Archive of SID

کارایی اکسایش پیشرفتهٔ پرسولفات/ اشعهٔ ماورای بنفش در گندزدایی فاضلاب شهری

انوشیروان محسنی بندپی[۱]، رضا نعمتی[۲و۳*]، نرگس حکیمی[۴]، پرویز نوروز[۲]

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. کمیتهٔ پژوهشی دانشجویان، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۴. کارشناس‌ارشد مهندسی بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، کاشان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۱ شهریور ۱۳۹۴
تاریخ پذیرش: ۹ آذر ۱۳۹۴

چکیده

اهداف تحقیقات اخیر نشان داده است که فرایند اکسایشی پیشرفته‌ای به‌نام فرایند پرسولفات/ اشعهٔ فرابنفش در حذف آلاینده‌های آلی مقاوم به تجزیهٔ بیولوژیکی راندمان قابل‌توجهی دا شته ا ست. با توجه به اینکه از مزایای این فرایند محدودبودن تولید محصولات جانبی مضر و نیز قوی‌بودن این فرایند در تجزیهٔ مواد آلی ذکر شده است، به‌نظر می‌رسد این فرایند در گندزدایی فاضلاب‌های شهری نیز گزینهٔ مناسبی باشد.

مواد و روش‌ها پس از جمع‌آوری و انتقال نمونه به آزمایشگاه، آزمایش گندزدایی در ظروف استریل ۱ لیتری روی ۰/۵ لیتر نمونه انجام و دوزهای مورد نیاز از مواد شیمیایی به نمونه تزریق شد. از روش م ستقیم آزمون م ستقیم کلیفرم‌های گرماپای برای سنجش میکروبی استفاده شد.

یافته‌ها نتایج این تحقیق نشان داد پرسولفات و اشعهٔ UV، هر کدام به‌تنهایی قادر به کاهش قابل‌قبول کلیفرم‌های گرماپای نیست. اما، استفادهٔ توأم از اشعهٔ UV و پرسولفات (با غلظت کمتر از ۳۰ میلی‌مولار) حدود ۵ لگاریتم کاهش کلیفرم‌های گرماپای را نشان داد، این در حالی بود که پرسولفات حتی با دوز ۳۰۰ میلی‌مولار تنها حدود ۳ لگاریتم کاهش کلیفرم‌های گرماپای داشت.

نتیجه‌گیری نتایج این تحقیق نشان می‌دهد اشعهٔ UV تأثیر تشدیدکنندگی شدیدی بر خاصیت گندزدایی پرسولفات دارد و با توجه به محدودیت ا ستفاده از عوامل گوگرددار در تصفیهٔ فا ضلاب، به‌نظر می‌رسد ا ستفاده از اشعهٔ UV در کنار مقدار جزئی از پرسولفات این محدودیت را تا حدود زیادی بهبود می‌بخشد و آثار محیط‌زیستی و اقتصادی زیانبار گندزداهای متداول را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.

کلیدواژه‌ها:
اشعهٔ ماورای بنفش، پرسولفات، رادیکال های آزاد، کلیفرم های گرماپای، گندزدایی.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، روش‌ها و فناوری‌های جدیدی برای گندزدایی پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری پیشنهاد شده است [۱-۵]. علت این امر به معایب روش‌های متداول گندزدایی مربوط می‌شود، مانند تولید محصولات جانبیِ مضر برای سلامت انسان و محیط‌زیست، مقرون‌به صرفه نبودن از نظر اقتصادی و کارایی پایین [۶-۹].

تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که فرایندهای اکسایشی پی شرفته (AOPs: Advanced Oxidation Processes) و دارای عواملی مانند ا شعهٔ UV، ازن، آب اکسیژنه، و معرف‌های فنتون، در تصفیهٔ عوامل مقاوم به تصفیهٔ بیولوژیکی و نیز گندزدایی پساب‌های خروجی، بسیاری از معایب مذکور را ندارد [۴ و ۱۰-۱۲]. این فرایندها به‌دلیل تولید رادیکال‌های آزاد قوی واکنش‌گر و دارای مزایای بیشتر نسبت به اکسیدکننده‌های متداول اهمیت یافته است. رادیکال‌های آزاد بسیار واکنش‌پذیرند و قادرند لیپیدهای غشای سلولی و دیگر اندامک‌های اصلی سلولی از جمله DNA و RNA را تحت تأثیر قراردهند [۱۳]. اخیراً، فرایندهای نوین AOP بر ا ساس ت شکیل رادیکال‌های سولفات ($SO_4^{\cdot-}$) در تجزیهٔ آلاینده‌های آلی تو سعه یافته ا ست [۱۴-۱۶]. نوع خاصی از این فرایند، $UV/S_2O_8^{2-}$ یا فرایند پرسولفات/ اشعهٔ

