

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# سیستم‌های غشایی در تصفیه فاضلاب

تألیف

فدراسیون محیط زیست آب

مترجمان

دکتر ناصر مهردادادی

دکتر علی وثوق

مهندس مهدی قلی زاده دوران محله



شماره مسلسل ۸۹۳۵

شماره انتشار ۳۷۷۵

انتشارات دانشگاه تهران

عنوان و نام پدیدآور	: سیستم‌های غشایی در تصفیه فاضلاب / [فدراسیون محیط زیست آب]؛ مترجمان ناصر مهرداد، علی وثوق، مهدی قلی‌زاده دوران محله.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۲۳۲ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۷۷۵.
شابک	: 978-964-03-6978-4
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Membrane Systems for Wastewater Treatment, 2006
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: آب-- تصفیه -- پالایش غشا
موضوع	: فاضلاب-- تصفیه-- حذف مواد مغذی
شناسه افزوده	: مهرداد، ناصر، ۱۳۳۷-، مترجم
شناسه افزوده	: وثوق، علی، ۱۳۵۹-، مترجم
شناسه افزوده	: قلی‌زاده دوران محله، مهدی، ۱۳۵۹-، مترجم
شناسه افزوده	: فدراسیون محیط زیست آب
شناسه افزوده	: Water Environmental Federation (WEF)
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات
رده‌بندی کنگره	: TD ۴۴۲/۵/س۹ ۱۳۹۶
رده‌بندی دیوبی	: ۶۲۸/۱۶۲۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۴۰۸۱۰۴

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.

ISBN:978-964-03-6978-4



9 789640 369784

عنوان: سیستم‌های غشایی در تصفیه فاضلاب  
ترجمه: دکتر ناصر مهرداد - دکتر علی وثوق - مهندس مهدی قلی‌زاده دوران محله  
نوبت چاپ: اول  
تاریخ انتشار: ۱۳۹۶  
شمارگان: ۵۰۰ نسخه  
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران  
چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مترجمان است»

بها: ۱۵۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران  
پست الکترونیک: [press@ut.ac.ir](mailto:press@ut.ac.ir) - تارنما: <http://press.ut.ac.ir>  
پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

- ۱..... تاریخچه تصفیه غشایی برای فاضلاب
- ۲۷..... روش‌های متداول در کاربرد تصفیه فاضلاب
- ۴..... بازیابی فاضلاب
- ۷..... قانون‌ها و فناوری‌های استفاده مجدد
- ۹..... کاربردهای غشا

### فصل دوم: مروری بر تجهیزات و سیستم‌های غشایی

- ۱۳..... مقدمه
- ۱۳..... اصطلاحات کاربردی غشا
- ۱۳..... جریان ورودی یا آب تغذیه‌ای
- ۱۳..... خروجی یا فیلترکننده
- ۱۳..... مایع غلیظ یا باقیمانده
- ۱۴..... شار جریان
- ۱۴..... بازیابی یا بازیافت
- ۱۴..... حذف آلاینده
- ۱۴..... محدودیت اندازه
- ۱۴..... وزن مولکولی آستانه یا وزن مولکولی اسمی
- ۱۵..... گرفتگی غشا
- ۱۵..... فشار انتقالی غشایی
- ۱۵..... فشار مؤثر خالص
- ۱۵..... نفوذپذیری یک غشا
- ۱۶..... طبقه‌بندی غشاها
- ۱۷..... اصطلاحات مربوط به اجزای سیستم غشایی
- ۱۸..... مدول غشایی
- ۱۸..... سیستم‌های غشایی غوطه‌ور
- ۲۰..... ساختار و مواد یک غشاء
- ۳۰..... شکل و اجزای سیستم‌های غشایی

ث □ سیستم‌های غشایی در تصفیه فاضلاب

- ۳۰ - تأسیسات تصفیه مقدماتی.....
- ۳۰ - متعادل‌سازی جریان.....
- ۳۰ - آشغالگیری ریز.....
- ۳۲ - دانه‌گیری.....
- ۳۲ - چربی‌ها، روغن‌ها و گریس و حذف کردن آنها.....
- ۳۲ - اجزای تجهیزات سیستم غشایی.....
- ۳۳ - غشاها و تجهیزات مربوط.....
- ۳۳ - سیستم فیلتراسیون.....
- ۳۴ - بهره‌برداری و نگهداری از سیستم‌های غشایی.....
- ۳۵ - سیستم‌های شست‌وشو در محل.....
- ۳۶ - سیستم‌های کنترل.....
- ۳۹ - ابزارها و کنترل‌های رایج.....
- ۳۹ - سیستم‌های هشدار فشار بین غشایی.....
- ۴۰ - شست‌وشوی معکوس.....
- ۴۳ - سیستم‌های تصفیه نهایی.....

