

بررسی عوامل مؤثر بر فرآیند فتوکاتالیستی UV/ZnO در حذف فنل از محلول‌های آبی

صدیقه سعیدی^{*}، حاتم گودینی^۲، بهرام کمره‌ئی^۳، سودابه زارع^۴، مرضیه رشیدی پور^۵، زهره ابراهیمی^۶، پروین مصطفایی^۳
^۱ آموزشکده فنی و حرفه ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایزه، ایزه، ایران
^۲ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران
^۳ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران
^۴ گروه آمار، دانشکده بهداشت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران
^۵ مرکز تحقیقات گیاهان داروئی رازی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران
^۶ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۱۰

چکیده

مقدمه: فنل یک هیدروکربن آروماتیک و از مشتقات بنزن می‌باشد که در آب حلالیت بالایی دارد و حذف کامل آن به روش‌های معمول میسر نمی‌باشد. هدف از این تحقیق مطالعه حذف فنل با استفاده از فرآیند فتوکاتالیستی UV/ZnO و بررسی عوامل مؤثر در راندمان این فرآیند می‌باشد.

روش بررسی: این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و به‌طور ناپیوسته راهبری گردید. جهت انجام آزمایش‌ها از یک رآکتور به حجم ۱ لیتر با استفاده از نانو ذرات اکسید روی که به روش حرارتی بر سطح شیشه تثبیت شده بودند و لامپ UV_C استفاده گردید. اثر پارامترهای مختلف مانند غلظت اولیه فنل، pH و زمان ماند بر میزان تجزیه فتوکاتالیستی فنل مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: در این مطالعه با بررسی پارامترهای مؤثر بر این فرآیند مشخص شد که در شرایط بهینه، غلظت اولیه فنل ۵ میلی‌گرم بر لیتر، pH برابر ۳، شدت تابش برابر $۳۹۵۰ \mu\text{w}/\text{cm}^2$ و مدت‌زمان ۱۲۰ دقیقه راندمان حذف ۱۰۰ درصد حاصل گردید. pH، غلظت اولیه فنل و زمان تماس بر راندمان حذف فنل مؤثر بوده به طوری که با کاهش pH و غلظت اولیه فنل راندمان حذف افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: تجزیه فتوکاتالیستی فنل به وسیله فرآیند UV/ZnO یک روش مؤثر در حذف این آلاینده در محلول‌های آبی می‌باشد.

کلمات کلیدی: تجزیه فتوکاتالیستی، نانو ذرات اکسید روی، فنل، pH

مقدمه

... حاوی آلاینده‌های آلی خطرناک مانند فنل و مشتقات آن هستند. تلاش‌های بسیاری در سراسر جهان برای یافتن یک فرآیند مؤثر به‌عنوان یک پیش‌تصفیه برای فرآیندهای بیولوژیکی یا یک گزینه تصفیه مجزا شده است.^{۱،۲}

بسیاری از پساب‌های تولیدی از صنایعی مانند پالایشگاه-های نفت، کارخانجات پتروشیمی و فعالیت‌های نفتی، نساجی و

*آموزشکده فنی و حرفه ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایزه، ایزه، ایران
ایمیل: samirasaedi294@gmail.com - شماره تماس: ۰۶۱-۴۳۶۳۱۰۶۹

فتوکاتالیستی در معرض تابش پرتو به دلیل راندمان بالا در تولید الکترون‌ها، حرکت الکترون‌ها و جداسازی الکترون‌های نوری و منفذهای موجود در آن می‌باشد که برای اکسیداسیون طیف وسیعی از ترکیبات آلی استفاده شده است.^{۱۴}

