

کارایی فرآیند اکسیداسیون فنتون در حذف ریمازول بلاک B (RB-B) از محیط آبی

پگاه بهمنی^۱، افشین ملکی^۲، اسمعیل قهرمانی^۳، شادی کهزادی^{۴*}

۱. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، کارشناس تحقیقات شرکت آب و فاضلاب روستایی کردستان ۲. عضو هیئت علمی و دانشیار گروه بهداشت محیط و مرکز تحقیقات بهداشت محیط و مواد غذایی دانشگاه علوم پزشکی کردستان ۳. عضو هیئت علمی و مرکز تحقیقات بهداشت محیط و مواد غذایی دانشگاه علوم پزشکی کردستان ۴. دانشجوی کارشناسی بهداشت محیط، عضو کمیته تحقیقات بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کردستان

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۸۱۸۴۲۹۰۰ فکس: ۰۸۷۱۶۶۲۵۱۳۱ ایمیل: skohzady@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: سمیت، سرطان‌زایی و جهش‌زایی از جمله مشکلاتی هستند که مواد رنگزای راکتیو در محیط زیست ایجاد می‌کنند. روش‌های متداول تصفیه فیزیکی و شیمیایی مانند انعقاد، فلوکولاسیون، جذب سطحی و... قادر به تخریب این ترکیبات نبوده و منجر به ایجاد آلودگی‌های ثانویه محیطی می‌شوند. فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته از جمله اکسیداسیون فنتون یکی از موثرترین فرآیندها برای حذف آلاینده‌های رنگی از محلول‌های آبی به شمار می‌روند. در این تحقیق توانایی حذف ریمازول بلاک B (RB-B) از محیط آبی توسط فرآیند اکسیداسیون فنتون مورد بررسی قرار گرفت.

روش کار: این مطالعه از نوع تجربی- مداخله‌ای است که در مقیاس آزمایشگاهی انجام گرفت. به منظور تعیین تاثیر اکسیداسیون فنتون در حذف ماده رنگزای ریمازول بلاک B سنجش اپتیمم متغیرهای pH، سولفات آهن، پراکسید هیدروژن و زمان واکنش در راکتورهای بسته با ظرفیت ۱ لیتر انجام شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، اپتیمم مقدار سولفات آهن و پراکسید هیدروژن به ترتیب ۱۰ و ۵۰ بود و در غلظت‌های ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر این مقادیر به ترتیب ۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. تحت شرایط اپتیمم راندمان رنگزدایی در مدت زمان ۱۵ دقیقه و $pH = 3$ برای هر ۳ غلظت ماده رنگزا بالای ۹۵ درصد بود.

نتیجه گیری: طبق نتایج این تحقیق، فرآیند فنتون روش موثری برای تصفیه غلظت‌های مختلف ماده رنگزای ریمازول بلاک B در فاضلاب است. انتخاب غلظت مناسب فنتون به منظور کاهش هزینه‌های تصفیه، مسائل زیست محیطی و کاهش مقدار لجن تولیدی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌های رنگی، ریمازول بلاک B (RB-B)، فرآیند اکسیداسیون فنتون

دریافت: ۹۱/۸/۴

پذیرش: ۹۱/۱۲/۱

مقدمه

صنایع نساجی یکی از بزرگترین مصرف کنندگان آب هستند که مقدار قابل توجهی پساب تولید می‌کنند، این پساب‌ها حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات

آلی رنگزا هستند. حدود ۵۰ درصد رنگ‌های مورد استفاده در صنعت نساجی رنگ‌های آزو می‌باشند که به طور وسیعی در رنگرزی نساجی، چاپ کاغذ و فرآیندهای صنعتی دیگر مانند کارخانجات داروسازی،

دوظرفیتی و پراکسید هیدروژن است که در pH اسیدی بکار گرفته می‌شود. اساس فرآیند فنتون تجزیه پراکسید هیدروژن در محیط اسیدی توسط یون آهن دو ظرفیتی (به عنوان کاتالیست) و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل است (۲،۶،۷).

(معادله ۱) $Fe^{2+} + H_2O_2 \longrightarrow Fe^{3+} + OH^- + OH^\bullet$
 رادیکال هیدروکسیل (OH^\bullet) به ترکیبات آلی (RH) حمله می‌کند و منجر به تجزیه ترکیبات آلی می‌شود.
 (معادله ۲) $OH^\bullet + RH \longrightarrow H_2O + R^\bullet$

این رادیکال‌های آلی در اثر واکنش با O_2 ، رادیکال‌های پرکسیل را ایجاد می‌کنند، حد واسطه‌های رادیکال‌های حاصله یک سری از واکنش‌های تخریبی زنجیری را آغاز می‌نمایند به طوری که در نهایت منجر به تبدیل آلاینده‌های آلی به دی اکسید کربن و سایر مواد بی‌ضرر می‌شوند (۱۵).