فصل سوم: بیوراكتورهای غشایی

- ۴۵ - مقدمه.....
- ۴۶ - کاربردها.....
- ۵۰ - کیفیت آب.....
- ۵۰ - کیفیت جریان ورودی.....
- ۵۱ - کیفیت جریان خروجی.....
- ۵۲ - سازوکار تصفیه.....
- ۵۳ - سازندگان تجهیزات.....
- ۵۴ - ساختارهای فرایندی.....
- ۵۴ - پیش‌نیازهای تصفیه مقدماتی (واحدهای پیش‌تصفیه).....
- ۵۴ - آشغالگیری.....
- ۵۵ - ته‌نشینی اولیه.....
- ۵۵ - تصفیه بیولوژیکی.....

فهرست مطالب □ ج

۵۵	- حذف نیتروژن .....
۵۸	- برگشت مایع مخلوط .....
۵۸	- زمان ماند مواد جامد (زمان ماند سلولی) .....
۵۹	- کیفیت لجن فعال .....
۶۰	- غلظت جامدات معلق موجود در مایع ترکیبی (MLSS) .....
۶۰	- انتقال اکسیژن .....
۶۰	- جداسازی غشایی .....
۶۱	- سیستم‌های شست‌وشو و تغذیه شیمیایی .....
۶۲	- تصفیه نهایی .....
۶۲	- دفع مواد باقیمانده .....
۶۳	- ساختار تجهیزات .....
۶۳	- اجزای تجهیزات بیوراکتورهای غشایی .....
۶۳	- تجهیزات بیوراکتور .....
۶۳	- دمنده‌های فرایند بیولوژیکی .....
۶۴	- سیستم هوادهی در فرایندهای بیولوژیکی .....
۶۵	- پمپ‌های گردش مجدد مایع مخلوط .....
۶۶	- همزن‌ها .....
۶۶	- تجهیزات فیلتراسیون غشایی .....
۶۷	- ساختار غشایی .....
۶۷	- سیستم انتشار .....
۶۹	- پمپ‌های جریان معکوس .....
۶۹	- مخازن جریان معکوس .....
۷۰	- سیستم‌های پاکسازی .....
۷۱	- دمنده‌های شوینده هوایی غشایی .....
۷۲	- پمپ‌های تخلیه .....
۷۳	- کمپرسورهای هوایی برای قطعات سیستم پنوماتیکی (بادی) .....
۷۳	- ذخیره موقت .....
۷۳	- تجهیزات و کنترل‌ها .....
۷۳	- کنترل کننده‌های قابل برنامه‌ریزی منطقی .....

- ۷۴ - کدورت سنج‌ها.....
- ۷۴ - سنجش اکسیژن محلول.....
- ۷۵ - بهره برداری.....
- ۷۵ - فرایند پیش تصفیه.....
- ۷۵ - راهبری فرایندهای بیولوژیکی.....
- ۷۵ - لجن مازاد.....
- ۷۶ - اکسیژن محلول.....
- ۷۷ - قلیائیت و مقدار pH.....
- ۷۷ - فیلتراسیون غشایی - روش‌های بهره‌برداری.....
- ۷۸ - نفوذ (انتشار).....
- ۷۸ - رهاسازی (آرامش).....
- ۷۸ - جریان معکوس / شست‌وشوی معکوس.....
- ۷۹ - جریان یا شست‌وشوی معکوس شیمیایی تقویت شده (شست‌وشوی نگهداری).....
- ۷۹ - پاکسازی به منظور احیای (بازیابی) سیستم.....
- ۷۹ - کنترل جریان.....
- ۸۰ - هوادهی غشایی.....
- ۸۰ - هشدارها و ویژگی‌ها.....
- ۸۱ - تغییرات عملکردی متأثر از تغییرات اتفاقی و فصلی.....
- ۸۱ - مدیریت ظرفیت.....
- ۸۲ - بهینه‌سازی جریان.....
- ۸۲ - پایش روزمره.....
- ۸۲ - سیستم پیش تصفیه.....
- ۸۳ - تصفیه بیولوژیکی.....
- ۸۴ - سیستم‌های غشایی.....
- ۸۴ - عملکرد سیستم.....
- ۸۵ - تأسیسات و تجهیزات.....
- ۸۶ - نگهداری.....
- ۸۶ - پاکسازی.....
- ۸۶ - پاکسازی به منظور نگهداری.....