در سال‌های اخیر محققان بسیاری بر روی حذف انواع آلاینده‌های سخت تجزیه‌پذیر از جمله فنل و مشتقات آن با استفاده از فرآیند تجزیه فتوکاتالیستی مطالعه داشته‌اند. مشرام و همکارانش (۲۰۱۱)، حذف فنل را با به‌کارگیری ZnO و پرتو فرابنفش مورد بررسی قرار دادند و به بازده حذف ۷۰ درصد دست یافتند.^{۱۳} گایا و همکارانش (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای به بررسی تجزیه فتوکاتالیستی ۴-کلروفنل با استفاده از فرآیند UV/ZnO پرداختند که بیشترین میزان حذف ۴-کلروفنل در غلظت برابر ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و در مدت‌زمان ۳ ساعت حاصل شده است.^{۱۵} هدف از این تحقیق، مطالعه حذف فنل با استفاده از فرآیند فتوکاتالیستی UV/ZnO و بررسی عوامل مؤثر در راندمان این فرآیند می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی و به‌صورت ناپیوسته انجام شد. نانو ذرات اکسیدروی با درجه خلوص آزمایشگاهی از شرکت DPH انگلستان خریداری شد و جهت تثبیت نانو ذرات اکسید روی از روش تثبیت حرارتی استفاده گردید. به‌منظور تعیین مشخصات فیزیکی پودر نانو ذرات اکسید روی و نانو ذرات اکسید روی تثبیت‌شده بر روی شیشه از تکنیک طیف پراکنش اشعه X (XRD) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده گردید. فنل مورد استفاده در این تحقیق به منظور تولید غلظت مشخصی از آلودگی در آب، از شرکت مرک آلمان با درجه خلوص ۹۹ درصد برای آنالیزهای آزمایشگاهی خریداری شد. به همین منظور ابتدا طبق استاندارد متد، محلول استوک ۱ گرم بر لیتر فنل تهیه گردید. برای رسم منحنی کالیبراسیون، غلظت‌های مختلفی از فنل تهیه شد و پس

فنل نوعی هیدروکربن آروماتیک و دارای خاصیت حلالیت پذیری بالا در آب بوده که به دنبال آن پس از حل شدن در آب خاصیت اسیدی پیدا می‌کند. از این رو سازمان جهانی بهداشت حداکثر غلظت مجاز فنل در آب آشامیدنی را ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا میزان مجاز فنل در منابع آب جوامع انسانی را ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر در نظر گرفته است.^{۳،۴}

مهمترین روش‌های حذف فنل و ترکیبات فنلی شامل تصفیه بیولوژیکی، استخراج در حلال، اسمز معکوس، اکسیداسیون شیمیایی و روش‌های الکتروشیمیایی می‌باشند.^{۵-۷} اخیراً روش دیگری تحت عنوان فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) شناخته شده است. این روش به علت داشتن توانایی در کاهش و معدنی کردن ترکیبات آلی مقاوم در برابر تصفیه بیولوژیکی و شیمیایی متداول به‌طور چشمگیری در فرآیندهای تصفیه مورد توجه قرار گرفته است.^۸ تولید رادیکال هیدروکسیل (OH[•]) در فرآیند اکسیداسیون پیشرفته، منجر به اکسید و از بین رفتن ترکیبات مقاوم در برابر اکسندگی متداول می‌شود. در این فرآیند از کاتالیست‌هایی مانند ZnO و TiO₂ به علت ویژگی‌های فیزیکی مانند انرژی و طول موج حفره باندی، آسان بودن اجرا و اقتصادی بودن بیشتر از بقیه کاتالیست‌ها استفاده می‌شود.^۹ در تجزیه فتوکاتالیزوری، مواد آلوده‌کننده تحت تأثیر تابش اشعه UV و در حضور ذرات اکسیدهای فلزی نظیر ZnO و TiO₂ تجزیه می‌گردند.^{۱۰-۱۲}

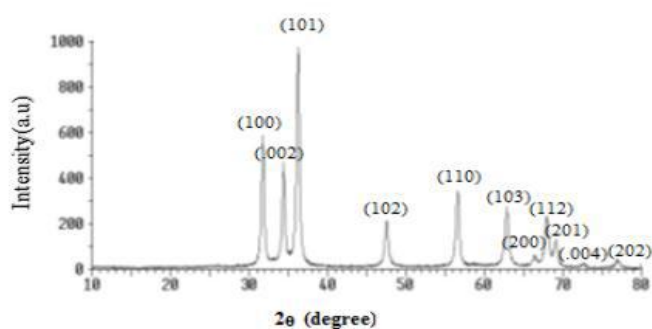
کاتالیست اکسید روی دارای خواص الکتریکی و اپتیکی منحصر به فردی بوده و به عنوان یک فتوکاتالیست شناخته شده و همچنین تولید پتانسیل منفی بیشتر الکترون، توجه زیادی در زمینه تخریب آلاینده‌های مختلف زیست محیطی در مقایسه با کاتالیست TiO₂ جلب کرده است.^{۱۳} ZnO به‌عنوان یک کاتالیست نیمه‌هادی دارای مزایای پایداری بالا در مقابل خوردگی نوری و شیمیایی، قابلیت تجزیه ترکیبات آلی سمی، قابلیت جذب طیف وسیعی از امواج الکترومغناطیسی، قابلیت

