

کاربرد فرآیند ازن زنی در حذف کاتکول از محلول‌های آبی

علی احمد آقاپور^{۱*}، سیدغلامرضا موسوی^۲، کامیار یغمائیان^۳

تاریخ دریافت 1394/04/18 تاریخ پذیرش 1394/06/19

چکیده

پیش‌زمینه و هدف: کاتکول به‌عنوان یک ترکیب فنلی، سرطان‌زا و سمی مطرح بوده و از طریق فاضلاب‌های صنایع مختلف وارد محیط‌زیست می‌شود. هدف اصلی این طرح، بررسی کارایی فرآیند ازن زنی در حذف کاتکول از آب هست.

مواد و روش کار: برای تعیین غلظت کاتکول از دستگاه کروماتوگرافی گازی با فشار بالا (HPLC) استفاده گردید. غلظت ازن و اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD) با روش‌های استاندارد انجام گرفت.

یافته‌ها: کارایی فرآیند ازن زنی در تجزیه کاتکول تحت شرایط بهینه (pH ۱۰، غلظت ۱۰۰ mg/L، دوز ازن زنی ۲/۱ mg/min و زمان واکنش ۲۰ min) ۱۰۰٪ بود.

بحث و نتیجه‌گیری: این فرآیند تا غلظت ۱۰۰ mg/L می‌تواند به‌عنوان فرآیند مستقل در تصفیه آب‌های آلوده به کاتکول مورد استفاده قرار گیرد. همچنین به علت داشتن اثر هم‌افزایی فرآیند ازن زنی با فرایندهای بیولوژیک، در صورتی که غلظت کاتکول از ۱۰۰۰ mg/L کمتر باشد، این فرآیند می‌تواند به‌عنوان پیش‌تصفیه مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین فرآیند ازن زنی می‌تواند به‌عنوان یک فرآیند تصفیه مستقل و فرآیند پیش‌تصفیه برای تجزیه و معدنی سازی ترکیبات شیمیایی سمی و مقاوم به تجزیه بیولوژیکی مطرح باشد.

واژه کلیدی: ازن زنی، تجزیه شیمیایی، محلول‌های آبی و کاتکول

مجله پزشکی ارومیه، دوره بیست و ششم، شماره هفتم، ص 561-570، مهر 1394

آدرس مکاتبه: ارومیه، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، دانشکده بهداشت، تلفن: ۰۴۴۳۲۷۵۲۳۰۶

Email: aaaghapour@gmail.com

مقدمه

آلی فرایندهای بیولوژیکی به دلیل کارایی بالا، ارزان قیمت بودن و بهره‌برداری آسان، معمولاً اولین و قابل قبول‌ترین گزینه مطرح می‌باشد (۱، ۶-۸). از طرفی، تجزیه بیولوژیکی و حذف ترکیبات شیمیایی آلی از آب و فاضلاب، به‌طور عمده توسط فعالیت‌های متابولیکی ارگانیسم‌های زنده از جمله باکتری‌ها صورت می‌گیرد و به همین خاطر فرایندهای بیولوژیکی در تصفیه فاضلاب‌هایی که دارای ترکیبات سمی و مقاوم هستند، معمولاً نتایج رضایت بخشی ارائه نمی‌دهند (۹-۱۱). روش‌های فیزیکی تصفیه مانند جذب سطحی، فقط ترکیب آلاینده از یک فاز به فاز دیگر منتقل می‌نماید ولی همچنان خصوصیات آلاینده‌گی حفظ می‌گردد (۶). بنابراین این روش‌ها، فن مناسب برای حذف ترکیبات سمی نمی‌باشد.

کاتکول یک ترکیب آلی از گروه ترکیبات فنلی بوده و از طریق صنایع مختلف مانند سَم سازی، داروسازی و سازنده لوازم آرایشی، رنگ‌سازی، رنگرزی، لاستیک‌سازی، پلاستیک‌سازی، صنایع چوب و کارتن و کاغذ، پالایشگاه‌های نفت، صنایع پتروشیمی و صنایع سازنده قطران از زغال سنگ وارد محیط‌زیست می‌شود (۱، ۲). آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان وابسته به سازمان جهانی بهداشت، کاتکول را از نظر سرطان‌زایی در گروه 2B طبقه‌بندی نموده است (۳). همچنین کاتکول دارای ساختار آروماتیکی بوده و جزء ترکیبات سمی و مقاوم آلوده‌کننده آب و محیط‌زیست می‌باشد (۴، ۵). برای تصفیه مواد آلی موجود در آب و فاضلاب از جمله کاتکول معمولاً از روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و یا ترکیبی از آن‌ها استفاده می‌شود. در تصفیه فاضلاب‌های دارای مواد

^۱ استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه و عضو مرکز تحقیقات سالیید تومور (نویسنده مسئول)

^۲ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس

^۳ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

این مطالعه، اثر پارامترهای مهم از جمله غلظت ازن و غلظت کاتکول مورد مطالعه قرار نگرفته است (۱۵). در این مطالعه، شرایط بهینه بهره‌برداری از فرآیند SOP شامل پارامترهای pH، دوز ازن، زمان واکنش و غلظت اولیه کاتکول مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین کارایی این فرآیند در شرایط بهینه برای حذف کاتکول و COD مرتبط با آن، مورد بررسی خواهد گرفت.

