

مهندسی بیوشیمیایی و بیوتکنولوژی

(ویراست دوم)

تألیف: پروفیسور قاسم نجف پور

ترجمہ: پروفیسور قاسم نجف پور

دکتر مائتہ السادات محمدی

مهندس علی متین فر

مهندس محمد محمودی

سرشناسه	:	نجفپور، قاسم، ۱۳۲۷ -
عنوان و نام پدیدآور	:	مهندسی بیوشیمیایی و بیوتکنولوژی/ تالیف قاسم نجفپور؛ ترجمه قاسم نجفپور ... [و دیگران] .
وضعیت ویراست	:	ویراست ۲ .
مشخصات نشر	:	تهران: همراه علم: آوند دانش، ۱۳۹۵ .
مشخصات ظاهری	:	۶۹۶ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار؛ ۲۹×۲۲ سم .
شابک	:	978-600-9136-27-8: ۵۵۰۰۰۰ ریال
فهرست نویسی	:	فیبا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Biochemical engineering and biotechnology, 2007.
یادداشت	:	ترجمه قاسم نجفپور، مانده السادات محمدی، علی متین فر، محمد محمودی .
موضوع	:	زیست شیمی -- مهندسی
موضوع	:	Biochemical engineering
موضوع	:	تکنولوژی زیستی
موضوع	:	Biotechnology
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۵ م۹/ن۳/ت۲۲۴۸ TP
رده بندی دیویی	:	۶۶۰/۶۳
شماره کتابشناختی	:	۲۴۵۰۱۶۷



آوند دانش



نام کتاب: مهندسی بیوشیمیایی و بیوتکنولوژی

نویسنده: پروفیسور قاسم نجفپور درزی

مترجمین: پروفیسور قاسم نجفپور درزی، دکتر مانده السادات محمدی، علی متین فر، مهندس محمد محمودی

تاریخ انتشار: پائیز ۱۳۹۵ - چاپ اول

شمارگان: ۲۰۰۰ نسخه

تعداد صفحات: ۶۹۶ صفحه

گرافیک و صفحه آرایی: حامد ماهوت فروشها

چاپ و صحافی: چاپ دارا

ناشر: انتشارات شرکت همراه علم

نشانی: تهران، میدان ونک، خیابان خدای، پلاک ۳، طبقه ۶، واحد ۶۰۱

تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۷۴۹۰۲ - فکس: ۰۲۱-۸۸۸۷۴۹۰۵

ناشر همکار: آوند دانش

شابک: ۹۷۸۶۰۰۹۱۳۶۲۷۸

قیمت: ۵۵۰,۰۰۰ ریال

کلیه حقوق این کتاب نزد ناشر محفوظ است.

پیشگفتار ناشر

در سراسر جهان، آنچه به عنوان کتاب درسی یا دانشگاهی (textbook) معرفی می‌شود، مجموعه‌ای است که به منظور شناخت نظام‌مند، فراگیری دانش و کسب بینش لازم از یک موضوع یا مبحث نوشته یا گردآوری می‌شود، به طوری که خواننده‌ی آن مجموعه بتواند پس از خواندن و فراگیری مطالب نگارش‌یافته، درک درستی از موضوع یا مبحث مورد نظر به دست آورده و دانش و بینش فراگرفته را در جایگاه مناسب و مرتبط با موضوع به کار ببرد. البته در بیشتر موارد، لازم است فراگیری این گونه مطالب، بنا به ضرورت و یا شرایط زیر نظر یک صاحب‌نظر و خبره صورت گیرد- فردی که در اکثر اوقات، جز یک مدرس یا استاد نمی‌تواند باشد.

امروزه، با توجه به گسترش کتاب‌های درسی/دانشگاهی که در حوزه‌ها و مباحث گوناگون، توسط نویسندگان و ناشران مختلف عرضه می‌شوند، نقش مؤسسه‌های واسطه‌ای در تعیین مرجع مناسب در اکثر نظام‌های آموزشی، بسیار اساسی است و خوانندگان این دسته از کتاب‌ها غالباً برای شناسایی کتاب درسی/دانشگاهی مربوط به حوزه‌ی مطالعاتی خود، به این افراد رجوع می‌کنند. از طرف دیگر، مدرسان و استادان نیز تلاش می‌کنند با رصد جوامع دانشگاهی در سطح ملی و بین‌المللی، همواره از برترین و جدیدترین آثاری که در قالب کتاب‌های درسی یا انتشاراتی منتشر یافته‌اند، مطلع شوند. این کار، به طور معمول، از طریق شناسایی نویسندگان برتر و صاحب‌نظر در جامعه‌ی دانشگاهی یا بررسی آثار ناشران فعال در حوزه‌ی نشر دانشگاهی صورت می‌گیرد. برپایه‌ی موارد مذکور، انتشارات "آوند دانش" و شرکت "پارسی علم"، بر آن شدند تا در اقدامی مشترک، با ناشر بین‌المللی و معتبر Elsevier وارد توافق شده و کتاب‌های درسی/دانشگاهی این انتشارات را با خرید امتیاز ترجمه‌ی اثر به زبان فارسی، به صورت فارسی، به صورت رسمی ترجمه و منتشر نمایند. در این رهگذر، چارچوب شرایط کلی زیر همواره مد نظر این دو ناشر قرار خواهد داشت:

- اولاً، کتاب درسی انتخاب‌شده برای ترجمه، از آثار شناخته‌شده و مطرح در برنامه‌ی تحصیلی گسگاهی داخل و خارج کشور باشد؛
 - ثانیاً، مترجمان کتاب در زمره‌ی مدرسان به‌نام و کارشناسان تراز اول حوزه‌ی مربوط باشند؛
 - ثالثاً، تمامی کتاب‌های منتشرشده توسط این دو ناشر، از کیفیت مناسب در جنبه‌های مختلف از جمله نحوه‌ی نگارش متن، کیفیت چاپ و سایر شرایط برخوردار باشد تا مخاطبان این آثار، در درازمدت بتوانند این دو ناشر را به عنوان مرجعی قابل اطمینان برای تهیه‌ی کتاب‌های درسی و دانشگاهی بشناسند.
- موارد مذکور، به طور مشخص، می‌تواند اطمینان خواننده را از وفاداری مترجمان به اصل اثر نیز در پی داشته باشد. همچنین، بنا بر توافق صورت‌گرفته، این دو انتشارات همواره جدیدترین ویرایش از کتاب‌های درسی را برای ترجمه در اختیار خواهند داشت، به نحوی که نشر ترجمه‌ی فارسی اثر، (همانند کتاب حاضر) همزمان با انتشار نسخه‌ی انگلیسی آن صورت می‌گیرد.
- امید است با به‌کارگیری چنین تمهیداتی، بتوان آثار قابل قبول و با کیفیتی را به جامعه‌ی دانشگاهی فارسی‌زبانان ارائه کرد و به پشتوانه‌ی استقبال مخاطبان، به این کار تداوم و بهبود بخشید.

