استفاده از فناوری‌های نوین در تصفیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و شیرابه زباله

تألیف

دکتر محمد دلنواز

عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی

مهندس شمیم امیری

www.ketab.ir

دانشگاه خوارزمی

تهران ۱۴۰۳

سرشناسه : دلنواز، محمد، ۱۳۶۲-
عنوان و نام پدیدآور : استفاده از فناوری‌های نوین فتوکاتالیستی/ پلاسما در تصفیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و شیرابه زباله/تالیف محمد دلنواز، شمیم امیری.
مشخصات نشر : تهران: دانشگاه خوارزمی ، ۱۴۰۳.
مشخصات ظاهری : ۳۰۵ ص.
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۹۱۳۹۵-۶-۱
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه.
موضوع : فاضلاب -- تصفیه -- کاتالیز نوری Sewage -- Purification -- Photocatalysis
شیرابه -- ایران -- تصفیه -- کاتالیز نوری Leachate -- Iran -- Purification -- Photocatalysis
زباله و زباله زدایی Refuse and refuse disposal
فناوری پلاسما Plasma technology
شناسه افزوده : امیری، شمیم، ۱۳۷۵- . دانشگاه خوارزمی
رده بندی کنگره : TD۷۴۵
رده بندی دیویی : ۶۲۸/۳
شماره کتابشناسی ملی : ۹۶۳۲۶۳۸
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

www.ketab.ir

دانشگاه خوارزمی

عنوان کتاب : استفاده از فناوری‌های نوین در تصفیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و شیرابه زباله
تألیف : دکتر محمد دلنواز، مهندس شمیم امیری
ناشر : دانشگاه خوارزمی
چاپ و صحافی : دانشگاه خوارزمی
صفحه‌آرا : صدیقه عرب
طراح جلد : فاطمه منظور
نوبت و سال چاپ : اول، ۱۴۰۳
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۹۱۳۹۵-۶-۱
شمار : ۵۰۰ نسخه
قیمت : ۳۰۰۰۰۰۰ ریال

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به انتشارات دانشگاه خوارزمی است.

آدرس: تهران، خ شهید مفتح، شماره ۴۳، کدپستی ۱۴۹۱۱- ۱۵۷۱۹ تلفن مرکز پخش: ۸۸۳۱۱۸۶۶
www.khu.ac.ir pub@khu.ac.ir

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

پیشگفتار ۹

فصل اول: آلاینده‌های آب و فاضلاب - خطرات و چالش‌ها ۱۳

مقدمه ۱۳

۱-۱. آلاینده‌های آب و فاضلاب ۱۴

۱-۱-۲. آلاینده‌های آلی ۱۶

۱-۱-۳. آلاینده‌های معدنی ۲۰

۱-۱-۴. آلاینده‌های نوظهور ۲۵

۱-۱-۵. پساب صنایع ۳۱

۱-۱-۶. شیرابه ۳۹

۱-۲. روش‌های حذف آلاینده‌ها ۴۴

۱-۲-۱. تصفیه فیزیکی ۴۴

۱-۲-۲. تصفیه بیولوژیکی ۵۱

۱-۲-۳. تصفیه شیمیایی ۵۲

۱-۲-۴. روش‌های نوین تصفیه پساب ۵۵

فصل دوم: کاربرد فناوری انعقاد الکتریکی برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی ۸۵

