

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فروشوی زیستی پسماندهای جامد

نگارنده

دکتر سید محمد مودری

عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس

۱۳۹۸



- سرشناسه: موسوی، سیدمحمد، ۱۳۵۷ -
عنوان و نام پدیدآور: فروشویی زیستی پسماندهای جامع / نگارنده سیدمحمد موسوی؛ ویراستار ادبی و فنی رضا بیات.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه تربیت مدرس، دفتر نشر آثار علمی، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری: ۳۹۷ ص.
شابک: 978-622-703405-9
وضعیت فهرست نویسی: فیبا
موضوع: زباله و زیاله زدایی -- تجزیه زیستی
موضوع: Refuse and refuse disposal -- Biodegradation
حاصله افزوده: بیات، رضا ویراستار
شماره افزوده: دانشگاه تربیت مدرس. دفتر نشر آثار علمی
رده بندی کنگره: ۶۷۷/۵
رده بندی دیو: ۶۲۸/۵
شماره کتابشناسی ملی: ۹۲۸۵۰

فروشویی زیستی پسماندهای جامد

- نگارنده: دکتر سیدمحمد موسوی
ویراستار ادبی و فنی: دکتر رضا بیات
کارشناس اجرایی: فاطمه طالبی
طراح جلد: ترنج
صفحه آرای: فرشته نجفی
شماره انتشار: ۲۵۵
شماره پیاپی: ۳۳۵
تاریخ انتشار: ۱۳۹۸
شمارگان: ۵۰۰
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۷۰۳۴-۰۵-۹
ناشر: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس
نوبت چاپ: اول
ناظر چاپ: مصطفی جانجانی
لیتوگرافی: ایران گرافیک
چاپ و صحافی: قشقایی
مركز پخش: تقاطع بزرگراه‌های آل‌احمد و دکتر جمران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۱۴۱۱۵-۳۱۸
تلفن: ۸۲۸۸۳۰۹۶
دورنگار: ۸۲۸۸۳۰۳۲
آدرس اینترنتی فروش: pub.modares.ac.ir
بها: ۵۵۰۰۰۰ ریال

فهرست مطالب

پیشگفتار ز

فصل ۱- مقدمه و مبانی

۱-۱	پسماند جامد	۱
۲-۱	ضرورت مدیریت پسماندهای جامد	۳
۳-۱	روش‌های مدیریت پسماندهای جامد	۵
۴-۱	روش‌های بازیافت فلزها	۷
۱-۴-۱	پیرومتالورژی	۸
۲-۴-۱	هیدرومتالورژی	۱۰
۳-۴-۱	بیوهیدرومتالورژی	۱۳
۵-۱	فرایندهای زیستی بازیافت فلز	۱۵
۱-۵-۱	زیست‌بالایی	۱۵
۲-۵-۱	جذب زیستی	۱۶
۳-۵-۱	تجمع زیستی	۱۸
۴-۵-۱	فروشویی زیستی	۲۰
۶-۱	مقایسه روش‌های بازیافت فلزها	۲۱
	منابع	۲۴

فصل ۲- فروشویی زیستی

۱-۲	تعریف فروشویی زیستی	۲۷
۲-۲	تاریخچه فروشویی زیستی	۳۲
۳-۲	ریزاندامگان مؤثر در فروشویی زیستی	۳۶
۱-۳-۲	باکتری‌های کمولیتواتوتروف	۴۰

