دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی‌درمانی اردبیل
دانشکده بهداشت

پایان‌نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد در رشته مهندسی بهداشت محیط

عنوان:

بررسی کارایی فرایند الکتروفنتون سه بعدی با آند $SS316/\beta\text{-}PbO_2$ و الکترودهای ذره ای نانو کاتالیزور $PAC\text{-}TiO_2$ درتجزیه بیس فنل A از فاضلاب

نگارنده:
زهرا محمدی

اساتید راهنما:
دکتر هادی صادقی
دکتر مهدی وثوقی

اساتید مشاور:
دکتر عبداله درگاهی
دکتر مهدی فضل زاده

زمستان ۱۴۰۲

سپاسگزاری

تقدیم به رفقای ابدی: پدر و مادر عزیزم

از آقای دکتر هادی صادقی و آقای دکتر مهدی وثوقی که به‌عنوان اساتید راهنما مسئولیت سنگینی را قبول زحمت فرمودند و مطمئناً بدون حمایت‌ها، راهنمایی‌ها و روحیه بخشیشان، انجام بخش مهمی از این پایان‌نامه میسر نمی‌شد بدین‌وسیله از بزرگواری، حسن سلوک و حمایت بی‌دریغشان تشکر کرده و برایشان طول عمر توأم با سربلندی را آرزومندم.

از آقای دکتر عبداله درگاهی و آقای دکتر مهدی فضل زاده که در امر مشاوره این پایان نامه مساعدت نمودند و در این امر نهایت مراقبت، توجه و دقت را مبذول فرموده اند کمال تشکر و امتنان را دارم و برایشان از خداوند سلامت و سعادت ابدی را خواهانم.

از وجود پرمهر پدر و ماد ر عزیزم که شوق علم را در من ایجاد کردند تشکر میکنم .

و در پایان از تمام افرادی که بیماریشان به من آموخت ممنونم و برایشان آرزوی سلامتی دارم.

بررسی کارایی فرایند الکتروفنتون سه بعدی با آند $SS316/\beta\text{-}PbO_2$ و الکترودهای ذره‌ای نانو کاتالیزور $PAC\text{-}TiO_2$ در تجزیه بیس فنل A از فاضلاب

چکیده

مقدمه: فنل یکی از آلاینده‌های آلی موجود در پساب صنایع بوده و به‌شدت برای انسان و محیط زیست سمی است و بنابراین قبل از تخلیه آن به محیط زیست باید مورد تصفیه قرار گیرد. هدف از این مطالعه بررسی کارایی فرایند الکتروفنتون سه بعدی با آند $SS316/\beta\text{-}PbO_2$ و الکترودهای ذره‌ای نانو کاتالیزور $PAC\text{-}TiO_2$ در تجزیه بیس فنل A از فاضلاب می‌باشد.

روش کار: مطالعه تجربی حاضر در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت منقطع انجام گرفت. با اندازه‌گیری غلظت بیس فنل A در نمونه‌ها قبل و بعد از انجام فرایند، کارایی فرایند الکتروفنتون سه بعدی در تجزیه بیس فنل A مشخص گردید. تأثیر پارامترهای موثر نظیر دانسیته جریان، زمان واکنش، pH و غلظت اولیه بیس فنل A بر کارایی فرایند تجزیه بیس فنل A مورد بررسی قرار گرفت. بهینه سازی آزمایشات و تحلیل داده ها در فرایند حذف جهت حذف بیس فنل A با استفاده از طراحی مرکب مرکزی (CCD) انجام گردید.

یافته‌ها: نتایج به دست آمده از انجام آزمایشات نشان داد که کارایی فرایند الکتروفنتون سه بعدی با افزایش زمان واکنش و دانسیته جریان، افزایش و با افزایش pH و غلظت اولیه بیس فنل A، کاهش می‌یابد. براساس آنالیز واریانس نتایج آزمایشات از بین مدل‌های مختلف، مدل درجه دوم (Quadratic) جهت برآورد تجزیه بیس فنل A توسط فرایند الکتروفنتون دو بعدی و سه بعدی با الکترود SS316/β-PbO2 انتخاب شد. ضریب رگرسیون خطی (R^2) بین آزمایشات و مقادیر مختلف پاسخ در مدل بین ۰/۹۹-۰/۹۷ بود.