درباره مولف



پروفسور قاسم نجفپور مولف کتاب مهندسی بیوشیمیایی و بیوتکنولوژی استاد برجسته مهندسی شیمی و رئیس مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل هستند. ایشان فارغ التحصیل دانشگاه آرکانزاس ایالات متحده در زمینه‌ی فرایندهای بیولوژیکی هستند. زمینه اصلی تحقیقات ایشان موضوعات مربوط به مهندسی بیوشیمیایی است و در این زمینه‌ها بیش از ۱۰۰ مقاله‌ی علمی در مجلات معتبر علمی زیستی و مهندسی بیوشیمیایی به انجام رسانده‌اند. پروفسور نجفپور مدتی عضو هیات علمی دانشگاه مازنی، استاد مدعو دانشگاه واترلو کانادا و دانشگاه آرکانزاس ایالات متحده و همچنین دانشگاه علوم مالزی (USM) بوده و هم‌اکنون مولف نام علمی دانشگاه صنعتی

نوشیروانی بابل هستند. وی همچنین یک دوره فرصت مطالعاتی را در دانشگاه آرکانزاس (سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۱) گذرانده‌اند. ایشان مطالعات و تحقیقات علمی را در زمینه‌ی تولید پروتئین تک‌یاخته، پیل سوختی میکروبی، انرژی‌های تجدیدپذیر و سوخت موشک‌ها دنبال می‌کنند. ایشان در سال ۱۳۸۵ به مرتبه‌استادی در دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل رسیدند. در حال حاضر پروفسور نجفپور سردبیر تعدادی از مجلات علمی پژوهشی بین‌المللی از جمله مجله بین‌المللی مهندسی، ژورنال تحقیقاتی بازیافت ضایعات و ایرانیکا انرژی و محیط زیست هستند. ایشان همچنین عضو هیات تحریریه تعدادی از مجلات علمی پژوهشی بین‌المللی، عضو فعال بسیاری از موسسات علمی بین‌المللی و تعدادی از مجلات معتبر داخلی و خارجی هستند. وی همچنین به عنوان سخنران کلیدی به بسیاری از کنفرانس‌های ملی و مجامع علمی دعوت شده است. در دهه گذشته، پروفسور نجفپور استاد راهنمای بیش از ۱۲۵ دانشجوی کارشناسی ارشد و ۲۸ دانشجوی دکتری بوده است. از ایشان بیش از ۳۵۰ مقاله در مجلات معتبر بین‌المللی و بیش از ۱۰۰ باب در زمینه مهندسی شیمی و بیوتکنولوژی به چاپ رسیده است. در سال ۱۳۸۵ اولین نسخه از کتاب مهندسی بیوشیمیایی و بیوتکنولوژی ایشان توسط انتشارات الزویر به چاپ رسیده است. دستاوردهای پژوهشی پروفسور نجفپور منجر به دریافت چند جایزه علمی گردیده است که از جمله آنها می‌توان به مدال طلای اختراع و نوآوری در سال ۲۰۰۴ از طرف وزارت علوم و تکنولوژی مالزی اشاره نمود. تحقیقات ایشان در زمینه فرمولاسیون صابون شفاف و شوینده‌های زیست‌تخریب‌پذیر طبیعی از اسیدهای چرب روغن پالم در سال ۲۰۰۳ در کشور مالزی تحت عنوان پتنت ثبت گردید. در حال حاضر تحقیقات ایشان بیشتر روی پیل‌های سوختی میکروبی، بیودیزل، هیدروژن زیستی، تولید سوخت‌های زیستی از جلبک، بیواتانول از ضایعات کشاورزی، تکنولوژی آنزیم، انرژی‌های تجدیدپذیر، فرایندهای کاتالیستی هتروژن، مهندسی پساب و فرایندهای تصفیه بیولوژیکی متمرکز است.

چه کسانی باید این کتاب را بخوانند؟

تلاقی علم بیولوژی و مهندسی منجر به ایجاد زمینه‌های جدیدی از علوم از جمله مهندسی بیوشیمیایی و مهندسی پزشکی شده است. کسانی که علاقمندند تا بشر خود را در زمینه‌ی علوم بین‌رشته‌ای مهندسی/تکنولوژی/بیولوژی/پزشکی افزایش دهند می‌توانند از این کتاب استفاده کنند. مهندسی بیوشیمیایی زمینه‌ی علمی نسبتاً جدیدی است؛ در دو دهه‌ی گذشته تحقیق پژوهش در این رابطه همواره رو به افزایش بوده است و در آینده‌ی نزدیک این فضا، با تمرکز بیشتری ادامه خواهند داشت. این پژوهش‌ها در رابطه با کاربردهای بیوتکنولوژی خواهند بود چرا که فرایندهای زیستی احتمالاً به مرحله‌ی مهندسی‌سازی خواهند رسید.

این کتاب بر دانش عملی و نتایج پژوهش‌ها که تأیید کننده‌ی مفاهیم تئوری هستند استوار است. فرایندهای جداسازی زیستی و مشکلات زیست محیطی در قالب مطالعات موردی در کتاب گنجانده شده‌اند. علاوه بر مطالعات موردی، این کتاب حاوی مثال‌ها و مسائل حل‌شده‌ی زیادی است که درک و فهم جنبه‌های صنعتی و کاربردی بیوتکنولوژی را برای خواننده تسهیل می‌کند. این کتاب به گسترش دانش پژوهشگران در زمینه "مهندسی بیوشیمیایی و بیوتکنولوژی" و یادگیری مفاهیم بیوتکنولوژی و به‌کارگیری نتایج تحقیقات شان در مقیاس تجاری کمک می‌کند. دانش موجود در این کتاب به ناحیه جغرافیایی خاصی محدود نمی‌شود.

بیشتر کتاب‌های موجود در این زمینه بسیار پیچیده‌اند یا توضیحی در رابطه با جزئیات فرایندها ارائه نمی‌دهند. شاید برترین مزیت این کتاب نسبت به منابع موجود ارائه اطلاعات دقیق و جزئی در رابطه با فرایندها باشد. دانشجویان و کسانی که در حال آشنایی با فرایندهای بیولوژیکی و بیوتکنولوژی هستند باید راجع به علوم زیستی، مثال‌ها و مطالعات موردی بدانند تا اطلاعات و دانش خود را بهبود ببخشند. در این کتاب چندین نمونه از پژوهش‌های موفق انجام شده و مطالعات موردی در

رابطه با فرایندهای بیولوژیکی و بیوتکنولوژی ارائه شده است که آگاهی و بینش خوبی به خواننده خواهد داد.

این کتاب بیشتر برای دانشجویان، متخصصین و دانشجویان تحصیلات تکمیلی مهندسی شیمی جذاب خواهد بود اما برای دانشجویان مقطع کارشناسی نیز توصیه می‌شود. هر فصل این کتاب به فهم بیشتر یکی از زمینه‌های مرتبط با علم بیوتکنولوژی کمک می‌کند. مطالعات موردی ارائه شده با نتایج تحقیقات اصلی تلفیق شده‌اند که برای گسترش تحقیقات و نوآوری‌های پژوهشی مفید خواهند بود.

این کتاب راهنمای مفیدی برای همه دانشمندان برای به‌کارگیری مفاهیم پایه و همچنین انجام پژوهش در زمینه فرایندهای زیستی است. این کتاب بسیاری از مفاهیم را توضیح داده و نتایج کیفی و کمی را در زمینه فرایندهای بیولوژیکی ارائه می‌دهد. در واقع این کتاب بر کاربرد بیولوژی و بیوشیمیایی در علم مهندسی متمرکز شده است. جزئیات مفاهیم زیست مهندسی به شرح زیر خواهد بود: آنزیم و سینتیک رشد میکروبی، طراحی بیوراکتور و بزرگ‌سازی مقیاس، بازیافت محصول پائین‌دستی، اساسی محصولات بیولوژیکی و خالص‌سازی، تولید محصولات دارزش نظیر آنزیم از ضایعات، آنتی‌بیوتیک‌ها و سایر محصولات تخمیر.

