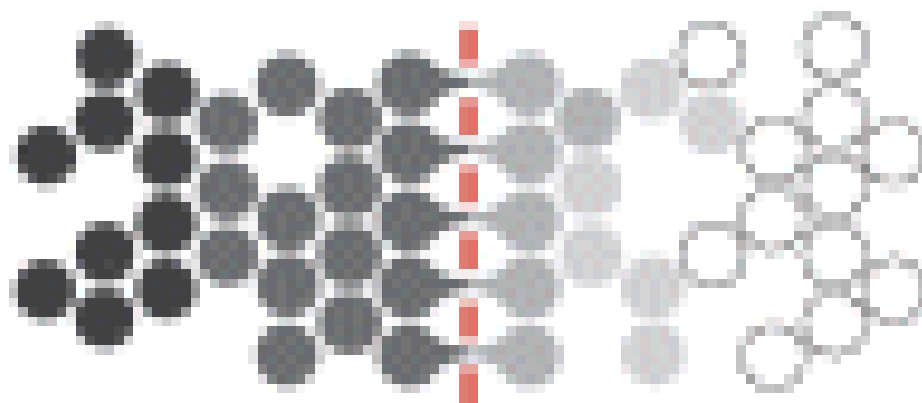


مقدمه‌ای بر غشا و فرایندهای غشایی

تألیف و گردآوری: دکتر مرتضی صادقی

مهندس علیرضا وفائی منش



مقدمه مولف

امروزه فناوری غشایی به دلیل برخورداری از مزایای بسیار در مقایسه با دیگر فناوری‌های جداسازی، جایگاه ویژه‌ای در صنایع مختلف پیدا نموده است. کاربرد روزافزون این فناوری در صنایع مختلف بالاخص صنایع نفت، گاز و پتروشیمی دلیلی بر این مدعاست. با این که این فناوری در مقایسه با دیگر فناوری‌ها از عمر کمتری برخوردار است، توانسته است حجم قابل توجهی از بازار را به خود اختصاص دهد و هر ساله با تکیه بر پیشرفت‌هایی که در توسعه و بهبود این فناوری انجام می‌پذیرد، سهم خود را در بازار مصرف افزایش دهد.

توسعه فناوری غشایی مرهون تلاش محققان دانشگاهی و صنعتی می‌باشد که در عرصه‌های مختلف کاربرد این فناوری در صنعت و بخش‌های زیر مجموعه آن نظیر طراحی و ساخت ماژول غشایی و بهینه‌سازی فرایند در حال تحقیق و پژوهش می‌باشند. محققان ایرانی نیز در دانشگاه‌های کشور از دو دهه پیش تاکنون تلاش‌های قابل توجهی در این حوزه انجام داده‌اند. حاصل این تلاش از طرفی باعث تشکیل و توسعه گروه‌های علمی در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و از طرفی افزایش کاربرد این فناوری نوپا و پیشرفته در صنعت کشور شده است.

توجه و علاقه دانشجویان و صنعتگران به آشنایی با فناوری‌های پیشرفته از جمله غشا، ما را بر آن داشت تا به جمع‌آوری و تدوین مجموعه‌ای هر چند مختصر اما جامع در زمینه فرایندهای غشایی و کاربردهای آن همت گماریم. کتاب حاضر برگرفته از مطالب ده عنوان کتاب و مرجع معتبر چاپ شده در سطح بین‌المللی می‌باشد. علاوه بر این با استفاده از مطالب برخی مقالات علمی، بحث کامل‌تری از هر موضوع ارائه گردیده است.

هدف این مجموعه ارائه یک تعریف و توصیف کامل از تمام فرایندهای غشایی که به صورت صنعتی مورد استفاده قرار گرفته و یا مورد توجه محققان برای توسعه در صنعت بوده است، می باشد. امید است که این حرکت ناچیز در پیشگاه پروردگار بی همتا مقبول افتد و همچنین در آشنائی دانشجویان و صنعتگران علاقمند به این حوزه مفید و مؤثر واقع گردد.