نتیجه‌گیری: نتایج بدست آمده نشان داد که فرایند الکتروفنتون سه بعدی با الکترود پوشش داده شده SS316/β-PbO2 قادر به حذف ترکیبات فنلی نظیر بیس فنل A با راندمان نسبتاً بالا می‌باشد. همچنین از این روش می‌توان برای تصفیه فاضلاب‌های صنایع نفت و پتروشیمی حاوی ترکیبات فنلی استفاده کرد.

واژگان کلیدی: فرایند الکتروفنتون سه بعدی، بیس فنل A، آند $SS316/\beta\text{-}PbO_2$، نانو کاتالیزور PAC-TiO2، محلول های آبی، طرح آماری مرکب مرکزی.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه، بیان مسئله، کلیات، اهداف و فرضیات، بررسی متون

عنوان	صفحه
۱-۱. مقدمه	۶
۱-۲ ترکیبات مختل کننده غدد درون ریز بدن	۸
۱-۲-۱ نانیل فنل:	۹
۱-۲-۲ دی اکسین ها و فوران ها	۱۰
۱-۲-۳ پلی کلرینیتد بی فنیل ها	۱۱
۱-۲-۴ بیس فنل	۱۱
۱-۲-۴-۱ تاریخچه BPA	۱۱
۱-۲-۴-۲ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی BPA	۱۲
۱-۲-۴-۳- ساختار مولکولی بیس فنل	۱۳
۱-۲-۴-۴- مصارف صنعتی BPA	۱۴
۱-۲-۴-۵- مخاطرات زیست محیطی و بهداشتی BPA	۱۴
۱-۲-۵ روش های حذف بیس فنل	۱۶
۱-۳ راهکارها و روش های کنترل و حذف ترکیبات فنلی در محیط های آبی	۱۷
۱-۳-۱ فرآیند جداسازی فنل توسط حلال های شیمیایی	۱۷
۱-۳-۲ روش های حذف ترکیبات فنلی توسط بخار	۱۸
۱-۳-۳ اکسیداسیون شیمیایی	۱۸
۱-۳-۴ اکسیداسیون مرطوب	۱۸

۱-۳-۵ فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته ۱۹
۱-۳-۶ سیستم فنتون ۲۱
۱-۳-۷ فرایندهای الکتروشیمیایی ۲۳
۱-۴ فرایندهای الکتروشیمیایی سه بعدی ۲۷
۱-۵ تجزیه و تحلیل ریاضی و آماری ۲۹
۱-۵ -۱ طراحی آزمایشات و مدل سازی با طرح آماری مرکب مرکزی ۲۹
۱-۶- متغیرهای پژوهش ۳۲
۱-۷. اهداف و فرضیات ۳۳
۱-۸. بررسی متون ۳۵

فصل دوم: مواد و روش کار

۲-۱. نوع پژوهش ۳۹
۲-۲- فهرست وسایل و مواد مورد نیاز در این مطالعه ۳۹
۲-۳- محلول ها و تجهیزات کاربردی ۴۰
۲-۴- ساخت الکترود آند ۴۱
۲-۴-۱- تعیین مشخصات الکترود پوشش داده شده ۴۲
۲-۵- ساخت الکترودهای ذره ای نانوکاتالیزور ۴۲
۲-۶- طراحی و ساخت سیستم الکتروفنتون سه بعدی ۴۳
۲-۷- طراحی آزمایشات ۴۴
۲-۸- تهیه منحنی استاندارد محلول ترکیب بیس فنل A با استفاده از اسپکتروفتومتر ۴۷
۲-۹- بررسی سینتیکی واکنش در راکتور الکتروفنتون سه بعدی ۴۷
۲-۱۰- مطالعه مکانیسم تجزیه بیس فنل ۴۷

۲-۱۱- بررسی نشت سرب در پساب خروجی سیستم الکتروشیمیایی سه بعدی ۴۸
ملاحظات اخلاقی ۴۸

