

کارایی فرآیند شبه فنتون هتروژن در حذف یک رنگ آزو از محیط آبی با استفاده از ذرات آهن صفر ظرفیت

رضا زارعی^۱ امید رحمانیان^۱ محسن حیدری^{۲,۳*}

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳. مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی در ارتقاء سلامت، پژوهشکده سلامت هرمزگان، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران.

چکیده

هدف: رنگ‌های آزو به دلیل استفاده فراوان در صنایع مختلف و همچنین به دلیل سمیت، خطر بالقوه‌ای برای محیط زیست محسوب می‌شوند. لذا حذف مؤثر این آلاینده از محیط ضروری به نظر می‌رسد. هدف این مطالعه، بررسی فرآیند فنتون هتروژن با ذرات آهن صفر ظرفیتی در حذف یک رنگ آزو می‌باشد.

روش‌ها: مطالعه تجربی حاضر در سال ۱۳۹۸ در مقیاس آزمایشگاهی و در راکتوری با جریان ناپیوسته انجام شد. در این مطالعه کارایی فرآیند شبه فنتون هتروژن در شرایط بهره‌برداری مختلف (pH، زمان تماس، غلظت پراکسید هیدروژن و غلظت رنگ) بر حذف رنگ آزو ارزیابی شد. غلظت رنگ مورد مطالعه با استفاده از اسپکتروفتومتر سنجش گردید.

نتایج: نتایج این مطالعه نشان داد که فرآیند شبه فنتون هتروژن در حضور ذرات آهن صفر ظرفیتی می‌تواند ۹۷/۳ درصد رنگ آزو با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر را در pH اولیه ۶، غلظت پراکسید هیدروژن ۶ میلی‌مول بر لیتر و دوز ذرات آهن ۰/۵ گرم بر لیتر در طی ۱۰ دقیقه زمان تماس حذف کند.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه مشخص گردید که رنگ آزو را می‌توان به طور مؤثری به روش فنتون هتروژن از محیط آبی حذف کرد. بنابراین، استفاده از ذرات آهن صفر ظرفیتی در فرآیند فنتون جهت حذف مؤثر آلاینده‌های آبی به خصوص رنگ‌ها از محیط آبی توصیه می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: تصفیه آب، رنگ زدایی آب، ترکیبات آزو، ترکیبات آهن.

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۲۲

ارجاع: زارعی، رضا، رحمانیان، امید، حیدری، محسن. کارایی فرآیند شبه فنتون هتروژن در حذف یک رنگ آزو از محیط آبی با استفاده از ذرات آهن صفر ظرفیت. طب پیشگیری. ۱۴۰۰؛ ۱۳(۴): ۵-۱۳.

مقدمه

فرآیند اکسیداسیون پیشرفته یکی از روش‌های شیمیایی موثر در حذف مواد آلی پایدار از محیط‌های آبی می‌باشد و تحقیقات بر روی آن با انواع اکسیدان‌ها برای تصفیه محیط‌های آبی آلوده به انواع آلاینده‌ها روز به روز در حال افزایش است، زیرا این فرآیند دامنه‌ی وسیعی از ترکیبات سخت تخریب‌پذیر را می‌تواند اکسید و تخریب کند (۱). از بین روش‌های مختلف

اکسیداسیون پیشرفته، فرآیند فنتون یکی از مؤثرترین روش‌های اکسیداسیون آلاینده‌های آلی است. در فرآیند فنتون هموزن، Fe^{2+} به عنوان کاتالیست و پراکسید هیدروژن به عنوان اکسیدکننده استفاده می‌شود و رادیکال هیدروکسیل تولید می‌شود که یک اکسیدکننده قوی است (۲). این رادیکال بسیار فعال به مواد آلی حمله و آن‌ها را تخریب می‌کند (۳). اگرچه فرآیند فنتون هموزن به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است، اما این فرآیند

