

بررسی کارآیی فرآیند اکسیداسیون پیشرفته UV/H₂O₂ در حذف آنتی‌بیوتیک سفتریاکسون از محیط آبی

قدرت‌اله شمس خرم‌آبادی^۱، عیسی بلقدر^۲، حاتم گودینی^۱، سید فرزانه آل نبی املشی^۳، ستار حاتمی^۳، علی گودرزی^۳، محمدعلی دانش بحرینی^۳، حامد شعبانی^۳، دنیا رحمانی^۳

۱- دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲- کارشناس ارشد، مرکز بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۳- کارشناس، شرکت داروسازی اکسیر، بروجرد، ایران.

یافته / دوره شانزدهم / شماره ۱ / بهار ۹۳ / مسلسل ۵۹

چکیده

دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰، پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۱۱

* مقدمه: حضور آنتی‌بیوتیک‌ها در منابع آبی، نشانگر ناکارآمدی فرآیندهای متداول تصفیه در حذف آن‌ها می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی اثربخشی روش اکسیداسیون پیشرفته UV/H₂O₂ در حذف سفتریاکسون از محیط آبی در مقیاس آزمایشگاهی است.

* مواد و روش‌ها: این تحقیق یک مطالعه تجربی است که در مقیاس آزمایشگاهی و در راکتوری با حجم ۵۸۰۰ میلی لیتر انجام شده است. محلول آبی حاوی آنتی‌بیوتیک سفتریاکسون با غلظت‌های ۹، ۱۸ و ۲۷ میلی‌گرم در لیتر ساخته شد. اثر غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک، pH، زمان ماند، ولتاژهای مختلف لامپ UV و غلظت H₂O₂ بر راندمان حذف این آلاینده از محیط آبی مورد مطالعه قرار گرفت. برای اندازه‌گیری غلظت سفتریاکسون از HPLC استفاده شد.

* یافته‌ها: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داده است که روش UV/H₂O₂ قادر به حذف ۷۵٪ سفتریاکسون از محلول آبی حاوی ۹ میلی‌گرم در لیتر، با زمان ماند ۳ ساعت می‌باشد. میزان حذف سفتریاکسون متأثر از پارامترهای pH، غلظت اولیه سفتریاکسون، غلظت H₂O₂ و شدت تابش اشعه UV می‌باشد. به طوری که در pH‌های اسیدی (pH برابر ۳) و غلظت پایین سفتریاکسون (۹ میلی‌گرم بر لیتر)، غلظت H₂O₂ برابر ۱۵ میلی‌گرم در لیتر و شدت تابش بالا (۳۶ وات) راندمان بالاتری در حذف آنتی‌بیوتیک حاصل شده است.

* بحث و نتیجه‌گیری: روش اکسیداسیون پیشرفته با استفاده از UV/H₂O₂ در شرایط مناسب محیطی قادر به حذف مؤثر آنتی‌بیوتیک سفتریاکسون از محیط‌های آبی می‌باشد.

* واژه‌های کلیدی: اکسیداسیون پیشرفته، UV/H₂O₂، سفتریاکسون، محلول آبی.

آدرس مکاتبه: خرم‌آباد، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط.

پست الکترونیک: godini_h@yahoo.com

مقدمه

ترکیبات دارویی با ورود به محیط زیست و منابع طبیعی و تماس با بشر، می‌توانند باعث ایجاد خطرات بالقوه برای ارگانسیم‌های آبی و خاکی شوند. اگر چه باقیمانده آنتی‌بیوتیک‌ها در مقادیر جزئی وجود دارند، اما ممکن است باعث ایجاد مقاومت در جمعیت‌های باکتری‌ها شده و در آینده نزدیک، آنتی‌بیوتیک‌ها را در درمان بیماری‌های مختلف بی‌اثر سازند (۱). آنتی‌بیوتیک‌ها ترکیبات شیمیایی هستند که مانع رشد میکروارگانسیم‌ها شده و اغلب یک ریشه میکروبی دارند و ممکن است نیمه مصنوعی یا کاملاً مصنوعی باشند (۱). یکی از مهمترین آنتی‌بیوتیک‌های مورد استفاده در درمان عفونت‌ها، آنتی‌بیوتیک سفتریاکسون می‌باشد. سفتریاکسون یکی از آنتی‌بیوتیک‌های سفالوسپورین نسل سوم می‌باشد و مانند دیگر سفالوسپورین‌های نسل سوم دارای طیف وسیعی از فعالیت علیه باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی می‌باشد. سفتریاکسون اغلب (به صورت مشترک با آنتی‌بیوتیک‌های آمینوگلیکوسید یا ماکرولید) برای درمان پنومونی فراگیر استفاده می‌شود. این دارو همچنین برای درمان مننژیت باکتریایی انتخاب می‌شود. در طب اطفال به‌طور رایج برای کودکان تب‌دار استفاده می‌شود. همچنین در درمان لپتوسپیروزیس، بیماری لنگوای، سوزاک و یک آنتی‌بیوتیک روتین پیشگیری کننده در جراحی‌های ارتوپدی به کار می‌رود (۲). آنتی‌بیوتیک‌ها به علت مصرف بسیار زیاد در پزشکی و دامپزشکی، جایگاه مهمی در آلودگی محیط زیست دارند و ممکن است حتی در غلظت‌های کم، باعث ایجاد مقاومت‌های دارویی باکتریایی شوند (۳). جهت حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از منابع آب از فرایندهای متعددی می‌توان استفاده کرد. از جمله این فرایندها عبارتند از: فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، تبادل یون، جذب کربن‌فعال، اسمز معکوس و تصفیه بیولوژیکی. برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها تصفیه بیولوژیکی چندان مؤثر نمی‌باشد زیرا