فصل سوم: یافته‌ها

۳-۱. مقدمه ۷۰
۳-۲- آزمایش های مقدماتی ۷۰
۳-۲-۱- منحنی استاندارد محلول بیس فنل ۷۰
۳-۲-۲- تعیین مشخصات الکترود پوشش داده شده ۷۱
۳-۳- مدل سازی فرایند الکتروفنتون با روش CCD ۷۲
۳-۴ بهینه¬سازی فرایند و اعتبارسنجی مدل ۷۶
۳-۵ بررسی کفایت مدل ۷۷
۳-۶. تعیین درصد تأثیر هر فاکتور بر روی فرآیند تجزیه بیس فنل ۷۹
۳-۷ نحوه¬ی اثر متغیرها در فرآیند تجزیه بیس فنل A در فرایند الکتروفنتون ۸۱
۳-۸ هم افزایی تخریب BPA و تاثیر الکترود بعد سوم در در تجزیه بیس فنل ۸۵
۳-۹ مطالعه سینتیک واکنش برای فرایند الکتروفنتون ۸۶
۳-۱۰- مطالعه نشت سرب پساب خروجی ناشی از سیستم الکتروفنتون سه بعدی ۸۶
۳-۱۱- تعیین قابلیت تجزیه بیولوژیکی پساب خروجی فرایند الکتروفنتون سه بعدی ۸۷
۳-۱۲- مکانیسم تجزیه بیس فنل A توسط فرایند الکتروفنتون سه بعدی ۸۸

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری

۴-۱. مقدمه ۹۲
۴-۲ تعیین مشخصات الکترودهای پوشش داده شده ۹۳
۴-۳- مدل سازی فرایندهای الکتروشیمیایی دو بعدی و سه بعدی به روش CCD ۹۴

۴-۴ اثر عوامل مختلف بر روی فرایند الکتروشیمیایی ۹۴
۴-۵- سینتیک واکنش برای فرایند الکتروفنتون دو بعدی و سه بعدی ۹۸
۴-۶- نشت سرب پساب خروجی ناشی از سیستم الکتروفنتون سه بعدی ۹۹
۴-۷- تعیین قابلیت تجزیه بیولوژیکی پساب خروجی فرایند الکتروشیمیایی سه بعدی ۹۹
۴-۸- مکانیسم تجزیه بیس فنل A توسط فرایند الکتروفنتون سه بعدی ۱۰۰
۴-۹. نتیجه گیری ۱۰۱
۴-۱۰- پیشنهادات ۱۰۲
فهرست منابع و مأخذ ۱۰۳
چکیده انگلیسی ۱۰۹

فهرست جداول

عنوان صفحه
جدول ۱-۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی BPA ۱۳
جدول ۱-۲. پتانسیل اکسیداسیون برخی از اکسید کننده ها ۲۰
جدول ۱-۳. واکنش های فرآیند فنتون و شبه فنتون ۲۲
جدول ۱-۴. متغیرهای پژوهش ۳۲
جدول ۲-۱: لیست وسایل غیر مصرفی مورد استفاده در پژوهش حاضر ۳۹
جدول ۲-۲ لیست وسایل مصرفی مورد استفاده در پژوهش حاضر ۴۰
جدول ۲-۳ محدوده آزمایشات و سطوح متغیرهای مستقل ۴۵
جدول ۲-۴ طراحی آزمایشات با روش پاسخ سطحی برای تعیین عوامل موثر بر فرایند الکتروفنتون دو بعدی و سه بعدی در تجزیه بیس فنل A ۴۶

جدول ۳-۱ نتایج آزمایشات صورت گرفته برای تجزیه بیس فنل A توسط فرایند الکتروفنتون دو بعدی و سه بعدی ۷۳

جدول ۳-۲ خلاصه مدل برای تجزیه بیس فنل A توسط دو فرایند الکتروفنتون دو بعدی و سه بعدی در برنامه Design Expert ۷۵

جدول ۳-۳: نتایج آنالیز واریانس برای مدل درجه دوم در فرایند الکتروفنتون دو بعدی ۷۵

جدول ۳-۴: نتایج آنالیز واریانس برای مدل درجه دوم در فرایند الکتروفنتون سه بعد ۷۶

جدول ۳-۵ پارامترهای موثر در تعیین قابلیت تجزیه بیولوژیکی پساب خروجی فرایند الکتروفنتون سه بعدی در شرایط بهینه ۸۷

جدول ۳-۶: محصولات جانبی شناسایی شده با استفاده از دستگاه LC-MS در تجزیه بیس فنل A توسط فرایند الکتروفنتون سه بعدی ۸۹

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۱-۱ شماتیک فرایند الکترود سه بعدی ۲۸

شکل ۱-۲ نحوه چیدمان الکترود های آند- کاتد نسبت به الکترود GAC در چهار حالت مختلف ۲۹

شکل ۱-۳- طراحی وجه مرکزی با ۳ متغیر ۳۱

شکل ۲-۱. شماتیک سیستم الکتروفنتون سه‌بعدی ۴۴

شکل ۳-۱ نمودار استاندارد بیس فنل A توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ۷۱

