مقاله پژوهشی
مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان
دوره ۱۴، ی ۱۳۹۴، ۸۴۰-۸۲۷

بررسی کارایی فرایند فتوفنتون در حذف رنگ اسید سبز ۲۰ از فاضلاب صنایع نساجی

محمد ملکوتیان[۱]، عباس دهداری‌راد[۲]

دریافت مقاله: ۹۴/۲/۲۱ ارسال مقاله به نویسنده جهت اصلاح: ۹۴/۴/۲ دریافت اصلاحیه از نویسنده: ۹۴/۷/۲۱ پذیرش مقاله: ۹۴/۸/۴

چکیده

زمینه و هدف: رنگ‌های اسیدی ترکیبات آلی سنتتیک با ساختار شیمیایی پیچیده بوده که تصفیه آن‌ها مشکل و پرهزینه می‌باشد. تخلیه این رنگ‌ها به محیط زیست بدون تصفیه باعث تغییرات و اثرات نامطلوب در محیط زیست و کیفیت آب‌ها می‌گردد. لذا در تحقیق حاضر بررسی کارایی فرایند فتوفنتون در حذف رنگ اسید سبز ۲۰ از فاضلاب صنایع نساجی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: مطالعه آزمایشگاهی در نیمه دوم سال ۱۳۹۳ در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام گرفت. عوامل تأثیرگذار بر حذف رنگ اسید سبز ۲۰ شامل: pH، غلظت H_2O_2، غلظت Fe^{2+}، شدت اشعه UV، غلظت اولیه رنگ اسید سبز ۲۰ و زمان مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در شرایط بهینه حذف با محلول واقعی فاضلاب صنایع نساجی که کیفیت آن قبلاً تعیین‌شده بود نیز آزمایش شد. آزمایش‌ها و نمونه‌برداری‌ها بر اساس روش‌های مندرج در کتاب استانداردهای آب و فاضلاب ویرایش بیستم انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی انجام شد.

یافته‌ها: شرایط بهینه حذف رنگ اسید سبز توسط روش فتوفنتون شامل pH برابر با ۳، غلظت H_2O_2 برابر با ۰/۲ میلی‌مول، غلظت Fe^{2+} برابر با ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر، توان ۳۰ وات لامپ UV ، غلظت اولیه اسید سبز ۲۰ برابر با ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و زمان ۱۰دقیقه به دست آمد. بیشترین میزان حذف برای محلول‌های سنتتیک ۹۴/۶۲٪ و برای فاضلاب واقعی ۷۳٪ گزارش شد.

نتیجه‌گیری: فرایند فتوفنتون روشی مؤثر در حذف رنگ‌های اسیدی بوده و قادر است این رنگ‌ها را با راندمان بالا از فاضلاب حذف کند.

واژه‌های کلیدی: کارایی فتوفنتون، فاضلاب صنایع نساجی، رنگ اسید سبز ۲۰

۱- (نویسنده مسئول) استاد، مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران
تلفن: ۰۳۴-۳۳۲۰۵۰۷۴، دورنگار: ۰۳۴-۳۳۲۰۵۱۰۵، پست الکترونیکی: m.malakootian@yahoo.com
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

مقدمه

رنگ‌ها در صنایع مختلف نساجی، غذایی، کاغذ، مواد آرایشی، دارویی و ... استفاده می‌شوند [۳-۱]. سالانه حدود ۰/۷ میلیون تن رنگ و بیش از ۱۰۰۰۰ نوع مختلف رنگ و رنگ‌دانه در سراسر جهان تولید می‌گردد [۶-۳، ۱]. حدود ۱۰ تا ۱۵٪ از این رنگ‌ها طی فرایند رنگ‌آمیزی به هدر می‌روند [۶]. رنگ‌ها از لحاظ ساختاری بسیار متفاوت از یکدیگر می‌باشند و تقسیم‌بندی آنها با توجه به یک عامل دشوار می‌باشد. در میان طبقه‌بندی اصلی رنگ‌ها، رنگ‌های آزو با بیش از ۷۰٪ کاربرد در صنایع نساجی بزرگ‌ترین گروه را به خود اختصاص داده اند. مشخصه رنگ‌های آزو وجود ساختاری آلی به همراه پیوند نیتروژن دوگانه (N=N) و اتصال حداقل یکی از اتم‌های نیتروژن به حلقه آروماتیک می‌باشد. رنگ‌های آزو به انواع رنگ‌های اسیدی، بازی، دیسپرس و ... تقسیم می‌شوند [۸-۷، ۵-۴].