مقدمه ۸۵

۲-۱. تاریخچه فرایند انعقاد الکتریکی ۸۶

۲-۲. مکانیسم فرایند انعقاد الکتریکی ۸۷

۲-۲-۱. مکانیسم فرایند انعقاد الکتریکی برای مواد آلی ۸۹

۲-۳. پارامترهای بهره‌برداری ۹۱

۲-۴. عوامل مؤثر بر فرایند انعقاد الکتریکی ۹۳

۲-۴-۱. چگالی جریان ۹۳

۲-۴-۲. جنس الکترود ۹۸

۲-۴-۳. فاصله الکترودها از یکدیگر ۱۰۴

۲-۴-۴. شدت اختلاط ۱۰۷

۲-۴-۵. دما ۱۰۸

۲-۴-۶. هدایت الکتریکی و نوع الکترولیت ۱۰۸

www.ketab.ir

۲-۴-۷. اثر نوع آرایش الکترود ۱۱۰
۲-۴-۸. pH ۱۱۲
۲-۴-۹. ترکیب فرایند انعقاد الکتریکی و انعقاد شیمیایی ۱۱۵
۲-۴-۱۰. تأثیر پوشش الکترود ۱۱۶
۲-۵. حذف فلزات سنگین در فرایند انعقاد الکتریکی ۱۲۰
۲-۶. اثر سختی ۱۲۲
۲-۷. مزایا و معایب روش انعقاد الکتریکی ۱۲۳
۲-۸. کاربرد صنعتی انعقاد الکتریکی ۱۲۴
فصل سوم: کاربرد فناوری فتوکاتالیستی برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی ۱۲۷
مقدمه ۱۲۷
۳-۱. معرفی و تاریخچه‌ی فرایند فتوکاتالیست ۱۲۸
۳-۲. تئوری فرایند فتوکاتالیستی ۱۳۱
۳-۳. انواع فتوکاتالیست‌ها ۱۳۶
۳-۴. روش‌های سنتز نانوذرات ۱۴۱
۳-۵. نانوساختارها ۱۵۴
۳-۵-۱. خواص نانوساختارها ۱۵۶
۳-۶. بهبود کارایی فرایند فتوکاتالیستی با فتوکاتالیست‌های نانو ساختار ۱۶۰
۳-۷. نقاط کوانتومی یا کوانتوم‌دات‌ها ۱۶۴
۳-۷-۱. کوانتوم دات‌ها و خواص فتوکاتالیستی ۱۶۵
۳-۸. انواع رآکتورهای فتوکاتالیستی در تصفیه آب و پساب ۱۶۷
۳-۸-۱. رآکتورها از نظر حالت قرارگیری فوتوکاتالیست ۱۶۷
۳-۸-۲. رآکتورها از نظر منبع تابش ۱۶۹
۳-۹. عوامل مؤثر بر کارائی فرایند تصفیه فتوکاتالیستی ۱۷۴
۳-۹-۱. مقدار فتوکاتالیست ۱۷۵
۳-۹-۲. منبع نور ۱۷۷
۳-۹-۳. pH محلول ۱۸۱
۳-۹-۴. حضور مواد فعال‌کننده ۱۸۶
۳-۹-۵. زمان ماند ۱۹۱
۳-۹-۶. غلظت اولیه آلاینده ۱۹۴
۳-۱۰. قابلیت استفاده‌پذیری مجدد نانوکامپوزیت ۱۹۵
۳-۱۱. معدنی‌سازی ۱۹۷

www.ketab.ir

۳-۱۲. ویژگی‌ها و معایب فرایند فتوکاتالیستی متداول ۱۹۹
۳-۱۳. بهبود فعالیت فتوکاتالیستی با استفاده از جاذب‌ها یا سوبسترا ۲۰۰
۳-۱۳-۱. جاذب‌های کیتین و کیتوزان ۲۱۰
۳-۱۳-۲. پارامترهای بهره‌برداری مؤثر بر فرایند جذب ۲۱۲
۳-۱۳-۳. تحلیل نتایج آزمایشات واجذب ۲۲۴
۳-۱۴. کاربرد فتوکاتالیست‌ها در صنعت ۲۲۶
فصل چهارم: کاربرد فناوری پلاسما برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی ۲۲۹
مقدمه ۲۲۹
۴-۱ تاریخچه، ماهیت و مکانیسم فرایند پلاسما ۲۳۱
۴-۲. روش‌های ایجاد پلاسما ۲۳۳
۴-۳. طبقه‌بندی فرایند پلاسما ۲۳۴
۴-۴. طیفسنجی پلاسما ۲۳۸
۴-۵. تصفیه آلاینده‌های نوظهور با فرایند پلاسما ۲۴۰
۴-۵-۱. تأثیر غلظت آلاینده بر بازدهی حذف آن‌ها به روش پلاسما ۲۴۲
۴-۵-۲. اثر pH بر راندمان حذف ۲۴۹
۴-۵-۳. اثر ولتاژ بر راندمان حذف ۲۵۸
۴-۵-۴. اثر زمان ماند بر راندمان حذف ۲۶۶
۴-۵-۵. اثر میزان دوز استفاده شده پتاسیم پر سولفات و H_2O_2 بر راندمان حذف ۲۶۸
۴-۵-۶. اثر فاصله الکترود ولتاژ بالا از سطح محلول بر راندمان حذف ۲۷۵
۴-۵-۷. اثر ضخامت دیالکتریک بر راندمان حذف ۲۷۷
۴-۵-۸. تأثیر افزودن رادیکالخوارها بر راندمان حذف ۲۷۸
۴-۶. میزان معدنی‌سازی آلاینده‌ها و درصد حذف TOC و COD ۲۸۱
۴-۷. درصد ازن (O3) موجود بعد از تصفیه ۲۸۳
۴-۸. تغییرات pH و هدایت الکتریکی در طول تصفیه ۲۸۴
۴-۹. بررسی طیفهای تخلیه الکتریکی پلاسما در ولتاژهای مختلف ۲۸۶
۴-۱۰. بازدهی مصرف انرژی ۲۸۸
۴-۱۱. مزایا و معایب تخلیه پلاسما در تصفیه آب و فاضلاب ۲۹۰
۴-۱۲. فناوری پلاسما در صنعت آب و فاضلاب ۲۹۰
مراجع ۲۹۳