نویسنده مسئول: محسن حیدری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

ORCID : 0000-0001-5-3472

پست الکترونیکی: moheidari@modares.ac.ir

تلفن: +۹۸۹۱۳۲۶۱۵۲۵۵

زیادی از این رنگ‌ها به خصوص در کشورهای در حال توسعه وارد محیط می‌شوند و اثرات بلند مدتی بر محیط آبی می‌گذرانند. مهمترین خصوصیت این رنگ‌ها، پایداری آنها به فرآیندهای طبیعی تجزیه می‌باشد و محققان تحقیقات زیادی برای توسعه روش‌های جدید برای تجزیه این آلاینده‌ها هستند (۱۲). با توجه به اهمیت حذف رنگ‌های آزو از محیط‌های آبی و همچنین پتانسیل بالای روش شبه فنتون هتروژن در تجزیه مواد آلی، هدف این مطالعه نیز امکان‌سنجی حذف یک رنگ آزو (اورانژ II) از محیط آبی با استفاده از فرآیند شبه فنتون هتروژن با استفاده از ذرات آهن صفر ظرفیتی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه تجربی و بنیادی در سال ۱۳۹۸ بر روی کارایی فرآیند شبه فنتون هتروژن در حذف یک رنگ آزو (اورانژ II) از محلول آبی انجام گرفت. مواد شیمیایی مورد استفاده در این مطالعه شامل پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، اسید کلریدریک، سود سوزآور (مرک)، رنگ اورانژ II (سیگما آلدردیج) و ذرات آهن صفر ظرفیتی بودند. محلول استوک اورانژ II (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از حل نمودن مقدار ۱ گرم رنگ در یک لیتر آب مقطر دو بار تقطیر تهیه گردید. سپس غلظت‌های رنگ مورد نیاز از محلول استوک تهیه شدند.

تمام آزمایشات به صورت ناپیوسته در یک ارلن به رنگ تیره با حجم ۲۰۰ میلی لیتر انجام شد. سوسپانسیون واکنش از طریق افزودن مقادیر مشخص ذرات آهن صفر ظرفیتی به ۲۰۰ میلی لیتر محلول رنگی (رنگ اورانژ II) در مقادیر pH مشخص انجام شد. سوسپانسیون آماده شده به مدت ۵ دقیقه در دستگاه اولتراسوند و سپس بر روی شیکر ۲۰۰ دور در دقیقه قرار داده می‌شد. بعد از تکمیل شدن واکنش تعادلی جذب سطحی/واجذب به مدت ۳۰ دقیقه، واکنش شبه فنتون از طریق افزودن غلظت‌های معینی از پراکسید هیدروژن به درون محلول واکنش آغاز می‌شد. مقدار ۳ میلی لیتر از محلول واکنش جهت سنجش مقدار

دارای معیایی از جمله هزینه بهره‌برداری بالا، محدود بودن رنج pH بهینه، تولید لجن آهن زیاد و جداسازی و بازیافت دشوار گونه‌های آهن هموژن است (۴). علاوه بر این، رنج غلظت مورد نیاز آهن دوظرفیتی برای این فرآیند ۵۰-۸۰ ppm است که بالاتر از حدود استاندارد این آلاینده برای تخلیه مستقیم پساب به محیط است (۵،۳). با توجه به این محدودیت‌ها، ارتقاء فرآیند فنتون مورد توجه محققین قرار گرفت و یکی از مؤثرترین روش‌های ارتقاء این فرآیند، واکنش‌های شبه فنتون بر پایه آهن صفر ظرفیتی یا شبه فنتون هتروژن است. در این فرآیند از ذرات آهن صفر ظرفیتی به جای آهن محلول دوظرفیتی استفاده می‌شود (۳،۶). تفاوت اساسی بین فرآیند فنتون هموژن و شبه فنتون هتروژن این است که در فرآیند فنتون هموژن فرآیند کاتالیز در کل فاز مایع رخ می‌دهد، درحالی که در سیستم هتروژن فرآیند کاتالیز در سطح کاتالیست رخ می‌دهد (۵).

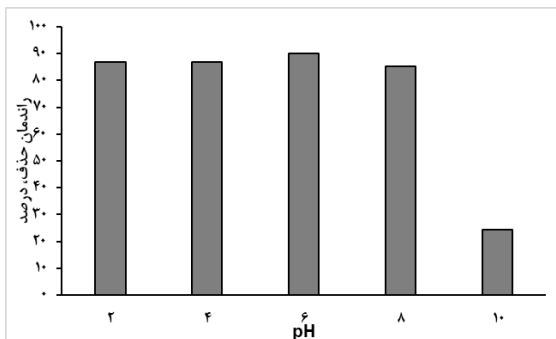
مواد رنگ‌زا به دلیل پایداری بالا و همچنین اثرات سمی بر سلامت و ناسازگار بودن با محیط زیست از جمله آلاینده‌های نگران‌کننده در محیط زیست محسوب می‌شوند و رهاسازی آنها به محیط زیست ممکن است مشکلات زیباشناختی و سلامتی جدی ایجاد کند (۷،۸). حذف رنگ‌ها از فاضلاب معمولاً چالش برانگیز است و سیستم‌های متداول تصفیه فاضلاب کارایی مؤثری در حذف این آلاینده‌ها ندارند (۹). برای حذف مواد رنگی از محیط‌های آبی آلوده روش‌های متعدد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و هر کدام مزایا و معایب مختلفی دارند. به طور کلی سیستم‌های انعقاد و لخته‌سازی به دلیل حلالیت بالای رنگ‌ها و سیستم‌های بیولوژیکی به دلیل تجزیه‌پذیری کند رنگ‌ها کارایی مناسبی ندارند (۱۰،۱۱). بنابراین، به کارگیری فرآیند اکسیداسیون پیشرفته یکی از گزینه‌های مورد توجه برای حذف این آلاینده‌ها است.