در محدوده (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه) بود. جهت اندازه‌گیری pH از pH متر (مدل Hana-211 آلمان) و برای تنظیم pH از NaOH و HCl ۰/۱ نرمال استفاده گردید. تمامی آزمایش‌ها به صورت ناپیوسته و با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف در درجه حرارت محیط انجام شدند.

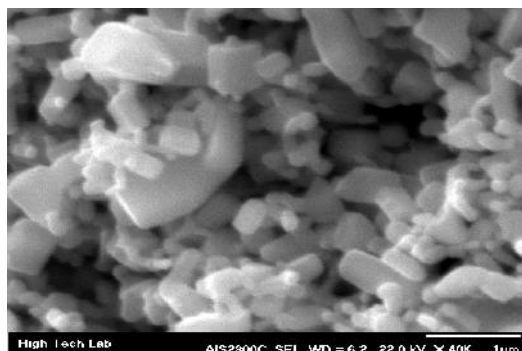
نتایج

جهت تعیین مشخصات ساختاری نانو ذرات اکسید روی از تکنیک‌های پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد که در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. همچنان که از شکل ۱ مشاهده می‌گردد پیک‌های حاصل مربوط به اکسید روی می‌باشد که نشان دهنده خلوص بالای این نانو ذره می‌باشد. شکل ۲ نشان می‌دهد که ذرات مورد استفاده در اندازه نانو و به شکل کریستالی می‌باشند.

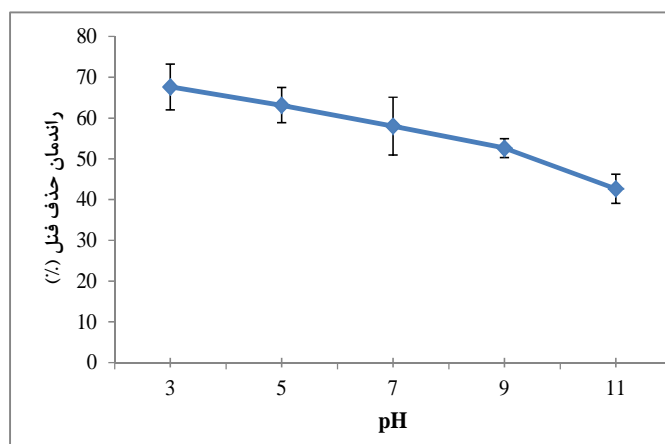
از افزودن معرف‌های مورد نیاز و بعد از گذشت ۱۵ دقیقه، جذب نمونه‌ها به استفاده از دستگاه اسپکترو فتومتر (مدل VIS-۲۱۰۰ یونیکو آمریکا) در طول موج ۵۰۰ نانومتر بر اساس روش ۵۵۳۰D رنگ سنجی کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب^{۱۶} قرائت شدند. در مراحل بعدی آزمایش از محلول استوک مذکور در تهیه نمونه‌های مورد نظر فنل با غلظت‌های مورد نیاز جهت آزمایش‌ها با رقیق‌سازی به کمک آب مقطر استفاده شد. جهت مشابه‌سازی غلظت فنل در نمونه‌های مورد بررسی با متوسط مقدار آن در پساب‌های صنعتی، محلول فنل در پنج سطح ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی-گرم بر لیتر تهیه شد. سپس نمونه‌های تهیه شده برای تعیین پارامترهای بهینه مؤثر در این آزمایش شامل pH، زمان و غلظت فنل مورد آنالیز قرار گرفتند. پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه شامل pH در محدوده (۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱)، غلظت فنل در محدوده (۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) و زمان تماس