چنانچه تمام افعال بشری از عیب و نقص عاری نمی باشد، صمیمانه خواستار بذل توجه و ارائه نقطه نظرات ارزشمند خوانندگان محترم این اثر می باشیم.

جا دارد در انتها از مهندس سروش سلطانی و مهندس مقداد زیارتی که با دانسته ها و زحماتشان توانستند ما را یاری کنند، تقدیر و تشکر نماییم. هر چند که هیچ گونه نمی توان از زحمات بی دریغ این دو عزیز قدردانی کرد.

با تشکر

مرتضی صادقی

علیرضا وفائی منش

بخش اول : معرفی و شناسایی غشا

فصل اول : معرفی فناوری غشا

۱-۱- مقدمه	۳
۲-۱- تعریف غشا	۴
۳-۱- تاریخچه	۵
۴-۱- نیروی محرکه در فرایندهای غشایی	۹
۵-۱- انواع غشاها	۱۱
۱-۵-۱- غشاهای متقارن	۱۱
۲-۵-۱- غشاهای نامتقارن	۱۴
۳-۵-۱- غشاهای سرامیکی، فلزی و مایع	۱۵
۴-۵-۱- غشاهای مرکب	۱۵
۶-۱- فرایندهای غشایی	۱۵
۷-۱- غشاهای بنیادی	۲۶
۸-۱- انتخاب جنس غشا	۲۷

۲۹	..... ۹-۱- مازول‌های غشایی
۳۰	..... ۱-۹-۱- مازول قاب و صفحه‌ای
۳۳	..... ۲-۹-۱- مازول ماریچی
۳۶	..... ۳-۹-۱- مازول الیاف توخالی
۳۸	..... ۴-۹-۱- مازول لوله‌ای
۴۰	..... ۱۰-۱- انتخاب نوع مازول
۴۱	..... ۱۱-۱- آینده غشا
۴۱	..... ۱-۱۱-۱- گزینش پذیری
۴۲	..... ۲-۱۱-۱- میزان تولید
۴۳	..... ۳-۱۱-۱- قابلیت اطمینان عملیاتی
۴۴	..... ۱۲-۱- منابع و مآخذ

فصل دوم : روش‌های شناسایی غشا

۴۶	..... ۱-۲- مقدمه
۴۷	..... ۲-۲- شناسایی غشاهای متخلخل
۴۷	..... ۱-۲-۲- میکروسکوپ الکترونی
۵۰	..... ۲-۲-۲- میکروسکوپ اتمی
۵۱	..... ۳-۲-۲- تست غربال‌گری

۵۳	..... تست نقطه جباب ۴-۲-۲
۵۶	..... (روش خشک یا مرطوب) ۵-۲-۲
۵۸	..... تست نفوذ جیوه ۶-۲-۲
۵۹	..... روش نفوذ تراوایی ۷-۲-۲
۶۱	..... جذب و دفع گاز ۸-۲-۲
۶۴	..... تخلخل سنجی حرارتی ۹-۲-۲
۶۵	..... تخلخل سنجی تراوشی ۱۰-۲-۲
۶۸	..... جابه‌جایی مایع ۱۱-۲-۲
۶۹	..... غشاهای غیرمتخلخل ۳-۲
۷۰	..... روش‌های عبوردهی ۱-۳-۲
۷۳	..... پارامترهای فیزیکی ۲-۳-۲
۷۵	..... روش‌های آنالیز سطح ۳-۳-۲
۷۸	..... منابع و مآخذ ۴-۲

