

## زیست‌گاز و ارزیابی چرخه حیات آن

ترجمه و گردآوری:

حامد زارع نانی

(پژوهشگر مرکز تحقیقات و نوآوری سازمان اتکا)

سید رضا حسینی

(هیئت علمی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران)

|                     |                                                                                                                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| شابک                | ۲۰۰۰۰ ریال: ۹۷۸-۶۰۰-۸۲۰۴-۵۴-۱                                                                                         |
| شماره کتابشناسی ملی | ۴۵۷۷۴۵۰                                                                                                               |
| عنوان و نام پدیدآور | زیست گاز و انرژی چرخه حیات آن / ترجمه و گردآوری حامد زارع ثانی، سیدرضا حسن بیگی؛ ویراستار فنی و ادبی شهاب معین الدینی |
| مشخصات نشر          | تهران: اتکا، مرکز تحقیقات و توسعه، ۱۳۹۵.                                                                              |
| مشخصات ظاهری        | ۳۰۷ ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (رنگی).                                                                         |
| یادداشت             | بخشی از کتاب حاضر از کتاب «انرژی زیست گاز» تألیف تسنیم عباسی، اس.ام. توصیف و اس.ای. عباسی ترجمه شده است.              |
| یادداشت             | واژه نامه.                                                                                                            |
| یادداشت             | کتابنامه: ص. ۲۹۳ - ۲۹۶.                                                                                               |
| یادداشت             | نمایه.                                                                                                                |
| عنوان دیگر          | انرژی زیست گاز.                                                                                                       |
| موضوع               | بیوگاز                                                                                                                |
| موضوع               | Biogas                                                                                                                |
| رده، طبقه بندی      | ۶۶۵/۷۷۶                                                                                                               |
| پند، شماره          | ۱۳۹۵ ۹/۹زب/ TP۳۴۵۹                                                                                                    |
| سرآه                | زارع ثانی، حامد، ۱۳۷۰ - گردآورنده، مترجم                                                                              |
| شناسه آ- ده         | حسن بیگی، سیدرضا، ۱۳۵۰ - گردآورنده، مترجم                                                                             |
| شناسه افزوده        | عباسی، تسنیم                                                                                                          |
| شناسه افزوده        | Abbasi, Tasneem                                                                                                       |
| شناسه افزوده        | توصیف، اس.ام.                                                                                                         |
| شناسه افزوده        | T. eef, S.M                                                                                                           |
| شناسه افزوده        | عباسی، اس.ای.                                                                                                         |
| شناسه افزوده        | Abbasi, S.A                                                                                                           |
| شناسه افزوده        | معین الدینی، سید شهاب الدینی، ویراستار                                                                                |
| شناسه افزوده        | اتکا، مرکز تحقیقات و توسعه                                                                                            |
| وضعیت فهرست نویسی   | فیبیا                                                                                                                 |

|                      |                                                                      |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------|
| عنوان:               | زیست گاز و انرژی چرخه حیات آن                                        |
| ترجمه و گردآوری:     | حامد زارع ثانی، سیدرضا حسن بیگی                                      |
| ویراستار فنی و ادبی: | شهاب معین الدینی، سیدرضا حسن بیگی، مرکز تحقیقات و نوآوری سازمان اتکا |
| زمان و نوبت چاپ:     | بهمن ۱۳۹۵، اول                                                       |
| شمارگان:             | ۲۰۰ نسخه                                                             |
| طراح جلد:            | البرز نظری (بزهشگر مرکز تحقیقات و نوآوری سازمان اتکا)                |
| شابک:                | ۹۷۸-۶۰۰-۸۲۰۴-۵۴-۱                                                    |
| قیمت:                | ۲۰۰,۰۰۰ ریال                                                         |



کلیه حقوق چاپ این کتاب محفوظ و متعلق به مرکز تحقیقات و نوآوری سازمان اتکا است. هر نوع تکثیر یا نشر تمام یا بخشی از این کتاب منوط به اجازه کتبی سازمان اتکا خواهد بود. نشانی: تهران، خ امام خمینی (ره)، خ شهید مرادی، ساختمان شهدای مرکزی اتکا، ط ۲، انتشارات مرکز تحقیقات و نوآوری  
 تلفن: ۰۲۱-۶۱۹۱۵۱۲۴ | فکس: ۰۲۱-۶۱۹۱۵۳۵۵  
 وبسایت: [www.etkaec.ir](http://www.etkaec.ir) | رایانامه: [tec@erdcenter.com](mailto:tec@erdcenter.com)

بسمه تعالی

«کار علمی و تحقیقاتی‌تان را جدی بگیرید... دانش خیلی از نیازهای شما در دانشگاه‌ها وجود دارد.»