شکل ۱: تکنیک پراش پرتو ایکس (XRD) نانو ذرات اکسید روی



شکل ۲: تصویر SEM از نانو ذرات اکسید روی تثبیت شده بر شیشه



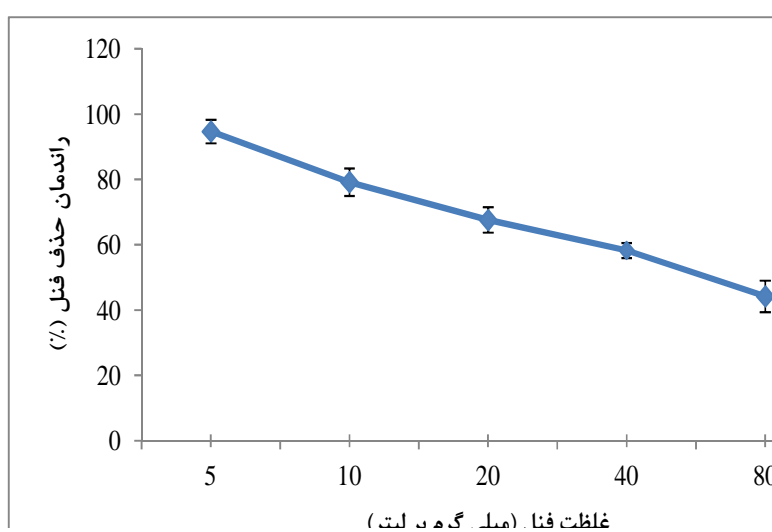
نمودار ۱: تأثیر pH در حذف فنل در فرآیند UV/ZnO (غلظت اولیه فنل ۲۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس ۹۰ دقیقه، شدت پرتودهی $3950 \mu\text{w}/\text{cm}^2$)

بیشترین راندمان حذف در غلظت اولیه ۵ میلی گرم بر لیتر می باشد که برابر ۹۴/۷ درصد بوده است.

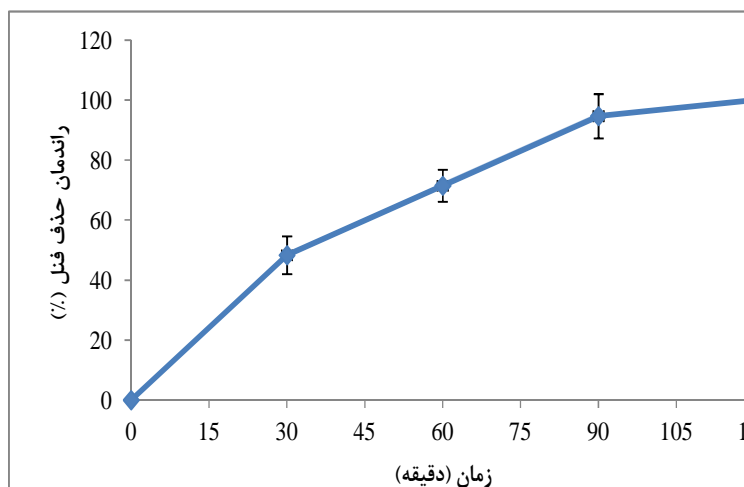
تأثیر زمان تماس در تجزیه فتوکاتالیستی فنل در نمودار ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داده است که با افزایش زمان تماس میزان راندمان حذف فنل افزایش یافته است به طوری که با افزایش زمان تماس به ۱۲۰ دقیقه میزان حذف صد در صد برای غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر فنل در pH برابر با ۳ فراهم می شود.

تأثیر pH در حذف فنل با غلظت اولیه ۲۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس ۹۰ دقیقه و شدت پرتودهی $3950 \mu\text{w}/\text{cm}^2$ در نمودار ۱ نشان داده شده است. همچنان که نمودار نشان می دهد بیشترین میزان حذف فنل در pH ۳ می باشد که با افزایش pH راندمان کاهش می یابد.

نتایج اثر غلظت اولیه فنل در حذف فنل در فرآیند UV/ZnO در pH=۳، زمان تماس ۹۰ دقیقه و شدت پرتودهی $3950 \mu\text{w}/\text{cm}^2$ در نمودار ۲ نشان داده است. با افزایش غلظت اولیه فنل راندمان حذف کاهش می یابد به طوری که



نمودار ۲: تأثیر غلظت اولیه فنل در حذف فنل در فرآیند UV/ZnO (pH=۳, زمان تماس ۹۰ دقیقه, شدت پرتودهی $3950 \mu\text{w}/\text{cm}^2$).