آنتی‌بیوتیک‌ها باعث حذف میکروارگانسیم‌های موثر در تصفیه می‌گردد. از بین دیگر فرایندها، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته برای تصفیه فاضلاب حاوی ترکیبات دارویی کاربردی‌تر می‌باشد زیرا این روش فقط آلودگی‌ها را از یک فاز به فاز دیگر انتقال نمی‌دهند بلکه برخلاف روش‌های دیگر آلاینده‌های دارویی را کاملاً حذف می‌کند (۴). در سال‌های اخیر تکنولوژی‌های مختلف تصفیه پیشرفته برای حذف ترکیبات دارویی از جمله اکسیداسیون شیمیایی با ازن و O_3/H_2O_2 ، فیلتراسیون غشایی و جذب کربن فعال، بررسی شده‌اند (۴). هر چند این تکنولوژی‌ها قابل دسترس بوده‌اند، اما معایبی هم داشتند، برای مثال فرآیند اکسیداسیون بر پایه ازن باعث تجزیه بروماید به یون برومات که مشکوک به سرطانزایی است، می‌شود (۴،۵) و نیاز به تصفیه گاز خروجی و شناورسازی کربن‌های آلی فرار دارد در حالی که با جایگزین کردن اشعه UV به جای ازن در فرآیند UV/H_2O_2 برای حذف ترکیبات آلاینده آلی، دیگر این مشکلات وجود نداشته است (۴). لذا هدف اصلی این تحقیق، تعیین عملکرد روش اکسیداسیون پیشرفته UV/H_2O_2 در حذف آنتی‌بیوتیک سفتریاکسون از محیط آبی می‌باشد. اهداف فرعی شامل تعیین اثر روش اکسیداسیون پیشرفته UV/H_2O_2 در حذف سفتریاکسون از محیط آبی و همچنین تعیین اثر pH، غلظت دارو، زمان ماند و شدت‌های متفاوت تابش UV و غلظت H_2O_2 در حذف سفتریاکسون می‌باشد تا در صورت موفقیت‌آمیز بودن به عنوان روش پیش تصفیه فاضلاب‌های دارویی به کار برده شود.

مواد و روش‌ها

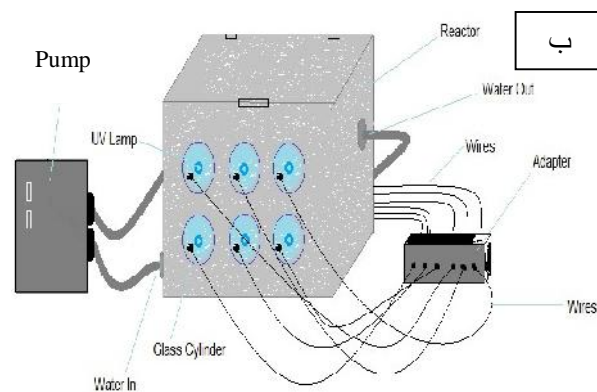
این مطالعه از نوع تجربی مداخله‌ای بوده که متغیر وابسته (غلظت نهایی آنتی‌بیوتیک) در مقابل پارامترهای عملیاتی و راهبردی که متغیرهای مستقلی مانند غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک، pH، زمان ماند، ولتاژهای مختلف لامپ UV و غلظت H_2O_2 می‌باشند، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته

گردید و برای تنظیم pH از NaOH و HCl یک نرمال استفاده شد. برای اندازه گیری pH از pH متر مدل Seveneasy شرکت Metler Toledo کشور سوئیس استفاده شد. برای مشخص کردن میزان تاثیر H_2O_2 در حذف آنتی بیوتیک، از غلظت های ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی گرم در لیتر H_2O_2 استفاده شد. برای مشخص نمودن میزان اثر غلظت اولیه آنتی بیوتیک، آزمایش حذف آنتی بیوتیک با روش اکسیداسیون پیشرفته UV/ H_2O_2 در ۳ غلظت اولیه ۹، ۱۸ و ۲۷ میلی گرم در لیتر سفتریاکسون با بهترین سطوح بدست آمده از pH، غلظت H_2O_2 و ولتاژ ثابت انجام شد. برای مشخص نمودن میزان اثر شدت های مختلف تابش UV، شدت تابش های ۱۲، ۲۴ و ۳۶ وات مورد ارزیابی قرار گرفت. این شدت تابش ها با بهترین مقادیر بدست آمده از pH، غلظت H_2O_2 و تعیین غلظت اولیه و غلظت باقیمانده آنتی بیوتیک در زمان های مختلف با استفاده از دستگاه HPLC و با مقایسه غلظت اولیه و غلظت های باقیمانده طی زمان های مختلف، درصد حذف برآورد شد. پس از انجام آزمایش های فیزیکوشیمیایی روی نمونه ها، نتایج بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم افزار SPSS (Version, 20) و آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد.

یافته ها

برای تعیین اثر زمان ماند در حذف سفتریاکسون، آزمایش حذف دارو با روش UV/ H_2O_2 ، با ثابت نگهداشتن شدت تابش UV برابر ۳۶ وات و غلظت اولیه آنتی بیوتیک برابر ۹ mg/l، pH=۳ و غلظت H_2O_2 برابر ۱۵ mg/l، در زمان های مختلف انجام شد. همان طور که در شکل ۲ مشخص است

است. مطالعه در یک راکتور آزمایشگاهی منقطع انجام گرفته است و نمونه گیری برای هر متغیر در هر بخش بصورت Grab sampling با اندازه گیری دقیق غلظت با Agilent 1200 (USA) HPLC مطابق کتاب روش های استاندارد برای آزمایش آب و فاضلاب انجام گرفته است (۶). این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و بطور ناپیوسته صورت گرفته است. راکتور مورد استفاده از جنس پلکسی گلاس با حجم کل ۵۸۰۰ سی سی بوده است. شکل و شمای راکتور مورد استفاده در این مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

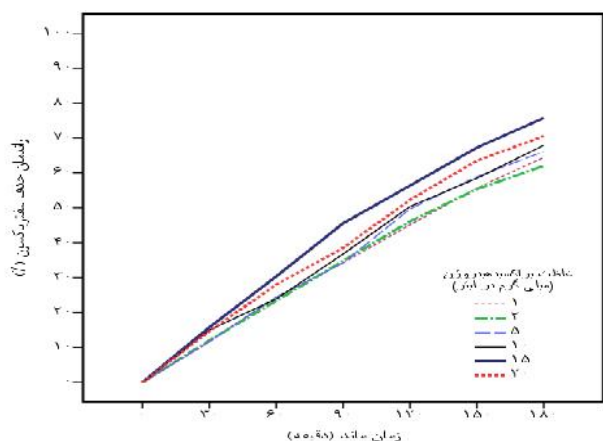


شکل ۱. شکل (الف) و شمای (ب) راکتور مورد استفاده در مطالعه حذف آنتی بیوتیک

سفتریاکسون از محیط آبی با استفاده از اکسیداسیون پیشرفته UV/ H_2O_2

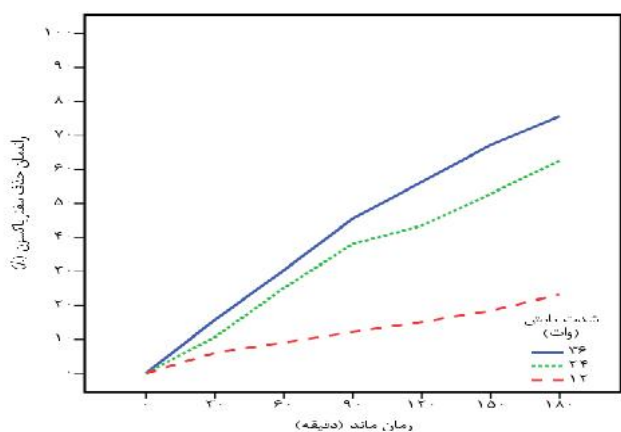
برای اجرای تحقیق، pH، غلظت آنتی بیوتیک، زمان ماند، ولتاژهای مختلف لامپ UV و غلظت H_2O_2 ، بررسی گردید. برای تعیین اثر pH چهار محدوده ۳، ۵، ۷ و ۹ انتخاب

نتایج نشان داد که غلظت H_2O_2 نقش بسیار مهمی در حذف سفتریاکسون از محیط آبی دارد (شکل ۴) و با افزایش غلظت H_2O_2 راندمان حذف کاهش یافته است. ضمناً بیشترین راندمان حذف در غلظت $H_2O_2 = 15 \text{ mg/l}$ بدست آمده است.