(معادله ۳) $R^\bullet + O_2 \longrightarrow RO_2^\bullet \longrightarrow products$
 یکی از مزیت‌های عمده فرآیند فنتون این است که فرآیند مذکور ترکیبی از اکسیداسیون و انعقاد است که منجر به تولید لجن کمتری نسبت به فرآیندهای انعقاد و لخته‌سازی می‌شود (۱۳). پانیزا و همکاران نشان دادند که سیستم فنتون به طور موثری برای اکسیداسیون شیمیایی رنگ‌ها و حذف رنگ از فاضلاب‌های صنعتی استفاده می‌شوند (۱۶،۱۷). علاوه بر مطالعات وسیع درباره کارایی فنتون در تصفیه پساب‌های نساجی، تحقیقات مختلفی در زمینه بررسی کارایی فرآیند فنتون در تصفیه پساب‌های حاوی ترکیبات آلی و سمی انجام گرفته است که می‌توان به بررسی کارایی فنتون در بهبود قابلیت تجزیه پذیری شیرابه زباله و تجزیه تری‌کلوروفنل اشاره کرد (۱۸،۱۹). نتایج حاصل از مطالعات دانشمندان نشان داد در فرآیند اکسیداسیون فنتون تخریب عمیق ترکیبات رنگی به دلیل شکستگی باندهای اشباع نشده در مولکول‌های رنگ صورت می‌گیرد (۱۳).

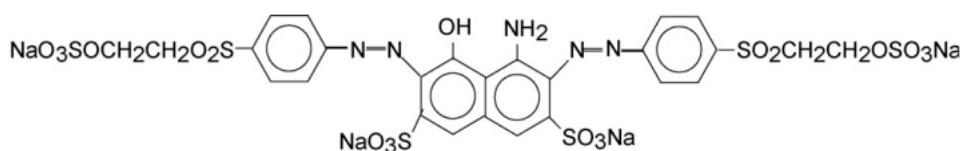
مطالعات مریک و همکاران نشان داد بیش از ۹۹ درصد ماده رنگزای راکتیو بلاک ۵ با غلظت ۲۰۰

اسباب بازی و غذا مورد استفاده قرار می‌گیرند، تخمین زده می‌شود حدود ۱۵ درصد مواد رنگزا در طی فرآیندهای رنگرزی هدر می‌روند (۳-۱). ورود پساب‌های صنعتی حاوی مواد رنگزای آلی به داخل آب منجر به کاهش کیفیت آب، اثرات سمی، سرطانزایی و جهش‌زایی شده و صدمات جبران‌ناپذیری به محیط زیست وارد می‌نمایند، از این رو تصفیه پساب‌های رنگی قبل از تخلیه آنها به محیط زیست ضروری می‌باشد (۷-۳). روش‌های معمول تصفیه فیزیکی و شیمیایی مانند انعقاد، فلوکولاسیون، ته نشینی شیمیایی، جذب سطحی، شناور سازی و فرآیندهای غشایی (اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس) قادر به تخریب این ترکیبات نبوده و فقط می‌توانند این ترکیبات را از یک فاز به فاز دیگر منتقل کنند و منجر به ایجاد آلودگی‌های ثانویه محیطی شوند (۸-۱۲). به دلیل ساختار حلقوی ترکیبات رنگی، قابلیت تجزیه بیولوژیکی پایین و سمیت بعضی مواد رنگزا تصفیه بیولوژیکی هوازی اثر محدودی بر حذف رنگ در این پساب‌ها دارد (۸،۶) و در شرایط بی‌هوازی نیز می‌توانند به واسطه‌های خطرناک مانند آمین‌های آروماتیک احیا شوند (۷،۱۳). نتایج حاصل از تحقیقات نشان داد بیش از ۹۰٪ رنگ‌های راکتیو پس از تصفیه متداول با لجن فعال در پساب باقی می‌مانند (۵). فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOP) متداول مانند فرآیندهای فنتون و شبه فنتون، اکسیداسیون شیمیایی و فتوشیمیایی، ازن‌زنی، التراسوند و... برای تصفیه مواد خطرناک از فاضلاب از سال ۱۹۹۰ بکار گرفته شده‌اند (۷،۱۲). در این میان فنتون (H_2O_2/Fe^{2+}) به دلیل مزیت‌هایی از جمله قدرت بالای اکسیداسیون، اکسیداسیون سریع، ارزان بودن نسبی، کاهش مصرف انرژی به دلیل خاصیت کاتالیزوری آهن و آسان بودن بهره‌برداری و نگهداری یکی از موثرترین فرآیندها برای حذف آلاینده‌های آلی از محلول‌های آبی به شمار می‌رود (۴،۱۲،۱۴). فنتون ترکیبی از نمک‌های آهن

روش کار

مواد

رنگ ریمازول بلاک B (اندکس رنگ ۲۰۵۰۵) از شرکت الوان ثابت، مواد شیمیایی پراکسید هیدروژن (۳۰٪)، سولفات آهن ۷ آبه ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)، اسید سولفوریک (۹۸٪) و هیدروکسید سدیم با درجه خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. شکل ۱ ساختار رنگ مورد استفاده را نشان می‌دهد (۵).



شکل ۱. ساختار رنگ ریمازول بلاک B

انجام گردید؛ بر این اساس، ماده رنگزا در ۳ سطح (۵۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر)، سولفات آهن در ۴ سطح (۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰ میلی گرم در لیتر) و پراکسید هیدروژن در ۳ سطح (۳۰۰، ۱۰۰، ۵۰ میلی گرم در لیتر) مورد آنالیز قرار گرفتند. برای هر غلظت از ماده رنگزا غلظت‌های مختلف سولفات آهن و پراکسید هیدروژن مطابق جدول ۱ به راکتورها افزوده شدند. در مجموع تعداد نمونه‌ها ۳۶ و تعداد کل نمونه‌ها با در نظر گرفتن ۳ بار تکرار ۱۰۸ بود. نمونه‌ها روی دستگاه مگنت مغناطیسی به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه در درجه حرارت اتاق (25°C) قرار گرفتند (۵). پس از اتمام زمان واکنش، به منظور جلوگیری از تولید رادیکال‌های هیدروکسیل، pH نمونه‌ها با استفاده از سود ۰/۱ نرمال تا ۹ قلیایی شدند (۱۳، ۱۷).

