2023, Vol.10, No.3, Pages 131 to 135
Journal of Water and Sustainable Development

سال دهم، شماره ۳، ۱۴۰۲، صفحات ۱۳۱ تا ۱۳۵
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Removal of Amoxiclav Antibiotic from Aqueous Solutions Using Ultrasonic Waves

S. Goudarzian[1], M. Soleimani Babarsad[2], E. Derikund[2*], M.H. Pourmohammadi[2], H. Ghorbanzadeh Kharazi[2]

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering - Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Water Sciences, Water Science and Environmental Research Center, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

*(Corresponding Author Email: Ehsan.Derikvand@iau.ac.ir)

Received: 19-06-2023 Revised: 21-08-2023
Accepted: 05-09-2023 Available Online: 21-12-2023

حذف آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو با استفاده از امواج التراسونیک از محلول‌های آبی

سامان گودرزیان[1]، محسن سلیمانی بابرصاد[2]، احسان دریکوند[2*]، محمدحسین پورمحمدی[2]، حسین قربانی‌زاده خرازی[2]

۱-دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران - مهندسی و مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران. ۲- استادیار، گروه مهندسی آب، مرکز تحقیقات علوم آب و محیط زیست، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Ehsan.Derikvand@iau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

Abstract

Antibiotics enter the environment, mainly aquatic environments, through the effluents of pharmaceutical industries, antibiotic factories, hospitals, human and animal sewage. Toxicity (carcinogenicity, mutagenicity and damage to the body's DNA), biodegradability, and drug resistance in antibiotics have caused these compounds to be called semi-persistent pollutants in the environment. The present study was conducted to investigate the effectiveness of ultrasonic waves in reducing the antibiotic amoxiclav in aqueous solutions. The discharge and flow velocity parameters have been neglected due to their insignificance. The investigated variables included contact time, amoxiclav concentration, and pH. Antibiotics were based on concentrations of 2 and 6 mg/L of Amoxiclav, retention time (30, 45, 60) minutes, and pH values (3, 7, 9) in an ultrasonic device with a volume of 10 liters and internal dimensions (20*30*50), and the frequency was set to 95. Then the remaining concentration in the samples was measured by HPLC. The obtained results were subjected to statistical analysis with SPSS software. As the retention time increases, the initial concentration of the antibiotic decreases, but on the contrary, as the initial concentration increases, the removal of the antibiotic decreases. The highest concentration reduction of amoxiclav in concentration 2 (mg/L) is about 50% in the retention time of 60 minutes and pH = 3, but in concentration of 6 (mg/L), the highest concentration reduction is in the same retention time and pH of about 47%. The advantages of ultrasonication are easy application, acceleration of chemical and biological processes, no production of secondary pollutants, reduction of suspended and soluble substances in water, and an effective and cheap method to remove the antibiotic Amoxiclav.

Keywords: Amoxiclav Antibiotic, Ultrasonic, Retention Time, HPLC.