۴۴	۱-۱-۳-۲ ویژگی های باکتری اسیدی تیوباسیلدرس فرواکسیدانس
۴۷	۲-۱-۳-۲ تقسیم بندی ریزاندامگان اسید دوست بر مبنای محدوده دمایی
۵۰	۲-۳-۲ ریزاندامگان هتروتروف
۵۱	۱-۲-۳-۲ ریزاندامگان سیانوژنیک
۵۶	۲-۲-۳-۲ قارچ های تولید کننده اسید های آلی
۶۰	۳-۳-۲ فروشویی توسط کشت مخلوط ریزاندامگان
۶۱	۴-۲ سازوکار فروشویی زیستی توسط ریزاندامگان
۶۲	۱-۴-۲ سازوکار فروشویی زیستی کمولیتو اتوتروف ها
۶۶	۱-۴-۲ سازوکار سولفوریک اسید
۶۸	۲-۱-۴-۲ سازوکار یون تریک (Fe^{3+})
۷۲	۲-۴-۲ سازوکار فروشویی زیستی هتروتروف ها
۷۲	۱-۲-۴-۲ سازوکار ریزاندامگان هترو ف سیانوژنیک
۷۵	۲-۲-۴-۲ سازوکار قارچ های رزوترز - تولید کننده اسید آلی
۸۰	منابع

فصل ۳- انواع پسماند جامد

۸۵	۱-۳ پسماندهای جامد با محتوای فلزی بالا
۸۶	۲-۳ زباله های تجهیزات الکترونیکی و الکتریکی (WEEE)
۸۸	۱-۲-۳ ترکیب فلزها در زباله های الکترونیکی
۹۳	۲-۲-۳ حجم تولید زباله های الکترونیکی
۹۶	۱-۲-۲-۳ آمار زباله های الکترونیکی در ایران
۹۶	۳-۲-۳ بازیافت فلزها از زباله های الکترونیکی
۹۹	۴-۲-۳ تحقیقات در زمینه فروشویی زیستی پسماندهای الکترونیکی
۱۰۷	۳-۳ پسماند باتری های فرسوده
۱۱۳	۱-۳-۳ آمار باتری های فرسوده
۱۱۴	۲-۳-۳ بازیافت فلزها از باتری های فرسوده
۱۱۶	۳-۳-۳ تحقیقات در زمینه فروشویی زیستی پسماند باتری های لیتیم-یونی
۱۲۱	۴-۳-۳ تحقیق در زمینه فروشویی زیستی باتری های نیکل - کادمیم فرسوده
۱۲۳	۴-۳ صفحه نمایشگر فرسوده
۱۲۶	۱-۴-۳ بازیافت فلزها از LCD های فرسوده

۱۲۷.....	۲-۴-۳ تحقیقات در زمینه فروشویی زیستی پسماند صفحات نمایشگر کریستال مایع
۱۲۸.....	۵-۳ گل قرمز
۱۳۱.....	۱-۵-۳ گل قرمز در ایران
۱۳۱.....	۲-۵-۳ بازیافت فلزها از گل قرمز
۱۳۳.....	۳-۵-۳ تحقیقات در زمینه فروشویی زیستی گل قرمز
۱۳۷.....	۶-۳ انواع پسماند نیروگاه‌ها و کوره‌های صنعتی
۱۴۰.....	۱-۶-۳ بازیافت فلزها از پسماند نیروگاه‌ها و کوره‌های صنعتی
۱۴۴.....	۲-۶-۳ تحقیقات در زمینه فروشویی زیستی انواع پسماندهای نیروگاه‌ها و کوره‌های صنعتی
۱۴۴.....	۱-۶-۳ فروشویی زیستی گردوغبار دودکش کوره ذوب مس
۱۴۵.....	۲-۶-۳ فروشویی زیستی سرباره و انباشته کوره واگردان مس
۱۴۶.....	۱-۶-۳ فروشویی زیستی گردوغبار فیلتر کارخانه مس
۱۴۶.....	۴-۶-۳ فروشویی زیستی سرباره کوره دمش فولاد
۱۴۷.....	۵-۶-۳ فروشویی زیستی خاکستر بادی و خاکستر ته‌ماند کوره‌ها و دستگاه‌های زیاله‌سوز
۱۴۸.....	۷-۳ پسماند کاتالیست‌های فرسوده
۱۵۱.....	۱-۷-۳ بازیافت فلزها از پسماندهای کاتالیست فرسوده
۱۵۵.....	۲-۷-۳ فروشویی زیستی کاتالیست‌های فرسوده
۱۶۱.....	منابع

