

# گرفتگی غشا و روش های احیای آن

مؤلفان:

دکتر جلال برزین

(استادیار پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران)

مهندس مجید اسماعیلی

(دانشجوی دکتری مهندسی شیمی)

سرشناسه: برزین، جلال، ۱۳۵۰-  
عنوان و نام پدید آور: گرفتگی غشا و روشهای احیای آن/مولفان جلال برزین، مجید اسماعیلی  
مشخصات نشر: تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، ۱۳۸۸.  
مشخصات ظاهری: ۲۸۸ ص: مصور، جدول، نمودار  
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۰۵۷۰-۱-۶ ریال، ۴۵۰۰۰  
وضعیت فهرست نویسی: فیبا  
یادداشت: کتابنامه  
موضوع: جداسازی غشایی  
شناسه افزوده: اسماعیلی، مجید، ۱۳۵۹-  
شناسه افزوده: پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران  
رده بندی کنگره: ۶۴۱۳۸۸ ب ۴ ج ۲۴۸۷۵/TP  
رده بندی دیویی: ۶۴۰/۲۸۴۲  
شماره کتابشناسی ملی: ۱۵۷۹۷۸۳

نام کتاب: گرفتگی غشا و روشهای احیای آن  
مولفان: دکتر جلال برزین، مهندس مجید اسماعیلی  
ویراستار: مهندس سلوی فرهنگ زاده  
ناشر: پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران  
طراحی و صفحه آرایی: ایده پردازان فن وهنر  
نوبت چاپ: اول  
تیراژ: ۱۰۰۰ جلد  
قطع: وزیری  
تاریخ نشر: ۱۳۸۸  
چاپ: زرین نگار  
لیتوگرافی: رامین  
قیمت: ۴۵۰۰۰ ریال

ISBN:978-600-90570-1-6

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۰۵۷۰-۱-۶

آدرس ناشر: تهران - اتوبان تهران / کرج - خروجی ۱۵ - شهرک علم و فناوری پژوهش - بلوار پژوهش -  
پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران  
صندوق پستی: ۱۴۱۸۵/۴۵۸ - ۱۴۹۶۵/۱۱۵

## فهرست مطالب

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| عنوان                                                        | ۳  |
| پیش گفتار                                                    | ۱۱ |
| فصل اول: دسته بندی غشاها و فرایندهای غشایی                   | ۱۵ |
| ۱-۱- مقدمه                                                   | ۱۷ |
| ۲-۱- طبقه بندی فرایندهای غشایی                               | ۱۹ |
| فصل دوم: مفهوم گرفتگی غشا                                    | ۲۳ |
| ۱-۲- متغیرهای اصلی در فرایند جداسازی غشایی                   | ۲۵ |
| ۱-۱-۲- شار جریان عبوری از غشا                                | ۲۵ |
| ۱-۱-۱-۲- نحوه برآورد شار جریان عبوری از غشا                  | ۲۵ |
| ۲-۱-۲- میزان بازیافت و پس زنی                                | ۳۱ |
| ۳-۱-۲- نیروی محرکه جداسازی و عوامل موثر بر آن                | ۳۵ |
| ۴-۱-۲- شار حدی تراوش پذیری                                   | ۳۷ |
| ۲-۲- قطبش غلظتی                                              | ۳۸ |
| ۱-۲-۲- آشنایی با مفهوم قطبش غلظتی                            | ۳۸ |
| ۲-۲-۲- اثر قطبش غلظتی بر توزیع غلظت در فرایندهای مختلف غشایی | ۴۲ |