مخاطبین موردنظر که مدتها دانشجویان مهندسی بیوشیمیایی هستند، نیاز به درک مفاهیم پایه و دانش تئوری و عملی که عمق و وسعت مناسبی داشته باشد دارند. این کتاب مفاهیم پایه مهندسی بیوشیمیایی را با نتایج تحقیقاتی ترکیب می‌کند که مزایای بزرگی برای خواننده دارد. این کتاب حاوی عناوین جذاب و مهمی در رابطه با فرایندهای زیستی است و کاربردهای بیوتکنولوژی در مهندسی بیوشیمیایی در آن گنجانده شده‌اند. این کتاب همچنین راه‌کارهای مفیدی را به پژوهشگران جوان برای گسترش تحقیقات علمی‌شان ارائه می‌دهد و می‌تواند توجه دانشمندان زیادی را از نقاط مختلف دنیا به‌خود جلب کند.

ارائه شده است. این کتاب منبعی مناسب برای کسانی است که به دنبال تحقیقات توسعه یافته در زمینه بیوتکنولوژی هستند و همچنین راهنمای درستی برای مبتدیان برای تمرین انجام پژوهش های گسترده است. هدف اصلی از تألیف این کتاب استفاده از آن به عنوان منبع درسی مناسب برای دانشجویان بوده است و همچنین استفاده از آن به دانشجویان مقطع کارشناسی در یک یا دو نیم سال توصیه می شود. این کتاب همچنین برای موسسات تحقیقاتی و کارشناسان ارشدی که پژوهش های عملی در زمینه مهندسی بیوشیمیایی و بیوتکنولوژی انجام می دهند بسیار توصیه می شود.

این کتاب کاربردهای علم بیولوژی را در مهندسی بیوشیمیایی و علوم مربوط به فرایندهای بیولوژیکی شرح می دهد. این کتاب با ارائه دستاوردهای عملی در بخش صنعت منبعی بی نظیر است. سعی من بر این بوده است کتاب درسی مناسبی را برای دانشجویان فراهم آورم. این کتاب با داشتن مثال ها و مسائل حل شده با شرح دقیق جزئیات و با ارائه معادلات محاسبات طراحی منبعی بی نظیر است. نویسندگان زیادی در این کتاب مطالب موردی ارائه شده سپیم بوده اند.

در طی سال های تحصیل در ایالت متحده در دانشگاه اکلاهما و دانشگاه آرکانزاس، راسل و مدرسین دانشکده مهندسی شیمی مطالب زیادی آموختم و آنها را در دستاوردهای علمی ام یاری کردند. همچنین این اقبال را داشته ام که کتابی را از افراد مختلف در دانشگاه اکلاهما بیاموزم؛ از تشویق ها و حمایت ها شان بسیار سپاسگزارم. موفقیت ها و پیشرفت هایم را مدیون آن دو بزرگوار هستم که در دانشگاه آرکانزاس راهنمایی پایان نامه ام را بر عهده داشتند. آنها را همواره به خاطر خواهم داشت.

قاسم نجف پور درزی

آزمایشگاه تحقیقاتی بیوتکنولوژی

استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی

بابل، ایران

بل از هر چیز خداوند متعال را شاکرم که مرا مورد لطف و عنایت خود قرار داد و به من توانایی بخشید تا این کار را به اتمام برسانم. از همکارانم که در تألیف بخشی از فصول کتاب یاری ام کرده اند، از دکتر قریشی، دکتر رحیم نژاد و دکتر جهانشاهی از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل و دکتر طباطبایی از پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران سپاسگزارم. همچنین تشکر ویژه ای از دکتر یونس، دکتر لانگ، دکتر اصفهانیان، دکتر شاهوی، پروفسور ازینا هارون، پرنسور باتیا، پروفسور عبدالرحمان محمد، پروفسور عبداللطیف احمد، دکتر زارع به خاطر مشارکت زحمتهایشان در مطالعات موردی دارم.

افرادی که در طول سال ها تاثیر بسزایی در زندگی حرفه ای و آموزشی ام داشته اند، از پروفسور گدی، پروفسور تانزند، پروفسور اربلینگ، پروفسور پلپسویچ، پروفسور الایسون و پروفسور کلاسن سپاسگزارم. همچنین از دکتر ماریناکیس و خانم کریستین مکالونی در الزویر که به کمک و راهنمایی به کارهایم سرعت بخشیدند کمال تشکر را دارم.

هزاره جدید، کاربردهای وسیع فرایندهای زیستی شرایطی را برای مهندسی فراهم کرده است تا دانش و علاقه مندی شان را در زمینه بیوتکنولوژی گسترش دهند. میکروارگانیسم ها انواع الکل ها و استون را تولید می کنند که در فرایندهای صنعتی کاربرد دارند. امروزه، علم مربوط به میکروبیولوژی صنعتی، با توجه به توانایی سلول های دستکاری شده ای تئیک برای تولید بسیاری از محصولات جدید، دستخوش تحول بزرگی شده است. مهندسی ژنتیک و اصلاح ژن برای بهبود فرایندهای تخمیر صنعتی، توسعه یافته اند. کاربرد مهندسی بیوشیمیایی در بیوتکنولوژی راه دیدنی برای ساخت محصولات تجاری جدید است.

این کتاب کاربرد علوم بیولوژیکی در مهندسی را از جنبه های تئوری عملی شرح می دهد. ۲۰ فصل این کتاب به درک بهتر علوم مربوط به زمینه های تخصصی مختلف در حوزه بیوتکنولوژی کمک می کند. ضمیمات دقیق و مسائل حل شده ای ارائه شده در این کتاب به دانشجویان پیگیری فصول کتاب مطابق با مطالب ارائه شده در کلاس های درس کمک می کند.

این کتاب نمودارهای زیادی که داده های آزمایشگاهی واقعی را نشان می دهند، شکل ها و جدول ها فراوانی همراه با توضیحات کافی