www.ketab.ir

پیشگفتار

کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع شده است، از این رو برنامه‌ریزی برای تصفیه فاضلاب‌های مختلف شهری و صنعتی و نیز استفاده مجدد از پساب تصفیه شده یک امر حیاتی است. کمتر کسی است که در سالیان اخیر اهمیت حفظ منابع آبی و استفاده مجدد از فاضلاب را درک نکرده باشد. از طرف دیگر با افزایش روزافزون جمعیت و گسترش شهرها، بر میزان فعالیت‌های انسانی از جمله فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و تجاری نیز افزوده شده است. تقاضا برای آب در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی به میزان چشمگیری افزایش‌یافته است و به ترتیب ۷۰، ۲۲ و ۸ درصد از آب شیرین موجود در کشور، در این بخش‌ها مصرف می‌شود که همین امر باعث تولید مقادیر بسیار زیادی فاضلاب که حاوی تعداد زیادی آلاینده است، شده است.

در مقیاس جهانی، بیش از دو سوم از سطح سیاره زمین را آب فراگرفته، اما تنها حدود ۱ درصد از آن به‌صورت مایع و قابل شرب است که انسان‌ها و سایر موجودات زنده می‌توانند با استفاده از آن، به حیات خود ادامه دهند. منابع آبی، منابع تجدیدپذیری هستند که برای استفاده مجدد از آن، به‌خصوص در صورت آلوده‌شدن، نیاز به هزینه و انرژی فراوانی است. آب تمیز یکی از مهم‌ترین عناصر برای زنده‌ماندن موجودات زنده است. بااین‌حال، به دلیل توسعه سریع جوامع صنعتی مدرن و افزایش گستردهٔ جمعیت، آلودگی محیط‌زیست و به‌ویژه منابع آب در سطح جهانی شدت پیدا کرده است و به مسئله‌ای جدی تبدیل‌شده است. منابع آبی بر اثر این‌چنین فعالیت‌های انسانی و با تخلیه مستقیم یا غیرمستقیم پساب که حاوی آلاینده‌های سمی آلی و غیرآلی هستند، نسبت به گذشته بیشتر در معرض آلودگی هستند. آلودگی منابع آب یکی از مشکلات و چالش‌های مهم دنیا و ایران است. انواع آلاینده‌های آب از جمله یون‌های فلزات سنگین، ترکیبات آلی، رنگ‌ها، مواد شیمیایی و سموم هستند که به‌محض ورودشان به آب، آن آب دیگر برای مصارف آشامیدنی بی‌خطر نبوده و گاهی اوقات تصفیهٔ کامل آلودگی‌های آن نیز بسیار دشوار است. آلاینده‌های آبی اغلب برای اکثر

www.ketab.ir

موجودات زنده بسیار خطرناک بوده و همچنین بر اکوسیستم نیز تأثیر می‌گذارند؛ بنابراین، حذف این آلاینده‌ها از آب آلوده، یک نیاز مبرم و فوری به‌منظور جلوگیری از واردشدن اثرات منفی بر سلامتی انسان و محیط‌زیست است. آلودگی آب‌ها که به‌واسطه فعالیت‌های خانگی، صنعتی، تجاری و کشاورزی ایجاد گشته، به موضوعی مهم در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه بدل شده است. امروزه اهمیت کنترل و تصفیه آلودگی‌های زیست‌محیطی بیش‌ازپیش احساس می‌گردد.