روش آنالیز

مقدار pH نمونه‌ها با استفاده از pH متر دیجیتال (مدل Hatch) سنجش شد. قبل از اندازه‌گیری، دستگاه pH متر با استفاده از بافرهای استاندارد ۷، ۸، ۹

میلی‌گرم در لیتر با استفاده از ۲۲۵ میلی‌گرم در لیتر سولفات آهن و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پراکسید هیدروژن در pH و درجه حرارت اپتیم حذف می‌شود (۵). بنابراین فرآیند فنتون گزینه مناسبی برای تصفیه و حذف رنگ‌های نساجی به شمار می‌رود، در برخی تحقیقات توانایی این فرآیند در حذف ماده رنگی و رساندن به مرحله جزئی معدنی نیز نشان داده شده است (۳). هدف از این مطالعه تعیین میزان حذف ریمازول بلاک B (RB-B) از فاضلاب سنتتیک صنایع نساجی با استفاده از فرآیند اکسیداسیون فنتون است.

این مطالعه از نوع تجربی- مداخله‌ای است که در مقیاس آزمایشگاهی انجام گرفت. به منظور بررسی تاثیر اکسیداسیون فنتون در حذف ماده رنگزای RB-B، آزمایشات در راکتورهای بسته با ظرفیت ۱ لیتر انجام شد. بر اساس مطالعات انجام شده، واکنش‌های فنتون علاوه بر تابعیت از غلظت‌های سولفات آهن و پراکسید هیدروژن تابع pH و زمان تماس نیز هستند. بنابراین برای بدست آوردن pH و زمان تماس اپتیم، آزمایشات در مقادیر مختلف pH (۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷) و زمان تماس (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ دقیقه) انجام شد. پس از تعیین pH و زمان مناسب واکنش، تاثیر فنتون بر راندمان رنگزدایی ریمازول بلاک B در غلظت‌های مختلف ماده رنگزا (۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بررسی شد. قبل از افزودن فنتون pH نمونه‌ها با استفاده از اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم روی ۳ تنظیم شد. برای بدست آوردن سطح اپتیم عوامل فنتون (سولفات آهن و پراکسید هیدروژن) آزمایشات بر اساس فاکتوریل کامل (Full factorial) طراحی و

یافته ها

تعیین تاثیر مقادیر مختلف pH در حذف ماده رنگزای

ریمازول بلاک B

برای بدست آوردن pH مناسب، آزمایشات در دامنه pH=۲-۷ انجام شد. نتایج حاصله نشان داد بالاترین راندمان حذف ماده رنگزا در pH=۳ است و در pHهای بالا راندمان حذف کاهش می‌یابد.

تعیین تاثیر زمان تماس در حذف ماده رنگزای

ریمازول بلاک B

نتایج آزمایشات برای تعیین زمان مناسب واکنش، پس از تنظیم pH نمونه ها روی ۳، در فواصل زمانی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه در نمودار شماره ۲ نشان داده شده است. بر اساس نمودار، زمان ۱۵ دقیقه بالاترین راندمان حذف را دارد که با افزایش زمان واکنش در راندمان حذف ماده رنگزا تفاوت قابل ملاحظه ای مشاهده نشد.

تعیین تاثیر اکسیداسیون فنتون بر حذف ماده

رنگزای ریمازول بلاک B

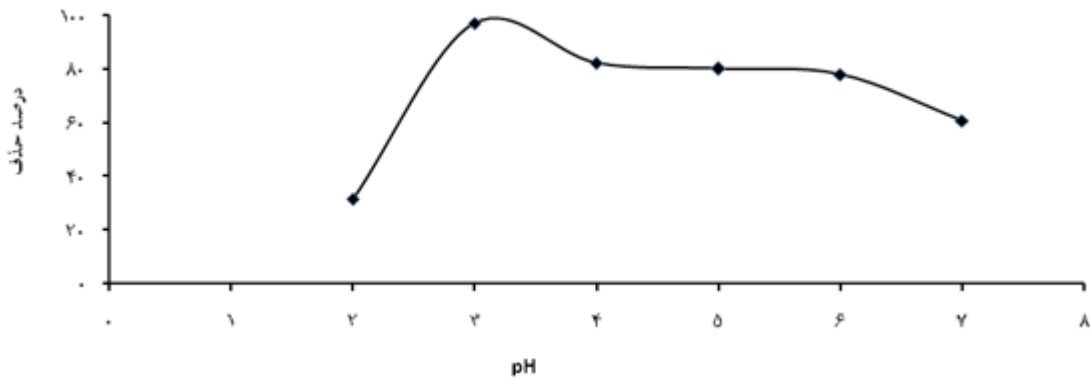
در نمودار شماره ۳ تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات آهن و پراکسید هیدروژن بر میزان حذف ماده رنگزای ریمازول بلاک B با غلظت‌های اولیه ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر نشان داده شده است. در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر ایتیم مقدار سولفات آهن و پراکسید هیدروژن به ترتیب ۱۰ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر بود و در غلظت های ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر ایتیم مقادیر به ترتیب ۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر بدست آمد.