چکیده

آنتی‌بیوتیک‌ها از طریق پساب‌های صنایع داروسازی و کارخانه‌های سازنده آنتی‌بیوتیک‌ها، بیمارستان‌ها، فاضلاب‌های انسانی و حیوانی به محیط‌زیست و عمدتاً محیط‌های آبی وارد می‌شوند. سمیّت (سرطان‌زا بودن، جهش‌زایی و آسیب رساندن به DNA بدن)، زیست تخریب ناپذیری و ایجاد مقاومت دارویی در آنتی‌بیوتیک ها، باعث شده که این ترکیبات، آلاینده‌های شبه پایدار در محیط‌زیست نامیده شوند. مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی امواج التراسونیک در کاهش آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو از محلول‌های آبی انجام شده است. از پارامترهای دبی و سرعت جریان به دلیل ناچیز بودن، صرف‌نظر شده است. متغیرهای مورد بررسی شامل زمان تماس، غلظت آموکسی کلاو و pH در نظر گرفته شد. آنتی‌بیوتیک براساس غلظت‌های ۲ و ۶ میلی‌گرم در لیتر آموکسی کلاو، زمان ماند ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه و مقادیر pH ۳، ۷ و ۹ درون دستگاه التراسونیک به حجم ۱۰ لیتر و ابعاد داخلی ۲۰*۵۰*۳۰ و فرکانس ۹۵ قرار داده شد. سپس غلظت باقی‌مانده در نمونه‌ها با دستگاه HPLC سنجیده شد. نتایج بدست آمده با نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل آماری شد. هر چه زمان ماندافزایش پیدا کند از غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک بیشتر کاسته می‌شود، ولی برعکس هر چه غلظت اولیه افزایش یابد، باعث کاهش حذف آنتی‌بیوتیک شده است. بیشترین میزان کاهش غلظت آموکسی کلاو در غلظت ۲ mg/L حدود ۵۰ درصد در زمان ماند ۶۰ دقیقه و pH=۳، اما در غلظت ۶mg/L بیشترین میزان کاهش غلظت در همین زمان ماند و pH حدود ۴۷ درصد است. مزایای التراسونیک، کاربرد آسان، تسریع فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی، عدم تولید آلاینده ثانویه، کاهش مواد معلق و محلول در آب همچنین یک روش موثر و ارزان در حذف آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو است.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو، التراسونیک، زمان ماند، HPLC.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Goudarzian, S., Soleimani Babarsad, M., Derikund, E., Pourmohammadi, M.H., Ghorbanzadeh Kharazi, H. (2023). Removal of Amoxiclav Antibiotic from Aqueous Solutions Using Ultrasonic Waves. Journal of Water and Sustainable Development, 10(3): 131-135. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v10i3.2306-1250

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه خاصی به آلاینده‌های منابع آب، شامل ترکیبات دارویی همچون آنتی‌بیوتیک‌ها در محیط‌زیست (Almasi و همکاران، ۲۰۱۷)، به ویژه در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، آب‌های زیرزمینی و رسوبات خاک شده است (Ouyang و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ji و همکاران، ۲۰۱۴). هنگامی که انسان دارویی را مصرف می‌کند، حدود ۲۵ درصد آن جذب می‌شود (Githinji و همکاران، ۲۰۱۱) و باقیمانده آن به شکل متابولیت‌های شیمیایی مانند فرآورده‌های فرعی، از فعل و انفعالات بدن دفع می‌گردد (Jendrzejewska و Karwowska، ۲۰۱۸) که اگر حذف نشوند وارد منابع آب عمومی می‌شوند (Arslan-Alaton و Gurses، ۲۰۰۴). آنتی‌بیوتیک‌های مصرف شده توسط دام‌ها و آبزیان بعد از دفع شدن به عنوان کودهای حیوانی در بخش کشاورزی به کار می‌روند (Cha و همکاران، ۲۰۱۵). سمیّت (سرطان‌زا بودن، جهش‌زایی و آسیب رساندن به DNA بدن)، زیست تخریب‌ناپذیری و ایجاد مقاومت دارویی در آنتی‌بیوتیک‌ها، باعث شده که این ترکیبات آلاینده‌های شبه پایدار در محیط‌زیست، نامیده شوند (Körbahti و Taşyürek ، ۲۰۱۵). فرآیندهای اصلی مورد استفاده برای حذف آلاینده‌های آب، روش‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی هستند که فرآیندهای بیولوژیکی ارزان هستند ولی در حذف مواد آلی مقاوم از آب موثر نیستند (Awad و Kim، ۲۰۱۴). اما فرآیندهای فیزیکوشیمیایی اگر چه پرهزینه هستند، ولی راندمان و کیفیت بالایی دارند (Ouyang و همکاران، ۲۰۱۵).

