

مقاله علمی-پژوهشی

اثر امواج اولتراسونیک بر حذف نیترات در محلول آبی

محمدرضا آلاشتی^۱، مجتبی خوش‌روش^{۲*}، فردین صادق‌زاده^۳، هازی محمد عظیم‌الله^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲

چکیده

تخلیه و دفع پساب‌ها و فاضلاب‌های حاوی مقادیر زیاد نیترات باعث افزایش آن در آب‌های زیرزمینی و منابع آب شده که آثار مخربی بر محیط زیست و سلامت انسان دارد. با هدف بررسی اثر امواج اولتراسونیک بر حذف نیترات و خواص جذب نیترات توسط جاذب‌های بیوپچار کاه برنج، بیوپچار پوشش داده‌شده با آهن (III) و روی، آزمایشی به صورت تعیین پارامترهای بهینه، با سه تکرار در آزمایشگاه کیفیت آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای منبع آب شامل استفاده از امواج فراصوت بدون استفاده از جاذب (U)، جاذب بیوپچار (B)، جاذب بیوپچار به همراه اولتراسونیک (BU)، جاذب بیوپچار با پوشش آهن سه‌ظرفیتی (BF)، جاذب بیوپچار با پوشش آهن سه‌ظرفیتی به همراه اولتراسونیک (BFU)، جاذب بیوپچار با پوشش کاتیون روی (BZ) و جاذب بیوپچار کاه با پوشش کاتیون روی به همراه اولتراسونیک (BZU) بود. نتایج نشان داد که امواج اولتراسونیک توانست نیترات موجود در محلول آبی را حذف کند. همچنین فرایند اولتراسونیک در فرایند جذب نیترات توسط جاذب موثر می‌باشد. نتایج در جاذب‌های بیوپچار با پوشش آهن سه‌ظرفیتی و روی نشان داد که اولتراسونیک سبب افزایش pH بهینه‌ی محلول نیترات شده است و در جاذب‌های بیوپچار و بیوپچار پوشش داده شده با روی سبب کاهش دوز جاذب بهینه شده و میزان بهینه‌ی غلظت اولیه‌ی نیترات نیز در بیوپچار پوشش داده شده با روی از ۸۰ ppm به ۱۵۰ ppm افزایش پیدا کرده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش ۲۷ درصدی نیترات از محلول بود. با توجه به نتایج پیشنهاد می‌شود که استفاده‌ی ترکیبی از اولتراسونیک صورت گیرد که در فرایند تجزیه و تخریب آلاینده راندمان بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: بیوپچار، پوشش آهن، تصفیه‌ی آب، فراصوت، منابع آب

مقدمه

حادثه می‌باشد. تخلیه و دفع پساب‌ها و فاضلاب‌های حاوی مقادیر زیاد نیترات زنگ هشدار برای افزایش نیترات در آب‌های زیرزمینی و منابع آب بوده که آثار مخربی بر محیط زیست و سلامت انسان دارد (Anastasopoulos et al., 2013). ترکیبات نیتروژن‌دار به‌ویژه نیترات از جمله آلاینده‌های مهمی هستند که از طریق فاضلاب‌های خانگی، کشاورزی و صنایع مختلف به منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی وارد می‌شوند. امروزه آلودگی منابع آب به انواع آلاینده‌ها خصوصاً نیترات، مشکل اصلی زیست‌محیطی در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران می‌باشد (معصوم‌بیگی و همکاران، ۱۴۰۱). در ایران نیز با توجه به این‌که آب‌های سطحی و زیرزمینی جوابگوی نیازهای موجود نمی‌باشد، استفاده‌ی بهینه از این منابع، به‌ویژه آب‌های برگشتی و زه‌آب‌های کشاورزی به امری اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده‌است (مسلمی و همکاران، ۱۳۹۱).

افزایش احتمال بروز سرطان بر اثر تشکیل نیتروزامین‌ها و نیتروژن‌آمیدها نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. نیتروزامین‌ها باعث تومورهای معده، مغز، سیستم عصبی، پوست و استخوان گشته و

آب به عنوان یک منبع تجدیدشونده، همواره از ارکان اصلی توسعه بوده است. وجود برخی از املاح در آب برای سلامتی ضروری است؛ در حالی که مقادیر بیش از حد آن‌ها، سلامتی انسان‌ها را به خطر می‌اندازد (رحمانی و خان‌محمدی، ۱۴۰۲). با افزایش جمعیت و نیاز جامعه به آب سالم، اکثر کشورهای جهان در تأمین آب آشامیدنی با مشکلاتی روبه‌رو هستند. این وضعیت در کشورهای در حال توسعه

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۴- استاد، گروه مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشکده فنی، دانشگاه هند غربی، سنت آگوستین، ترینیداد و توباگو
- *- نویسنده مسئول: (Email: m.khoshravesh@sanru.ac.ir)

می‌باشند. ناحیه‌ی اول ناحیه‌ی گازی داخل حباب بوده که دارای فشاری بیش از ۱۰۰۰ اتمسفر و دمایی بیش از ۱۰۰۰ درجه‌ی کلون می‌باشد. ناحیه‌ی دوم ناحیه‌ی میانی که سطح مشترک بین گاز و مایع است و ناحیه‌ی سوم ناحیه‌ی داخل فاز مایع می‌باشد (Li et al., 2013). امواج اولتراسونیک نوعی از امواج صوتی است که در آن حرکت امواج در جهت طولی می‌باشد. در فرکانس بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز، امواج منتقل شده در این محدوده می‌توانند باعث ایجاد تغییرات شیمیایی در اثر ایجاد پدیده‌ی کاویتاسیون شوند (Doosti et al., 2012). پدیده‌ی کاویتاسیون همان‌طور که توسط نینگ و همکاران توضیح داده شده است با انتشار امواج فراصوت درون یک مایع ایجاد شده و از چرخه‌های فشرده‌سازی و تخریب تشکیل شده است. اگر موج شکستگی به اندازه کافی زیاد باشد، می‌تواند فشار منفی قدرتمندی ایجاد کند که بر نیروهای بین مولکولی اتصال مایعات غلبه کند. این عمل در نتیجه‌ی کشیده شدن مولکول‌های آب از یکدیگر و تشکیل میکروحباب‌هایی درون آب است که در شرایط دمایی بالا (۵۰۰ - ۲۰۰۰ درجه‌ی کلون) و فشار زیاد (۵۰۰ اتمسفر) ایجاد می‌شوند (Ning et al., 2005). رادیکال‌ها و مولکول‌های H₂O₂ و OH می‌شوند که به‌عنوان عوامل اکسیدکننده‌ی بسیار قوی شناخته می‌شوند، توسط تجزیه‌ی گازهای مولکول‌های آب (آذکافت یا پیرولیز شدن) در شرایط شدید تشکیل می‌شوند. این حباب‌های کاویتاسیون در ادامه‌ی چرخه‌های فشرده‌سازی و تخریب بیشتر رشد می‌کنند تا زمانی که به اندازه‌ی بحرانی برسند و در نهایت در مرحله‌ی فشرده‌سازی بعدی فرو شکسته و تخریب می‌شوند. انفجار حباب‌های کاویتاسیون همچنین باعث ایجاد میکرو تلاطم‌ها، سرعت بالای ذرات و آشتگی ذرات ریز متخلخل می‌شود (Shirsath et al., 2012). می‌توان گفت این پدیده به‌عنوان یک میکروراکتور نقطه‌ی داغ برای ایجاد واکنش شیمیایی عمل می‌کند (Belgiorno et al., 2007). راشوان و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی سینتیک تولید هیدروژن از طریق اعمال انرژی فراصوت در آب پرداختند و افزایش میزان تولید هیدروژن را به میزان افزایش دمای حاصل از اولتراسونیک در میکروحباب‌ها نسبت دادند (Rashwan et al., 2019).