فهرست مطالب

۳۳	۵-۲	فعالیت کاتالیزستی آنزیم‌ها	۱. میکروبیولوژی صنعتی
۳۴	۶-۲	بازدارنده‌های واکنش‌های آنزیمی	۱-۱ مقدمه
۳۶	۷-۲	کاربردهای صنعتی آنزیم‌ها	۲-۱ نقش بیونکریز
۳۸	۸-۲	کوانزیم‌ها	۳-۱ نقش علوم زیستی
۴۰	۹-۲	اثر pH بر فعالیت آنزیم	۴-۱ عملکرد میکروبی
۴۰	۱۰-۲	واحد فعالیت آنزیمی	۵-۱ فرایند تخمیر
۴۰	۱۱-۲	غیرفعال سازی آنزیم	۶-۱ کاربرد فرایندهای تخمیری
۴۱		فهرست علائم	۷-۱ محصولات فرایند بیولوژیکی
۴۱	۱۲-۲	مسائل	۱-۷-۱ بیومس
۴۳		منابع	۲-۷-۱ فراورده‌های سلولی
۴۴	۱۳-۲	نمونه پژوهش: تخمیر حالت جامد باگاس نیشکر در بیوراکتور سینی‌دار به منظور تولید آنزیم لیپاز با استفاده از ریزوپوس اوریزا	۳-۷-۱ تغییر ساختار بیولوژیکی
۴۴	۱-۳-۲	مقدمه	۸-۱ تولید اسید لاکتیک
۴۵	۲-۱۳-۲	مواد و روش‌ها	۹-۱ تولید سرکه
۴۵	۱-۲-۱۳-۲	تجهیزات و مواد	۱۰-۱ تولید اسیدهای آمینه (لیزین و گلوتامیک اسید) و انسولین
۴۶	۲-۲-۱۳-۲	تخمیر حالت جامد و تهیه نمونه	۱-۱۰-۱ تولید مرحله به مرحله اسیدهای آمینه
۴۷	۳-۱۳-۲	نتایج و بحث	۲-۱۰-۱ انسولین
۵۱		منابع	۱۱-۱ آنتی‌بیوتیک‌ها و تولید پنی‌سیلین
			۱۲-۱ تولید آنزیم
			۱۳-۱ تولید مخمر نانوائی
			منابع
			۲. تکنولوژی آنزیم
۵۵	۱-۳	مقدمه	۱-۲ مقدمه
۵۵	۲-۳	هوادهی و اختلاط	۲-۲ نرخ واکنش ابتدائی آنزیم
۵۶	۱-۲-۳	اندازه‌گیری غلظت اکسیژن محلول	۳-۲ طبقه‌بندی آنزیم‌ها
۵۶	۲-۲-۳	نرخ انتقال اکسیژن	۴-۲ عملکرد اختصاصی آنزیم‌ها

۱۰۵	فهرست علائم	۵۷	۳-۲-۳ ضریب تنفس
۱۰۷	منبع	۵۸	۴-۲-۳ مطالعات نرخ اختلاط
		۵۹	۳-۳ اسپارجر هوا
	۴. کنترل فرایند تخمیر	۵۹	۴-۳ پدیده‌های هم‌زدن و اختلاط
۱۱۰	۱-۴ مقدمه	۵۹	۵-۳ انواع هم‌زن‌ها
۱۱۲	۲-۴ حسگرهای کنترلی بیوراکتور	۶۰	۶-۳ نرخ انتقال اکسیژن در فرماتور
۱۱۳	۳-۴ خصوصیات حسگرهای بیوراکتور	۶۱	۷-۳ انتقال جرم در سیستم گاز-مایع
۱۱۳	۴-۴ اندازه‌گیری دما و کنترل آن	۶۳	۸-۳ ماندگی گاز
۱۱۴	۵-۴ اندازه‌گیری اکسیژن محلول و کنترل آن	۶۳	۹-۳ ضرایب انتقال جرم در مخازن هم‌زن‌دار
۱۱۶	۶-۴ اندازه‌گیری pH و پتانسیل اکسایش-کاهش و کنترل آن	۶۵	۱۰-۳ سیستم هم‌زن‌دار و پدیده اختلاط
		۶۶	۱۱-۳ فرایند انتقال جرم محلول
۱۱۷	۷-۴ تشخیص و جلوگیری از تشکیل کف	۷۱	۱-۱۱-۳ انتقال اکسیژن
۱۱۹	۸-۴ بیوسنسورها	۷۲	۲-۱۱-۳ قطر حباب گاز تولیدی
۱۲۰	۱-۸-۴ عناصر بیولوژیکی	۷۹	فهرست علائم
۱۲۰	۲-۸-۴ تثبیت مواد بیولوژیکی		منبع
۱۲۱	۱-۲-۸-۴ جذب	۱۳-۳	نمونه پژوهش: مدل نرخ انتقال اکسیژن در یک مخزن هوادهی حاوی پساب دارویی
۱۲۱	۲-۲-۸-۴ بهدام اندازی		
۱۲۱	۳-۲-۸-۴ کیسوله کردن	۸۱	۱-۱۳-۳ مقدمه
۱۲۱	۴-۱-۸-۴ اتصال عرضی	۸۲	۲-۱۳-۳ مواد و روش‌ها
۱۲۲	۵-۱-۸-۴ پیمانه کووالانسی	۸۳	۳-۱۳-۳ نتایج و بحث
۱۲۲	۱-۸-۴ منابع	۸۶	۴-۱۳-۳ نتیجه‌گیری
۱۲۲	۱-۳-۸-۴ بررسی سبب حرارتی	۸۶	فهرست علائم
۱۲۳	۲-۳-۸-۴ بیوسنسور نور	۸۷	منبع
۱۲۳	۳-۳-۸-۴ بیوسنسور پیرروکترون	۸۸	۱۴-۳ نمونه پژوهش: تولید سوخت و مواد شیمیایی از واکنش جابه‌جایی آب-گاز با استفاده از فرایندهای تخمیری
۱۲۳	۴-۳-۸-۴ بیوسنسور الکتروشیمیایی		
۱۲۴	۴-۸-۴ بیوسنسور آمپرومتریک		
۱۲۸	۱-۴-۸-۴ زمان پاسخ	۸۸	مقدمه
۱۲۸	۲-۴-۸-۴ زمان بازیابی	۸۹	۱-۱۴-۳ سینتیک رشد در بیوراکتور ناپیوسته
۱۲۸	۳-۴-۸-۴ بازه تشخیص خطی	۹۴	۲-۱۴-۳ اثر غلظت سوستر بر رشد میکروبی
۱۲۸	۴-۴-۸-۴ محدوده تشخیص	۹۷	۳-۱۴-۳ پدیده انتقال جرم
۱۲۸	۵-۴-۸-۴ حساسیت	۱۰۰	۴-۱۴-۳ سینتیک واکنش جابه‌جایی آب-گاز
۱۳۰	۹-۵ فهرست علائم	۱۰۴	۵-۱۴-۳ سینتیک رشد سوسترای مونو کسید کربن روی کلستریدیوم لاتگالی
۱۳۰	منبع		