فهرست مطالب □ خ

۸۷	- پاکسازی به منظور احیای سیستم
۹۰	- پاکسازی فیزیکی
۹۱	- صحت سیستم غشایی
۹۱	- آزمایش درستی
۹۲	- شناسایی و تعمیر اجزای غشایی آسیب دیده
۹۲	- کالیبراسیون تجهیزات
۹۳	- رفع اشکال

فصل چهارم: غشاهای کم فشار برای تصفیه جریان خروجی

۹۵	- مقدمه
۹۵	- کاربردها
۹۶	- کیفیت آب ورودی
۹۷	- کیفیت آب تصفیه شده
۹۸	- سازوکار تصفیه
۹۹	- ایمنی
۱۰۰	- ساختار فرایند
۱۰۱	- سیستم غشایی
۱۰۲	- ذخیره مواد شیمیایی و سیستم های تغذیه ای
۱۰۳	- تصفیه نهایی
۱۰۳	- جابه جایی مواد باقیمانده
۱۰۵	- تنظیمات تجهیزات:
۱۰۵	- اجزای تصفیه مقدماتی (پیش تصفیه)
۱۰۶	- اجزای تجهیزات غشایی
۱۰۷	- بهره برداری
۱۰۷	- تصفیه مقدماتی (پیش تصفیه)
۱۱۰	- سیستم های خودکار
۱۱۰	- کنترل جریان تصفیه
۱۱۱	- هشدار دهنده های فشار میان غشایی
۱۱۱	- سیستم شست و شوی معکوس

۱۱۱	- مدیریت تولید
۱۱۲	- تصفیه مقدماتی (پیش تصفیه)
۱۱۳	- جریان طراحی و بهره‌برداری
۱۱۳	- دفعات شست‌وشوی معکوس
۱۱۴	- توالی پاکسازی در محل
۱۱۴	- تغییرات فصلی در بهره‌برداری
۱۱۴	- پایش منظم
۱۱۵	- سیستم پیش تصفیه (تصفیه مقدماتی)
۱۱۵	- سیستم غشایی
۱۱۶	- شاخص‌های آزمایشی
۱۱۶	- تحلیل اطلاعات و گزارش‌دهی
۱۱۸	- نگهداری
۱۱۸	- شست‌وشوهای شیمیایی
۱۱۸	- صحت سنجی
۱۱۹	- شست‌وشوی و تمیز کردن مخزن
۱۲۱	- تنظیم تجهیزات
۱۲۱	- عیب‌یابی

### فصل پنجم: نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس در تصفیه پیشرفته

۱۲۳	- مقدمه
۱۲۳	- کاربردها
۱۲۴	- کیفیت آب
۱۲۵	- سازوکار تصفیه
۱۲۵	- شرکت‌های سازنده تجهیزات
۱۲۶	- ایمنی
۱۲۶	- تنظیمات فرایند
۱۲۶	- پیش تصفیه
۱۲۷	- کنترل ذرات معلق
۱۲۸	- کلر زنی / کلر زدایی