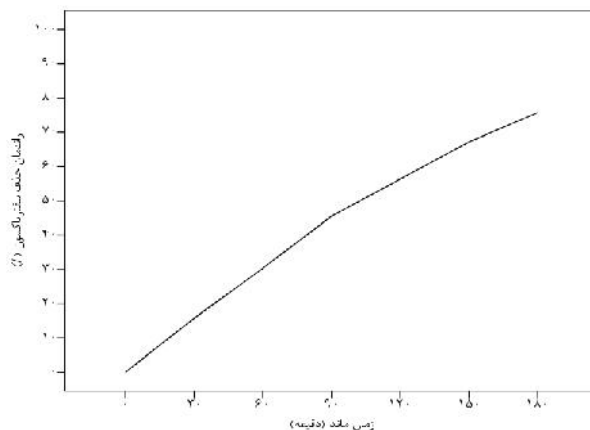
شکل ۴. تغییرات میانگین درصد حذف سفتریاکسون در غلظت‌های مختلف H_2O_2 و زمان‌های ماند متفاوت ($pH=3$ ، شدت تابش لامپ $UV=36$ وات و غلظت اولیه آنتی بیوتیک $=9 \text{ mg/l}$)

شدت تابش UV نیز می‌تواند نقش بسیار مهمی در حذف سفتریاکسون از محیط آبی داشته باشد (شکل ۵). به طوری که در شدت‌های تابش بالاتر میزان راندمان حذف افزایش می‌یابد.



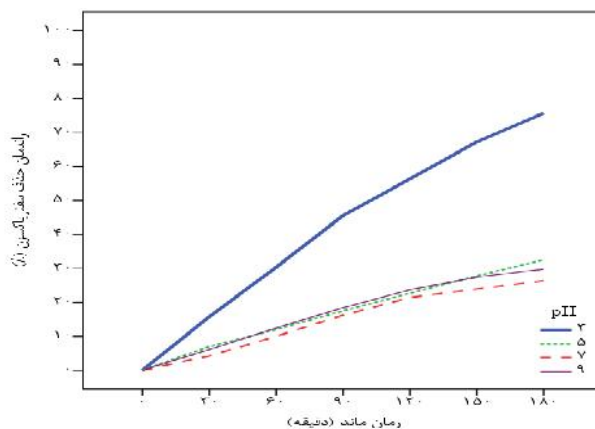
شکل ۵. تغییرات میانگین درصد حذف سفتریاکسون به تفکیک شدت تابش UV و زمان‌های ماند مختلف (غلظت اولیه آنتی بیوتیک $=9 \text{ mg/l}$ ، $H_2O_2 = 15 \text{ mg/l}$ ، $pH=3$)

آنتی بیوتیک سفتریاکسون با غلظت اولیه ۹ میلی گرم در لیتر، با شرایط ثابت بالا، در مدت زمان سه ساعت، ۷۵٪ حذف شده است.



شکل ۶. تغییرات میانگین درصد حذف سفتریاکسون در زمان‌های ماند مختلف ($pH=3$ ، $H_2O_2 = 15 \text{ mg/l}$ ، شدت تابش لامپ $UV=36$ وات و غلظت اولیه آنتی بیوتیک $=9 \text{ mg/l}$)

نتایج نشان داد که pH نقش بسیار مهمی در حذف سفتریاکسون از محیط آبی دارد (شکل ۳) و با کاهش میزان pH راندمان حذف افزایش می‌یابد، ضمناً بیشترین راندمان حذف، در $pH=3$ بدست آمده است.

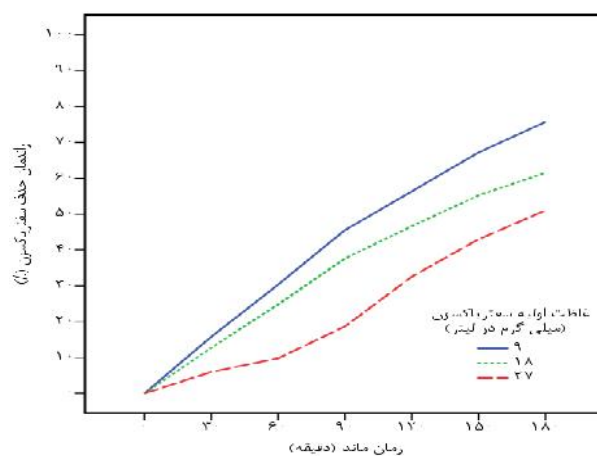


شکل ۳. تغییرات میانگین درصد حذف سفتریاکسون در زمان‌های ماند مختلف و pH های متفاوت ($H_2O_2 = 15 \text{ mg/l}$ ، شدت تابش لامپ $UV=36$ وات و غلظت اولیه آنتی بیوتیک $=9 \text{ mg/l}$)

