

باسمه تعالی

مبانی انرژی‌های زیستی

بیودیزل، بیوگاز، بیواتانول، بیوهیدروژن، گازیفیکاسیون

(برای دانشجویان کشاورزی، صنایع غذایی، شیمی، آب و فاضلاب، محیط زیست، انرژی)

تألیف

مهندس احسان هوشیار

- سرشناسه : ۱۳۶۲-هوشیار، احسان
- عنوان و نام پدیدآور : مبانی انرژی‌های زیستی : بیودیزل، بیوگاز، بیواتانول، بیوهیدروژن، گازفیکاسیون / تألیف احسان هوشیار.
- مشخصات نشر : ، ۱۳۹۰، اصفهان : نصوص
- مشخصات ظاهری : ۳۷۶ ص.؛ مصور، جدول، نمودار.
- شابک : ۸۵۰۰۰ ریال : ۳-۲۴-۸۸-۵-۶۰۰-۹۷۸
- وضعیت فهرست نویسی : فیا
- یادداشت : واژه‌نامه.
- عنوان دیگر : بیودیزل، بیوگاز، بیواتانول، بیوهیدروژن، گازفیکاسیون.
- موضوع : زیست نیروشناسی
- موضوع : انرژی زیست توده
- موضوع : انرژی‌های پایان‌ناپذیر
- رده بندی کنگره : ۱۳۹۰ م ۲ / ۵۲۱ QP
- رده بندی دیویی : ۶۱۲ / ۱۵
- شماره کتابشناسی ملی : ۲۵۰۷۳۷۹



نشر نصوص

- عنوان : مبانی انرژی‌های زیستی
بیودیزل، بیوگاز، بیواتانول، بیوهیدروژن، گازفیکاسیون
- مؤلف : احسان هوشیار
- ناشر : نشر نصوص ۰۹۱۳۳۱۱۹۲۴۰ Email: pub_nosoooh@yahoo.com
- شمارگان : ۲۵۰۰ جلد
- قیمت : ۸۵۰۰ تومان
- قطع : وزیری
- چاپ : رضوی
- تاریخ چاپ : ۱۳۹۰
- نوبت چاپ : اول
- شابک : ۳-۲۴-۸۸-۵-۶۰۰-۹۷۸

حقی چاپ محفوظ است

پیش گفتار

بحران انرژی سال ۱۹۷۵ میلادی و پس از آن افزایش قیمت جهانی نفت در چند دهه اخیر عامل اصلی همت جوامع بشری به سرمایه گذاری و تحقیقات هر چه بیشتر در توسعه روش های تولید انرژی های زیستی بوده است. در این بین مزایای بسیار مفید دیگری مانند حفظ محیط زیست و عدم آلودگی هر چه بیشتر کره خاکی نیز حاصل شده است. اطلاعات منتشر شده از اکثر کشورهای پیشرفته نشان می دهد که آنها با برنامه ای نسبتاً دقیق و جامع به مسئله انرژی نگریسته و دنبال راهکارها و گزینه های جایگزین برای سوخت های فسیلی جهت تأمین انرژی مورد نیاز خود بخصوص پس از سال ۲۰۳۰ میلادی هستند. منابع فسیلی و از جمله نفت فراوان در برخی از کشورها مانند کشور عزیزمان ایران سبب شده از برنامه ریزی و سرمایه گذاری مناسب در این زمینه غفلت شود و با گذشت زمان و خطر اتمام منابع فسیلی نیز این غفلت بغرنج تر می گردد.

هدف اصلی از تدوین نوشته حاضر، آشنایی خوانندگان عزیز و بخصوص دانشجویان علاقمند به مسائل انرژی های نوین زیستی در حد مقدماتی و متوسط می باشد. یکی از منابع اصلی انرژی های زیستی منابع لیگوسلولزی می باشد و استفاده از این منابع بدون شناخت ساختار آنها میسر نمی گردد. به همین منظور در سه فصل اول این کتاب در رابطه با زیست توده، کربوهیدرات ها و چربی ها، و میکروارگانیسم ها و آنزیم ها صحبت شده و پیشنهاد می شود مطالعه این فصول قبل از مطالعه فصول دیگر انجام گیرد. در فصول چهارم تا هشتم در رابطه با بیودیزل، بیوگاز، بیواتانول، بیوهیدروژن و گاز فیکواسیون بحث شده است. در نوشتار حاضر سعی شده تا پیشرفت های تحقیقاتی منتشر شده تا سال ۲۰۱۱ میلادی پوشش داده شود و با اینحال در پایان هر فصل چندین منبع جهت مطالعه بیشتر پژوهشگران عزیز معرفی شده است.

