ORIGINAL ARTICLE

Efficiency of UV Activated Persulfate in Removal of Ofloxacin from Aqueous Solutions

Parisa Tavassoli[1],
Edris Bazrafshan[2],
Ferdos Kord Mostafapour[3],
Zahra Maghsoodi[1],
Davoud Balarak[4],
Hossein Kamani[5],
Amin Allah Zarei[6]

[1] MSc Student, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran
[2] Professor, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Health Sciences Research Center, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran
[3] Associate Professor, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran
[4] Lecturer, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran
[5] Assistant Professor, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran
[6] Lecturer, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Health Sciences Research Center, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran

(Received August 2, 2017 ; Accepted October 24, 2017)

Abstract

Background and purpose: Pharmaceutical products, particularly antibiotics are emerging contaminants that cause major environmental challenges due to cumulative effects, different adverse effects, and leading to drug resistance. The aim of this experimental study was to evaluate the efficiency of advanced oxidation process by persulfate activated by UV in removal of ofloxacin from aqueous solutions.

Materials and methods: In order to investigate the removal efficiency of ofloxacin, major operating parameters including initial pH of solution (2-12), the concentration of persulfate (50-3500 mg/l), concentrations of ofloxacin (2-100 mg/l), reaction time (6-30 min), and UV radiation (8,15,30 Watt) were studied.

Results: Maximum removal efficiency of ofloxacin and COD in optimal conditions (pH =6, persulfate concentration = 350 mg/l, ofloxacin concentration = 40 mg/l, reaction time =20 min and UV radiation = 8 watt) were 94.35% and 79.17%, respectively. Advanced oxidation with activated persulfate by UV, deceased the concentrations of ofloxacin and COD to 2.26 and 37.21 mg/l, respectively.

Conclusion: The results showed that using UV activated persulfate is an efficient method in removal of ofloxacin from aqueous solutions.

Keywords: advanced oxidation, ofloxacin, antibiotic, UV activated persulfate

J Mazandaran Univ Med Sci 2018; 28 (159): 116-129 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و هشتم شماره ۱۵۹ فروردین سال ۱۳۹۷ (۱۲۹-۱۱۶)

بررسی کارایی پر سولفات سدیم فعال شده با پرتو فرا بنفش در حذف آنتی بیوتیک آفلوکساسین از محیط های آبی

پریسا توسلی[۱]
ادریس بذرافشان[۲]
فردوس کرد مصطفی پور[۳]
زهرا مقصودی[۱]
داوود بلارک[۴]
حسین کمانی[۵]
امین الله زارعی[۶]

چکیده

سابقه و هدف: محصولات دارویی به ویژه آنتی‌بیوتیک ها از جمله آلاینده‌های نوپدیدی می‌باشند که به دلیل خاصیت تجمعی، اثرات سوء مختلف و ایجاد مقاومت‌های دارویی، نگرانی‌های عمده‌ای را در محیط زیست ایجاد نموده‌اند. مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی فرآیند اکسیداسیون پیشرفته توسط پرسولفات فعال شده با UV در حذف آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین از محیط های آبی انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی، به منظور تعیین راندمان حذف آفلوکساسین و COD در محیط های آبی، متغیرهای مهم بهره برداری شامل pH اولیه محلول (۱۲-۲)، غلظت پرسولفات (۳۵۰۰-۵۰ میلی گرم در لیتر)، غلظت آفلوکساسین (۱۰۰-۲ میلی‌گرم در لیتر)، زمان واکنش (۳۰-۶ دقیقه) و توان تابشی لامپ UV (۸، ۱۵، ۳۰ وات)، مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: حداکثر راندمان حذف آفلوکساسین و COD در pH برابر ۶، غلظت پرسولفات معادل ۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت آفلوکساسین برابر ۴۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس ۲۰ دقیقه و شدت تابش UV معادل ۸ وات به ترتیب برابر با ۹۴/۳۵ و ۷۹/۱۷ درصد حاصل گردید. با استفاده از روش اکسیداسیون پیشرفته توسط پرسولفات فعال شده با UV، غلظت آفلوکساسین و COD به ترتیب به ۲/۲۶ و ۳۷/۲۱ میلی گرم در لیتر کاهش یافت.

استنتاج: نتایج نشان داد که استفاده از پرسولفات فعال شده با UV در حذف آنتی بیوتیک آفلوکساسین از محلول‌های آبی روشی موثر و کارآمد می‌باشد.

واژه های کلیدی: اکسیداسیون پیشرفته، آنتی بیوتیک، آفلوکساسین، پرسولفات فعال شده با UV

مقدمه

یکی از مشکلات عمده زیست محیطی عصر حاضر، آلودگی آب‌های سطحی با محصولات دارویی می‌باشد(۲،۱). در حال حاضر سالیانه مقادیر زیادی ترکیبات دارویی در سراسر جهان در آب‌های سطحی شناسایی می‌شود(۳).

مولف مسئول: ادریس بذرافشان- تربت حیدریه: دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه E-mail: ed_bazrafshan@yahoo.com
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات ارتقای سلامت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران
۲. استاد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
۳. دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات ارتقای سلامت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران
۴. مربی، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات ارتقای سلامت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران
۵. استادیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
۶. مربی، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۶/۵/۱۱ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۳۹۵/۳/۱۳۹۶/۶/۲۷ تاریخ تصویب : ۱۳۹۶/۱/۸۱۳۹۶/۱۲

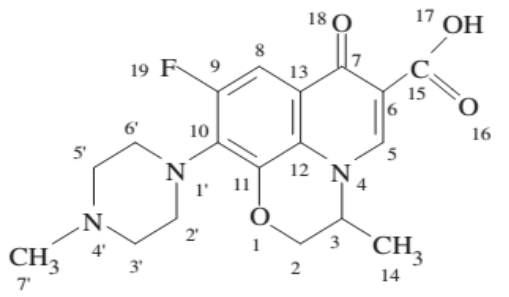
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

حضور آنتی‌بیوتیک‌ها در فاضلاب در سال‌های اخیر افزایش یافته است به نحوی که کاهش و حذف آن‌ها به یک چالش بزرگ تبدیل شده است(۴).

آنتی‌بیوتیک‌ها به میزان زیادی نسبت به تجزیه بیولوژیکی مقاوم هستند و می‌توانند مدت زمان زیادی بدون تغییر در محیط باقی بمانند، بنابراین برجسته ترین اثر زیست محیطی آن‌ها، ایجاد سمیت برای موجودات آبزی و بر هم زدن تعادل زیست محیطی می‌باشد. حضور آنتی‌بیوتیک‌ها در سیستم تصفیه طبیعی منجر به توسعه سویه‌های مقاوم باکتری می‌شود. بنابراین پیش تصفیه فاضلاب حاوی آنتی بیوتیک قبل از تخلیه به آب پذیرنده، در سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی و سیستم‌های بازیافت آب، ضرورت دارد(۷-۵).

فاضلاب حاوی آنتی‌بیوتیک دارای مشخصاتی هم‌چون pH خنثی(۸-۶)، COD متوسط (۲۰۰۰-۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، BOD_5 پایین (۱۰۰-۰ میلی‌گرم در لیتر)، جامدات معلق فرار (VSS) کم (۴۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و رنگ زیاد می‌باشد(۹،۷). آنتی‌بیوتیک‌ها در غلظت‌های بالا (میلی‌گرم در لیتر) در فاضلاب بیمارستان‌ها، در غلظت‌های پایین‌تر (میکرو گرم در لیتر) در فاضلاب‌های شهری و در غلظت‌های بسیار کم‌تر (نانوگرم در لیتر) در آب‌های سطحی شناسایی شده‌اند(۱۰).