در واقع آنتی‌بیوتیک‌ها به دلیل داشتن خاصیت ضد میکروبی، مانع فعالیت باکتری‌ها در سیستم تصفیهٔ بیولوژیکی شده و با مختل کردن عملیات تصفیه، بدون حذف شدن، از آن عبور می‌کنند (Badawy و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین روش‌های معمول مورد استفاده در تصفیهٔ فاضلاب صنایع دارویی مانند تصفیه بیولوژیکی، عموماً کارآمد نمی باشند (Dirany وهمکاران، ۲۰۱۰). در این راستا روش‌های اکسیداسیون پیشرفته، اخیراً توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است (Sharma و همکاران، ۲۰۱۱).

در این خصوص تاکنون تحقیقات مختلفی برای حذف آلاینده‌های آلی به ویژه آنتی‌بیوتیک‌ها از محلول‌های آبی انجام شده است، از جمله: ارزیابی تأثیر پارامترهای pH و زمان در حذف آنتی‌بیوتیک وانکومایسین از محلول آبی با استفاده از جاذب طبیعی نانوبنتونیت انجام شده است (Khamoushi و Dehrazma، ۲۰۱۷). جایگزینی ازن با اشعه uv در فرآیند uv/H_2o_2 منجر به حذف آلایندهٔ آلی می‌شود (Yuan و همکاران، ۲۰۰۹). اکسیداسیون عکس یکی دیگر از روش‌های گسترده برای تصفیه منابع آب از ترکیبات دارویی است (Dewil و همکاران، ۲۰۱۷). فرآیندهای مختلفی از قبیل ازن‌زنی (Garoma و همکاران، ۲۰۱۰)، تابش پرتو فرابنفش (Shokri و همکاران، ۲۰۱۹) انجام شده است.

بررسی حذف آموکسی‌سیلین در آب با پراکسید هیدروژن و التراسونیک ارائه شده است (Damiri و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعه جذب آنتی‌بیوتیک وانکومایسین از محلول آبی با استفاده از کامپوزیت مگنتیت آغشته به کربن فعال انجام شده است (Gashtasbi و همکاران، ۲۰۱۷).

مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی امواج التراسونیک در کاهش آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو از محلول‌های آبی انجام شده است. انتخاب این آنتی‌بیوتیک به دلایل زیر بوده است:

۱-آموکسی کلاو و ترکیبات آن یکی از داروهای پرمصرف در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله عفونت‌های مجاری ادراری-تناسلی، عفونت گوش میانی، مجاری تنفسی و برونشیت مزمن، سالمونلوز مهاجم، عفونت‌های شکمی، سلولیت، گازگرفتگی حیوانات و عفونت شدید دندان همراه با سلولیت است.

۲- تاکنون تحقیقاتی در مورد حذف این آنتی‌بیوتیک با امواج التراسونیک صورت نگرفته است.

مواد و روش

در این مطالعهٔ تجربی و آزمایشگاهی مواد شیمیایی مورد نیاز شامل اسید سولفوریک (کلریدریک) و هیدروکسیدسدیم، آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو از شرکت Merck آلمان با خلوص بیش از ۹۸ درصد تهیه شده است. برای تهیه کلیهٔ محلول‌های آزمایش از آب دیونیزه و همچنین برای تنظیم pH محلول از اسید کلریدریک و هیدروکسیدسدیم ۰/۱ مولار استفاده شد. از وسایل آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق، بشر، ترازوی دیجیتالی، شیکر، کاغذ صافی، pH متر، مخلوط کن، دستگاه التراسونیک و دستگاه جذب اتمی HPLC[1] را می‌توان نام برد. در این تحقیق از روش جریان توأم با مواد آلاینده در مقیاس آزمایشگاهی، اقدام به بررسی عوامل تأثیرگذار بر فرآیند کاهش آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو صورت گرفت. از پارامترهای دبی و سرعت جریان، به دلیل ناچیز بودن صرفه نظر شد. متغیرهای مورد بررسی شامل زمان تماس، غلظت آموکسی کلاو و pH است. نمونه‌های موردنظر در محلول‌های ۱ لیتری با غلظت‌های ۲و۶ میلی‌گرم در لیتر در سه رده pH ۳ ، ۷ و ۹ به مدت ۳ ساعت در دمای آزمایشگاهی ۲۲/۵ درجه سلسیوس به وسیله مخلوط کن هم زده شد. سپس زمان ماندهای ۳۰ و ۴۵، ۶۰ دقیقه درون دستگاه التراسونیک با فرکانس ۹۵ khz قرار می‌گیرد. حجم مشخصی از نمونه جهت اندازه‌گیری باقی‌مانده آموکسی کلاو برداشت می‌گردد. نمونه حاصل توسط دستگاه جذب اتمی (HPLC) مجهز به آشکارساز اشعه ماورای بنفش آنالیز می‌شود. تمامی آزمایشات با ۳ بار تکرار

و انحراف معیاری کمتر از ۰/۵ انجام شده است. جهت تعیین کارایی فرآیندهای مذکور در حذف آموکسی کلاو، راندمان فرآیند مطابق معادله زیر محاسبه می‌گردد.

$$efficiency\ (\%)=((C1-C2))/C1 \qquad (۱)$$

در معادله بالا $C_{1,2}$، غلظت آموکسی کلاو به ترتیب در ورودی و خروجی از راکتور است.

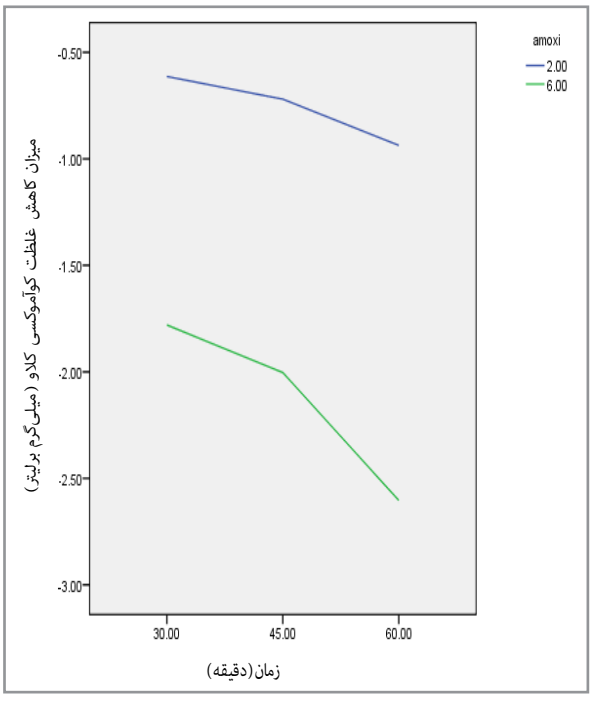
پس از تعیین غلظت اولیه و غلظت باقیماندهٔ آنتی‌بیوتیک در زمان‌های مختلف با استفاده از دستگاه HPLC و با مقایسه غلظت اولیه و غلظت‌های باقیمانده طی زمان‌های مختلف، درصد حذف، برآورد می‌شود. پس از انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی روی نمونه‌ها، نتایج بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل آماری با نرم‌افزار spss قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایجی که از نرم‌افزارهای تحلیلی بدست آمده بر اساس متغیرهای زمان ماند، pH و غلظت آموکسی در جدول (۱) ارائه شده است. طبق نتایج این جدول، بیشترین کاهش درصد غلظت مربوط به آموکسی کلاو ۲ (mg/L) حدود ۵۰ درصد در زمان ماند ۶۰ دقیقه و pH=۳، و در همین شرایط کاهش غلظت آموکسی کلاو ۶ (mg/L) حدود ۴۷ درصد است. کمترین کاهش آنتی‌بیوتیک برای هر دو غلظت ۲ (mg/L) و ۶ (mg/L) در یک زمان ماند ۳۰ دقیقه و pH=۳ رخ داده که به ترتیب ۳۰ و ۲۹ درصد می‌باشد. هرچه غلظت آنتی‌بیوتیک از ۲ به ۶ افزایش یابد، درصد حذف آن کاهش می‌یابد. به طور مشابه در مطالعه‌ای که خزایی و همکاران (۱۳۹۸) انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک از ۵ به ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، کارایی حذف آنتی‌بیوتیک سفکسیم از ۹۳ به ۹۱ درصد کاهش پیدا می‌کند، یعنی میزان غلظت آنتی‌بیوتیک با میزان کارایی فرآیند حذف رابطه معکوس دارد.

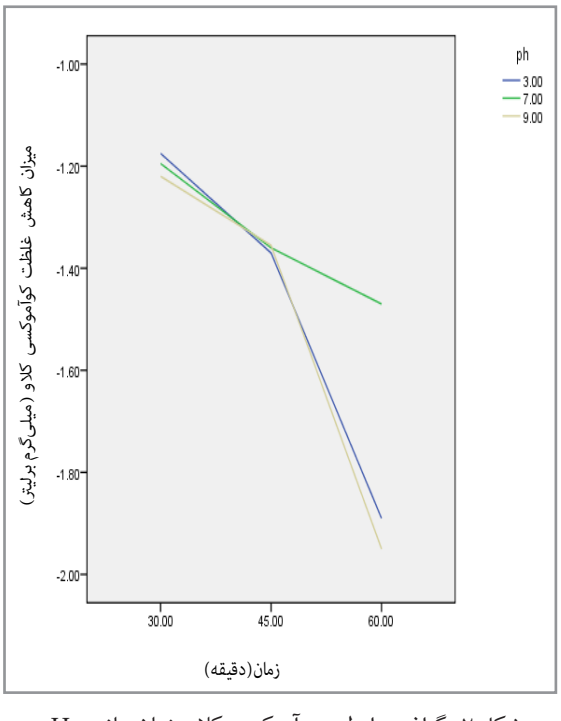
جدول ۱- نتایج داده‌های متغیرها در آزمایشگاه

زمان	pH	درصد حذف آموکسی‌کلاو	
		(mg/L)۲	(mg/L)۶
۳۰	۳	۳۰	۲۹,۲
۴۵	۳	۳۶	۳۳
۶۰	۳	۵۰	۴۷
۳۰	۷	۳۱	۲۹,۵
۴۵	۷	۳۶,۵	۳۳
۶۰	۷	۴۵	۳۴
۳۰	۹	۳۱	۳۰
۴۵	۹	۳۵,۵	۳۳
۶۰	۹	۴۶,۵	۴۹



شکل ۱- گراف رابطه بین کاهش غلظت آموکسی و زمان ماند

با توجه به جدول (۱) و شکل (۱) مشاهده می‌شود که هر چه زمان ماند از ۳۰ دقیقه به ۶۰ دقیقه افزایش یابد، درصد حذف آنتی‌بیوتیک افزایشی است. مطالعه که به حذف آزیترومایسین از منابع آب پرداخته، نتایج تحقیق حاضر را تأیید می‌کند (Yao و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۲- گراف روابط بین آموکسی کلاو، زمان ماند و pH

جدول (۱) و شکل (۲) نشان می‌دهد که بیشترین کاهش غلظت آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو، مربوط به pHهای ۳ و ۹ است. در نتیجه عامل pH هیچ تغییر معنی‌داری در کاهش غلظت آموکسی رخ نداده است، بنابراین در شرایط التراسونیک، pH یک عامل غیر موثر است. Shaykhi Mehrabadi (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای در مورد حذف آموکسی سیلین توسط $UV/H_2O_2/O_3$، نشان داد که pH بالا، عملکرد منفی در حذف آنتی‌بیوتیک دارد. کمانی و همکاران (۱۳۹۷)در مورد کارایی فرآیند تلفیقی التراسونیک – پرسولفات در کاهش مواد آلی فاضلاب سنتیک لبنی مطالعه‌ای انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که راندمان کلی فرآیند در pH اسیدی نسبت به pH قلیایی، برتری داشته به طوری که افزایش pH از ۵ به ۹، کارایی فرآیند حذف مواد آلی از فاضلاب سنتیک را کاهش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج این تحقیق با توجه به شکل (۱) هر چه غلظت آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو افزایش یابد، میزان حذف آن کاهش می‌یابد. در غلظت اولیه ۲ (mg/L) آموکسی کلاو بیشترین میزان کاهش غلظت آموکسی کلاو تقریباً ۱ (mg/L) حدود ۵۰ درصد در زمان ماند ۶۰ دقیقه و کمترین میزان حذف به زمان ۳۰ دقیقه، حدود ۳۰ درصد است. اما در غلظت اولیه ۶ (mg/L)، بیشترین میزان کاهش غلظت آموکسی کلاو در زمان ماند ۶۰ دقیقه دارای کاهشی در حد ۲/۸ (mg/L) حدود ۴۷ درصد و کمترین میزان حذف در زمان ۳۰ دقیقه، حدود ۲۹ درصد است.

