



الکترو دیالیز

در تصفیه آب و فاضلاب

حذف آلاینده‌ها، نمک‌زدایی آب‌های لب شور و تصفیه فاضلاب‌های صنعتی

تالیف و ترجمه

مهندس مهدی اسدی

مهندس حسین عطائی‌فر



انتشارات آوای قلم

سرشناسه	: اسدی، مهدی، ۱۳۶۰ -
عنوان و نام پدیدآور	: الکترودیالیز در تصفیه آب و فاضلاب/ تالیف و ترجمه: مهدی اسدی، حسین عطایی فر.
مشخصات نشر	: تهران: آوای قلم، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۲۲۰ ص.: مصور
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۶۳۱۷-۷۷-۱ وضعیت فهرست نویسی: فیپا
موضوع	: الکترودیالیز
موضوع	: Electro dialysis
موضوع	: جداسازی غشایی -- کاربردهای صنعتی
موضوع	: Membrane separation -- Industrial applications
موضوع	: فاضلاب -- تصفیه -- الکترودیالیز
موضوع	: Sewage -- Purification -- Electro dialysis process
موضوع	: آب -- تصفیه
موضوع	: Water -- Purification
شناسه افزوده	: عطائی فر، حسین، ۱۳۴۴ -
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۸ ۵/د۹الف۱۵۶TP
رده بندی دیویی	: ۶۲۸/۱۶۷۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۶۱۳۶۶۵

نام کتاب:

الکترودیالیز در تصفیه آب و فاضلاب

تالیف و ترجمه:	مهندس مهدی اسدی	تاریخ نشر:	۱۳۹۸
ناشر:	انتشارات آوای قلم	نوبت چاپ:	اول
صفحه آرایبی:	انتشارات خانیران	شمارگان:	۶۰۰ جلد
طراحی روی جلد:	انتشارات آوای قلم (مهران خانی)	قیمت:	۳۹۰۰۰ تومان
		شابک:	۹۷۸-۶۲۲-۶۳۱۷-۷۷-۱

آدرس: تهران - میدان انقلاب - خیابان کارگر شمالی - ابتدای خیابان نصرت - کوچه باغ نو - کوچه داوود آبادی
شرقی - پلاک ۴

شماره تماس: ۶۶۵۹۱۵۰۴ تلفکس: ۶۶۵۹۱۵۰۵

فروشگاه کتاب الکترونیکی و چاپی: www.avapublisher.com

هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است.
متخلفان به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۸	مقدمه شرکت آب و فاضلاب
۹	مقدمه ناشر
۱۰	مقدمه مترجمان

فصل اول: مقدمه

۱۱	مقدمه
----	-------------

فصل دوم: غشاهای یونی

۱۸	۱-۲ مواد مورد استفاده در تولید غشاء
۱۸	۱-۱-۱ غشاهای پلیمری رسانا
۱۹	۱-۱-۱-۱ غشاهای تولید شده به وسیله پلیمریزاسیون در محل
۱۹	۱-۱-۱-۲ غشاهای تولید شده به روش ترکیب پلیمرهای رسانا و پلیمرهای متعارف
۲۰	۱-۱-۱-۳ غشاهای تولید شده با شبکه پلیمری در هم نفوذ کرده
۲۱	۲-۲ خصوصیات غشاها
۲۲	۱-۲-۲ غشاهای تبادل یونی ناهمگن
۲۳	۲-۲-۲ غشاهای تبادل یونی همگن
۲۳	۲-۳-۲ غشاهای ویژه
۲۴	۳-۲ ویژگی و خصوصیات غشاها
۲۴	۱-۳-۲ گزینش پذیری غشاها
۲۴	۲-۳-۲ ویژگی های مکانیکی غشاها
۲۵	۳-۳-۲ پایداری شیمیایی غشاها
۲۵	۴-۳-۲ مقاومت الکتریکی غشاها
۲۶	۵-۳-۲ ظرفیت های تبادل یونی غشاها
۲۷	۶-۳-۲ جهت جریان آب از میان غشاء
۲۸	۴-۲ غشاهای الکترودیالیز
۲۹	۱-۴-۲ تولید غشاهای تبادل یونی همگن
۳۱	۲-۴-۲ تولید غشاهای تبادل یونی ناهمگن

فصل سوم: جنبه‌های عمومی فرآیندهای جداسازی غشایی

- ۳-۱ تصفیه آب و فاضلاب برای استفاده مجدد ۳۸
- ۳-۲ فرآیندهای جداسازی غشایی ۳۹
- ۳-۳ الکترودیالیز به عنوان روش جایگزین اسمز معکوس ۴۱