۱۲۹	- پیشگیری از ترسیب
۱۳۰	- پلی فسفونات‌ها
۱۳۱	- پلی آکریلات‌ها
۱۳۱	- تصفیه غشایی
۱۳۲	- سیستم‌های شست‌وشوی شیمیایی
۱۳۲	- تجهیزات تصفیه نهایی
۱۳۳	- دفع جریان تغلیظ شده
۱۳۴	- تنظیمات تجهیزات
۱۳۴	- اجزای تجهیزات فرایند غشایی
۱۳۴	- ردیف‌های غشایی دو و سه مرحله‌ای
۱۳۵	- ردیف‌های غشایی دو مجرای یا دو مجرای ناقص
۱۳۶	- استوانه‌های غشایی
۱۳۶	- تجهیزات و بازبینی‌های متداول
۱۳۶	- بهره‌برداری
۱۳۷	- شیمی تصفیه مقدماتی
۱۳۷	- انسداد
۱۳۸	- نمک‌های سولفات
۱۳۸	- سیلیس
۱۳۸	- مواد آلی
۱۳۹	- تجهیزات و کنترل‌های متداول
۱۳۹	- احیا
۱۴۰	- جریان ورودی و اختلاف فشار
۲۰۳	- PH
۱۴۱	- سیستم‌های وابسته به رویداد
۱۴۱	- رویدادهای شست‌وشو
۱۴۱	- تغییرات منبع آب
۱۴۲	- تشکیل لایه بیولوژیکی
۱۴۲	- مدیریت ظرفیت
۱۴۲	- بهینه‌سازی فرایند

- ۱۴۳..... - اجزای غشایی کم‌مصرف.....
- ۱۴۳..... - وسایل بازیابی انرژی.....
- ۱۴۳..... - پیش‌تصفیه شیمیایی.....
- ۱۴۴..... - پایش روزمره.....
- ۱۴۴..... - آب ورودی.....
- ۱۴۵..... - سیستم غشایی.....
- ۱۴۶..... - تفسیر اطلاعات و گزارش‌دهی.....
- ۱۴۷..... - درصد حذف.....
- ۱۴۷..... - ضریب انتقال جرمی (شدت جریان خاص).....
- ۱۴۷..... - اختلاف فشار.....
- ۱۴۷..... - نگهداری.....
- ۱۴۷..... - پاکسازی‌های شیمیایی.....
- ۱۴۹..... - آزمایش صحت‌سنجی.....
- ۱۵۰..... - تنظیم تجهیزات.....
- ۱۵۰..... - عیب‌یابی.....

### فصل ششم: تحقیقات کاربردی درباره سیستم‌های غشایی

- ۱۵۳..... مقدمه.....
- ۱۵۴..... - تحقیق کاربردی شماره ۱- تصفیه‌خانه بازیافت آب رانینگ اسپرینگز.....
- ۱۵۹..... - تحقیق کاربردی شماره ۲- تجهیزات بازیافت آب همپتونز.....
- ۱۶۴..... - تحقیق کاربردی شماره ۳- تجهیزات تصفیه فاضلاب منطقه‌ای شهر تراورس:.....
- ۱۶۹..... - تحقیق کاربردی شماره ۴- تجهیزات بازیافت آب کی کلونی.....
- ۱۷۳..... - تحقیق موردی شماره ۵- تصفیه‌خانه بازیافت آب وست بیسین.....
- ۱۷۸..... - تحقیق موردی شماره ۶- تصفیه‌خانه بازیافت آب با اسمز معکوس چندلر آریزونا.....
- ۱۸۴..... - تحقیق موردی شماره ۷: مجموعه آبی اسکاتسدیل.....
- ۱۹۰..... واژه‌نامه.....
- ۱۹۱..... ضمیمه ۱.....
- ۱۹۹..... منابع و مآخذ.....