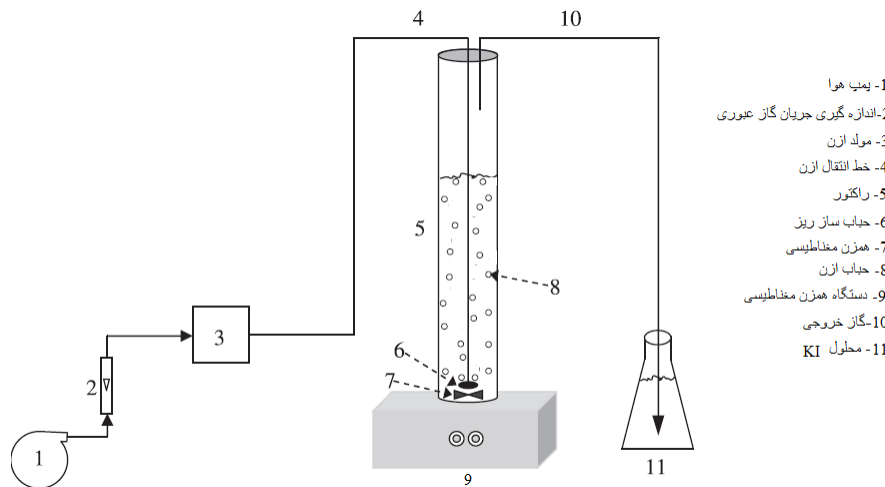
مواد و روش‌ها

راکتور ازن زنی:

راکتور مورد استفاده در این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی، از جنس شیشه و استوانه‌ای شکل با مشخصات حجم مفید ۲۵۰ mL و دارای حباب‌ساز ریز جهت پخش ازن در آب بود. دستگاه تولیدکننده ازن مورد استفاده با مارک تجاری ARDA و با مدل AEGCOG-2A و توان تولید ازن ۵ g/h با تغذیه هوا بود. از یک دستگاه دبی سنج کالیبره شده SKC، برای اندازه‌گیری و تنظیم دبی گاز ورودی به راکتور استفاده گردید. با توجه به مقادیر بالای کاتکول در فاضلاب صنایع، غلظت اولیه فاضلاب ورودی mg/L ۱۰۰-۱۵۰۰ انتخاب شده است. برای تهیه محلول اولیه کاتکول از آب مقطر استفاده گردید. کارایی تجزیه و حذف ترکیب کاتکول بعد از نمونه‌برداری به وسیله دستگاه HPLC و COD تعیین گردید.

امروزه برای تجزیه ترکیبات سمی و آلاینده مقاوم، فرایندهای اکسیداسیون شیمیایی و ترکیب آن‌ها با فرایندهای متعارف بیولوژیکی توجه زیادی را به خود معطوف نموده است (۱۱). یکی از اکسیدان‌های مهم مطرح در زمینه اکسیداسیون شیمیایی، ازن می‌باشد. ازن می‌تواند مواد آلاینده موجود در آب و فاضلاب را با روش اکسیداسیون مستقیم^۱ و انتخابی^۲ اکسید نماید و یا از طریق مکانیسم واکنش‌های زنجیره‌ای^۳ که تولید رادیکال‌های هیدروکسیل آزاد می‌نماید، آن‌ها را تجزیه نماید (۱۲، ۱۳). در روش اکسیداسیون مستقیم و انتخابی، ازن مواد آلی موجود را به صورت اولویت‌بندی شده مورد تجزیه قرار می‌دهد که در این میان ترکیبات آروماتیک مانند کاتکول از اولویت خاصی برخوردار می‌باشند. بنابراین بخش عمده‌ای از ازن صرف تجزیه ترکیبات پیچیده به ترکیبات ساده‌تر می‌گردد. با وجود اینکه از نقطه نظر اقتصادی، استفاده از ازن، برای معدنی سازی ترکیبات آلی مقاوم مقرون به صرفه نمی‌باشد (۱۱، ۱۴). با این حال امروزه استفاده از ازن زنی به عنوان پیش تصفیه برای تبدیل اولیه ترکیبات مقاوم، به ترکیبات قابل تجزیه بیولوژیکی میانی ساده‌تر که به راحتی قابل تجزیه در فرایندهای بیولوژیکی می‌باشند، دارای طرفداران بیشتری می‌باشد (۶، ۱۱).

بررسی متون علمی موجود نشان می‌دهد، فقط یک مطالعه توسط HSU در خصوص تجزیه شیمیایی کاتکول با ازن زنی در راکتور القاء گاز، با غلظت ثابت ۳۳۰ mg/L انجام شده است. در



شکل (۱): شماتیک راکتور ازن زنی

¹ Direct
² Selective
³ Chain reaction mechanism

بهره‌برداری از راکتور شیمیایی SOP:

با توجه به اینکه pH، یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در فرایندهای شیمیایی است. بهره‌برداری از راکتور SOP با بررسی اثر pH شروع شد. با عنایت به مکانیسم دوگانه ازن در pH های ۳ و ۱۰ و همچنین ثابت تفکیک اسیدی کاتکول ($pK_a = 9/45$)، اثر pH در محدوده ۳-۱۰ مطالعه گردید. در این مرحله سایر پارامترها ثابت نگه‌داشته شد. سپس اثر زمان واکنش برای تعیین زمان واکنش مناسب در محدوده ۲-۳۰ دقیقه انجام گرفت. غلظت کاتکول نیز یکی از پارامترهای تأثیرگذار بوده و در این مطالعه غلظت کاتکول در محدوده ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر مطالعه گردید. با توجه به اینکه ازن به‌عنوان اکسیدکننده اصلی می‌تواند یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در کارایی فرایند باشد، بنابراین اثر دوز ازن در سه غلظت ۳/۱، ۲/۶ و ۲/۱ مطالعه گردید. برای تعیین میزان معدنی سازی ترکیب کاتکول در فرایند SOP از پارامتر COD استفاده گردید. در این مطالعه هریک از مراحل موردبررسی حداقل دو بار تکرار گردید. روش آنالیز:

برای اندازه‌گیری کاتکول از یک دستگاه کروماتوگرافی گازی با فشار بالا (HPLC) با مارک تجاری Agilent 1200، دتکتور UV-visible با مارک تجاری Agilent 1200 DAD با ستون با مشخصات تجاری C18, Nucleodur, 250×4.6mm, 5μ استفاده گردید. پروتکل اندازه‌گیری آن در جدول ۱ آورده شده است. زمان ماند پیک کاتکول ۴/۲ min تعیین گردید.