یکی از گروه‌های رایج آنتی بیوتیک ها گروه کینولون‌ها می‌باشند. آفلوکساسین، از نسل دوم این گروه است که با فرمول شیمیایی $C_{18}H_2OFN_3O_4$ و وزن مولکولی ۳۶۱/۳۶۸ گرم بر مول برای درمان طیف گسترده‌ای از عفونت‌های باکتریایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (تصویر شماره ۱). ساز و کار عمل این آنتی‌بیوتیک، مهار سنتز DNA باکتری از طریق اتصال با آنزیم‌های DNA gyras و *توپوایزومراز* IV می‌باشد(۱۲،۱۱). گزینه‌های مختلفی برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی آنتی‌بیوتیک وجود دارد که می‌توان از فرآیندهای فتوکاتالیستی، نانوکاتالیستی، جذب توسط انواع جاذب‌ها و غیره نام برد(۱۶-۲). یکی از مشکلات استفاده از این روش‌ها، حذف غیر موثر آنتی‌بیوتیک است زیرا این فرآیندها تنها باعث انتقال فاز آلاینده می‌گردند و صرفا برای آلودگی‌های کم مناسب بوده و به شستشو و دفع مواد زائد از جمله، لجن حاوی هیدروکسیل آهن، pH اسیدی و مقدار زیادی معرف، نیاز دارند(۹،۳).



تصویر شماره ۱: ساختار آنتی بیوتیک آفلوکساسین

یکی از ترکیبات اکسیدانت تولیدکننده‌ی رادیکال سولفات، پرسولفات سدیم ($Na_2S_2O_8$) می‌باشد. نمک پرسولفات سدیم منبع تولید یون پرسولفات ($S_2O_8^{-2}$) با پتانسیل اکسیداسیون E = ۲/۰۱ V است که از قوی‌ترین اکسیدان‌های مورد استفاده در تصفیه آلاینده‌های آلی می‌باشد. پرسولفات سدیم علاوه بر شرکت در واکنش‌های مستقیم می‌تواند تحریک شود و رادیکال‌های سولفات با پتانسیل اکسیداسون احیای E = ۲/۶ V را تولید نماید(۱۸،۱۷). از جمله مزایای استفاده از پرسولفات نسبت به سایر اکسیدان‌ها، می‌توان به نگهداری آسان در دمای محیط، ارزان‌تر بودن نسبت به اکسیدانت‌های دیگر، حلالیت بالا در محلول‌های آبی، پایداری بیش‌تر، تجزیه ترکیبات آلی مقاوم، در دسترس بودن و تولید رادیکال سولفات به عنوان محصول نهایی اشاره کرد، که مانند رادیکال هیدروکسیل بسیار واکنش‌پذیر بوده و دارای عملکرد غیر انتخابی می‌باشد(۲۰،۱۹). همچنین پرسولفات به دلیل جامد بودن نسبت به اکسیدانت‌های مایع نظیر H_2O_2 توانایی بیش‌تری برای کاربردهای صنعتی دارد(۲۱-۱۹).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

از آن‌جایی که واکنش اکسیداسیون به‌وسیله پرسولفات بدون فعال سازی بسیار کند است، لذا برای تسریع فرآیند اکسیداسیون، فعالسازی پرسولفات ضروری می‌باشد(۲۰،۲۱). از جمله روش‌های متداول فعال سازی پرسولفات استفاده از کاتالیست‌های فلزی، اشعه UV و فعال‌سازی گرمایی می‌باشد(۲۱-۱۸). اگر چه فعال سازی پرسولفات توسط یون‌های فلزی، باعث افزایش کارایی این اکسیدانت‌ها در کاهش غلظت آلاینده‌های موجود در آب می‌شود ولی اثرات منفی یون‌های فلزی باقیمانده بر روی سلامت انسان حائز اهمیت می‌باشد. در مقابل، اشعه UV، به عنوان یک روش کاربردی و سازگار با محیط زیست برای فعال سازی پرسولفات در جهت تولید رادیکال‌های اکسیدکننده استفاده می‌شود(۱۸). طی سال‌های اخیر فعال‌سازی پرسولفات با استفاده از پرتو UV، به دلیل هزینه عملیاتی پایین و بازده بالای حذف آلاینده‌های آلی، مورد توجه فراوانی قرار گرفته است(۲۱-۱۸).

مکانیسم تابش UV بر روی ترکیب پرسولفات تولید رادیکال‌های سولفات از طریق فتولیز آن می‌باشد که مطابق واکنش ۱، انجام می‌شود(۲۱-۱۸).

$$S_2O_8^{2-} + h\vartheta \rightarrow 2SO_4^{\cdot -} \qquad (۱)$$

در مطالعه حاضر حذف آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین با استفاده از فرایند $UV/S_2O_8^{-2}$ تحت تاثیر پارامترهای مختلفی از قبیل pH محلول، غلظت پرسولفات، مقدار اولیه آفلوکساسین، زمان واکنش با $UV/S_2O_8^{-2}$ و توان تابش UV مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

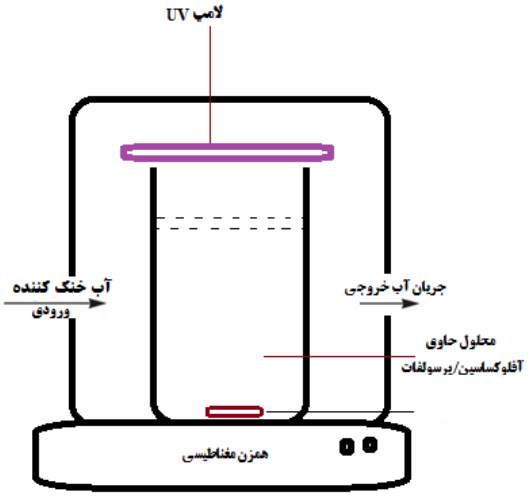
در این مطالعه تجربی، ترکیبات شیمیایی مورد استفاده شامل آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین با درجه خلوص ۹۸/۵ درصد (از شرکت سیگما آلدریچ) و نمک سدیم پرسولفات با فرمول $Na_2S_2O_8$ و با خلوص ۹۹ درصد (از شرکت سیگما آلدریچ (CAS Number: 7775-27-1)) تهیه گردید. این ترکیبات جهت ساخت محلول استوک ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین و محلول استوک سدیم پرسولفات با غلظت ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با استفاده از آب مقطر ۲ بار تقطیر مورد استفاده قرار گرفتند. غلظت باقی مانده آفلوکساسین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری مدل DR 5000 (طول موج حداکثر جذب آفلوکساسین معادل ۲۸۷ نانو متر) اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری COD نیز از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۰۰ نانو متر استفاده گردید.

کلیه آزمایشات (در مجموع ۱۲۰ آزمایش) در یک راکتور شیشه‌ای که برای این منظور طراحی گردیده بود انجام پذیرفت. راکتور از دو قسمت اصلی، قسمت اول محفظه اصلی یا محفظه واکنش که دارای حجم مفیدی برابر ۱۰۰۰ میلی‌لیتر بوده است که کل مراحل آزمایش در آن انجام می‌شود و محفظه دوم که محفظه اصلی را در برگرفته و آب به‌طور مداوم درون این محفظه جریان دارد، تشکیل شده است. شماتیک راکتور در نمودار شماره ۲ آمده است. هدف از ساخت محفظه ثانویه با توجه به ثابت در نظر گرفتن دما در آزمایشات، کاهش دمای حاصل از لامپ UV (لامپ کم فشار جیوه‌ای با طول موج ۲۵۴ نانو متر، تولید شده توسط شرکت فیلیپس، هلند)، توسط جریان مداوم آب بوده است. لامپ UV مستقیما در قسمت بالایی راکتور قرار داشته است و دیواره خارجی راکتور توسط فویل آلومینیوم پوشانیده شد تا تابش به‌طور موثرتری انجام شود. سپس در زمان های تعیین شده نمونه‌هایی با حجم مورد نیاز از راکتور برداشت گردید و غلظت باقیمانده آنتی‌بیوتیک و COD توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ذکر شده اندازه‌گیری شد.