۵. سینتیک رشد

۱-۵	مقدمه	۱۳۵
۲-۵	روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم رشد سلولی	۱۳۵
۱-۲-۵	اسپکتروسکوپی فلوروسانس	۱۳۵
۲-۲-۵	نرخ رشد ویژه	۱۳۶
۳-۵	رشد سلولی در محیط کشت ناپیوسته	۱۳۷
۴-۵	مراحل رشد	۱۳۸
۵-۵	سینتیک محیط کشت ناپیوسته	۱۳۸
۶-۵	سینتیک رشد در محیط کشت پیوسته	۱۳۹
۷-۵	موازنه رشد، CSTI	۱۴۵
۱-۷-۵	نرخ تشکیل محصول	۱۴۵
۲-۷-۵	محیط کشت پیوسته	۱۴۶
۳-۷-۵	معایب محیط کشت پیوسته	۱۴۶
۴-۷-۵	مزایای محیط کشت پیوسته	۱۴۶
۵-۷-۵	سینتیک‌های رشد، بازدهی بیومس، $(Y_{x/s})$ بازدهی فراورده (Y_p/s)	۱۴۷
۶-۷-۵	موازنه بیومس (سلولی) در یک بیوراکتور	۱۴۸
۷-۷-۵	موازنه جرم برحسب سوبسترا در یک کموستات	۱۴۹
۸-۷-۵	کموستات اصلاح شده	۱۵۰
۹-۷-۵	محیط کشت نیمه پیوسته	۱۵۲
۸-۵	سینتیک واکنش آنزیمی	۱۵۳
۱-۸-۵	مکانیسم واکنش آنزیم منفرد با سوبسترای دوتایی	۱۵۵
۲-۸-۵	سینتیک واکنش‌های برگشت‌پذیر با واکنش سوبسترای دوتایی	۱۶۲
۳-۸-۵	مکانیسم واکنش با بازدارنده رقابتی	۱۶۳
۴-۸-۵	مدل نرخ بازدارنده غیررقابتی	۱۶۴
۹-۵	مدل سینتیکی بدون ساختار	۱۹۲
۱۰-۵	فهرست علائم	۲۰۰
	منابع	۲۰۱
۱۱-۵	نمونه پژوهش: مدل‌های سینتیک آنزیمی برای تجزیه استرهای راسمیک ایوپروفن در یک راکتور غشایی	۲۰۲
۱-۱۱-۵	مقدمه	۲۰۲

۵-۱۱-۲ سینتیک آنزیمی

۲۰۳	بررسی بازدارنده‌های سوبسترا و فراورده	۱-۲-۱۱-۵
۲۰۳	بررسی بازدارندگی سوبسترا	۲-۲-۱۱-۵
۲۰۶	سینتیک آنزیمی برای سیستم تعادل سریع (شبه تعادلی)	۳-۲-۱۱-۵
۲۰۸	استخراج معادله نرخ آنزیمی با فرض تعادل سریع	۳-۱۱-۵
۲۰۸	انحراف معادله نرخ آنزیمی از فرض تعادل سریع	۴-۱۱-۵
۲۱۰	اثبات مکانیسم سینتیکی	۵-۱۱-۵
۲۱۴	منابع	
۲۱۵	مسائل	

۶. طراحی بیوراکتور

۲۱۸	مقدمه	۱-۶
۲۱۹	پیشینه بیوراکتورها	۲-۶
۲۲۰	انواع بیوراکتورها	۳-۶
۲۲۱	بیوراکتورهای ایرلیفت	۱-۳-۶
۲۲۱	بیوراکتورهای سیکل فشار ایرلیفت	۲-۳-۶
۲۲۲	بیوراکتور چرخه‌ای	۳-۳-۶
۲۲۲	بیوراکتور همزن دار	۴-۶
۲۲۵	فرمانتور ستون حبابی	۵-۶
۲۲۶	بیوراکتورهای ایرلیفت	۶-۶
۲۲۷	انتقال جرم و حرارت	۷-۶
۲۲۹	معادلات جابجایی فرمانتور همزن دار پیوسته (CSTR)	۸-۶
۲۳۰	مدل مونود برای کموستات	۱-۸-۶
۲۳۴	اثر دما بر ثابت سرعت	۹-۶
۲۳۵	افزایش مقیاس بیوراکتور همزن دار	۱۰-۶
۲۴۴	انتقال بیولوژیکی اکسیژن از طریق سلول‌ها	۱۱-۶
۲۴۵	تخمین ضریب انتقال جرم	۱-۱۱-۶
۲۴۸	انتقال جرم در مخزن هوادهی و اختلاط	۲-۱۱-۶
۲۵۱	فهرست علائم	۱۲-۶
۲۵۱	منابع	

۲۹۶	۳-۲-۸	اتصال عرضی
۲۹۶	۴-۲-۸	مزایا و معایب تثبیت سلول ها
۲۹۶	۳-۸	آزمایشات راکتور سلول تثبیت شده
۲۹۷	۴-۸	مدل سرعت ICR
۳۰۰		علائم و اصطلاحات
۳۰۰		منابع
۳۰۲	۶-۸	مطالعه موردی: تخمیر اتانول در راکتور سلول تثبیت شده با استفاده از ساکارومایسس سروسیه
۳۰۲	۱-۶-۸	مقدمه
۳۰۳	۲-۶-۸	مواد و روش ها
۳۰۳	۱-۲-۶-۸	سیستم راکتور آزمایشگاهی
۳۰۵	۲-۲-۶-۸	تخمین غلظت گلوکز
۳۰۵	۳-۲-۶-۸	اندازه گیری اتانول تولیدی
۳۰۵	۴-۲-۶-۸	وزن خشک سلولی و دانسیته نوری مخمر
۳۰۶	۵-۲-۶-۸	اسکن میکروسکوپ الکترونی سلول های تثبیت شده
۳۰۷	۶-۲-۶-۸	آنالیز آماری
۳۱۰	۳-۶-۸	بحث و نتیجه گیری
۳۱۰	۱-۳-۶-۸	ارزیابی سلول های تثبیت شده
۳۱۱	۱-۲-۶-۸	تخمیر ناپیوسته
۳۱۲	۱-۳-۶-۸	حالیته سبی
۳۱۲	۴-۳-۶-۸	راکتور
۳۱۴	۵-۳-۶-۸	تأثیر غلظت سلول ها بر سوسترای سلول های تثبیت شده
۳۱۵	۴-۶-۸	نتیجه گیری
۳۱۶		علائم و اختصارات
۳۱۶		منابع
۳۱۷	۷-۸	اصول تکنولوژی تثبیت و مدل ریاضی برای عملکرد ICR
۳۱۷	۱-۷-۸	تثبیت میکروارگانیسم ها با پیوندهای کووالانسی
۳۱۷	۲-۷-۸	انتقال اکسیژن به میکروارگانیسم های تثبیت شده
۳۱۷	۳-۷-۸	انتقال سوسترها به میکروارگانیسم های تثبیت شده

۲۵۳	مستقل
	۷. فرایندهای پائین دستی
۲۵۶	۱-۷ مقدمه
۲۵۶	۲-۷ فرایندهای پائین دستی
۲۵۹	۳-۷ فیلتراسیون
۲۵۹	۱-۳-۷ تئوری فیلتراسیون
۲۶۱	۴-۷ سانتریفیوژ
۲۶۱	۱-۴-۷ تئوری سانتریفیوژ
۲۶۳	۵-۷ ته نشین سازی (رسوب داری)
۲۶۶	۶-۷ شناور سازی
۲۶۶	۷-۷ فناوری های نو ظهور برای بازیابی سلول
۲۶۷	۸-۷ شکست سلولی
۲۶۸	۹-۷ استخراج با حلال
۲۶۸	۱-۹-۷ بازیابی فرآورده به وسیله استخراج مایع-میع
۲۶۸	۲-۹-۷ فرایند ستون استخراج پیوسته، صفحات چرخنده
۲۶۸	۱۰-۷ جذب سطحی
۲۷۱	۱-۱۰-۷ جذب تبادل یونی
۲۷۱	۲-۱۰-۷ جذب لانگمویر هم دما
۲۷۲	۳-۱۰-۷ جذب فرندلیچ هم دما
۲۷۲	۴-۱۰-۷ جذب بستر ثابت
۲۷۳	۱۱-۷ کروماتوگرافی
۲۷۵	۱-۱۱-۷ اصول کروماتوگرافی
۲۸۵	۱۲-۷ فرایند تبلور
۲۸۶	۱۳-۷ فرایند خشک انجمادی
۲۸۷	فهرست علائم
۲۸۹	منابع
	۸. تثبیت سلول های میکروبی برای تولید اسید آلی و اتانول
۲۹۳	۱-۸ مقدمه
۲۹۴	۲-۸ سلول های میکروبی تثبیت شده
۲۹۴	۱-۲-۸ اتصال به حامل
۲۹۵	۲-۲-۸ به دام اندازی