حذف سفیکسیم تری هیدراته با استفاده از اکسیداسیون پیشرفته اکسند پروکسی دی سولفات و ایجاد رادیکال های فعال آن با استفاده از نانوذرات نقره تثبیت شده بر پایه سیلیکا، راندمان حذف ۹۴ درصد را در $pH=3/57$ و در زمان ماند ۹۰ دقیقه بدست آوردند (۷). جانگ و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲ تجزیه آنتی بیوتیک آموکسی سیلین را بوسیله فرآیندهای فتولیز مستقیم UV و UV/H_2O_2 بررسی کردند. آن ها به این نتیجه رسیدند که در زمان ماند ۸۰ دقیقه با روش اکسیداسیون پیشرفته UV/H_2O_2 ، بیش از ۹۹٪ ترکیب اولیه آموکسی سیلین تجزیه می شود (۸). جیائو و همکاران (۲۰۰۸) تجزیه تتراسایکلین که یک آنتی بیوتیک با حساسیت کم است را با استفاده از اشعه UV بررسی کردند. آن ها در زمان ماند بیش از ۳۰۰ دقیقه ۷۳٪ درصد از تتراسایکلین را حذف کردند (۹).

نتایج حاصل از این مطالعه، بیانگر آن است که اکسیداسیون و درصد حذف سفتریاکسون متأثر از pH محلول می باشد. بر اساس آزمون تحلیل واریانس یک طرفه بین میانگین درصد حذف سفتریاکسون در pH های مختلف، اختلاف معنی داری وجود دارد ($P=0/009$)، به طوری که بیشترین درصد حذف در $pH=3$ و کمترین درصد حذف در pH های ۷ و ۹ مشاهده شده است. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج حاصل از مطالعه انجام شده توسط قلم چی و رسولی فرد در سال ۲۰۱۱ مطابقت دارد (۷). روما و همکاران در سال ۲۰۱۱ تجزیه و حذف سیپروفلوکساسین را با استفاده از روش UV/H_2O_2 ، در سه pH (۳، ۷ و ۱۰) در محیط آبی بررسی کردند. آن ها به این نتیجه رسیدند که روش UV/H_2O_2 در $pH=3$ بسیار موفقیت آمیز بوده است (۱۰). نادئو و همکاران در سال ۲۰۰۹ در یک تحقیق مشابه تجزیه داروهای دیکلوفناک، آموکسی سیلین و کاربامازپین را تحت تابش اشعه UV در محلول ساده (آب خالص حاوی فقط یک دارو) و سه محلول مخلوط (از ۳ داروی مذکور) همراه با پساب فاضلاب

برای بررسی تأثیر غلظت اولیه آنتی بیوتیک در حذف سفتریاکسون (شکل ۶)، آزمایش حذف داروی مذکور با روش UV/H_2O_2 ، در زمان های ماند مختلف، $pH=3$ و شدت تابش $UV=36$ وات، $H_2O_2=5mg/l$ و غلظت های اولیه متفاوت از آنتی بیوتیک، انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت اولیه آنتی بیوتیک نقش بسیار مهمی در حذف سفتریاکسون از محیط آبی دارد و با افزایش غلظت اولیه، راندمان حذف به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. ضمناً بیشترین راندمان حذف در غلظت اولیه ۹ میلی گرم در لیتر بدست آمده است.



شکل ۶. تغییرات میانگین درصد حذف سفتریاکسون به تفکیک غلظت های اولیه مختلف آنتی بیوتیک سفتریاکسون و زمان های ماند مختلف ($pH=3$ ، $H_2O_2=5mg/l$ ، شدت تابش $UV=36$ وات)

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، سفتریاکسون با غلظت اولیه ۹ میلی گرم در لیتر و زمان ماند ۳ ساعت به میزان ۷۵٪ حذف شد. طبق نتایج حاصله از این تحقیق، زمان پیشنهادی برای انجام واکنش اکسیداسیون در حذف سفتریاکسون حداقل ۳ ساعت می باشد. دلیل این امر احتمالاً افزایش زمان ماند کافی برای تولید رادیکال فعال هیدروکسیل و ایجاد فرصت کافی برای واکنش و حمله رادیکال هیدروکسیل به مولکول های سفتریاکسون می باشد. قلم چی و رسولی فرد در سال ۲۰۱۱ جهت

ایل هو و همکاران در سال ۲۰۰۹ فرآیند تجزیه نوری مواد دارویی و محصولات مراقبت فردی را با استفاده از UV و UV/H₂O₂ بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن H₂O₂ در طول تصفیه با UV برای بهبود تجزیه مواد دارویی و محصولات مراقبت فردی، بسیار مؤثر است (۱۴).