- ۴۲ ..... ۱-۲-۲-۲-اختلاف فشار به عنوان نیروی محرکه
- ۴۵ ..... ۲-۲-۲-۲-سایر فرایندهای جداسازی غشایی
- ۴۸ ..... ۳-۲-گرفتگی در غشاها و روش های کنترل و کاهش آن
- ۵۱ ..... ۱-۳-۲-مکانیسم های گرفتگی
- ۵۶ ..... ۱-۱-۳-۲-آزمون و تشخیص مکانیسم گرفتگی در فرایندهای غشایی
- ۵۹ ..... ۲-۳-۲-عوامل اثرگذار بر گرفتگی غشاها
- ۵۹ ..... ۱-۲-۳-۲-اثر خواص خوراک
- ۶۱ ..... ۲-۲-۳-۲-اثر اندازه حفره های غشا
- ۶۴ ..... ۳-۲-۳-۲-اثر تخلخل و توزیع اندازه حفره ها
- ۶۶ ..... ۴-۲-۳-۲-اثر جنس غشا
- ۶۶ ..... ۱-۴-۲-۳-۲-اثر بار سطحی غشاها
- ۶۸ ..... ۲-۴-۲-۳-۲-اثر آب گریزی غشا
- ۷۴ ..... ۵-۲-۳-۲-اثر متغیرهای فرایندی
- ۷۸ ..... ۳-۳-۲-روش های کاهش گرفتگی غشاها
- ۷۹ ..... ۱-۳-۳-۲-انتخاب مناسب مواد سازنده غشا و مدول
- ۸۲ ..... ۲-۳-۳-۲-پیش تصفیه خوراک
- ۸۴ ..... ۳-۳-۳-۲-روش های تمیز کردن غشا
- ۸۶ ..... ۱-۳-۳-۳-۲-روش های درجای تمیز کردن غشاها (CIP)
- ۸۹ ..... ۲-۳-۳-۳-۲-روش های غیر درجای تمیز کردن غشاها
- ۹۰ ..... ۴-۲-تعیین و تشخیص نوع گرفتگی با استفاده از اطلاعات شار جریان عبوری
- ۹۱ ..... ۵-۲-بررسی انتقال جرم در فرایندهای غشایی حین گرفتگی
- ۹۲ ..... ۱-۵-۲-مدل سازی و تعیین شار عبوری از غشاها تحت هنگام گرفتگی لایه ای

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۹۹  | ۲-۵-۲- مدل سازی و تعیین افت فشار غشاهای یافی |
| ۱۰۲ | ۶-۲- ارزیابی بازدهی فرایند تمیز کردن         |

## فصل سوم: انواع آلودگی ها و برهم کنش آنها با غشا

|     |                                                                        |
|-----|------------------------------------------------------------------------|
| ۱۰۷ | ۱-۳- انواع آلاینده ها                                                  |
| ۱۰۹ | ۱-۱-۳- ذرات و مواد جامد معلق                                           |
| ۱۱۰ | ۲-۱-۳- کلوییدها و پروتئین ها                                           |
| ۱۱۲ | ۱-۲-۱-۳- اثر قدرت و ظرفیت یونی محلول شوینده در رفع آلودگی های پروتئینی |
| ۱۱۷ | ۳-۱-۳- تشکیل نمک ها                                                    |
| ۱۱۸ | ۴-۱-۳- اکسیدهای فلزی                                                   |
| ۱۱۸ | ۵-۱-۳- آلودگی های زیستی                                                |
| ۱۲۱ | ۶-۱-۳- آلودگی های آلی                                                  |
| ۱۲۳ | ۱-۶-۱-۳- اثر کاتیون های یک و دو ظرفیتی در افزایش گرفتگی های مواد آلی   |
| ۱۲۸ | ۲-۳- انواع برهم کنش های ذرات آلاینده و غشاها                           |
| ۱۳۲ | ۳-۳- تاثیر پذیری لایه آلاینده از قدرت یونی خوراک                       |
| ۱۳۳ | ۱-۳-۳- اثر pH بر اندازه مولکول های مواد آلاینده                        |
| ۱۳۴ | ۲-۳-۳- اثر pH بر پیوستگی مولکول های مواد آلاینده                       |
| ۱۳۶ | ۳-۳-۳- اثر pH روی برهم کنش های بین سطح غشا و ذرات آلاینده              |
| ۱۳۶ | ۴-۳-۳- تاثیر پذیری شکل و حالت مولکول ها از pH محلول خوراک              |

## فصل چهارم: انواع روش های فیزیکی و شیمیایی تمیز کردن غشاها

|     |                                                  |
|-----|--------------------------------------------------|
| ۱۴۱ | ۱-۴- مقدمه                                       |
| ۱۴۳ | ۲-۴- روش های فیزیکی افزایش شار و تمیز کردن غشاها |

