گوجه‌فرنگی
28.6	54	1.9	زباله آشپزخانه
31	44	1.4	ساقه ذرت
13	39	3	شیدر

جدول ۸-۲ مقدار pH برخی مواد متداول

مقدار pH	نوع ماده
0	محلول اسید هیدروکلریک ۱ M
1.5	اسید باتری
1.0-2.0	شیره معده
2.4	آبلیمو
2.5	کوکاکولا
2.9	سرکه
3.5	صابون آنتی باکتریال
3.7	آب پرتقال
4.5	ماءالشعیر
4.5-4.8	باران اسیدی
5.0	قهوه
5.5	چای، پوست سالم
5.5-6.0	آب دی یونیزه در دمای °C ۲۵
6.2	آب اکسیژنه
6.5-6.7	شیر
7	آب مقطر در دمای °C ۲۵
6.5-7.5	بزاق انسان سالم
7.40-7.45	خون
7.2-7.8	آب استخر
7.7-8.3	آب دریا
9.0-10.0	صابون قلیایی
11.5	آمونیاک
12.5	سفید کننده
13.5	آب قلیایی Lye
14	محلول هیدروکسید سدیم ۱ M

جدول ۳-۸ نسبت هم ارزی محتوای جامدات فرار (VS) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) چند ماده خالص که به عنوان بستر مرجع هاضم

g VS/g COD	فرمول شیمیایی	ماده
1.3333	$\approx 50\% C$	بیومس گیاهی و باکتریایی
1.0666	$C_6H_{12}O_6$	گلوکز
1.0666	$C_{12}H_{24}O_{12}$	ساکارز
1.0666	$C_6H_{12}O_6$	فروکتوز
1.0666	$(C_6H_{12}O_6)_n$	نشاسته
0.84375	$(C_6H_{10}O_5)_n$	سلولز
≈ 0.42	$55\% C + 7\% H + 17\% N + 21\% O$	پروتئین‌ها (میانگین)
0.93	CH_3COOH	اسید استیک
≈ 0.93	CH_3COONa	استات سدیم
0.6622	$C_3H_6O_2$	اسید پروپیونیک
≈ 0.6622	$C_3H_5O_2Na$	سدیم پروپیونات
0.5525	$C_4H_8O_2$	اسید بوتیریک
≈ 0.5525	$C_4H_7O_2Na$	سدیم بوتیرات
0.346	$C_{18}H_{34}O_2$	روغن‌های گیاهی (اسید اولئیک)

Mario Alejandro Rosato

MANAGING

BIOGAS PLANTS

Translated By:

Prof. T. Mesri Gundoshmian

Dr. M. Ahmadi Pirlou