لین و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی حذف نیتروژن آمونیاک در غلظت‌های بالای فاضلاب توسط اشعه‌ی مایکروویو (MW) پرداختند. نتایج نشان داد که حذف آمونیاک در این روش می‌تواند نزدیک به ۸۰ درصد برای تصفیه‌ی فاضلاب کارخانه‌های زغال‌سنگ، با غلظت نیتروژن آمونیاک از ۲۴۰۰ تا ۱۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برسد و هزینه‌های اجرایی این روش نیز کمتر از روش مرسوم تخلیه‌ی بخار است و این سیستم، پتانسیل خوبی به‌عنوان یک روش موثر برای حذف نیتروژن آمونیاک در تصفیه‌ی فاضلاب کارخانه‌های کک دارد (Lin et al., 2009). الماسی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی حذف

نیتروژن‌ها هم باعث تومورهای کبد، کلیه و ریه و مئانه می‌شوند (جاهدخانیک و همکاران، ۱۳۸۸). از دیگر اختلالات بهداشتی می‌توان به افزایش مرگ و میر نوزادان، نواقص سیتوژنیک و تولد نوزاد نارس اشاره نمود (Chatterjee et al., 2009). از سویی دیگر افزایش میزان نیترات در منابع آب سطحی، سبب پدیده‌ی غنی‌سازی آب شده که به دنبال آن افزایش رشد گیاهان آبی و پلانکتون‌ها که یک اختلال نامطلوب در تعادل ارگانیزم‌ها و کیفیت آب محسوب شده را در پی دارند که این پدیده سبب رشد جلبک‌ها شده که جلبک‌های سبز -آبی از مهم‌ترین جلبک‌های توسعه‌یافته محسوب می‌شوند. همچنین آگ‌های سبز رشته‌ای نظیر کلادوفورا، زیگنما و اسپروژیرا به‌صورت شناور روی سطح آب قرار می‌گیرند (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶). این خطرات به همراه خطر بحران آب و محدودیت منابع آبی در کشور، یافتن روش‌های مقبول زیست‌محیطی برای حذف این آلاینده‌ها از منابع آبی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۷). استاندارد حداکثر مجاز نیترات در آب آشامیدنی ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب نیترات و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب نیتروژن می‌باشد (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۰). براساس استانداردهای سازمان حفاظت از محیط زیست، سازمان بهداشت جهانی، اتحادیه‌ی اروپا و نشریه‌ی استاندارد شماره‌ی ۴۶۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و نشریه‌ی استاندارد ملی شماره‌ی ۱۰۵۳ حداکثر غلظت مجاز نیترات در آب شرب ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (اکبرزاده و همکاران، ۱۳۹۵). تاکنون روش‌های گوناگونی برای کاهش و حذف یون نیترات از منابع آب آشامیدنی مورد استفاده قرار گرفته‌است که متداول‌ترین و جدیدترین این روش‌ها عبارتند از: روش اسمز معکوس، روش دینتریفیکاسیون بیولوژیکی، دینتریفیکاسیون شیمیایی، روش الکترودیالیز و روش تبادل یونی (Samatya et al., 2006) رسوب الکتروشیمیایی، فرایندهای غشایی، استخراج با حلال، دینتریفیکاسیون کاتالیتیک، منیزیم صفر ظرفیتی و آهن صفر ظرفیتی (عبدی و همکاران، ۱۳۹۷). روند انتخاب نوع فرایند تصفیه، ابعاد تصفیه‌خانه‌ها و شاخص‌های عملیاتی اغلب بر مبنای انجام مجموعه‌ای از آزمایش‌های اولیه و سپس استفاده از نتایج این آزمایش‌ها در روند طراحی صورت می‌گیرد (میریان و ابراهیمی، ۱۴۰۲). یکی از روش‌هایی که به تازگی در حذف آلاینده‌ها از محلول‌های آبی به کار گرفته شده است، استفاده از امواج فراصوت می‌باشد.

فناوری اولتراسونیک یکی از جدیدترین فناوری‌های موجود در صنعت آب‌شیرین‌کن است که با افزایش جرم و انتقال حرارت که باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود، فرایند تبخیر و تقطیر را بهبود می‌بخشد. این فناوری به دلیل عدم استفاده از مواد شیمیایی می‌تواند به حفظ سلامتی و ایمنی افراد کمک کند (Hosseingholilu et al., 2019). در مکانیسم اصلی امواج فراصوت هر یک از حباب‌های تولیدشده به‌عنوان یک میکروراکتور عمل می‌کنند که شامل ۳ ناحیه

بالای پساب‌های کشاورزی و اثرات وسیع این آلودگی‌ها در منابع آبی، پژوهش حاضر در صدد بررسی اثرات استفاده از فناوری اولتراسونیک برای حذف آلاینده‌ی نیترات از محلول آبی، استفاده از آهن و روی به عنوان پوشش‌های زغال فعال برای بهبود عملکرد آن در تصفیه‌ی پساب کشاورزی و بهبود عملکرد زغال فعال بدون پوشش در تصفیه‌ی پساب کشاورزی می‌باشد. همچنین با توجه به منفی بودن بار الکتریکی در زغال فعال، جذب مواد آنیونی نظیر نیترات توسط زغال فعال چندان مورد توجه نمی‌باشد و استفاده از پل‌های کاتیونی برای افزایش میزان جذب آنیون‌ها در این نوع جاذب مورد توجه است. اولتراسونیک می‌تواند با تولید هیدروژن که از محصولات این فرایند می‌باشد (Rashwan et al., 2019) در حذف نیترات از طریق احیای آن، تسریع در فرایندهای شیمیایی از طریق تولید رادیکال‌های آزاد و کمک به جذب بیشتر نیترات توسط جاذب‌ها با ایجاد لرزش‌های فراوان و برقراری سطح تماس بیشتر و بهتر موثر واقع شود.