رنگ‌های آزو از مهمترین گروه‌های مواد رنگ‌زای مورد استفاده در صنعت محسوب می‌شوند. به طوری که ۷۰ درصد تمام رنگ‌های صنعتی از این گروه می‌باشند. متأسفانه بخش

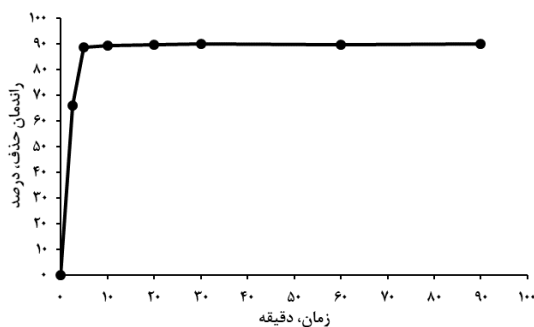
یافته‌ها

نتایج میزان حذف رنگ در مقادیر مختلف pH محلول در غلظت اولیه رنگ برابر با ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، دوز جاذب ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار پراکسید هیدروژن ۳ میلی‌مول بر لیتر و در زمان ۹۰ دقیقه در نمودار ۱ ارائه شده است. بالاترین راندمان در pH برابر ۶ (۸۹/۹ درصد) و کمترین راندمان در pH برابر ۱۰ (۲۴/۵ درصد) حاصل شد. با توجه به نتایج حاصله، آزمایشات بعد در pH اولیه برابر ۶ انجام گرفت.

در نمودار ۲ میزان حذف رنگ در زمان تماس‌های مختلف در pH برابر ۶، غلظت رنگ برابر ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و دوز ذرات ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ارائه شده است. همان طور که در این نمودار مشخص است راندمان حذف در ۲/۵ دقیقه ابتدایی برابر ۶۶/۱ درصد و در طی ۱۰ دقیقه به ۸۷/۶ درصد و در طی ۳۰ دقیقه به ۸۹/۹ درصد رسید. با توجه به نتایج حاصله، آزمایشات بعد در زمان تماس ۱۰ دقیقه انجام گرفت.



نمودار ۱- راندمان حذف رنگ اورانژ II در مقادیر مختلف pH محلول



نمودار ۲- راندمان حذف رنگ اورانژ II در مقادیر مختلف زمان تماس

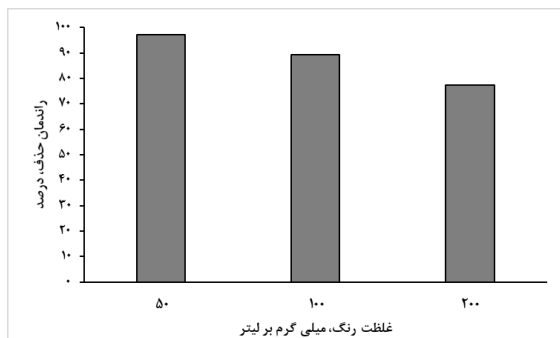
حذف آلاینده در فواصل زمانی مشخص از ظرف واکنش برداشت می‌شد. برای ثابت ماندن نسبت مایع به جامد در تمام طول آزمایش اختلاط نمونه توسط شیکر انجام می‌شد. نمونه‌های برداشت شده از ظرف واکنش بلافاصله از فیلتر ۰/۴۵ میکرون جهت حذف ذرات معلق (ذرات آهن صفر ظرفیتی) عبور داده می‌شد و سپس توسط دستگاه SP-1900 UV-vis در طول موج ۴۸۵ nm سنجش می‌شد. براساس غلظت اولیه و نهایی رنگ در نمونه‌ها، راندمان حذف به صورت زیر محاسبه گردید (۱۳):

$$R = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

در این معادله C_i و C_e به ترتیب غلظت اولیه و نهایی رنگ بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند.