مقام معظم رهبری حضرت امام خامنه‌ای (مدظله‌العالی)

در جهان امروزی دسترسی به منابع انرژی پایدار و پاک یکی از چالش‌های مهم کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه می‌باشد. این موضوع همانند دهه‌های گذشته تنها به کشورهای وارد کننده نفت اختصاصی ندارد، بلکه حتی توانا کنندگان بزرگ نفت از جمله کشور عزیزمان ایران نیز با مشکلات متعددی در زمینه تهیه سوخت روبرو هستند. مسئله دیگر در استفاده از سوخت‌های فسیلی، اثرات مخرب آن‌ها بر روی محیط زیست می‌باشد. با توجه به این واقعیت‌ها و ذکر این نکته که منابع سوخت‌های فسیلی به تدریج در حال اتمام هستند، تقویت منابع انرژی پاک و جایگزین به اولویت اصلی بشر تبدیل شده است. زیست‌توده یک منبع تجدیدپذیر انرژی است که از مواد زیستی به دست می‌آید. به‌طور کلی زباله‌هایی را که منشأ زیستی داشته و از تکرار سلولان پدید آمده باشند زیست‌توده می‌نامند. زیست‌گاز معمولاً به مخلوطی از گازهای قابل اشتعال که به واسطه تجزیه بی‌هوازی مواد زیستی تولید می‌شود، اطلاق می‌گردد که علاوه بر پاک و تجدید پذیر بودن، به واسطه قابلیت استفاده از آن تولید انرژی نمود.

ترجمه و گردآوری کتاب حاضر در راستای معرفی و توسعه روش‌های مدیریت مواد زیستی و روش‌های تولید زیست‌گاز از انواع ضایعات می‌باشد. استخراج زیست‌گاز از این مواد، دستیابی به سوخت پاک و نیز مدیریت مواد ضایعاتی را حاصل می‌سازد و امکان وجود منبع تجدیدپذیر و همیشگی را به عنوان سوخت که یکی از عوامل مؤثر در ظهور بحران‌های منطقه‌ای و جهانی است، فراهم می‌آورد.

این کتاب توسط پژوهشگر مرکز تحقیقات و نوآوری سازمان اتکا آدی خاندانی با همکاری و نظارت آقایان دکتر سیدرضا حسن‌بیگی، یدگلی و دکتر مرتضی خشه‌چی، اعضای هیئت علمی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران ترجمه و گردآوری گردیده است. ضمن سپاسگزاری از مرجع استاد راهنمای محترم ایشان، امید است این اثر در جهت ارتقا دانش مدیران و دست‌اندرکاران حوزه انرژی میهن عزیز اسلامی ایران، به‌ویژه سازمان اتکا مفید واقع گردد. انشاء...

محمد مهدی کربلایی

مدیرعامل سازمان اتکا

## پیشگفتار

امروزه به دلیل افزایش نیاز بشر به انرژی و همچنین مشکلات ناشی از انرژی‌های فسیلی، دانشمندان در صدد هستند به از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان منبع انرژی مورد نیاز جامعه بشریت استفاده نمایند. هم‌اکنون نگرانی‌هایی در خصوص کاهش منابع انرژی وجود دارد که با توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان این نگرانی‌ها را کم‌تر داد.

یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر که جایگاه خوبی نیز به خود اختصاص داده است، زیست‌سوخت‌ها می‌باشد. زیست‌سوخت‌ها از بقایای گیاهی و جانوری قابل تولید هستند و مشکلات زیست محیطی کمتری در مقایسه با سوخت‌های فسیلی دارند. زیست‌گرم هم‌اکنون در جهان کاربردهای فراوانی پیدا کرده و سرمایه‌گذاری زیادی نیز جهت توسعه تکنولوژی تولید و کار به آن انجام شده است.

میهن عزیزمان ایران یکی از کشورهای تولیدکننده است که شاید دلیل کم‌توجهی به انرژی‌هایی از این دست باشد و به همین دلیل، اساتید و دانشجویان کمی در زمینه سوخت‌های زیستی به تحقیق پرداخته‌اند. این اثر، مطالبی در زمینه‌های مختلف تولید تا قابلیت پیدایش سوخت‌ها را به دانشجویان و محققان ارائه می‌دهد. فقدان منابع علمی در این زمینه در ایران باعث شده تا پژوهشگران این اثر گامی در جهت توسعه این صنعت بر دارند که یکی از نتایج آن، اثر حاضر است.