یکی از مشکلاتی که مهندسین طراح فرایندهای تصفیه فاضلاب در سال‌های اخیر با آن مواجه هستند حضور آلاینده‌های جدید علاوه بر ترکیبات شناخته شده قبلی فاضلاب است؛ بنابراین در بسیاری از موارد استفاده از روش‌های مرسوم راندمان مناسبی برای تصفیه این نوع فاضلاب‌ها نخواهد داشت. با تغییر در کیفیت فاضلاب‌های ورودی به تصفیه‌خانه‌ها ازیک‌طرف و نیاز به راه‌حل‌های جدید برای تصفیه فاضلاب‌ها با راندمان بالاتر و زمان کوتاه‌تر، مسیر استفاده از فناوری‌های نوین تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی را پیش روی مهندسین طراح قرار داده است. نمونه‌ای از روش‌های نوینی که در سالیان اخیر برای تصفیه آلاینده‌ها مورداستفاده قرار گرفته است فرایندهای فتوکاتالیستی[1] و پلاسما[2] است. حدود سال ۲۰۱۰ میلادی تحقیقات گسترده‌ای در استفاده از فرایندهای فتوکاتالیستی با استفاده از نانوذرات برای تصفیه فاضلاب ارائه شد که تاکنون نیز ادامه دارد. استفاده از لامپ‌های UV و مصرف انرژی ناشی از آن و نیز استفاده از نانوذرات گران‌قیمت همواره به‌عنوان یک چالش در این فناوری مطرح بوده است. ازاین‌رو از سال ۲۰۱۵ میلادی به بعد استفاده از نانو فتوکاتالیست‌ها توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرد تا بدون استفاده از انرژی لامپ و باتکیه‌بر انرژی خورشیدی بتوان فرایندهای اکسیداسیون و احیا را برای تصفیه فاضلاب‌ها بکار بست. در این فرایندها نیز هدف تولید تجاری نانوکامپوزیت‌ها با بیشترین راندمان و کمترین هزینه برای تصفیه فاضلاب‌ها در مقیاس واقعی است. شایان‌ذکر است که این

1. Photocatalysis
2. Plasma

www.ketab.ir

تحقیقات کماکان توسط محققان دانشگاه‌های مختلف دنیا و مراکز تحقیقاتی در حال انجام است. شاید استفاده از فناوری پلاسما برای استفاده در تصفیه فاضلاب را بتوان حرکت در مرز دانش برای دستیابی به یک فناوری کاربردی و جدید برای تصفیه فاضلاب دانست. در این روش بر خلاف دو روش دیگر استفاده از لامپ برای تحریک نانوذرات و حتی استفاده از نانوذرات برای تولید رادیکال‌های تخریب‌کننده آلودگی حذف شده است و با استفاده از قوس الکتریکی وارد شده به آب رادیکال‌های مربوطه که اکسیدکننده آلاینده‌های موجود در فاضلاب است تولید می‌شود. این روش که حرکت در مرز دانش برای تصفیه فاضلاب‌ها با کمترین هزینه و بالاترین راندمان است کمتر از چند سال است که توسط محققین موردتوجه قرار گرفته است.

کتاب حاضر که حاصل فعالیت بیش از ۱۵ساله مؤلف در استفاده از فرایندهای پیشرفته برای تصفیه آب و فاضلاب در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی است، به بررسی روش‌های مختلف برای تصفیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی، شیرابه‌ها[1] و آلاینده‌های نوظهور (EC)[2] پرداخته است. بسیاری از نتایج و نمودارهای ارائه شده در کتاب، حاصل اطلاعات اخذ شده از تحقیقات و دیدگاههای جدید و نوآوریهای علمی مؤلف و تیم تحقیقاتی در کارهای آزمایشگاهی بوده است که در بهترین مجلات در حوزه تخصصی مربوطه نیز به چاپ رسیده و مراجع مربوطه در انتهای کتاب ذکر شده است.

باتوجه به اینکه در تهیه کتاب نهایت تلاش شده است که فاقد هرگونه ایراد نگارشی و ویرایشی باشد بااین‌حال چاپ اول این کتاب می‌تواند دارای ایراداتی نیز باشد، ازاین‌رو مؤلف از خوانندگان گرامی تقاضا دارد که نکات اصلاحی خود را جهت بهبود کیفیت کتاب در چاپ‌های آتی به آدرس delnavaz@khu.ac.ir ارسال نمایند.

www.ketab.ir

1. Leachate
2. Emerging Contaminants