کارایی سیستم در شرایط مختلف بهره‌برداری از طریق تغییر فاکتورهای pH (۲ تا ۱۰)، غلظت پراکسید هیدروژن (۰/۶ تا ۱۲ میلی‌مول بر لیتر)، دوز ذرات آهن صفر ظرفیتی (۰/۱ تا ۱ میلی‌گرم در لیتر) و غلظت آلاینده (۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) مورد بررسی قرار گرفت. به منظور کنترل کامل فاکتورهای مؤثر بر کارایی فرآیند، طراحی آزمایشات بر اساس یک متغیر در هر لحظه یا تغییر یک متغیر در شرایط ثابت دیگر متغیرها صورت گرفت. با بررسی مطالعات در این زمینه و همچنین نتایجی که در هر مرحله از آزمایشات حاصل می‌شد، تعداد سطوح هر متغیر و مقدار هر سطح تعیین شد. بر این اساس، ۵ سطح برای متغیر pH، ۷ سطح برای متغیر زمان تماس، ۴ سطح برای متغیر غلظت پراکسید هیدروژن، ۴ سطح برای متغیر دوز ذرات آهن و ۳ سطح برای متغیر غلظت رنگ در نظر گرفته شد و تعداد نمونه‌ها با توجه به ۲ بار تکرار هر آزمایش برابر ۴۶ عدد نمونه و با ۳ بار تکرار سنجش هر نمونه تعداد آزمایشات برابر ۱۳۸ عدد بود. لازم به ذکر است که نتایج این مطالعه در نرم افزار Excel تحلیل شدند و مقادیر میانگین داده‌های حاصل از تکرار آزمایشات و تکرار سنجش‌های هر آزمایش به صورت نمودار ارائه می‌گردد.

در نمودار ۵ راندمان حذف اورانژ II در غلظت‌های مختلف این آلایند در pH برابر ۶، دوز نرات آهن برابر ۰/۵ گرم در لیتر، غلظت ۶ میلی‌مول بر لیتر پراکسید هیدروژن و زمان تماس ۱۰ دقیقه نشان می‌دهد. در بین ۳ غلظت مورد مطالعه، راندمان بالاتر برابر ۹۷/۳ درصد در پایین‌ترین غلظت (۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) حاصل شد و پایین‌ترین راندمان در بالاترین غلظت به دست آمد.

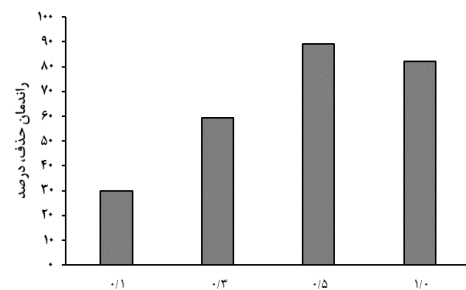


نمودار ۵- راندمان حذف رنگ اورانژ II در مقادیر مختلف غلظت رنگ

بحث و نتیجه‌گیری

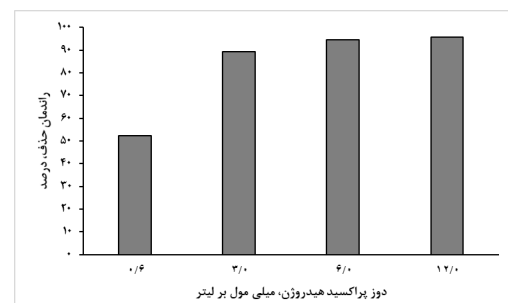
این مطالعه با هدف امکان‌سنجی حذف رنگ آرزو اورانژ II از محیط آبی با استفاده از فرآیند شبه فنتون هتروژن با استفاده از نرات آهن صفر ظرفیتی انجام گرفت. با توجه به این که فرآیند فنتون یک فرآیند اکسیداسیون مواد آلی می‌باشد، لذا ماده اکسیدکننده در این فرآیند از واکنش آهن با پراکسید هیدروژن تولید می‌شود. فرآیند شبه فنتون در حضور نرات آهن مبتنی بر واکنش نرات آهن با پراکسید هیدروژن و در نهایت تولید رادیکال هیدروکسید می‌باشد (۱۴). این واکنش‌ها بیانگر آن هستند که مقدار pH محیط به خاطر نقشی که در کنترل فعالیت کاتالیزیت، پایداری پراکسید هیدروژن و تشکیل گونه‌های آهن دارد، عامل مهمی در فرآیند شبه فنتون محسوب می‌شود. در این مطالعه مشخص گردید که حذف رنگ در فرآیند شبه فنتون در اسیدی تا خنثی تغییر قابل توجهی نکرد و کاهش جزئی در راندمان حذف در شرایط بسیار اسیدی ممکن است به دلیل مصرف شدن OH^{\ominus} توسط یون هیدروژن مازاد و تشکیل کمپلکس