بخش دوم : انواع غشاها

فصل سوم : غشاهای سرامیکی

۸۱ مقدمه ۱-۳
----	-----------------

۸۳	۲-۳- تاریخچه
۸۸	۳-۳- روش‌های ساخت
۸۹	۱-۳-۳- نگهدارنده‌ها
۸۹	۲-۳-۳- روش سل-ژل
۹۱	۳-۳-۳- ریخته‌گری دوغابی
۹۲	۴-۳- مازول‌ها
۹۶	۵-۳- کاربردها
۹۶	۱-۵-۳- صنایع نفت و پتروشیمی
۱۰۵	۲-۵-۳- صنایع غذایی
۱۰۸	۳-۵-۳- صنایع دارویی و بیوتکنولوژی
۱۱۰	۶-۳- منابع و مآخذ

فصل چهارم : غشاهای فلزی

۱۱۲	۱-۴- مقدمه
۱۱۳	۲-۴- تاریخچه
۱۱۴	۳-۴- تئوری
۱۱۶	۴-۴- جنس غشا
۱۱۷	۵-۴- روش‌های ساخت

- ۱۱۷..... ۱-۵-۴- ریخته‌گری- غلتک کاری
- ۱۱۸..... ۲-۵-۴- رسوب‌گیری بخار
- ۱۲۰..... ۳-۵-۴- آب کاری
- ۱۲۱..... ۴-۵-۴- پوشش‌دهی غیرالکتریکی
- ۱۲۲..... ۶-۴- ملاحظات اقتصادی و شرایط عملیاتی
- ۱۲۴..... ۷-۴- آینده غشا
- ۱۲۵..... ۸-۴- منابع و مآخذ

فصل پنجم : غشاهای پلیمری

- ۱۲۷..... ۱-۵-۱- مقدمه
- ۱۲۷..... ۲-۵-۲- تاریخچه
- ۱۲۸..... ۳-۵-۳- ساختار غشا
- ۱۳۰..... ۴-۵-۴- جنس غشا
- ۱۳۳..... ۵-۵-۵- روش‌های ساخت
- ۱۳۳..... ۱-۵-۵-۱- روش‌های ساخت غشاهای متخلخل
- ۱۳۳..... ۱-۵-۵-۱-۱- کلوخه‌سازی
- ۱۳۴..... ۲-۵-۵-۱-۲- شکل‌دادن انبساطی
- ۱۳۵..... ۳-۵-۵-۱-۳- حک کردن با اسید یا قلیا

۱۳۵	..... جدایش فازی ۴-۱-۵-۵
۱۴۵	..... روش‌های ساخت غشاهای چگال ۲-۵-۵
۱۴۵	..... روش ساخت غشاهای پوسته‌پیوسته ۱-۲-۵-۵
۱۴۸	..... روش ساخت غشاهای مرکب ۲-۲-۵-۵
۱۵۳	..... کاربردها ۶-۵
۱۵۴	..... میکروفیلتراسیون ۱-۶-۵
۱۵۵	..... اولترافیلتراسیون ۲-۶-۵
۱۵۵	..... نانوفیلتراسیون ۳-۶-۵
۱۵۶	..... جداسازی گازها ۴-۶-۵
۱۵۷	..... اسمز معکوس ۵-۶-۵
۱۵۸	..... دیالیز ۶-۶-۵
۱۵۸	..... تراوش تبخیری ۷-۶-۵
۱۶۰	..... منابع و مآخذ ۷-۵