شکل ۳-۲ تصاویر SEM الکترود SS316/β-PbO2 ۷۲

شکل ۳-۳ تصاویر طیف EDX برای الکترود SS316/β-PbO2 ۷۲

شکل ۳-۴ تصویر طیف XRD برای الکترود SS316/β-PbO2 ۷۳

شکل ۳-۵. نمودار شرایط بهینه برای تجزیه بیس فنل A در فرآیند الکتروفنتون دو بعدی ۷۶

شکل ۳-۶. نمودار شرایط بهینه برای تجزیه بیس فنل A در فرآیند الکتروفنتون سه بعدی ۷۷

شکل ۳-۷ نمودار نرمال بودن باقیمانده ها برای راندمان تجزیه بیس فنل ۷۸

شکل ۳-۸ نمودار مقادیر باقیمانده در مقابل مقادیر پیش بینی شده برای راندمان تجزیه بیس فنل ۷۹

شکل ۳-۹ نمودار مقادیر باقی‌مانده در مقابل شماره آزمایش برای راندمان تجزیه بیس فنل ۷۹

شکل ۳-۱۰- نمودار پارتو برای تعیین تأثیر پارامترهای مختلف مورد بررسی جهت تجزیه بیس فنل A توسط دو فرایند مختلف الکتروفنتون ۸۰

شکل ۳-۱۱: تصاویر مربوط به راندمان تجزیه بیس فنل A به عنوان تابعی از پارامترهای مختلف مورد بررسی توسط فرایند الکتروفنتون دو بعدی ۸۳

شکل ۳-۱۲: تصاویر مربوط به راندمان تجزیه بیس فنل A به عنوان تابعی از پارامترهای مختلف مورد بررسی توسط فرایند الکتروفنتون سه بعدی ۸۴

شکل ۳-۱۳ مقایسه کارایی فرایندهای الکتروفنتون دو بعدی و سه بعدی با آندهای پوشش داده شده و بدون پوشش جهت تجزیه بیس فنل ۸۵

شکل ۳-۱۴ نمودار سینتیکی واکنش تجزیه الکتروشیمیایی بیس فنل ۸۶

شکل ۳-۱۵ کروماتوگرام های LC/MS برای بیس فنل A بعد از تجزیه الکتروفنتون سه بعدی ۸۸

شماتیک ۳-۱ مسیر پیشنهادی برای تجزیه الکتروشیمیایی بیس فنل A توسط اکسیداسیون آندی با آند استیل پوشش داده شده ۸۹

علائم اختصاری

مخفف	شرح کامل به انگلیسی	شرح کامل به فارسی
AOPs	Advanced oxidation processes	فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته
AOS	Average oxidation state	شاخص متوسط حالت اکسیداسیون
BDD	Boron-doped diamond electrode	الکترود آند الماس پوشش داده شده با بور
CCD	Central Composite Design	طرح ترکیب مرکزی
CECs	Contaminant of emerging concerns	آلاینده های جزئی یا نوپدید
COD	Chemical oxygen demand	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی
3D-EF	Three-dimensional electrofenton process	فرایند الکتروفنتون سه بعدی
DSAs	Dimensionally stable anodes	آندهای چند بعدی پایدار
3D-EC	Three-dimensional electrochemical process	فرایند الکتروشیمیایی سه بعدی
BPA	Bisphenol A	بیس فنل A
EDAX	Energy dispersive X-ray spectroscopy	طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس
EAOPs	Electrochemical advanced oxidation processes	فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته الکتروشیمیایی
EC	Ectrocoagulation	الکتروکواگولاسیون
GAC	Granular activated carbon	کربن فعال گرانوله
HPLC	High performance liquid chromatography	کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا
LC-MS	Liquid Chromatography Coupled to Mass	کروماتوگرافی مایع- طیف سنج جرمی
RSM	Response Surface Methodology	روش رویه پاسخ
SEM	Scanning electron microscopy	میکروسکوپ الکترونی رویشی
TOC	Total organic carbon	کل کربن آلی
SS316	Stainless Steel - Grade 316	استیل ضد زنگ گرید ۳۱۶
COS	Carbon oxidation state	حالت اکسیداسیون کربن
ICP/MS	Inductively coupled plasma mass spectrometry	دستگاه پلاسمای جفت شده القایی-طیف سنج جرمی
XRD	X-ray diffraction	پراش اشعه ایکس