فصل ۴- فرایند فروشویی زیستی پسماندهای جامد

۱۷۳.....	۱-۴ مراحل فروشویی زیستی
۱۷۴.....	۲-۴ کشت ریزندامگان
۱۷۴.....	۱-۲-۴ کشت و آماده‌سازی باکتری‌های اسیددوست
۱۸۱.....	۲-۲-۴ کشت و آماده‌سازی سویه‌های فارچی
۱۸۶.....	۳-۲-۴ کشت و آماده‌سازی باکتری‌های سیانوزنیک
۱۸۹.....	۳-۴ آماده‌سازی پسماند
۱۹۰.....	۱-۳-۴ آماده‌سازی پسماند تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی
۱۹۱.....	۲-۳-۴ آماده‌سازی پسماند باتری‌های فرسوده
۱۹۳.....	۳-۳-۴ آماده‌سازی پسماند صفحات نمایش فرسوده
۱۹۴.....	۴-۳-۴ آماده‌سازی گل قرمز
۱۹۵.....	۵-۳-۴ آماده‌سازی پسماند نیروگاه‌ها و کوره‌های صنعتی

۱۹۷	۶-۳-۴ آماده‌سازی پسماند کاتالیست‌های فرسوده
۱۹۸	۴-۴ خودهی ریزاندامگان به پسماند
۲۰۰	۱-۴-۴ روش‌های ساز سازی باکتری‌ها
۲۰۱	۲-۴-۴ سازوکار باکتری‌ها برای سازگار شدن
۲۰۳	۳-۴-۴ روش‌ها و نتایج خودهی باکتری به پسماند
۲۰۳	۱-۳-۴-۴ خودهی باکتری‌های اسید دوست
۲۱۱	۲-۳-۴-۴ خودهی قارچ‌ها
۲۱۸	۳-۳-۴-۴ خودهی باکتری‌های سیانوزیک
۲۱۹	۵-۴ انواع روش‌های فروشویی زیستی
۲۲۸	۶-۴ فروشویی زیستی در زیست‌واکشتگاه
۲۳۵	۷-۴ آزمون سمیت
۲۳۹	۸-۴ مقایسه فروشویی زیستی با فروشویی شیمیایی
۲۴۵	منابع

فصل ۵- روش‌های آنالیز پسماند

۲۴۹	۱-۵ آنالیزهای لازم برای ارزیابی فرایندهای فروشویی زیستی
۲۴۹	۲-۵ آزمون‌های شناسایی پسماند جامد
۲۵۰	۱-۲-۵ تعیین pH پسماند جامد
۲۵۳	۲-۲-۵ سنجش ترکیب درصد نمونه
۲۵۸	۳-۲-۵ فازهای تشکیل‌دهنده ترکیبات فلزی
۲۶۶	۴-۲-۵ ریخت‌شناختی پسماند
۲۷۴	۵-۲-۵ طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ
۲۷۸	۳-۵ آنالیز محلول فروشویی زیستی
۲۸۰	۱-۳-۵ اندازه‌گیری پتانسیل اکسایش-کاهش
۲۸۱	۴-۵ اندازه‌گیری متابولیت‌های ریزاندامگان
۲۸۱	۱-۴-۵ اندازه‌گیری یون فریک
۲۸۲	۲-۴-۵ اندازه‌گیری یون سولفات
۲۸۴	۳-۴-۵ اندازه‌گیری میزان سیانید محلول
۲۸۶	۴-۴-۵ اندازه‌گیری اسیدهای آلی
۲۸۶	۵-۵ اندازه‌گیری رشد ریزاندامگان

۲۸۷.....	۱-۵-۵ شمارش سلولی.....
۲۸۷.....	۲-۵-۵ سنجش چگالی نوری.....
۲۸۸.....	۳-۵-۵ غلظت اکسیژن محلول در محیط.....
۲۹۰.....	۴-۵-۵ اندازه گیری وزن خشک سلولی.....
۲۹۰.....	۵-۵-۵ اندازه گیری یون های فلزی تجمع یافته در توده زیستی قارچ.....
۲۹۱.....	منابع.....