مواد و روش‌ها

محل انجام آزمایش

با هدف بررسی تأثیر اولتراسونیک بر کاربرد بیوچار، بیوچار با پوشش‌های آهن (III) و روی (II) بر کاهش نیترات از محلول‌های آبی، آزمایشات متعددی در آزمایشگاه‌های کیفیت آب، علوم خاک، پژوهشکده‌ی برنج و مرکبات، شیمی علوم پایه، قارچ‌شناسی و ... دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۴۰۱ انجام شد.

آماده‌سازی محلول‌ها و بیوچارها و دستگاه مورد استفاده

تمامی محلول‌ها با استفاده از آب مقطر تهیه شد و برای ایجاد محلول نیترات از نمک نیترات پتاسیم (با جرم مولی ۱۰۱/۱۰۳۲ گرم بر مول) استفاده شد. برای تنظیم pH محلول نیترات از هیدروکسید سدیم و اسید هیدروکلریک ۰/۱ نرمال استفاده شد. با هدف تولید بیوچار از مواد ارزان قیمت کاه برنج استفاده شد. کاه خرد شده درون کوره‌ی برقی قرار داده شد و به مدت یک ساعت حرارت داده شد تا به دمای ۶۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برسد. سپس به مدت دو ساعت در آن دما نگهداری شد. سپس بیوچار به دست آمده سه بار با آب مقطر به نسبت ۱:۲۰ شسته شد و در آون با دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. به منظور ایجاد پل‌های کاتیونی در ساختمان بیوچار، محلول‌هایی با حل کردن روی کلرید ($ZnCl_2$) و آهن (III) کلرید ($FeCl_3$) در آب مقطر تهیه شد (ضامنی و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به نتایج پیش‌آزمایش‌های تعیین غلظت مناسب محلول برای پوشش‌های بیوچار در حذف نیترات (آزمایشات با غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ppm برای آهن (III) و غلظت‌های

فنل از محلول‌های آبی توسط عوامل اکساینده‌ی پراکسید هیدروژن، پرسولفات و پریدات فعال‌سازی شده با امواج فراصوت پرداختند. نتایج نشان داد که فرایند توام با اولتراسونیک و پرسولفات در شرایط بهینه‌ی بهره‌برداری نسبت به دو فرایند دیگر دارای بیشترین راندمان بوده و پرسولفات می‌تواند به‌عنوان اکسیدکننده‌ای مناسب به همراه اولتراسونیک در حذف فنل در محیط‌های آبی مختلف مورد استفاده قرار بگیرد. ژیهوی و همکاران در پژوهشی در رابطه با تجزیه‌ی چهار کلروفنل با امواج ماکروویو بیان داشتند که فرایند ترکیبی ماکروویو/پراکسید هیدروژن دارای راندمان بالاتری نسبت به فرایندهای مجزای هر کدام از این فرایندها می‌باشد (Zhihui et al., 2005). وانگ و همکاران از فرایند $US/S_2O_8^{2-}/Fe^0$ برای تجزیه‌ی رنگ Acid Orang 7 استفاده نمودند که pH بهینه در تحقیقات آن‌ها ۵/۸ به دست آمد (Wang et al., 2014). وانگ و همکاران در استفاده از فعال‌سازی نوری پریدات در تجزیه‌ی TOC عوامل شیمیایی ناشی از جنگ، بیان داشتند که پریدات از طریق زنجیره‌ای از واکنش‌های تولیدی می‌تواند سولفات، دی اکسید کربن و فرمالدئید را تجزیه نماید (Tang et al., 2008). هو و همکاران با طراحی فرایند ترکیبی تقطیر غشای تماس مستقیم با اولتراسونیک (USDCMD) به بررسی اثرات دما، غلظت و دبی ورودی، قدرت و فرکانس اولتراسونیک بر انتقال جرم پرداختند. نتایج نشان داد که تابش اولتراسونیک می‌تواند به طور موثر انتقال جرم را افزایش دهد (Hu et al., 2015). هو و همکاران به بررسی کنترل تابش اولتراسونیک بر رسوب سیلیس طی فرایند تقطیر غشاها پرداختند. نتایج نشان داد که امواج فراصوت، اثرات مکانیکی و حرارتی قابل توجهی به همراه داشته و باعث ایجاد موج ضربه‌ای قوی و microstreaming با سرعت بالا می‌شود و موج شوک و جریان گردابی صوتی به‌طور مداوم سطح لایه‌ی مایع - غشا را تحریک می‌کند (Hou et al., 2016). محمد اریث و همکاران تأثیر تابش امواج فراصوت بر حذف آمونیاک نیتروژن را با توجه به پارامترهایی نظیر غلظت اولیه، pH و زمان تابش امواج، مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. آن‌ها مشخص کردند که راندمان حذف آمونیاک ازت در غلظت کمتر با محیط پایه‌ی آب و زمان تابش طولانی مدت بهبود می‌یابد (Mohamad Aris et al., 2018).

زمان تابش به عنوان عامل مهمی برای پدیده‌ی کاویتاسیون در نظر گرفته می‌شود زیرا دوره‌ی طولانی‌تر باعث افزایش تعداد حباب‌های کاویتاسیون برای تخریب آلاینده‌ها می‌شود (Ozturk and Bal, 2015). با این وجود، استفاده‌ی هم‌زمان از امواج اولتراسونیک و جاذب زغال فعال (BU) و آهن (III) (BFU) و روی (II) (BZU) به عنوان پل‌های کاتیونی این جاذب با هدف کاهش میزان آلاینده‌های نیترات در پساب‌های کشاورزی، تاکنون در پژوهش‌های پیشین مورد توجه و بررسی قرار نگرفته است. با توجه به حجم بسیار

آزمایش‌هایی در pH های ۲، ۴، ۶، ۷، ۸ و ۱۰ در زمان‌های بهینه‌ی به دست آمده از مرحله‌ی قبل انجام شد. سپس با توجه به نتایج آزمایشات دو مرحله‌ی پیشین، آزمایش‌های تعیین دوز جاذب بهینه، با مقادیر جاذب ۱/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۸ و ۱ گرم انجام شده و با به‌کارگیری نتایج آن، آزمایش‌های تعیین غلظت بهینه‌ی نیترات در غلظت‌های ۲۰، ۴۵، ۸۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ppm انجام شد. همچنین نتایج آزمایش با استفاده از مدل‌های ایزوترمی لانگمویر و فروندلیچ برآزش داده شدند. فرم خطی ایزوترم‌های لانگمویر (مربخی و حیدری، ۱۳۹۸) و فروندلیچ در معادله‌های (۱) و (۲) بیان شده است که در آن q_e میزان نیترات جذب شده در واحد جرم جاذب (mg/g)، q_m ماکزیمم ظرفیت جذب، C_e غلظت نیترات باقی‌مانده در محلول بعد از رسیدن به حالت تعادل (غلظت تعادلی) (mg/L)، k_1 ثابت جذب تعادلی ایزوترم لانگمویر (لیتر بر میلی‌گرم) می‌باشد (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ خوش روش و همکاران، ۱۳۹۵). برای تعیین میزان نیترات در تمامی آزمایشات از روش کاتالود و همکاران (۱۹۷۵) استفاده شد.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{k_1 q_m} \left(\frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{q_m} \quad (1)$$

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n_f} (\log C_e) \quad (2)$$

نتایج و بحث

اثر دستگاه‌های اولتراسونیک

با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده مشخص شد که دستگاه FS-450 به دلیل داشتن پروب (قسمت گسیلنده‌ی امواج فراصوت در دستگاه اولتراسونیک) بزرگتر، شدت موج بیشتری در محلول‌های آبی نسبت به دو دستگاه اولتراسونیک دیگری که در آزمایشات مورد استفاده قرار گرفتند، ایجاد کرده و در نتیجه از قدرت تخریبی بالاتری برخوردار می‌باشد.