در مطالعات مشابه زیادی که توسط ورا و همکاران در سال ۲۰۱۱ (۱)، وگنا و همکاران در سال ۲۰۰۴ (۱۵)، ارسلان-آلاتان و همکاران در سال ۲۰۰۴ (۱۶)، شیمیر و همکاران در سال ۲۰۰۶ (۱۷)، پریثرا و همکاران در سال ۲۰۰۷ (۱۸) و یائو و همکاران در سال ۲۰۱۳ (۱۹)، صورت گرفته همگی به این نتیجه رسیدند که به طور کلی H₂O₂ نقش مهمی در اکسیداسیون آنتی بیوتیک ایفا می کند. به عبارت دیگر یکی از عوامل مهم در واکنش های اکسیداسیون پیشرفته که بر سرعت واکنش های شیمیایی نیز مؤثر است H₂O₂ می باشد. ترکیب فتولیز با پراکسید هیدروژن که یک اکسیدان قوی است به علت تولید رادیکال های هیدروکسیل، باعث آسان تر شدن تجزیه شده و راندمان فرآیند بالا می رود. ضمناً در تحقیقات انجام شده توسط محققین مذکور، با توجه به ساختار شیمیایی داروی مورد تجزیه و خصوصیات ماتریکس آب و سایر شرایط، از غلظت های مختلف H₂O₂ استفاده شده است.

نتایج نشان داده است که اکسیداسیون و درصد حذف سفتریاکسون متاثر از شدت تابش UV می باشد. بیشترین درصد حذف در شدت تابش ۳۶ وات و کمترین درصد حذف در شدت تابش ۱۲ وات به دست آمده است.

نادنو و همکاران در سال ۲۰۰۹ در یک تحقیق مشابه تجزیه داروهای دیکلوفناک، آموکسی سیلین و کاربامازپین را تحت تابش اشعه UV در محلول های مختلف ارزیابی کردند. آن ها دریافتند

شهری ارزیابی کردند. آن ها دریافتند که با کاهش PH (اسیدی شدن محیط)، میزان تجزیه داروها افزایش می یابد (۱۱). المولا و چادوری نیز در سال ۲۰۰۹ گزارش نمودند که در pH کم به علت تشکیل یون های اکسونیم^۱، پراکسید هیدروژن ثابت تر است و یون های اکسونیم پایداری H₂O₂ را بهبود می بخشد (۱۲). همچنین بابو و همکاران در سال ۲۰۰۸ به این نتیجه رسیدند که افزایش بیش از اندازه pH باعث افزایش تشکیل یون های HO₂⁻ و مصرف رادیکال های OH بوسیله یون های کربنات و بی کربنات می شود (۱۳).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داده است که اکسیداسیون و درصد حذف سفتریاکسون متأثر از غلظت H₂O₂ محلول می باشد. بر اساس آزمون تحلیل واریانس یک طرفه بین درصد حذف سفتریاکسون و غلظت های مختلف H₂O₂، اختلاف معناداری وجود داشته (P=۰/۰۰۳)، به طوری که بیشترین درصد حذف در H₂O₂ با غلظت ۱۵ میلی گرم در لیتر بدست آمده است. جانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ تجزیه آموکسی سیلین را بوسیله فرآیندهای فتولیز مستقیم UV و UV/H₂O₂ بررسی کردند. آن ها به این نتیجه رسیدند که در دوز مشابه UV، ثابت سرعت تخریب آموکسی سیلین بطور قابل توجهی با افزایش غلظت H₂O₂ افزایش می یابد و هنگامی که H₂O₂ ۱۰mM اضافه شود میزان تجزیه تا ۶ برابر در مقایسه با فتولیز مستقیم با UV یعنی زمانی که از H₂O₂ استفاده نمی شود، افزایش می یابد و تجزیه بالای ترکیب اولیه آموکسی سیلین (بیش از ۹۹٪)، صورت می گیرد (۸). روما و همکاران در سال ۲۰۱۱ تجزیه و حذف سیپروفلوکساسین را با استفاده از روش های تصفیه فتولیز تنها و UV/H₂O₂ در محیط آبی بررسی کردند. آن ها به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن H₂O₂ به UV باعث دو برابر شدن سرعت تجزیه نسبت به UV بدون H₂O₂ می شود (۱۰).

