

بہ نام خدا

فرایند غشایی اسمز مستقیم

در نمک زدایی و تصفیه آب و فاضلاب

تألیف : سهیلا شکرالله زاده

عضو هیئت علمی سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران

و

سحرناز تاجیک

کارشناس ارشد مهندسی شیمی

سرشناسه	: شکرالله‌زاده، سهیلا
عنوان و نام پدیدآور	: فرایند غشایی اسمز مستقیم در نمک‌زدایی و تصفیه آب و فاضلاب، سهیلا شکرالله‌زاده.
مشخصات نشر	: تهران، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۱۷۵ص. : محور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۹۷۱۶۹-۰-۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
عنوان اصلی	: فرایند غشایی اسمز مستقیم در نمک‌زدایی و تصفیه آب و فاضلاب
عنوان دیگر	: اسمز مستقیم و کاربردهای آن در آب و فاضلاب
موضوع	: نمک‌زدایی آب—تصفیه فاضلاب—اسمز مستقیم
موضوع	: Forward osmosis—Desalination—Wastewater treatment
یادداشت	: واژه‌نامه.
شناسه افزوده	: تاجیک، سحرناز
شناسه افزوده	: سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
رده بندی کنگره	: TD۴۴۲/۵
رده بندی دیویی	: ۶۲۸/۱۶۲۲
شماره کتاب‌شناسی ملی	: ۷۳۶۹۲۶۹

سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران



فرایند غشایی اسمز مستقیم در نمک‌زدایی و تصفیه آب و فاضلاب

نویسنده: سهیلا شکرالله‌زاده

ناشر: سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: ۱۳۹۹

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

چاپ و صحافی: افست گرافیک

ناظر چاپ و مجری: نشر پرچین

ویراستار: زینب اصغری بیرام، لیلا اجاقلو

طراح روی جلد: -

قیمت:

نشانی: تهران، احمدآباد مستوفی، بعد از میدان پارسا، خیابان انقلاب، خیابان شهید احسانی راد، صندوق پستی: ۱۱۵-۳۷۵۷۵

پیش‌گفتار

بنا بر گزارش سازمان ملل و سایر مؤسسه‌های بین‌المللی مدیریت آب، با رشد نمایی جمعیت و کاهش سوخت‌های فسیلی، مهم‌ترین چالش مدیریت و تأمین منابع در هزاره جدید، مربوط به کمبود آب و انرژی است که بسیاری از جوامع جهانی را با مشکل مواجه کرده است. بیش از ۱/۲ میلیارد نفر از ساکنین زمین، از دسترسی به آب آشامیدنی سالم بی‌بهره‌اند؛ از این رو، بهینه‌سازی روش‌های موجود و یا ارائه راهکارهای نوین، جهت بهره‌برداری بهینه از منابع کنونی و ازدیاد منابع آب آشامیدنی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

بشر همواره برای تسلط بر چالش‌ها، اقدام به خلاقیت و نوآوری کرده و روش‌های جدیدی را به کار گرفته است. فرایندهای غشایی یکی از این نوآوری‌ها است که با پیشرفت دانش در ساخت غشاهای گزینش‌پذیر و ارزان جهت تصفیه آب و فاضلاب، بیش از پیش مورد توجه واقع شده است. اسمز مستقیم، یکی از فناوری‌های غشایی جدید در مسیر توسعه فناوری است، چنان‌که طی چند سال اخیر توجه ویژه‌ای به آن شده است. امروزه این فناوری در عملیات مختلف همچون تصفیه فاضلاب و بازچرخانی آب، تغلیظ مواد در صنایع غذایی و دارویی، نمک‌زدایی از آب و تولید برق، کاربرد مؤثری دارد.