تأثیر زمان اولتراسونیک

نتایج آزمایشات اولیه نشان داد که کاربردهای اولتراسونیک به مدت زمان پنج دقیقه در مقایسه با کاربردهای سه دقیقه‌ای عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند که علت این امر می‌تواند با افزایش مدت زمان تماس جاذب با محلول و افزایش برهمکنش‌های شیمیایی حاصل از امواج فراصوت در محلول نیترات، مرتبط باشد که با نتایج از ترک و بال و الماسی و همکاران (۱۳۹۵) همخوانی دارد (Ozturk and Bal, 2015). در نتیجه، مدت زمان استفاده از اولتراسونیک در سایر آزمایش‌های مرتبط پنج دقیقه انتخاب شد. نتایج پارامترهای بهینه برای هر تیمار در جدول (۱) نشان داده شده است.

۱۰۰۰۰، ۳۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰ ppm (برای روی)، غلظت ۱۰۰۰۰ ppm برای Fe^{3+} و غلظت ۴۰۰۰۰ ppm برای Zn^{2+} استفاده شد. پس از آماده شدن محلول‌ها، بیوپارها به نسبت یک گرم جاذب به ۵۰ میلی‌لیتر محلول در محلول‌ها مخلوط شد. سپس مخلوط به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر تکان داده شده و سپس جاذب‌های پوشش داده شده سه بار با آب مقطر به نسبت ۱:۲۰ شسته و درون آون با دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برای ۲۴ ساعت خشک شدند. در این پژوهش از سه مدل دستگاه اولتراسونیک با مشخصات FS-450 با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و توان ۴۵۰ وات، UD-211 با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و توان ۱۰۰ وات و UP200H با فرکانس ۲۴ کیلوهرتز و توان ۲۰۰ وات برای تولید امواج فراصوت استفاده شد. در طول آزمایشات شامل فراصوت، نمونه‌های مخلوط شده با جاذب به مدت ۵ دقیقه در معرض امواج اولتراسونیک قرار گرفتند.

مراحل انجام آزمایش‌ها

تمامی آزمایشات در دمای اتاق (۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد) و با سه تکرار انجام شد. در تمام آزمایش‌ها از شرایط بهینه به دست آمده از مراحل قبل استفاده شد. در این پژوهش از ۷ تیمار برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد که شامل تیمارهای با جاذب بیوپار B، بیوپار با پوشش آهن (III) BF، بیوپار با پوشش روی (II) BZ، بیوپار به همراه اولتراسونیک BU، بیوپار با پوشش آهن (III) توام با اولتراسونیک BFU، بیوپار با پوشش روی (II) به همراه اولتراسونیک BZU، اولتراسونیک بدون استفاده از جاذب U بودند. با هدف بررسی اثر امواج فراصوت بر حذف نیترات، آزمایش‌هایی در شرایط عدم حضور جاذب و با استفاده از اولتراسونیک (U) انجام شد. بدین صورت که پروب دستگاه اولتراسونیک به مدت ۵ دقیقه درون بشری محتوی ۸۰ میلی‌گرم محلول نیترات با غلظت ۸۰ ppm قرار گرفته و شروع به گسیل امواج فراصوت می‌کرد. در طول این آزمایش‌ها که با حداکثر توان دستگاه و به صورت متناوب در هر آزمایش انجام می‌شد، محلول دچار جوشش شده و دمای آن به سرعت افزایش می‌یافت. پس از اتمام انتشار امواج مافوق صوت در محیط محلول، به میزان نیم میلی‌گرم از محلول برداشته و نیترات موجود در آن قرائت شد.

در تمامی آزمایش‌ها مقادیر بهینه‌ی بدست آمده برای هر تیمار در آزمایش‌های بعدی لحاظ شده و با تثبیت آن شرایط پارامترهای بعدی مورد بررسی قرار گرفتند. برای تعیین زمان تعادل در تیمارهای بدون اولتراسونیک، آزمایش‌هایی با نسبت نیم گرم جاذب و ۴۰ میلی‌گرم محلول نیترات با غلظت ۸۰ ppm در زمان‌های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۰۰ دقیقه انجام شد و برای تعیین اثر زمان اولتراسونیک، آزمایشی در دو زمان ۳ و ۵ دقیقه بر روی محلول نیترات صورت گرفت. برای تعیین pH بهینه‌ی محلول نیترات،

جدول ۱- شرایط بهینه‌ی به دست آمده در آزمایشات برای تیمارهای مختلف

B	BU	BF	BFU	BZ	BZU	پارامتر
۶۰	۵	۶۰	۵	۱۲۰	۵	زمان تعادل (دقیقه)
۲	۲	۴	۷	۲	۱۰	pH بهینه
۲۵	۷/۵	۲۵	۲۵	۲۵	۷/۵	دوز جاذب بهینه (گرم بر لیتر)
۲۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۱۵۰	غلظت اولیه‌ی نیترات بهینه

است) و در جاذب‌های بیوچار و بیوچار با پوشش روی نیز سبب کاهش دوز جاذب بهینه شده است (دوز جاذب بهینه در هر دو جاذب از ۲۵ به ۷/۵ گرم در لیتر کاهش یافته است). همچنین میزان بهینه‌ی غلظت اولیه‌ی نیترات نیز در بیوچار پوشش داده شده با روی از ۸۰ ppm به ۱۵۰ ppm افزایش پیدا کرده است. همچنین نتایج نشان داد که جاذب‌ها قابلیت جذب نیترات بیشتری در pH‌های اسیدی از خود نشان می‌دهند که با نتایج لوگاناتان و همکاران و کاتال و همکاران همخوانی دارد (Katal et al., 2012; Loganathan et al., 2013). در pH بیشتر به دلیل برهمکنش الکترواستاتیک، جذب کمتر یا دفع بیشتر حاصل از افزایش مکان‌هایی با بار منفی در سطح جاذب بوده که با توجه به حضور یون OH در pH بالا این یون با نیترات برای جذب بر روی مکان‌های جذب رقابت می‌کند (ضامنی و همکاران، ۱۳۹۴).