1. H₃O⁺₂

که با افزایش شدت تابش، میزان تجزیه داروها افزایش می‌یابد (۱۱).

پارادوس-جويا و همکاران نیز در سال ۲۰۱۱ تجزیه نوری آنتی‌بیوتیک نیترومیدازول را با کمک اشعه UV در محیط‌های آبی بررسی کردند. آن‌ها در تحقیق خود متوجه شدند، به علت اینکه در زمان گندزدایی از UV با شدت تابش کم استفاده می‌شود، نیترومیدازول کامل حذف نمی‌شود، لذا بایستی یا زمان تماس با UV را افزایش داد یا شدت تابش را بیشتر کرد (۲۰).

بر اساس آزمون تحلیل واریانس یک طرفه بین درصد حذف آنتی‌بیوتیک و غلظت‌های اولیه مختلف آنتی‌بیوتیک، اختلاف معناداری وجود دارد ($P=0/003$)، به طوری که بیشترین درصد حذف سفتریاکسون در غلظت اولیه ۹ میلی‌گرم در لیتر و کمترین درصد حذف در غلظت ۲۷ میلی‌گرم در لیتر به دست آمده است.

به‌روزی و همکاران در سال ۲۰۱۱ حذف آنتی‌بیوتیک مترونیدازول از پساب کارخانجات داروسازی را با روش UV/H₂O₂ در یک فتوراکتور پیوسته استوانه‌ای بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که کاهش غلظت آنتی‌بیوتیک بر افزایش میزان حذف تأثیر مثبت دارد، چون افزایش غلظت آنتی‌بیوتیک به معنی افزایش ماده تحت تابش است که اولاً به زمان بیشتری برای انجام فرآیند نیاز دارد، ثانیاً ماده به عنوان فیلتر عمل می‌کند و در نتیجه باعث کاهش نفوذ تابش اشعه UV می‌شود. در نتیجه روند افزایش سرعت فرآیند با روند افزایش غلظت ماده (آنتی‌بیوتیک) دو نقطه مقابل یکدیگر می‌باشند (۲۱). در یک تحقیق مشابه دیگر، شائوجان و همکاران در سال ۲۰۰۸، تجزیه تتراسایکلین را با استفاده از اشعه UV بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که سرعت فتولیز به غلظت اولیه تتراسایکلین وابسته است. بدین صورت که با افزایش غلظت اولیه تتراسایکلین از ۱۰ mg/l به ۴۰ mg/l، سرعت فتولیز به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد (۲۲).

به طور کلی با انجام این تحقیق نتایج زیر حاصل گردید:

- عامل UV همراه با H₂O₂ برای حذف سفالوسپورین‌ها بخصوص سفتریاکسون موثر است و استفاده از این روش می‌تواند مقدار قبل توجهی (۷۵٪) از آنتی بیوتیک سفتریاکسون را از محلولی با غلظت ۹ میلی‌گرم در لیتر از این آنتی بیوتیک تحت شرایط مناسب در طی زمان تماس ۳ ساعت حذف نماید. برای حذف بیشتر آنتی بیوتیک از محیط‌های آبی با غلظت‌های بیشتر و یا راندمان بیشتر پیشنهاد می‌گردد زمان‌های ماند طولانی‌تر نیز توسط محققین دیگر مورد بررسی قرار گیرد.
- هرچه زمان انجام واکنش بیشتر شده، درصد حذف بیشتر شده است به طوری که در بالاترین زمان ماند (۳ ساعت) بالاترین راندمان حذف حاصل شده است.
- محیط اسیدی برای حذف سفتریاکسون، از محیط خنثی و قلیایی بهتر بوده است.
- هر چه غلظت پراکسید هیدروژن بیشتر شده، البته تا حد محدودی، درصد حذف بیشتر شده است.
- هر چه شدت تابش لامپ افزایش یابد درصد حذف بیشتر خواهد شد.