با توجه به کثرت اصطلاحات شیمیایی در رابطه با انرژی های زیستی و همچنین استفاده از نانوذرات در تهیه این انرژی ها سعی شده این دو مقوله به اختصار در پیوست اول و دوم شرح داده شوند. در پایان کتاب نیز پرکاربردترین کلمات در رابطه با بیوانرژی در واژه نامه ای در اختیار خوانندگان قرار داده شده است. به امید آنکه این اثر مرجع مفیدی در زمینه انرژی های زیستی واقع گردد.

بدون تردید این نوشته خالی از اشکال نیست و لذا تمامی خوانندگان عزیز و پژوهشگران علاقمند به علم انرژی‌های زیستی را دعوت می‌نمایم اینجانب را در رفع نواقص و ارتقای این اثر علمی با مکاتبه با آدرس houshyar.e@gmail.com یاری نمایند.

در پایان و قبل از همه بر خود واجب می‌دانم از پدر و مادر خود که همواره دو بال پرواز اینجانب بوده و هستند تشکر کرده و دست ایشان را بیوسم که کتاب حاضر نتیجه زحمات ایندو فرشته مهربان می‌باشد. همچنین از اساتید گرانقدر خود در دوران تحصیل و هم‌اکنون در مقطع دکتری در دانشگاه شهید چمران اهواز آقایان دکتر مرتضی الماسی، دکتر محمد جواد شیخ داودی و دکتر هوشنگ بهرامی کمال تشکر را می‌نمایم که در همه حال با نظرات خود باعث تقویت علمی اینجانب بوده‌اند.

من الله التوفیق

احسان هوشیار

پاییز ۱۳۹۰

فهرست مطالب

فصل اول. زیست توده و سوخت های زیستی

۱۸.....	۱-۱- زیست توده چیست؟
۱۹.....	۲-۱- منابع زیست توده کدامند؟
۲۰.....	۱-۲-۱- زائدات جنگلی، کشاورزی و صنایع غذایی
۲۴.....	۲-۲-۱- خصوصیات موادیگوسلولزی
۲۵.....	۳-۲-۱- زائدات آلی صنعتی
۲۵.....	۴-۲-۱- فضولات انسانی و دامی
۲۶.....	۵-۲-۱- زائدات شهری
۲۶.....	۶-۲-۱- محصولات اسامی مورد استفاده به عنوان منابع زیست توده
۲۷.....	۳-۱- محتوای انرژی منابع زیست توده
۲۹.....	۴-۱- مزایای بهره گیری از منابع زیست توده
۳۱.....	۵-۱- ملاحظات فنی در بکارگیری مواد پسماند
۳۱.....	۶-۱- موارد مورد توجه در استفاده از منابع زیست توده
۳۲.....	۷-۱- سوخت های زیستی
۳۲.....	۱-۷-۱- مقدمه
۳۵.....	۲-۷-۱- روند تولید سوخت های زیستی
۳۸.....	منابع

فصل دوم. آشنایی با کربوهیدرات ها و چربی ها

۴۲.....	۱-۲- آشنایی با کربوهیدرات ها
۴۲.....	۱-۱-۲- مقدمه
۴۲.....	۲-۱-۲- قندها یا کربوهیدرات ها
۴۴.....	۳-۱-۲- تقسیم بندی کربوهیدرات ها
۴۵.....	۲-۱-۳-۱- تقسیم بندی کربوهیدرات ها براساس قابلیت هیدرولیز
۴۷.....	۲-۱-۴- سلولز
۵۰.....	۲-۱-۵- همی سلولز