فصل چهارم: اصول الکترودیالیز

- ۴-۱ توصیف فرآیند الکترودیالیز ۴۸
- ۴-۲ غشاهای مورد استفاده در فرآیند الکترودیالیز ۵۱
- ۴-۲-۱ الکترودیالیز با غشاهای تبادل کاتیونی تک قطبی ۵۱
- ۴-۲-۲ الکترودیالیز با غشاهای تبادل کاتیونی دو قطبی ۵۴
- ۴-۳ روش‌های بهره‌برداری از فرآیند الکترودیالیز ۵۶
- ۴-۴ مسیرهای عبور محلول‌های فرآیند ۵۷
- ۴-۵ کاربردهای فرآیند الکترودیالیز ۵۸
- ۴-۵-۱ کاربرد الکترودیالیز در نمک‌زدایی آب‌های لب‌شور ۵۸
- ۴-۵-۲ تولید بلورهای نمک ۵۸
- ۴-۵-۳ الکترودیالیز و تصفیه فاضلاب ۵۹
- ۴-۵-۴ تغلیظ پساب شور فرآیند اسمز معکوس ۵۹
- ۴-۵-۵ کاربرد الکترودیالیز در صنایع غذایی و شیمیایی ۵۹
- ۴-۵-۶ تولید آب فوق خالص ۶۰
- ۴-۶ الکترودیالیز با غشاهای تک قطبی ۶۰
- ۴-۷ الکترودیالیز با غشاهای دو قطبی ۶۴
- ۴-۸ نگهداری و تعمیر ۶۸
- ۴-۹ مقایسه الکترودیالیز معکوس با اسمز معکوس ۷۰

فصل پنجم: جنبه‌های عمومی فرآیند الکترودیالیز

- ۵-۱ پیاده‌سازی و سوار کردن سامانه الکترودیالیز ۷۸
- ۵-۱-۱ غشاها ۸۱
- ۵-۱-۲ غشاهای تبادل یونی ۸۴
- ۵-۲ مجاری عبور جریان ۸۸
- ۵-۳ الکترودها و واکنش بین آنها ۸۹

۹۰	۴-۵ گرفتگی و رسوب گذاری در فرآیند الکترودیالیز
۹۲	۵-۵ الکترودیالیز معکوس
۹۴	۶-۵ ارزیابی کارایی فرآیند الکترودیالیز
۹۴	۱-۶-۵ درصد حذف یونها
۹۴	۲-۶-۵ بازده جریان الکتریکی
۹۵	۷-۵ طراحی واحدهای الکترودیالیز
۱۰۰	۱-۷-۵ فرآیند الکترودیالیز و طراحی تجهیزات
۱۰۰	۱-۱-۷-۵ فرآیند الکترودیالیز و طراحی واحدهای غشایی
۱۰۲	۲-۱-۷-۵ طراحی فرآیند و مدل های مختلف بهره برداری
۱۰۲	۸-۵ انرژی مورد نیاز الکترودیالیز
۱۰۳	۱-۸-۵ حداقل انرژی مورد نیاز برای انتقال یونها از محلول ورودی به محلول تغلیظ شده
۱۰۴	۲-۸-۵ انرژی مورد نیاز پمپاژ
۱۰۴	۹-۵ هزینه های فرآیند الکترودیالیز

فصل ششم: عوامل کنترل کیفیت فرآیند الکترودیالیز

۱۱۲	۱-۶ گزینش پذیری غشاء و عدد انتقال
۱۱۴	۲-۶ شدت جریان محدودکننده
۱۱۷	۳-۶ پدیده تراکم قطبیت
۱۱۸	۱-۳-۶ تجزیه آب و اثرات تشدیدکنندگی
۱۱۸	۲-۳-۶ همرفت گرانشی
۱۱۹	۳-۳-۶ همرفت الکتریکی
۱۲۲	۴-۶ مصرف جریان الکتریکی
۱۲۳	۵-۶ کاهش بازده جریان الکتریکی در فرآیند الکترودیالیز
۱۲۳	۱-۵-۶ گزینش پذیری یونی غشاها
۱۲۴	۲-۵-۶ انتشار معکوس نمک
۱۲۵	۳-۵-۶ جریان های مزاحم
۱۲۵	۶-۶ پتانسیل سنجی لحظه ای
۱۲۵	۱-۶-۶ اصول کلی
۱۲۹	۲-۶-۶ کاربردها
۱۲۹	۱-۲-۶-۶ شدت جریان محدودکننده
۱۲۹	۲-۲-۶-۶ عدد انتقال یونها از میان غشاء

