اصول و فناوری‌های تولید بیوگاز

پدیدآورندگان

کیخسرو کریمی

دانشیار دانشکده مهندسی شیمی

دانشگاه صنعتی اصفهان

صفورا میرمحمدصادقی

دانش‌آموخته دکترای مهندسی شیمی

دانشگاه صنعتی اصفهان

www.ketab.ir

دانشگاه صنعتی اصفهان
مرکز نشر

شماره کتاب ۱۴۵ گروه فنی مهندسی ۵۹

اصول و فناوری‌های تولید بیوگاز

پدیدآورندگان	کیخسرو کریمی، صفورا میرمحمدصادقی
ویراستار علمی	مرضیه شفیعی
ویراستار ادبی	محبوبه شمس
صفحه آرا	زهرا نصراصفهانی
طراح جلد	مرضیه خردمند
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان
ناشر	مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان
چاپ اول	زمستان ۱۳۹۴
شمارگان	۵۰۰ جلد
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۸۲۵۷-۰۲-۸
قیمت	۱۳۴۰۰ ریال

سرشناسه	: کریمی، کیخسرو، ۱۳۶۰-
عنوان و نام پدیدآور	: اصول و فناوری‌های تولید بیوگاز/ پدیدآورندگان کیخسرو کریمی، صفورا میرمحمدصادقی.
مشخصات نشر	: اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: سیزده، ۴۱۵ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر؛ شماره کتاب ۱۴۵. گروه فنی‌مهندسی؛ ۵۹.
شابک	: 978-600-8257-02-8
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: ص.ع. به انگلیسی:
	.K. Karimi, S. Mirmohamadsadeghi. Principals and Technologies of Biogas Production.
یادداشت	: واژه‌نامه.
موضوع	: بیوگاز
موضوع	: بیوگاز -- صنعت و تجارت
موضوع	: انرژی زیست توده
شناسه افزوده	: میرمحمدصادقی، صفورا، ۱۳۶۵-
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی اصفهان. مرکز نشر
رده بندی کنگره	: TP۳۵۹/ب۹ک۴ ۱۳۹۴
رده بندی دیویی	: ۶۶۵/۷۷۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۱۷۰۸۱۹

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.

اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - مرکز نشر - کدپستی ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱، تلفن: ۱۰-۳۳۹۱۲۵۰۹ (۰۳۱) دورنگار: ۳۳۹۱۲۵۵۲ برای خرید اینترنتی کلیه کتاب‌های منتشره مرکز نشر می‌توانید به وبگاه http://publication.iut.ac.ir مراجعه و یا مستقیما از کتابفروشی مرکز نشر واقع در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان (تلفن ۳۳۹۱۳۹۵۲) خریداری فرمائید.

www.ketab.ir

پیشگفتار

در حال حاضر سوخت‌های فسیلی و به ویژه نفت مهم‌ترین منابع تأمین انرژی در دنیا هستند. کاهش ذخایر نفتی تهدیدی جدی برای تمامی کشورها محسوب می‌شود، به همین سبب در چند دهه اخیر سرمایه‌گذاری زیادی در کشورهای مختلف برای بهره‌برداری از سایر منابع انرژی صورت گرفته است. تمدن جدید به دنبال منابعی است که تجدیدپذیر باشند و هیچ‌گاه تمام نشوند که در این میان، بیوگاز به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع مطرح است. بیوگاز در محل‌های دفن زباله و از فساد مواد آلی، به طور خود به خود تولید می‌شود. عدم استفاده از این بیوگاز علاوه بر اتلاف انرژی، ورود آن به اتمسفر، آلودگی محیط زیست و تشدید اثر گلخانه‌ای را در پی خواهد داشت.