۵۱	۶-۱-۲ لیگنین
۵۲	۷-۱-۲ نشاسته
۵۴	۸-۱-۲ گلیکوزن
۵۵	۲-۲ آشنایی با روغن ها و چربی ها
۵۵	۱-۲-۲ مقدمه
۵۵	۲-۲-۲ چربی ها و روغن ها
۵۵	۳-۲-۲ چربی ها یا لیپیدها
۵۷	۴-۲-۲ اسیدهای چرب
۵۷	۱-۴-۲-۲ اسیدهای چرب اشباع شده
۵۷	۲-۴-۲-۲ اسیدهای چرب اشباع نشده
۶۰	۵-۲-۲ خواص اسیدهای چرب
۶۱	۶-۲-۲ طبقه بندی لیپیدها
۶۴	۷-۲-۲ مونو و دی گلیسریدها
۶۴	۸-۲-۲ تری گلیسریدها
۶۵	۹-۲-۲ موم ها
۶۵	۱۰-۲-۲ چربی های گیاهی
۶۶	۱۱-۲-۲ اسیدهای چرب گیاهی
۶۶	۱۲-۲-۲ گلیسرولیپیدهای گیاهی
۶۷	۱۳-۲-۲ خواص اسید گلیسرول ها
۶۸	۱۴-۲-۲ اسید الکل ها
۶۸	۱۵-۲-۲ الکل های موجود در ساختمان چربی ها
۷۰	منابع

فصل سوم. آشنایی با میکروارگانیسم ها و آنزیم ها

۷۴	۱-۳ میکروارگانیسم ها
۷۴	۱-۱-۳ مقدمه
۷۴	۲-۱-۳ ترتیب تجزیه مواد
۷۴	۳-۱-۳ رشد میکروارگانیسم ها

۷۷	 تخمیر ۴-۱-۳
۷۸	 فواید تخمیر ۵-۱-۳
۷۹	 طبقه‌بندی فرآیندهای تخمیری ۶-۱-۳
۷۹	 تخمیر غیر مداوم یا منقطع ۱-۶-۱-۳
۸۰	 تخمیر غیر مداوم با تغذیه متناوب ۲-۶-۱-۳
۸۰	 تخمیر مداوم ۳-۶-۱-۳
۸۰	 تخمیر نوع I ۴-۶-۱-۳
۸۰	 تخمیر نوع II ۵-۶-۱-۳
۸۱	 تخمیر نوع III ۶-۶-۱-۳
۸۱	 عوامل کنترل‌کننده تخمیر ۷-۱-۳
۸۱	 اسید ۱-۷-۱-۳
۸۲	 الکل ۲-۷-۱-۳
۸۲	 مایه میکروبی یا آغازگر ۳-۷-۱-۳
۸۲	 درجه حرارت ۴-۷-۱-۳
۸۳	 میزان اکسیژن ۵-۷-۱-۳
۸۴	 آنزیم‌ها ۲-۳- آنزیم‌ها
۸۴	 مقدمه ۱-۲-۳
۸۴	 آنزیم چیست؟ ۲-۲-۳
۸۵	 منشأ آنزیم‌ها ۳-۲-۳
۸۶	 کینتیک آنزیم‌ها ۴-۲-۳
۸۶	 خواص آنزیم‌ها ۵-۲-۳
۸۶	 عمل اختصاصی آنزیم‌ها ۱-۵-۲-۳
۸۷	 انرژی فعال‌کننده ۲-۵-۲-۳
۸۸	 سرعت واکنش‌های آنزیمی ۳-۵-۲-۳
۹۳	 منابع