- ۳-۲-۶-۶ ناهمگنی غشاها، نواحی هدایت‌پذیر و غیر هدایت‌پذیر ۱۲۹
- ۴-۲-۶-۶ گرفتگی غشاء به وسیله مولکول‌های آلی و رسوبات معدنی ۱۳۰
- ۵-۲-۶-۶ خصوصیات انتقال برای غشاهای دوقطبی ۱۳۰

فصل هفتم: الکترودیالیز و تصفیه آب

- ۱-۷ کلیات ۱۳۶
- ۲-۷ کیفیت آب ۱۳۶
- ۳-۷ سامانه‌های متعارف تصفیه آب آشامیدنی ۱۳۷
- ۴-۷ کاربرد فرآیندهای غشایی در تولید آب آشامیدنی ۱۴۰
- ۵-۷ کاربرد فرآیند الکترودیالیز در نمک‌زدایی و خالص‌سازی آب‌های لب‌شور ۱۴۱
- ۶-۷ کاربرد الکترودیالیز در تصفیه آب‌های آشامیدنی آلوده به نیترات ۱۴۳

فصل هشتم: الکترودیالیز و تصفیه فاضلاب دباغی

- ۱-۸ کلیات ۱۵۰
- ۲-۸ خصوصیات فاضلاب تولید شده در صنایع تولید چرم ۱۵۱
- ۳-۸ تصفیه متعارف فاضلاب دباغی ۱۵۳
- ۴-۸ الکترودیالیز و تصفیه فاضلاب دباغی ۱۵۴
- ۵-۸ خلاصه نتایج ۱۵۷

فصل نهم: الکترودیالیز و تصفیه فاضلاب حاوی فسفات

- ۱-۹ کلیات ۱۶۲
- ۲-۹ استفاده از محلول‌های فسفات در صنایع فلزی ۱۶۳
- ۳-۹ تصفیه متعارف فاضلاب حاوی فسفات ۱۶۳
- ۴-۹ تصفیه تکمیلی فاضلاب حاوی فسفات توسط الکترودیالیز ۱۶۵
- ۵-۹ گرفتگی و رسوب‌گذاری غشاهای الکترودیالیز در تصفیه فاضلاب‌های فسفات ۱۶۷
- ۶-۹ خلاصه نتایج ۱۶۹

فصل دهم: الکترودیالیز و تصفیه فاضلاب پالایشگاه‌ها

- ۱-۱۰ بازیافت آب از فاضلاب تولیدی در پالایشگاه‌ها ۱۷۲
- ۲-۱۰ تصفیه متعارف فاضلاب پالایشگاه‌ها ۱۷۳
- ۱-۲-۱۰ تصفیه مقدماتی ۱۷۳

۱۷۴.....	۲-۲-۱۰ تصفیه اولیه
۱۷۵.....	۳-۲-۱۰ تصفیه ثانویه
۱۷۵.....	۳-۱۰ کاربرد الکترودیالیز برای تولید آب فرآیند در پالایشگاه
۱۷۷.....	۴-۱۰ مقایسه الکترودیالیز معکوس با اسمز معکوس
۱۷۹.....	۵-۱۰ پیش تصفیه آب در فرآیند الکترودیالیز معکوس
۱۸۱.....	۶-۱۰ مصرف انرژی
۱۸۲.....	۷-۱۰ نگهداری و کنترل بهره‌برداری
۱۸۴.....	۸-۱۰ خلاصه نتایج

فصل یازدهم: الکترودیالیز و تصفیه فاضلاب حاوی کروم شش ظرفیتی

۱۸۸.....	۱-۱۱ کلیات
۱۸۹.....	۲-۱۱ کاربرد کروم شش ظرفیتی در فرآیندهای آبکاری
۱۸۹.....	۳-۱۱ خصوصیات و آلاینده‌های محلول‌های حاوی کروم شش ظرفیتی
۱۹۰.....	۴-۱۱ تصفیه متعارف محلول‌های حاوی کروم شش ظرفیتی
۱۹۱.....	۵-۱۱ الکترودیالیز و بازیافت آب و محلول آبکاری کروم
۱۹۳.....	۶-۱۱ خلاصه نتایج