استفاده از بیوگاز مبحث جدیدی در جهان نیست، بلکه قبل از میلاد مسیح نیز شناخته شده بود. هند و چین از باسابقه‌ترین کشورهای استفاده کننده از بیوگاز هستند. در حال حاضر این کشورها چندین میلیون واحد بیوگاز فعال دارند. آلمان کشوری پیشرو در این زمینه است، به طوری که در سال ۲۰۱۱ میلادی حدود ۳۵۰۰ مگاوات انرژی مصرفی این کشور از بیوگاز تأمین شد. با توجه به پیشرفت‌های آلمان در این زمینه بسیاری از آمارهای مطرح‌شده در این کتاب از این کشور ارایه شده است.

ایران نیز از نخستین تمدن‌هایی می‌باشد که انرژی حاصل از بیوگاز به خدمت گرفته است. طبق مدارک موجود، استفاده از بیوگاز در ایران به بیش از ۴۰۰ سال پیش در حمام شیخ بهایی اصفهان بازمی‌گردد. با وجود پیشینه استفاده از بیوگاز در ایران، به دلیل وجود منابع بزرگ نفت و گاز در کشور، این منبع انرژی تجدیدپذیر و باارزش، سال‌های طولانی به دست فراموشی سپرده شده بود. خوشبختانه در سال‌های اخیر مباحث زیست‌محیطی و کاهش منابع نفت و گاز، شروع دوباره‌ای را برای استفاده از بیوگاز رقم زده است. با تلاش‌های صورت‌گرفته در این زمینه چندین واحد صنعتی تولید بیوگاز در شهرهای مختلف ایران ساخته شده و به بهره‌وری رسیده است. به این ترتیب ایران در ابتدای این راه قدم گذاشته است و برای ادامه مسیر، نیاز به پژوهش و سرمایه بیشتری می‌باشد. در همین راستا، نبود یک مرجع تخصصی در زمینه تولید بیوگاز به زبان فارسی ما را بر آن داشت که با توجه به زمینه فعالیت خود این اقدام را انجام دهیم.

www.ketab.ir

کتابی که پیش رو دارید حاصل سه سال تلاش نویسندگان است تا با جمع‌آوری اطلاعات موجود در این زمینه و مکتوب کردن تجربه‌های خود، راهنمایی برای دانشگاهیان و صنعت‌گران فراهم شود.

امید است این کتاب برای دانشجویان علاقه‌مند در رشته‌های مهندسی شیمی، مهندسی کشاورزی، محیط زیست، بیوتکنولوژی و مهندسی مکانیک مفید واقع شود و نیز مرجعی برای راهنمایی صنعت‌گران باشد.

لازم است، کمال قدردانی خود را نسبت به جناب آقای مهندس اشجع در تصفیه‌خانه اصفهان و جناب آقای دکتر قنواتی در واحد بیوگاز آبعلی به سبب اطلاعاتی که در اختیار ما قرار دادند، ابراز کنیم. همچنین سزاوار است، از سرکار خانم دکتر اکرم زمانی از دانشگاه بوراس سوئد و سرکار خانم مهندس شهناز بمانیان بابت تلاش‌ها و همکاری‌های ایشان در تهیه این کتاب قدردانی ویژه‌ای شود.

کتاب حاضر با تأیید و حمایت انجمن سوخت‌های زیستی ایران و مرجع علمی سوخت‌های زیستی در کشور که زیرمجموعه وزارت علوم، تحقیقات و فناوری می‌باشد، تهیه شده است و نویسندگان کمال تشکر را از آن انجمن دارند.

بی‌شک این کتاب خالی از اشکال نیست، بنابراین از تمامی خوانندگان محترم این کتاب درخواست می‌شود، نظرها، پیشنهادها و راهنمایی‌های خود را از طریق آدرس الکترونیکی karimi@cc.iut.ac.ir و یا safoora.mirmohamadsadeghi@ce.iut.ac.ir به اطلاع نویسندگان برسانند تا در چاپ‌های بعدی برای بهبود کتاب استفاده شود.