* نویسندهٔ مسئول: رضا نعمتی
نشانی: تهران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
تلفن: ۰۹۳۶۴۴۲۸۹۴۳
رایانه: Reza,nemati84@gmail.com

مجلهٔ علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، دورهٔ ۲۴، شمارهٔ ۵، آذر و دی ۱۳۹۶، ص ۳۳۳-۳۳۸.
آدرس سایت: http://jsums.medsab.ac.ir رایانامه: journal@medsab.ac.ir
شاپای چاپی: ۷۴۸۷-۱۶۰۶

www.SID.ir

Archive of SID

فرابنفش اســـت که در حذف آلاینده‌های آلی با تجزیه‌پذیری پایین راندمان قابل‌توجهی نشان داده است [۱۷]. در این فرایند یون پرسولفات در حضور اشعهٔ فرابنفش به صورت واکنش زیر رادیکال سولفات تولید می‌کند [۱۷].

$$S_2O_8^{2-} \xrightarrow{hv} 2SO_4^{-\cdot}$$

رادیکال‌های ســـولفات تولیدشـــده در محیط‌های آبی از رادیکال‌های هیدروکسیل نسبتاً پایدارتر است [۱۷]. با این حال باید توجه داشت که در سیستم پرسولفات-آب نیز امکان تولید رادیکال هیدروکسیل وجود دارد [۱۸ و ۱۹].

با توجه به اینکه از مزایای فرایند پرســـولفات/ اشـــعهٔ فرابنفش محدودبودن تولید محصـــولات جانبی مضـــر و نیز قوی‌بودن این فرایند در تجزیهٔ مواد آلی ذکر شـــده اســـت (پتانسیل اکسایش احیا ۲/۶V) [۱۸]، به‌نظر می‌رسد این فرایند در گندزدایی پســـاب‌های خروجی فاضـــلاب خانگی نیز گزینهٔ مناسبی باشد. در این مطالعه به این مسئله پرداخته‌ایم و کارایی این فرایند در گندزدایی پساب خروجی فاضلاب تصفیه‌شدهٔ شهری بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی مصرفی و منبع اشعهٔ فرابنفش

محیط کشـــت A-1 Medium (شـــمارهٔ محصـــول ۱۰۰۴۱۵)، پرسولفات سدیم (شمارهٔ محصول ۱-۲۷-۷۷۷۵) و سایر مواد مصرفی (شامل اسید سولفوریک، هیدروکسید سدیم و جزآن) از شرکت مرک آلمان خریداری شد. برای تأمین اشعهٔ UV نیز از لامپ UV ســـاخت شـــرکت NARVA آلمان با طول موج ۲۵۴ نانومتر و قدرت ۱۲۵ وات استفاده شد.

در این مطالعه تمامی وســـایل شـــیشـــه‌ای و ظروف مورداستفاده در بخش میکروبیولوژی بر اساس شرایط ذکرشده در کتاب اســـتاندارد متد [۲۰] پاکســـازی و اســـتریل و ســـپس استفاده شد.

جمع‌آوری نمونه

نمونه‌های مورد آزمایش در این تحقیق به‌صورت روزانه از پساب خروجی حوضـــچهٔ ته‌نشـــینی ثانویه و قبل از مرحلهٔ گندزدایی تصـــفیه‌خانهٔ فاضـــلاب شـــهری در ظرف ۱۰ لیتری اســـتریل به آزمایشـــگاه منتقل و آزمایش شـــد. کل نمونه‌ها حداکثر در ۵ ساعت و در دمای آزمایشگاه آزمایشِ گندزدایی شد.

ارزیابی اولیهٔ پساب مورد آزمایش

بر اســـاس روش‌های ذکرشـــده در کتاب اســـتاندارد متد [۲۰] از مایش هایفکال کلیفرم (بخش E ۹۲۲۱)، کل ذرات معلق (TSS)، اکســـیژن مورد نیاز بیوشـــیمیایی پنج روزه (BOD5) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) روی نمونه‌های تهیه‌شده از پســـاب خروجی انجام شـــد. همچنین، آزمایش‌های تعیین pH و اکسیژن محلول با دستگاه‌های موجود در آزمایشگاه انجام گرفت تا خصوصیات کلی نمونه‌های مورد آزمایش مشخص شود.