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- تاریخچه توسعه کاربرد انواع غشاها در ایالات متحده آمریکا در طول زمان ..... ۲
- جدول ۱-۲- خلاصه‌ای از قوانین سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا در خصوص استفاده مجدد از آب ..... ۶
- جدول ۱-۳- کاربردهای متداول انواع غشاها بر اساس نوع استفاده مجدد ..... ۷
- جدول ۱-۴- کاربردهای فناوری‌های غشایی در تصفیه فاضلاب ..... ۹
- جدول ۱-۴- ادامه جدول ۱-۴- کاربردهای فناوری‌های غشایی در تصفیه فاضلاب ..... ۱۰
- جدول ۱-۲- ویژگی‌های کلی غشاها اندازه منافذ و فشار هنگام بهره‌برداری برای ..... ۲۲
- جدول ۲-۲- خصوصیات مواد تشکیل‌دهنده غشاها ..... ۲۳
- جدول ۲-۳- مزایا و معایب مواد مختلف غشاها ..... ۲۹
- جدول ۲-۴- خلاصه‌ای از ویژگی‌های غشاها میکروفیلتراسیون و اولتراسیون ..... ۳۸
- جدول ۲-۵- خلاصه‌ای از روش‌های پایش یکنواخت سازی ..... ۵۲
- جدول ۳-۱- نمونه کیفیت خروجی MBRهای شهری ..... ۸۳
- جدول ۳-۲- پیش‌نیازهای معمول سنجش سیستم بیوراکتورهای غشایی ..... ۸۹
- جدول ۳-۳- انتخاب مواد شیمیایی در شست‌وشوی بازیابی ..... ۹۴
- جدول ۳-۴- رفع عیب رآکتور بیولوژیکی غشایی ..... ۹۶
- جدول ۴-۱- کیفیت آب ورودی (جریان خروجی نوع دوم) متداول ..... ۹۸
- جدول ۴-۲- کیفیت متداول آب تصفیه‌شده برای تأسیسات میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون ..... ۹۹
- جدول ۴-۳- ابعاد ظاهری برخی از ذرات کوچک، مولکول‌ها و یون‌ها ..... ۱۰۴
- جدول ۴-۴- ویژگی‌های متداول محلول شیمیایی شست‌وشو در غشاها کم فشار ..... ۱۰۴ (مرجع: AWWA, 2003; WERE, 2005)
- جدول ۴-۵- اندازه‌های متداول منفذ درغشاها UF/MF و دستگاه‌های متداول تصفیه مقدماتی (پیش تصفیه) ..... ۱۰۶
- جدول ۴-۶- کمترین پیش‌نیازهای سنجش برای تأسیسات میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون ..... ۱۱۶
- جدول ۴-۷- زمان‌های متداول آزمون صحت سنجی غشایی ..... ۱۱۹
- جدول ۴-۸- رهنمودهای کلی عیب‌یابی برای تأسیسات میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون ..... ۱۲۲

- جدول ۵-۱- دامنه‌های متداول کیفی آب ورودی برای تأسیسات تصفیه اسمز معکوس ..... ۱۲۵
- جدول ۵-۳- فهرست متداول هشدارها برای سیستم اسمز معکوس ..... ۱۴۰
- جدول ۵-۴- پیش‌نیازهای پایش سیستم اسمز معکوس ..... ۱۴۶
- جدول ۵-۵- عیب‌یابی فرایند نانو فیلتراسیون و اسمز معکوس ..... ۱۵۱
- جدول ۶-۱- تصفیه‌خانه بازیابی آب رانینگ اسپرینگز ..... ۱۵۴
- جدول ۶-۲- داده‌های عملیاتی هیدرولیک رانینگ اسپرینگز ..... ۱۵۷
- جدول ۶-۳- شاخص‌های طراحی فرایند صاف سازی غشایی تأسیسات رانینگ اسپرینگز ..... ۱۵۸
- جدول ۶-۴- نتایج / پیش‌نیازهای تصفیه رانینگ اسپرینگز ..... ۱۵۹
- جدول ۶-۵- تأسیسات بازیافت آب همپتونز ..... ۱۶۰
- جدول ۶-۶- شاخص‌های طراحی فرایند فیلتراسیون غشایی همپتونز ..... ۱۶۳
- جدول ۶-۷- نتایج و محدودیت‌های تعیین‌شده در تأسیسات تصفیه همپتونز ..... ۱۶۳
- جدول ۶-۸- تأسیسات تصفیه فاضلاب منطقه شهر تراورس ..... ۱۶۵
- جدول ۶-۹- شاخص‌های طراحی فرایند فیلتراسیون غشایی شهر تراورس ..... ۱۶۷
- جدول ۶-۱۰- نتایج تصفیه و حدود مجاز ..... ۱۶۸
- جدول ۶-۱۱- تصفیه‌خانه بازیافت آب کی کلونی ..... ۱۷۰
- جدول ۶-۱۲- شاخص‌های طراحی فرایند صاف‌سازی غشایی در کی کلونی ..... ۱۷۲
- جدول ۶-۱۳- نتایج تصفیه و حدود مجاز در تأسیسات کی کلونی ..... ۱۷۲
- جدول ۶-۱۴- تصفیه‌خانه بازیابی آب وست بیسین ..... ۱۷۳
- جدول ۶-۱۵- کیفیت آب خروجی از تأسیسات تصفیه هایپرشن (HTP) ..... ۱۷۷
- جدول ۶-۱۶- کیفیت آب تولیدی اسمز معکوس تک و دو مجرای ..... ۱۷۷
- جدول ۶-۱۷- تأسیسات بازیافت آب صنعتی شهری چندلر ..... ۱۷۹
- جدول ۶-۱۸- کیفیت آب جریان خروجی تأسیسات RO در چندلر ..... ۱۸۲
- جدول ۶-۱۹- اصلاحات میدانی چندلر ..... ۱۸۳
- جدول ۶-۲۰- شرایط عملیاتی متداول چندلر در سال ۲۰۰۴ ..... ۱۸۳
- جدول ۶-۲۱- تأسیسات آب اسکاتسدیل ..... ۱۸۵
- جدول ۶-۲۲- کیفیت آب جریان ورودی برای تأسیسات آب اسکاتسدیل ..... ۱۸۶
- جدول ۶-۲۳- کیفیت آب جریان خروجی تأسیسات پیشرفته تصفیه آب ..... ۱۸۸