[illegible]

۴۰۶	اسید سیتريک	۲-۷-۱۲	۳۹۵	تعيين عدد رينولدز	۱۵-۱۱
۴۰۷	فرايند بازيابي و خالص سازي اسيد سيتريك	۸-۱۲	۳۹۵	تعيين توان ورودی	۱۶-۱۱
۴۰۷	آزمایش‌ها	۹-۱۲	۳۹۷	تعيين شدت انتقال اکسيژن	۱۷-۱۱
۴۰۸	مدل سينتيکی تخمير ناپيوسته اسيد سيتريك	۱۰-۱۲	۳۹۸	مشخصات طراحي بيوراکتور	۱۸-۱۱
۴۱۱	فهرست علائم		۳۹۹	منابع	
۴۱۱	منابع				
۴۰۲	مقدمه	۱-۱۲			
۴۰۳	توليد اسيد سيتريك در بيوراکتور ناپيوسته	۲-۱۲	۴۰۲	مقدمه	۱-۱۲
۴۰۳	ميکروارگانيسم	۱-۲-۱۲	۴۰۳	توليد اسيد سيتريك در بيوراکتور ناپيوسته	۲-۱۲
۴۰۳	عوامل موثر بر رشد کپک و فرايند تخمير	۳-۱۲	۴۰۳	ميکروارگانيسم	۱-۲-۱۲
۴۰۵	آغازگر (استارتر)	۴-۱۲	۴۰۳	عوامل موثر بر رشد کپک و فرايند تخمير	۳-۱۲
۴۰۵	کشت بنر	۵-۱۲	۴۰۵	آغازگر (استارتر)	۴-۱۲
۴۰۶	توليد اسيد سيتريك	۶-۱۲	۴۰۵	کشت بنر	۵-۱۲
۴۰۶	روش آناليز	۷-۱۲	۴۰۶	توليد اسيد سيتريك	۶-۱۲
۴۰۶	وزن خشک سلولي	۱-۷-۱۲	۴۰۶	روش آناليز	۷-۱۲
۴۰۶	کربوهيدرات‌ها	۲-۷-۱۲	۴۰۶	وزن خشک سلولي	۱-۷-۱۲
۴۰۶	اسيد سيتريك	۳-۷-۱۲	۴۰۶	کربوهيدرات‌ها	۲-۷-۱۲
۴۰۷	فرايند بازيابي و خالص سازي اسيد سيتريك	۸-۱۲	۴۰۶	اسيد سيتريك	۳-۷-۱۲
۴۰۷	آزمایش‌ها	۹-۱۲	۴۰۷	فرايند بازيابي و خالص سازي اسيد سيتريك	۸-۱۲
۴۰۸	مدل سينتيکی تخمير ناپيوسته اسيد سيتريك	۱۰-۱۲	۴۰۷	آزمایش‌ها	۹-۱۲
۴۱۱	فهرست علائم		۴۰۸	مدل سينتيکی تخمير ناپيوسته اسيد سيتريك	۱۰-۱۲
۴۱۱	منابع		۴۱۱	فهرست علائم	
			۴۱۱	منابع	
			۴۰۲	مقدمه	۱-۱۲
			۴۰۳	توليد اسيد سيتريك در بيوراکتور ناپيوسته	۲-۱۲
			۴۰۳	ميکروارگانيسم	۱-۲-۱۲
			۴۰۳	عوامل موثر بر رشد کپک و فرايند تخمير	۳-۱۲
			۴۰۵	آغازگر (استارتر)	۴-۱۲
			۴۰۵	کشت بنر	۵-۱۲
			۴۰۶	توليد اسيد سيتريك	۶-۱۲
			۴۰۶	روش آناليز	۷-۱۲
			۴۰۶	وزن خشک سلولي	۱-۷-۱۲
			۴۰۶	کربوهيدرات‌ها	۲-۷-۱۲

۱۳. افزايش مقادير فرايندهای زیستی

۴۱۴	مقدمه	۱-۱۳	۴۱۴	افزايش مقياس برای KLa ثابت	۱-۲-۱۳
۴۱۴	روش افزايش مقياس از مقياس آزمایشگاهی به مقياس صنعتی	۲-۱۳	۴۱۶	افزايش مقياس براساس نیروهای تنشی	۲-۲-۱۳
			۴۱۷	افزايش مقياس براساس زمان اختلاط ثابت	۳-۲-۱۳
			۴۱۹	افزايش مقياس بر مبنای مفاهيم فیزیکی	۴-۲-۱۳
			۴۲۲	معيار طراحي بيوراکتور	۳-۱۳
			۴۲۳	موارد کلی	۱-۳-۱۳

۴۷۶	ارگاناسم‌ها و سوبستراهای مطلوب برای تولید SCP	۱۲-۱۴	۴۲۳	بیوراکتور ستون جاب	۲-۳-۱۳
			۴۲۷	کموستات CSTR در برابر جریان پلاگ لوله‌ای	۴-۱۳
۴۷۷	سلولز	۱-۱۲-۱۴	۴۴۲	مدل دینامیکی و نرخ انتقال اکسیژن در لجن فعال	۵-۱۳
۴۷۸	نشاسته	۲-۱۲-۱۴	۴۵۷	تصفیه هوازی پساب	۶-۱۳
۴۷۸	آب‌پنیر (لاکتوز)	۳-۱۲-۱۴	۴۵۸	موازنه سوبسترا در سیستم پیوسته	۱-۶-۱۳
۴۷۸	گلوکز	۴-۱۲-۱۴	۴۶۰	موازنه جرم در سیستم ناپیوسته	۲-۶-۱۳
۴۷۸	آلکان‌ها	۵-۱۲-۱۴		خوراک‌دهی‌شونده	
۴۷۸	متان / متانول	۶-۱۲-۱۴	۴۶۳	فهرست دائم اختصارات	
۴۷۹	مزایا و معایب SCP	۱۳-۱۴	۴۶۴	مرا	
۴۸۰	منابع				