آزمایش‌های گندزدایی

پس از انتقال نمونه به آزمایشـــگاه، آزمایش گندزدایی در ظروف اســـتریل ۱ لیتری روی ۰/۵ لیتر نمونهٔ همزده با همزن مگنتی انجام شـــد. برای رســـیدن به غلظت‌های مورد نظر (جدول ۱) دوزهای مورد نیاز از مواد شـــیمیایی به نمونه تزریق شـــد. در آزمایش‌هایی که به اشعهٔ فرابنفش نیاز بود لامپ UV (۱۲۵ وات، طول موج ۲۵۴ نانومتر، ساخت شرکت NARVA، آلمان) داخل نمونه قرار داده می‌شـــد. برای بالانرفتن دمای نمونه بر اثر لامپ UV از جریان آب سرد استفاده شد.

جدول ۱. مراحل انجام آزمایش‌های گندزدایی و دوزهای تزریقی پرسولفات (میلی‌مولار)

فاز نخست گندزدایی با پرسولفات (زمان تماس ۳۰ دقیقه)	فاز دوم گندزدایی توأم با پرسولفات و اشعهٔ بنفش (زمان تماس ۱۵ دقیقه)
۰	۰
۵	۵
۱۵	۱۰
۲۰	۱۵
۴۰	۲۰
۵۰	۲۵
۶۰	۳۰

در فاز نخســـت آزمایش‌های گندزدایی (عدم‌اســـتفاده از لامپ UV)، زمان تماس ۳۰ دقیقه و در فاز دوم (اســـتفاده از لامپ UV) ۱۵ دقیقه بوده است.

آزمایش‌های میکروبیولوژی

در این تحقیق فکال‌کلیفرم‌های گرماپای شـــاخص گندزدایی انتخاب شـــد و از روش مســـتقیم (آزمون مســـتقیم کلیفرم گرماپای) ذکرشده در کتاب استاندارد متد، ویرایش بیست‌ویکم، برای شـــمارش تعداد کلیفرم‌های مدفوعی قبل و بعد از آزمایش‌های نمونه‌ها استفاده شد (بخش 9221 E). محیط کشت مورد اســـتفاده در این روش محیط A1-Medium اســـت [۲۰]. زمان قراردادن محیط کشت‌ها در بن‌ماری ۲±۲۱ ساعت و تولید

www.SID.ir

Archive of SID

گاز در لوله‌های دورهام و ایجاد کدورت در هر یک از لوله‌ها طی این زمان مثبت‌بودن نتیجهٔ آزمایش تلقی شده است [۲۰].

یافته‌ها

خصوصیات کلی پساب مورد آزمایش

در جدول ۲ خصوصیات کلی و فیزیکی- شیمیایی و بار میکروبی نمونه‌های پساب نشان داده شده است.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی- شیمیایی و میکربیولوژیکی پساب

پارامتر	دامنه		میانگین
	حداقل	حداکثر	
TS (mg / L)	۲۵۸	۷۰۰	۵۳۲
TDS (mg / L)	۱۸۵	۵۵۰	۴۸۰/۵
COD (mg / L)	۲۸/۷	۱۰۰/۵۸	۳۴/۲
BOD5 (mg / L)	۱۵/۴	۷۵/۸	۲۱/۱۹
کلیفرم مدفوعی (MPN/100 ml)	$۲/۱\times۱۰^{۵}$	$۴/۵\times۱۰^{۵}$	$۳/۵\times۱۰^{۵}$
pH	۶/۸	۷/۹	۷/۵
دما	۱۶/۴	۲۲	۱۸/۲