نمودار ۳: تأثیر زمان تماس در حذف فنل در فرآیند UV/ZnO: pH=۳, غلظت فنل ۵ میلی‌گرم بر لیتر, شدت پرتودهی $3950 \mu\text{w}/\text{cm}^2$

بحث و نتیجه‌گیری

فرآیند تجزیه فتوکاتالیستی یکی از روش‌های مؤثر در حذف بسیاری از آلاینده‌های آلی سخت تجزیه‌پذیر مانند فنل و مشتقات آن است. نتایج به دست آمده از تصویر XRD نشان می‌دهد که نانو ذرات اکسید روی دارای درصد خلوص بالا و ساختار کریستالی شش وجهی بوده که بر اساس مطالعه بنهبال و همکاران (۲۰۱۳) پیک‌های تیز روی نمودار، نشان‌دهنده تبلور خوب نانو ذرات ZnO می‌باشند.^{۱۷} با توجه به تصویر SEM اندازه نانو ذرات اکسید روی در این مطالعه کمتر از ۵۰ nm می‌باشد و تشکیل نانو ذرات ZnO کروی بر صفحات شیشه‌ای، نشان می‌دهد که در کنار هم تجمع یافته و تثبیت به‌خوبی انجام شده است. بررسی تکنیک‌های پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی، نشان دهنده‌ی عدم وجود ناخالصی در نانو ذرات اکسید روی مورد استفاده در این تحقیق بود.

با توجه به نمودار ۱، راندمان حذف فنل در شرایط اسیدی نسبت به شرایط قلیایی بیشتر است، به‌طوری‌که بیشترین راندمان حذف در شرایط ثابت آزمایش، در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و مدت زمان ۹۰ دقیقه در pH=۳ برابر ۶۷/۶ درصد و

کمترین راندمان در pH=۱۱ (۴۳ درصد) حاصل شد. عوامل تأثیرگذار بر pH را می‌توان به علت حضور بیشتر یون‌های H^+ در محیط اسیدی و به دنبال آن تشکیل رادیکال‌های OH^* و همچنین واکنش‌های الکترواستاتیک بین فنل و سطح ماده کاتالیست دانست.^{۱۸،۱۹} لاتاسری و همکارانش اثر pH بر تجزیه فتوکاتالیستی فنل، - o کلروفنل و - p کلروفنل با استفاده از فرآیند UV/ZnO بررسی کردند و میزان تجزیه فنل در محلول- های اسیدی ملایم و خنثی، مطلوب گزارش کردند و علت این رفتار را ناشی از جذب کلروفنل‌ها در شرایط اسیدی بر سطح ZnO ذکر کردند.^{۲۰} در تحقیقی دیگر لیو و همکارانش (۲۰۰۷) به تأثیر pH محلول (۵-۲) بر فعالیت فتوکاتالیستی N-TiO₂ در تجزیه ۴- کلروفنل پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کارایی فرآیند با کاهش pH از ۵ به ۳ افزایش می‌یابد، اما با کاهش pH به ۲ راندمان آن کاهش می‌یابد و pH بهینه را ۳ گزارش کردند.^{۲۱} با توجه به نمودار ۲ راندمان حذف با غلظت اولیه فنل رابطه معکوس دارد، به‌طوری‌که در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین راندمان حذف (۹۴/۷٪) حاصل می‌شود اما میزان حذف در غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط ثابت آزمایش

نیز افزایش می‌یابد به طوری که در بالاترین زمان تماس (۱۲۰ دقیقه)، میزان حذف در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر برابر ۱۰۰ درصد به دست می‌آید.

به‌طور کلی نتایج آزمایش‌ها نشان داد که فرآیند فتوکاتالیستی UV/ZnO در مقیاس آزمایشگاهی روش مناسبی برای حذف فنل از محلول‌های آبی می‌باشد. علاوه بر آن میزان حذف فنل به میزان زیادی به pH محیط واکنش بستگی دارد، به طوری که در pH اسیدی بیشترین راندمان حذف حاصل شد، با افزایش زمان ماند و کاهش غلظت اولیه فنل، میزان حذف فنل نیز افزایش چشمگیری داشت.