فصل دوازدهم: الکترودیالیز و تصفیه محلول‌های حاوی سیانید فلزی

۱۹۶.....	۱-۱۲ کلیات
۱۹۷.....	۲-۱۲ انتقال کمپلکس‌های سیانید فلزی از میان غشاهای تبادل یونی
۱۹۹.....	۳-۱۲ محلول‌های کمپلکس سیانید روی
۲۰۰.....	۴-۱۲ انتقال کمپلکس‌های سیانید روی از میان غشاهای تبادل یونی
۲۰۱.....	۵-۱۲ محلول‌های کمپلکس سیانید کادمیوم
۲۰۲.....	۶-۱۲ انتقال کمپلکس‌های سیانید کادمیوم از میان غشاهای تبادل یونی
۲۰۳.....	۷-۱۲ تأثیر حضور سایر یون‌های فلزی (مس، آهن، کروم)
۲۰۴.....	۸-۱۲ خلاصه نتایج
۲۰۷.....	اختصارات
۲۱۱.....	واژه‌نامه
۲۱۵.....	پیوست‌ها

مقدمه شرکت آب و فاضلاب شیراز

آب به عنوان یک منبع ضروری برای مصارف مختلف شرب، صنعت، کشاورزی و پایداری محیط زیست محسوب می‌شود. با لحاظ روند رو به رشد مصرف آب و آلاینده‌های متنوع حاصل از کاربردهای مختلف، نگاه به منابع آب و فرآیندهای مختلف تصفیه آب معطوف شده است. در این راستا، آگاه‌سازی جامعه نسبت به نقش آب در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور نیز حائز اهمیت است. صنعت آب و فاضلاب به دلیل تغییرات شرایط اقلیمی، ضرورت سازگاری با کم‌آبی و اهمیت بازچرخانی پساب، از جایگاه ویژه‌ای در توسعه پایدار برخوردار است. آبرسانی و تأمین آب شرب سالم و کافی به صورت پایدار به آحاد مردم، از رسالت‌های بنیادی شرکت‌های آب و فاضلاب محسوب می‌شود. کلیه مشترکین در حد استانداردهای ملی باید به آب شرب کافی و بهداشتی دسترسی داشته و همچنین امکانات جمع‌آوری، انتقال و تصفیه فاضلاب نیز به عنوان اولویت اساسی در سطح کشور فراهم گردد.

با توجه به اهمیت تأمین آب از منابع آب شور و لب شور و تصفیه فاضلاب‌های صنعتی در راستای برنامه‌های حفاظت منابع آب و محیط زیست، امکان بهره‌گیری از فناوری‌های نوین از جمله سامانه‌های الکترودیالیز وجود دارد. این کتاب حاوی مطالب جامع و مفیدی در خصوص فرآیند الکترودیالیز، خصوصیات و کاربردهای آن در تصفیه آب و فاضلاب است که به‌خوبی توانسته است اطلاعات علمی و تخصصی را در اختیار قرار دهد. مطالعه این کتاب به اساتید دانشگاه، کارشناسان، دانشجویان، محققین و مهندسين علاقه‌مند به فناوری‌های غشایی توصیه می‌گردد. لازم است در پایان از زحمات کمیته تحقیقات شرکت آب و فاضلاب شیراز و مترجمین این کار ماندگار و همچنین از آقای مهندس یعقوبی دبیر کمیته علمی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور تشکر و قدردانی گردد. امیدواریم نگارش این کتاب، گامی در راستای پیشرفت و تعالی صنعت آب و فاضلاب کشور باشد.

احمد سیاحی

مدیر کل دفتر تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط
با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

الله‌بخش نظرپور

رئیس هیئت مدیره و مدیر عامل
شرکت آب و فاضلاب شیراز

تقدیم به

انسانهایی که

به فردایی بهتر

می‌اندیشند.

مقدمه ناشر

سپاس بی‌کران پروردگار را که به انسان قدرت اندیشیدن بخشید، قدرتی که در مقایسه با سایر موجودات باعث شده است که انسان هرگز به امکانات محدود خود اکتفا نکند. مکاتب الهی، انسان را موجودی کمال‌طلب و پویا می‌دانند که جهت‌گیری او به سوی خالقش می‌باشد. از جمله راه‌های تقرب به خداوند علم است، علمی که زیبایی عقل است. علمی که در دریای بیکران آن هر ذره نشانی از آفریدگار است و هر چه علم انسان افزون گردد، تقریبش بیشتر می‌شود. از این روست که به علم‌اندوزی و دانش‌آموزی توجهی بی‌نظیر مبذول گردیده است. اما علم‌آموزی به ابزاری نیاز دارد که مهمترین آن کتاب است و انتشار نتیجه مطالعات پژوهشگران و اندیشمندان پاسخگوی این نیاز خواهد بود.