زمستان ۱۳۹۴

نویسندگان

www.ketab.ir

فهرست مطالب

فصل اول: تأمین انرژی

مقدمه ۱
۱-۱ منابع مختلف تأمین انرژی ۱
۱-۱-۱ منابع اولیه انرژی ۲
۱-۱-۲ منابع ثانویه انرژی ۴
۱-۱-۳ منابع نهایی انرژی ۵
۱-۱-۴ انرژی مؤثر ۵
مراجع ۷

فصل دوم: انرژی‌های جدید و پذیر

مقدمه ۹
۲-۱ انرژی آبی ۱۲
۲-۲ انرژی بادی ۱۳
۲-۳ انرژی خورشیدی ۱۵
۲-۴ انرژی زمین گرمایی ۱۸
۲-۵ انرژی امواج و جزر و مد ۱۹
۲-۶ انرژی زیست‌توده ۱۹
مراجع ۲۰

فصل سوم: از زیست‌توده تا بیوگاز

مقدمه ۲۱
۳-۱ پتانسیل زیست‌توده ۲۳
۳-۱-۱ پتانسیل تئوری ۲۳
۳-۱-۲ پتانسیل فنی ۳۵
۳-۱-۳ پتانسیل اقتصادی ۳۶
۳-۱-۴ پتانسیل تحقق‌پذیر ۳۶

www.ketab.ir

۳-۲ پتانسیل منابع بیوگاز در ایران ۴۰
۳-۲-۱ ضایعات و باقیمانده‌های کشاورزی و صنعتی ۴۰
۳-۲-۲ پسماند جامد شهری ۴۲
۳-۲-۳ فاضلاب شهری ۴۲
۳-۲-۴ فضولات دامی ۴۳
۳-۲-۵ ضایعات صنعتی ۴۳
مراجع ۴۵

فصل چهارم: تاریخچه و وضعیت کنونی تولید بیوگاز در جهان و ایران

مقدمه ۴۷
۴-۱ وضعیت اروپا ۵۵
۴-۲ تاریخچه و موقعیت کنونی چین ۵۷
۴-۳ تاریخچه و موقعیت کنونی هند ۵۷
۴-۴ موقعیت کنونی آمریکا ۵۷
۴-۵ موقعیت کنونی کشورهای مستقل مشترک‌المنافع (CIS) ۵۹
۴-۶ تاریخچه و موقعیت کنونی ایران ۵۹
۴-۶-۱ واحد بیوگاز شیراز ۶۰
۴-۶-۲ واحد بیوگاز مشهد ۶۲
۴-۶-۳ واحد بیوگاز ساوه ۶۲
۴-۶-۴ واحد بیوگاز اصفهان ۶۴
۴-۶-۵ واحد بیوگاز جنوب تهران ۶۵
۴-۶-۶ واحد بیوگاز شمال شرق تهران ۶۷
مراجع ۶۸

فصل پنجم: ویژگی‌های بیوگاز

مقدمه ۶۹
۵-۱ مقایسه بیوگاز با دیگر گازهای حاوی متان ۶۹
۵-۲ اجزای تشکیل‌دهنده بیوگاز ۷۳
۵-۲-۱ متان و دی‌اکسیدکربن ۷۵
۵-۲-۲ نیتروژن و اکسیژن ۷۶
۵-۲-۳ مونوکسیدکربن ۷۷

www.ketab.ir

۵-۲-۴ آمونیاک ۷۷
۵-۲-۵ سولفید هیدروژن ۷۷
۵-۲-۶ کلرین، فلوئورین، مرکاپتان ۷۷
۵-۲-۷ PAK ،BTX و غیره ۷۸
۵-۲-۸ سیلوکسان‌ها ۷۸
مراجع ۷۹

فصل ششم: انواع سوبسترا

مقدمه ۸۱
۶-۱ کود دامی حیوانی و سوبستراهای ترکیبی ۸۱
۶-۲ ضایعات بیولوژیکی باقیمانده ۹۱
۶-۳ ضایعات باقیمانده دفن‌شده ۹۳
۶-۴ لجن پساب روستای جانبی ۹۴
۶-۵ پساب صنعتی ۹۸
۶-۶ ضایعات گریسی یا چربی‌ها ۹۸
۶-۷ لیگنوسلولزها ۹۹
۶-۷-۱ پیش‌فراوری ترکیب‌های لیگنوسلولزی ۱۰۳
۶-۸ جلبک ۱۰۶
۶-۹ پلانکتون‌ها ۱۰۷
۶-۱۰ رسوبات دریایی ۱۰۷
مراجع ۱۰۹