فرایندهای اسمزی، از جمله اسمز مستقیم، برگرفته از طبیعت هستند که گیاهان، جانوران و حتی سلول‌های بدن انسان نیز از آن استفاده می‌کنند؛ از این رو می‌توان آن را فرایندی زیست‌تقلید به‌شمار آورد. در کاربرد صنعتی اسمز مستقیم، از یک غشای نیمه‌تراوا که تنها توانایی عبور حلال را دارد، استفاده می‌شود. در این فرایند، برخلاف فرایندهای غشایی فشارمحور، همچون اسمز معکوس، از فشار هیدرولیکی به‌منظور انتقال حلال از میان غشا استفاده نشده است، بلکه نیرو محرکه برای انتقال جرم، اختلاف فشار اسمزی محلول‌های دو سوی غشا می‌باشد. بدین‌منظور، محلول خوراک در یک سمت غشا و محلول اسمزی با فشار اسمزی بالاتر (محلول کِشنده) در سوی دیگر غشا قرار می‌گیرند؛ در نتیجه، جهت جریان حلال از خوراک به‌صورت خودکار به‌سمت محلول کشنده، از درون یک غشای نیمه‌تراوای گزینش‌پذیر برقرار می‌شود، به همین علت، نیاز به انرژی کمتری برای برقراری جریان حلال دارد.

در مقایسه با روش‌های غشایی فشارمحور، اسمز مستقیم دارای برتری‌های ویژه‌ای است، از جمله پس‌زنی بالای مواد محلول، رسوب‌گرفتگی کمتر غشا و مصرف انرژی کمتر؛ به‌همین دلیل، غشاهای خاص آن توانایی بالایی برای جایگزینی با غشاهای اولترافیلتراسیون و نانوفیلتراسیون دارند. بر این اساس پیش‌بینی می‌شود که طی سال‌های آینده، ارزش بازار سالیانه غشاهای اسمز مستقیم در زمینه انرژی اسمزی، بازچرخانی آب، نمک‌زدایی و سایر کاربردها، بیشتر از ترکیب بازارهای اسمز معکوس و

اولترافیلتراسیون خواهد شد.

عوامل مختلفی در بهبود عملکرد اسمز مستقیم نقش دارند. خواص محلول خوراک و محلول کشنده (دما، فشار، ویسکوزیته و میزان ناخالصی)، پلاریزاسیون غلظتی (داخل و خارج غشا)، ساختار و جهت غشا (گزینش پذیری و توانایی غشا در عدم عبور حل شونده‌های موجود در محلول‌های دو طرف غشا، محل قرارگیری لایه گزینشگر و لایه پشتیبان غشا)، از جمله این عوامل هستند. با وجود آن که طی سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در زمینه تأثیر عوامل مختلف در فرایند اسمز مستقیم انجام شده و پیشرفت‌های فراوانی حاصل شده است، ولی به منظور بهبود اقتصاد این فرایند، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ارائه غشاها و محلول‌های اسمزی جدید و با بهره‌وری بالا، در دست انجام است.

با توجه به بحران آب در ایران، اخیراً دانشگاهیان به فرایندهای نوین مطرح شده در سطح جهان، از جمله فرایند اسمز مستقیم و کاربرد آن در تصفیه و نمک‌زدایی از آب و فاضلاب و سایر کارایی‌های آن توجه ویژه‌ای نشان داده‌اند. فقدان کتابی جامع به زبان فارسی در زمینه مفاهیم و پیشرفت‌های اسمز مستقیم، سبب شد تا این نوشتار، ضمن بررسی تئوری و مدل‌های انتقال جرم در فرایند غشایی اسمز مستقیم، پیشرفت‌های مربوط به غشا و محلول‌های کشنده را نیز ارائه دهد. در فصول این کتاب، با مرور نتایج تحقیقات انجام شده توسط دانشمندان صاحب‌نام در فرایند اسمز مستقیم و با رویکرد تصفیه و نمک‌زدایی آب و فاضلاب، سعی شده است تا به چالش‌های موجود در فرایند نیز اشاره شود و زمینه تحقیقات آینده فراهم شود.

امید است کتاب حاضر، به‌عنوان راهنما، مورد استفاده اساتید دانشگاه‌ها و دانشجویان تحصیلات تکمیلی و مراکز پژوهشی قرار گیرد.

سهیلا شکرالله‌زاده

عضو هیئت علمی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

۱.....	۱. اسمز مستقیم: اصول و مفاهیم.....
۱.....	۱-۱ اسمز.....
۳.....	۲-۱ فرایندهای اسمز مستقیم.....
۸.....	منابع.....
۹.....	۲. انتقال جرم در اسمز مستقیم.....
۹.....	۱-۲ شار آب و نمک.....
۱۲.....	۲-۲ پلاریزاسیون غلظتی.....
۱۵.....	۱-۲-۲ مدل ریاضی پلاریزاسیون غلظتی خارجی.....
۱۸.....	۲-۲-۲ مدل ریاضی پلاریزاسیون غلظتی داخلی.....
۲۶.....	۳-۲-۲ مدل سازی.....
۲۸.....	۳-۲ شار معکوس نمک.....
۳۱.....	۴-۲ شبیه سازی تأثیر پارامترهای غشایی بر شار آب اسمز مستقیم.....
۳۲.....	۱-۴-۲ تأثیر پارامتر ساختاری.....
۳۴.....	۲-۴-۲ تأثیر تراوایی آب.....
۳۵.....	۳-۴-۲ تأثیر تراوایی نمک.....
۳۷.....	۴-۴-۲ پیامدهای بهینه سازی غشای اسمز مستقیم.....
۳۹.....	۵-۲ جمع بندی.....
۴۰.....	منابع.....
۴۵.....	۳. غشاهای اسمز مستقیم.....
۴۵.....	۱-۳ طراحی ساختار و شناسایی غشاهای اسمز مستقیم.....
۴۶.....	۱-۱-۳ لایه گزینش گر.....
۴۷.....	۲-۱-۳ لایه پشتیبان.....
۴۸.....	۳-۱-۳ شناسایی غشا.....
۵۰.....	۲-۳ غشاهای نامتقارن پوسته-پیوسته تهیه شده با روش وارونگی فازی.....
۵۱.....	۱-۲-۳ غشاهای سلولزاستر.....
۵۶.....	۲-۲-۳ غشاهای پلی بنزایمیدازول.....
۵۸.....	۳-۲-۳ غشاهای پلی آمید-ایمید.....

۵۹.....	۳-۳ غشاهای مرکب
۶۲.....	۱-۳-۳ غشاهای مرکب لایه نازک
۶۵.....	۱-۳-۳ مشخصه‌های موثر در تهیه لایه پشتیبان غشاهای اسمز مستقیم
۶۸.....	۲-۳-۳ مشخصات لایه گرینش گر اسمز مستقیم
۷۵.....	۳-۳-۳ تحقیقات در زمینه ساخت غشاهای مرکب لایه نازک اسمز مستقیم
۱۱۲.....	۲-۳-۳ غشاهای لایه به لایه
۱۱۴.....	۳-۳-۳ غشاهای زیست تقلید
۱۱۶.....	۴-۳ جمع بندی
۱۱۷.....	منابع
۱۲۹.....	۴. محلول کشنده در فرایندهای اسمز مستقیم
۱۲۹.....	۱-۴ معیارهای کلی انتخاب محلول کشنده مناسب
۱۳۱.....	۲-۴ ویژگی‌های محلول کشنده مؤثر بر عملکرد اسمز مستقیم
۱۳۱.....	۱-۲-۴ ویژگی‌های عام محلول کشنده
۱۳۳.....	۲-۲-۴ سایر ویژگی‌های محلول کشنده
۱۳۳.....	۳-۴ طبقه بندی محلول کشنده اسمزی
۱۴۶.....	۱-۳-۴ ترکیبات فرار
۱۴۸.....	۲-۳-۴ ترکیبات آلی
۱۴۸.....	۱-۲-۳-۴ ترکیبات مغذی
۱۴۹.....	۲-۲-۳-۴ نمک‌های آلی
۱۵۰.....	۳-۲-۳-۴ حلال‌های با قطبیت قابل تعویض
۱۵۲.....	۳-۳-۴ ترکیبات معدنی
۱۵۵.....	۴-۳-۴ ترکیبات سنتزی جدید
۱۵۵.....	۱-۴-۳-۴ نانوذرات مغناطیسی آب دوست
۱۵۸.....	۲-۴-۳-۴ ترکیبات بر پایه ۲-متیل ایمیدازول
۱۵۸.....	۳-۴-۳-۴ پلی‌الکترولیت‌های سدیم پلی‌اکریلیک اسید
۱۶۰.....	۴-۴-۳-۴ پساب شور اسمز معکوس
۱۶۱.....	۴-۴ جمع بندی
۱۶۲.....	منابع
۱۶۹.....	واژه نامه