در این مطالعه به منظور بهینه سازی فاکتور های مؤثر بر فرآیند، تأثیر هر یک از پارامتر های مهم بهره برداری شامل pH اولیه محلول (۱۲-۲)، غلظت پرسولفات (۳۵۰۰-۱۵۰ میلی گرم بر لیتر)، غلظت اولیه آفلوکساسین (۱۰۰-۲ میلی گرم بر لیتر)، زمان واکنش (۶۰-۱۰ دقیقه) و توان تابشی لامپ UV (۸، ۱۵، ۳۰

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

وات)، مورد مطالعه قرار گرفت. انتخاب گستره این متغیر ها بر اساس بررسی متون انجام پذیرفته است.



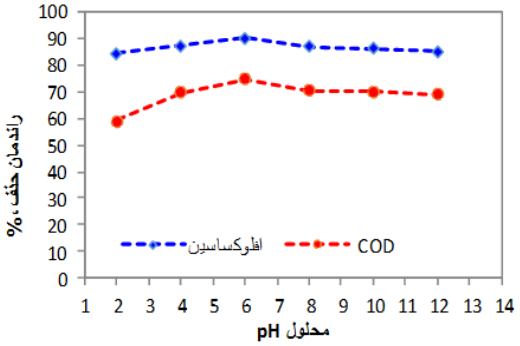
تصویر شماره ۲: شماتیک راکتور مورد استفاده

همچنین به منظور تعیین میزان حذف آفلوکساسین تحت شرایط واقعی، دو نمونه فاضلاب با حجم یکسان از فاضلاب بیمارستانی تهیه شد. نمونه برداری از فاضلاب بیمارستان امیرالمومنین زاهدان انجام گرفت. بعد از ورود فاضلاب به حوض هوادهی، از ۳۰ سانتی‌متری کف حوض هوادهی صورت گرفت و دو نمونه که یکی از آن‌ها حاوی ۴۰ میلی گرم در لیتر آفلوکساسین (پس از تزریق آنتی‌بیوتیک به نمونه) و نمونه دیگر بدون آفلوکساسین به عنوان شاهد آماده گردید. در نهایت شرایط بهینه‌ی تعیین شده در مراحل واکنش پرسولفات فعال شده با UV بر روی نمونه فاضلاب سنتتیک حاوی آفلوکساسین، برای فاضلاب طبیعی اعمال گردید.

یافته ها

تعیین pH بهینه در حذف آنتی بیوتیک آفلوکساسین تحت فرایند اکسیداسیون با پرسولفات فعال شده با UV

نمودار شماره ۱ اثر pH های مختلف در گستره ۱۲-۲ را بر عملکرد فرآیند $UV/Na_2S_2O_8$ در حذف آفلوکساسین و COD نشان می‌دهد. جهت تعیین pH بهینه، متغیرهای غلظت پرسولفات ۵۰۰ میلی گرم در لیتر، غلظت آفلوکساسین ۴۰ میلی گرم در لیتر، زمان تماس ۳۰ دقیقه (با توجه به پیش آزمایش) و تابش پرتو UV با توان ۸ وات و دمای ثابت ۲۵ درجه، در نظر گرفته شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که راندمان حذف آفلوکساسین با افزایش pH روندی صعودی داشته به نحوی که بیش‌ترین راندمان حذف در pH اولیه معادل ۶ (۹۰/۱ درصد) مشاهده گردید. درصد حذف آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین و COD در pH معادل ۶ به عنوان pH بهینه به ترتیب برابر ۹۰/۱ و ۷۴/۶۲ درصد حاصل گردید.



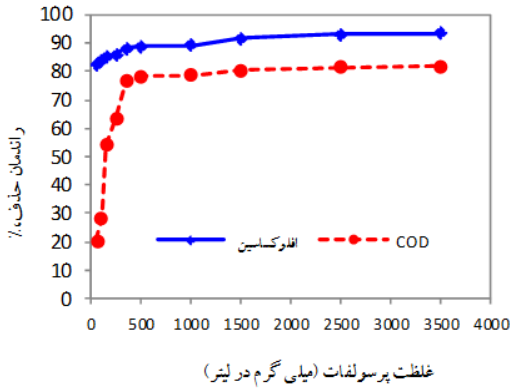
نمودار شماره ۱: اثر pH اولیه محلول در فرایند اکسیداسیون با واکنش گر پرسولفات فعال شده با UV بر راندمان حذف آفلوکساسین و COD (غلظت آفلوکساسین ۴۰ mg/l، غلظت پرسولفات ۵۰۰mg/l، زمان واکنش ۳۰ دقیقه، تابش UV برابر ۸ وات)

تأثیر غلظت اولیه واکنش گر پرسولفات بر حذف آفلوکساسین و COD در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV

در نمودار شماره۲، اثر غلظت‌های مختلف واکنش گر پرسولفات بر عملکرد فرآیند $UV/Na_2S_2O_8$ در حذف آفلوکساسین و COD نشان داده شده است. جهت تعیین غلظت بهینه پرسولفات، با ثابت نگه داشتن سایر متغیرهای آزمایش (غلظت آفلوکساسین ۴۰ میلی گرم در لیتر، زمان تماس ۳۰ دقیقه، pH بهینه برابر ۶، تابش UV معادل ۸ وات) غلظت‌های مختلف ۵۰ تا ۳۵۰۰ میلی گرم در لیتر از محلول استوک پرسولفات سدیم تهیه گردید و به نمونه اضافه شد. نتایج مطالعه حاضر با توجه به نمودار شماره ۲، نشان داد که با افزایش غلظت پرسولفات

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

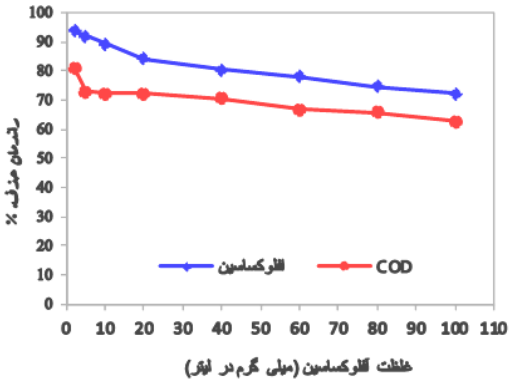
راندمان حذف آفلوکساسین و COD افزایش می‌یابد. به عبارتی راندمان حذف از ۸۲/۴۸ درصد در دوز اولیه پرسولفات معادل ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به ۹۳/۳ درصد در دوز ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر رسید که این مقدار برای دوز ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر برابر ۸۸/۱ درصد حاصل گردید. همان‌طورکه مشاهده می‌گردد شیب نمودار تا غلظت پرسولفات ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر تند و از آن به بعد با افزایش بیش‌تر غلظت پرسولفات روند افزایشی راندمان حذف رو به کندی و تقریبا ثابت می‌باشد. لذا جهت ادامه آزمایشات غلظت ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر پرسولفات به عنوان دوز بهینه انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت.