در طی ترجمه و گردآوری این کتاب از تجارب نویسندگان در قالب گزارش‌ها، مقالات علمی و کتاب‌های بسیاری که در این زمینه به رشته تحریر در آمده‌اند، بهره گرفته شده است. وجود اشکال و انطباق در این اثر محتمل است. از این رو، از طیف مخاطبین اعم از دانشجویان، مهندسان و استادان تقاضای همکاری و کمک در راستای بهبود کیفی این اثر را داریم. امید است با تدوین و چاپ این اثر گام مؤثری در راستای ارتقای فرهنگ و اعتلای علم در کشور عزیزمان ایران برداشته باشیم. در پایان از پیگیری و مساعدت‌های جناب آقای دکتر محمد حسین کیانمهر کمال تشکر را داریم.

هر گونه نظر و یا انتقاد خود را به آدرس الکترونیکی [Hamed.zaresani@ut.ac.ir](mailto:Hamed.zaresani@ut.ac.ir) ارسال نمایید.

|    |                                                                                   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۶ | فصل اول: معرفی زیست‌گاز و انرژی زیست‌گاز.....                                     |
| ۱۶ | ۱-۱ زیست‌گاز چیست؟.....                                                           |
| ۱۸ | ۲-۱ زیست‌گاز چگونه تولید می‌شود؟.....                                             |
| ۲۲ | ۳-۱ فاکتورهای مؤثر در تجزیه بی‌هوازی مواد اولیه آلی.....                          |
| ۲۲ | ۱-۳-۱ نسبت C/N.....                                                               |
| ۲۳ | ۲-۳-۱ رقیق‌سازی.....                                                              |
| ۲۳ | ۳-۳-۱ pH.....                                                                     |
| ۲۴ | ۴-۳-۱ ما.....                                                                     |
| ۲۴ | ۵-۳-۱ سرعت بارگذاری.....                                                          |
| ۲۵ | ۶-۳-۱ زمان ماند.....                                                              |
| ۲۵ | ۷-۳-۱ زمان ماند هیدرولیکی (HRT).....                                              |
| ۲۵ | ۸-۳-۱ زمان ماند جامد (SRT).....                                                   |
| ۲۶ | ۹-۳-۱ رابطه بین HRT و SRT و اهمیت نسبت مواد تغذیه شده به میکروارگانیسم (F/M)..... |
| ۲۷ | ۱۰-۳-۱ سمیت.....                                                                  |
| ۲۷ | ۱۱-۳-۱ اختلاط.....                                                                |
| ۲۷ | ۱۲-۳-۱ پانوزنها.....                                                              |
| ۲۸ | ۱۳-۳-۱ تفاله جامد/دوغاب.....                                                      |
| ۳۲ | فصل دوم: تاریخچه مختصر هضم بی‌هوازی و زیست‌گاز.....                               |
| ۳۲ | ۱-۲ مقدمه: کشف زیست‌گاز.....                                                      |
| ۳۳ | ۲-۲ توسعه هضم بی‌هوازی به عنوان فرایند تصفیه فاضلاب.....                          |
| ۳۴ | ۳-۲ زیست‌گاز و کشورهای در حال توسعه.....                                          |
| ۳۵ | ۱-۳-۲ هندوستان.....                                                               |
| ۳۷ | ۲-۳-۲ چین.....                                                                    |
| ۳۸ | ۳-۳-۲ نپال.....                                                                   |
| ۳۹ | ۴-۳-۲ ویتنام.....                                                                 |
| ۳۹ | ۵-۳-۲ بنگلادش.....                                                                |
| ۴۱ | ۶-۳-۲ سریلانکا.....                                                               |
| ۴۱ | ۷-۳-۲ سایر کشورهای در حال توسعه.....                                              |
| ۴۱ | ۴-۲ استفاده از هضم بی‌هوازی در سایر نقاط.....                                     |
| ۵۰ | فصل سوم: زیست‌گاز و گرمایش کره زمین.....                                          |
| ۵۱ | ۱-۳ مقدمه.....                                                                    |
| ۵۲ | ۲-۳ منابع متان.....                                                               |