- ۱۴۳ ..... ۱-۲-۴- تغییر دادن هیدرودینامیک جریان خوراک
- ۱۴۴ ..... ۱-۱-۲-۴- تغییر سرعت جریان خوراک
- ۱۴۵ ..... ۲-۱-۲-۴- استفاده از موانع و توزیع کننده ها در مسیر خوراک
- ۱۴۹ ..... ۳-۱-۲-۴- استفاده از نیروی گریز از مرکز در مجاورت سطح غشا
- ۱۵۱ ..... ۲-۲-۴- به کارگیری توپک های اسفنجی
- ۱۵۲ ..... ۳-۲-۴- روش های مختلف شست و شو با آب
- ۱۵۲ ..... ۴-۲-۴- پاشش هوا
- ۱۵۳ ..... ۵-۲-۴- به کارگیری امواج فراصوت
- ۱۵۸ ..... ۱-۵-۲-۴- مکانیسم شست و شوی غشاها با کمک امواج فراصوت
- ۱۶۰ ..... ۶-۲-۴- روش لرزشی
- ۱۶۰ ..... ۷-۲-۴- استفاده از جریان معکوس
- ۱۶۵ ..... ۱-۷-۲-۴- نحوه تمیز کردن مدول های یخچانی با روش شست و شوی معکوس
- ۱۶۸ ..... ۲-۷-۲-۴- استفاده از جریان معکوس در تمیز کردن غشاهای الیافی
- ۱۷۰ ..... ۸-۲-۴- استفاده از ضربان الکتریکی برای تمیز کردن غشاها
- ۱۷۶ ..... ۹-۲-۴- قطع جریان خوراک به طور تناوبی
- ۱۷۸ ..... ۳-۴- مواد و روش های شیمیایی تمیز کردن غشاها
- ۱۷۹ ..... ۱-۳-۴- مکانیسم شست و شوی شیمیایی غشاها
- ۱۸۲ ..... ۲-۳-۴- اصول کلی برای تمیز کردن غشاها با مواد شیمیایی
- ۱۸۳ ..... ۳-۳-۴- عوامل شیمیایی تمیز کننده غشاها
- ۱۸۵ ..... ۱-۳-۳-۴- محلول های بازی
- ۱۸۶ ..... ۲-۳-۳-۴- محلول های اسیدی
- ۱۸۶ ..... ۳-۳-۳-۴- عامل های ایجاد کمپلکس فلزی
- ۱۸۹ ..... ۴-۳-۳-۴- فعال کننده های سطحی

|     |                                                                                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۹۳ | ۵-۳-۳-۴- مواد گندزدا                                                           |
| ۱۹۳ | ۶-۳-۳-۴- محلول های آلهیدی                                                      |
| ۱۹۴ | ۷-۳-۳-۴- شوینده های فرمول بندی شده                                             |
| ۱۹۴ | ۴-۴- روش های زیستی                                                             |
| ۱۹۶ | ۵-۴- ترکیب روش های فیزیکی یا شیمیایی                                           |
| ۱۹۹ | فصل پنجم: نمونه های از فرایندهای غشایی و روش های رفع گرفتگی و احیای آنها       |
| ۲۰۱ | ۱-۵- مقدمه                                                                     |
| ۲۰۱ | ۲-۵- صنعت تصفیه فاضلاب و روش های تمیز کردن غشاها                               |
| ۲۰۲ | ۱-۲-۵- ویژگی های آب های صنعتی                                                  |
| ۲۰۴ | ۲-۲-۵- انواع فرایندهای غشایی برای تصفیه پساب ها                                |
| ۲۰۵ | ۳-۲-۵- اثر فرایند انعقاد به عنوان پیش تصفیه فرایند تصفیه پساب ها               |
| ۲۰۸ | ۳-۵- فرایندهای میکرو فیلتراسیون و نحوه پاک سازی غشاها                          |
| ۲۰۸ | ۱-۳-۵- تعریف و کاربرد فرایند میکرو فیلتراسیون                                  |
| ۲۱۱ | ۲-۳-۵- شست و شوی غشاهای میکرو فیلتراسیون در فرایند لجن فعال                    |
| ۲۱۵ | ۳-۳-۵- رفع گرفتگی غشاهای صنعت روغن سازی (روغن های گیاهی و حیوانی)              |
| ۲۲۰ | ۴-۵- فرایند الترافیلتراسیون و نحوه تمیز کردن غشاها                             |
| ۲۲۰ | ۱-۴-۵- تعریف و کاربرد فرایند الترافیلتراسیون                                   |
| ۲۲۲ | ۲-۴-۵- اصول کلی در تمیز کردن غشاهای الترافیلتراسیون                            |
| ۲۲۶ | ۳-۴-۵- تمیز کردن غشاهای الترافیلتراسیون در صنایع غذایی                         |
| ۲۳۱ | ۴-۴-۵- صنعت کاغذ سازی و رفع مشکلات گرفتگی غشاها                                |
| ۲۳۴ | ۵-۴-۵- روش های تمیز کردن غشاهای الترافیلتراسیون در صنعت چاپ اسکناس             |
| ۲۳۸ | ۶-۴-۵- رفع گرفتگی غشاهای الترافیلتراسیون به کار رفته در تصفیه پساب کشتارگاه ها |