جدول (۱): پروتکل اندازه‌گیری کاتکول با HPLC

ردیف	نام پارامتر	مقادیر
۱	فاز متحرک	متانول: آب (۵۵:۴۵)
۲	دبی فاز متحرک	۱mL/min
۳	درجه حرارت	۲۳ °C
۴	طول موج	۲۷۵nm

برای تعیین میزان معدنی شدن ترکیب کاتکول، کل فرآورده‌های آلی تولیدشده با آزمایش COD و بر اساس روش استاندارد شماره ۵۲۲۰D کتاب روش‌های استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب ویرایش سال ۲۰۰۵ صورت گرفت (۱۶). اندازه‌گیری غلظت ازن ورودی به راکتور نیز بر اساس روش استاندارد ۲۳۵۰E کتاب روش‌های استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب، انجام گرفت (۱۶).

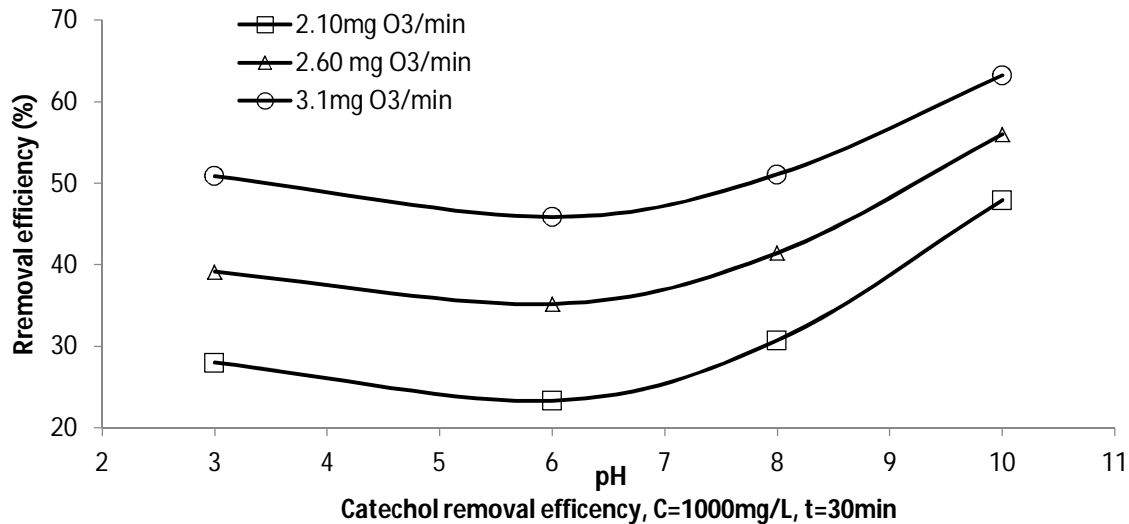
بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه اثر pH اولیه بر کارایی فرایندهای SOP و COP: برای درک بهتر فرایند SOP، در این مطالعه اثر همزمان دوز ازن و اثر pH اولیه فاضلاب ورودی بر تجزیه کاتکول موردبررسی

قرار گرفته و نتایج آن در شکل ۲ آورده شده است. با توجه به اهمیت بالای pH در فرایند ازن زنی، و یونیزه شدن ترکیبات آلی، در این مطالعه اثر pH اولیه فاضلاب ورودی در تجزیه و حذف کاتکول از فاضلاب با استفاده از فرایندهای SOP موردبررسی قرار گرفت. فرایند SOP بیشترین راندمان حذف کاتکول را در pH اولیه ۱۰ دارد و بعدازآن به ترتیب pH های ۳، ۸ و ۶ قرار دارند. نتایج به‌دست‌آمده در این بخش با نتایج گزارش‌شده توسط Hsu و همکارانش مطابقت دارد. مکانیسم عمل ازن تابعی از pH می‌باشد. بطوریکه ازن به دو طریق مستقیم و غیرمستقیم (عمدتاً رادیکال هیدروکسیل) با مواد آلی وارد واکنش می‌گردد (۶، ۱۵). در واکنش مستقیم، ازن به‌طور انتخابی با ترکیبات حلقوی مانند کاتکول وارد واکنش می‌گردد درحالی‌که در روش واکنش غیرمستقیم، ازن از طریق واکنش‌های زنجیره‌ای به اکسیدکننده‌های ثانویه (عمدتاً رادیکال هیدروکسیل) تبدیل می‌گردد که دارای پتانسیل اکسیدکنندگی خیلی بالاتری از بالاتری ($E_0:2.80V$) از مولکول ازن ($E_0=2.07V$) می‌باشد (۶، ۱۵).

با افزایش pH در فرایند SOP، مشارکت واکنش غیرمستقیم ازن در تجزیه مواد آلی افزایش می‌یابد. بنابراین اکسیدکننده‌های قوی‌تر مانند رادیکال هیدروکسیل راندمان حذف کاتکول را بالاتر برده است. از طرف دیگر، ثابت تفکیک اسیدی (pK_a) برابر ۹/۴۵ می‌باشد و در pHهای بالاتر از آن، بخش مهمی از مولکول‌های کاتکول یونیزه شده و به حالت یونی در می‌آید (۱۵). قدرت واکنش‌پذیری و سرعت واکنش حالت یونی ترکیبات آلی با ازن و به‌ویژه رادیکال هیدروکسیل معمولاً خیلی بالاتر از حالت غیر یونی آن‌ها می‌باشد، بنابراین با توجه به تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و تبدیل کاتکول به حالت یونی در pH ۱۰، راندمان حذف کاتکول بالاتر از سایر pHها می‌باشد و به‌عنوان pH بهینه برای فرایند SOP انتخاب گردید.