عامل pH با توجه به شکل (۲) در این مطالعه تغییرات معناداری نداشته، بطوری که در pHهای ۹ و ۳ به ترتیب بیشترین درصد حذف و در pH=۷ کمترین حذف مشاهده شد و همچنین عامل زمان ماند بسیار تأثیرگذار بوده، به طوری که هرچه از زمان ۳۰ به سمت ۶۰ دقیقه بالا می‌رود، به طور قابل ملاحظه‌ای با افزایش حذف غلظت آموکسی مواجه می‌شود. به طور کلی روش التراسونیک برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها روشی سریع، با عدم تولید آلاینده ثانویه، کاهش مواد معلق و محلول در آب، ارزان قیمت و بیولوژیکی است، ولی راندمان بالایی ندارد و حدود ۵۰ درصد است.

پی‌نوشت‌ها

1-High performance liquid chromatography

منابع

خزایی، رقیه، رحمانی، علیرضا، صیدمحمدی، عبدالمطلب، فردمال، جواد، و لیلی، مصطفی. (۱۳۹۸). بررسی کارایی فرآیندuv/پراکسی مونوسولفات آنتی‌بیوتیک سفیکسیم از محلول‌های آبی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان، ۲۴(۴)، ۲۲-۴۰.

کمانی، حسین، حسین پناهی، آیت، نورآبادی ، الهام، و آبی، غلامرضا. (۱۳۹۸). بررسی کارآیی فرآیند تلفیقی التراسونیک-پرسولفات در کاهش مواد آلی فاضلاب سنتتیک لبنی. نشریه دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، ۲۶(۱)، ۳۲-۴۳.

Almasi, A., Mohammadi, M., Shamsi, K., Mohammadi, S., & Saeidimoghadam, Z. (2017). Sonolytic and photocatalytic (sonophotocatalytic) removal of cephalexin from aqueous solution: process optimization using response surface methodology (RSM). Desalination and water treatment, 85, 256-263. DOI: 10.5004/dwt.2017.21030

Arslan-Alaton, I., & Gurses, F. (2004). Photo-Fenton-like and photo-fenton-like oxidation of Procaine Penicillin G formulation effluent. Journal of photochemistry and photobiology A: Chemistry, 165(1-3), 165-175. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2004.03.016

Awad, Y. M., Kim, S. C., Abd El-Azeem, S. A., Kim, K. H., Kim, K. R., Kim, K., ... & Ok, Y. S. (2014). Veterinary antibiotics contamination in water, sediment, and soil near a swine manure composting facility. Environmental earth sciences, 71, 1433-1440. DOI: 10.1007/s12665-013-2548-z

Badawy, M. I., Wahaab, R. A., & El-Kalliny, A. S. (2009). Fenton-biological treatment processes for the removal of some pharmaceuticals from industrial wastewater. Journal of hazardous materials, 167(1-3), 567-574. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.01.023

Cha, J., Yang, S., & Carlson, K. H. (2015). Occurrence of β-lactam and polyether ionophore antibiotics in surface water, urban wastewater, and sediment. Geosystem Engineering, 18(3), 140-150. DOI: 10.1080/12269328.2015.1010658

Damiri, F., Dobaradaran, S., Hashemi, S., Foroutan, R., Vosoughi, M., Sahebi, S., ... & Boffito, D. C. (2020). Waste sludge from shipping docks as a catalyst to remove amoxicillin in water with hydrogen peroxide and ultrasound. Ultrasonics Sonochemistry, 68, 105187. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2020.105187

nanobentonite natural adsorbent, Fifth National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management., Tehran, IRAN.