نتایج نشان می‌دهند با افزایش غلظت سولفات آهن از ۱۰ به ۵۰ میلی گرم در لیتر راندمان حذف برای رنگ با غلظت‌های اولیه ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن از ۵۰ به ۳۰۰ میلی گرم در لیتر راندمان رنگ زدایی در هر سه غلظت ماده رنگی افزایش می‌یابد.

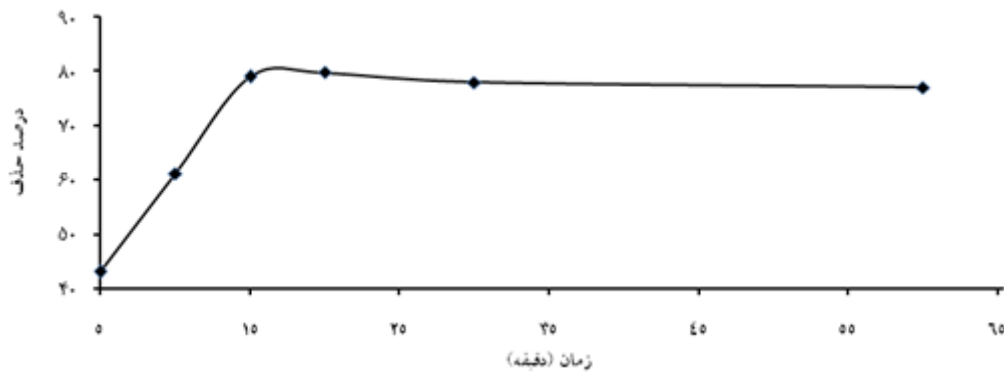
و ۱۰ در درجه حرارت اتاق کالیبره شد. میزان رنگزدایی نمونه‌ها با اسپکتروفتومتر CECIL UV-vis (مدل ۷۱۰۰) در طول موج ۵۹۵ نانومتر سنجش شد.

جدول ۱. مشخصات آزمایش تاثیر غلظت پراکسید هیدروژن و سولفات آهن در حذف ماده رنگزای RB-B در مدت زمان ۱۵ دقیقه

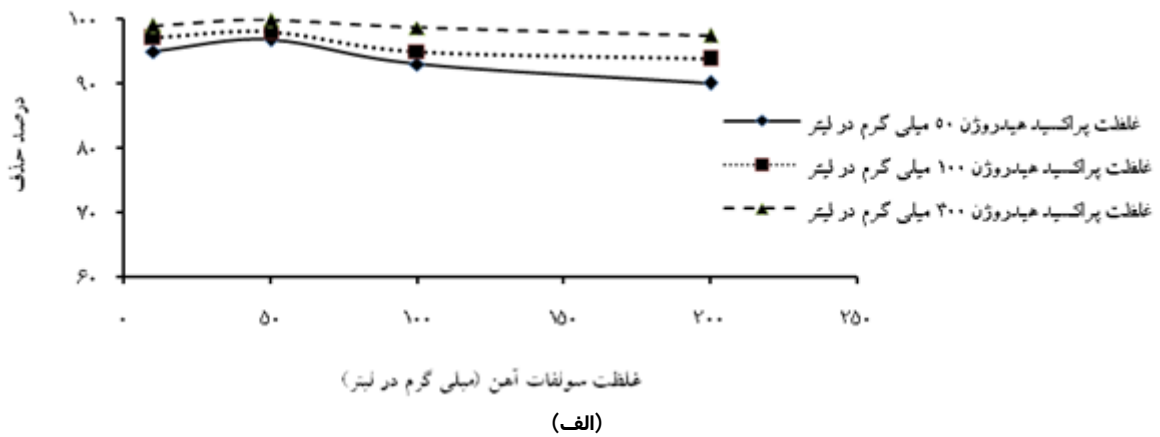
شماره آزمایش	غلظت ماده رنگزا (mg/l)	غلظت پراکسید هیدروژن (mg/l)	غلظت سولفات آهن (mg/l)
۱			۱۰
۲			۵۰
۳			۱۰۰
۴			۲۰۰
۵			۱۰
۶		۵۰	۵۰
۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۸			۲۰۰
۹			۱۰
۱۰		۳۰۰	۵۰
۱۱			۱۰۰
۱۲			۲۰۰
۱۳			۱۰
۱۴		۵۰	۵۰
۱۵			۱۰۰
۱۶			۲۰۰
۱۷			۱۰
۱۸	۲۰۰	۱۰۰	۵۰
۱۹			۱۰۰
۲۰			۲۰۰
۲۱			۱۰
۲۲		۳۰۰	۵۰
۲۳			۱۰۰
۲۴			۲۰۰
۲۵			۱۰
۲۶		۵۰	۵۰
۲۷			۱۰۰
۲۸			۲۰۰
۲۹			۱۰
۳۰	۵۰۰	۱۰۰	۵۰
۳۱			۱۰۰
۳۲			۲۰۰
۳۳			۱۰
۳۴		۳۰۰	۵۰
۳۵			۱۰۰
۳۶			۲۰۰