نمودار شماره ۲: اثر غلظت پرسولفات فعال شده با UV بر راندمان حذف آفلوکساسین و COD، (pH برابر ۶، غلظت آفلوکساسین ۴۰ میلی گرم در لیتر، زمان واکنش ۳۰ دقیقه، شدت تابش UV برابر با ۸ وات)

تأثیر تغییرات غلظت آفلوکساسین بر راندمان حذف آفلوکساسین و COD در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV

در این مرحله بازده حذف آفلوکساسین و COD در غلظت های مختلف آفلوکساسین مورد بررسی قرار گرفت. نمودار شماره ۳ اثر تغییرات غلظت آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین (غلظت اولیه آفلوکساسین ۱۰۰-۲ میلی‌گرم در لیتر، pH بهینه برابر ۶ و غلظت پرسولفات برابر ۳۵۰ mg/l) را بر کارایی حذف آفلوکساسین و COD نشان می‌دهد. همان‌طورکه در نمودار شماره ۳ نشان داده شده است با افزایش غلظت آفلوکساسین، راندمان حذف کاهش می‌یابد به نحوی که راندمان حذف آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین از ۹۳/۶ درصد در غلظت اولیه ۲ میلی‌گرم در لیتر به ۷۲/۳ درصد در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. بر این اساس غلظت بهینه آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین جهت ادامه آزمایشات برابر ۴۰ میلی گرم در لیتر در نظر گرفته شد.

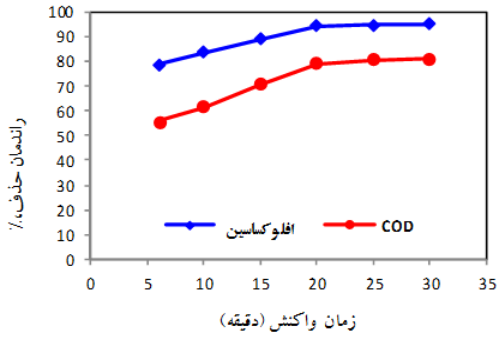


نمودار شماره ۳: اثر تغییرات غلظت آفلوکساسین بر کارایی حذف آفلوکساسین و COD تحت فرآیند اکسیداسیون با واکنش‌گر پرسولفات فعال شده با UV (pH برابر ۶، غلظت پرسولفات ۳۵۰ میلی گرم در لیتر، زمان واکنش ۳۰ دقیقه، شدت تابش UV برابر با ۸ وات)

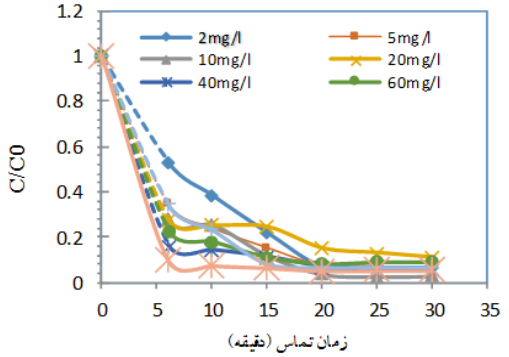
تأثیر تغییرات زمان بر راندمان حذف آفلوکساسین و COD در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV

راندمان حذف آفلوکساسین و COD با دستیابی به شرایط بهینه، pH معادل ۶، غلظت پرسولفات ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت آفلوکساسین ۴۰ میلی‌گرم در لیتر در یک بازه زمانی ۳۰ دقیقه ای مشخص گردید، که نتایج آن در نمودار شماره ۴ ارائه شده است همان طور که مشخص است با افزایش زمان واکنش راندمان حذف آفلوکساسین و COD هم، افزایش یافته است اما این افزایش راندمان در ۲۰ دقیقه‌ی ابتدایی از سرعت بالاتر ی برخوردار بوده است و بعد از آن تا پایان زمان واکنش (۳۰ دقیقه) راندمان حذف با سرعت کم‌تر و تقریباً ثابت ادامه یافت (نمودار شماره ۵).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]



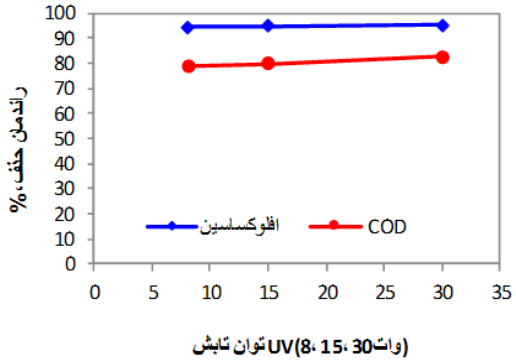
نمودار شماره ۴: اثر زمان های مختلف واکنش بر راندمان حذف آفلوکساسین و COD توسط پرسولفات فعال شده با UV (غلظت آفلوکساسین ۴۰mg/l، pH برابر با ۶، غلظت پرسولفات ۳۵۰ mg/l، توان تابش UV معادل ۸ وات)



نمودار شماره ۵: اثر غلظت اولیه آفلوکساسین بر راندمان حذف آفلوکساسین توسط پرسولفات فعال شده با UV (زمان واکنش ۳۰ دقیقه، pH برابر با ۶، غلظت پرسولفات ۳۵۰ میلی گرم در لیتر، تابش UV معادل ۸ وات)

تأثیر شدت تابش پرتو UV بر راندمان حذف آفلوکساسین و COD در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV

پس از تعیین pH بهینه معادل ۶، غلظت بهینه پرسولفات ۳۵۰ میلی گرم در لیتر، غلظت بهینه آفلوکساسین ۴۰ میلی گرم در لیتر و زمان واکنش بهینه معادل ۲۰ دقیقه، راندمان حذف آفلوکساسین و COD تحت تاثیر شرایط بهینه ذکر شده جهت بررسی اثر توان تابشی متفاوت UV، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل در نمودار شماره ۶ ارائه شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌گردد با افزایش توان لامپ UV از ۸ به ۳۰ وات، راندمان حذف آنتی‌بیوتیک و COD به ترتیب از ۹۲/۸۷ و ۷۶/۳ درصد به ۹۴/۵۴ و ۸۳/۰۵ درصد افزایش یافت که حاکی از بهبود عملکرد فرآیند در توان‌های تابشی بالاتر می‌باشد. با توجه به نمودار شماره ۶ می‌توان دریافت که افزایش توان تابش لامپ تا ۳۰ وات، سبب بهبود در کارایی حذف آنتی‌بیوتیک و COD در فرآیند شده است. با این وجود در این مطالعه، با افزایش توان تابشی UV، افزایش چشمگیری در راندمان حذف مشاهده نشد و به لحاظ ملاحظات اقتصادی و صرفه جویی انرژی، توان تابشی ۸ وات به عنوان توان بهینه جهت ادامه آزمایشات انتخاب گردید.