رنگ اسید سبز ۲۰ نماینده‌ای از رنگ‌های آزو بوده و قابل‌تجزیه زیستی نمی‌باشد. این رنگ به شکل وسیعی در صنایع نساجی و چاپ به دلیل ثبات بالا در برابر نور، تبخیر و قابلیت شستشوی مجدد استفاده می‌گردد [۹]. تخلیه روزانه حجمی‌بالایی از رنگ‌ها باعث از بین رفتن کیفیت آب‌های پذیرنده، افزایش اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، ممانعت از ورود نور به آب، کاهش اکسیژن مورد نیاز برای فتوسنتز و اثرات مضر بر سلامت انسان و حیوانات مانند سرطان و جهش می‌گردد. حلقه‌های آروماتیک در رنگ های آزو سمی و اغلب در برابر تجزیه زیستی قابل‌تجزیه نمی‌باشند [۱۰، ۷، ۴، ۲-۱]. بنابراین حذف آنها حائز اهمیت می‌باشد. روش‌های معمول جهت تصفیه فاضلاب‌های رنگی شامل روش‌های فیزیکی، شیمیایی مانند جذب سطحی، لخته‌سازی، ته‌نشینی، فیلترهای غشایی و روش‌های الکتروشیمیایی می‌باشد [۱۱-۱۰، ۱]. برخی از این روش‌ها تنها آلاینده‌ها را از حالتی به حالت دیگر انتقال داده و هیچ‌گونه تجزیه‌ای بر روی آن انجام نمی‌دهند و بار آلاینده محیط را افزایش می‌دهند. برخی از رنگ‌ها به منظور مقاومت در برابر واکنش‌های زیستی تولید شده‌اند درنتیجه روش زیستی برای آنها قابل کاربرد نمی‌باشد. برخی از این روش‌ها نیز هزینه‌بر می‌باشند. لذا باید روشی که از لحاظ محیط زیست بهینه بوده و آلودگی تولید نمی‌کند و هزینه بر نیز نمی‌باشد انتخاب نمود.

فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته (Advanced Oxidation Process) (AOP) در طی سال‌های اخیر در تحقیقات و تصفیه فاضلاب موردتوجه زیادی قرارگرفته است [۱۳-۱۲]. از این فرایند به شکل موفقیت‌آمیزی برای تصفیه مواد آلی مقاوم در برابر تجزیه زیستی و یا به عنوان پیش تصفیه برای تبدیل این مواد به مواد ساده‌تر به‌منظور تصفیه متداول زیستی استفاده می‌شود. انواع مختلف این فرایند شامل اکسیداسیون فتوکاتالیستی، ازوناسیون، فرایندهای فنتون و شبه فنتون و ... می‌باشد. این فرایند متکی بر تولید رادیکال‌های آزاد بوده که مهم‌ترین آنها رادیکال هیدروکسیل می‌باشد [۱۴-۱۳].

در میان فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته فرایند فنتون به دلیل آسان بودن بهره‌برداری، مؤثر بودن، واکنش با ترکیبات آلی و عدم تولید آلاینده بیشتر مورداستفاده قرار می‌گیرد [۱۲]. این فرایند قادر به اکسیداسیون ترکیبات آلی مقاوم و تبدیل آنها به مواد غیر مضر، معدنی‌سازی آنها و تولید محصولات نهایی نظیر دی‌اکسید کربن و آب می‌شوند [۱۶-۱۵]. این فرآیند به عنوان یک گزینه مفید

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

برای تصفیه پساب‌هایی با مواد آلی زیاد پیشنهاد می‌گردد. طی فرایند اکسیداسیون پیشرفته رادیکال هیدروکسیل تولید می‌گردد که پتانسیل بسیار بالایی در اکسیداسیون آلاینده‌های آلی دارد [۱۹-۱۶].