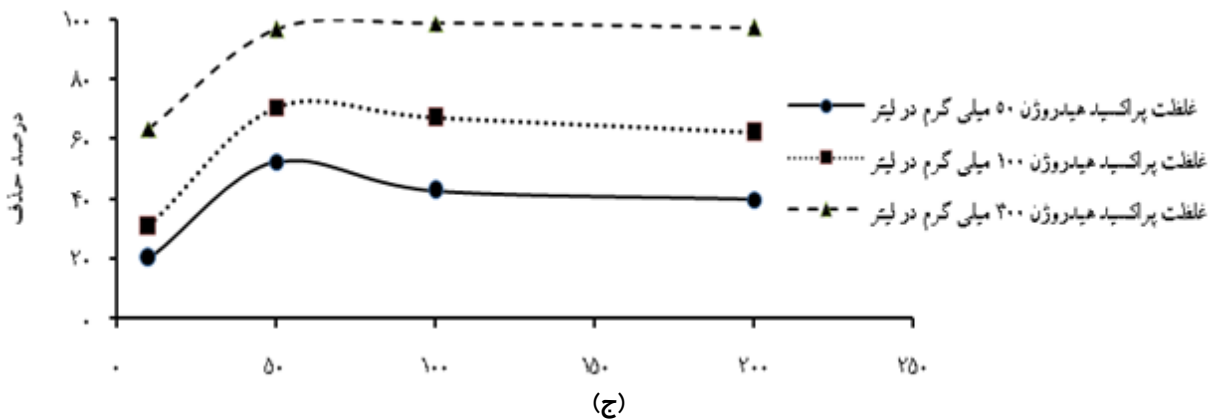
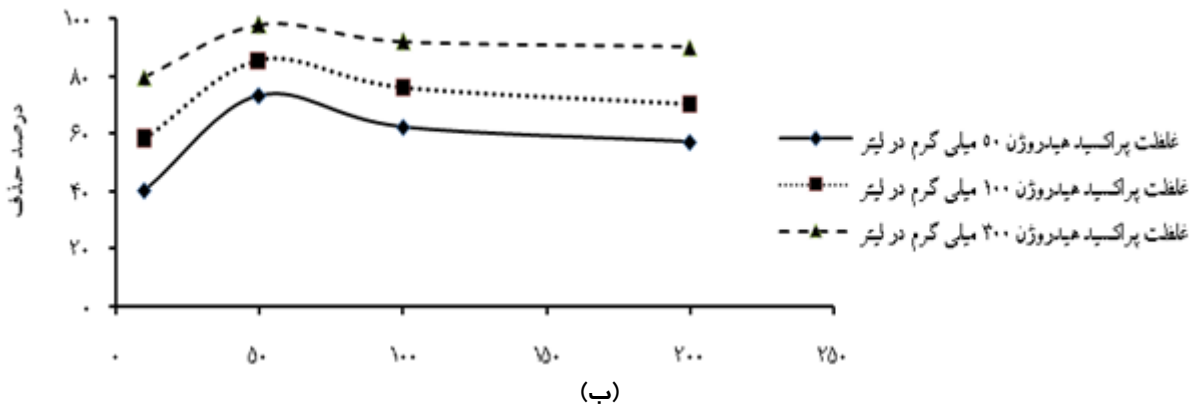


نمودار ۱. اثر pH روی رنگ زدایی ریمازول بلاک B با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر (زمان تماس ۱۵ دقیقه، پراکسید هیدروژن =۳۰۰ و سولفات آهن =۵۰ میلی گرم در لیتر)



نمودار ۲. اثر زمان واکنش روی رنگ زدایی ریمازول بلاک B با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر، (pH=۳، پراکسید هیدروژن =۳۰۰ و سولفات آهن =۵۰ میلی گرم در لیتر)





نمودار ۳. تاثیر غلظت های مختلف سولفات آهن و پراکسید هیدروژن بر حذف ماده رنگزای ریمازول بلاک B در غلظت های الف) ۱۰۰ (ب) ۲۰۰ و ج) ۵۰ میلی گرم در لیتر

بحث

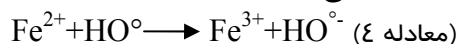
بر اساس نتایج نمودار شماره ۱، راندمان حذف ماده رنگزا با افزایش pH کاهش می یابد. راندمان حذف در $pH=3$ برابر $97/3$ درصد است، در حالی که در $pH=7$ راندمان حذف به $60/8$ درصد کاهش یافته است. به نظر می رسد دلیل این امر پایداری زیاد پراکسید هیدروژن و سولفات آهن در $pH=3$ است. مطالعات انجام شده توسط دانشمندان نشان داده در pH بزرگتر از ۳ حلالیت یون آهن و تمام گونه های آن کم می شود که در نتیجه آن رادیکال هیدروکسیل کمتری تشکیل می شود، به عبارت دیگر در pH های بالا به علت ناپایداری یون های آهن راندمان حذف ماده رنگزا کاهش می یابد، در حالی که در $pH=3$ ، هیدروکسید آهن $(Fe(OH)^{2+})$ به شکل کاملاً محلول حضور

دارد (۶). مطالعات محققان نشان می دهد که در pH پایین تر از ۳ هیدروکسید آهن تشکیل شده با پراکسید هیدروژن به آرامی واکنش می دهد که باعث کاهش رادیکال های OH شده و در نتیجه راندمان کاهش می یابد (۲۰، ۷، ۱۱، ۱۲). باربوسینسکی و همکاران نشان دادند راندمان حذف ماده رنگزای اسیدی قرمز ۱۸ (Acid Red 18) در غلظت اولیه ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در $pH=3$ بالای ۹۰ درصد است و با افزایش یا کاهش pH از این مقدار راندمان حذف کاهش می یابد (۴). نتایج حاصله از نمودار شماره ۲ نشان داد حذف سریع ماده رنگزا در ۱۵ دقیقه اول صورت گرفته و بعد از آن تا زمان ۶۰ دقیقه شیب نمودار تقریباً ثابت است. این امر را می توان به این صورت توجیه کرد که با طولانی تر شدن زمان واکنش ترکیبات واسطه ای

تولید می‌گردد که خود به عنوان رقیب ترکیبات اولیه بوده که با رادیکال‌های هیدروکسیل واکنش داده و به عنوان ریباننده هیدروکسیل (OH) عمل می‌کنند. بنابراین به دلیل عملکرد بهتر حذف زمان ۱۵ دقیقه به عنوان زمان مناسب واکنش انتخاب گردید. کارمن و همکاران نیز به منظور بررسی تاثیر عامل فنتون در حذف ماده رنگزا با غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر پس از انجام یک سری آزمایشات اولیه زمان واکنش را روی ۱۵ دقیقه تنظیم نمودند (۶).

در بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف سولفات آهن (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ میلی گرم در لیتر) در مقابل غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن (۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ میلی گرم در لیتر) بر راندمان حذف ماده رنگزای ریمازول بلاک B با غلظت‌های اولیه ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر در مدت زمان ۱۵ دقیقه نتایج نشان می‌دهد با افزایش غلظت اولیه یون فرو از ۱۰ به ۵۰ میلی گرم در لیتر در مقدار ۳۰۰ میلی گرم در لیتر پراکسید هیدروژن راندمان رنگ‌زدایی برای غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر ماده رنگزا از ۹۹ به ۹۹/۹ درصد تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشته است. به نظر می‌رسد در غلظت پایین ماده رنگزا (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر سولفات آهن کفایت می‌کند. بنابراین به منظور کاهش هزینه استفاده از مواد شیمیایی و نیز کاهش مقدار لجن تولیدی در غلظت‌های پایین ماده رنگزا از مقدار پایین سولفات آهن استفاده شد. همچنین در محیط‌های ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر افزایش یون فرو از ۱۰ به ۵۰ میلی گرم در لیتر منجر به افزایش راندمان حذف به ترتیب از ۷۹/۸ به ۹۷/۸ و ۶۳/۵ به ۹۶/۷۵ درصد می‌شود. این تاثیر به دلیل تولید سریع مقدار زیادی رادیکال هیدروکسیل است که

به سرعت با مولکول‌های ماده رنگزای ریمازول بلاک B واکنش داده و باعث رنگبری می‌شود (معادله ۱). بنابراین در این غلظت‌ها مقدار ۵۰ میلی گرم بر لیتر سولفات آهن به عنوان بهینه انتخاب شد. همانطور که در نمودار ۳ مشاهده می‌شود رنگ زدایی با فرآیند فنتون در دو مرحله انجام می‌شود، مرحله اول رنگ زدایی سریع و مرحله دوم کند است. حضور آهن دو ظرفیتی در کنار آب اکسیژنه باعث کاهش سریع و ناگهانی غلظت ماده رنگزا می‌شود (مرحله اول) این پدیده سبب می‌شود تا مقدار زیادی رادیکال هیدروکسیل تولید گردد (معادله ۱) و با افزایش غلظت یون فرو از این مقدار (۵۰ میلی گرم در لیتر) راندمان به دلیل ایجاد واکنش‌های رقابتی و نامطلوب یون فرو با رادیکال‌های هیدروکسیل در محیط کاهش می‌یابد (مرحله دوم) به نظر می‌رسد حضور بیش از حد یون‌های فرو در محیط، با رادیکال‌های هیدروکسیل ترکیب شده و آنها را مطابق معادله ۴ از محیط عمل خارج می‌سازند.



همچنین افزایش بیش از حد مقدار آهن به دلیل تشکیل هیدروکسید آهن $\text{Fe}(\text{OH})_3$ در محیط میزان کدورت را افزایش می‌دهد (۱۲).

نتایج حاصل از مطالعه هیوسان و همکاران که مشابه نتایج حاصل از مطالعه حاضر بود؛ نشان داد با افزایش غلظت آهن از ۱۰ به ۵۰ میلی مول راندمان حذف ماده رنگزا با غلظت اولیه ۰/۰۸۱ میلی مول در مدت ۱۵ دقیقه از ۵۷ به ۹۷ درصد افزایش می‌یابد (۷). نتایج حاصل از دو مطالعه مذکور نشان داد به دلیل اینکه آهن نقش کاتالیست در واکنش فنتون دارد تجزیه پراکسید هیدروژن را تسریع کرده که در نتیجه آن مقدار زیادی رادیکال‌های هیدروکسیل آزاد می‌شوند.