|    |                                                                                      |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ۵۳ | ۱-۲-۳ منابع انسانی.....                                                              |
| ۵۳ | ۱-۱-۲-۳ دفنگاه‌ها.....                                                               |
| ۵۳ | ۲-۱-۲-۳ گاز طبیعی و سیستم‌های نفتی.....                                              |
| ۵۴ | ۳-۱-۲-۳ معادن زغال‌سنگ.....                                                          |
| ۵۴ | ۴-۱-۲-۳ تخمیر روده‌ای احشام.....                                                     |
| ۵۴ | ۵-۱-۲-۳ مدیریت فضولات حیوانی.....                                                    |
| ۵۴ | ۶-۱-۲-۳ تصفیه فاضلاب.....                                                            |
| ۵۵ | ۷-۱-۲-۳ کشاورزی.....                                                                 |
| ۵۵ | ۲-۲-۳ منابع طبیعی.....                                                               |
| ۵۵ | ۱-۲-۲-۳ تالاب‌ها.....                                                                |
| ۵۵ | ۲-۲-۲-۳ موریانه‌ها.....                                                              |
| ۵۶ | ۲۰-۲-۲-۳ اقیانوس‌ها.....                                                             |
| ۵۶ | ۲-۱-۲-۳ مدیریت‌های متان.....                                                         |
| ۶۰ | ۵-۱-۲-۳ منابع زمین‌شناسی.....                                                        |
| ۶۰ | ۲-۲-۲-۳ آتش‌سوزی.....                                                                |
| ۶۰ | ۷-۲-۲-۳ حیوانات وحشی.....                                                            |
| ۶۱ | ۳-۳ منابع متان به شکل زیست‌گاز تولید شده ناشی از فعالیت‌های پش‌زاد.....              |
| ۶۶ | <b>فصل چهارم: راکتورهای بی‌هوازی سرعت پایین و سرعت بالا.....</b>                     |
| ۶۶ | ۱-۴ کلیات.....                                                                       |
| ۶۷ | ۲-۴ راکتورهای سرعت پایین و سرعت بالا بی‌هوازی.....                                   |
| ۷۶ | <b>فصل پنجم: استخراج زیست‌گاز از فضولات حیوانی.....</b>                              |
| ۷۶ | ۱-۵ مقدمه.....                                                                       |
| ۷۸ | ۲-۵ برخی از هاضم‌های سرعت پایین رایج.....                                            |
| ۸۰ | ۱-۲-۵ واحد زیست‌گاز گنبد شناور: مدل کمیسیون صنعتی روستایی و شهری.....                |
| ۸۲ | ۲-۲-۵ سیستم زیست‌گاز گنبد شناور: مدل موسسه تحقیقات کشاورزی هندوستان.....             |
| ۸۳ | ۳-۲-۵ سیستم‌های زیست‌گاز گنبد ثابت: مدل‌های چینی / جاناتا / دینباندو.....            |
| ۸۷ | ۴-۲-۵ هاضم بالونی.....                                                               |
|    | ۵-۲-۵ محدودیت اساسی هاضم‌های زیست‌گاز سرعت پایین توصیف شده در بخش‌های قبلی.....      |
| ۸۹ | .....                                                                                |
|    | ۳-۵ هاضم‌های فضولات مقیاس بزرگ مورد استفاده در کشورهای توسعه‌یافته، اکنون در کشورهای |
| ۹۰ | در حال توسعه نیز بیش از پیش رونق می‌یابند.....                                       |
| ۹۰ | ۱-۳-۵ روند رو به رشد استخراج متان.....                                               |