راندمان تجزیه کاتکول در pH ۳، نیز از pH های ۶ و ۸ بالاتر است. در pH ۳ و پایین‌تر، مولکول ازن به‌طور مستقیم با کاتکول وارد واکنش می‌شود و ضمناً سرعت واکنش ازن با کاتکول نیز با کاهش pH افزایش می‌یابد (۱۵). بنابراین مولکول ازن، به‌طور مستقیم و به‌طور انتخابی و سریع با کاتکول وارد واکنش می‌شود و به همین دلیل راندمان تجزیه کاتکول در این pH بالاتر از pH های ۶ و ۸ می‌باشد. بر اساس دلایل مطرح‌شده در بحث pH ۱۰، در pH ۸ نیز راندمان تجزیه از pH ۶ بالاتر است و به دلیل پایین بودن تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و غیر یونی بودن بخش مهمی از کاتکول در pH ۶، راندمان تجزیه در این pH از همه کمتر است.

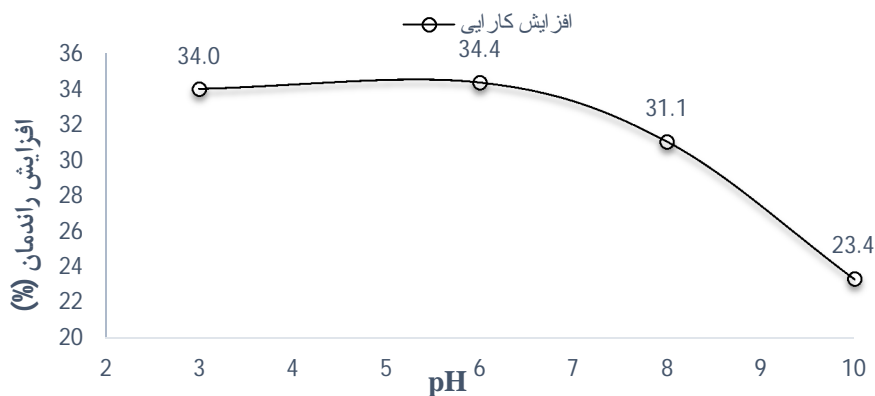


شکل (2): اثر pH و دوز ازن در تجزیه کاتکول در فرایندهای SOP

شرایط کاری: غلظت کاتکول: 1000 mg/L، زمان واکنش 20 min

قدرت بالای اکسیداسیون، غیرانتخابی عمل نموده و علاوه بر کاتکول ترکیبات میانی تولیدشده را نیز اکسید می‌نماید. این در حالی است که در pH های پایین (به ویژه 3 pH)، بخش مهمی از ازن با روش اکسیداسیون مستقیم، آن را تجزیه نموده و به‌طور انتخابی مولکول کاتکول را تجزیه می‌نماید. پس افزایش دوز ازن در pH های پایین، تأثیر زیادی در افزایش کارایی تجزیه کاتکول در SOP دارد. بنابراین در صورت استفاده از pH بالا (مانند 10 pH) به‌عنوان pH بهینه، بهتر است از دوز پایین ازن (2/1 mg/min) به‌عنوان دوز بهینه استفاده گردد. به علت بالا بودن هزینه‌های تولید ازن، استفاده از دوز پایین آن از نظر اقتصادی نیز مقرون به‌صرفه می‌باشد.

اثر دوز ازن بر تجزیه کاتکول در فرایند SOP: نتایج اثر دوز ازن در تجزیه کاتکول در فرایندهای SOP در شکل‌های 2 آورده شده است. ضمناً برای بررسی بهتر تأثیر دوز ازن، افزایش کارایی حذف کاتکول از فاضلاب، با افزایش دوز ازن از 2/1 mg/min به 3/1 mg/min در pH های مختلف بررسی شده و در شکل 3 آورده شده است. بطوریکه در شکل 3 ملاحظه می‌گردد، با افزایش pH، تأثیر دوز ازن در افزایش کارایی فرایند SOP کاهش می‌یابد. این موضوع می‌تواند به روش تأثیر ازن در تجزیه کاتکول مرتبط باشد. بطوریکه قبلاً اشاره شد با افزایش pH میزان تجزیه ازن و تبدیل آن به رادیکال‌های مختلف از جمله رادیکال هیدروکسیل افزایش می‌یابد و این رادیکال‌ها به دلیل



شکل (3): میزان افزایش تجزیه کاتکول با افزایش دوز ازن در pH های مختلف در فرایندهای SOP

شرایط کاری: غلظت کاتکول: 1000 mg/L، زمان واکنش 20 min

برای بررسی بهتر تأثیر زمان ماند در تجزیه کاتکول، کنتیک تجزیه آن در فرایندهای SOP مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است. بطوریکه ملاحظه می‌گردد، نتایج تجزیه کاتکول در فرایندهای SOP در pH های ۸ و ۱۰ و COP در pH ۸ بیشترین مطابقت را با واکنش‌های درجه اول کاذب دارد. معادلات ۱ تا ۴ کنتیک تجزیه کاتکول در SOP را به ترتیب در pH های ۳، ۶، ۸ و ۱۰ نشان می‌دهد.

مطالعه اثر زمان واکنش بر تجزیه کاتکول در فرایند SOP و کنتیک تجزیه کاتکول:

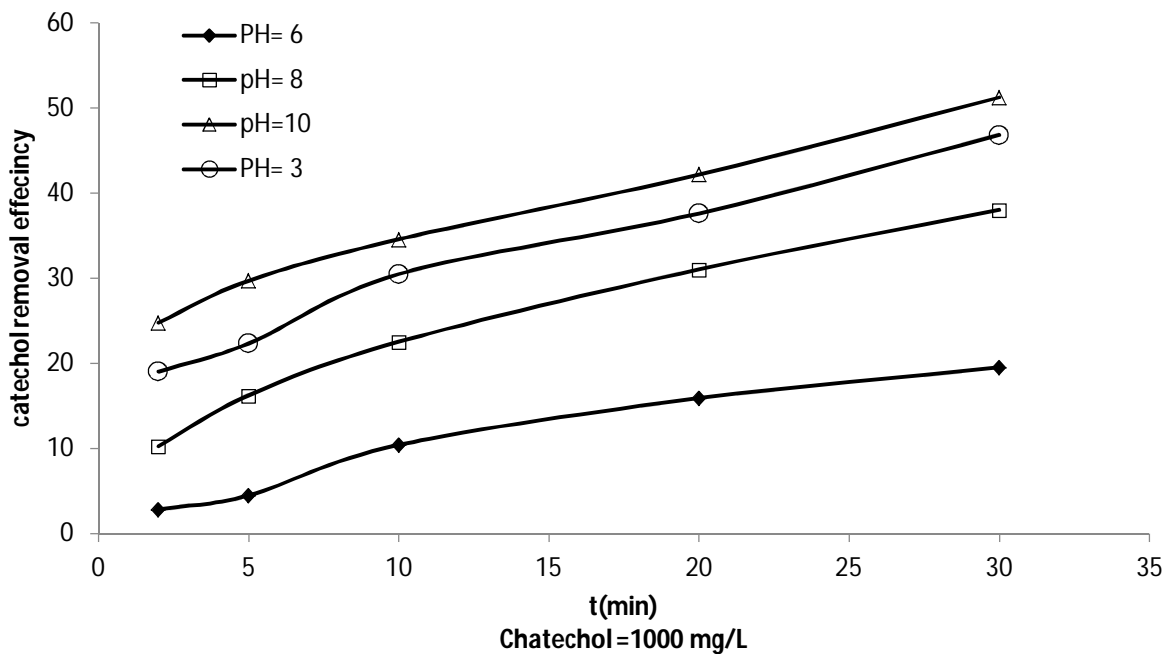
در این مطالعه اثر زمان واکنش در محدوده ۲ تا ۳۰ دقیقه بر تجزیه کاتکول در فرایند SOP در pH های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج آن در شکل ۴ آورده شده است. بطوریکه در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد، در فرایند SOP تجزیه کاتکول در همه pH ها، در طول زمان واکنش دارای روند یکنواختی می‌باشد. تجزیه کاتکول در pH ۱۰ اندکی بیشتر از pH ۳ و بیشتر از بقیه pHها می‌باشد.

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = -0.0148t - 0.1846 \quad \text{معادله ۱}$$

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = -0.0069t + 0.0234 \quad \text{معادله ۲}$$

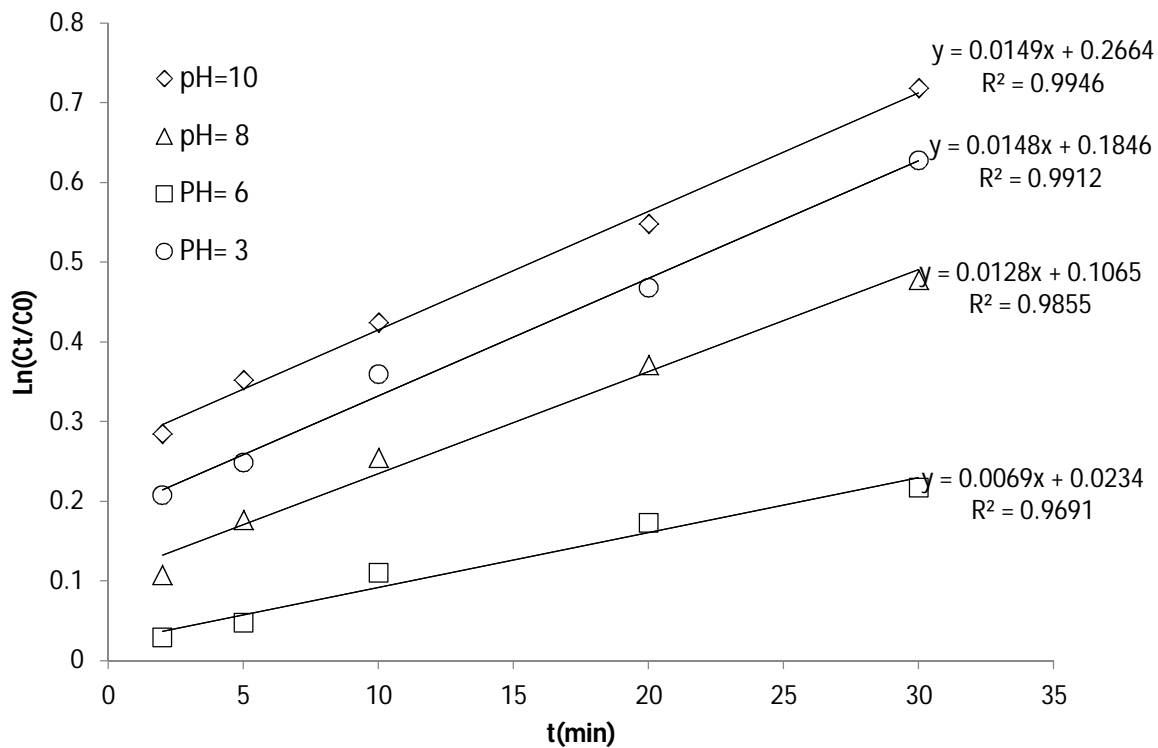
$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = -0.0128t + 0.1065 \quad \text{معادله ۳}$$

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = -0.0149t - 0.2664 \quad \text{معادله ۴}$$