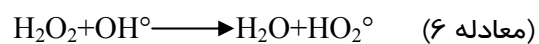
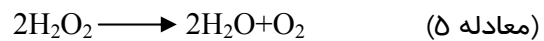
سولفات آهن ($\text{dye:H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$) برای محیط ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب ۰/۱۶: ۱:۱/۵ و ۰/۱۶: ۰/۶: ۱ به دست آمد. مطالعات لودها و همکاران نشان داد این نسبت برای حذف بیش از ۹۹ درصد ریمازول بلاک B با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر، ۰/۳۶: ۰/۴: ۱ است که بیشتر از نسبت به دست آمده در مطالعه حاضر است (۲۱). همانطور که در نمودار شماره ۳ مشاهده می شود با افزایش غلظت ماده رنگزا از ۱۰۰ به ۵۰۰ میلی گرم در لیتر راندمان رنگزدایی در مقادیر انتخابی سولفات آهن و پراکسید هیدروژن از ۹۹ به ۹۶ درصد کاهش می یابد. علت این امر را می توان به این صورت توجیه کرد که با افزایش غلظت ماده رنگزا احتمال رقابت حد واسطه های تشکیل شده (آمین های آروماتیک) در اثر تجزیه ماده رنگزا با مولکول های رنگزای مادر وجود دارد و این مزاحمت در مقادیر زیاد حد واسطه های تولید شده در غلظت های اولیه بالای ماده رنگزا افزایش می یابد که مشابه نتایج حاصل از تحقیق لوکاس و همکاران است، که با افزایش غلظت رنگ از $10^{-5} \times 5$ به $10^{-4} \times 1/5$ میلی مول راندمان رنگزدایی از ۹۶ به ۸۳ درصد در مدت زمان ۱۵ دقیقه کاهش می یابد (۳). از جمله مهم ترین محدودیت های این روش، تنظیم pH در شرایط اسیدی و تولید لجن حاوی مقدار بالای یون فریک است که نیاز به روش های مدیریتی خاصی دارد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از تحقیق نشان داد فرآیند فنتون قادر به حذف غلظت های مختلف ماده رنگزای ریمازول بلاک B می باشد به طوری که در مدت کوتاهی (۱۵ دقیقه) بیش از ۹۵ درصد ترکیبات رنگی را حذف می کند که این عمل در اثر تولید عامل

تحقیق کارمن نشان داد بالاترین راندمان حذف رنگ در غلظت یون آهن ۰/۲۷ میلی مول به دست آمد و با افزایش غلظت آهن از این مقدار راندمان به دلیل تاثیر بر رادیکال هیدروکسیل در محیط کاهش می یابد (۶).

همچنین نتایج حاصل از اکسیداسیون ریمازول بلاک B توسط محلول فنتون نشان داد افزایش غلظت پراکسید هیدروژن از ۵۰ به ۳۰۰ میلی گرم در لیتر در مقدار ۱۰ میلی گرم در لیتر سولفات آهن تاثیر قابل توجهی بر حذف ماده رنگزا با غلظت اولیه ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نخواهد داشت. احتمالاً این موضوع که با یافته های مریک و همکاران مطابقت داشت به این دلیل است که در محیط های حاوی مقدار کم آلاینده، پراکسید هیدروژن در غلظت های بالا به آب و اکسیژن تجزیه شده و ممکن است با رادیکال هیدروکسیل مجدداً ترکیب شود (معادله ۵ و ۶).



بنابراین برای غلظت پایین ماده رنگزای ریمازول بلاک B (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر پراکسید هیدروژن مناسب است. همچنین نمودار شماره ۳ نشان می دهد در محیط های ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر ریمازول بلاک B افزایش غلظت پراکسید هیدروژن از ۵۰ به ۳۰۰ میلی گرم در لیتر در غلظت سولفات آهن ۵۰ میلی گرم در لیتر موجب افزایش کارایی حذف ماده رنگزا به ترتیب از ۷۳ به ۹۸ و از ۵۲ به ۹۶ درصد می شود. بنابراین در این غلظت ها مقدار ۳۰۰ میلی گرم پراکسید هیدروژن به عنوان غلظت بهینه انتخاب شد. به عبارت دیگر برای حذف بیش از ۹۵ درصد ماده رنگزای ریمازول بلاک B نسبت جرمی مناسب ماده رنگی به پراکسید هیدروژن به

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدر دانی خود را از آقای مهندس علی اسرافیلی، عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی تهران، به خاطر همکاری در مراحل مختلف تحقیق ابراز داشته و از شرکت الوان ثابت به دلیل در اختیار گذاشتن رنگ ریمازول بلاک B کمال تشکر و قدردانی را دارند و در نهایت از کلیه حامیان این تحقیق سپاسگزاری به عمل می آید.

اکسید کننده نظیر رادیکال‌های هیدروکسیل اتفاق می‌افتد. همچنین نتایج نشان داد غلظت اولیه ماده رنگزا تاثیر مستقیم در انتخاب غلظت پرکسید هیدروژن و سولفات آهن دارد. بنابراین انتخاب غلظت مناسب به منظور کاهش هزینه‌های تصفیه، مسائل زیست محیطی و کاهش مقدار لجن تولیدی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