در نمودار ۳ راندمان حذف اورانژ II در دوزهای مختلف نرات آهن در pH برابر ۶، غلظت ۳ میلی‌مول بر لیتر پراکسید هیدروژن و زمان تماس ۱۰ دقیقه نشان می‌دهد. کمترین راندمان حذف در دوز ۰/۱ گرم بر لیتر (نسبت ۰/۱ تا ۱ گرم آهن بر ۳ میلی‌مول پراکسید هیدروژن) حاصل شد (۲۹/۹ درصد) و با افزایش دوز نرات آهن تا ۰/۵ گرم بر لیتر راندمان به حداکثر رسید (۸۹/۲ درصد) و سپس در دوز ۱ گرم بر لیتر راندمان به ۸۲/۰ درصد کاهش یافت. بنابراین آزمایشات بعدی در دوز ۰/۵ گرم بر لیتر انجام گرفت.



نمودار ۳- راندمان حذف رنگ اورانژ II در مقادیر مختلف دوز نرات آن صفر ظرفیتی

تأثیر غلظت پراکسید هیدروژن در حذف رنگ اورانژ II در مقادیر مختلف پراکسید هیدروژن، دوز نرات آهن برابر ۰/۵ گرم در لیتر، pH برابر ۶ و زمان تماس ۱۰ دقیقه انجام شد و نتایج آن در نمودار ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در نمودار نیز مشخص است، در غلظت برابر ۰/۶ میلی‌مول بر لیتر راندمان حذف برابر ۵۲/۲ درصد بود، اما در مقادیر بالاتر راندمان افزایش یافت و در مقدار ۶ میلی‌مول بر لیتر به ۹۴/۶ درصد رسید.



نمودار ۴- راندمان حذف رنگ اورانژ II در مقادیر مختلف غلظت پراکسید هیدروژن

دوز نانوذرات آهن منجر به افزایش تعداد سایت‌های فعال ذرات آهن و راندمان بالاتر حذف آلاینده می‌شود (۲۱،۲۲). با این حال، در صورتی که دوز ذرات بیش از حد افزایش یابد، راندمان حذف نه تنها افزایش نمی‌یابد بلکه اندکی نیز کاهش می‌یابد. این پدیده احتمالاً به دلیل انباشتگی یا به عبارت دیگر، تراکم نانوذرات آهن باشد که منجر به تخریب شدن رادیکال‌های هیدروکسیل در حضور آهن حل شده در محلول (Fe^{2+}) بوده است (۲۳).

در این مطالعه مشخص گردید که راندمان حذف رنگ در فرآیند فنتون در غلظت‌های کم پراکسید هیدروژن کمتر از غلظت‌های بالاتر بود که این به دلیل ناکافی بودن OH^{\bullet} در محلول واکنش می‌باشد. با افزایش مقدار پراکسید هیدروژن به محلول واکنش کارایی فرآیند در حذف رنگ نیز به دلیل زیاده‌تر شدن مقدار OH^{\bullet} افزایش یافت به گونه‌ای که راندمان حذف تا غلظت ۶ میلی‌مول بر لیتر پراکسید هیدروژن افزایش یافت. با این حال، در غلظت بالاتر راندمان حذف افزایش قابل توجهی نکرد که احتمالاً به دلیل خاصیت مخرب بودن رادیکال هیدروکسیل و مهار خوردگی آهن توسط پراکسید هیدروژن در غلظت‌های بالاتر پراکسید هیدروژن است (۲۳). به طور مشابه، Truskewycz و همکاران نیز در طی بررسی حذف رنگ مالاشیت گرین توسط فرآیند فنتون هتروژن دریافتند که بهترین دوز پراکسید هیدروژن برای حذف ۸۵ درصد این رنگ در طی ۹۰ دقیقه برابر ۸ میلی‌مول بر لیتر بود (۲۴). لازم به ذکر است که در فرآیند شبه فنتون علاوه بر رادیکال هیدروکسیل، رادیکال‌های دیگر نظیر (HO_2^{\bullet} و $O_2^{\bullet-}$) تولید می‌شوند، اما آنها واکنش‌پذیری بسیار پایین‌تری دارند. به گونه‌ای که می‌توان آن‌ها را نادیده گرفت (۲۳،۲۵). علاوه بر این، در این مطالعه مشخص گردید که مطابق مطالعات دیگر در زمینه حذف رنگ‌ها به روش شبه فنتون، با افزایش غلظت رنگ راندمان حذف آلاینده نیز کاهش یافت (۶،۲۰). این وضعیت احتمالاً به این دلیل است که مولکول‌های بیشتر آلاینده سطح ذرات آهن را اشغال می‌کنند و تعداد بیشتری سایت‌های فعال آهن غیرقابل دسترس برای پراکسید هیدروژن