بخش سوم : فیلتراسیون غشایی

فصل ششم : میکروفیلتراسیون

۱۷۹ مقدمه ۱-۶
-----	-----------------

- ۱۸۰ ۲-۶- تاریخچه
- ۱۸۲ ۳-۶- تئوری
- ۱۸۸ ۱-۳-۶- تئوری میکروفیلتراسیون انتها بسته
- ۱۸۸ ۱-۱-۳-۶- قانون دارسی
- ۱۹۳ ۲-۱-۳-۶- میکروفیلتراسیون انتها بسته با شار ثابت
- ۱۹۴ ۳-۱-۳-۶- میکروفیلتراسیون انتها بسته با افت فشار ثابت
- ۱۹۵ ۲-۳-۶- تئوری میکروفیلتراسیون متقاطع
- ۱۹۵ ۱-۲-۳-۶- مدل پلاریزاسیون غلظتی
- ۱۹۸ ۲-۲-۳-۶- مدل انتگرال
- ۲۰۰ ۴-۶- جنس غشا
- ۲۰۰ ۱-۴-۶- پلی سولفون
- ۲۰۱ ۲-۴-۶- پلی وینیلیدن فلوئورید
- ۲۰۳ ۵-۶- کاربردها
- ۲۰۴ ۱-۵-۶- صنایع دارویی
- ۲۰۵ ۲-۵-۶- صنایع الکترونیک
- ۲۰۵ ۳-۵-۶- تصفیه آب آشامیدنی
- ۲۰۶ ۴-۵-۶- بیوراکتورهای غشایی
- ۲۰۷ ۱-۴-۵-۶- انواع بیوراکتورهای غشایی

۲۰۹ ۲-۴-۵-۶- تصفیه پساب صنعتی

۲۱۴ ۶-۶- منابع و مآخذ

فصل هفتم : اولترافیلتراسیون

۲۱۶ ۱-۷- مقدمه

۲۱۷ ۲-۷- تاریخچه

۲۱۹ ۳-۷- تئوری

۲۱۹ ۱-۳-۷- مدل‌های پایه

۲۲۱ ۲-۳-۷- مدل جریان حفره- نیروی سطحی

۲۲۳ ۳-۳-۷- مدل‌های انتقال به تأخیر افتاده

۲۲۵ ۴-۷- جنس غشا

۲۲۶ ۱-۴-۷- غشاهای پلیمری

۲۲۸ ۲-۴-۷- غشاهای غیرآلی

۲۲۹ ۵-۷- کاربردها

۲۳۱ ۱-۵-۷- رنگ کاری به کمک جریان الکتریکی

۲۳۲ ۲-۵-۷- تصفیه پساب روغنی

۲۳۳ ۳-۵-۷- صنایع غذایی

۲۳۶ ۴-۵-۷- صنعت بیوتکنولوژی

۶-۷- منابع و مآخذ ۲۳۷

فصل هشتم : نانوفیلتراسیون

۱-۸- مقدمه ۲۳۹

۲-۸- تاریخچه ۲۴۱

۳-۸- جنس غشا ۲۴۲

۱-۳-۸- غشاهای نامتقارن از جنس استات سلولز ۲۴۲

۲-۳-۸- غشاهای پلی الکترولیت ۲۴۴

۳-۳-۸- غشاهای پلی آمیدی ۲۴۵

۴-۸- کاربردها ۲۴۶

۱-۴-۸- تصفیه آب ۲۴۶

۲-۴-۸- صنایع غذایی ۲۴۸

۳-۴-۸- صنایع شیمیایی ۲۵۰

۴-۴-۸- صنایع پتروشیمی ۲۵۴

۵-۸- منابع و مآخذ ۲۶۱

فصل نهم : اسمز معکوس

- ۲۶۳ ۱-۹- مقدمه
- ۲۶۴ ۲-۹- تاریخچه
- ۲۶۶ ۳-۹- تئوری
- ۲۶۹ ۱-۳-۹- مدل انحلال- نفوذ
- ۲۷۲ ۲-۳-۹- مدل نقص- انحلال- نفوذ
- ۲۷۳ ۳-۳-۹- مدل جریان مویین- جذب جزئی
- ۲۷۴ ۴-۳-۹- مدل جریان حفره- نیروی سطحی
- ۲۷۶ ۵-۳-۹- مدل ترمودینامیکی برگشت ناپذیر
- ۲۷۷ ۶-۳-۹- مدل تعادلی دونان
- ۲۷۸ ۷-۳-۹- مدل نرسنت- پلانک اصلاح شده
- ۲۷۹ ۴-۹- جنس غشا
- ۲۸۱ ۱-۴-۹- غشاهای سلولزی
- ۲۸۳ ۲-۴-۹- غشاهای پلی آمیدی
- ۲۸۵ ۵-۹- کنترل آلودگی غشا
- ۲۸۵ ۱-۵-۹- رسوب گرفتگی
- ۲۸۷ ۲-۵-۹- لجن و گل ولای
- ۲۸۹ ۳-۵-۹- آلودگی های بیولوژیکی