Ouyang, W. Y., Huang, F. Y., Zhao, Y., Li, H., & Su, J. Q. (2015). Increased levels of antibiotic resistance in urban stream of Jiulongjiang River, China. Applied microbiology and biotechnology, 99, 5697-5707. DOI: 10.1007/s00253-015-6416-5

Sharma, S., Ruparelia, J. P., & Patel, M. L. (2011). A general review on advanced oxidation processes for waste water treatment. In Nirma University International Conference, Ahmedabad, Gujarat, 382-481.

Shokri, R., Yengejeh, R. J., Babaei, A. A., Derikvand, E., & Almasi, A. (2019). UV activation of hydrogen peroxide for removal of azithromycin antibiotic from aqueous solution: determination of optimum conditions by response surface methodology. Toxin Reviews. DOI: 10.1080/15569543.2018.1517803

Shaykhi Mehrabadi, Z. (2016). Performance of advanced oxidation process (UV/O3/H2O2) degrading amoxicillin wastewater: A comparative study. Journal of applied research in water and wastewater, 3(1), 222-231.

Yuan, F., Hu, C., Hu, X., Qu, J., & Yang, M. (2009). Degradation of selected pharmaceuticals in aqueous solution with UV and UV/H2O2. Water research, 43(6), 1766-1774. DOI: 10.1016/j.watres.2009.01.008

Yao, H., Sun, P., Minakata, D., Crittenden, J. C., & Huang, C. H. (2013). Kinetics and modeling of degradation of ionophore antibiotics by UV and UV/H2O2. Environmental science & technology, 47(9), 4581-4589. DOI: 10.1021/es3052685

Dewil, R., Mantzavinos, D., Poulios, I., & Rodrigo, M. A. (2017). New perspectives for advanced oxidation processes. Journal of environmental management, 195, 93-99. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.04.010

Dirany, A., Sirés, I., Oturan, N., & Oturan, M. A. (2010). Electrochemical abatement of the antibiotic sulfamethoxazole from water. Chemosphere, 81(5), 594-602. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.08.032

Garoma, T., Umamaheshwar, S. K., & Mumper, A. (2010). Removal of sulfadiazine, sulfamethizole, sulfamethoxazole, and sulfathiazole from aqueous solution by ozonation. Chemosphere, 79(8), 814-820. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.02.060

Gashtasbi, F., Yengejeh, R. J., & Babaei, A. A. (2017). Adsorption of vancomycin antibiotic from aqueous solution using an activated carbon impregnated magnetite composite. Desalination and water treatment, 88, 286-297. DOI: 10.5004/dwt.2017.21455

Githinji, L.J., Musey, M. (2011). Evaluation of the fate of ciprofloxacin and amoxicillin in domestic wastewater. Water, Air, & Soil Pollution, 219, 191-201. DOI: 10.1007/s11270-010-0697-1

Ji, Y., Ferronato, C., Salvador, A., Yang, X., & Chovelon, J. M. (2014). Degradation of ciprofloxacin and sulfamethoxazole by ferrous-activated persulfate: implications for remediation of groundwater contaminated by antibiotics. Science of the total environment, 472, 800-808. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.11.008

Jendrzejewska, N., & Karwowska, E. (2018). The influence of antibiotics on wastewater treatment processes and the development of antibiotic-resistant bacteria. Water science and technology, 77(9), 2320-2326. DOI: 10.2166/wst.2018.153

Körbahti, B. K., & Taşyürek, S. (2015). Electrochemical oxidation of ampicillin antibiotic at boron-doped diamond electrodes and process optimization using response surface methodology. Environmental Science and Pollution Research, 22, 3265-3278. DOI: 10.1007/s11356-014-3101-7

Khamoushi, H. Dehrazma, B. (2017). Removal of vancomycin antibiotic from aqueous solution using