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- نمایشی از فرایندهای اسمز و اسمز معکوس ..... ۲
- شکل ۲-۱- نمایشی از استفاده مجدد غیر متمرکز ..... ۶
- شکل ۳-۱- مروری بر دیاگرامهای مختلف جریان غشایی ..... ۱۱
- شکل ۱-۲- مقایسه فرایندهای فیلتراسیون غشایی ..... ۱۷
- شکل ۲-۲- مجموعه‌ای از واحدهای میکروفیلتراسیون تحت فشار ..... ۱۹
- شکل ۳-۲- چند نمونه مدول اولترافیلتراسیون تحت فشار ..... ۲۰
- شکل ۴-۲- سطح مقطع انواع مختلف غشاها ..... ۲۱
- شکل ۵-۲- نمایشی از سطح مقطع غشای مسطح ..... ۲۴
- شکل ۶-۲- نمایشی از سطح مقطع غشاهای فیبر توخالی ..... ۲۵
- شکل ۷-۲- غشاهای فیبر توخالی مستغرق ..... ۲۵
- شکل ۸-۲- برش مدول فیبر توخالی بسته اولترافیلتراسیون ..... ۲۶
- شکل ۹-۲- تصویر ترسیم شده از یک مدول غشایی فیبری تو خالی محصور ..... ۲۷
- شکل ۱۰-۲- تصویر یک غشای پیستونی ..... ۲۷
- شکل ۱۱-۲- اجزاء غشای استوانه‌ای ..... ۲۷
- شکل ۱۲-۲- تصویر غشای مارپیچی ..... ۲۸
- شکل ۱۳-۲- نمونه‌ای از محفظه تحت فشار غشاهای مارپیچی ..... ۲۸
- شکل ۱۴-۲- نمایشی از یک آشغالگیر خودکار ..... ۳۱
- شکل ۱۵-۲- سیستم شست‌وشوی شیمیایی در تأسیسات غشایی کم فشار ..... ۳۶
- شکل ۱۶-۲- غشای کمفشار غوطه‌ور در طول شست‌وشوی معکوس ..... ۴۱
- شکل ۱-۳- نمایشی از سیستم لجن فعال متداول ..... ۴۶
- شکل ۲-۳- نمایشی از بیوراکتور خارجی ..... ۴۶
- شکل ۳-۳- نمایشی از بیوراکتور مستغرق ..... ۴۶
- شکل ۴-۳- مایع مخلوط و آب عبوری از غشا ..... ۵۱
- شکل ۵-۳- بیوراکتور غشایی - فقط نیتریفیکاسیون ..... ۵۶
- شکل ۶-۳- بیوراکتور غشایی برای حذف نیتروژن کل ..... ۵۷