فصل ۶- بهینه سازی متغیرهای مؤثر بر فرایند

۲۹۵.....	۱-۶ متغیرهای تأثیرگذار.....
۲۹۵.....	۱-۱-۶ متغیرهای فیزیکی و شیمیایی.....
۳۰۱.....	۲-۱-۶ متغیرهای زیستی.....
۳۰۳.....	۳-۱-۶ متغیرهای وابسته به نمونه.....
۳۰۵.....	۴-۱-۶ ویژگی های انتخاب فرایند.....
۳۰۷.....	۵-۱-۶ عوامل الکتروشمیلیت.....
۳۰۹.....	۲-۶ طراحی آزمایش.....
۳۱۰.....	۱-۲-۶ روش سطح پاسخ.....
۳۱۳.....	۲-۲-۶ روش باکس-بنکن.....
۳۱۴.....	۳-۲-۶ نمونه هایی از طراحی به روش سطح پاسخ.....
۳۱۹.....	۳-۶ تحلیل آماری نتایج و مدل سازی ریاضی پاسخ ها.....
۳۲۵.....	۴-۶ بهینه سازی فرایند.....
۳۲۸.....	۵-۶ آزمون تأییدیه.....
۳۲۸.....	منابع.....

فصل ۷- سیتیک فروشویی زیستی و استفاده از کاتالیز

۳۳۵.....	۱-۷ سیتیک فروشویی زیستی.....
۳۴۰.....	۲-۷ مطالعات سیتیکی در فرایند فروشویی زیستی پسماندهای جامد.....
۳۴۵.....	۳-۷ استفاده از کاتالیز برای بهبود سیتیک فرایند فروشویی زیستی.....
۳۴۵.....	۱-۳-۷ استفاده از یون های فلزی به عنوان کاتالیز.....
۳۴۸.....	۲-۳-۷ استفاده از مواد فعال سطحی به عنوان کاتالیز.....
۳۴۹.....	۳-۳-۷ استفاده از کاتالیزهای کربنی.....