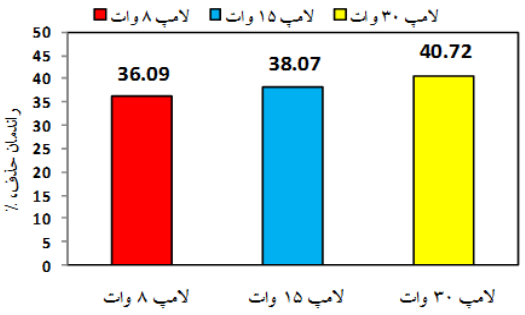
نمودار شماره ۶: راندمان حذف آفلوکساسین و COD در توان های تابشی متفاوت UV، (غلظت آفلوکساسین ۴۰mg/L، pH برابر با ۶، غلظت پرسولفات ۳۵۰mg/l، زمان واکنش ۲۰ دقیقه)

تعیین راندمان حذف COD از فاضلاب طبیعی دارای آفلوکساسین در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV

به منظور بررسی کارایی فرایند در حذف آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین در شرایط واقعی، نمونه‌ای از فاضلاب بیمارستانی تهیه گردید و غلظت‌های مورد نیاز این آنتی‌بیوتیک به آن تزریق گردید. مقادیر CODهای فاضلاب واقعی بیمارستانی بدون آفلوکساسین قبل از ورود به راکتور، معادل ۱۵۴ میلی گرم در لیتر و فاضلاب واقعی حاوی آفلوکساسین (پس از تزریق دستی آنتی‌بیوتیک) ۳۰۲ میلی گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. نمونه فاضلاب آماده‌سازی شده وارد راکتور آزمایش گردید و در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV تحت شرایط بهینه حذف حاصل از مراحل قبلی آزمایشات

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

قرار گرفت. COD فاضلاب بدون آفلوکساسین و فاضلاب حاوی آفلوکساسین، بعد از ۲۰ دقیقه واکنش با ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر پرسولفات در pH معادل ۶ و توان تابشی UV معادل ۸ وات، برابر با ۱۰۵ و ۱۹۳ میلی‌گرم در لیتر بوده است. راندمان حذف COD بعد از ۳۰ دقیقه واکنش با پرسولفات فعال‌شده با UV با تغییر چندانی همراه نبود. بار دیگر آزمایش بر روی فاضلاب طبیعی حاوی ۴۰ میلی‌گرم در لیتر آفلوکساسین با اعمال شرایط بهینه مراحل قبل و توان‌های تابشی متفاوت ۸، ۱۵ و ۳۰ وات انجام گردید. نتایج به دست آمده در نمودار شماره ۷ آورده شده است که نشان می دهد، راندمان حذف COD فاضلاب طبیعی حاوی ۴۰ میلی‌گرم در لیتر آفلوکساسین در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV با توان تابشی ۸ وات در حدود ۳۶/۰۹ درصد است که این بازدهی برای لامپ ۱۵ و ۳۰ وات به ترتیب ۳۸/۰۷ و ۴۰/۷۲ درصد می‌باشد که تغییر محسوسی در راندمان حذف مشاهده نشده است.



نمودار شماره ۷: راندمان حذف COD از فاضلاب واقعی بیمارستانی توسط فرایند اکسیداسیون با پرسولفات فعال شده با UV تحت توان های تابشی متفاوت (غلظت اولیه آفلوکساسین معادل ۴۰ میلی گرم در لیتر)

بحث

تعیین pH بهینه در حذف آنتی بیوتیک آفلوکساسین تحت فرایند اکسیداسیون با پرسولفات فعال شده با UV

در غالب فرآیندهای شیمیایی، الکتروشیمیایی، جذب و اکسیداسیون پیشرفته یکی از تأثیر گذارترین عوامل در راهبری و کارایی فرآیند، pH محلول می‌باشد(۳۵-۲۲). این عامل از طریق تأثیر بر خصوصیات آلاینده و فتوکاتالیست مورد استفاده، می‌تواند کارایی فرآیند را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین عامل اصلی تعیین رادیکال غالب در فرآیند کاملاً تحت تاثیر pH محیط واکنش می‌باشد. در فرآیند اکسیداسیون در حضور واکنش گر پرسولفات و در گستره pH کم‌تر از ۷، برتری با تشکیل رادیکال سولفات است. در عین حال در pH بین ۷ تا ۹ حضور هر دو رادیکال سولفات و هیدروکسیل را می توان مشاهده نمود (واکنش ۲)(۳۶).

$$SO_4^{\bullet} + H_2O \longrightarrow OH^{\bullet} + H^+ + SO_4^{-2} \qquad (۲)$$

در مطالعه حاضر همان‌طورکه در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است میزان حذف آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین و COD با افزایش pH از ۲ تا ۵ افزایش یافته است، اما با افزایش pH به بالای ۷، درصد حذف آفلوکساسین و COD در محلول کاهش پیدا کرده است به طوری که راندمان حذف آفلوکساسین و COD در pH معادل ۲ حدود ۸۴/۴۵ و ۵۵/۹۷ درصد بوده است که در pH معادل ۶ راندمان حذف به ترتیب به ۹۰/۱ و ۷۴/۶۲ درصد رسیده است. وقوع برخی واکنش ها در طول فرآیند باعث تغییر pH نمونه می‌گردد. این واکنش‌ها می‌تواند باعث کاهش بیش‌تر کارایی سیستم اکسیداسیون شود. واکنش‌های زنجیره‌ای تفکیک HSO_4^- در آب، مطابق واکنش ۳ و ۴ باعث تولید یون H^+ می‌شود(۳۶،۱۸،۱۷).

$$SO_4^{\bullet} + OH^{\bullet} \longrightarrow HSO_4^- + \tfrac{1}{2} O_2 \qquad (۳)$$

$$S_2O_8^{-2} + H_2O \longrightarrow 2HSO_4^- + 1/2\, O_2 \qquad (۴)$$

مطابق واکنش ۵، در pH های پایین (کم‌تر از ۵)، یون H^+ تولیدی به دلیل میل ترکیبی زیاد می تواند به عنوان یک اسکاونجر (رباینده) برای رادیکال سولفات عمل نموده و قدرت اکسیدکنندگی آن را محدود نماید(۳۷).

$$HSO_4^- \longrightarrow H^+ + SO_4^{-2} \qquad (۵)$$

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

در pH بین ۵ تا ۷، حضور رادیکال سولفات و هیدروکسیل، شرایط اکسیدکنندگی بالای پرسولفات را در تجزیه آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین تائید می‌نماید(۳۹،۳۸). در مطالعه‌ی رسولی فرد و همکاران که بر روی تجزیه تایلوسین با استفاده از پرسولفات فعال شده با UV انجام پذیرفت، نشان داد که در pH بالاتر از ۷، کاهش تجزیه اتفاق می افتد که این امر می‌تواند ناشی از نا پایداری پراکسید هیدروژن در مقادیر بالای pH و تولید مقادیر نسبتاً بالای رادیکال‌های سولفات و هیدروکسیل باشد در واقع تحت شرایط قلیایی، ترکیب این رادیکال‌ها مطابق واکنش شماره۶، سبب کاهش کارایی آن‌ها گردد. هر چند این پدیده از اثر بسیار نا چیزی برخوردار می‌باشد(۴).

$$SO_4^{\bullet} + OH^{\bullet} \longrightarrow HSO^{4-} + \frac{1}{2} O_2 \qquad (۶)$$

تأثیر غلظت اولیه واکنش‌گر پرسولفات برحذف آفلوکساسین و COD در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV

در فرآیند های اکسیداسیون پیشرفته نوع و غلظت ماده اکسیدکننده یکی از فاکتورهای مهم در حذف ترکیبات آلی است(۴۰،۳۹). آنیون پرسولفات یکی از عامل‌های اکسیداسیون دو الکترونی است. با تولید رادیکال سولفات نه تنها توانایی حمله به ترکیبات آلی به صورت مستقیم را دارد، بلکه قادر است به صورت غیر مستقیم با آب و یون‌های هیدروکسیل واکنش دهد و رادیکال هیدروکسیل تولید نماید(۳۹-۳۷).