۲۹۰	..... ۴-۵-۹- آلودگی مواد آلی
۲۹۱	..... ۶-۹- کاربردها
۲۹۳	..... ۱-۶-۹- شیرین سازی آب های شور
۲۹۴	..... ۲-۶-۹- شیرین سازی آب دریا
۲۹۵	..... ۳-۶-۹- تولید آب فوق خالص
۲۹۷	..... ۴-۶-۹- تصفیه پساب
۲۹۹	..... ۵-۶-۹- جداسازی حلال های آلی
۳۰۱	..... ۷-۹- منابع و مآخذ

بخش چهارم : فرایندهای گازی و بخارات آلی

فصل دهم : جداسازی گازها

۳۰۴	..... ۱-۱۰- مقدمه
۳۰۵	..... ۲-۱۰- تاریخچه
۳۰۸	..... ۳-۱۰- تئوری
۳۱۱	..... ۱-۳-۱۰- غشاهای متخلخل
۳۱۲	..... ۱-۱-۳-۱۰- مکانیسم جریان ناسون
۳۱۵	..... ۲-۳-۱۰- غشاهای غیرمتخلخل (چگال)

- ۳۲۰ انتقال از میان غشاهای پلیمری ۱-۲-۳-۱۰
- ۳۲۱ انتقال از میان غشاهای لاستیکی ۲-۲-۳-۱۰
- ۳۲۳ انتقال از میان غشاهای شیشه‌ای ۳-۲-۳-۱۰
- ۳۳۴ جنس غشا ۴-۱۰
- ۳۳۵ مواد پلیمری ۱-۴-۱۰
- ۳۳۹ پلیمرهای شامل حلقه بنزنی در زنجیره اصلی ۱-۱-۴-۱۰
- ۳۶۳ پلی فسفازین ۲-۱-۴-۱۰
- ۳۶۵ پلی دی متیل سیلوکسان ۳-۱-۴-۱۰
- ۳۶۷ پلی بنزی مایدازول ۴-۱-۴-۱۰
- ۳۷۰ پلی یورتانها ۵-۱-۴-۱۰
- ۳۷۶ مواد غیر آلی ۲-۴-۱۰
- ۳۷۶ غشاهای فلزی ۱-۲-۴-۱۰
- ۳۷۸ غشاهای غیر متخلخل کربنی ۲-۲-۴-۱۰
- ۳۷۹ غشاهای سرامیکی و ژئولیتی ۳-۲-۴-۱۰
- ۳۸۰ کاربردها ۵-۱۰
- ۳۸۱ صنایع پتروشیمی ۱-۵-۱۰
- ۳۸۱ تولید آمونیاک ۱-۱-۵-۱۰
- ۳۸۳ بازیابی مونومر وینیل کلرید در واحد تولید PVC ۲-۱-۵-۱۰

۳۸۵	..... تولید پلی الفین ۳-۱-۵-۱۰
۳۹۱	..... صنعت پالایش و تصفیه ۲-۵-۱۰
۳۹۱	..... بازیابی بخارات گازوئیل ۱-۲-۵-۱۰
۳۹۲	..... تصفیه گاز طبیعی ۲-۲-۵-۱۰
۳۹۹	..... غنی سازی گازها ۳-۵-۱۰
۳۹۹	..... غنی سازی اکسیژن ۱-۳-۵-۱۰
۴۰۱	..... غنی سازی نیتروژن ۲-۳-۵-۱۰
۴۰۲	..... جداسازی هیدروژن از هیدروکربن ها ۳-۳-۵-۱۰
۴۰۵	..... جداسازی دی اکسید کربن از هیدروکربن ها ۴-۳-۵-۱۰
۴۰۷	..... نتیجه و دورنما ۶-۱۰
۴۰۹	..... منابع و مآخذ ۷-۱۰