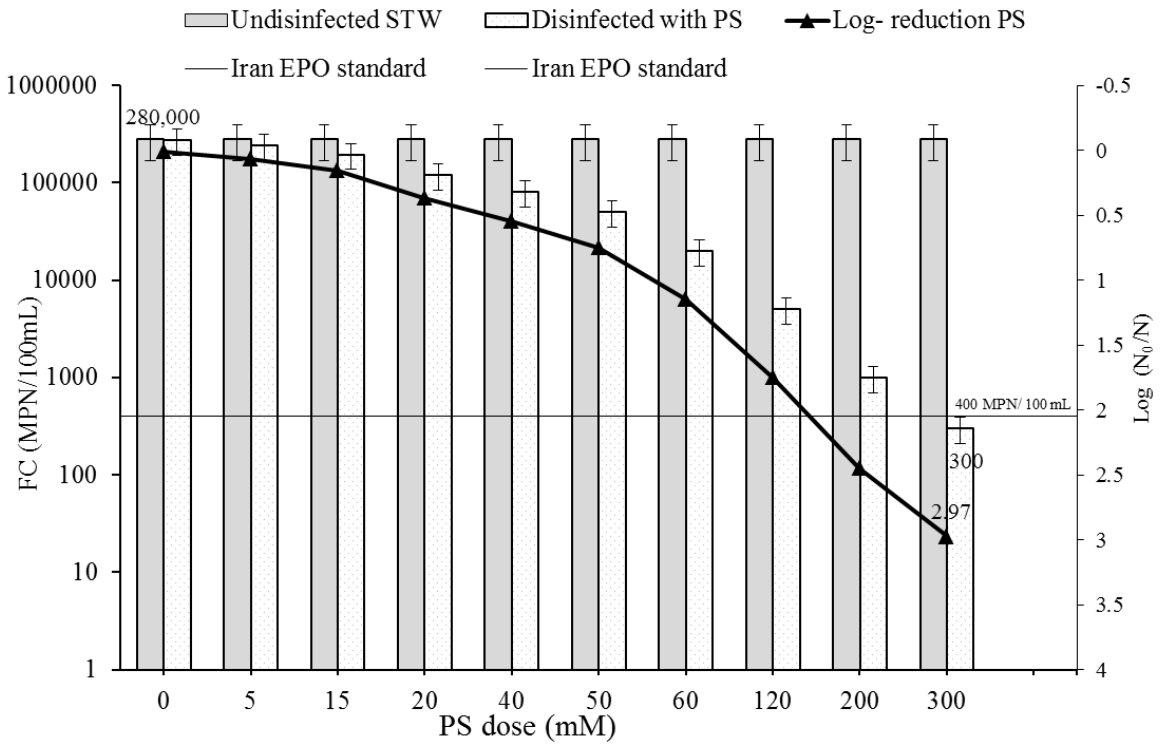
گندزدایی با دوزهای مختلف پرسولفات

در شکل ۱ تأثیر دوزهای مختلف پرسولفات سدیم (بر حسب میلی‌مولار) در غیرفعال‌سازی کلیفرم‌های گرماپای نشان داده شده است. پرسولفات اگرچه خود اکسیدکننده‌ای نسبتاً قوی محسوب می‌شود ($E^0 = 2.01$ V) [۲۱]، همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، به‌تنهایی قادر به کاهش میزان قابل‌قبولی از کلیفرم‌های گرماپای نبوده است. در دوز نسبتاً بالای ۳۰۰ میلی‌مولار توانسته استاندارد خروجی [۲۲] مورد نظر را برآورده سازد. در این دوز که زمان تماس ۳۰ دقیقه است، حدود ۳ لگاریتم حذف مشاهده می‌شود.

گندزدایی با دوزهای مختلف پرسولفات در حضور اشعهٔ UV

در شکل ۲ نتایج دوزهای مختلف پرسولفات تزریق‌شده به نمونه‌ها در حضور اشعهٔ UV نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نسبت به حالت عدم‌حضور اشعهٔ UV، در دوزهای نسبتاً بسیار پایینی استاندارد مورد نظر برآورده شده است.

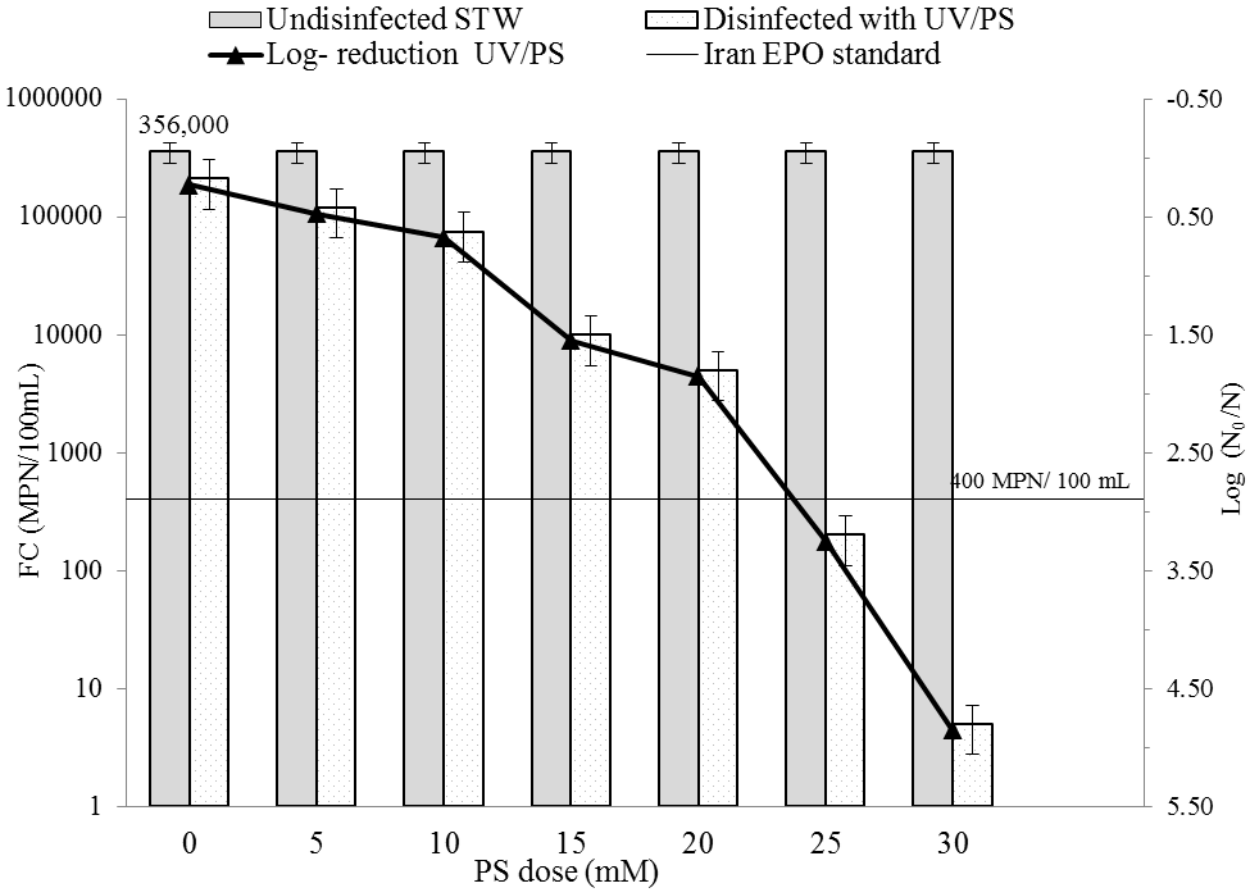
با توجه به شکل ۲، در دوز ۲۵ میلی‌مولار و زمان تماس ۱۵ دقیقه، میزان کلیفرم‌های گرماپای به حدود ۲۰۰ MPN/100 mL رسیده است که حدود ۳/۲۵ لگاریتم (معادل ۹۹/۹۴ درصد) کاهش در میزان کلیفرم‌های گرماپای است. نکتهٔ قابل‌توجه دیگر در این شکل دوز صفر پرسولفات است که در این حالت نمونه به‌مدت ۱۵ دقیقه با اشعهٔ UV در تماس بوده و میزان غیرفعال‌سازی کلیفرم‌های گرماپایی در حدود ۰/۲۳ لگاریتم (معادل ۴۱ درصد) را در پی داشته است.