شکل (۴): اثر زمان واکنش در تجزیه کاتکول در pH های مختلف در فرایندهای SOP

شرایط کاری: غلظت کاتکول: ۱۰۰۰ mg/L، دوز ازن ۲/۱ mg/min



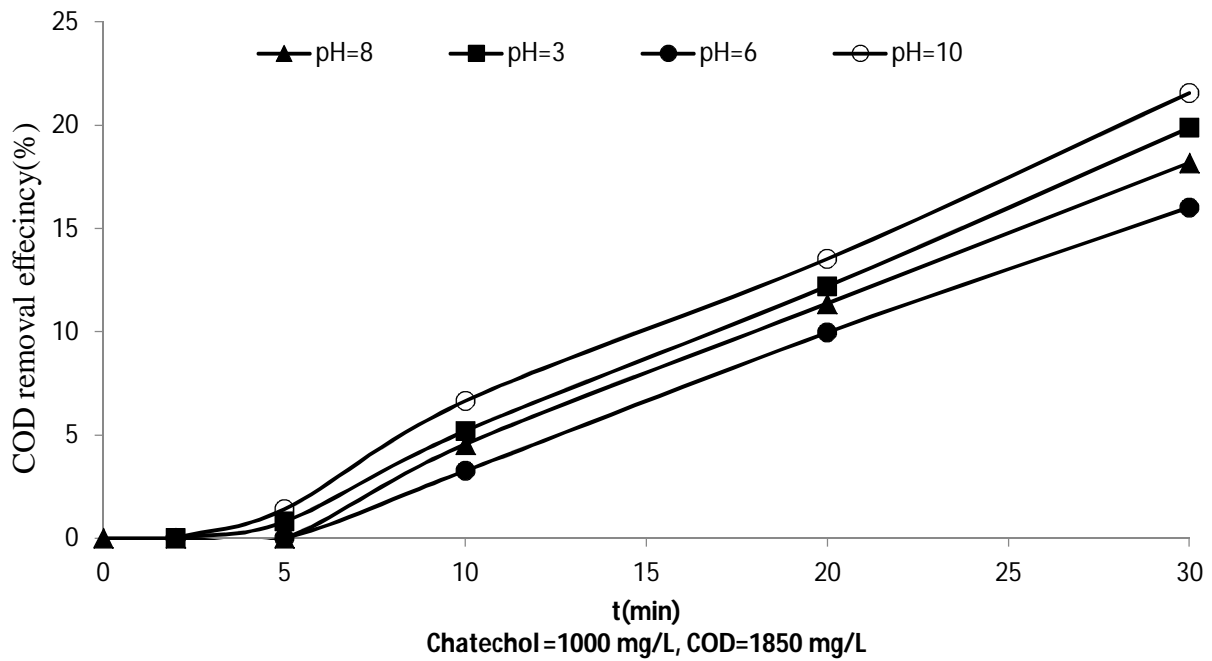
شکل (5): کنتیک تجزیه کاتکول در pH های مختلف در فرایندهای SOP

شرایط کاری: غلظت کاتکول: 1000 mg/L، دوز ازن 2/1 mg/min

بطوریکه در شکل 6 ملاحظه می‌گردد با افزایش زمان واکنش، راندمان حذف COD در pH های مختلف افزایش یافته است. با این حال کارایی حذف COD در مقایسه با تجزیه کاتکول خیلی کم بوده و ضمناً در pH های مختلف نیز نزدیک به هم می‌باشد. این موضوع می‌تواند با ترکیبات حاصل از تجزیه کاتکول مرتبط باشد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که کاتکول پس از تجزیه در فرایند SOP نهایتاً به اسید اگزالیک تبدیل می‌گردد و به دلیل ثابت سرعت واکنش خیلی پایین آن ترکیب با ازن ($1 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$) -2 $\times 10^4$ $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)، این ترکیب عملاً تجزیه نشده و به ترکیبات معدنی نهایی (H_2O و CO_2) تبدیل نمی‌شود (17).

مقایسه ثابت سرعت واکنش در فرایند SOP در pH های مختلف نشان می‌دهد سرعت تجزیه کاتکول در pH 10 بیشترین مقدار بوده و pH 3 با اختلاف کمی بعد از آن قرار گرفته است (15). بنابراین با وجود اینکه کارایی تجزیه کاتکول در pH 10 بیشتر از pH 3 می‌باشد، اما سرعت تجزیه آن در pH 3 خیلی نزدیک به 10 pH می‌باشد. معدنی سازی کاتکول (حذف COD) در فرایندهای COP و SOP:

برای بررسی میزان معدنی سازی کاتکول در فرایند SOP، راندمان حذف COD در محدوده زمان واکنش 2-30 دقیقه مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج آن در شکل 6 آورده شده است.

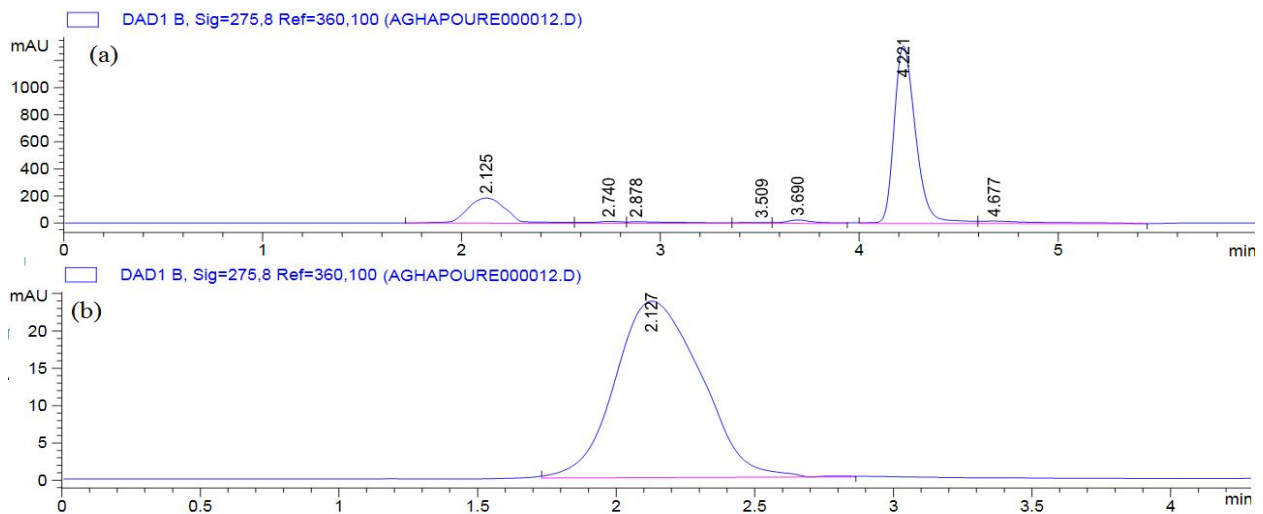


شکل (۶): معدنی سازی کاتکول در pH های مختلف در فرایندهای SOP

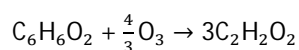
شرایط کاری: غلظت کاتکول: ۱۰۰۰ mg/L (COD = ۱۸۵۰ mg/L)، دوز ازن ۲/۱ mg/min