فصل یازدهم : تراوش تبخیری

۴۱۲	..... مقدمه ۱-۱۱
۴۱۳	..... تاریخچه ۲-۱۱
۴۱۷	..... تئوری ۳-۱۱
۴۲۰	..... شرح فرایند ۴-۱۱
۴۲۶	..... جنس غشا ۵-۱۱

- ۴۳۰ ۱-۵-۱۱- پلیمرهای آب دوست
- ۴۳۱ ۲-۵-۱۱- پلیمرهای آب گریز
- ۴۳۱ ۳-۵-۱۱- انتخاب پلیمر
- ۴۳۳ ۶-۱۱- بهبود خصوصیات غشا
- ۴۳۴ ۷-۱۱- بهبود خواص پلیمر
- ۴۳۴ ۱-۷-۱۱- ایجاد پیوندهای عرضی
- ۴۳۴ ۲-۷-۱۱- کوپلیمریزاسیون
- ۴۳۵ ۸-۱۱- ماژولها
- ۴۳۶ ۹-۱۱- ملاحظات اقتصادی
- ۴۳۷ ۱۰-۱۱- کاربردها
- ۴۳۸ ۱-۱۰-۱۱- آب زدایی از حلال‌های آلی
- ۴۴۲ ۲-۱۰-۱۱- حذف مواد آلی از آب
- ۴۴۴ ۳-۱۰-۱۱- جداسازی مخلوط‌های آلی- آلی
- ۴۴۵ ۴-۱۰-۱۱- فرایندهای هیبریدی
- ۴۴۸ ۱۱-۱۱- منابع و مآخذ

بخش پنجم : سایر فرایندهای غشایی

فصل دوازدهم : دیالیز

۴۵۱	۱-۱۲- مقدمه
۴۵۱	۲-۱۲- تئوری
۴۵۲	۳-۱۲- جنس غشا
۴۵۳	۴-۱۲- مازولها
۴۵۵	۵-۱۲- کاربردها
۴۵۷	۶-۱۲- منابع و مآخذ

فصل سیزدهم : الکترودیالیز

۴۵۹	۱-۱۳- مقدمه
۴۶۱	۲-۱۳- تاریخچه
۴۶۳	۳-۱۳- کاربردها
۴۶۳	۱-۳-۱۳- شیرین سازی آب های شور
۴۶۳	۲-۳-۱۳- تولید نمک طعام از آب دریا
۴۶۴	۳-۳-۱۳- تصفیه پساب
۴۶۴	۴-۳-۱۳- صنایع شیمیایی، غذایی و دارویی

۴۶۵ ۱۳-۳-۵- تولید آب بسیار خالص

۴۶۶ ۱۳-۴- منابع و مآخذ

فصل چهاردهم : غشاهای انتقال تسریع یافته

۴۶۸ ۱۴-۱- مقدمه

۴۶۹ ۱۴-۲- تئوری

۴۷۲ ۱۴-۳- روش‌های ساخت

۴۷۲ ۱۴-۳-۱- روش غشای مایع حمایت شده

۴۷۳ ۱۴-۳-۲- روش غشای مایع امولسیون

۴۷۵ ۱۴-۴- کاربردها

۴۷۵ ۱۴-۴-۱- کاربردهای انتقال دوسویه

۴۷۶ ۱۴-۴-۲- کاربردهای انتقال تسهیل شده

۴۷۶ ۱۴-۴-۲-۱- جداسازی دی‌اکسید کربن - سولفید هیدروژن

۴۷۸ ۱۴-۴-۲-۲- جداسازی الفین‌ها

۴۷۹ ۱۴-۵- منابع و مآخذ

۴۸۰ فهرست واژگان فارسی

۵۰۰ فهرست واژگان انگلیسی