منابع ۳۵۱

فصل ۸- چشم انداز پژوهش های آینده

۱-۸ چالش های پیش روی فروشویی زیستی پسماندهای جامد ۳۵۳

۱-۱-۸ فروشویی زیستی در مقیاس صنعتی ۳۵۳

۱-۱-۱-۸ فروشویی توده ای ۳۵۴

۲-۱-۱-۸ فروشویی انباشته ۳۵۶

۱-۱-۸ فیه شویی مخزنی ۳۵۷

۲-۱-۸ نقش فناوری امیک در فروشویی زیستی پسماندهای جامد ۳۶۱

۳-۱-۸ جداسازی و غلظت سازی فلزها از محلول حاصل از فروشویی ۳۶۳

منابع ۳۶۴

واژه نامه فارسی به انگلیسی ۳۶۷

واژه نامه انگلیسی به فارسی ۳۷۱

نمایه ۳۷۵

پیشگفتار

پسماندهای جامد جزئی جدانشدنی از زندگی دنیای کنونی هستند. در چند دهه اخیر با پیشرفت صنعت و فناوری، حجم عظیمی از انواع مختلف پسماندهای جامد تولیدشده است. مهم‌ترین پسماندهای تولیدشده در صنعت شامل زباله‌های الکتریکی و الکترونیکی، لجن‌های آبکاری، باتری‌های فرسوده، کاتالیزورهای فرسوده، خاکسترهای بادی و پسماند نیروگاه‌ها است. در بسیاری از پسماندها، گستره وسیعی از مواد مانند پلیمر، شیشه، چوب و فلزها وجود دارد. در برخی از پسماندهای جامد بیش از ۵۰ نوع فلز وجود دارد که برخی بسیار خطرناک و سمی و برخی بسیار ارزشمند و گران‌بها هستند. مواجهه با حجم عظیم پسماندهای مختلف نیازمند مدیریتی صحیح و دقیق است. سه راهکار اصلی برای مدیریت پسماندها حذف، استفاده مجدد و بازیافت است. در به‌منظور حذف، پسماندهای جامد سوزانده شود فلزها و مواد خطرناک سمی وارد هوا می‌شود و اگر این پسماندها دفن شود محیط خاک در معرض آلودگی قرار می‌گیرد. درست‌ترین شیوه مدیریت پسماندهای جامد، بازیافت است. زیرا بازیافت به سلامت محیط‌زیست و همچنین حفظ ذخایر معدنی کمک می‌کند. در بخش بزرگی از معادن نیز پسماندهای جامد تولید می‌شود و دور ریختن آنها به معنای دور ریختن محتوای معادن است. پیرومتالورژی، هیدرومتالورژی و استفاده از فناوری زیستی سه روش اصلی برای بازیافت است. پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی دو روش سنتی هستند که هم‌اکنون در برخی از موارد از آنها استفاده می‌شود. این دو روش مصرف انرژی بالایی داشته و برای بازیافت بسیاری از پسماندهای جامد صرفه اقتصادی اندکی دارند و به‌علاوه به‌علت تولید مواد خطرناک در این فرایند، ایمنی کمی دارند. استفاده

از فناوری زیستی روشی نوین برای بازیافت پسماندهای جامد است. فروشویی زیستی شاخه‌ای مهم از زیست فناوری است که برای تصفیه پسماندهای جامد کارآمد است. در فروشویی زیستی، فلز مورد نظر توسط ریزاندامگان از حالت جامد به حالت محلول تبدیل می‌شود. مهم‌ترین ریزاندامگان‌های مورد استفاده در فروشویی زیستی باکتری‌های اسیددوست و قارچ‌های آسپرژیلوس نایجر و پنی‌سیلیوم سیمپلیسیسیموم هستند.

در این کتاب، فروشویی زیستی پسماندهای جامد شهری و صنعتی بررسی شده است. کتاب در هشت فصل تنظیم شده است. در فصل اول مبانی و مقدمات پسماندهای جامد، روش‌های مدیریت این دسته خطرناک از پسماندها، روش‌های بازیافت فلزها از پسماند جامد به‌ویژه روش زیستی تشریح شده است. فصل دوم به فرایند فروشویی زیستی، ریزاندامگان مناسب و سازوکار فروشویی زیستی اختصاص دارد. در فصل سوم، پسماندهای جامد شهری و صنعتی که فروشویی زیستی آنها مطالعه شده است، تشریح می‌شوند. بعضی از پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی شامل صفحه‌های مدار چاپی، باتری‌های فرسوده و صفحه‌های نمایشگر می‌روند. در میان پسماندهای صنعتی، گِل قرمز، کاتالیست‌های فرسوده، پسماندهای کوره و خاکستر بادی نیروگاه‌ها بررسی شده است. فصل چهارم که به مراحل انجام آزمایش‌های فروشویی زیستی پسماند جامد می‌پردازد، می‌تواند راهنمای پژوهشگران و دانشجویان مقاطع کارشناسی ارشد و دکترا باشد. در این فصل مراحل لازم، یعنی: کشت و آماده‌سازی ریزاندامگان، آماده‌سازی پسماند جامد، خودهی ریزاندامگان، انجام فروشویی زیستی، مقایسه نتایج با آزمایش‌های شیمیایی و آزمون سمیت تشریح شده است. در هر مورد نتایج پژوهش‌های قبلی در قالب جدول، نمودار و شکل گزارش شده است. فصل پنجم روش‌های آنالیز شیمیایی که در این زمینه پژوهشی کاربرد دارند، شرح داده می‌شود. در فصل ششم پارامترهای مؤثر بر فرایند فروشویی زیستی معرفی شده است. وجود پارامترهای متعدد، ضرورت استفاده از روش‌های طراحی آزمایش را نشان می‌دهد که در این فصل تشریح شده است. در فصل هفتم خلاصه‌ای از پژوهش‌های مرتبط با سینتیک فرایند فروشویی زیستی آورده شده است. موضوع فصل هشتم چالش‌های پیش‌رو در زمینه تجاری‌سازی فرایند فروشویی زیستی، استفاده از فناوری‌های آمیک در بررسی سازوکار ریزاندامگان در فروشویی زیستی و