تجزیه یک مولکول کاتکول سه مولکول اسید اگزالیک در شرایط استوکیومتریکی، تولید می‌شود.

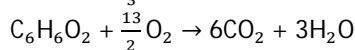
بررسی ترکیبات حاصل از ازن زنی کاتکول نشان داد که اسید اگزالیک، یک ترکیب غالب می‌باشد که با گزارشات انجام شده مطابقت دارد (شکل ۷) (۱۵). بنابراین با استناد به معادله ۵، با



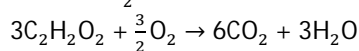
شکل (۷): نمودار HPLC مربوط به کاتکول ازن زنی شده (A) و اسید اگزالیک خالص (B)



معادله ۵



معادله ۶

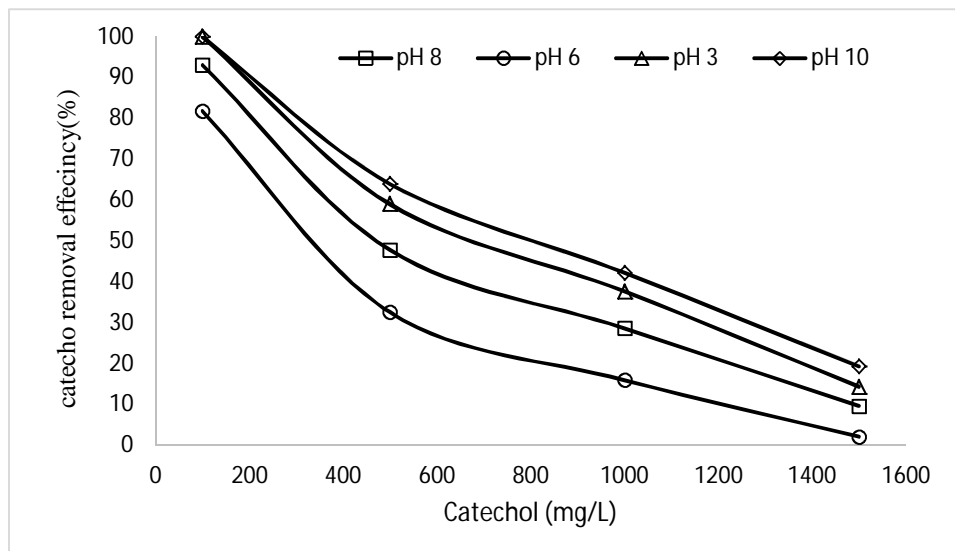


معادله ۷

مطالعه اثر غلظت کاتکول بر تجزیه آن در فرایند SOP: برای بررسی اثر غلظت کاتکول بر تجزیه آن در فرایندهای SOP، از غلظت‌های ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ mg/L استفاده گردید و نتایج آن در شکل ۸ آورده شده است. بطوریکه در شکل ۸ ملاحظه می‌گردد، راندمان تجزیه کاتکول در فرایند SOP در غلظت ۱۰۰ mg/L بسیار خوب است، بطوریکه حداقل مقدار آن در pH ۶ و برابر ۸۲ درصد و حداکثر مقدار آن در pH های ۱۰ و ۳ بوده که برابر ۱۰۰ درصد می‌باشد. بنابراین این فرایند در pH های مختلف می‌تواند به تنهایی مورد استفاده قرار گیرد. ضمناً این فرایند در غلظت ۵۰۰ و حتی تا ۱۰۰۰ mg/L نیز می‌تواند در اکسیداسیون جزئی ترکیبات آلی به‌عنوان پیش‌تصفیه جهت تصفیه بیولوژیکی فاضلاب‌های سمی و غلیظ و دارای مواد آلی مقاوم، مورد استفاده قرار گیرد.

اکسیژن مورد نیاز تئوریک، یک مولکول کاتکول ۲۰۸ گرم است (معادله ۶) که به سه مولکول اسید اگزالیک تبدیل می‌شود و اکسیژن مورد نیاز آن‌ها ۴۸ گرم می‌باشد (معادله ۷). بنابراین در ۳ pH که ازن عمدتاً به‌طور مستقیم کاتکول را تجزیه می‌نماید، حداکثر ۷۷ درصد از COD مربوط به کاتکول قابل حذف می‌باشد. در نتیجه همچنان به‌عنوان ترکیب آلی دارای COD در پساب باقی می‌ماند.

در pH های بالاتر به‌ویژه در pH ۱۰، بخشی از ازن به رادیکال‌های مختلف از جمله رادیکال هیدروکسیل تبدیل می‌گردد و ثابت سرعت واکنش اسید اگزالیک با رادیکال‌های هیدروکسیل $(k \cdot OH < 1/4 \times 10^6 M^{-1} s^{-1})$ خیلی بالا می‌باشد بوده و اسید اگزالیک عملاً در pH ۱۰ به راحتی می‌تواند معدنی سازی گردد (۱۲، ۱۳). به همین دلیل کارایی حذف COD در این فرایند در pH ۱۰ بالاتر می‌باشد.