$[Fe(H_2O)_6]^{2+}$ باشد (۱۵). لازم به ذکر است که pH نهایی در شرایط اسیدی و خنثی در محدوده اسیدی باقی ماند و لذا می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند فنتون عمدتاً در شرایط اسیدی رخ داده است. با این حال، در شرایط بازی راندمان کاهش یافت که می‌تواند به دلیل افزایش قابل توجه pH نهایی (حین رخ دادن واکنش) و ترسیب Fe^{3+} به وسیله یون هیدروکسیل (OH^-) در دسترس باشد. هیدروکسید فریک تشکیل شده می‌تواند سبب تجزیه پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن شود و در نتیجه نرخ اکسیداسیون کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، در pH قلیایی تشکیل هیدروکسید فریک که سبب کاهش رادیکال OH^{\bullet} و ناپایدار شدن پراکسید هیدروژن می‌شود سبب کاهش سرعت واکنش می‌گردد (۱۶،۱۷). با توجه به این که راندمان حذف در مقادیر pH اولیه ۲ تا ۶ تغییر قابل توجهی نکرد، به دلیل نزدیک بودن pH برابر ۶ به شرایط اولیه محلول آبی و رسیدن pH نهایی به محدوده اسیدی، این pH برای آزمایشات بعدی انتخاب شد. در آزمایشات تعیین کارایی سیستم در زمان تماس‌های مختلف مشخص گردید که در زمان تماس‌های کوتاه (کمتر از ۱۰ دقیقه) راندمان حذف رنگ با افزایش زمان به شدت افزایش می‌یابد. لذا زمان ۱۰ دقیقه برای دیگر آزمایشات انتخاب شد. لازم به ذکر است مطالعات مختلف عمدتاً زمان تماس‌های طولانی‌تر جهت حصول این سطح از راندمان حذف برای دیگر مواد رنگزا گزارش کرده‌اند (۱۸،۱۹).

در مطالعه Shahwan و همکاران بر روی حذف متیل اورنژ با استفاده از روش فنتون مبتنی بر نانوذرات آهن سنتز شده به روش سبزی، در دوز ذرات آهن برابر ۰/۵ گرم بر لیتر و دوز پراکسید هیدروژن ۰/۱ میلی‌مول بر لیتر راندمان حذف در طی زمان تماس‌های ۶۰ و ۳۰۰ دقیقه به ترتیب برابر ۶۰ درصد و ۱۰۰ درصد حاصل شد (۲۰).

در تأثیر دوز ذرات آهن صفر ظرفیتی مشخص گردید که در دوزهای پایین با افزایش دوز راندمان افزایش یافت و بالاترین راندمان در دوز ۰/۵ گرم بر لیتر حاصل شد. در واقع افزایش

می‌شود که در نتیجه مقدار کمتری رادیکال هیدروکسی در سطح شکل می‌گیرد (۲۶).

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

سهم نویسندگان

رضا زارعی (نویسنده اول) انجام آزمایشات، تحلیل اولیه داده‌ها، نگارش نسخه اولیه مقاله ۴۰ درصد؛ امید رحمانیان (نویسنده دوم) مشاور ۲۰ درصد؛ محسن حیدری (نویسنده سوم و مسئول) طراحی مطالعه، تأمین تجهیزات و راه‌اندازی آن‌ها، تفسیر و تحلیل داده‌ها، نگارش نهایی مقاله ۴۰ درصد.

حمایت مالی

این تحقیق با حمایت دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان انجام پذیرفته است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان به سبب حمایت مالی آن تشکر و قدردانی می‌نمایند. همچنین نویسنده مسئول این مقاله از حمایت دانشگاه تربیت مدرس در طی آماده‌سازی این مقاله تقدیر به عمل می‌آورد.

تأییدیه اخلاقی

این مقاله دارای تأییدیه اخلاقی به شماره IR.HUMS.REC.1397.219 از دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان (شماره طرح: ۹۶۰۲۸۶) است.

