

بنام خداوند بخشنده بخشای شکر مهربان



وزارت علوم تحقیقات و فناوری
سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

مهندسی سوخت‌های زیستی فناوری فرآیند

برگردان:

دکتر خسرو رستمی

عضو هیأت علمی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

نویسندگان:

سی ام. درایچو نقیم فو نهوان تری اچ. والکر

عنوان و نام پدیدآور	: مهندسی سوخت زیستی فناوری فرایند/سی.ام. درایچو، نقیم‌فو نهوان، تری.اچ. والکر؛ مترجم خسرو رستمی.
مشخصات نشر	: تهران: سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۴۶۴ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۳۵۰۰۰۰ ریال ۴-۶-۹۷۲۳۱-۶۰۰-۹۷۸:
یادداشت	: عنوان اصلی: Biofuels engineering process technology, ۲۰۰۸.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: انرژی زیست توده
موضوع	: Biomass energy
موضوع	: شیمی -- فرایندها
موضوع	: Chemical processes
موضوع	: مهندسی شیمی
موضوع	: Chemical engineering
موضوع	: تولید -- فرایندها
موضوع	: Manufacturing processes
رده بندی دیویی	: ۶۶۲/۸۸
رده بندی کنگره	: TP۳۳۹/د۴م۹ ۱۳۹۷
سرشناسه	: درایچو، کی.ام. Drapcho, Caye M.
شناسه افزوده	: نهوان، نی.یم.فو
شناسه افزوده	: Nhuan, Nghiem Phu
شناسه افزوده	: واکر، تری.اچ.
شناسه افزوده	: Walker, Terry H.
شناسه افزوده	: رستمی، خسرو، ۱۳۳۶ - مترجم
شناسه افزوده	: سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۱۵۵۳۷۵

سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران



مهندسی سوخت زیستی فناوری فرایند/سی.ام. درایچو، نقیم‌فو نهوان، تری.اچ. والکر؛

مترجم: خسرو رستمی.

ناشر: سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

نوبت چاپ: اول.

تاریخ چاپ: ۱۳۹۸

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

چاپ و صحافی: پرچین

طراح رو جلد: سمیه عرب‌لو

صفحه‌آرا: کیانا حاجی‌علی‌اکبر

قیمت: ۳۵۰۰۰۰

نشانی: تهران، احمدآباد مستوفی، بعداز میدان پارسا، خیابان انقلاب، خیابان شهید احسانی‌راد،

صندوق پستی: ۱۱۵ - ۳۷۵۷۵

تمامی حقوق مادی این اثر اعم از چاپ، تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و مانند این‌ها برای

سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران محفوظ است.

فهرست

- پیش‌گفتار نویسندگان ۱۹
- پیش‌گفتار مترجم ۲۱

فصل اول

- مبانی ۲۳
- ۱- دیباچه ۲۳
- ۱-۱- پالایشگاه زیستی ۲۳
- ۱-۲- شرح سوخت زیستی ۲۶
- ۱-۳- مصرف انرژی ۲۸
- ۱-۴- کارایی مصرف انرژی ۳۱
- ۱-۵- تولید و مصرف سوخت‌های زیستی ۳۳
- ۱-۶- انرژی‌های جایگزین ۳۵
- ۱-۷- تأثیر زیست محیطی ۳۶
- ۱-۸- دیدگاه کلی کتاب ۳۸
- کتابنامه ۳۹

فصل دوم

- برداشت انرژی از واکنش‌های زیستی ۴۱
- ۲-۱- دیباچه و تعریف‌های بنیادی ۴۱
- ۲-۲- مروری بر مسیرهای زیست شیمیایی متابولیسم باکتری‌های ارگانوهتروتروفی ۴۵
- ۲-۲-۱- تنفس هوازی ۴۵
- ۲-۲-۱-۱- اکسیداسیون گلوکز ۴۵