- ۵-۵- فرایندهای اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون و روش های تمیز کردن غشاهای مربوطه ..... ۲۴۰
- ۵-۱- اصول کلی در تمیز کردن غشاهای اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون ..... ۲۴۳
- ۵-۲- شیرین کردن آب دریا و مشکل گرفتگی غشاها ..... ۲۴۵
- ۵-۳- از بین بردن گرفتگی پلی ساکاریدها در سیستم های اسمز معکوس ..... ۲۴۸
- ۵-۴- تمیز کردن غشاهای اسمز معکوس دارای گرفتگی سیلیکا ..... ۲۵۱
- ۵-۶- فرایندهای دیالیز و همودیالیز و روش های رفع گرفتگی غشاها ..... ۲۵۵
- ۵-۶-۱- آشنایی با فرایند دیالیز و همودیالیز ..... ۲۵۵
- ۵-۶-۲- نحوه تمیز کردن غشاهای همودیالیز ..... ۲۵۹
- ۵-۷- توصیه های کلی برای فرایند پاک سازی غشا ..... ۲۶۵
- منابع و مراجع ..... ۲۷۱
- اختصارات ..... ۲۷۹
- نمایه ..... ۲۸۱



## پیش گفتار

مشکل گرفتگی غشاها و کاهش شار جریان عبوری و میزان پس زنی آنها از مهم ترین مسائل و موضوعات مطرح در فرایندهای غشایی، به ویژه آن دسته از فرایندهایی است که برای جریان های مایع به کار می روند. بدین معنی که پس از گذشت مدت زمانی از فرایند جداسازی، ذرات و مواد معلق یا محلول موجود در خوراک حین عبور از غشا، درون ساختار یا روی سطح آن جذب شده یا رسوب می کنند. این مسئله سبب ایجاد گرفتگی در ساختار غشا و کاهش تراوش پذیری خوراک می شود که در نتیجه شار جریان عبوری از غشا را کاهش می دهد. همچنین، تغییر اندازه حفره های غشا موجب می شود که توان پس زنی غشا تغییر کند. این گونه مشکلات، طراحان فرایندهای غشایی را به فکر چاره انداخت تا در حد امکان گرفتگی غشاها را به تعویق انداخته یا برطرف کنند.

منشأ گرفتگی غشاها نیروهای جاذبه یا دافعه یا برهم کنش های فیزیکی-شیمیایی خاصی است که بین ذرات آلاینده و غشا به وجود می آید. همچنین، تفاوت در قابلیت تراوش پذیری ذرات با اندازه های مختلف، که یک اصل در فرایندهای غشایی به شمار می رود، سبب می شود تا ذراتی که نسبتاً کندتر عبور می کنند در مجاورت غشا تجمع یابند و بدین ترتیب توزیع غلظت در جریان خوراک تغییر یابد. این پدیده قطبش غلظتی نام دارد که در صورت تداوم، یکی از مهم ترین دلایل گرفتگی غشاهاست. مکانیسم های متفاوتی برای گرفتگی غشاها مطرح شده است که مکانیسم انسداد درون حفره ای و تشکیل لایه کیک، شاخص ترین آنهاست. ایجاد گرفتگی از راه هر یک از مکانیسم ها به نوع متفاوتی شار و تراوش پذیری غشا را متاثر می سازد. با توجه به میزان و نوع گرفتگی ایجاد شده، نوع مدول، نوع غشا و شرایط عملیاتی، از روش های متفاوتی برای از بین بردن لایه یا ذرات آلاینده یا کنترل شدت گرفتگی بهره گرفته می شود. این روش ها در کل به سه دسته روش های فیزیکی، شیمیایی یا زیستی تقسیم بندی می شوند که می توان آنها را به منظور