با مقایسه‌ی درصد حذف نیترات در آزمایش‌های تعیین pH بهینه، مشاهده شد که امواج اولتراسونیک تأثیر قابل توجهی بر حذف نیترات داشته و درصد حذف نیترات را برای BU در مقایسه با B و برای BZU در مقایسه با BZ افزایش داده است. نتایج مشابهی در آزمایش‌های تعیین دوز جاذب بهینه یافت شد و نشان داده شد که فراصوت درصد حذف نیترات را در هر سه جاذب افزایش داد. علاوه بر این، در آزمایش‌های با غلظت‌های مختلف نیترات اولیه، فراصوت نیز منجر به افزایش درصد حذف نیترات در BU و BZU نسبت به تیمارهای B و BZ شد. با تجزیه و تحلیل نتایج مشخص شد که فراصوت منجر به افزایش مقادیر ظرفیت جذب در جاذب‌های بیوچار (B) و بیوچار پوشش داده شده با Zn^{2+} (BZU) و کاهش غلظت نهایی نیترات در محلول شد.

با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که اولتراسونیک نظم کلی در روند جذب به وسیله‌ی بیوچارهای مورد استفاده در پژوهش را تحت تأثیر قرار داده و به گونه‌ای این نظم را به هم می‌زند و این احتمال وجود دارد که اگر گسیلش امواج فراصوت با آهنگ خاصی صورت پذیرد نتایج متفاوتی حاصل شود که نیازمند بررسی‌های بیشتری می‌باشد.

بررسی تاثیر امواج اولتراسونیک بر جذب نیترات

بر اساس نتایج مقادیر پارامترهای مدل‌های ایزوترمی جذب فروندلیچ و لانگمویر، بیشترین مقادیر برای ماکزیمم ظرفیت جذب (q_m) بر حسب میلی‌گرم بر گرم در BF و BFU به دست آمد که به ترتیب ۳/۳۴۵ و ۳/۶۶۴ میلی‌گرم بر گرم می‌باشد و نشان می‌دهد که فراصوت باعث افزایش مقدار q_m شده است. بنابراین معادله‌های ایزوترم جذب فروندلیچ و لانگمویر برای تیمار BFU به صورت زیر می‌باشد.

$$\log q_e = 3.17 + 0.34(\log C_e) \quad (3)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{5.14} \left(\frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{3.664} \quad (4)$$

جالب توجه است که زمان تعادل برای BFU (۵ دقیقه) بسیار کمتر از زمان تعادل مورد نظر برای BF (۶۰ دقیقه) بود. مقادیر ضریب تبیین در تیمارهای BFU و BF بیشترین مقدار (۰/۹۸) و در تیمار BZU کمترین مقدار (۰/۸) را داشت.

علاوه بر این، هنگام مقایسه‌ی مقادیر R^2 در مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ، مشاهده می‌شود که استفاده از اولتراسونیک باعث افزایش مقادیر R^2 در مدل لانگمویر و کاهش آن در مدل فروندلیچ می‌شود. این مشاهدات نشان می‌دهد که فراصوت منجر به یکنواختی در سطوح جذب شده و باعث می‌شود که فرایند جذب در مناطق همگن روی سطوح جاذب اتفاق بیفتد و در نتیجه سبب جذب تک‌لایه‌ای بیشتر بر روی سطح جاذب می‌شود. این اثر ممکن است به پودر شدن ذرات جاذب در محلول نیترات به دلیل استفاده از امواج اولتراسونیک نسبت داده شود. آزمایشات نشان دادند که ذرات جاذب در طول آزمایش‌های BFU، BZU و BU به پودری بسیار نرم، ریز و همگن تبدیل می‌شوند، اثری که وقتی محلول‌ها صرفاً در B، BF و BZ تکان داده می‌شدند مشاهده نشد.

درصد نیترات حذف شده در تیمارها و آزمایش‌های مختلف در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین با توجه به مقادیر بهینه‌ی به دست آمده در جدول (۱) مشخص می‌شود که در جاذب‌های بیوچار با پوشش آهن ۳ ظرفیتی و روی، اولتراسونیک سبب افزایش pH بهینه‌ی محلول نیترات شده است (pH بهینه در بیوچار با پوشش آهن ۳ ظرفیتی از ۴ به ۷ و در بیوچار با پوشش روی از ۲ به ۱۰ رسیده

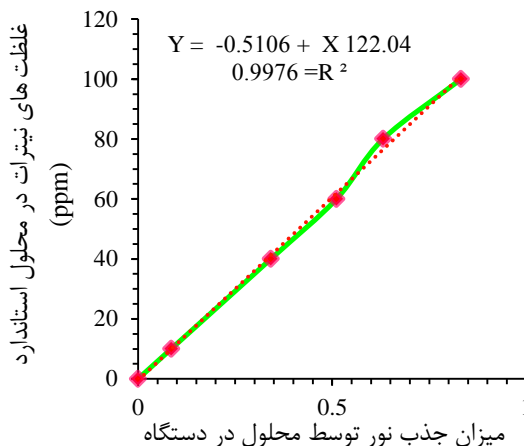
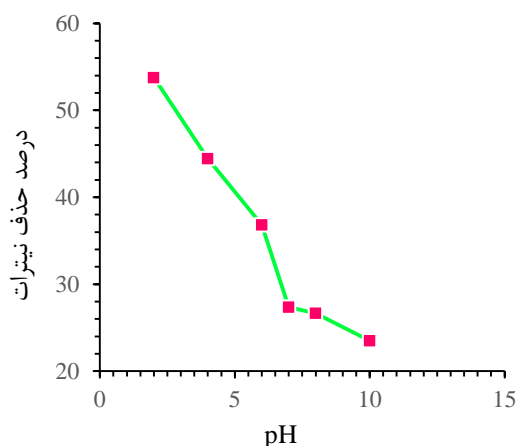
جدول ۲- درصد حذف نیترات در تیمارها و آزمایش‌های مختلف

درصد حذف نیترات						
BU	B	BZU	BZ	BFU	BF	pH
۳۸/۹۱	۱۴/۷۵	۱۳/۹۹	۳۰/۱۹	۷۱/۷۰	۷۴/۳۹	۲
۳۳/۵۸	۴/۸۲	۲۴/۰۶	۲۲/۵۵	۷۶/۹۴	۸۴/۳۷	۴
۱۶/۶۷	۱/۵۰	۲۰/۲۹	۱۵/۰۳	۷۴/۳۰	۷۶/۴۹	۶
۹/۷۹	۱/۴۰	۱۸/۰۱	۱۱/۴۶	۷۷/۹۶	۸۲/۹۷	۷
۹/۱۵	-/۹۶	۲۰/۲۳	۵/۹۱	۷۳/۵۹	۸۰/۱۱	۸
۲۶/۴۳	۷/۶۱	۲۷/۳۴	۱۶/۱۸	۷۲/۴۲	۶۵/۴۹	۱۰
دوز جاذب (gr)						
۲۶/۳۱	۲۴/۷۹	۶/۲۴	۱۴/۵۸	۴۲/۱۲	۲۲/۱۱	۰/۱
۳۸/۸۷	۲۴/۹۶	۵۴/۴۶	۱۹/۲۰	۶۷/۶۵	۶۰/۵۷	۰/۳
۳۲/۱۹	۲۵/۵۳	۵۱/۷۷	۲۳/۰۴	۸۵/۲۶	۸۰/۱۹	۰/۵
۲۰/۴۸	۲۶/۱۶	۳۶/۷۶	۲۷/۷۷	۹۲/۳۴	۹۲/۴۲	۰/۸
۱۹/۹۱	۲۷/۱۸	۵۰/۵۹	۳۲/۹۰	۹۶/۷۲	۹۴/۰۲	۱