|     |                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| ۹۵  | ۲-۳-۵ فناوری به کار رفته.....                                            |
| ۹۵  | ۱-۲-۳-۵ هاضم حوضچه سرپوشیده.....                                         |
| ۹۵  | ۲-۲-۳-۵ هاضم جریان قالبی.....                                            |
| ۹۸  | ۳-۲-۳-۵ هاضم های همزنی / اختلاطی.....                                    |
| ۹۸  | ۴-۲-۳-۵ هاضم غشا ثابت.....                                               |
| ۹۹  | ۵-۲-۳-۵ هاضم های بستر معلق.....                                          |
| ۱۰۱ | ۶-۲-۳-۵ رآکتور بسته متوالی بی هوازی (ASBR).....                          |
| ۱۰۶ | <b>فصل ششم: استخراج زیست گاز از فاضلاب ها: هاضم های سرعت بالا.....</b>   |
| ۱۰۷ | ۱-۶ مقدمه.....                                                           |
| ۱۰۷ | ۲-۶ استخراج متان از پساب ها به عنوان یک جزء تشکیل دهنده از زیست گاز..... |
| ۱۱۱ | ۳-۶ هاضم های سرعت بالا.....                                              |
| ۱۱۳ | ۱-۳-۶ نسل اول هاضم های سرعت بالا.....                                    |
| ۱۱۳ | ۱-۱-۳-۶ رآکتور بی هوازی با اختلاط پیوسته بی هوازی (CSFR).....            |
| ۱۲۰ | ۲-۱-۳-۶ رآکتور تماسی بی هوازی.....                                       |
| ۱۲۱ | ۲-۳-۶ هاضم های پرسرعت نسل دوم.....                                       |
| ۱۲۱ | ۱-۲-۳-۶ فیلترهای بی هوازی (AF).....                                      |
| ۱۲۴ | ۲-۲-۳-۶ رآکتورهای غشا ثابت ایستای جریان رو به پایین (DFSFF).....         |
| ۱۲۵ | ۳-۲-۳-۶ رآکتور روکش لجن بی هوازی جریان رو به بالا (UASB).....            |
| ۱۳۳ | ۴-۲-۳-۶ رآکتورهای بستر شناور و بستر گسترده بی هوازی.....                 |
| ۱۳۸ | ۳-۳-۶ نسل سوم هاضم های سرعت بالا.....                                    |
| ۱۳۸ | ۱-۳-۳-۶ تلفیق های AF-UASB.....                                           |
| ۱۴۲ | ۲-۳-۳-۶ رآکتورهای غشایی فراپالایش.....                                   |
| ۱۴۲ | ۳-۳-۳-۶ رآکتورهای UASB اصلاح شده.....                                    |
| ۱۶۸ | <b>فصل هفتم: استخراج زیست گاز از پسماندهای جامد.....</b>                 |
| ۱۶۹ | ۱-۷ مقدمه.....                                                           |
| ۱۷۱ | ۲-۷ هضم چند فازي.....                                                    |
| ۱۷۵ | ۳-۷ هضم بی هوازی خوراک جامد (SFAD).....                                  |
| ۱۸۰ | ۴-۷ هضم بی هوازی جامدات با غلظت بالا.....                                |
| ۱۸۲ | ۵-۷ وضعیت فعلی تصفیه MSW توسط هضم بی هوازی.....                          |
| ۱۸۲ | ۱-۵-۷ مزایا و چالش ها.....                                               |
| ۱۸۹ | ۲-۵-۷ هضم بی هوازی MSW در اروپا.....                                     |
| ۱۸۹ | ۱-۲-۵-۷ سیر تکاملی MSW-AD طی سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰.....                   |
| ۱۹۱ | ۲-۲-۵-۷ انواع فرایندها و مواد اولیه مورد استفاده.....                    |

|     |                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| ۱۹۳ | ..... چشم انداز آینده..... ۷-۵-۲                                         |
| ۱۹۳ | ..... ۷-۵-۳ سیستم های هضم بی هوازی برای تصفیه MSW.....                   |
| ۱۹۳ | ..... ۷-۵-۱ سیستم های مرطوب تک مرحله ای.....                             |
| ۱۹۵ | ..... ۷-۵-۲ سیستم های خشک تک مرحله ای.....                               |
| ۲۰۸ | ..... ۷-۵-۳ سیستم های چند مرحله ای.....                                  |
| ۲۰۸ | ..... ۷-۵-۴ بررسی اجمالی فرایندهای پایه واحدهای AD تجاری رایج برای تصفیه |
| ۲۱۰ | ..... پسماندهای جامد.....                                                |
| ۲۱۷ | ..... ۷-۵-۴ مسائل اقتصادی هضم MSW.....                                   |
| ۲۲۴ | ..... فصل هشتم: استخراج زیست گاز از دفنگاه ها.....                       |
| ۲۲۵ | ..... ۱-۱ مقدمه.....                                                     |
| ۲۲۷ | ..... ۸-۲-۱ منبع انتشار متان.....                                        |
| ۲۳۰ | ..... ۸-۳-۱ تکنیک راحی دفنگاه های بهداشتی.....                           |
| ۲۳۱ | ..... ۸-۲-۲ ساخت دفنگاه ها بهداشتی.....                                  |
| ۲۳۱ | ..... ۸-۳-۱-۱ ساخت دفنگاه های بهداشتی.....                               |
| ۲۳۱ | ..... ۸-۳-۱-۲ روش های دفنگاه های بهداشتی.....                            |
| ۲۳۴ | ..... ۸-۳-۲ استحصال زیست گاز از دفنگاه ها.....                           |
| ۲۳۵ | ..... ۸-۳-۱ حذف دی اکسید کربن.....                                       |
| ۲۳۹ | ..... ۸-۳-۲ حذف اکسیژن و نیتروژن.....                                    |
| ۲۳۹ | ..... ۸-۳-۳ حذف سولفید هیدروژن.....                                      |
| ۲۴۰ | ..... ۸-۳-۴ حذف هیدروکربن های هالوژنه.....                               |
| ۲۴۱ | ..... ۸-۳-۵ حذف سیلوکسان.....                                            |
| ۲۴۲ | ..... ۸-۳-۳ گزینه های بهره برداری.....                                   |
| ۲۴۲ | ..... ۸-۴ استحصال LFG در کشورهای در حال توسعه.....                       |
| ۲۴۶ | ..... ۸-۵ خطرات مربوط به دفنگاه ها.....                                  |
| ۲۴۷ | ..... ۸-۵-۱ اشتعال پذیری.....                                            |
| ۲۴۹ | ..... ۸-۵-۲ سمیت.....                                                    |
| ۲۵۱ | ..... ۸-۵-۳ کاهش اثرات گاز دفنگاه بر سلامتی.....                         |
| ۲۵۲ | ..... ۸-۵-۴ خطر آلودگی ناشی از شیرابه.....                               |
| ۲۵۳ | ..... ۸-۵-۵ روش های دفع شیرابه.....                                      |
| ۲۵۳ | ..... ۸-۵-۵-۱ جمع آوری شیرابه.....                                       |
| ۲۵۴ | ..... ۸-۵-۵-۲ بازگردانی شیرابه.....                                      |
| ۲۵۴ | ..... ۸-۶ دفنگاه های زیست راکتور.....                                    |