همان طور که در نمودار شماره ۲ نشان داده شده است با افزایش غلظت پرسولفات از ۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر راندمان حذف آفلوکساسین و COD نیز از ۸۲/۴۷ و ۲۰/۵۱ درصد به ۸۸/۱ و ۷۶/۴۹ درصد افزایش یافت. اما با افزایش غلظت پرسولفات به غلظت‌های بالاتر از ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر، روند صعودی راندمان حذف، کند و تقریبا ثابت ماند. به نظر می‌رسد در غلظت‌های پایین، یون پرسولفات بر روی راندمان حذف COD تاثیرگذار بوده است. با دو برابر کردن غلظت پرسولفات سیر صعودی افزایش راندمان با توجه به افزایش هزینه مصرفی واکنش‌گر تغییر چشمگیری نشان نمی‌دهد. تأثیر غلظت پرسولفات بر کارایی حذف آلاینده‌های هدف به صورت دو گانه است. افزایش غلظت این اکسیدان از حد خاصی نه تنها کارایی حذف آلاینده‌ها را افزایش نمی‌دهد بلکه به عاملی برای ربایش و مصرف رادیکال‌های سولفات و هیدروکسیل موجود در محلول آبی تبدیل می‌شود که باعث کاهش کارایی فرآیند خواهد شد(۳۹،۳۶). به عبارت دیگر در افزایش غلظت پرسولفات به بیش از حد بهینه، رادیکال سولفات تولیدی به عنوان اسکاونجر عمل نموده و به عاملی برای تبدیل رادیکال سولفات به پرسولفات تبدیل شده است و جایگاه های فعال در واکنش اکسیداسیون را کاهش می‌دهد همچنین از سوی دیگر رادیکال سولفات با پرسولفات واکنش داده و آنیون سولفات تولید می‌کند که هر دو سبب از بین رفتن رادیکال سولفات و به تبع آن رادیکال هیدروکسیل شده و کارایی حذف را کاهش می‌دهند (واکنش های ۹-۷) (۳۹).

$$SO_4^{\bullet} + SO_4^{\bullet} \longrightarrow S_2O_8^{-2} \qquad (۷)$$

$$SO_4^{\bullet} + S_2O_8^{-2} \longrightarrow SO_4^{-2} + S_2O_8^{-2} \qquad (۸)$$

$$SO_4^{\bullet} + S_2O_8^{-2} \longrightarrow SO_4^{-2} + S_2O_8^{-2} \qquad (۹)$$

در مطالعه‌ای که توسط رحمانی و همکاران پیرامون حذف رنگ اسید بلو ۱۱۳ از محیط‌های آبی توسط پرسولفات انجام پذیرفت نشان داد که با افزایش غلظت پرسولفات افزایش قابل ملاحظه‌ای در راندمان حذف مشاهده نشده است(۳۹،۳۶). همچنین در مطالعه دیگری که توسط عسگری و همکاران بر روی حذف پنتا کلرو فنل از فاضلاب سنتتیک، نتایج نشان داد که افزایش غلظت پرسولفات تأثیری در افزایش راندمان حذف نداشته است(۳۹).

تأثیر تغییرات غلظت آفلوکساسین بر راندمان حذف آفلوکساسین و COD در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV

در نمودارهای شماره ۳ و ۵، اثر غلظت اولیه

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین بر راندمان حذف آفلوکساسین و COD بررسی شده است. همان‌طورکه در تصویر نشان داده شده است با افزایش غلظت آفلوکساسین راندمان حذف کاهش یافته است. حداکثر راندمان حذف آفلوکساسین و COD در غلظت‌های کم‌تر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر حاصل گردید. درصد حذف آفلوکساسین و COD در غلظت ورودی ۲ میلی‌گرم در لیتر آفلوکساسین به ترتیب برابر با ۹۳/۶ و ۸۰/۹۱ درصد بود که برای غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر آفلوکساسین ورودی به ترتیب به ۷۲/۳ و ۶۲/۵۷ درصد کاهش یافت. به نظر می‌رسد با افزایش غلظت آفلوکساسین، سرعت تجزیه کاهش می‌یابد، زیرا افزایش غلظت آفلوکساسین سبب کاهش نسبت رادیکال هیدروکسیل تولیدی به آفلوکساسین و افزایش ترکیبات حد واسط که تمایل به مصرف رایکال‌های آزاد را دارند، می‌شود. از طرفی افزایش غلظت آفلوکساسین باعث کاهش میزان نفوذ نور UV ورودی به محلول شده (احتمالا با افزایش کدورت) که این امر خود باعث کاهش سرعت تجزیه آلاینده‌ها توسط پرسولفات گردیده است و درصد تجزیه را کاهش می‌دهد(۴۱،۳۶،۴). در مطالعه‌ای که رسولی فرد و همکاران بر روی تجزیه تایلوسین به وسیله پرسولفات انجام دادند، نتایج نشان داد که افزایش غلظت آلاینده باعث کاهش راندمان حذف می‌گردد(۴).

تأثیر تغییرات زمان بر راندمان حذف آفلوکساسین و COD در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV

همان‌طور که از نمودار شماره ۵ مشخص است با افزایش زمان واکنش، راندمان حذف آفلوکساسین و COD نیز روندی صعودی داشته است اما این افزایش راندمان در ۲۰ دقیقه‌ی ابتدایی دارای سرعت بیشتر بوده است و در ادامه تا پایان زمان واکنش (۳۰ دقیقه) راندمان حذف با سرعت کمتر و تقریباً ثابت پیش رفته است. به عنوان مثال راندمان حذف آفلوکساسین و COD در مدت زمان ۲۰ دقیقه به ترتیب برابر با ۹۲/۸۷ و ۸۰/۲۲ درصد بوده است که در پایان مدت زمان واکنش ۳۰ دقیقه به ۹۲/۹۷ و ۸۰/۷۳ درصد رسیده است. در طی دوره زمانی واکنش اکسیداسیون، ترکیباتی که سریع تجزیه می گردند از بین می‌روند و با طولانی شدن زمان واکنش، سرعت کند شده یا ثابت می‌شود. دلیل واکنش‌پذیری کم‌تر، می‌تواند وجود محصولات حد واسط باشد که به دنبال طولانی شدن زمان واکنش ایجاد می گردند. به عبارتی تولید ترکیبات آلی مقاوم به تجزیه، یا با واکنش‌پذیری کم‌تر به احتمال زیاد می‌تواند سبب کاهش سرعت واکنش گردد(۴۲). در این زمینه در سایر مطالعات نیز نتایج مشابه‌ای حاصل شده است. به‌طور مثال در مطالعه Sun و همکاران در حذف آفلوکساسین نشان داده شد که با افزایش زمان واکنش، سیر صعودی راندمان حذف متوقف، و افزایشی در راندمان حذف مشاهده نشده است(۴۲). همچنین در مطالعه‌ای که توسط دهقانی و همکاران در حذف آنتی‌بیوتیک سولفادیازین با استفاده فرآیند اکسیداسیون پیشرفته انجام پذیرفت، نتایج حاکی از آن بود که با گذشت زمان واکنش بعد از زمان ۳۰ دقیقه شیب نمودار تقریباً ثابت می‌شود(۴۳).