تعارض منافع

References

1. Ma D, Yi H, Lai C, Liu X, Huo X, An Z, et al. Critical review of advanced oxidation processes in organic wastewater treatment. *Chemosphere*. 2021; 275:130104. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.130104
2. Liang D, Li N, An J, Ma J, Wu Y, Liu H. Fenton-based technologies as efficient advanced oxidation processes for microcystin-LR degradation. *Sci Total Environ*. 2021; 753:141809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141809
3. Thomas N, Dionysiou DD, Pillai SC. Heterogeneous fenton catalysts: A review of recent advances. *J Hazard Mater*. 2021; 404:124082. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124082
4. Zhu Y, Zhu R, Xi Y, Zhu J, Zhu G, He H. Strategies for enhancing the heterogeneous Fenton catalytic reactivity: A review. *Appl Catal B-Environ*. 2019; 255:117739. DOI: 10.1016/j.apcatb.2019.05.041
5. Wang N, Zheng T, Zhang G, Wang P. A review on Fenton-like processes for organic wastewater treatment. *J Environ Chem Eng*. 2016; 4(1):762-87. DOI: 10.1016/j.jece.2015.12.016
6. Hou MF, Liao L, Zhang WD, Tang XY, Wan HF, Yin GC. Degradation of rhodamine B by Fe(0)-based Fenton process with H₂O₂. *Chemosphere*. 2011; 83(9):1279-83. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.03.005
7. Khosravi R, Hossini H, Heidari M, Fazlzadeh M, Biglari H, Taghizadeh A, et al. Electrochemical decolorization of reactive dye from synthetic wastewater by Mono-Polar Aluminum electrodes system. *Int J Electrochem Sci*. 2017; 12:4745-55. DOI: 10.20964/2017.06.75

8. Shindhal T, Rakholiya P, Varjani S, Pandey A, Ngo HH, Guo W, et al. A critical review on advances in the practices and perspectives for the treatment of dye industry wastewater. *Bioengineered*. 2021; 12(1):70-87. DOI: 10.1080/21655979.2020.1863034
9. Gulnaz O, Sahmurova A, Kama S. Removal of Reactive Red 198 from aqueous solution by *Potamogeton crispus*. *Chem Eng J*. 2011; 174(2):579-85. DOI: 10.1016/j.cej.2011.09.061
10. Katheresan V, Kansedo J, Lau SY. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. *J Environ Chem Eng*. 2018; 6(4):4676-97. DOI: 10.1016/j.jece.2018.06.060
11. Khosravi A, Karimi M, Ebrahimi H, Fallah N. Sequencing batch reactor/ nanofiltration hybrid method for water recovery from textile wastewater contained phthalocyanine dye and anionic surfactant. *J Environ Chem Eng*. 2020; 8(2):103701. DOI: 10.1016/j.jece.2020.103701
12. El-Rahim WMA, Moawad H, Azeiz AZA, Sadowsky MJ. Biodegradation of azo dyes by bacterial or fungal consortium and identification of the biodegradation products. *Egypt J Aquat Res*. 2021. DOI: 10.1016/j.ejar.2021.06.002
13. Hasanzadeh V, Rahmanian O, Heidari M. Cefixime adsorption onto activated carbon prepared by dry thermochemical activation of date fruit residues. *Microchem J*. 2020; 152:104261. DOI: 10.1016/j.microc.2019.104261
14. Kuang Y, Wang Q, Chen Z, Megharaj M, Naidu R. Heterogeneous Fenton-like oxidation of monochlorobenzene using green synthesis of Iron nanoparticles. *J Colloid Interf Sci*. 2013; 410:67-73. DOI: 10.1016/j.jcis.2013.08.020
15. Babuponnusami A, Muthukumar K. Removal of phenol by heterogenous photo electro Fenton-like process using nano-zero valent iron. *Sep Purif Technol*. 2012; 98:130-5. DOI: 10.1016/j.seppur.2012.04.034
16. Khataee AR, Pakdehi SG. Removal of sodium azide from aqueous solution by Fenton-like process using natural laterite as a heterogeneous catalyst: Kinetic modeling based on nonlinear regression analysis. *J Taiwan Inst Chem Eng*. 2014; 45(5):2664-72. DOI: 10.1016/j.jtice.2014.08.007
17. Ji F, Li C, Zhang J, Deng L. Efficient decolorization of dye pollutants with $\text{LiFe}(\text{WO}_4)_2$ as a reusable heterogeneous Fenton-like catalyst. *Desalination*. 2011; 269(1):284-90. DOI: 10.1016/j.desal.2010.11.015
18. Li D, Yang T, Li Y, Liu Z, Jiao W. Facile and green synthesis of highly dispersed tar-based heterogeneous Fenton catalytic nanoparticles for the degradation of methylene blue. *J Clean Prod*. 2020; 246:119033. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119033
19. Wu Y, Zeng S, Wang F, Megharaj M, Naidu R, Chen Z. Heterogeneous Fenton-like oxidation of malachite green by iron-based nanoparticles synthesized by tea extract as a catalyst. *Sep Purif Technol*. 2015; 154:161-7. DOI: 10.1016/j.seppur.2015.09.022
20. Shahwan T, Abu Sirriah S, Nairat M, Boyacı E, Eroğlu AE, Scott TB, et al. Green synthesis of iron nanoparticles and their application as a Fenton-like catalyst for the degradation of aqueous cationic and anionic dyes. *Chem Eng J*. 2011; 172(1):258-66. DOI: 10.1016/j.cej.2011.05.103
21. Weng X, Huang L, Chen Z, Megharaj M, Naidu R. Synthesis of iron-based nanoparticles by green tea extract and their degradation of malachite. *Ind Crop Prod*. 2013; 51:342-7.
22. Tan KA, Morad N, Teng TT, Norli I, Panneerselvam P. Removal of cationic dye by magnetic nanoparticle (Fe_3O_4) impregnated onto activated maize cob powder and kinetic study of dye waste adsorption. *APCBEE Proc*. 2012; 1:83-9.
23. Xu L, Wang J. A heterogeneous Fenton-like system with nanoparticulate zero-valent iron for removal of 4-chloro-3-methyl phenol. *J Hazard Mater*. 2011; 186(1):256-64. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.10.116
24. Truskewycz A, Shukla R, Ball AS. Iron nanoparticles synthesized using green tea extracts for the fenton-like degradation of concentrated dye mixtures at elevated temperatures. *J Environ Chem Eng*. 2016; 4(4,