شکل (۸): اثر غلظت بر کارایی فرایندهای SOP در تجزیه کاتکول در pH های مختلف شرایط کاری: دوز ازن ۲/۱ mg/min

همچنین این فرایند می‌تواند در افزایش ظرفیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی نیز مؤثر واقع گردد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل بخشی از نتایج رساله دوره دکتری بوده و در انجام آن از بودجه و امکانات دانشگاه تربیت مدرس استفاده شده که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌نماییم.

نتیجه‌گیری

کارایی فرایند ازن زنی در تجزیه کاتکول تحت شرایط بهینه (pH ۱۰، غلظت ۱۰۰ mg/L، دوز ازن زنی ۱ mg/min و زمان واکنش ۲۰ min) ۱۰۰ درصد بود. کارایی این فرایند در حذف COD مرتبط با کاتکول در زمان‌ماند ۲۰ دقیقه و دوز ازن ۲/۱ mg/min کم می‌باشد. ازن زنی می‌تواند به‌عنوان یک فرایند پیش‌تصفیه برای تجزیه و معدنی سازی ترکیبات شیمیایی سمی و مقاوم به تجزیه بیولوژیکی در غلظت‌های کمتر از ۱۰۰۰ mg/L مورد استفاده قرار گیرد.

References:

- Mandal A, Ojha K, Deb AK, Bhattacharjee S. Removal of catechol from aqueous solution by advanced photo-oxidation process. *Chem Eng J* 2004;102:203–8.
- Moussavi G, Aghapour AA, Yaghmaeian K. The degradation and mineralization of catechol using ozonation catalyzed with MgO/GAC composite in a fluidized bed reactor. *Chem Eng J* 2014;249:302–10.
- IARC. Summaries & Evaluations catechol 1999.
- Larson RA. Naturally occurring antioxidants. New York: Lewis publishers; 1997.
- Lofrano G, Rizzo L, Grassi M, Belgiorno V. Advanced oxidation of catechol: A comparison among photocatalysis, Fenton and photo-Fenton processes. *Desalination* 2009;249:878–83.
- Moussavi G, khavanin A, Alizadeh R. The integration of ozonation catalyzed with MgO nanocrystals and the biodegradation for the removal of phenol from saline wastewater. *Appl Catal B* 2010; 97:160–7.
- Moussavi G, Yazdanbakhsh A, Heidarizad M. The removal of formaldehyde from concentrated synthetic wastewater using O₃/MgO/H₂O₂ process integrated with the biological treatment. *J Hazardous Materials* 2009;171:907–13.
- Aghapour AA, Moussavi G, Yaghmaeian K. Biological degradation of catechol in wastewater using the sequencing continuous-inflow reactor (SCR). *Iran J Environ Health Sci Eng* 2013;11(1):3.
- Lapertot M, Pulgarín C, Fernández-Ibáñez P, Maldonado MI, Pérez-Estrada L, Oller I, et al. Enhancing biodegradability of priority substances (pesticides) by solar photo-Fenton. *Water Res* 2006;40(5):1086–94.
- Munoz R, Guieysse B. Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. *Water Res* 2006;40(15):2799–815.
- Oller I, Malato S, Sánchez-Pérez JA. Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for wastewater decontamination—a review. *Sci Total Environ* 2011;409(20):4141–66.
- Kasprzyk-Hordern B, ZiÅłek M, Nawrocki J. Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment. *Appl Catal B: Environ* 2003;46(4):639–69.
- Legube B, Leitner NKV. Catalytic ozonation: a promising advanced oxidation technology for water treatment. *Catal Today* 1999; 53:61–72.
- Li L, Zhu W, Zhang P, Chen Z, Han W. Photocatalytic oxidation and ozonation of catechol over carbon-black-modified nano-TiO₂ thin films supported on Al sheet *Water Research* 2003;37 3646–51.
- Hsu Y-C, Yang H-C, Liu J-W, Chen J-H. The Ozonations of Catechol and Hydroquinone Solutions Using Gas-Inducing Reactor. *J Chin Inst Environ Eng* 2003;13(3):151–8.
- Lenore SC, Arnold EG, Andrew DE. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association American Water Works Association and World Environment Federation 20th Ed, Washington DC: 1998.
- Hsu Y-C, Yang H-C, Liu J-W, Chen J-H. The Ozonations of Catechol and Hydroquinone Solutions Using Gas-Inducing Reactor. *J Chin Inst Environ Eng* 2003;13(3):151–8.

APPLICATION OF OZONE FOR THE REMOVAL OF CATECHOL FROM AQUATIC ENVIRONMENT

Ali Ahmad Aghapour^{1*}, Seyed Gholamreza Moussavi², Kamyar Yaghmaeian³

Received: 9 Jul, 2015; Accepted: 10 Sep, 2015

Abstract

Background & Aims: Catechol, a phenolic compound, is carcinogenic and toxic and enters the environment through industrial waste. The main objective of this paper was to evaluate the performance of the ozone in the removal of catechol from water.

Materials & Methods: Catechol concentration was determined using a high-pressure gas chromatography (HPLC). Concentration of ozone and chemical oxygen demand (COD) was measured using standard methods.

Results: Efficiency of ozonation process in catechol degradation at optimum conditions (pH 10, catechol concentration 100 mg/L, ozone dosage 2.1 mg/min and reaction time 20 min) was 100%.

Conclusion: Ozonation process can be used alone if the catechol concentration is less than 100 mg/L. Also, due to the synergistic effect of ozonation process with biological processes, this process can be used as pre-treatment if the catechol concentration is less than 1000 mg/L. The ozonation can be regarded as the only treatment and pretreatment process for the degradation of organic chemical compounds that are toxic and resistant to biodegradation.

Keywords: Ozonation, Degradation, Aqueous solutions and catechol

Address: Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran, Tel: +98 4432752306

Email: aaaghapour@gmail.com

SOURCE: URMIA MED J 2015; 26(7): 570 ISSN: 1027-3727

¹ Assistant Professor, Solid Tumor Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran (Corresponding Author)

² Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran