

۲۰۱۹۹۴۲

غشاهای پلیمری و فرایندهای غشائی

مؤلف:

دکتر احمد رضا رئیسی

(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

www.ketab.ir

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

سرشناسه	رئیس، احمد رضا، ۱۳۵۷-
عنوان و نام پدیدآور	غشاهای پلیمری و فرایندهای غشایی/مؤلف احمد رضا رئیس.
مشخصات نشر	تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	۳۳۶ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	ISBN: 978-964-210-290-7 ریال: ۲۷۰۰۰۰
وضعیت فهرست نویسی	فیفا
یادداشت	واژه نامه.
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	جداسازی غشایی -- Membrane separation
شناسه افزوده	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر. انتشارات
رده بندی کنگره	TP۲۴۸/۲۵/۱۹ غ ۵ ۱۳۹۷
رده بندی دیویی	۶۶۰/۲۸۴۲
شماره کتابخانه ای	۵۴۷۵۱۴۷

این کتاب در حاشیه مورخ ۹۷/۰۹/۱۹ شورای نشر کتاب
جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر پس از طی مراحل
ارزیابی علمی، مجوز چاپ و انتشار، دریافت نموده است.



غشاهای پلیمری و فرایندهای غشایی

مؤلف: دکتر احمد رضا رئیس

ناشر	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر
مدیر مسؤول	دکتر مهدی وره ای
نوبت چاپ	اول
سال چاپ	۱۳۹۸
قطع	وزیری
شمارگان	۱۰۰۰ نسخه
قیمت	۲۷۰۰۰۰ ریال
طراح	آرزو انصاری
چاپخانه	اصیل



ISBN: 978-964-210-290-7

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۱۰-۲۹۰-۷

نمایشگاه و فروشگاه دائمی: تهران، خیابان حافظ، روبروی خیابان سمیه، جنب دانشگاه صنعتی امیرکبیر،
انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر تلفن: ۹۸۱ ۹۵۰ ۹۸۲ ۹۸۲+ تلفکس: ۹۸۲ ۹۵۰ ۹۸۲+
www.jdamirkabir.ac.ir
فروشگاه اینترنتی:

پیشگفتار

رسول خدا (ص) فرمودند:

مَنْ عَلَّمَنِي حَرْفًا فَقَدْ سَيَّرَنِي عَبْدًا

امروزه فرایندهای جداسازی غشائی کاربردهای زیادی در صنایع مختلف نظیر صنایع شیمیایی، پتروشیمی، گاز، غذایی، دارویی و پزشکی دارند. محصولات متعددی از کاربردهای صنعتی فرایندهای غشائی مانند تصفیه آب و جداسازی انواع گازها گرفته تا کاربردهای غذایی و پزشکی مانند فراوری آبمیوه‌ها و مواد لبنی و سیستم‌های رعیش دارو در بدن انسان، به دست می‌آیند. در بیشتر موارد فرایندهای غشائی، سریع‌تر، کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر از روش‌های جداسازی معمول می‌باشند. در یک فرایند غشائی، سیالی با دو جزء یا بیشتر بر اساس برعکس‌رگر گرفته که غشاء اجازه می‌دهد اجزاء خاصی از سیال راحت‌تر از دیگر اجزاء از آن عبور کنند و جداسازی به‌طور نسبی اتفاق می‌افتد. ماهیت فیزیکی و شیمیایی غشاء، روی جداسازی تأثیر گذار است. از در دسته مواد پلیمری و معدنی برای ساخت غشاء در فرایندهای غشائی مختلف استفاده می‌شود. در این بین، مواد پلیمری دلیل ویژگی‌های مطلوبی مانند انعطاف‌پذیری و قابلیت فراوری بالا و قیمت پایین بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

نظر به اهمیت فرایندهای غشائی، در حال حاضر تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ساخت غشاء و اصلاح و بهبود عملکرد آن در جهان و کشور عزیزمان در حال انجام می‌باشد. توجه به فرایندهای غشائی و انجام تحقیقات در زمینه غشاء و فرایندهای غشائی در کشور ما در سال‌های اخیر رونق رو به رشدی داشته است و تحقیقات زیادی در دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های مختلف در قالب پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی و پروژه‌ها و طرح‌های تحقیقاتی در حال انجام می‌باشد. هر چند در سال‌های اخیر کتاب‌هایی در زمینه معرفی و اصول فرایندهای غشائی ترجمه یا به ندرت تألیف شده است، اما خلاء کتابی در زمینه تئوری و اصول تجربی روش‌های ساخت غشاهای پلیمری، کاملاً احساس می‌شود. این مساله اینجانب را بر آن داشت تا کتابی در زمینه غشاهای پلیمری و فرایندهای غشائی تألیف نمایم. کتاب حاضر مشتمل بر شش فصل می‌باشد، که فصل اول به تعریف غشاء، دسته‌بندی‌های مختلف غشاء و مدول‌های غشائی می‌پردازد.

در فصل دوم به اصول و کاربردهای فرایندهای مختلف غشائی پرداخته می‌شود. در فصل سوم مقدمه‌ای راجع به پلیمرها و مشخصات آنها و همچنین معرفی پلیمرهای پرکاربرد در ساخت غشاء، آورده می‌شود. فصل چهارم به معرفی روش‌های ساخت غشاهای پلیمری اختصاص دارد و در فصل پنجم به اصول و مکانیسم تشکیل غشاء با روش وارونگی فاز به عنوان یکی از اصلی‌ترین روش‌های ساخت غشاهای پلیمری پرداخته می‌شود. نهایتاً، فصل ششم به روش‌های ساخت غشاهای ترکیبی و ماتریس آمیخته می‌پردازد.

خدا را سپاس می‌گوییم که توانستم این کتاب را بعد از مدت‌ها تلاش و مطالعه به اتمام برسانم. بخش عمده‌ای از مطالب ارائه شده در این کتاب، براساس آموخته‌های شخصی، تجربیات، کارهای تحقیقاتی و مشاهدات عینی اینجانب در آزمایشگاه فرایندهای غشائی دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. در کنار این، از مثال علمی معتبر نیز برای تکمیل مطالب کتاب استفاده شده است. در تالیف این کتاب کوشش شده است ضمن رعایت اختصار، نکات کلیدی و بنیادی در هر زمینه شرح داده شود. این کتاب برای استفاده دانشجویان مقطع مختلف رشته‌های مهندسی شیمی و مهندسی پلیمر و متخصصان علاقه‌مند به فعالیت در زمینه غشاهای فرایند شایسته‌ای شایسته تالیف شده است و می‌تواند به عنوان مرجع درس‌های فرایندهای جداسازی غشائی و روش جداسازی خاص مورد استفاده قرار گیرد.

علی‌رغم دقت زیاد نویسنده، احتمال وجود اشکالاتی در متن وجود دارد. از خوانندگان عزیز درخواست می‌شود نقطه نظرات اصلاحی خود را از طریق پست الکترونیکی raisia@aut.ac.ir به اطلاع نویسنده برسانند تا در چاپ‌های بعدی این نواقص رفع گردد. در پایان بر خود لازم می‌دانم از تمام عزیزانی که اینجانب را در تهیه این کتاب یاری رساندند صمیمانه سپاسگزار می‌نمایم.

احمد رضا رئیسی

عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

فهرست

فصل ۱: مقدمه‌ای بر غشاها ۱۳

۱-۱- مقدمه ۱۳

۱-۲- خریف غشاء ۱۶

۱-۳- فرایندهای فرایندی ۱۷

۱-۴- دسته بندی غشاء ۱۸

۱-۴-۱- دسته بندی غشاء بر اساس جنس ۱۸

۱-۴-۲- دسته بندی غشاء بر اساس ساختار ۲۷

۱-۴-۳- دسته بندی غشاء بر اساس نوع ذاتی ۳۷

۱-۵- مدول های غشائی ۳۸

۱-۵-۱- مدول صفحه و قاب ۳۹

۱-۵-۲- مدول ماریچی ۴۱

۱-۵-۳- مدول لوله ای ۴۳

۱-۵-۴- مدول موئینه ای ۴۵

۱-۵-۵- مدول الیاف توخالی ۴۶

۱-۵-۶- مقایسه مدول ها ۴۸

۱-۶- مراجع ۵۰

فصل ۲: فرایندهای غشائی ۵۳

۲-۱- مقدمه ۵۳

۲-۲- میکرو فیلتراسیون ۵۸

- ۶۱..... ۳-۲- اولترافیلتراسیون
- ۶۳..... ۴-۲- نانوفیلتراسیون
- ۶۴..... ۵-۲- اسمز معکوس
- ۶۷..... ۶-۲- اسمز مستقیم
- ۷۰..... ۷-۲- دیالیز
- ۷۵..... ۸-۲- الکترو دیالیز
- ۷۷..... ۲- - جداسازی گاز
- ۸۰..... ۱۰-۲- تراوش، تبخیری
- ۸۴..... ۱۱-۲- تراش بخار
- ۸۵..... ۱۲-۲- تقطیر غشائی
- ۹۰..... ۱۳-۲- تقطیر اسمزی
- ۹۳..... ۱۴-۲- راکتورهای غشائی
- ۹۶..... ۱۵-۲- بیوراکتورهای غشائی
- ۹۹..... ۱۶-۲- مراجع

فصل ۳: غشاهای پلیمری ۱۰۱

- ۱۰۱..... ۱-۳- مقدمه
- ۱۰۱..... ۲-۳- پلیمرها
- ۱۰۲..... ۱-۲-۳- انواع پلیمریزاسیون
- ۱۰۳..... ۲-۲-۳- هموپلیمر و کوپلیمر
- ۱۰۵..... ۳-۲-۳- ساختار پلیمرها
- ۱۰۵..... ۴-۲-۳- آرایش زنجیرها
- ۱۰۷..... ۵-۲-۳- ایزومر فضایی

۱۰۹.....	۶-۲-۳- رفتار حرارتی پلیمرها.....
۱۱۱.....	۷-۲-۳- حالت پلیمر.....
۱۱۵.....	۸-۲-۳- انعطاف پذیری پلیمر.....
۱۱۷.....	۹-۲-۳- آمیزه های پلیمری.....
۱۱۷.....	۳-۳- خواص پلیمرها.....
۱۱۸.....	۱-۳-۳- پایداری حرارتی.....
۱۲۰.....	۲-۳-۳- پایداری شیمیایی.....
۱۲۲.....	۳-۱-۳- پایداری مکانیکی.....
۱۲۳.....	۴-۳-۳- شوری سطح.....
۱۲۵.....	۵-۳-۳- قابلیت تراورس.....
۱۲۵.....	۴-۳- پلیمرهای پرکاربرد.....
۱۲۶.....	۱-۴-۳- سلولز.....
۱۲۸.....	۲-۴-۳- پلی وینیل الکل.....
۱۲۹.....	۳-۴-۳- پلی وینیل استات.....
۱۳۰.....	۴-۴-۳- پلی سولفون.....
۱۳۱.....	۵-۴-۳- پلی اتر سولفون.....
۱۳۱.....	۶-۴-۳- پلی آکریلونیتریل.....
۱۳۲.....	۷-۴-۳- پلی وینیلیدن فلوئورید.....
۱۳۲.....	۸-۴-۳- پلی تترافلوئورو اتیلن.....
۱۳۳.....	۹-۴-۳- پلی وینیل کلرید.....
۱۳۴.....	۱۰-۴-۳- پلی کریئات.....
۱۳۵.....	۱۱-۴-۳- پلی پروپیلن.....
۱۳۶.....	۱۲-۴-۳- پلی آمید.....

۱۳۷	 پلی ایمید ۳-۴-۱۳
۱۳۸	 پلی اترایمید ۳-۴-۱۴
۱۳۹	 پلی اتراکتون ۳-۴-۱۵
۱۳۹	 پلی استایرن ۳-۴-۱۶
۱۴۰	 پلی سیلوکسان ۳-۴-۱۷
۱۴۲	 پلی اتریلوک آمید ۳-۴-۱۸
۱۴۲	 پلی اورتان ۳-۴-۱۹
۱۴۳	 پلی استر ۱-۴-۲۰
۱۴۴	 ۳-۵-مراجع

فصل ۴: روش های ساخت غشاهای پلیمری ۱۴۵

۱۴۵	 ۴-۱- مقدمه
۱۴۶	 ۴-۲- روش کشش
۱۴۸	 ۴-۳- روش پخت
۱۵۰	 ۴-۴- روش حک اثر
۱۵۱	 ۴-۵- روش شستشوی قالب
۱۵۳	 ۴-۶- روش اسفنجش
۱۵۵	 ۴-۷- روش وارونگی فاز
۱۵۷	 ۴-۷-۱- اصول روش وارونگی فاز
۱۵۹	 ۴-۷-۲- رسوب گذاری با تبخیر حلال
۱۶۰	 ۴-۷-۳- رسوب گذاری با تبخیر کنترل شده
۱۶۴	 ۴-۷-۴- رسوب گذاری حرارتی
۱۶۸	 ۴-۷-۵- رسوب گذاری با استفاده از فاز بخار
۱۷۰	 ۴-۷-۶- رسوب گذاری با غوطه ورسازی

۱۷۴	۸-۴- روش الکتروریسی
۱۷۶	۴-۸-۱- اصول روش الکتروریسی
۱۸۰	۴-۸-۲- دستگاه‌های الکتروریسی
۱۸۲	۴-۸-۳- پارامترهای موثر در الکتروریسی
۱۹۴	۴-۹- مراجع
۱۹۷	فصل ۵: مکانیسم تشکیل غشاء در روش وارونگی فاز
۱۹۷	۵-۱- مقدمه
۱۹۷	۵-۲- ترمودینامیک فرایند
۲۱۰	۵-۳- مکانیسم روش رسوب‌گذاری حرارتی
۲۱۱	۵-۳-۱- جدایش مایع-مایع
۲۱۴	۵-۳-۲- جدایش جامد-مایع
۲۱۶	۵-۳-۳- ژله‌ای شدن
۲۱۷	۵-۳-۴- شیشه‌ای شدن
۲۱۸	۵-۴- مکانیسم روش رسوب‌گذاری با غوطه‌ورسازی
۲۲۲	۵-۴-۱- جدایش مایع-مایع
۲۲۳	۵-۴-۲- ترکیب جدایش مایع-مایع و پدیده شیشه‌ای شدن
۲۲۵	۵-۴-۳- ترکیب جدایش مایع-مایع و جدایش جامد-مایع
۲۲۶	۵-۴-۴- انتقال جرم در روش رسوب‌گذاری با غوطه‌ورسازی
۲۳۲	۵-۴-۵- مورفولوژی غشاء
۲۴۱	۵-۴-۶- تاثیر عوامل مختلف بر ساختار غشاء
۲۵۶	۵-۵- مکانیسم روش رسوب‌گذاری فاز بخار
۲۵۸	۵-۵-۱- تاثیر متغیرهای ساخت بر ساختار غشاء
۲۶۲	۵-۶- مراجع

فصل ۶: روش‌های ساخت غشاهای ترکیبی و ماتریس آمیخته ۲۶۵

۱-۶- مقدمه ۲۶۵

۲-۶- روش‌های ساخت غشاهای ترکیبی ۲۶۵

۱-۲-۶- روش قالب‌گیری روی آب ۲۶۶

۲-۲-۶- روش لایه نشانی با غوطه‌وری ۲۶۶

۳-۲-۶- روش لایه نشانی پاششی ۲۶۸

۴-۲-۶- روش لایه نشانی چرخشی ۲۶۹

۵-۲-۶- پلیمریزاسیون بین سطحی ۲۶۹

۶-۲-۶- پلیمریزاسیون پلازما ۲۸۰

۷-۲-۶- رسوبدهی شیمیایی بخار ۲۸۱

۸-۲-۶- ساخت غشاهای نازک کامپوزیتی فیلم نازک ۲۸۲

۳-۶- ساخت غشاهای ماتریس آمیخته ۲۸۳

۱-۳-۶- انتخاب مواد سازنده ۲۸۴

۲-۳-۶- روش مخلوط کردن مستقیم ۲۹۶

۳-۳-۶- روش پلیمریزاسیون درجا ۲۹۸

۴-۳-۶- روش سل-ژل ۲۹۸

۵-۳-۶- روش تزریقی ۲۹۹

۶-۳-۶- عوامل موثر بر غشاهای ماتریس آمیخته ۳۰۰

۷-۳-۶- تاثیر ذرات پرکن بر خواص و عملکرد غشاء ماتریس آمیخته ۳۰۷

۴-۶- مراجع ۳۱۱

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۳۱۳

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۳۲۵