فصل هفتم: تولید بیوگاز

مقدمه ۱۱۳
۷-۱ واکنش‌های بیوشیمیایی ۱۱۳
۷-۱-۱ مراحل واکنش بیولوژیکی تولید بیوگاز ۱۱۵
۷-۱-۱-۱ مرحله هیدرولیز ۱۱۷
۷-۱-۱-۲ مرحله تولید اسید ۱۱۸
۷-۱-۱-۳ مرحله تولید استات ۱۲۱
۷-۱-۱-۴ مرحله تولید متان ۱۲۳
۷-۲ عوامل مؤثر بر فرایند تولید بیوگاز ۱۲۶

www.ketab.ir

۷-۲-۱ فشار جزیی هیدروژن ۱۲۷
۷-۲-۲ غلظت میکروارگانیسم‌ها ۱۲۸
۷-۲-۳ انوع سوبسترا ۱۲۸
۷-۲-۴ سطح ویژه مواد ۱۳۰
۷-۲-۵ ازهم‌پاشیدگی ۱۳۱
۷-۲-۶ کشت، اختلاط و بار حجمی ۱۳۶
۷-۲-۷ نور ۱۳۸
۷-۲-۸ دما ۱۳۸
۷-۲-۹ pH ۱۴۰
۷-۲-۱۰ پتانسیل اکسایش- کاهش ۱۴۳
۷-۲-۱۱ مواد مغذی (نسبت C/N/P) ۱۴۳
۷-۲-۱۲ عناصر ضروری کم‌مقدار ۱۴۴
۷-۲-۱۳ فشار ۱۴۴
۷-۲-۱۴ مواد لخته‌زا شامل کاتیون‌های کلسیم، منیزیم آمونیوم فسفات و آپاتیت ۱۴۵
۷-۲-۱۵ جداسازی بیوگاز ۱۴۵
۷-۲-۱۶ بازدارنده‌ها ۱۴۶
۷-۲-۱۶ -۱ اکسیژن ۱۴۶
۷-۲-۱۶ -۲ ترکیب‌های سولفوری ۱۴۷
۷-۲-۱۶ -۳ اسیدهای آلی (اسیدهای چرب و آمینو اسیدها) ۱۴۹
۷-۲-۱۶ -۴ نیترات (NO_3^-) ۱۵۰
۷-۲-۱۶ -۵ آمونیوم (NH_4^+) و آمونیاک (NH_3) ۱۵۲
۷-۲-۱۶ -۶ فلزهای سنگین ۱۵۴
۷-۲-۱۶ -۷ تانن ۱۵۴
۷-۲-۱۶ -۸ سایر آستانه‌های بازدارندگی ۱۵۶
۷-۲-۱۷ مقدار تجزیه شدن ۱۵۶
۷-۲-۱۸ کف کردن ۱۵۶
۷-۲-۱۹ پسماند (تفاله) ۱۵۷
۷-۳ روش‌های تولید بیوگاز ۱۵۸
۷-۳-۱ روش تخمیر غوطه‌وری ۱۵۸

www.ketab.ir

۷-۳-۲ روش تخمیر فاز جامد ۱۵۹
۷-۳-۲ -۱ مزایا و چالش‌های تخمیر فاز جامد ۱۶۲
۷-۴ تعیین پتانسیل تولید بیوگاز ۱۶۳
۷-۴-۱ روش‌های تئوری ۱۶۳
۷-۴-۲ روش‌های آزمایشگاهی ۱۶۴
مراجع ۱۶۷

فصل هشتم: میکروبیولوژی تولید بیوگاز

مقدمه ۱۶۹
۸-۱ میکروارگانیسم‌های هیدرولیزکننده ۱۷۰
۸-۲ میکروارگانیسم‌های تولیدکننده اسید ۱۷۲
۸-۲-۱ جنس کلستریدیوم ۱۷۳
۸-۲-۲ جنس رومینوکوکس ۱۷۳
۸-۲-۳ جنس پانتیبا[illegible] ۱۷۳
۸-۳ میکروارگانیسم‌های تولیدکننده اسیدات ۱۷۴
۸-۴ میکروارگانیسم‌های تولیدکننده متان ۱۷۵
۸-۵ گونه‌های مصرف‌کننده متان ۱۸۷
مراجع ۱۸۸

فصل نهم: مدل‌سازی فرایند تولید بیوگاز

مقدمه ۱۸۹
۹-۱ مدل‌های موجود برای محاسبه تولید بیوگاز ۱۹۱
۹-۱-۱ باسول و مولر (۱۹۵۲) ۱۹۱
۹-۱-۲ بویل (۱۹۷۶) ۱۹۲
۹-۱-۳ باسرگا (۱۹۹۸) ۱۹۲
۹-۱-۴ کیمر و اسکلیچر (۲۰۰۳) ۱۹۲
۹-۱-۵ آمون و همکاران (۲۰۰۷) ۱۹۲
۹-۲ مدل‌های همراه با سینتیک واکنش ۱۹۳
۹-۲-۱ مدل‌های سینتیک رشد ۱۹۴
۹-۲-۱-۱ رشد باکتری‌ها ۱۹۴
۹-۲-۱-۲ مدل‌های ریاضی رشد باکتری‌ها ۱۹۶

www.ketab.ir

۹-۲-۱-۳ اثر بازدارنده‌ها بر رشد باکتری‌ها ۲۰۰
۹-۲-۱-۳-۱ بازدارندگی سوبسترا ۲۰۰
۹-۲-۱-۳-۲ بازدارندگی محصول‌ها ۲۰۲
۹-۲-۱-۴ اثر pH بر رشد باکتری‌ها ۲۰۵
۹-۲-۱-۵ اثر تعادل گاز - مایع بر رشد باکتری‌ها ۲۰۷
۹-۲-۱-۶ اثر دما بر رشد باکتری‌ها ۲۰۷
۹-۲-۲ سینتیک تخریب سوبسترا ۲۰۹
۹-۲-۲-۱ ساخت مواد سلولی جدید ۲۱۱
۹-۲-۲-۲ تأمین انرژی باکتری‌ها ۲۱۱
۹-۲-۲-۳ سینتیک تولید محصول‌ها ۲۱۳
۹-۳ مدل‌سازی تجمیع فاز جامد ۲۱۳
۹-۴ عوامل مدل‌ها ۲۱۵
۹-۵ پیچیدگی مدل‌ها و استفاده از آنها ۲۱۵
۹-۶ حوزه کاربرد مدل‌ها ۲۱۶
۹-۷ جمع‌بندی ۲۱۶
مراجع ۲۱۷

فصل دهم: انواع هاضم‌ها

۱۰-۱ انواع هاضم‌های تولید بیوگاز ۲۲۱
۱۰-۱-۱ هاضم چینی ۲۲۱
۱۰-۱-۲ هاضم هندی ۲۲۱
۱۰-۱-۳ هاضم پیستونی ۲۲۲
۱۰-۱-۴ هاضم بی‌هوازی بافل‌دار ۲۲۴
۱۰-۱-۵ هاضم بی‌هوازی تماسی ۲۲۴
۱۰-۱-۶ هاضم بستر لجن بی‌هوازی ۲۲۴
۱۰-۱-۶-۱ راکتورهای UASB ۲۲۵
۱۰-۱-۷ هاضم بستر سیال بی‌هوازی ۲۲۷
۱۰-۱-۸ هاضم بی‌هوازی محلول‌های رقیق ۲۲۸
۱۰-۱-۹ بیوراکتورهای غشایی (MBR) ۲۲۹
۱۰-۱-۱۰ فرایند وابیو واسا ۲۳۲

www.ketab.ir

۱۰-۱-۱۱ فرایند DUT ۲۳۲
۱۰-۱-۱۲ فرایند وابیو ۲۳۴
۱۰-۱-۱۳ فرایند فارماتیک ۲۳۵
۱۰-۱-۱۴ فرایند بیگادان (با نام قبلی کروگر) ۲۳۵
۱۰-۱-۱۵ فرایند والرگا ۲۳۶
۱۰-۲ مهندسی فرایند و ساخت هاضم فاضلاب ۲۳۷
۱۰-۲-۱ بیوراکتور بستر لجنی ۲۳۸
۱۰-۲-۱-۱ فرضیه‌های عملیات راکتور بستر لجن ۲۴۰
۱۰-۲-۱-۲ طراحی راکتور و طبقه‌بندی آنها ۲۴۰
۱۰-۲-۱-۳ عملیات راکتور بستر لجنی ۲۴۴
۱۰-۲-۲ راکتورهای [illegible]وی میکروارگانیسم‌های تثبیت‌شده ۲۴۵
۱۰-۲-۲-۱ بیوفیلم ۲۴۶
۱۰-۲-۳ راکتور بستر ثابت، راکتور فیلتری، راکتور فیلم ثابت ۲۴۸
۱۰-۲-۴ راکتور بستر منبسط‌شده (راکتور بستر سیالی ۲۴۹
۱۰-۳ تأسیسات واحد ۲۵۱
۱۰-۳-۱ فرایند تماس (CP) ۲۵۱
۱۰-۳-۲ فرایند Uhde-Schwarting ۲۵۲
۱۰-۳-۳ راکتور هیبریدی (UASB/ فیلتر) ۲۵۲
۱۰-۳-۴ راکتور مخزنی با همزن پیوسته (راکتور CSTR) ۲۵۲
۱۰-۳-۵ راکتور حلقه‌ای ۲۵۴
۱۰-۳-۶ واحدهایی با جداسازی زیست توده غیرقابل هیدرولیز ۲۵۴
۱۰-۳-۶-۱ فرایند سوسپانسیون یا غوطه‌وری ۲۵۴
۱۰-۳-۶-۲ فرایند نفوذی ۲۵۹
مراجع ۲۶۶

فصل یازدهم: طراحی و ساخت واحدهای تولید بیوگاز

۱۱-۱ امکان‌سنجی ۲۶۹
۱۱-۲ طراحی مقدماتی ۲۶۹
۱۱-۲-۱ دستورکار ساخت، عملیات و قوانین کارخانه در کشورهای اروپایی ۲۷۱
۱۱-۳ فرایند ساخت ۲۷۲

www.ketab.ir

۱۱-۴ سرمایه‌گذاری ۲۷۲
۱۱-۵ مهندسی فرایند ۲۷۴
۱۱-۶ قسمت‌های مختلف یک واحد گاز زیستی ۲۷۵
۱۱-۶-۱ مخازن و راکتورها ۲۷۵
۱۱-۶-۱-۱ مخازن آجری ۲۷۵
۱۱-۶-۱-۲ مخازن بتونی ۲۷۶
۱۱-۶-۱-۳ مخازن ساخته‌شده از صفحه‌های فولادی معمولی با لایه لعابی یا پوشش پلاستیکی ۲۷۹
۱۱-۶-۱-۴ مخازن فولاد ضد زنگ ۲۸۰
۱۱-۶-۱-۵ استخرهای زمینی با پوشش داخلی پلاستیکی ۲۸۰
۱۱-۶-۲ تجهیزات گرم‌کننده سوبسترا ۲۸۱
۱۱-۶-۳ عایق‌بندی حرارتی ۲۸۳
۱۱-۶-۴ سیستم لوله‌کشی ۲۸۳
۱۱-۶-۵ سیستم پمپاژ ۲۸۴
۱۱-۶-۶ فناوری سنجش، کنترل و اتوماسیون ۲۸۴
۱۱-۶-۶-۱ روش بازبینی و تنظیم ۲۸۵
۱۱-۶-۶-۲ تجهیزات ایمنی عملیات ۲۹۲
۱۱-۶-۶-۳ ابزارهای ایمنی برای انسان و محیط زیست ۲۹۳
۱۱-۶-۷ خالص‌سازی هوای خروجی ۲۹۶
۱۱-۷ فناوری فرایند عملیات بالادستی ۲۹۶
۱۱-۷-۱ تنظیم مقدار آب ۲۹۸
۱۱-۷-۲ حذف مواد مخل و مضر ۲۹۸
۱۱-۷-۳ خرد کردن ۳۰۰
۱۱-۷-۴ بهداشتی کردن ۳۰۰
۱۱-۷-۴-۱ بازرسی مستقیم ۳۰۱
۱۱-۷-۴-۱-۱ سالمونلا ۳۰۱
۱۱-۷-۴-۱-۲ پلاسمودیفورا براسیکا ۳۰۳
۱۱-۷-۴-۱-۳ ویروس موزاییک تنباکو ۳۰۴
۱۱-۷-۴-۱-۴ دانه‌های گوجه فرنگی ۳۰۴

www.ketab.ir

۱۱-۷-۴-۲ بازرسی غیرمستقیم فرایند ۳۰۴
۱۱-۷-۴-۳ کنترل محصول‌های نهایی ۳۰۵
۱۱-۷-۵ متلاشی کردن سلول ۳۰۵
۱۱-۷-۵-۱ فرایندهای مکانیکی ۳۱۰
۱۱-۷-۵-۲ فرایند فراصوت ۳۱۰
۱۱-۷-۵-۳ فرایندهای شیمیایی ۳۱۱
۱۱-۷-۵-۴ فرایندهای حرارتی ۳۱۴
۱۱-۷-۵-۵ فرایندهای بیولوژیکی ۳۱۵
۱۱-۷-۶ خوراک‌دهی ۳۱۷
۱۱-۸ فناوری تخمیر ۳۱۸
۱۱-۸-۱ فرایندهای پیوسته و ناپیوسته بدون جداکننده ۳۱۸
۱۱-۸-۱-۱ مهندسی سیستم‌ها ۳۲۰
۱۱-۸-۱-۲ روش کار راکتور ۳۲۳
۱۱-۸-۱-۲-۱ اندازه راکتور ۳۲۳
۱۱-۸-۱-۲-۲ طراحی بیوراکتور ۳۲۵
۱۱-۸-۱-۲-۳ سرپوش بیوراکتور ۳۲۷
۱۱-۸-۱-۲-۴ درب دسترسی و ورودی ۳۲۹
۱۱-۸-۱-۲-۵ لایه زهکشی زیر بیوراکتور ۳۲۹
۱۱-۸-۱-۲-۶ عایق حرارت ۳۳۰
۱۱-۸-۱-۲-۷ همزن ۳۳۰
۱۱-۸-۱-۲-۸ گرمایش ۳۳۴
۱۱-۸-۱-۳ راندمان ۳۳۴
۱۱-۸-۲ تأسیسات رقیق‌سازی سوبسترا و جداسازی مجدد آب در تخمیر خشک ۳۳۶
۱۱-۸-۲-۱ تجهیزات ۳۳۶
۱۱-۸-۲-۲ تأسیسات رقیق‌سازی و آبگیری تولیدشده توسط شرکت‌های مختلف ۳۴۰
۱۱-۸-۳ تأسیسات با جمع‌آوری زیست‌توده ۳۴۲
۱۱-۸-۳-۱ برج هضم لجن فاضلاب ۳۴۲
۱۱-۸-۳-۱-۱ تجهیزات هضم لجن فاضلاب ۳۴۴
۱۱-۸-۳-۱-۲ عملکرد برج هضم ۳۶۰
۱۱-۸-۳-۲ خالص‌سازی صنعتی فاضلاب ۳۶۰