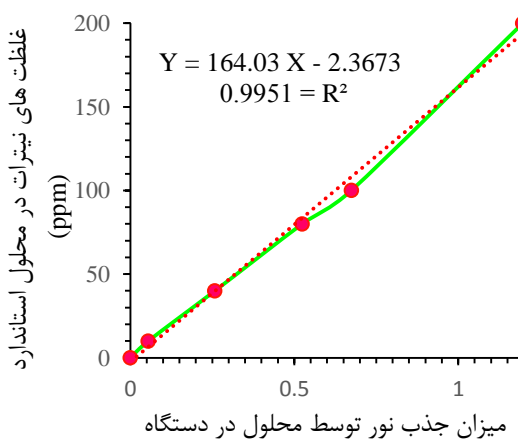
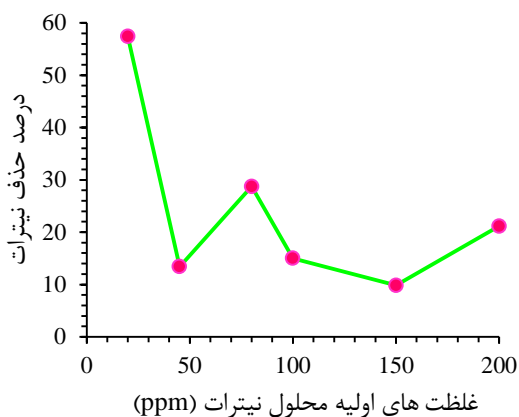
راندمان حذف در pH برابر ۳ اتفاق افتاده است و شدت یونی سبب کاهش راندمان حذف شده است و در شرایط اسیدی رادیکال سوپر اکسید با یون هیدروژن واکنش داده و رادیکال پرهیدروکسیل را تولید می‌نماید که این محصول می‌تواند پراکسید هیدروژنی را تشکیل داده که به OH^- تبدیل شده و در شرایط قلیایی به دلیل تجزیه‌ی سریع رادیکال‌های، سرعت تجزیه‌ی آلاینده نسبت به شرایط خنثی و اسیدی کمتر می‌باشد که با نتایج به دست آمده در این پژوهش و تحقیقات اصغری و همکاران مطابقت دارد (Asgari et al., 2013). ونگ و تادو و رحمانی و همکاران نیز کاهش و تغییرات شدید را سبب حذف درصد بالایی از یک آلاینده دانستند (Weng and Tao, 2015; Rahmani et al., 2015). علت این موضوع می‌تواند با افزایش یون هیدرونیوم در محلول‌های آبی که در pHهای اسیدی بیشتر وجود دارد در ارتباط باشد. با توجه به حذف نیترات در اثر اولتراسونیک می‌توان علت را در این نتایج به فرایند تولید هیدروژن که از محصولات اولتراسونیک در محلول‌های آبی و در فرکانس‌های بیشتر از ۲۰ کیلوهرتز بوده و سبب احیای یون‌های نیترات می‌شود نسبت داد. دلیل دیگر به رادیکال‌های OH^- و H^+ تولید شده در فرایند میکرواستریمینگ و دما و فشار بالای میکروحباب‌ها در فاز میکرو انرژی بسیار بالای اولتراسونیک در شکستن پیوندها مربوط می‌شود.

حذف نیترات با استفاده از امواج فراصوت و بدون استفاده از جاذب

نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش ۲۷ درصدی نیترات از محلول بود. همچنین نتایج نشان داد که استفاده‌ی ترکیبی از اولتراسونیک در فرایند تجزیه و تخریب آلاینده راندمان بیشتری دارد که با نتایج ژیهوی و همکاران، یانگ و همکاران و اصغری و همکاران مطابقت دارد (Yang et al., 2009; Asgari et al., 2013; Zhihui et al., 2005). در ادامه‌ی آزمایش‌ها، pH بهینه تعیین و با استفاده از این pH، آزمایش‌های تعیین غلظت اولیه‌ی بهینه‌ی محلول نیترات در غلظت‌های مورد استفاده در آزمایش‌های همراه با جاذب انجام شد. در شکل‌های (۱) و (۲) نمودارهای آزمایش‌های تعیین pH بهینه و غلظت‌های اولیه‌ی محلول نیترات به همراه منحنی‌های واسنجی استانداردها و معادلات خط تعیین میزان نیترات در آن آزمایش‌ها نشان داده شده است. با توجه به نتایج آزمایش‌ها، pH برابر ۲ به عنوان pH بهینه انتخاب شد. نتایج بیانگر این بود که با اسیدی‌تر شدن محیط محلول، تمایل نیترات به حذف توسط اولتراسونیک بیشتر می‌شود که با نتایج آزمایش‌های همراه با جاذب در این پژوهش و نتایج پژوهش الماسی و همکاران (۱۳۹۵) در آزمایش‌های حذف فنل در حضور اولتراسونیک همخوانی دارد. همچنین آن‌ها بیان داشتند که حداکثر



شکل ۱- منحنی های واسنجی آزمایش های تعیین pH بهینه و درصد حذف نیترات در pH های مختلف



شکل ۲- منحنی های واسنجی آزمایش های تعیین pH بهینه و درصد حذف نیترات در غلظت های اولیه محلول نیترات

نتیجه گیری

فناوری در فرایند حذف نیترات بود. بر اساس نتایج عملکرد تیمارهای BF و BFU مطلوب بوده و راندمان حذف بالای نیترات (بیش از ۹۰ درصد) از محلول های آبی را نشان داد. استفاده از امواج اولتراسونیک به مدت ۵ دقیقه نتایج امیدوارکننده ای را در مقایسه با آزمایشات بدون حضور اولتراسونیک نشان داد. این فرایند سبب افزایش حذف نیترات، ظرفیت جذب بالاتر و افزایش ماکزیم ظرفیت جذب نیترات شد. علاوه بر این، فراصوت به ایجاد یکنواختی در سطوح جذب، در میان سایر اثرات مفید کمک کرد. با توجه به مقادیر بهینه به دست آمده برای تیمارهای مختلف دارای جاذب مشخص شد که در جاذب های بیوچار با پوشش آهن ۳ ظرفیتی و روی، اولتراسونیک سبب افزایش pH بهینه محلول نیترات شده و در جاذب های بیوچار با پوشش روی نیز سبب کاهش دوز جاذب بهینه شده است و میزان بهینه غلظت اولیه نیترات نیز در بیوچار پوشش داده شده با روی افزایش پیدا کرده است. استفاده از امواج اولتراسونیک که فرایندی پاک و سازگار با محیط زیست می باشد، می تواند نقش مهمی در مقابله