|     |                                                                |
|-----|----------------------------------------------------------------|
| ۲۶۰ | فصل نهم: ارزیابی پایداری فناوری هضم بی‌هوازی با استفاده از LCA |
| ۲۶۱ | ۱-۹ مقدمه                                                      |
| ۲۶۳ | ۲-۹ معرفی روش و تعاریف اولیه                                   |
| ۲۶۳ | ۱-۲-۹ چهارچوب کلی                                              |
| ۲۶۴ | ۲-۲-۹ ارزیابی پایداری                                          |
| ۲۶۵ | ۳-۲-۹ مرزهای مکانی                                             |
| ۲۶۶ | ۴-۲-۹ مرزهای زمانی                                             |
| ۲۶۶ | ۵-۲-۹ گمرک                                                     |
| ۲۶۷ | ۶-۲-۹ فرایند هضم بی‌هوازی                                      |
| ۲۶۸ | ۱-۲-۹ تبادل هیدروژن و متان با استفاده از یک AD دو مرحله‌ای     |
| ۲۷۰ | ۸-۲-۹ مرزهای ارزیابی پایداری                                   |
| ۲۷۰ | ۳-۹ ابزار ESI                                                  |
| ۲۷۱ | ۱-۳-۹ کاربرد ESI برای فرایند AD                                |
| ۲۷۲ | ۴-۹ مدل آنالوگ (AM)                                            |
| ۲۷۳ | ۱-۴-۹ انرژی در دسترس در فرایند AD                              |
| ۲۷۳ | ۲-۴-۹ تولید انرژی خالص در فرایند AD                            |
| ۲۷۵ | ۳-۴-۹ انرژی تولید شده                                          |
| ۲۷۶ | ۴-۴-۹ انرژی مستقیم مصرف شده در فرایند AD                       |
| ۲۷۶ | ۱-۴-۴-۹ انرژی گرمایی                                           |
| ۲۷۶ | ۲-۴-۴-۹ هدر رفت انرژی گرمایی                                   |
| ۲۷۸ | ۳-۴-۴-۹ انرژی الکتریکی                                         |
| ۲۷۹ | ۵-۴-۹ انرژی غیرمستقیم در فرایند AD                             |
| ۲۸۲ | ۶-۴-۹ انرژی مفید در فرایند AD                                  |
| ۲۸۲ | ۷-۴-۹ نتایج مدل آنالوگ                                         |
| ۲۸۵ | ۵-۹ ابزارهای EROI و EPT                                        |
| ۲۸۶ | ۱-۵-۹ استفاده از EROI و EPT در هضم دو مرحله‌ای                 |
| ۲۹۱ | ۲-۵-۹ استفاده از EROI و EPT در فرایند AD                       |