جداسازی فلزها از محلول فروشویی است.

مجموعه حاضر برای تمامی دانشجویان علاقه‌مند به حوزه‌های زیست‌فناوری در مقاطع کارشناسی تا دکترا مناسب است. بی‌تردید این اثر برای تمامی مدرسان حوزه فروشویی زیستی منبع معتبری است و می‌تواند به‌عنوان کتاب درسی دانشگاهی تدریس شود. این کتاب می‌تواند در حوزه زیست‌فناوری، به‌عنوان کتاب کمک درسی تصویری واقعی از فرایندهای زیستی را برای دانشجویان ترسیم کند. این مجموعه همچنین برای صاحبان معادن راهگشای مناسبی است و می‌تواند معدن‌کاران را برای بهره‌گیری از فرایندهای زیستی در استخراج فلز از معدن به‌درستی راهنمایی کند. تألیف نشدن کتابی در حوزه فروشویی زیستی و پسماندهای جامد پیش از این، به اهمیت نشر کتاب «فروشویی زیستی پسماندهای جامد» دل‌افزاید. امید است که به اشتراک‌گذاری اندوخته‌های چندین ساله و نتایج پژوهش‌های انجام شده بتواند راهگشای مناسبی برای فعالان این حوزه باشد. در اینجا بر خود لازم می‌دانم از مدیر محترم انتشارات دانشگاه تربیت مدرس جناب آقای دکتر سید نجم‌الدین امیرشاه کرمی و نیز کارکنان کوشای آن مرکز به‌خصوص خانم‌ها آتوما فروهی، فاطمه طالبی، لیلا نجفی‌رمان، فرشید نجفی و همچنین آقای مصطفی جانجانی که با نهایت دقت و حوصله تمام مراحل نشر این کتاب اعم از حروف‌چینی، ویراستاری و صفحه‌آرایی، نمونه‌خوانی و چاپ نهایی را مدیریت کرده‌اند، صمیمانه تشکر کنم. در پایان از خانم‌ها دکتر مهسا بنی‌اسدی، دکتر مهدی‌رضا رشیدی و نیز آقای دکتر هادی حسینی و به‌ویژه دانشجویان گرانقدر دکتر خانم‌ها مهندس فاطمه وکیل‌چپ و مهندس نازنین بهاء‌لو هوره برای همکاری در ویرایش کتاب نهایت سپاس و قدردانی را دارم. مؤلف سعی کرده است کتابی با کمترین اشکال و ایراد در اختیار خوانندگان قرار دهد، ولی با وجود تمام تلاش‌های صورت گرفته ممکن است اشکالاتی در این مجموعه وجود داشته باشد، از این‌رو از تمامی استادان، دانشجویان و صنعتگران عزیز تقاضا می‌شود وجود هرگونه اشکال را به مؤلف یادآوری کنند تا انشاءالله نسخه‌های بعدی کاملتر در اختیار آنان قرار گیرد.

نگارنده