تأثیر شدت تابش پرتو UV بر راندمان حذف آفلوکساسین و COD در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV

تابش UV، آلاینده‌های آلی را معمولا به دو شکل حذف مستقیم آلاینده ها از طریق جذب پرتو UV، به وسیله‌ی تخریب باندهای شیمیایی و شکسته شدن آن ها و حذف غیر مستقیم آلاینده‌ها از طریق افزودن به اکسیدانت‌های معمول و ایجاد شرایط اکسیداسیون پیشرفته در محلول که سبب افزایش راندمان حذف آلاینده‌ها می‌شود انجام می‌دهد(۱۷). همان طور که در تصویر شماره ۸ در خصوص تأثیر توان تابشی UV بر کارایی حذف آفلوکساسین و COD نشان داده شده است با افزایش توان تابشی لامپ UV از ۸ به ۳۰ وات راندمان حذف آفلوکساسین و COD به ترتیب از ۹۲/۸۷ و ۷۶/۳ درصد به ۹۴/۵۴و ۸۳/۰۵ درصد افزایش یافته است که

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

می‌تواند بیانگر افزایش سرعت واکنش تجزیه پرسولفات باشد. به عبارتی این نتیجه‌گیری نشان می‌دهد که با افزایش توان لامپ UV، شدت انرژی لازم برای فعال‌سازی و جذب آن توسط پرسولفات افزایش یافته است که همین امر باعث افزایش میزان تولید رادیکال سولفات و رادیکال هیدروکسیل که نقش مستقیم در تجزیه آلاینده‌ها را دارند، شده است(۲۳). از طرفی کاهش توان تابشی لامپ UV منجر به کاهش در میزان نفوذ نور UV می‌شود(۴۴). در مطالعه ای که توسط Huang و همکاران بر روی تجزیه ترکیب تترا متیل آمونیوم هیدروکسید توسط پرسولفات فعال شده با UV انجام پذیرفت نتایج نشان داد که با افزایش توان UV از ۸ به ۱۵ وات راندمان حذف COD افزایش می‌یابد(۴۵).

تعیین راندمان حذف COD از فاضلاب طبیعی دارای آفلوکساسین در واکنش با پرسولفات فعال شده با UV

با توجه به نمودار شماره ۷، COD فاضلاب طبیعی بدون آفلوکساسین و فاضلاب حاوی آفلوکساسین به ترتیب معادل ۱۵۴ و ۳۰۲ میلی‌گرم در لیتر بوده است که بعد از ۲۰ دقیقه واکنش با ۳۵۰ میلی‌گرم پرسولفات فعال شده با لامپ ۸ وات در pH معادل ۶، به حدود ۱۰۵ و ۱۹۳ رسید. این مقدار بعد از گذشت ۳۰ دقیقه از شروع واکنش تغییر چندانی نکرد به طوری که COD آن ها برای فاضلاب بدون آفلوکساسین و حاوی آفلوکساسین به ترتیب ۱۰۲ و ۱۸۹ میلی‌گرم در لیتر رسید. این یافته‌ها نشان می دهد که به دنبال طولانی شدن زمان واکنش ترکیبات آلی که به‌راحتی توسط پرسولفات اکسید می‌شود نایاب‌تر شده است و لذا سرعت واکنش کند می‌شود که دلیل آن می‌تواند واکنش‌پذیری کمتر محصولات میانی باشد. از طرفی به نظر می‌رسد کدورت بالاتر نمونه فاضلاب واقعی در مقایسه با نمونه سنتتیک، تاثیر زیادی بر کاهش راندمان حذف داشته است.

در پایان می‌توان نتیجه گرفت که حداکثر راندمان حذف آنتی‌بیوتیک آفلوکساسین و COD در شرایط pH معادل ۶، غلظت اولیه پرسولفات ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت اولیه آفلوکساسین ۴۰ میلی گرم در لیتر، زمان واکنش در حدود ۲۰ دقیقه و توان تابشی UV برابر با ۸ وات انجام پذیرفت. تحت شرایط بهینه ذکر شده راندمان حذف آفلوکساسین و COD به ترتیب برابر ۹۴/۳۵ و ۷۹/۱۷ درصد حاصل شد و در این حالت غلظت آفلوکساسین و COD به ترتیب به ۲/۲۶ و ۳۷/۲۱ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت. نتایج حاصل، کارایی فرایند مورد استفاده در این پژوهش را جهت تصفیه فاضلاب‌های بیمارستانی یا دارویی حاوی این آنتی بیوتیک نشان داده است.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل نتایج پایان نامه دانشجویی خانم پریسا توسلی برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی بهداشت محیط می‌باشد(۷۲۹۰). بدین وسیله، نویسندگان مقاله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی زاهدان برای حمایت مالی این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1. Perini JA, Silva BF, Nogueira RF. Zero-valent iron mediated degradation of ciprofloxacin-assessment of adsorption, operational parameters and degradation products. Chemosphere 2014; (117): 345-352.
2. Zazouli MA, Susanto H, Nasseri S, Ulbricht M. Influences of solution chemistry and polymeric natural organic matter on the removal of aquatic pharmaceutical residuals by nanofiltration. Water Res 2009; 43(13): 3270-3280.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

3. Zazouli MA, Ulbricht M, Nasseri S, Susanto H. Effect of hydrophilic and hydrophobic organic matter on amoxicillin and cephalexin residuals rejection from water by nanofiltration. J Environ Health Sci 2010; 7(1): 15-24.
4. Rasoulifard M, Majidzadeh H, Demneh F, Babaei E. Photocatalytic degradation of tylosin via ultraviolet-activated persulfate in aqueous solution. Int J Ind Chem 2012; (3): 1-5.
5. Akmehmet Balcioğlu I, Otker M. Treatment of pharmaceutical wastewater containing antibiotics by O3 and O_3/H_2O_2 processes. Chemosphere 2003; 50(1): 85-95.
6. Dewitte B, Dewulf J, Demeestere K, Vanlangenhove H. Ozonation and advanced oxidation by the peroxone process of ciprofloxacin in water. J Hazard Mater 2009; 161(2-3): 701-708.
7. Arslan-alaton I, Caglayan A. Toxicity and biodegradability assessment of raw and ozonated procaine penicillin G formulation effluent. Ecotox Environ Safe 2006; 63(1): 131-140.
8. Elnajjar NH, Deborde M, Journel R, Velleitner NK. Aqueous chlorination of levofloxacin: Kinetic and mechanistic study, transformation product identification and toxicity. Water Res 2013; 47(1): 121-129.
9. Sun J, Song M, Feng J, Pi Y. Highly efficient degradation of ofloxacin by UV/Oxone/Co2+ oxidation process. Environ Sci Pollut Res 2012; 19(5): 1536-1543.
10. Brown KD, Kulis J, Thomson B, Chapman TH, Mawhinney DB. Occurrence of antibiotics in hospital, residential, and dairy effluent, municipal wastewater, and the Rio Grande in New Mexico. Sci Total Environ 2006; 366(2-3): 772-783.
11. Ferdig M, Kaleta A, Buchberger W. Improved liquid chromatographic determination of nine currently used (fluoro) quinolones with fluorescence and mass spectrometric detection for environmental samples. J Sep Sci 2005; 28(13): 1448-1456.
12. Witte BD, Langenhove HV, Hemelsoet K, Demeestere K, Wispelaere PD, Van Speybroeck V, et al. Levofloxacin ozonation in water: Rate determining process parameters and reaction pathway elucidation. Chemosphere 2009; 76(5): 683-689.
13. Farzadkia M, Bazrafshan E, Esrafili A, Yang JK, Shirzad-Siboni M. Photocatalytic degradation of Metronidazole with illuminated TiO_2 nanoparticles. J Environ Health Sci 2015; 13(1), 194.
14. Balarak D, Mostafapour F, Bazrafshan E, Saleh TA. Studies on the adsorption of amoxicillin on multi-wall carbon nanotubes. Water Sci Technol 2017; 75(7-8): 1599-1606.
15. Kamani H, Bazrafshan E, Ashrafi SD, Sancholi F. Efficiency of sono-nano-catalytic process of TiO_2 nano-particle in removal of erythromycin and metronidazole from aqueous solution. J Mazandaran Univ Med Sci 2017; 27(151): 140-154 (Persian).
16. Norzaee S, Bazrafshan E, Djahed B, Kord Mostafapour F, Khaksefidi R. UV activation of Persulfate for removal of Penicillin G antibiotics in aqueous solution. Scientific World Journal 2017; 2017: 3519487.
17. Ghanizadeh Gh, Naseri Ara A, Esmaili D, masoumbeigi H. Demonstration of the enhanced disinfection of E. coli water contamination by associated solar irradiation with potassium persulfate, Iran J Public Health 2015; 44(10): 1376-1386.
18. Xu R, Xgj Z. Degradation of azo dye Orange G in aqueous solutions by persulfate with

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

ferrous ion. Sep Purif Technol 2010; (72): 105-111.