در طول فرایند فنتون پراکسید هیدروژن به‌وسیله یون فرو مطابق واکنش ۱ تجزیه شده و در محیط اسیدی رادیکال هیدروکسیل تولید می‌نماید [۱۶-۱۵].

فرایند فنتون به خصوصیات نمونه، pH، غلظت آهن، میزان پراکسید هیدروژن و زمان واکنش بستگی دارد [۱۶-۱۵]. در فرایند فتوفنتون از ترکیب اشعه UV و واکنشگر فنتون استفاده می‌گردد. به دلیل کاهش نوری Fe^{3+} به Fe^{2+} تولید رادیکال هیدروکسیل افزایش می‌یابد که در واکنش‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است [۲۰]:

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + {}^{\bullet}OH \quad (۱)$$

$$Fe(OH)^{2+} + hv \longrightarrow Fe^{2+} + {}^{\bullet}OH \quad (۲)$$

$$H_2O_2 + hv \longrightarrow 2\,{}^{\bullet}OH \quad (۳)$$

روش فتوفنتون کاربردهای فراوانی در جهت حذف آلاینده‌ها از محلول‌های آبی دارد. sohrabi و همکارانش در ایران از فرایند فنتون و فتوفنتون به منظور حذف رنگ کارموزین (carmoisine) استفاده کردند [۲۱]. Aleksić و همکارانش در کرواسی از فرایند فنتون برای حذف رنگ‌های آلی استفاده نمودند [۲۲]. همچنین، از فرایند فنتون و شبه فنتون در حذف رنگ‌های آزو توسط Mansoorian و همکارانش در ایران استفاده شد [۲۳].

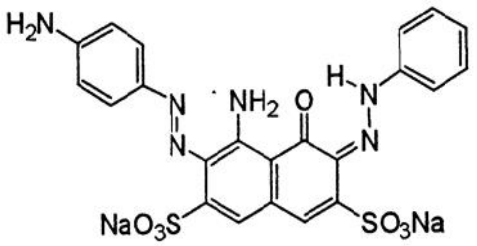
در منابع مورد بررسی تاکنون پژوهشی در خصوص حذف رنگ اسید سبز ۲۰ با فرایند فتوفنتون گزارش نشده است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی کارایی فرایند فتوفنتون در حذف رنگ اسید سبز ۲۰ از فاضلاب صنایع نساجی بود.

مواد و روش‌ها

مطالعه آزمایشگاهی است و در سال ۱۳۹۳ در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام شد.

از اسپکتروفتومتر UV (مدل. Shimadzu ساخت کشور ژاپن) برای اندازه‌گیری غلظت رنگ در محلول استفاده شد. pH محلول با pH متر (مدل HANNA ساخت کشور رومانی) اندازه‌گیری شد. از همزن مغناطیسی (مدل Fan Azmagostar ساخت ایران) برای هم‌زدن محلول استفاده شد. از ترازوی مدل Shimadzu-Libror (ساخت کشور ژاپن) برای وزن کردن مواد استفاده شد.

رنگ اسید سبز ۲۰ از شرکت الوان ثابت همدان خریداری شد. ساختار شیمیایی اسید سبز ۲۰ در شکل ۱ نشان داده شده است. سایر مواد شیمیایی موردنیاز شامل اسیدسولفوریک، هیدروکسید سدیم، سولفات آهن ۷ آبه، پراکسید هیدروژن (۳۰٪ حجمی) از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