فصل چهارم. بیودیزل

۹۶	 مقدمه ۱-۴
----	-----------------

- ۹۶.....۲-۴- منابع تولید بیودیزل
- ۹۹.....۳-۴- برنامه‌ریزی جهت تولید بیودیزل
- ۱۰۰.....۴-۴- استفاده از بیودیزل
- ۱۰۱.....۵-۴- خصوصیات بیودیزل
- ۱۰۲.....۶-۴- روش‌های تولید بیودیزل
- ۱۰۲.....۱-۶-۴- استفاده مستقیم از روغن‌های گیاهی
- ۱۰۳.....۲-۶-۴- میکروامولسیفیکاسیون
- ۱۰۳.....۳-۶-۴- پیرولیز (کراکینگ حرارتی)
- ۱۰۴.....۴-۶-۴- ترانس استریفیکاسیون
- ۱۰۴.....۱-۶-۴- ترانس استریفیکاسیون با کاتالیزورهای قلیایی
- ۱۰۸.....۲-۶-۴- تولید عملی بیودیزل با استفاده از روش ترانس استریفیکاسیون
- ۱۱۵.....۳-۶-۴- عوامل مؤثر بر تولید بیودیزل
- ۱۱۷.....۴-۶-۴- ترانس استریفیکاسیون با کاتالیزورهای اسیدی
- ۱۲۱.....۵-۶-۴- استریفیکاسیون
- ۱۲۱.....۱-۵-۶-۴- فرآیند استریفیکاسیون دو مرحله‌ای با استفاده از کاتالیزور اسید-قلی
- ۱۲۲.....۲-۵-۶-۴- استریفیکاسیون آنزیمی
- ۱۲۳.....۳-۵-۶-۴- فرآیند کمک- حلال بایوکس
- ۱۲۴.....۶-۶-۴- تولید بیودیزل با استفاده از فن آوری مایعات فوق بحرانی
- ۱۲۴.....۱-۶-۶-۴- مایعات فوق بحرانی
- ۱۲۴.....۲-۶-۶-۴- تولید بیودیزل با روش متانول فوق بحرانی یک مرحله‌ای (بدون کاتالیزور)
- ۱۲۵.....۳-۶-۶-۴- تولید بیودیزل با روش متانول فوق بحرانی یک مرحله‌ای (با استفاده از کاتالیزور)
- ۱۲۸.....۴-۶-۶-۴- تولید بیودیزل با روش متانول فوق بحرانی دو مرحله‌ای
- ۱۲۹.....۷-۴- انواع کاتالیزورها و الکل‌های مورد استفاده در تولید بیودیزل
- ۱۲۹.....۱-۷-۴- کاتالیزورهای معمولی
- ۱۳۲.....۲-۷-۴- کاتالیزورهای نانو ساختار
- ۱۳۴.....۸-۴- راکتورهای تولید بیودیزل

۱۳۴.....	۴-۸-۱- قابلیت های یک راکتور مناسب
۱۳۵.....	۴-۸-۲- جنس راکتور
۱۳۵.....	۴-۸-۳- مکان قرار گیری راکتور
۱۳۶.....	۴-۸-۴- ساخت یک راکتور ساده
۱۴۰.....	۴-۹-۱- استانداردهای تولید بیودیزل
۱۴۰.....	۴-۹-۱- مقدمه
۱۴۱.....	۴-۹-۲- نقطه اشتعال
۱۴۲.....	۴-۹-۳- آب و رسوبات
۱۴۲.....	۴-۹-۴- گلیرین آزاد و کل
۱۴۲.....	۴-۹-۵- عدد اسید
۱۴۳.....	۴-۱۰-۱- آنالیز روغن ها و چربی ها
۱۴۳.....	۴-۱۰-۱- گلیرین کل و آزاد
۱۴۳.....	۴-۱۰-۲- مقدار استیل
۱۴۳.....	۴-۱۰-۳- خاکستر
۱۴۴.....	۴-۱۰-۴- عدد یدی
۱۴۴.....	۴-۱۰-۵- عدد صابونی (SV)
۱۴۵.....	۴-۱۰-۶- رطوبت و مواد فراز
۱۴۶.....	۴-۱۰-۷- ماده غیر صابونی شدن
۱۴۷.....	منابع

فصل پنجم. بیوگاز

۱۵۶.....	۵-۱- مقدمه
۱۵۶.....	۵-۲- بیوگاز چیست؟
۱۵۸.....	۵-۳- تاریخچه استفاده از بیوگاز
۱۵۹.....	۵-۴- منابع مورد استفاده در تولید بیوگاز
۱۵۹.....	۵-۵- تولید بیوگاز
۱۵۹.....	۵-۵-۱- اصول کلی
۱۶۱.....	۵-۵-۲- مضم هوازی و بی هوازی