جهت تحقق این امر و گام برداشتن در جهت ارتقای پایه‌های علم و دانش و رشد و شکوفایی استعدادها انتشار کتاب را یکی از اهداف خود قرار داده و انتظار داریم با حمایت‌های معنوی هموطنان گرامی بتوانیم گام‌های مؤثر و ارزشمندی را برداریم. گرچه تلاش خواهد شد در حد دانش و تجربه اندکمان کارهایی بدون اشکال تقدیم حضورتان گردد، ولی اذعان داریم که راهنمایی‌های شما عزیزان می‌تواند ما را در ارتقای کیفی کتاب راهگشا باشد لذا همیشه منتظر پیشنهادات و راهنمایی‌های شما خواهیم بود.

در پایان از همه عزیزانی که در مراحل مختلف تهیه، تدوین و چاپ کتاب از همفکری و همکاری آن‌ها برخوردار بوده‌ام به‌خصوص همکاران محترم کمیته تحقیقات شرکت آب و فاضلاب شیراز به‌خصوص آقای مهندس تقی‌زاده، همچنین آقایان مهندس مهدی اسدی و مهندس حسین عطایی فر (نویسندگان) و مهندس علی‌محمدخانی (مدیر فروش) سپاسگزاری نموده و موفقیت روزافزونشان را آرزومندم.

مهدی خانی

مدیر مسئول انتشارات آوای قلم

مقدمه نویسندگان

امروزه جداسازی با استفاده از غشاهای مصنوعی اهمیت چشمگیری پیدا نموده است. در حال حاضر فرآیندهای غشایی در یک مقیاس وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از الکترودیالیز به دلیل رویکردهای فناوری‌های غشایی به عنوان یک فناوری زیست‌محیطی پیشرفته که توانایی توسعه مراحل تصفیه پاک را جهت بازیافت آب در فرآیندهای صنعتی داراست دارای اهمیت بسزایی است. این موضوع روشن است که الکترودیالیز به عنوان یکی از فناوری‌های الکتروشیمیایی موجب حذف آلاینده‌های یونی از آب و پساب می‌شود. اصول فرآیند الکترودیالیز حدود ۷۰ سال پیش شناخته شد و پس از آن کاربرد صنعتی در مقیاس وسیع آن بعد از توسعه واحدهای غشایی چند سلولی و تولید غشاهای تبادل یونی پایدار و کارآمد آغاز گردید. اگر چه عمده‌ترین کاربرد الکترودیالیز نمک‌زدایی آب‌های شور است اما در سال‌های اخیر سایر کاربردهای آن مانند تصفیه فاضلاب‌های صنعتی ویژه توسعه چشمگیری داشته است.

کتاب حاضر ترجمه‌ای از کتاب "الکترودیالیز و استفاده مجدد از پساب" است و مطالب دیگری نیز به آن افزوده شده است، مشتمل بر دوازده فصل می‌باشد. در سه فصل اول تا سوم کتاب، اصول جداسازی در غشاهای، عوامل کنترل، مفهوم غشاهای یونی و جنبه‌های عمومی فرآیندهای جداسازی غشایی و فصل چهارم تا ششم در خصوص اصول الکترودیالیز، جنبه‌های عمومی و عوامل کنترل کیفیت فرآیند الکترودیالیز بحث گردیده است. در فصل هفتم کتاب، کاربرد الکترودیالیز در نمک‌زدایی و تصفیه آب و فصل‌های هشتم تا دوازدهم تصفیه فاضلاب‌های صنعتی از قبیل فاضلاب صنایع دباغی، فاضلاب‌های حاوی فسفات، فاضلاب پالایشگاه‌ها و فاضلاب صنایع آبکاری حاوی کروم شش ظرفیتی و سیانید فلزی ارائه شده است. با این حال، بدیهی است که این اثر بی‌عیب و بدون اشکال نیست. لذا از کلیه اساتید، متخصصان و کارشناسان محترم تقاضا می‌کنیم با ارائه نظرات و پیشنهادات مفید و ارزنده خود ما را یاری نموده تا در بازنگری و اصلاح کتاب در چاپ بعدی، معایب و نقایص موجود برطرف گردد. با امید به اینکه چاپ این کتاب بتواند گام موثری در بهبود روند تصفیه فاضلاب‌های صنعتی ویژه و بازیابی عناصر ارزشمند با رویکرد حفظ محیط زیست و رفع معضلات زیست‌محیطی ناشی از دفع فاضلاب‌های صنعتی ایجاد نماید و همچنین بتواند بخشی از خلأ موجود در این زمینه را بر طرف نماید.