www.ketab.ir

۱۱-۸-۴ مخزن ذخیره باقیمانده ۳۶۲
۱۱-۹ تأسیسات ویژه واحد ۳۶۲
۱۱-۹-۱ تخمیر ترکیبی لجن فاضلاب و ضایعات بیولوژیکی ۳۶۲
۱۱-۹-۲ واحدهای ضایعات بیولوژیکی ۳۶۵
۱۱-۹-۳ خالص‌سازی فاضلاب صنعتی ۳۶۷
۱۱-۹-۳-۱ مهندسی فرایند و ساخت تجهیزات ۳۶۷
۱۱-۹-۳-۲ واحدهای تخمیر فاضلاب صنعتی ۳۶۷
مراجع ۳۷۳

فصل دوازدهم: استفاده از بیوگاز

مقدمه ۳۷۵
۱۲-۱ خواص فیزیکی بیوگاز ۳۷۵
۱۲-۲ محفظه بیوگاز ۳۷۶
۱۲-۲-۱ انواع محفظه‌های بیوگاز ۳۷۷
۱۲-۲-۱-۱ محفظه بیوگاز کم‌فشار ۳۷۷
۱۲-۲-۱-۲ محفظه فشار متوسط و پرفشار بیوگاز ۳۷۹
۱۲-۲-۲ مشعل گاز ۳۸۰
۱۲-۳ آماده‌سازی بیوگاز ۳۸۱
۱۲-۳-۱ حذف سولفید هیدروژن ۳۸۳
۱۲-۳-۱-۱ سولفورزدایی بیولوژیکی ۳۸۳
۱۲-۳-۱-۲ رسوب سولفید ۳۸۸
۱۲-۳-۱-۳ جذب در محلول کیلات آهن ۳۸۸
۱۲-۳-۱-۴ جذب سطحی روی جرم‌های حاوی آهن ۳۸۹
۱۲-۳-۱-۵ جذب سطحی روی ذغال چوب فعال ۳۹۰
۱۲-۳-۱-۶ پیوند شیمیایی با روی ۳۹۱
۱۲-۳-۱-۷ مواد فعال سطحی ۳۹۲
۱۲-۳-۱-۸ عبور گاز از داخل راکتور جلبکی یا افزودن سدیم آلژینات ۳۹۲
۱۲-۳-۱-۹ اکسیداسیون مستقیم ۳۹۲
۱۲-۳-۱-۱۰ شستشوی گاز فشرده ۳۹۳
۱۲-۳-۱-۱۱ غربال مولکولی ۳۹۳

www.ketab.ir

۱۲-۳-۲ حذف دی‌اکسیدکربن ۳۹۳
۱۲-۳-۲-۱ جذب ۳۹۳
۱۲-۳-۲-۲ جاذب‌های بر پایه گلیکول و اتانول آمین‌ها ۳۹۷
۱۲-۳-۲-۳ جذب سطحی با تغییر فشار ۳۹۸
۱۲-۳-۲-۴ جذب سطحی با تغییر فشار در خلأ ۴۰۰
۱۲-۳-۲-۵ فناوری غشا ۴۰۰
۱۲-۳-۲-۶ جذب با تبدیل کردن به سنگ معدن ۴۰۲
۱۲-۳-۲-۷ خالص‌سازی برودتی بیوگاز ۴۰۲
۱۲-۳-۳ جداسازی اکسیژن ۴۰۳
۱۲-۳-۴ جداسازی آب ۴۰۳
۱۲-۳-۵ حذف آمونیاک ۴۰۴
۱۲-۳-۶ حذف سیلوکسان‌ها ۴۰۵
۱۲-۳-۷ جداسازی ذرات ریز ۴۰۵
مراجع ۴۰۶
واژه‌نامه ۴۰۷
واژه‌یاب ۴۱۱

www.ketab.ir