شکل ۱. تأثیر دوزهای مختلف پرسولفات در غیرفعال‌سازی کلیفرم‌های گرماپای

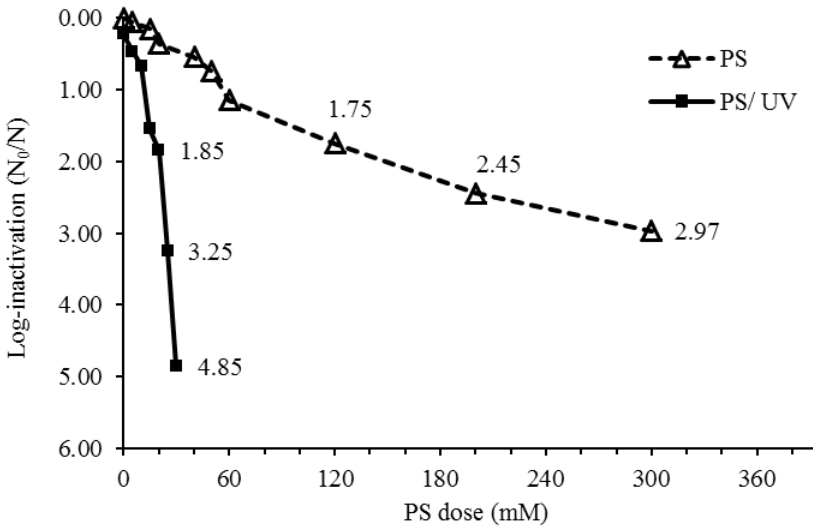
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. تأثیر دوزهای مختلف پرسولفات در حضور اشعهٔ ماورای بنفش در غیرفعال‌سازی کلیفرم‌های گرماپای (زمان تماس ۱۵ دقیقه)

در شکل ۳ کارایی گندزدایی پرسولفات در حضور و عدم‌حضور اشعهٔ UV بر حسب لگاریتم کاهش کلیفرم‌های گرماپای نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می شود ا شعهٔ UV تأثیر تشدیدکنندگی قابل‌توجهی در کارایی گندزدایی پرسولفات نشان می‌دهد. در حضور اشعهٔ UV، غلظت حدود ۲۵ میلی‌مولار پرسولفات به‌مراتب مؤثرتر از غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار پرسولفات بدون حضور اشعهٔ UV است (غلظت بیش از ۱۰ برابر).



شکل ۳. مقایسهٔ غیرفعال‌سازی کلیفرم‌های گرماپای در دوزهای مختلف PS در حضور و عدم‌حضور اشعهٔ UV

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اشـــعهٔ UV تأثیر تشـــدیدکنندگی شـــدیدی بر خا صیت گندزدایی پر سولفات ن شان داد. با توجه به محدودیت ا ستفاده از عوامل گوگرددار در ت صفیهٔ فا ضلاب، به‌نظر می‌ر سد اســـتفاده از اشـــعهٔ UV در کنار مقدار جزئی از پرســـولفات، این محدودیت را تا حدود زیادی بهبود می‌بخشد و آثار محیط‌زیستی و اقتصـــادی زیانبار گندزداهای متداول، به‌خصـــوص تولید محصولات جانبی مضر، را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پروژهٔ دانشجویی گروه مهندسی بهداشت محیط دان شکدهٔ بهدا شت دان شگاه علوم پز شکی شهید بهشتی ا ست. بدین وســـیله، نویســـندگان از تمامی افرادی که در انجام این تحقیق نقش داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

[1] Bustos Y, Vaca M, López R, Bandala E, Torres L, Rojas-Valencia N. Disinfection of Primary Municipal Wastewater Effluents Using Continuous UV and Ozone Treatment. Treatment. J. Water Resour. Prot. 2014; 6(1): 16-21.

[2] Bischoff A, Cornel P, Wagner M. Choosing the most appropriate technique for wastewater disinfection–parallel investigation of four disinfection systems with different preceding treatment processes. Water Pract Tech. 2012; 7(3): 54-66.

[3] Ferro G, Fiorentino A, Alferez MC, Polo-López MI, Rizzo L, Fernández-Ibáñez P. Urban wastewater disinfection for agricultural reuse: effect of solar driven AOPs in the inactivation of a multidrug resistant E. coli strain. Appl Catal B-Environ. 2015; 178: 65-73

[4] Karpova T, Pekonen P, Gramstad R, Öjstedt U, Laborda S, Heinonen-Tanski H, et al. Performic acid for advanced wastewater disinfection. Water Sci. Technol. 2013; 68(9): 2090–2096.

[5] Saghi MH, Allahabadi A, Rahmani-Sani A,Vazeiri T, Hekmatshoar R. Removal of Reactive Orange 3 dye from aqueous solution by biosorption technology. J Sabzevar Univ Med Sci. 2012; 19(2): 127-35. [in Persian]

[6] Dareini F, Amini mohamadiye A, Zarei-Sani H, Saghi MH. Removal of acid black 1 dye from aqueous solution using nano-iron particles. J Sabzevar Univ Med Sci. 2014; 20(5): 782-90. [in Persian]

[7] Wert EC, Rosario-Ortiz FL, Drury DD, Snyder SA. Formation of oxidation byproducts from ozonation of wastewater. Water Res. 2007; 41(7): 1481-90.