19. Zazouli MA, Ghanbari F, Yousefi M, Madihi-Bidgoli S. Photocatalytic degradation of food dye by Fe_3O_4-TiO_2 nanoparticles in presence of peroxymonosulfate: The effect of UV sources. J Environ Chem Eng 2017; 5(3): 2459-2468.
20. Liu X, Zhang T, Zhou Y, Fang L, Shao Y. Degradation of atenolol by UV/ peroxymonosulfate: Kinetics, effect of operational parameters and mechanism. Chemosphere 2013; 93(11): 2717-2724.
21. Deng J, Shao Y, Gao N, Xia S, Tan C, Zhou S, et al. Degradation of the antiepileptic drug carbamazepine upon different UV-based advanced oxidation processes in water. Chem Eng J 2013; (222): 150-158.
22. Zazouli MA, Ebrahimzadeh MA, Charati JY, Rostamali E, Veisi F. Effect of sunlight and ultraviolet radiation in the titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles for removal of furfural from water. J Mazandaran Univ Med Sci 2013; 23(107): 125-138 (Persian).
23. Rahimi E, Dadban Shahamat Y, Atabi F, Khezri SM. Mineralization and decolorization of fermentation industry wastewater by catalytic ozonation process: kinetics and mechanism. J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26 (140): 115-126 (Persian).
24. Bazrafshan E, Ahmadabadi M, Mahvi AH. Reactive red-120 removal by activated carbon obtained from cumin herb wastes. Fresen Environ Bull 2013; 22(2A): 584-590.
25. Veisi F, Zazouli MA, Ebrahimzadeh MA, Charati JY, Dezfoli AS. Photocatalytic degradation of furfural in aqueous solution by N-doped titanium dioxide nanoparticles. Environ Sci Pollut R 2016; 23(21): 21846-21860.
26. Yousefi M, Ghanbari F, Zazouli MA, Madihi-Bidgoli S. Brilliant Blue FCF degradation by persulfate/zero valent iron: The effects of influencing parameters and anions; Desalin Water Treat 2017; 70: 364-371.
27. Bazrafshan E, Moein H, Kord Mostafapour F, Nakhaie S. Application of electrocoagulation process for dairy wastewater treatment. J Chem 2013; Article number 640139: 1-8.
28. Kord Mostafapour F, Bazrafshan E, Farzadkia M, Amini S. Arsenic removal from aqueous solutions by salvadora persica stem ash. J Chem Article number 2013; 740847: 1-8.
29. Bazrafshan E, Kord Mostafapour F, Rahdar S, Mahvi AH. Equilibrium and thermodynamics studies for decolorization of Reactive Black 5 (RB5) by adsorption onto MWCNTs. Desalin Water Treat 2015; 54(8): 2241-2251.
30. Bazrafshan E, Mostafapoor F, Soori MM, Mahvi AH. Application of combined chemical coagulation and electro-coagulation process for carwash wastewater treatment. Fresen Environ Bull 2012; 21(9): 2694-2701.
31. Bazrafshan E, Zarei AA, Mostafapour FK. Biosorption of cadmium from aqueous solutions by Trichoderma fungus: kinetic, thermodynamic, and equilibrium study. Desalin Wat Treat 2016; 57(31): 14598-14608.
32. Bazrafshan E, Alipour MR, Mahvi AH. Textile wastewater treatment by application of combined chemical coagulation, electrocoagulation, and adsorption processes. Desalin Wat Treat 2016; 57 (20): 9203-9215.
33. Bazarafshan E, Ahmadi Sh. Efficiency of Combined Processes of Coagulation and Modified Activated Bentonite with Sodium Hydroxide as a Biosorbent in the Final Treatment of Leachate: Kinetics and

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]

Thermodynamics. Journal of Health Research in Community 2017; 3(3): 58-69.

34. Takdastan A, Abtahi M, Sarshir A, Bazafkan MH, Saeedi R. Investigation of Khuzestan Steel Company's Modified Slag in Removal of Aluminum from Aqueous Solutions: Adsorption Isotherm and Kinetic Studies. Journal of Health Research in Community 2017; 3(2): 75-87.
35. Rahdar S, Ahmadi Sh. Removal of Phenol and Aniline from Aqueous Solutions by Using Adsorption on to Pistacia terebinthus: Study of Adsorption Isotherm and Kinetics. Journal of Health Research in Community 2017; 2(4): 35-45.
36. Rahmani A, Mehralipor J, Shabanloo N, Zaheri F, Poreshgh Y, Shabanloo A. Performance evaluation of advanced electrochemical oxidation process with the using persulfate in degradation of Acid Blue 113 from aqueous solutions. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences 2014; 21(5): 797-807 (Persian).
37. Pi Y, Feng J, Sun J, Sun J. Facile, effective, and environment-friendly degradation of sulfamonomethoxine in aqueous solution with the aid of a UV/Oxone oxidative process. Environ Sci Pollut Res 2013; 20 (12): 8621-8628.
38. Kusic H, Peternel I, Ukic S, Koprivanac N, Bolanca T, Papic S, Loncaric Bozic A. Modeling of iron activated persulfate oxidation treating reactive azo dye in water matrix. Chem Eng J 2011; 172(1): 109-121.
39. Asgari Gh, Chavoshani A, Seid Mohammadi A, Rahmani A. Removal of pentachlorophenol using microwave assisted persulfate from synthetic wastewater. Journal of Water & Wastewater 2013; 25(3): 29-37 (Persian).
40. Maghsoudi Z, Bazrafshan E, Kord Mostafapour F, Tavasoli P, Balarak D. Landfill leachate treatment by combined processes of chemical coagulation, ozonation, and advanced oxidation using UV-activated Oxone. J Mazandaran Univ Med Sci 2017; 27 (147): 339-357.
41. Wu J. Zhang H. Qiu J. Degradation of Acid Orange 7 in aqueous solution by a novel electro/Fe^{2+}/peroxydisulfate process. J Hazard Mater 2012; 215-216: 138-145.
42. Sun J, Song M, Feng J, Pi Y. Highly efficient degradation of ofloxacin by UV/Oxone/Co^{2+} oxidation process. Environ Sci Pollut Res 2012; 19(5): 1536-1543.
43. Dehghani S, Jonidi Jafari A, Farzadkia M, Gholami M. Investigation of the efficiency of Fenton's advanced oxidation process in sulfadiazine antibiotic removal from aqueous solutions. Journal Arak Medical University 2012; 15(7): 19-29.
44. Ghaneian M, Ehrampoush M, Ghanizadeh G, Dehvary M, Abootoraby M, Jasemizad T. Application of Solar Irradiation / $K_2S_2O_8$ photochemical oxidation process for the removal of Reactive Blue 19 dye from aqueous solutions. Iran Journal Health & Environment 2010; 3(2): 165-176.
45. Huang J, Wang KS, Liang C. Oxidative degradation of tetramethylammonium hydroxide (TMAH) by UV/persulfate and associated acute toxicity assessment. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng 2017; 52(9): 930-937.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-11-26]