۴۶.....	۲-۲-۱-۲- اکسیداسیون پیروات
۴۷.....	۲-۲-۱-۳- سیستم انتقال الکترون
۴۹.....	۲-۲-۲- تنفس بی‌هوازی
۵۰.....	۲-۲-۳- تخمیر
۵۱.....	۲-۲-۳-۱- تخمیر قندهای ساده توسط مخمر
۵۲.....	۲-۲-۳-۲- تخمیر قندهای ساده توسط باکتری
۵۳.....	۲-۲-۳-۳- تخمیر ترکیبات آلی پیچیده توسط مخلوط کشت باکتری‌ها و آرکه‌ها
۵۴.....	۲-۲-۳-۴- واکنش‌های آنابولیسم برای میکروارگانیزم‌های ارگانوهتروتروفی
۵۶.....	۲-۳- مسیرهای کلی زیست شیمیایی رشد باکتری‌های لیتوتروف
۵۸.....	۲-۴- مروری بر مسیرهای زیست شیمیایی متابولیسم باکتری‌های فتوتروف
۵۸.....	۲-۴-۱- واکنش‌های نوری
۶۰.....	۲-۴-۲- واکنش‌های آنابولیسم در تاریکی
۶۰.....	۲-۵- تعریف و اهمیت اکسایش شیمیایی مورد نیاز
۶۲.....	تشکر و قدردانی
۶۳.....	کتابنامه

فصل سوم

۶۵.....	مدل‌سازی تولید سوخت زیستی توسط میکروارگانیزم
۶۵.....	۳-۱- دیباچه
۶۶.....	۳-۲- خلاصه‌ای از مدل‌های رشد میکروبی
۶۶.....	۳-۲-۱- مدل‌های غیرساختمانی یک سوبسترای محدود کننده
۶۸.....	۳-۲-۲- مدل‌های بازدانه
۶۸.....	۳-۲-۲-۱- مهارکنندگی سوبسترا

● فهرست ۷

۶۹.....	۳-۲-۲-۲- بازدارندگی محصول.....
۷۱.....	۳-۲-۲-۳- بازدارندگی توسط ترکیبات خارجی.....
۷۱.....	۳-۲-۳- مدل هایی برای چند سوبسترای بازدارنده.....
۷۲.....	۳-۲-۳-۱- سوبستراهای تشویقی.....
۷۲.....	۳-۲-۳-۲- سوبستراهای جایگزین.....
۷۴.....	۳-۲-۴- پارامترهای بازدهی.....
۷۵.....	۳-۳- فرمول های سرعت سینتیک.....
۷۸.....	۳-۳-۱- تأثیر دما.....
۷۹.....	۳-۴- عملکرد واکنش گاه زیستی و طراحی برای تولید سوخت زیستی.....
۸۰.....	۳-۴-۱- واکنش گاه های ناپیوسته.....
۸۲.....	۳-۴-۲- واکنش گاه های پیوسته همزن دار.....
۸۴.....	۳-۴-۳- CSTR با جریان برگشتی حاوی سلول.....
۸۶.....	۳-۴-۴- سامانه های «تغذیه مکرر».....
۸۷.....	۳-۴-۵- سامانه های جریان پیستونی.....
۸۹.....	۳-۵- «تدابیر» طراحی واکنش گاه زیستی.....
۹۰.....	۳-۶- مدل سازی مصرف گلوکز و تولید هیدروژن.....
۹۱.....	۳-۶-۱- تخمیرهای ناپیوسته و شبیه سازی ها.....
۹۴.....	۳-۶-۲- تخمیر و شبیه سازی CSTR.....
۹۶.....	مسئله ۳-۱.....
۹۷.....	حل:.....
۹۸.....	خلاصه:.....
۹۹.....	کتابنامه.....

فصل چهارم

- ۱۰۱..... منابع خوراک سوخت زیستی
- ۴-۱-۱..... منابع خوراک نشاسته‌ای
- ۴-۱-۱-۱..... حبوبات نشاسته‌ای
- ۴-۱-۱-۱-۱..... ذرت
- ۴-۱-۱-۱-۲..... گندم
- ۴-۱-۱-۱-۳..... جو
- ۴-۱-۱-۱-۴..... سورگم
- ۴-۱-۱-۱-۵..... جو دو سر
- ۴-۱-۱-۱-۶..... برنج
- ۴-۱-۲..... حبوبات دیگر
- ۴-۱-۳..... «غده‌ها و ریشه‌ها»
- ۴-۱-۳-۱..... کاساوا
- ۴-۱-۳-۲..... سیب زمینی شیرین
- ۴-۲..... قند منبع خوراک
- ۴-۲-۱..... نیشکر
- ۴-۲-۲..... چغندر قند
- ۴-۳..... منبع خوراک لیگنوسلولزی
- ۴-۳-۱..... محصولات و باقی‌مانده از جنگل
- ۴-۳-۲..... باقی‌مانده کشاورزی
- ۴-۳-۳..... زائدات جانبی حاصل از فراوری محصولات اصلی کشاورزی
- ۴-۳-۴..... «گیاهان اهداکننده انرژی»

● فهرست ۹

۱۲۵.....	۴-۴ گیاهان دارای روغن و چربی‌های حیوانی.....
۱۳۰.....	۴-۵ منابع خوراک متفرقه
۱۳۰.....	۴-۵-۱ فضولات و زایدات حیوانی
۱۳۱.....	۴-۵-۲ پسماند جامد شهرداری
۱۳۲.....	کتابنامه.....