۱۵. سترون سازی

۴۸۴	مقدمه	۱-۱۵	۴۶۶	مقدمه	۱-۱۴
۴۸۴	کنترل آلودگی میکروبی با استفاده از عوامل فیزیکی	۲-۱۵	۴۶۷	نقش اکسیژن محلول در رشد SCP	۲-۱۴
۴۸۵	سرعت مرگ سلول‌های زنده	۳-۱۵	۴۶۷	تخمیر ناپیوسته و پیوسته به منظور تولید SCP	۳-۱۴
۴۸۶	سترون سازی ناپیوسته	۴-۱۵		روش‌های آنالیز به منظور اندازه‌گیری محتوای پروتئین مخمر نانوائی	۱-۳-۱۴
۴۸۷	سترون سازی پیوسته	۵-۱۵	۴۶۸	محیط کشت بذر	۲-۳-۱۴
۴۸۹	صفحات گرم	۶-۱۵	۴۶۸	کشت ناپیوسته به منظور تولید مخمر نانوائی	۴-۱۴
۴۹۰	سترون سازی دما بالا	۷-۱۵	۴۶۹	پروتئین بیومس میکروبی	۵-۱۴
۴۹۰	محیط کشت سترون شده برای میکروبیولوژی	۸-۱۵	۴۶۹	پیشینه	۶-۱۴
۴۹۶	سازمان‌دهی محیط کشت برای کشت‌های تدریجی	۱۰-۱۵	۴۶۹	روش‌های تولید	۷-۱۴
۴۹۶	سترون سازی محیط کشت باکتریایی	۲-۸-۱۵	۴۷۱	تهیه محیط کشت برای تولید SCP	۸-۱۴
۴۹۶	سترون سازی پتری دیش	۳-۸-۱۵	۴۷۲	روش‌های آنالیز	۹-۱۴
۴۹۶	مراحل سترون سازی در یک اتوکلاد برنامه‌ریزی شده	۴-۸-۱۵	۴۷۲	طرح واکنش کوماسی-پروتئین	۱-۹-۱۴
۴۹۷	توصیه‌های ایمنی برای کار با اتوکلاد	۵-۸-۱۵	۴۷۲	تهیه BSA استاندارد رقیق شده	۲-۹-۱۴
۴۹۸	سترون سازی با حرارت خشک	۹-۱۵	۴۷۲	اختلاط کوماسی به لو به همراه معرف تعیین پروتئین	۳-۹-۱۴
۴۹۸	سترون سازی با فیلتراسیون	۱۰-۱۵	۴۷۳	منحنی کالبراسیون استاندارد	۴-۹-۱۴
۴۹۸	سترون سازی مایکروویو	۱۱-۱۵	۴۷۳	منحنی کالبراسیون استاندارد برای نشاسته	۵-۹-۱۴
۴۹۹	سترون سازی اشعه الکترونی	۱۲-۱۵	۴۷۴	فرایندهای SCP	۱۰-۱۴
۴۹۹	سترون سازی شیمیایی	۱۳-۱۵	۴۷۵	ارزش غذایی SCP	۱۱-۱۴

۵۱۸	نتایج و بحث	۳-۴-۱۶	۴۹۹	سترون سازی در دمای پایین	۱۴-۱۵
۵۱۸	تخمیر سنتی پیوسته	۱-۳-۴-۱۶	۵۰۰	فهرست علائم	
۵۱۹	تخمیر پیوسته همراه با تراوش تبخیری	۲-۳-۴-۱۶	۵۰۰	منابع	
۵۲۰	عملکرد بیوراکتور غشایی با سیستم تراوش تبخیری پیوسته	۳-۳-۴-۱۶			
				۱۶. بیوراکتورهای غشایی	
۵۲۶	نتیجه گیری	۴-۴-۱۶	۵۰۳	مقدمه	۱-۱۶
۵۲۶	منابع		۵۰۵	بیوراکتورهای غشایی	۲-۱۶
۵۲۸	مطالعه موردی: غشای غیرآلی پوشش دهی شده زیر کونیا ۷-آلومینا روی پایه سرامیکی	۵-۱۶	۵۰۶	اشکال مختلف بیوراکتورهای غشایی	۱-۲-۱۶
۵۲۸	مقدمه	۱-۵-۱۶	۵۰۷	ترکیبات و مدل های مربوط به غشاء	۲-۲-۱۶
۵۳۰	مواد و روش ها	۲-۵-۱۶	۵۰۸	کاربردهای مختلف بیوراکتورهای غشایی	۳-۲-۱۶
۵۳۰	تهیه محلول PVA	۱-۲-۵-۱۶	۵۰۸	شیب حاصل از محل دفن زباله	۱-۳-۲-۱۶
۵۳۱	تهیه غشای آلومینایی که زیر کونیا بر آن پوشش دهی شده	۲-۲-۵-۱۶	۵۰۸	حذف مواد آلی (COD و BOD)	۱-۱-۳-۲-۱۶
۵۳۱	تهیه پایه سرامیکی متخلخل	۳-۲-۵-۱۶	۵۰۸	حذف آمونیاک	۲-۱-۳-۲-۱۶
۵۳۲	نتایج و بحث	۳-۵-۱۶	۵۰۹	حذف ریز ذرات آلوده کننده	۳-۱-۳-۲-۱۶
۵۳۶	نتیجه گیری	۴-۵-۱۶	۵۰۹	محصولات تخمیری (اسید لاکتیک)	۲-۳-۲-۱۶
۵۳۷	منابع		۵۰۹	تولید سوخت های بیولوژیکی	۳-۳-۲-۱۶
			۵۱۰	بیواتانول	۴-۳-۲-۱۶
			۵۱۰	تصفیه فاضلاب	۵-۳-۲-۱۶
			۵۱۱	رسوب گیری غشاء	۴-۲-۱۶
			۵۱۲	دسته بندی رسوب غشاء	۱-۴-۲-۱۶
			۵۱۲	کنترل رسوب روی غشاء	۲-۴-۲-۱۶
			۵۱۲	توسعه غشاء و بیوراکتور غشایی	۳-۱۶
			۵۱۳	منابع	
			۵۱۵	مطالعه موردی: تخمیر اتانول توسعه یافته در بیوراکتور غشایی پیوسته: تکنیک تراوش تبخیری	۴-۱۶
			۵۱۵	مقدمه	۱-۴-۱۶
			۵۱۶	آزمایش های تجربی	۲-۴-۱۶
			۵۱۶	محیط کشت و میکروارگانسیم	۱-۲-۴-۱۶
			۵۱۷	طراحی بیوراکتور غشایی و سیستم تراوش تبخیری	۲-۲-۴-۱۶
			۵۱۸	غشاء	۳-۲-۴-۱۶
			۵۱۸	آنالیز	۴-۲-۴-۱۶