تشکر و قدردانی

از مدیرعامل محترم شرکت داروسازی اکسیر بروجرد، مسئول محترم امور اداری و مدیر محترم آزمایشگاه کنترل و سایر پرسنل محترم آزمایشگاه آن شرکت، و همچنین از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی لرستان و مسئول محترم آزمایشگاه دانشکده بهداشت، به خاطر تصویب، تأمین بودجه و همکاری صمیمانه در انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

References

- Vera H, Lúcia S. Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices -A-review. *J Environ Manage.* 2011;92:2304-2347.
- Rind FMA, Laghari MGH, Memon AH, Mughal UR, Almani F, Memon N, et al. Spectrophotometric Determination of Ceftriaxone Using 4-Dimethylaminobenzaldehyde. *Pak J Anal Environ Chemosphere.* 2008;9:43-48.
- Elmolla S, Chaudhuri M. Comparison of different advanced oxidation processes for treatment antibiotic aqueous solution. *Desalination.* 2010;256:43-47.
- Yuan F, Hu C, Hu X, Qu J, Yang M. Degradation of selected pharmaceuticals in aqueous solution with UV and UV/H₂O₂. *Water Res.* 2009;43:1766-1774.
- Heeb MB, Criquet J, Zimmermann-Steffens SG. Oxidative treatment of bromide-containing waters: Formation of bromine and its reactions with inorganic and organic compounds- a critical review. *Water Res.* 2014;48:15-42.
- APHA, AWWA, CFWP. Standard method for examination of water and waste water. 21th edition, American Public Health Association, Washington DC; 2005.
- Ghulamchi L, Rasouli-Fard MH. Evaluation of removal of cefixime tri-hydrate in contaminated waters by advanced oxidation. The 5th national conference and exhibition on environmental engineering, Tehran, Iran, 2011. (In Persian)
- Jung Y, Gikim W, Yoon Y, Kang JW, Min Hong Y, Wook Kim H. Removal of amoxicillin by UV and UV/H₂O₂ processes. *Sci Total Environ.* 2012; 420: 160-167.
- Jiao S, Zheng S, Yin D, Wang L, Chen L. Aqueous photolysis of tetracycline and toxicity of photocatalytic products to luminescent bacteria. *Chemosphere.* 2008; 73: 377-382.
- Roma M, Weller M, Wentzell S. Removal of Ciprofloxacin from Water using Adsorption, UV Photolysis and UV/H₂O₂ Degradation. Worcester Polytechnic Institute, Worcester; 2011.
- Naddeo V, Meric S, Kassinos D, Belgiorno V, Guida M. Fate of pharmaceuticals in contaminated urban wastewater effluent under ultrasonic irradiation. *Water Res.* 2009;43:4019-4027.
- Elmolla E, Chaudhuri M. Optimization of Fenton process for treatment of amoxicillin, ampicillin and cloxacillin antibiotics in aqueous solution. *J Hazard Mater.* 2009;170: 666-672.
- Bobu M, Yediler A, Siminiceanu I, Schulte-Hostede S. Degradation studies of ciprofloxacin on a pillared iron catalyst. *Appl Catal Environ.* 2008; 83:15-23.
- Ilho K, Naoyuki Y, Hiroaki T. Photodegradation of pharmaceuticals and personal care products during UV and UV/H₂O₂ treatments. *Chemosphere.* 2009;77: 518-525.
- Vogna D, Marotta R, Napolitano A, Andreozzi R, Dischia M. Advanced oxidation of the pharmaceutical drug diclofenac with UV/H₂O₂ and ozon. *Water Res.* 2004;38:414-422.

16. Arslan-Alaton I, Dogruel S. Pre-treatment of penicillin formulation effluent by advanced oxidation processes. *J Hazard Mater.* 2004; 112: 105-113.
17. Shemer H, Kunukcu YK, Linden KG. Degradation of the pharmaceutical metronidazole via UV, Fenton and photo-Fenton processes. *Chemosphere.* 2006;63: 269-276.
18. Pereira VJ, Weinberg HS, Linden KG, Singer PC. UV degradation kinetics and modeling of pharmaceutical compounds in laboratory grade and surface water via direct and indirect photolysis at 254 nm. *Environ Sci Technol.* 2007; 41:1682-1688.
19. Yao H, Sun P, Minakata D, Crittenden JC, Huang CH. Kinetics and modeling of degradation of ionophore antibiotics by UV and UV/H₂O₂. *Environ Sci Technol.* 2013;47:4581-4589.
20. Prados-Joya G, Sa´nchez-Polo M, Rivera-Utrilla J, Ferro-garcía M. Photodegradation of the antibiotics nitroimidazoles in aqueous solution by ultraviolet radiation. *Water Res.* 2011;45: 393-403.
21. Behrouzi-Navid M, Olya ME, Monakchian K. Removal of Metronidazole in pharmaceutical industrial effluents by UV/H₂O₂. The 5th national conference and exhibition on environmental engineering, Tehran, Iran; 2011. (In Persian)
22. Shaojun J, Shourong Z, Daqiang Y, Lianhong W, Liangyan C. Aqueous oxy-tetracycline degradation and the toxicity change of degradation compounds in photo-irradiation process. *J Environ Sci.* 2008; 20: 806-813.