فصل پنجم

۱۴۳.....	تولید اتانل.....
۱۴۳.....	۵-۱ تولید اتانل از منبع خوراک قند نشاسته
۱۴۳.....	۵-۱-۱ میکروارگانیزم‌ها
۱۴۳.....	۵-۱-۱-۱ ساکارومایسس سرویزیه
۱۴۷.....	۵-۱-۱-۲ زی‌موموناس موبیلیس
۱۵۱.....	۵-۱-۲ فناوری فرایند
۱۵۱.....	۵-۱-۲-۱ منبع غذایی قندی
۱۵۹.....	۵-۱-۲-۲ خوراک نشاسته‌ای
۱۶۰.....	«فرایند آسیاب تر»
۱۶۳.....	«فرایند آسیاب خشک»
۱۶۶.....	بازدهی نظری اتانل
۱۶۶.....	مسئله ۵-۱
۱۶۷.....	مسئله ۵-۲
۱۶۹.....	بازیابی اتانل.....
۱۷۰.....	اقتصاد فرایند:
۱۷۴.....	خوراک جدید ذرتی

- ۱۷۶..... آنزیم‌های جدید برای آبکافت نشاسته
- ۱۷۷..... فرایندهای جدید تولید
- ۱۷۸..... ۵-۲ تولید اتانل از خوراک لیگنوسلولزی
- ۱۷۸..... ۵-۲-۱ مبانی اولیه
- ۱۸۰..... ۵-۲-۲ پایگاه قندی
- ۱۸۰..... ۵-۲-۲-۱ پیش فراوری زیست توده
- ۱۸۰..... آبکافت با اسید سولفوریک غلیظ
- ۱۸۲..... آبکافت با اسیدسولفوریک رقیق
- ۱۸۵..... انفجار با بخار
- ۱۸۶..... فراوری قلیایی آمونیاکی
- ۱۸۸..... فراوری باآهک
- ۱۸۸..... فراوری قلیایی پراکسید
- ۱۸۹..... «اکسیداسیون تر»
- ۱۸۹..... تفکیک حلال آلی
- ۱۹۰..... تجزیه با اسید فسفریک غلیظ
- ۱۹۰..... «تجزیه یونی مایع»
- ۱۹۱..... ۵-۲-۲ «آبکافت آنزیمی»
- ۱۹۳..... ۵-۲-۲-۳ تخمیر
- ۱۹۵..... گونه‌های مزوفیل مصرف کننده قند
- ۲۰۲..... سویه‌های ترموفیل مصرف کننده قند
- ۲۰۴..... سویه‌های «سلولیتیک» و «زایلولیتیک»
- ۲۰۶..... ۵-۲-۲-۴ تجمیع فرایند

● فهرست ۱۱

۲۱۰.....	۵-۲-۲-۵ «اقتصاد فرایند»
۲۱۳.....	۵-۲-۳ «جایگاه گاز سنتزی»
۲۱۳.....	۵-۲-۳-۱ «گازسازی زیست توده»
۲۱۹.....	۵-۲-۳-۲ «تخمیر گاز سنتزی»
۲۲۱.....	۵-۲-۳-۳ تبدیل کاتالیکی گاز سنتزی
۲۲۴.....	۵-۲-۳-۴ تجمیع فرایند
۲۲۵.....	۵-۲-۳-۵ اقتصاد فرایند
۲۳۰.....	قدردانی و تشکر
۲۴۴.....	نشانه‌ها
۲۴۵.....	کتابنامه