- ۱۶۲..... ۵-۵-۳- فرآیند تخمیر و تولید بیوگاز.
- ۱۶۲..... ۵-۵-۳-۱- مرحله هیدرولیز
- ۱۶۴..... ۵-۵-۳-۲- مرحله اسیدسازی (اسیدوژنیز یا اسیدوژنیک)
- ۱۶۵..... ۵-۵-۳-۳- مرحله استات سازی (استوژنیز یا استوژنیک)
- ۱۶۷..... ۵-۵-۳-۴- مرحله متان سازی (متانوژنیز یا متانوژنیک)
- ۱۷۰..... ۵-۶-۶- باکتری های بی هوازی
- ۱۷۱..... ۵-۶-۱- توانایی آنزیمی باکتری ها در تجزیه سوبسترا
- ۱۷۲..... ۵-۷-۷- عوامل مؤثر بر تولید بیوگاز
- ۱۷۲..... ۵-۷-۱- نوع مواد مورد استفاده (سوبسترا)
- ۱۷۲..... ۵-۷-۲- درجه حرارت
- ۱۷۵..... ۵-۷-۳- نور
- ۱۷۵..... ۵-۷-۴- فشار نسبی هیدروژن
- ۱۷۶..... ۵-۷-۵- نسبت کربن به نیتروژن (C:N)
- ۱۷۷..... ۵-۷-۶- اختلاط
- ۱۷۹..... ۵-۷-۷- اسیدیته (pH)
- ۱۸۱..... ۵-۷-۸- مواد مغذی
- ۱۸۲..... ۵-۷-۸-۱- مواد مغذی ماکرو
- ۱۸۲..... ۵-۷-۸-۲- مواد مغذی میکرو
- ۱۸۴..... ۵-۷-۹- سمیت
- ۱۸۸..... ۵-۷-۱۰- زمان ماند
- ۱۸۹..... ۵-۷-۱۱- غلظت مواد
- ۱۹۱..... ۵-۷-۱۲- غلظت میکروارگانیزم ها
- ۱۹۱..... ۵-۸-۸- ساختمان دستگاه های بیوگاز
- ۱۹۱..... ۵-۸-۱- مدل سقف شناور (خادی-هندی)
- ۱۹۵..... ۵-۸-۲- مدل گنبدی شکل ثابت (سقف ثابت- طرح چینی)
- ۱۹۷..... ۵-۸-۳- مدل جانانا (سقف ثابت- طرح هندی)
- ۱۹۷..... ۵-۸-۴- مدل دینباندو (طرح هندی)
- ۱۹۷..... ۵-۸-۵- مدل بالنی شکل

۱۹۷	۵-۸-۶- مدل افقی.....
۲۰۰	۵-۸-۷- مدل جریان بالا.....
۲۰۱	۵-۸-۸- مدل CSTR.....
۲۰۲	۵-۹-۹- آشنایی با آزمایش مواد.....
۲۰۲	۵-۹-۱- کل مواد جامد.....
۲۰۳	۵-۹-۲- مواد آلی.....
۲۰۴	۵-۹-۳- کل کربن آلی.....
۲۰۴	۵-۹-۴- اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD).....
۲۰۵	۵-۹-۵- اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی پنج روزه (BOD ₅).....
۲۰۵	۵-۹-۶- اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD).....
۲۰۶	منابع.....

فصل ششم. بیواتانول

۲۱۶	۶-۱- مقدمه.....
۲۱۷	۶-۲- اتانول و بیواتانول.....
۲۱۸	۶-۳- منابع تولید بیواتانول.....
۲۱۹	۶-۳-۱- ملاس.....
۲۲۱	۶-۳-۲- باگاس.....
۲۲۲	۶-۴- ساختار شیمیایی اتانول.....
۲۲۳	۶-۵- نقش میکروارگانیسم‌ها در تولید بیواتانول.....
۲۲۳	۶-۵-۱- مخمرها.....
۲۲۴	۶-۵-۲- باکتری‌ها.....
۲۲۴	۶-۵-۳- قارچ‌ها.....
۲۲۵	۶-۶- روش‌های تولید بیواتانول.....
۲۲۵	۶-۶-۱- روش ستتری.....
۲۲۶	۶-۶-۲- روش تخمیر.....
۲۲۶	۶-۷- تولید بیواتانول از ترکیبات قنددار.....
۲۲۷	۶-۷-۱- تولید بیواتانول توسط مخمر ساکارومیسس سروسیا.....