۵۸۵	انتقال الکترون در پیل‌های سوختی میکروبی	۳-۳-۱۸	۵۵۰	سرعت حد تهنشینی ذرات	۳-۷-۱۷
۵۸۵	ترابری الکترون در پیل‌های سوختی میکروبی	۴-۳-۱۸	۵۵۱	درجه انبساط بستر	۴-۷-۱۷
۵۸۵	استفاده از واسطه‌ها برای انتقال الکترون	۵-۳-۱۸	۵۵۳	ماتریکس‌ها برای جذب روی بستر سیالی‌شده	۵-۷-۱۷
۵۸۵	استفاده از واسطه‌های مصنوعی	۱-۵-۳-۱۸	۵۵۴	طراحی ستون برای جذب در بستر سیالی‌شده	۶-۷-۱۷
۵۸۶	واسطه‌های تولیدشده توسط میکروب‌های خودتولیدکننده	۲-۵-۳-۱۸	۵۵۴	روش آزمایش	۸-۱۷
۵۸۷	چالش‌های پیل‌های سوختی میکروبی	۶-۳-۱۸	۵۵۵	یکپارچه‌سازی فرایند در بازیافت پروتئین	۹-۱۷
۵۸۸	محاسبات پیل‌های سوختی میکروبی	۷-۳-۱۸	۵۵۵	بستر سیالی‌شده/منبسط‌شده با واسطه و یکپارچه	۱-۹-۱۷
۵۸۹	تولید توان	۸-۳-۱۸	۵۵۷	فهرست بلایم و اختصارات	
۵۹۰	پتانسیل مازاد در پیل‌های سوختی میکروبی	۹-۳-۱۸	۵۵۷	منابع	
۵۹۰	بازده کولمبیک	۱۰-۳-۱۸	۵۶۱	مطالعه ردی: یکپارچه‌سازی فرایند تخریب و شکست مولی ر بستر جذب منبسط‌شده، برای بازیافت اثر هم‌های رزون سلولی ناپایدار	۱۱-۱۷
۵۹۱	عملکرد پیل‌های سوختی میکروبی	۱۱-۳-۱۸	۵۶۱	مقدمه	۱-۱۱-۱۷
۵۹۱	شرایط محفظه آندی	۱-۱۱-۳-۱۸	۵۶۲	مواد و روش‌ها	۲-۱۱-۱۷
۵۹۱	غشای تبادل پروتون	۲-۱۱-۳-۱۸	۵۶۲	مواد	۱-۲-۱۱-۱۷
۵۹۲	شرایط محفظه کاتدی	۳-۱۱-۳-۱۸	۵۶۳	تماس‌دهنده‌های جاذب	۲-۲-۱۱-۱۷
۵۹۳	کاربردهای پیل‌های سوختی میکروبی	۱۲-۳-۱۸	۵۶۳	خصوصیات انبساط بستر	۳-۲-۱۱-۱۷
۵۹۳	تولید الکتریسته	۱-۱۲-۳-۱۸	۵۶۳	جذب روی بستر سیالی‌شده	۴-۲-۱۱-۱۷
۵۹۴	تولید هیدروژن بیولوژیکی	۲-۱۲-۳-۱۸	۵۶۳	نتایج و بحث	۳-۱۱-۱۷
۵۹۵	بیوسنسور	۳-۱۲-۳-۱۸	۵۶۳	انبساط بستر	۱-۳-۱۱-۱۷
۵۹۵	تصفیه فاضلاب	۴-۱۲-۳-۱۸	۵۶۵	اختلاط فاز مایع (آزمایش‌های RTD)	۲-۳-۱۱-۱۷
۵۹۹	منابع		۵۶۷	مطالعات سینتیک تعادل	۳-۳-۱۱-۱۷
	۱۹. تصفیه بیولوژیکی		۵۶۸	جذب روی بستر سیالی‌شده	۴-۳-۱۱-۱۷
۶۰۶	مقدمه	۱-۱۹	۵۷۰	نتیجه‌گیری	۴-۱۱-۱۷
۶۰۶	حذف مواد آلی در رشد میکروبی بایدار	۲-۱۹	۵۷۰	منابع	
۶۰۷	متابولیسم میکروبی	۳-۱۹			
۶۰۹	سینتیک رشد میکروبی	۴-۱۹			
۶۱۰	نرخ رشد و سینتیک تصفیه	۵-۱۹			
۶۱۳	پیش‌نیازهای غذایی	۱-۵-۱۹			
۶۱۴	اثرات pH و دما	۲-۵-۱۹			
۶۱۵	مکانیزم‌های حذف در فرایندهای بیولوژیکی	۶-۱۹			
۶۱۷	اکسایش بیولوژیکی هوازی	۷-۱۹			
۶۲۰	هضم بی‌هوازی	۸-۱۹			
				۱۸. پیل سوختی میکروبی، منبع جدیدی برای تولید انرژی	
			۵۷۴	مقدمه	۱-۱۸
			۵۷۵	پیل‌های سوختی بیولوژیکی	۲-۱۸
			۵۷۷	پیل‌های سوختی میکروبی	۳-۱۸
			۵۷۹	ساختمان پیل‌های سوختی میکروبی	۱-۳-۱۸
			۵۸۲	کاتالیزورهای زیستی فعال	۲-۳-۱۸

۶۵۵	فرایندها و تکنولوژی‌ها	۳-۲۰	۶۲۳	حذف غیرزیستی	۹-۱۹
۶۵۵	بیواتانول	۱-۳-۲۰	۶۲۳	جذب سطحی	۱-۹-۱۹
۶۵۸	بیویوتانول	۲-۳-۲۰	۶۲۵	فرارسازی	۱۰-۱۹
۶۵۹	بیودیزل	۳-۳-۲۰	۶۲۶	نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی بیولوژیکی	۱۱-۱۹
۶۶۶	بیوهیدروژن	۴-۳-۲۰	۶۳۲	فرایندهای تصفیه بیولوژیکی: رشد معلق و چسبیده	۱۲-۱۹
۶۶۷	بیوگاز و به یومتان	۵-۳-۲۰			
۶۶۸	ادغام و یکپارچه‌سازی	۴-۲۰	۶۳۳	سیتیک فرایندهای رشد معلق و چسبیده	۱-۱۲-۱۹
۶۶۸	یکپارچه‌سازی واکنش-واکنش	۱-۴-۲۰	۶۳۳	فرایندهای رشد معلق	۲-۱۲-۱۹
۶۶۸	یکپارچه‌سازی واکنش-جداسازی	۲-۴-۲۰	۶۳۵	زمان ماند لجن	۳-۱۲-۱۹
۶۶۹	یکپارچه‌سازی جداسازی-جداسازی	۳-۴-۲۰	۶۳۶	غلظت بیومس در سستم	۴-۱۲-۱۹
۶۶۹	یکپارچه‌سازی انرژی	۴-۴-۲۰	۶۳۷	نسبت خوراک به میکروارگانیسم	۵-۱۲-۱۹
۶۶۹	چشم‌انداز اقتصادی	۵-۲۰	۶۳۷	غلظت سوبسترا در جریان خروشی	۶-۱۲-۱۹
۶۷۰	منابع		۶۳۸	نیازهای اکسیرنی	۷-۱۲-۱۹
			۶۴۲	منابع	

۲۰. تولید سوخت بیولوژیکی

۶۴۴	تولید سوخت بیولوژیکی و سناریوهای جهانی	۱-۲۰
۶۴۴	زمینه تاریخی	۱-۱-۲۰
۶۴۵	سناریوهای جهانی-عوامل و اثرات تولید سوخت‌های زیستی	۲-۱-۲۰
۶۴۶	مواد اولیه لازم برای تولید سوخت‌های فسیلی	۲-۲۰
۶۴۶	مواد اولیه برای تولید نسل اول سوخت‌های بیولوژیکی	۱-۲-۲۰
۶۴۷	منابع تولید بیوالکل	۱-۱-۲-۲۰
۶۴۷	منابع تولید بیودیزل	۲-۱-۲-۲۰
۶۴۷	مواد اولیه برای تولید نسل دوم سوخت‌های بیولوژیکی	۲-۲-۲۰
۶۴۸	منابع تولید بیوالکل و بیوگاز	۱-۲-۲-۲۰
۶۵۳	منابع تولید بیودیزل	۲-۲-۲-۲۰
۶۵۳	مواد اولیه برای تولید نسل سوم سوخت‌های بیولوژیکی	۳-۲-۲۰
۶۵۳	منابع تولید بیوالکل	۱-۳-۲-۲۰
۶۵۴	منابع تولید بیودیزل	۲-۳-۲-۲۰