تشکر و قدردانی

از همکاری کارشناسان و مسئولین آزمایشگاه‌های تحقیقاتی دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی لرستان کمال تشکر و قدردانی را داریم.

برابر ۰/۴۴/۲٪ می‌باشد. علت کاهش میزان راندمان تجزیه فتوکاتالیستی با افزایش غلظت اولیه فنل را می‌توان برابر بودن غلظت رادیکال‌های تولیدشده در محلول و تولید محصولات میانی واکنش‌پذیرتر از خود فنل دانست.^{۱۸} و^{۲۲} پردیشی و پاتل (2008) مطالعه‌ای بر روی حذف فنل از پساب به‌وسیله فرآیند فتوکاتالیستی UV+TiO₂ انجام دادند و طی آن گزارش کردند که بازده حذف فنل با افزایش میزان غلظت فنل از 25 به ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش می‌یابد.^{۲۳} در مطالعه‌ای دیگر پاریدا و همکارانش (۲۰۰۶) با بررسی تأثیر غلظت اولیه سوبسترا بر تجزیه 4-- نیترو فنل (100-20 میلی‌گرم بر لیتر) به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت اولیه آلاینده از ۲۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، به علت جذب اشعه توسط آلاینده در مقدار معین کاتالیست، میزان تجزیه از ۱۰۰٪ به ۴۰/۹ درصد کاهش می‌یابد.^{۲۴} همچنین با توجه به نمودار ۳ که تأثیر زمان تماس را در فرآیند فتوکاتالیستی UV/ZnO در حذف فنل نشان می‌دهد مشاهده می‌شود که با افزایش زمان تماس، راندمان حذف فنل

منابع

- Juang RS, Huang WC, Hsu YH. Treatment of phenol in synthetic saline wastewater by solvent extraction and two-phase membrane biodegradation. *J Hazard Mater* 2009;164(1):46-52.
- Moussavi G, Khavanin A, Alizadeh R. The investigation of catalytic ozonation and integrated catalytic ozonation/biological processes for the removal of phenol from saline wastewaters. *J Hazard Mater* 2009;171(1-3):175-181.
- Mukherjee S, Kumar S, Misra AK, Fan M. Removal of phenols from waters environmental by activated carbon, bagasse ash and wood charcoal. *Chem Eng J* 2007;129(1-3):133-142.
- Gogate PR, Pandit AB. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: Oxidation technologies at ambient conditions. *J Adv Environ Res* 2004;8(3-4):501-551.
- Ra JS, Oh SY, Lee BC, Kim SD. The effect of suspended particles coated by humic acid on the toxicity of pharmaceuticals, estrogens, and phenolic compounds. *Inter Environ* 2008; 34(2):184-92.
- Wu J, Yu HQ. Biosorption of 2, 4-dichlorophenol by immobilized white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* from aqueous solutions. *Biores Technol* 2007;98(2): 253-259.
- Akar T, Ozcan AS, Tunali S, Ozcan A. Biosorption of a textile dye (Acid Blue 40) by cone biomass of *Thujaorientalis*: Estimation of equilibrium, thermodynamic and kinetic parameters. *Biores Technol* 2008;99(8):3057-3065.
- Bach A, Shemer H, Semiat R. Kinetics of phenol mineralization by Fenton-like oxidation. *Desalination* 2010;264(3):188-192.
- Aghaei M, Khezri B, Zare K, Aghaei H. Kinetic Study of Photocatalytic Reduction of CO₂ with H₂O Using TiO₂ Catalyst. *IJCCE* 2011;30(2): 88-95.
- Akbal F, Nur Onar A. Photocatalytic degradation of phenol. *J Environ Monit* 2003;83: 295-302.
- Singh N, Singh J. An enzymatic method for removal of phenol from Industrial effluent. *Prep Biochem Biotechnol* 2002;32 (2): 127-133.
- Lanouette, KH. Treatment of phenolic wastes. *Chem Eng* 1997;84(22): 99-106.