- شکل ۳-۷- راکتورهای بیولوژیکی غشایی- حذف نیتروژن همراه با حذف شیمیایی فسفر..... ۵۷
- شکل ۳-۸- بیوراکتورهای غشایی- حذف بیولوژیکی مواد مغذی..... ۵۷
- شکل ۳-۹- نمودار جریان فرایند در تأسیسات متداول بیوراکتورغشایی..... ۶۴
- شکل ۳-۱۰- سیستم هواده حباب‌ریز..... ۶۴
- شکل ۳-۱۱- پمپ‌های بازگشت جریان..... ۶۵
- شکل ۳-۱۲- پمپ‌های تراوشی همراه با جداسازهای هوا..... ۶۸
- شکل ۳-۱۳- پمپ‌های موج برگشتی..... ۶۹
- شکل ۳-۱۴- سیستم هواشویی..... ۷۲
- شکل ۳-۱۵- کدورت سنج Hach..... ۷۴
- شکل ۳-۱۶- حالت‌های بهره‌برداری MBR..... ۷۷
- شکل ۴-۱- استفاده از آب تولیدی تأسیسات غشایی تصفیه فاضلاب در مقیاس واقعی..... ۹۵
- شکل ۴-۲- تصویر شماتیک جریان فرایند برای فیلتراسیون غشایی جریان خروجی..... ۱۰۰
- شکل ۴-۳- غربال‌های تصفیه مقدماتی در یک سیستم صاف‌سازی غشایی جریان خروجی..... ۱۰۱
- شکل ۴-۴- نمودار ترسیمی از یک سیستم فیلتراسیون غشایی جریان خروجی متداول..... ۱۰۲
- شکل ۴-۵- توصیف یک سیستم غشایی کم فشار شناور..... ۱۰۷
- شکل ۴-۶- سیستم تصفیه MF تحت فشار (USFILTER)..... ۱۰۸
- شکل ۴-۷- نمای مقطعی از یک آشغالگیر متداول..... ۱۰۹
- شکل ۴-۸- فشارهای عملیاتی متداول برای غشاهای کم‌فشار تصفیه‌کننده پساب خروجی ثانویه..... ۱۱۱
- شکل ۴-۹- میزان افت فشار در غشاهای UF تحت فشار دارای یک رشته شکسته و بدون ترک  
( $100 \text{ kPa} \approx 1.45 \text{ bar} \approx 1.45 \times 10^5 \text{ psi}$ )..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱۰- نمونه‌ای از سیستم تخلیه مخزن در یک تأسیسات غشایی کم‌فشار غوطه‌ور..... ۱۲۰
- شکل ۵-۱- تصویری از سیستم شست‌وشوی غشای اسمز معکوس..... ۱۳۲
- شکل ۵-۲- مراحل مختلف جریان تغلیظ‌شده (دفعی)..... ۱۳۵
- شکل ۵-۳- جریان غشایی دو مجرای..... ۱۳۵
- شکل ۵-۴- دستگاه شاخص تراکم لای (میکرون = میکرومتر)..... ۱۴۵
- شکل ۵-۵- دستگاه بررسی جریان تولیدی برای یک استوانه غشایی مارپیچی..... ۱۴۹
- شکل ۶-۱- نقشه مسیریابی مطالعات موردی..... ۱۵۳

شکل ۶-۲- رانینگ اسپرینگز بازیابی به یک MBR.....	۱۵۵
شکل ۶-۳- نمودار جریان فرایند برای تأسیسات بازیابی آب در رانینگ اسپرینگز.....	۱۵۶
شکل ۶-۴- شدت جریان و نفوذپذیری به همراه ارتقاء دهنده شدت جریان در ۱۳/۳ درجهٔ	
سانتی گراد.....	۱۵۸
شکل ۶-۵- تأسیسات بازیافت آب همپتونز.....	۱۶۰
شکل ۶-۶- داده‌های نیتروژن از تأسیسات بازیافت آب همپتونز.....	۱۶۱
شکل ۶-۷- داده‌های جامدات معلق مایع مخلوط از تأسیسات بازیافت آب همپتونز.....	۱۶۲
شکل ۶-۸- تصفیه‌خانهٔ MBR در شهر تراورس.....	۱۶۷
شکل ۶-۹- نمودار جریان فرایند در تصفیه‌خانهٔ بازیابی آب کی کلونی.....	۱۷۰
شکل ۶-۱۰- تصفیه‌خانهٔ بازیافت آب کی کلونی.....	۱۷۱
شکل ۶-۱۱- مرور کلی تأسیسات احیای فاضلاب چندلر.....	۱۷۹
شکل ۶-۱۲- نمودار جریان فرایند برای تأسیسات احیای فاضلاب چندلر.....	۱۸۱
شکل ۶-۱۳- نمودار جریان فرایند برای تأسیسات آب اسکاتسدیل.....	۱۸۵





## مقدمه

رشد و گسترش جوامع بشری موجب افزایش نیاز آبی آنها از یک سو و افزایش تولید آلاینده‌های زیست محیطی از جمله افزایش میزان تولید فاضلاب‌های خانگی و صنعتی از سوی دیگر شده است. انتخاب فرایندهای تصفیه فاضلاب باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر کاهش میزان بار آلودگی پساب‌های تولیدی، شاید موجب جبران بخشی از نیازهای آبی شود.