فصل ششم

۲۵۵.....	دیزل زیستی
۲۵۵.....	۶-۱ دیباچه
۲۵۸.....	۶-۱-۱ ملاحظات زیست محیطی
۲۵۹.....	۶-۱-۱-۱ بررسی مسائل اکسید نیتروژن
۲۶۱.....	۶-۱-۱-۲ اتانل افزودنی به سوخت
۲۶۲.....	۶-۲ شیمی تولید دیزل زیستی و جنبه ترمودینامیکی آن
۲۶۳.....	۶-۲-۱ ترانس استریفیکاسیون
۲۶۴.....	۶-۲-۲ استریفیکاسیون
۲۶۴.....	۶-۲-۳ لیپاز کاتالیزور کننده اینتر استریفیکاسیون و ترانس استریفیکاسیون
۲۶۵.....	۶-۲-۴ واکنش‌های جانبی: صابون‌سازی و آبکافت
۲۶۶.....	۶-۲-۵ تأثیر الکل

- ۲۶۶ ۶-۲-۶ کاتالیزور قلیایی یا بازی
- ۲۶۸ ۶-۲-۶-۱ کاتالیزورهای بازی همگن
- ۲۶۹ ۶-۲-۶-۲ کاتالیزورها با پایه قلیا
- ۲۶۹ ۶-۲-۷ اسید کاتالیزور
- ۲۷۰ ۶-۲-۷-۱ اسید کاتالیزورهای همگن
- ۲۷۱ ۶-۲-۷-۲ اسید کاتالیزورهای جامد
- ۲۷۲ ۶-۲-۸ کاتالیزور آنزیمی
- ۲۷۳ ۶-۲-۹ استریفیکاسیون و ترانس استریفیکاسیون فوق بحرانی
- ۲۷۴ ۶-۲-۱۰ ترمودینامیک و سینتیک‌های واکنش
- ۲۷۵ ۶-۲-۱۰-۱ سینتیک‌های واکنش
- ۲۷۹ مسئله ۶-۱
- ۲۸۱ ۶-۲-۱۰-۲ سینتیک‌های ترموگراویمتریک
- ۲۸۲ ۶-۲-۱۰-۳ فشار بخار و نقطه جوش
- ۲۸۴ ۶-۲-۱۰-۴ جدایش فاز و حلالیت
- ۲۸۵ ۶-۳ منابع روغن و تولید آن
- ۲۸۷ ۶-۳-۱ روغن‌های گیاهی
- ۲۹۰ ۶-۳-۲ روغن از میکروب و جلبک
- ۲۹۰ ۶-۳-۲-۱ انواع روغن‌ها از جلبک
- ۲۹۶ ۶-۳-۲-۲ حوضچه‌های شبیه پیست مسابقه
- ۲۹۷ ۶-۳-۲-۳ واکنش‌گاه‌های زیستی
- ۳۰۱ ۶-۳-۳ روغن خوراکی استفاده شده
- ۳۰۲ ۶-۳-۴ روغن گیاهی راست زنجیره

● فهرست ۱۳

- ۳۰۳..... ۶-۳-۵ سنتز زیستی روغن و اصلاح
- ۳۰۷..... ۶-۴ محصولات همزمان
- ۳۱۰..... ۶-۵ روش‌های تولید دیزل زیستی
- ۳۱۰..... ۶-۵-۱ روش‌های تولید دیزل زیستی متداول
- ۳۱۲..... ۶-۵-۱-۱ تعیین عیار (تیتراسیون)
- ۳۱۴..... ۶-۵-۱-۲ ترانس استریفیکاسیون قلیایی
- ۳۱۵..... مسئله ۶-۲
- ۳۱۶..... ۶-۵-۱-۳ پیش تیمار استریفیکاسیون اسیدی
- ۳۱۷..... ۶-۵-۱-۴ استریفیکاسیون اسیدی و ترانس استریفیکاسیون
- ۳۱۸..... ۶-۵-۱-۵ شستشوی دیزل زیستی با آب
- ۳۱۹..... ۶-۵-۲ مقیاس پایلوت و صنعتی تجاری
- ۳۲۲..... ۶-۵-۳ کنترل کیفیت روش‌های آنالیز
- ۳۲۲..... ۶-۵-۳-۱ روش‌های کروماتوگرافی
- ۳۲۴..... ۶-۵-۳-۲ آزمایش گرانروی
- ۳۲۴..... ۶-۵-۳-۳ مقادیر «ستان»
- ۳۲۵..... ۶-۵-۳-۴ عدد کلی اسیدی
- ۳۲۵..... ۶-۵-۳-۵ «مقادیر ید»
- ۳۲۶..... ۶-۵-۳-۶ گلیسرین کلی و آزاد
- ۳۲۶..... ۶-۶ اقتصاد
- ۳۲۸..... ۶-۶-۱ هزینه خوراک
- ۳۳۱..... ۶-۶-۲ هزینه‌های تولید
- ۳۳۴..... ۶-۶-۳ « سرمایه هزینه‌ای»