[8] Rebhun M, Heller-Grossman L, Manka J. Formation of disinfection byproducts during chlorination of secondary effluent and renovated water. Water Environ Res. 1997; 69(6): 1154-62.

[9] Krasner SW, Westerhoff P, Chen B, Rittmann BE, Amy G. Occurrence of disinfection byproducts in United States wastewater treatment plant effluents. Environ. Sci. Technol. 2009; 43(21): 8320-5.

[10] Kühn KP, Chaberny IF, Massholder K, Stickler M, Benz VW, Sonntag HG, et al. Disinfection of surfaces by photocatalytic oxidation with titanium dioxide and UVA light. Chemosphere. 2003; 53(1): 71-7.

[11] Koivunen J, Heinonen-Tanski H. Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments. Water Res. 2005; 39(8): 1519-26.

[12] Hamdi M, Soleimani B, Nasr Isfahani B, Mandegar, HA. Study of the status of graduates from 1990 to 1995 in Isfahan School of Health in terms of employment and education. Journal of Research in Medical Sciences. 1998, 3(1): 6-32. [in Persian]

[13] Lee OM, Kim HY, Park W, Kim TH, Yu S. A comparative study of disinfection efficiency and regrowth control of microorganism in secondary wastewater effluent using UV, ozone, and ionizing irradiation process. J Hazard Mater. 2015; 295: 201-8.

[14] Selvakumar A, Tuccillo ME, Muthukrishnan S, Ray AB. Use of Fenton's reagent as a disinfectant. Remed. J. 2009; 19(2): 135-42.

15. Rastogi A, Al-Abed SR, Dionysiou DD. Sulfate radical-based ferrous–peroxymonosulfate oxidative system for PCBs degradation in aqueous and sediment systems. Appl Catal B-Environ. 2009; 85(3–4): 171-9.

16. Deng Y, Ezyske CM. Sulfate radical-advanced oxidation process (SR-AOP) for simultaneous removal of refractory organic contaminants and ammonia in landfill leachate. Water Res. 2011; 45(18): 6189-94.

17. Yuan R, Ramjaun SN, Wang Z, Liu J. Effects of chloride ion on degradation of Acid Orange 7 by sulfate radical-based advanced oxidation process: Implications for formation of chlorinated aromatic compounds. J Hazard Mater. 2011; 196: 173-9.

18. Shu HY, Chang M-C, Huang SW. UV irradiation catalyzed persulfate advanced oxidation process for decolorization of Acid Blue 113 wastewater. Desalin Water Treat. 2014; 54(4-5): 1013-21.

19. Oh SY, Kang SG, Chiu PC. Degradation of 2,4-dinitrotoluene by persulfate activated with zero-valent iron. Sci Total Environ. 2010; 408(16): 3464-8.

20. Liang C, Wang Z-S, Bruell CJ. Influence of pH on persulfate oxidation of TCE at ambient temperatures. Chemosphere. 2007; 66(1): 106-13.

21. Federation, Water Environmental, and American Public Health Association(USA). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, 2005.

22. Hussain I, Zhang Y, Huang S, Du X. Degradation of p-chloroaniline by persulfate activated with zero-valent iron. Chem Eng J. 2012; 203(1): 269-76.

23. Iranian Environmental Protection Organization(Iran), Guidelines for wastewater reuse in agricultural purposes, 1994.

24. Kwon M, Kim S, Yoon Y, Jung Y, Hwang TM, Lee J, Kang JW. Comparative evaluation of ibuprofen removal by UV/H_2O_2 and UV/S2O8 2 - processes for wastewater treatment. Chem Eng J. 2015; 269(1): 379–90.

25. Salari D, Niaei A, Aber S, Rasoulifard MH. The

www.SID.ir

Archive of SID

photooxidative destruction of CI Basic Yellow 2 using UV/$S_2O_8^{2-}$ process in a rectangular continuous photoreactor. J Hazard Mater 2009; 166(1): 61–6.

26. Souza BS, Dantas RF, Agulló -Barceló M, Lucena F, Sans C, Esplugas S, et al. Evaluation of UV/H2O2 for the disinfection and treatment of municipal secondary effluents for water reuse. J. Chem. Technol. Biotechnol.. 2013;88(9):1697-706.

www.SID.ir