- ۶-۷-۲- تولید بیواتانول توسط میکروارگانیزم زیمو ناز موپلیز..... ۲۳۰
- ۶-۸-۸- تولید بیواتانول از ترکیبات نشاسته دار..... ۲۳۳
- ۶-۸-۱- تولید بیواتانول از ترکیبات نشاسته دار (فرآیند آسیاب - تر)..... ۲۳۴
- ۶-۸-۲- تولید بیواتانول از ترکیبات نشاسته دار (فرآیند آسیاب - خشک)..... ۲۳۶
- ۶-۸-۳- کاربرد آنزیم های هیدرولیتیک در تبدیل قند و نشاسته..... ۲۴۰
- ۶-۸-۳-۱- مقدمه..... ۲۴۰
- ۶-۸-۳-۲- هیدرولیز گسترده نشاسته..... ۲۴۱
- ۶-۸-۴- تقطیر و آب گیری بیواتانول..... ۲۴۶
- ۶-۸-۵- تغییر ماهیت..... ۲۴۷
- ۶-۸-۶- بازده تولید بیواتانول از مواد نشاسته دار..... ۲۴۷
- ۶-۹-۹- تولید بیواتانول از ترکیبات لیگنوسلولزی..... ۲۴۹
- ۶-۹-۱- تولید بیواتانول از ترکیبات لیگنوسلولزی (براساس ترکیبات قندی)..... ۲۵۰
- ۶-۹-۲- تولید بیواتانول از ترکیبات لیگنوسلولزی با استفاده از فن آوری گازیفیکاسیون..... ۲۵۱
- ۶-۱۰-۱۰- پیش فرآوری مواد لیگنوسلولزی..... ۲۵۳
- ۶-۱۰-۱-۱- روش های پیش فرآوری فیزیکی..... ۲۵۵
- ۶-۱۰-۱-۱-۱- روش پیش فرآوری اکسروژن..... ۲۵۵
- ۶-۱۰-۲-۱- روش های پیش فرآوری شیمیایی..... ۲۵۶
- ۶-۱۰-۲-۱- هیدرولیز با استفاده از اسیدسولفوریک غلیظ..... ۲۵۶
- ۶-۱۰-۲-۲- هیدرولیز با استفاده از اسیدسولفوریک رقیق..... ۲۵۸
- ۶-۱۰-۳-۱- پیش فرآوری با استفاده از آمونیاک..... ۲۶۲
- ۶-۱۰-۴-۱- پیش فرآوری با استفاده از آهک..... ۲۶۲
- ۶-۱۰-۵-۱- پیش فرآوری با استفاده از پروکسیدهای قلیایی..... ۲۶۳
- ۶-۱۰-۶-۱- پیش فرآوری (تجزیه) اُرگانوسالو..... ۲۶۴
- ۶-۱۰-۷-۲- پیش فرآوری با استفاده از اسیدفسفریک غلیظ..... ۲۶۴
- ۶-۱۰-۸-۲- پیش فرآوری با استفاده از ازن (ازن کافت)..... ۲۶۵
- ۶-۱۰-۹-۲- پیش فرآوری با استفاده از مایعات یونی..... ۲۶۶
- ۶-۱۰-۳-۱- روش های پیش فرآوری فیزیکی - شیمیایی..... ۲۶۷
- ۶-۱۰-۱-۳- پیش فرآوری با استفاده از بخار فشرده..... ۲۶۷

۲۶۸.....	۶-۱۰-۳-۲- پیش‌فرآوری با استفاده از آب داغ مایع.....
۲۶۹.....	۶-۱۰-۳-۳- پیش‌فرآوری با استفاده از اکسیداسیون مرطوب.....
۲۷۰.....	۶-۱۰-۳-۴- پیش‌فرآوری با استفاده از آمونیاک فیبر فشرده (AFEX).....
۲۷۱.....	۶-۱۰-۳-۵- پیش‌فرآوری با استفاده از کربن‌دی‌اکسید فشرده.....
۲۷۱.....	۶-۱۰-۳-۶- پیش‌فرآوری با استفاده از پرتوهای میکروویو.....
۲۷۲.....	۶-۱۰-۳-۷- پیش‌فرآوری با استفاده از امواج مافوق صوت.....
۲۷۴.....	۶-۱۱- هیدرولیز بیولوژیکی با استفاده از آنزیم‌ها (هیدرولیز آنزیمی).....
۲۷۶.....	۶-۱۲- تخمیر.....
۲۷۶.....	۶-۱۲-۱- مقدمه.....
۲۷۷.....	۶-۱۲-۲- تخمیر با استفاده از میکروارگانیسم‌های مزوفیلیک.....
۲۷۹.....	۶-۱۲-۳- تخمیر با استفاده از میکروارگانیسم‌های ترموفیلیک.....
۲۷۹.....	۶-۱۳- تقطیر و آب‌گیری و تغییر ماهیت بیواتانول.....
۲۸۰.....	۶-۱۴- SSF و SHF.....
۲۸۲.....	منابع.....