۳۳۶	۶-۶-۴ هزینه‌های جاری
۳۳۷	۶-۷ خلاصه و جمع‌بندی‌ها
۳۳۸	تشکر و قدردانی
۳۳۹	مسائل
۳۴۲	کتابنامه

فصل هفتم

۳۵۱	تولید هیدروژن زیستی
۳۵۱	۷-۱ دیباچه
۳۵۲	۷-۱-۱ آنزیم‌های مهم
۳۵۳	۷-۱-۲ تولید هیدروژن «بی‌هوازی»
۳۵۴	۷-۲ تولید هیدروژن بروش زیست نوری
۳۵۵	۷-۲-۱ آبکافت مستقیم زیستی
۳۵۶	۷-۲-۲ تولید هیدروژن زیستی با نور غیرمستقیم
۳۵۷	۷-۲-۳ تخمیر نوری
۳۵۸	۷-۲-۴ توانمندی تولید هیدروژن به روش زیست نوری
۳۵۹	۷-۳ تولید هیدروژن زیستی با روش تخمیری
۳۵۹	۷-۳-۱ بازنگری
۳۵۹	۷-۳-۲ انرژی زا
۳۶۱	۷-۳-۳ ترموتوگالز
۳۶۱	۷-۳-۴ مسیر زیست شیمی تولید هیدروژن تخمیری توسط ترموتوگا
۳۶۳	۷-۳-۵ تولید هیدروژن توسط باکتری‌های دیگر
۳۶۵	۷-۳-۶ تولید محصولات همزمان

● فهرست ۱۵

- ۳۶۶ ۷-۳-۷ تخمیر ناپیوسته
- ۳۶۷ ۷-۳-۸ اثربازدارندگی هیدروژن تولید شده
- ۳۶۸ ۷-۳-۹ نقش «سولفیدوژنسیئر-گوگردی»
- ۳۷۱ ۷-۳-۱۰ استفاده از منابع کربنی همچون باقی مانده‌های کشاورزی
- ۳۷۶ ۷-۳-۱۱ فرایند و پارامترهای محیطی
- ۳۷۶ ۷-۳-۱۱-۱ محیط واکنش گاه
- ۳۷۶ ۷-۳-۱۱-۲ حلالیت گاز هیدروژن و بازیابی از فضای بالا زیست واکنش گاه
- ۳۷۷ ۷-۳-۱۱-۳ دمای واکنش گاه زیستی
- ۳۷۸ ۷-۳-۱۱-۴ محیط‌های کشت
- ۳۷۸ ۷-۳-۱۱-۵ عصاره مخمر
- ۳۷۸ ۷-۳-۱۱-۶ نمک موجود
- ۳۷۹ ۷-۳-۱۱-۷ بهینه‌سازی pH محیط
- ۳۷۹ ۷-۳-۱۱-۸ هیدروکلراید سیستمین
- ۳۷۹ ۷-۳-۱۱-۹ انبار و نگهداری
- ۳۷۹ ۷-۴ تشخیص هیدروژن، کمیت سنجی و گزارش
- ۳۸۰ ۷-۴-۱ تشخیص هیدروژن
- ۳۸۱ ۷-۴-۲ فشار کلی گاز
- ۳۸۱ ۷-۴-۳ فشار بخار آب
- ۳۸۲ ۷-۴-۴ فشار جزئی هیدروژن
- ۳۸۳ ۷-۴-۵ غلظت گاز هیدروژن
- ۳۸۳ ۷-۴-۶ بیان غلظت هیدروژن در محیط $\text{mmolH}_2\text{L}^{-1}$
- ۳۸۳ ۷-۴-۷ سرعت تولید هیدروژن

۳۸۴.....	۸-۴-۷ غلظت هیدروژن محلول در مایع
۳۸۶.....	مسئله ۱-۷.....
۳۸۷.....	۵-۷ محاسبه اندازه واکنش گاه زیست تخمیری برای استفاده در پیل سوختی PEM.....
۳۹۰.....	تشکر و قدردانی.....
۳۹۱.....	کتابنامه.....