استفاده از منابع آبی غیرمتعارف خصوصا پساب های کشاورزی یکی از مهم ترین راه ها برای رفع مشکلات کم آبی و توسعه ای سطح زیرکشت و ایجاد امنیت غذایی پایدار در کشورهای در حال توسعه بوده که این مهم ارتباط تنگاتنگی با گسترش تحقیقات و انجام پژوهش های بسیار در رابطه با کشف پدیده ها و روابط موجود میان آن ها دارد. یکی از چالش های مهم در رابطه با مسائل زیست محیطی و بهداشتی، افزایش میزان نیترات در منابع آبی و پیامدهای آن می باشد. برخی از روش های جدید و دارای قابلیت پژوهشی در رابطه با مسائل کیفی و علوم تصفیه ی آب، روش هایی چون اولتراسونیک، فرابنفش، پلاسما و ... می باشند که نیازمند به انجام آزمایشات و مطالعات بیشتری هستند. روش مورد توجه در این پژوهش با هدف بررسی اثرات آن بر نیترات موجود در محلول آبی، فناوری اولتراسونیک می باشد که نتایج آزمایشات بیانگر وجود تاثیراتی از این

کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

الماسی، ح.، عسکری، ق.، لیلی، م.، شریفی، ز. و صیدمحمدی، ع. ۱۳۹۵. بررسی حذف فنل از محلول‌های آبی توسط عوامل اکساینده پراکسید هیدروژن، پرسولفات و پریدات فعال سازی شده با امواج فراصوت. مجله‌ی دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان. ۱۵ (۹): ۸۴۸-۸۳۵.

مریخی، آ. و حیدری، ا. ۱۳۹۸. تعیین پارامترهای همدمای جذب لانگمویر با استفاده از روش بهینه‌سازی غیرخطی. شیمی و مهندسی شیمی ایران. ۳۸ (۳): ۲۱۸-۲۱۱.

مسلمی کوچصفهانی، م.، نوایان، م.، اسمعیلی ورکی، م. و وظیفه دوست، م. ۱۳۹۱. کاهش نیترات و شوری زه آب کشاورزی با استفاده از زئولیت. پایان‌نامه‌ی تحصیلات تکمیلی آبیاری و زهکشی، دانشکده‌ی علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان. ۸۰ ص.

معصوم بیگی، ح.، غلامی، ف.، یحیی پور، س. ع. و غنی زاده، ق. ۱۴۰۱. ارزیابی فرایند الکتروشیمیایی جریان مستقیم و متناوب با الکترودهای آلومینیوم و روی در حذف نیترات از محلول‌های آبی. مجله‌ی تحقیقات سلامت در جامعه. ۸ (۱): ۳۸-۲۷.

میریان، س. م. و ابراهیمی، ا. ۱۴۰۲. بهینه‌سازی تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب به روش لجن فعال با استفاده از نرم‌افزار X-GPS. تحقیقات نظام سلامت. ۱۹ (۲): ۱۲۵-۱۱۷.

یزدانی شلدرد، م.، غلامی سفیدکوهی، م. ع. و ضیاء تبار احمدی، م. خ. ۱۳۹۶. تصفیه‌ی آب‌های آلوده به نیترات با استفاده از میکرو و نانو ساختارهای جاذب پوشال برنج و گندم. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده‌ی مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

Anastasopoulos, A., Hannah, L. and Hayden, B.E. 2013. High throughput optimisation of PdCu alloy electrocatalysts for the reduction of nitrate ions. *Journal of Catalysis*. 305: 27-35.

Asgari, G., Seid Mohammadi, A., Chavoshani, A. and Rahmani, A.R. 2013. Microwave/ H₂O₂ efficiency in pentachlorophenol removal from aqueous solutions. *Journal of Reserch in Health Science*. 14(1): 36 – 39.

Cataldo, D.A., Maroon, M., Schrader, L.E. and Youngs, V. L. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissues by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Science and Plant Analysis*. 6(1): 71 - 80.

Hosseingholilu, B., Banakar, A. and Mostafaei, M. 2019. Design and evaluation of a novel ultrasonic desalination system by response surface

با آلایندگی‌هایی مانند نیترات و کاهش اثرات مضر آن‌ها داشته باشد. تحقیقات بیشتر در مورد اثرات این امواج بر پدیده‌های محیطی برای بررسی کامل پتانسیل‌ها و ویژگی‌های آن نظیر بررسی برگشت‌پذیری فرایند حذف نیترات و دیگر آلایندگی‌ها در استفاده از اولتراسونیک، استفاده از اولتراسونیک و جاذب‌های مختلف در حذف توامان و مجزای آلایندگی‌های مختلف، چگونگی ایجاد پدیده‌ی رزونانس در امواج فراصوت و استفاده‌ی از آن برای حذف آلایندگی‌ها با هدف ایجاد صرفه‌ی اقتصادی و ... ضروری می‌باشد.

منابع

اکبرزاده، م.، قهرمان، ب. و داوری، ک. ۱۳۹۵. ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی مشهد با استفاده از کریجینگ نشانگر بر مبنای آلودگی نیترات. آبیاری و زهکشی ایران. ۱ (۱۰): ۶۲-۴۸.

جاهدخانکی، غ.ر.، مهدوی، م.، قصری، الف. و سعیدنیا، س. ۱۳۸۸. بررسی غلظت نیترات در برخی از بطری‌های آب آشامیدنی موجود در تهران. بهداشت و محیط. ۱ (۱): ۵۰-۴۵.

خوش روش، م.، دیوبند، ل.، معتمدی، ف. و ریحانی، گ. ۱۳۹۵. تاثیر کادمیم بر جذب کروم شش ظرفیتی (VI) توسط نانورس کلویزیت سدیمی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳ (۳): ۲۵۶-۲۴۱.

رحمانی، الف. ر.، سلیمانی امین‌آباد، م.، اصغری، ق. و برجسته عسکری، ف. ۱۳۹۰. حذف نیترات به وسیله‌ی بستر اصلاح شده‌ی MgCl₂ و منیزیم صفر با از محلول آبی. بهداشت و محیط. ۳ (۴): ۴۷۴-۴۶۱.

رحمانی، ح. و خان محمدی، ز. ۱۴۰۲. بررسی و پهنه‌بندی کیفیت شیمیایی چاه‌های آب شرب و کشاورزی برخی از شهرستان‌های استان اصفهان. تحقیقات نظام سلامت. ۱۹ (۲): ۱۱۰-۱۰۳.