فصل هفتم. بیهیدروژن

۲۹۲.....	۷-۱- مقدمه.....
۲۹۲.....	۷-۲- تولید هیدروژن.....
۲۹۴.....	۷-۲-۱- تولید هیدروژن با روش فتوبیولوژیکی.....
۲۹۴.....	۷-۲-۱-۱- فتوستتر چیست؟.....
۲۹۷.....	۷-۲-۱-۲- بیونورکافت مستقیم.....
۲۹۹.....	۷-۲-۱-۳- بیونورکافت غیرمستقیم.....
۳۰۱.....	۷-۲-۱-۴- تخمیر نوری.....
۳۰۲.....	۷-۲-۲- تخمیر تاریک.....
۳۰۳.....	۷-۳- آنزیم‌ها.....
۳۰۵.....	۷-۴- ترموتوگال‌ها.....
۳۰۶.....	۷-۵- پیش‌فرآوری مواد لیگنوسلولزی مورد استفاده در تولید بیهیدروژن.....
۳۰۶.....	۷-۵-۱- مقدمه.....

۳۰۷	۲-۵-۷- هیدرولیز آنزیمی مواد لیگنوسلولزی مورد استفاده در تولید بیوهیدروژن.....
۳۰۷	۶-۷- استفاده از بقایای کشاورزی در تولید بیوهیدروژن.....
۳۰۹	۷-۷- عوامل مؤثر بر تولید بیوهیدروژن.....
۳۰۹	۱-۷-۷- محیط راکتور.....
۳۰۹	۲-۷-۷- حلالیت گاز هیدروژن.....
۳۱۰	۳-۷-۷- دمای راکتور.....
۳۱۱	۴-۷-۷- مقدار نمک و pH.....
۳۱۱	۵-۷-۷- مواد مغذی.....
۳۱۲	منابع.....

فصل هشتم. گازفیکاسیون

۳۲۰	۱-۸- مقدمه.....
۳۲۱	۲-۸- گازفیکاسیون.....
۳۲۲	۳-۸- انواع گازفیکاسیون براساس فرآیند.....
۳۲۶	۴-۸- انواع سیستم‌های گازفیکاسیون.....
۳۲۷	۱-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون بستر ثابت.....
۳۲۸	۱-۱-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون جریان صعودی.....
۳۲۹	۲-۱-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون جریان نزولی بدون گلوگاه.....
۳۳۱	۳-۱-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون جریان نزولی با گلوگاه.....
۳۳۲	۴-۱-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون جریان عرضی.....
۳۳۳	۵-۱-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون دو مرحله‌ای.....
۳۳۴	۶-۱-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون پلاسما.....
۳۳۴	۲-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون بستر شناور.....
۳۳۵	۱-۲-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون با بستر شناور حبایی.....
۳۳۶	۲-۲-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون بستر شناور چرخشی.....
۳۳۶	۳-۲-۴-۸- واحدهای گازفیکاسیون بستر شناور دو محفظه‌ای.....
۳۳۸	۵-۸- خصوصیات مواد مورد استفاده در گازفیکاسیون.....
۳۴۰	۶-۸- خصوصیات گاز حاصل از گازفیکاسیون.....

۳۴۰	۷-۸- تصفیه گاز حاصل از گازیفیکاسیون.....
۳۴۱	۸-۸- استفاده از کاتالیزورها در گازیفیکاسیون.....
۳۴۱	۸-۸-۱- مقدمه.....
۳۴۲	۸-۸-۲- دولومیت.....
۳۴۳	۸-۸-۳- فلزات قلیایی.....
۳۴۳	۸-۸-۴- نیکل.....
۳۴۵	منابع.....

پیوست

۳۵۲	پیوست اول: برخی از اصطلاحات شیمیایی.....
۳۵۴	پیوست دوم: نانو فل آوری.....
۳۵۹	واژه نامه.....