فصل هشتم

۳۹۵.....	پیل سوختی میکروبی.....
۳۹۵.....	۱-۸ کلیات.....
۳۹۶.....	۲-۸ مبنای زیست شیمیایی.....
۴۰۲.....	۳-۸ خلاصه کار پیشین.....
۴۰۴.....	۴-۸ طراحی پیل سوختی.....
۴۰۴.....	۱-۴-۸ قسمت آند.....
۴۰۵.....	۲-۴-۸ محیط‌های میکروبی.....
۴۰۷.....	۳-۴-۸ واسطه‌های احیاء کننده.....
۴۰۹.....	۴-۴-۸ قسمت کاتد.....
۴۱۰.....	۵-۴-۸ غشاء تبدیلی.....
۴۱۱.....	۶-۴-۸ تراکم توان تابعی از مقاومت مدار.....
۴۱۲.....	۵-۸ روش‌های کارکرد پیل سوخت میکروبی MFC.....
۴۱۲.....	۱-۵-۸ اندازه‌گیری زیست توده و سویسترا.....
۴۱۳.....	۲-۵-۸ محاسبات مبنای توان.....
۴۱۶.....	۳-۵-۸ نمونه محاسبه.....
۴۱۷.....	۱-۳-۵-۸ بیشینه چگالی توان برای شرایطی که از MFC و PEM استفاده می‌شود محاسبه شود.....

● فهرست ۱۷

- ۴۱۷..... ۲-۳-۵-۸ کارایی کلومی MFC که دارای PEM است، محاسبه شود
- ۴۱۷..... ۳-۳-۵-۸ بیشینه چگالی توان MFC بدون PEM محاسبه شود
- ۴۱۷..... ۴-۳-۵-۸ کارایی کلومی برای یک MFC بدون PEM محاسبه شود
- ۴۱۸..... ۵-۳-۵-۸ کارایی کلومی برای MFC با PEM بر مبنای COD محاسبه شود
- ۴۱۸..... ۶-۳-۵-۸ نرخ نفوذ اکسیژن از PEM محاسبه شود
- ۴۱۸..... ۶-۸ کارکرد پیل سوخت میکروبی (MFC)
- ۴۱۸..... ۱-۶-۸ تراکم توان به عنوان تابعی از سوبسترا
- ۴۲۰..... ۲-۶-۸ طراحی تک محفظه‌ای در برابر دو محفظه‌ای
- ۴۲۱..... ۳-۶-۸ انواع طراحی MFC تک محفظه‌ای
- ۴۲۱..... ۱-۳-۶-۸ دارای و بدون PEM
- ۴۲۲..... ۲-۳-۶-۸ همزدن
- ۴۲۲..... ۴-۶-۸ کارایی تیمار فاضلاب
- ۴۲۳..... ۷-۸ «ساختن نمونه»
- ۴۲۶..... ۸-۸ افق‌های آینده
- ۴۲۸..... کتابنامه

فصل نهم

- ۴۳۱..... متان
- ۴۳۱..... ۱-۹ دیباچه
- ۴۳۱..... ۲-۹ میکروبیولوژی تولید متان
- ۴۳۱..... ۱-۲-۹ «محیط‌های مناسب تولید کننده متان»
- ۴۳۲..... ۲-۲-۹ شرح فرایند تولید متان
- ۴۳۳..... ۱-۲-۲-۹ آبکافت

- ۴۳۴..... تخمیر (اسیدسازی) ۹-۲-۲-۲
- ۴۳۴..... استن‌سازی ۹-۲-۲-۳
- ۴۳۵..... متان‌سازها ۹-۲-۲-۴
- ۴۳۶..... جمعیت میکروبی ۹-۲-۳
- ۴۳۸..... منابع زیست توده برای تولید متان ۹-۳
- ۴۴۲..... مسئله ۹-۱
- ۴۴۳..... مسئله ۹-۲
- ۴۴۳..... سامانه‌ها ۹-۴
- ۴۴۴..... شرایط واکنش‌گاه ۹-۴-۱
- ۴۴۴..... محیط
- ۴۴۴..... رطوبت
- ۴۴۵..... دما
- ۴۴۵..... زمان ماند
- ۴۴۵..... نرخ بارگذاری
- ۴۴۵..... pH
- ۴۴۶..... طراحی فرایند ۹-۴-۲
- ۴۵۰..... ترکیب گاز زیستی و استفاده از آن ۹-۵
- ۴۵۴..... کتابنامه
- ۴۵۶..... نمایه