13. Meshram S, Limayeb R, Ghodkec S, NigamaS, Sonawanea S, Chikate R. Continuous flow photocatalytic reactor using ZnO–bentonite nanocomposite for degradation of phenol. *Chem Eng J* 2011;172:1008– 1015.
14. Xio W, Li Y, Sun W, Huang J, Xie H, Zhao X. Surface modification of zno with Ag improves its photocatalytic efficiency and photostability. *J Photochem Photobiol A* 2010;(2-3): 149-155.
15. Gaya UI, Abdullah AH, Zainal Z, Hussein MZ. Photocatalytic treatment of 4-chlorophenol in aqueous ZnO suspensions: Intermediates, influence of dosage and inorganic anions. *J Hazard Mater* 2009;168: 57–63.
16. APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
17. Benhebal H, Chaib M, Salmon T, Geens J, Leonard A, Lambert SD, Crine M, Heinrichs B. Photocatalytic degradation of phenol and benzoic acid using zinc oxide powders prepared by the sol–gel process. *AE Journal* 2013;52(3):517-523.
18. Caturla F, Martin-Martinez JM, Molina-Sabio M, Rodriguez-Reionoso F, Torregrosa R. Adsorption of Substituted Phenols on activated carbon. *J Colloid Interface Sci* 1988;124(2):528-34.
19. Busca G, Berardinelli S, Resini C, Arrighi L. Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments. *J Hazard Mater* 2008;160 (2-3):265-288.
20. Lathasree S, Rao AN, Siva Sankar B, Sadasivam V, Rengaraj K. Heterogeneous photocatalytic mineralization of phenols in aqueous solutions. *J Mol Catal A:Chem* 2004; 223(1-2):101-105.
21. Yu H, Zheng X, Yin Z, Tao F, Fang B, Hou K. Preparation of nitrogen-doped TiO₂ nanoparticle catalyst and its catalytic activity under visible light. *Chin J Chem Eng* 2007;15(6):802–807.
22. Moussavi G, Khavanin A, Alizadeh R. The investigation of catalytic ozonation and integrated catalytic ozonation/biological processes for the removal of phenol from saline wastewaters. *J Hazard Mater* 2009;171(1-3):175-181.
23. Pardeshi SK, Patil AB. A Simple Route for Photocatalytic Degradation of Phenol in Aqueous Zinc Oxide Suspension Using Solar Energy. *Sol Energy* 2008;82(8):700-705.
24. Parida KM, Dash SS, Das DP. Physico-chemical characterization and photocatalytic activity of zinc oxide presented by various methods. *J Colloid Interface Sci* 2006;298(2):787-793.

Investigation of Experimental Factors in Photocatalytical Degradation of Phenol from Aqueous Solution by UV/ZnO

Sedigheh Saeedi^{*1}, Hatam Godini², Bahram Kamarehie³, Sudabeh Zare⁴,
Marziyeh Rashidipoor⁵, Zohre Ebrahimi⁶, Parvin Mostafaei³

1. Sama Technical and Vocational Training College, Islamic Azad University, Izeh Branch, Izeh, Iran

2. Environmental Health Engineering Department, School of Health, Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

3. Environmental Health Engineering Department, School of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khoram Abad, Iran

4. Statistics Department, School of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran

5. Razi Herbal Medicine Research Center, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran

6. Environmental Health Engineering Department, School of Health, Jondi Shapoor University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

* E-mail: samirasaedi294@gmail.com

Received: 13 Jan 2016 ; Accepted: 30 May 2016

ABSTRACT

Background and purpose: Phenol is an aromatic hydrocarbon and one of the banzan derivatives which have a higher dissolution rate in water and common methods cannot completely remove it. The main objective of this research was to study removal of phenol using UV/ZnO.

Materials and Methods: This study was conducted in a batch system. the experiments was conducted in a reactor with a capacity of 1 liter using zinc oxide nanoparticles that fixed on glass with the thermal fixing method and UVc radiation were used. The effects of initial concentration of phenol, solution pH, and contact time on the photocatalytic removal of phenol were studied.

Results: The results showed that the best conditions for the removal of phenol were achieved at pH 3, 5 mg/L initial phenol concentration, 3950 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ radiation intensity and 120 min contact time (100% removal efficiency). The pH, initial phenol concentration, and contact time have an effect on phenol removal efficiency; the phenol removal efficiency increases with the decrease of initial phenol concentration and pH.

Conclusion: Results of the present study showed that the photocatalytic degradation process (UV/ZnO) is an effective method in removal of phenol from aqueous solutions.

Keywords: Photocatalytic oxidation, ZnO nanoparticles, Phenol, pH