بهبود عملکرد غشا به طور مجزا یا به شکل ترکیبی مورد استفاده قرار داد. به طور کلی، روش های شیمیایی، که به کارگیری آنها به مواد شوینده خاصی نیاز دارد، پرهزینه، زمان بر و خطرناک اند. زیرا ممکن است، ساختار غشا در تماس با مواد شوینده تغییر کند. بنابراین، معمولاً ترکیبی از روش های شیمیایی و فیزیکی استفاده می شوند تا به مواد شیمیایی کمتری نیاز باشد. از بین روش های فیزیکی موجود، روش شست و شوی معکوس معمول تر از بقیه است. این روش بر پایه معکوس کردن مسیر جریان خوراک، آب گرم یا سایر مواد شوینده از سمت جریان عبوری به سمت جریان خوراک برای جداسازی لایه آلاینده یا ذرات چسبیده به ساختار درونی غشاست. در روش های شیمیایی از محلول های اسیدی، بازی، مواد فعال کننده سطحی، شوینده های فرمول بندی شده به طور مجزا یا ترکیبی استفاده می شود.

هنگامی که یک فرایند جداسازی غشایی در حال انجام است، پس از مدتی مشاهده می شود شار جریان عبوری از غشا به دلیل گرفتگی ایجاد شده در سطح و ساختار آن کاهش پیدا می کند. اگر نمودار کاهش شار بر حسب زمان رسم شود، در یک زمان خاص یک شار حداقل و نسبتاً ثابتی ایجاد می شود که به آن شار بحرانی گفته می شود. این شار نشان دهنده حداکثر میزان گرفتگی در غشای مورد استفاده است. آلاینده هایی که پس از این در سطح و ساختار غشا ایجاد می شوند، در برابر هیدرودینامیک جریان خوراک مقاوم نبوده و از این رودر تماس با جریان خوراک از سطح یا ساختار غشا جدا و خارج می شوند. بهتر است پیش از رسیدن به این حالت برای برطرف شدن آلودگی های ایجاد شده اقدام کرد و برای این منظور استفاده از روش های فیزیکی یا شیمیایی پیش گفته لازم است.

در این کتاب، ابتدا فرایندهای غشایی بر اساس نیروی محرکه جداسازی تقسیم بندی می شوند. سپس، مفهوم قطبش غلظتی و گرفتگی به طور کامل تشریح و عوامل اثرگذار بر آنها مورد ارزیابی قرار می گیرد. در ادامه انواع آلاینده هایی که در فرایندهای غشایی با آنها مواجه می شویم شامل ذرات و مواد جامد معلق، کلونیدها و پروتئین ها، نمک ها و آلاینده های زیستی و آلی توضیح و شرح داده می شوند. همچنین، مهم ترین فرایندهای غشایی، که در آنها به نوعی از غشاها در جداسازی یا تخلیص جریان ها استفاده می شود، بیان شده و روش های

به کار رفته برای تمیز کردن غشاهای مربوط ارائه شده‌اند. این فرایندها عبارتند از: فرایندهای اسمز معکوس، الترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون، میکروفیلتراسیون و دیالیز که هر کدام در صنایع خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند و بنابراین غشاهای مورد استفاده پس از گرفته شدن باید با یکی از انواع روش‌های فیزیکی، شیمیایی و یا زیستی تمیز شوند.

حال که در سایه الطاف الهی و با استعانت از درگاه بی‌کرانش نگارش این کتاب پایان پذیرفته است، امیدواریم مطالب آن بتواند سهمی هر چند اندک در پیش‌برد علوم و تکنولوژی غشایی در کشور داشته باشد و به خوبی مورد استفاده دانشجویان، پژوهشگران، محققان و صنعتگران این عرصه قرار گیرد.

جا دارد از تمام عزیزانی که ما را در تألیف و چاپ این کتاب یاری کرده‌اند، قدردانی شود. از سرکار خانم مهندس سلوی فرهنگ‌زاده به خاطر ویرایش دقیق و مجدانه ادبی و فنی کتاب و از سرکار خانم مریم زمانی برای تایپ، صفحه‌آرایی و تصحیح چند باره کتاب، کمال تشکر و امتنان را داریم.

جلال برزین

سجید اسماعیلی

بهار ۱۳۸۸