سلیمانی، م.، انصاری، آ.، حاج عباسی، م. ع. و عابدی کویایی، ج. ۱۳۸۷. بررسی حذف نیترات و آمونیم از آب‌های زیرزمینی با استفاده از فیلترهای کانساری. آب و فاضلاب. ۶۷: ۲۶-۱۸.

ضامنی، ل.، صادق‌زاده، ف. و جلیلی، ب. ۱۳۹۴. آبشویی نیترات در خاک اصلاح‌شده با بیوچار و بیوچار دارای پوشش آهن. رساله‌ی کارشناسی ارشد، علوم خاک گرایش شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشکده‌ی علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

عبدی مفتی کلائی، م.، غلامی سفیدکوهی، م. ع.، خوش‌روش، م. و عباس پلنگی، ج. ۱۳۹۷. ارزیابی جذب نیترات از زه‌آب کشاورزی توسط زغال‌زیستی با استفاده از روش بستر ثابت. پایان‌نامه‌ی

- nitrogen removal efficiency from aqueous solutions by ultrasonic irradiation in short sonication periods. *Ultrasonics Sonochemistry*. 26: 422-427.
- Rahmani, A.R. Shabanloo, A. Mehralipour, J., Fazlzadeh, M. and Poureshgh, Y. 2015. Degradation of phenol in aqueous solutions using electro-fenton process. *Research Journal of Environmental Sciences*. 9(7): 332-341.
- Rashwan, S. S., Dincer, I., Mohany, A. and Pollet, B. G. 2019. The Sono-Hydro-Gen process (Ultrasound induced hydrogen production): Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*. 44(29): 14500-14526.
- Samatya, S., Kabay, N., Yuksel, U., Arda, M. and Yuksel, M. 2006. Removal of nitrate from aqueous solution by nitrate selective ion exchange resins. *Reactive and Functional Polymers*. 66: 1206- 1214.
- Tang, X. and Weavers, L. K. 2008. Using Photoactivated Periodate to decompose TOC hydrolysates of chemical warfare agents. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 194(2): 212-219.
- Wang, X., Wang, L., Li, J., Qiu, J., Cai, C. and Zhang, H. 2014. Degradation of Acid Orange 7 by Persulfate activated with Zero Valent iron in the presence of ultrasonic irradiation. *Separation and Purification Technology*, 122(1): 41-46.
- Weng, C. H. and Tao, H. 2015. Highly efficient persulfate oxidation process activated with Fe⁰ aggregate for decolorization of reactive azo dye Remazol Golden Yellow. *Arabian Journal of Chemistry*. 11(8): 1292-1300.
- Yang, Y., Wang, P., Shi, S. and Liu, Y. 2009. Microwave enhanced Fenton-like process for the treatment of high concentration pharmaceutical wastewater. *Journal of Hazardous Materials*. 168(1): 238 – 245.
- Zhihui, A., Peng, Y. and Xiaohua, L. 2005. Degradation of 4-chlorophenol by microwave irradiation enhanced Advanced Oxidation Processes. *Chemosphere*. 60(6): 824- 827.
- methodology. *Desalination and Water Treatment*. 164:263-275.
- Hou, D., Zhang, L., Zhao, Ch., Fan, H., Wang, J. and Huang, H. 2016. Ultrasonic irradiation control of silica fouling during membrane distillation process. *Desalination*. 386: 48-57.
- Hu, Q., Chen, N., Feng, C. and Hu, W. W. 2015. Nitrate adsorption from aqueous solution using granular chitosan-Fe³⁺ complex. *Journal of Applied Surface Science*. 374: 1-9.
- Katal, R., Baei, M. S., Rahmati, H. T. and Esfandian, H. 2012. Kinetic, isotherm and thermodynamic study of nitrate adsorption from aqueous solution using modified rice husk. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 18: 295–302.
- Li, Y., Hsieh, W. P., Mahmudov, R., Wei, X. and Huang, C. P. 2013. Combined Ultrasound and Fenton (US- Fenton) Process for the treatment of ammonium waste water. *Journal of Hazardous Materials*. 244(1): 403- 411.
- Lin, L., Chen, J., Xu, Z. and Yuan, S. 2009. Removal of ammonia nitrogen in wastewater by microwave radiation: A pilot-scale study. *Journal of Hazardous Materials*. 168(2-3): 862-7.
- Loganathan, P., Vigneswaran, S. and Kandasamy, J. 2013. Enhanced removal of nitrate from water using surface modification of adsorbents—a review. *Journal of Environmental Management*. 131: 363-374.
- Mohamad, A., K. H., Ramli, S., Othman, Z. and Jaafar, J. 2018. Evaluation of Ammonia-Nitrogen Removal by Ultrasonic Irradiation in Synthetic Solution Using Response Surface Methodology. *Key Engineering Materials*. 797: 108-117.
- Ning, P., Bart, H-J., Jiang, Y., de Haan, A. B. and Tien, C. 2005. Treatment of organic pollutants in coke plant wastewater by the method of ultrasonic irradiation, catalytic oxidation and activated sludge. *Separation and Purification Technology*. 41(2): 133-139.
- Ozturk, E. and Bal, N. 2015. Evaluation of ammonia-

The Effect of Ultrasonic Waves on Nitrate Removal in Aqueous Solution

M. Alashti¹, M. Khoshravesh^{2*}, F. Sadeghzadeh³, H.M. Azamathulla⁴

Received: Dec.07, 2023

Accepted: Dec.23, 2023

Abstract

Discharge and disposal of wastewater containing high nitrate levels contribute to its increase in groundwater and water resources, posing adverse effects on the environment and human health. An experiment was conducted at laboratory water quality, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, to investigate the impact of ultrasonic waves on nitrate removal and the absorption properties of rice straw biochar absorbents. Various treatments were applied, including ultrasound alone (U), biochar absorbent (B), biochar absorbent with ultrasound (BU), iron-coated biochar absorbent (BF), iron-coated biochar absorbent with ultrasound (BFU), zinc cation-coated biochar absorbent (BZ), and ultrasound with rice straw biochar coated with zinc cations (BZU). Results showed that ultrasonic waves effectively removed nitrates from the aqueous solution and enhanced the nitrate absorption process by the absorbent. In the iron and zinc-coated biochar absorbents, ultrasonication increased the optimal pH of the nitrate solution. The biochar and zinc-coated biochar absorbents exhibited a reduction in the optimal absorbent dose, and the optimal initial nitrate concentration in zinc-coated biochar increased from 80 ppm to 150 ppm. Overall, a 27% reduction in nitrate concentration was observed in the solution. Considering the results, a combined use of ultrasonication is recommended for a more efficient decomposition of pollutants.

Keywords: Biochar, Iron coating, Ultrasound, Water purification, Water sources

1- Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

4- Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, The University of the West Indies, St. Augustine Campus, St Augustine, Trinidad and Tobago

(* - Corresponding Author Email: m.khoshravesh@sanru.ac.ir)