- Part A):4409-17. DOI: 10.1016/j.jece.2016.10.008 surface of magnetite: Kinetic experiments and spectroscopic investigations. *Appl Catal B-Environ.* 2009; 89(3):432-40. DOI: 10.1016/j.apcatb.2008.12.024
25. Lai C, Shi X, Li L, Cheng M, Liu X, Liu S, et al. Enhancing iron redox cycling for promoting heterogeneous Fenton performance: A review. *Sci Total Environ.* 2021; 775:145850. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145850
26. Xue X, Hanna K, Abdelmoula M, Deng N. Adsorption and oxidation of PCP on the

Efficiency of heterogeneous Fenton-like process in removing an azo dye from aqueous medium using zero capacity iron particles

Reza Zarei¹ Omid Rahmanian¹ Mohsen Heidari^{2,3*}

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.
2. Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3. Department of Environmental Health Engineering, Health Research Institute, Center for Social Research in Health Promotion, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.

Abstract

Introduction: Azo dyes are considered a potential risk to the environment due to their widespread use in various industries as well as their toxicity. Therefore, effective removal of this pollutant from the environment seems to be necessary. The aim of this study was to investigate the process of heterogeneous Fenton with zero-valent iron particles in the removal of an azo dye.

Methods: The present experimental study was performed in 2019 in a laboratory scale in a batch reactor. In this study, the efficiency of heterogeneous Fenton-like process on azo dye removal was evaluated under different operating conditions (pH, contact time, hydrogen peroxide concentration, and dye concentration). The concentration of the studied dye was measured using a spectrophotometer.

Results: The results of this study showed that the heterogeneous Fenton-like process in the presence of zero-valent iron particles can remove 97.3% of azo dye with the initial concentration of 50 mg/L at an initial pH of 6, hydrogen peroxide concentration of 6 mmol/L, and Fe particles dose of 0.5 g/L within 10 min of contact time.

Conclusion: In this study, it was found that azo dye can be effectively removed from the aqueous solution by heterogeneous Fenton method. Therefore, application of zero-valent iron particles in the Fenton process is recommended for the effective removal of organic pollutants, especially dyes, from the aquatic environment.

KeyWords: Water Treatment, Water Decolorization, Azo Compounds, Iron Compounds.

Original Article

Received: 4 Sep 2021

Accepted: 14 Oct 2021

How to cite this article: Zarei R, Rahmanian O, Heidari M. Efficiency of heterogeneous Fenton-like process in removing an azo dye from aqueous medium using zero capacity iron particles. *Journal of Preventive Medicine*. 2021; 8(4):5-13.

Correspondence: Mohsen Heidari, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Tel: +989132615255

Email: moheidari@modares.ac.ir

ORCID: 0000-0001-5034-3472