در این زمینه یکی از روش‌های پیشرفته تصفیه فاضلاب که در سال‌های اخیر در جهان مورد توجه قرار گرفته است، سیستم‌های غشایی تصفیه فاضلاب از جمله بیوراکتورهای غشایی هستند. بیوراکتورهای غشایی به طور کلی سیستم‌هایی هستند که در آنها تصفیه بیولوژیکی با فیلتراسیون غشایی ترکیب شده است. در این سیستم‌ها فیلتراسیون غشایی شاید جایگزین فرایندهای ته‌نشینی، فیلتراسیون و گندزدایی در روش‌های مرسوم تصفیه فاضلاب شوند. این سیستم‌ها به طور گسترده آزمایش شده‌اند و در حذف آلاینده‌های آلی و معدنی به طور کامل مؤثر بوده‌اند. کنترل خوب فعالیت‌های بیولوژیکی، کیفیت بالای پساب خروجی و عاری از باکتری و پاتوژن‌ها، نیاز به فضای کم و تحمل نرخ بارگذاری زیاد از جمله مزایای راکتورهای غشایی هستند.

عمده کاربردهای فعلی این گونه سیستم‌ها شامل تصفیه فاضلاب خانگی در جوامع کوچک، استفاده مجدد از پساب تصفیه شده در ساختمان‌های بزرگ، تصفیه فاضلاب‌های صنعتی و تصفیه شیرابه است. در ابتدا، کاربرد غشاها در تجهیزات و فرایندهای متوالی کنترل آلودگی آب، به استفاده در تصفیه تکمیلی محدود بود. استفاده از واحدهای اولترافیلتراسیون، میکروفیلتراسیون یا اسمز معکوس، بیشتر در مناطقی مطلوب بود که قانون‌ها و استانداردهای تخلیه پساب بسیار سختگیرانه بود یا پساب تصفیه شده به صورت مستقیم استفاده می‌شد. سرمایه‌گذاری اولیه زیاد، هزینه‌های زیاد بهره‌برداری به علاوه دانش کم در مورد این فناوری‌ها مهم‌ترین عوامل محدود کردن دامنه کاربرد فناوری‌های مذکور بودند. اما با کاهش قیمت غشاها و افزایش دانش در مورد این فناوری و سخت‌تر شدن فناوری‌های تخلیه پساب، به سیستم‌های غشایی به شدت توجه شد.

با توجه به مطالب مذکور می‌توان چنین استنتاج کرد که استفاده از بیوراکتورهای غشایی در تصفیه فاضلاب طی سال‌های اخیر مورد توجه متخصصان محیط‌زیست قرار گرفته است.

این کتاب ترجمه کتاب «بیوراکتورهای غشایی برای تصفیه فاضلاب» است. ناشر این کتاب فدراسیون آب جهانی بوده که تاکنون کتاب‌های مرجع زیادی را در زمینه مهندسی آب و فاضلاب و مهندسی محیط زیست منتشر کرده است.

این کتاب مشتمل بر شش فصل ابتدا مروری بر تجهیزات و سیستم‌های غشایی شده و در انتها تعدادی از تحقیقات کاربردی درباره سیستم‌های غشایی ارائه شده است. تازگی مباحث مرتبط با تصفیه پیشرفته فاضلاب، کم بودن کتاب‌های مرتبط با این موضوع به‌ویژه به زبان فارسی از یک سو و نیاز دانشجویان مهندسی محیط زیست و مهندسی آب و فاضلاب از سوی دیگر موجب شد تا گروه مترجمان به ترجمه این کتاب اقدام کنند. باید گفت ترجمه این کتاب خالی از اشکال و نقص نیست و گروه مترجمان از همکاری شما در رفع این‌گونه اشکال‌ها استقبال نقص امید است این کتاب مفید واقع شود. گروه مترجمان:

دکتر ناصر مهرداد: استاد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران؛

علی وثوق: درجه دکتری مهندسی عمران - مهندسی آب - دانشگاه علم و صنعت ایران؛

مهدی قلی‌زاده دوران محله: دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست دانشگاه تهران.