References

- 1-Zhou T, Lu X, Wang J, Wong FS, Li Y. Rapid decolorization and mineralization of simulated textile wastewater in a heterogeneous Fenton like system with/without external energy. *J Hazardous Materials* 2009; 165(1-3):193-99.
- 2- Meric S, Selcuk H, Belgiorno V. Acute toxicity removal in textile finishing wastewater by Fenton's oxidation, ozone and coagulation-flocculation processes. *J Water Research* 2005; 39(6): 1147-53.
- 3-Lucas MS, Peres JA. Decolorization of the azo dye Reactive Black 5 by fenton and photo-Fenton oxidation. *J Dyes and Pigments* 2006;71(3): 236-44.
- 4- Barbusinski k, Majewski J. Discolorization of Azo Dye Acid Red 18 by Fenton Reagent in the Presence of Iron Powder. *J Environmental Studies* 2003. 12(2): 151-55.
- 5-Meric S, Kaptan D, Olmez T. Color and COD removal from wastewater containing Reactive Black 5 using Fentons oxidation process. *Chemosphere* 2004; 54(3): 435-41.
- 6-Rodrigues CSD, Madeira LM, Boaventura RAR. Optimization of the azo dye Procine Red H-EXL degradation by fentons reagent using experimental design. *J Hazardous Materials* 2009; 164(2-3): 3151-3200.
- 7-Sun JH, Sun SP, Sun JY, Sun RX, Qiao LP, Guo HQ and et al. Degradation of azo dye Acid Black 1 using low concentration iron of Fenton process facilitated by ultrasonic irradiation. *Ultrasonic Sonochemistry* 2007; 14(6): 761-766.
- 8-Fongsatitkul P, Elefsiniotis P, Yamasmit A, Yamasmit N. Use of sequencing batch reactors and Fentons reagent to treat a wastewater from a textile industry. *J Biochemical Engineering* 2004; 21(3): 213-20.
- 9-Lucas MS, Dias AA, Sampaio A, Amaral C, Peres JA. Degradation of a textile reactive Azo dye by a combined chemical-biological process: Fentons reagent-yeast. *Water Research* 2007; 41(5): 1103-1109.
- 10- Dutta K, Bhattacharjee S, Chaudhuri B, Mukhopadhyay S. Chemical oxidation of C. I. Reactive Red 2 using Fenton-like reactions. *J Environ. Monit* 2002; 4(5): 754-60.
- 11-Bogatu C, Botau D, Gheju M, Coheci D. Study of azodyes oxidation with fenton reagent by uv-vis spectroscopy. *J Enviromental Protection and Ecology* 2002; 3(1): 210-14.
- 12- Kusic H, Bozic A.L, Koprivanac N. Fenton type processes for minimization of organic content in coloured wastewater: Part 1: Processes optimization. *Dyes and Pigments* 2007; 74(2): 380-387.
- 13-Meric S, Seluck H, Gallo M, Beliorno V. Decolourisation and detoxifying of Remozol Red dye and its mixture using Fenton's reagent. *Desalination* 2005; 173(3): 239-48.
- 14-Barbusinski K. The modified fenton process for decolorization of dye wastewater. *J Environmental Studies* 2005; 14(3): 281-85.

- 15-Daneshvar N, Khataee A, Rasoulifard MH, Doraji M. Removal of organic dye from industrial wastewater using UV/H₂O₂, UV/H₂O₂/Fe(II), UV/H₂O₂/Fe(III) processes. *J Water and Wastewater*. 2007; 61: 34-42.
- 16- Panizza M, Cerisola G. Electro-Fenton degradation of synthetic dyes. *Water Research* 2009; 43(2) 339-44.
- 17- Ozcan A, Oturan MA, Oturan N, Sahin Y. Removal of Acid Orange 7 from water by electrochemically generated Fenton's reagent. *J Hazardous Materials* 2009; 163(2-3): 1213-20.
- 18-Mesdaghinia AR, Farrokhi M, Nasser S, Yazdanbakhsh AR. Biodegradability enhancement of 2,4,6 trichlorophenol (TCF) by Fenton oxidation process. *J Hakim Research*. 2004; 2(7): 33-42.
- 19- Farrokhi M, Kouti M, Mousavi GhR, Takdastan A. The Study on Biodegradability Enhancement of Landfill Leachate by Fenton Oxidation. *Iran. J. Health & Environ.*, 2009. 2(2): 114-23.
- 20-James D. Englehard T, Yang D, Jose P. Options for managing municipal landfill leachate: year 1 Development of iron. Mediated 2006.
- 21-Lodha B, Chaudhari S. Optimization of Fenton-biological treatment scheme for the treatment of aqueous dye solution. *J Hazardous Materials* .2007; 148(1-2): 459-66.

Efficiency of Fenton Oxidation Process in Removal of Remazol Black-B from Aqueous Medium

Bahmani P¹, Maleki A², Ghahremani A³, Kohzadi Sh^{4*}

1. Expert of Rural Water and Wastewater Company of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
2. Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran
3. Instructor of environmental health, school of health/ Environmental health research center, Kurdistan University of Medical Sciences Sanandaj, Iran
4. Bachelor of environmental health, school of health, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

* *Corresponding author.* Tel: +989181842900 Fax: +988716625131 E-mail: skohzady@yahoo.com

Received: 25 Oct 2012 Accepted: 19 Feb 2013

ABSTRACT

Background & Objective: Reactive dyestuff causes difficulties including toxicity, carcinogenesis, and mutagenesis in the environment. Traditional physical and chemical treatment methods such as coagulation, flocculation, and adsorption can't destroy these compounds and cause secondary environmental pollution. Advanced oxidation processes like Fenton oxidation are one of the most efficient processes for dyestuff pollutants removal from aqueous solution. In this study, the ability of Remazol Black- B (RB-B) removal from aqueous medium by Fenton oxidation process was investigated.

Methods: This experimental-intervention study was carried out in laboratory scale. In order to determine the effect of Fenton oxidation on decolorization of RB-B, optimum levels of variables such as pH, FeSO₄ and H₂O₂ and reaction time was measured in a 1 L batch reactor.

Results: The results of the experiments showed that for 100 mg/L of dyestuff the respective optimum concentrations of FeSO₄ and H₂O₂ were 10 and 50 mg/L. For 200 and 500 mg/L of dyestuff they were 50 and 300 mg/L, respectively. Under the optimal condition, pH=3 and 15 min of reaction time, up to 95% decolorization efficiency was achieved for all three concentrations of dyestuff.

Conclusion: Based on the results of this study, the Fenton process is an effective method for the treatment of different concentrations of RB-B dyestuff in wastewater. The selection of proper concentration of Fenton is important to reduce treatment costs, environmental problems, and sludge produced.

Key Word: Color pollutions; Remazol Black-B (RB-B); Fenton Oxidation Process