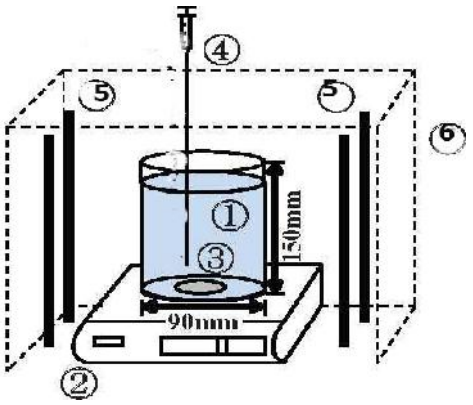


شکل ۱- ساختار شیمیایی رنگ اسید سبز ۲۰

محلول استوک با حل کردن مقدار معینی از رنگ اسید سبز در ۱ لیتر آب تهیه شد. سپس غلظت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگ اسید سبز ۲۰ از محلول استوک تهیه گردید. در تمام مراحل از آب مقطر برای محلول‌سازی استفاده شد. محلول‌های اسیدسولفوریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال برای

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

تنظیم pH استفاده شد [۲۴]. تأثیر پارامترهای غلظت رنگ اسید سبز ۲۰ (۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، غلظت H_2O_2 (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌مول)، pH (۳، ۷ و ۱۰) ، Fe^{2+} (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر)، توان لامپ UV (۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ وات)، زمان تماس (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه) بر راندمان حذف رنگ موردنظر مورد بررسی قرار گرفت [۲۱-۲۰]. شرایط بهینه برای هر کدام از متغیرهای مورد بررسی با انجام آزمایش‌هایی بر روی نمونه‌های ساخته شده با آب مقطر انجام شد.



شکل ۲- سیستم استفاده‌شده به‌منظور انجام فرایند فتوفنتون
۱- فتوراکتور ۲- همزن مغناطیسی ۳- مگنت ۴- سرنگ برداشت نمونه ۵- لامپ UV ۶- هود به‌منظور ایمنی در برابر اشعه UV

در خصوص به دست آوردن شرایط بهینه نحوه کار به این صورت بود که در مورد هر متغیر پس از به دست آوردن شرایط بهینه آن متغیر ادامه آزمایش با آن مقدار بهینه انجام شد و این روند برای تمامی متغیرهای مورد بررسی انجام شد. پس از بدست آمدن شرایط بهینه آزمایش بر روی نمونه‌ای از فاضلاب واقعی که از کارخانه نساجی یزد باف تهیه گریده بود انجام شد. همه آزمایش‌ها در درجه حرارت اتاق (۱±۲۵) درجه سانتی‌گراد انجام گردید. برای افزایش ضریب اطمینان و صحت و دقت آزمایش‌ها با ۳ بار تکرار صورت گرفت. با تهیه طیف جذب رنگ اسید سبز ۲۰ توسط اسپکتروفتومتر و بر اساس طیف جذبی به‌دست آمده طول موج حداکثر جذب رنگ مورد نظر ۶۰۶ نانومتر تعیین شد. برای انجام فرایند فتوفنتون سیستمی مطابق شکل ۱ طراحی و استفاده شد. طراح سیستم بر اساس تحقیق Ono و همکارانش بود [۲۵].

از یک ظرف استوانه‌ای به قطر ۹۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵۰ میلی‌متر به عنوان فتوراکتور استفاده شد. حجم قابل بهره برداری ظرف ۱ لیتر بود. به منظور حفاظت در برابر اشعه UV، فتوراکتور در زیر هود قرار داده شد. لامپ UV در اطراف فتوراکتور قرار داده شد. pH اولیه نمونه به وسیله اسیدسولفوریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تنظیم شد.

به منظور اختلاط کافی بین یون آهن و پراکسید هیدروژن و رنگ اسید سبز ۲۰ ، فتوراکتور بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. مقدار مشخصی از یون آهن فروس به نمونه اضافه شد و پس از اختلاط کافی با نمونه حجم معینی از پراکسید هیدروژن به نمونه اضافه گردید. زمان شروع فرایند فتوفنتون همزمان با روشن نمودن لامپ UV در نظر گرفته شد. در فواصل زمانی معین با سرنگ نمونه برداشت شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی و توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام شد.

نتایج

در این مطالعه راندمان عوامل مؤثر مورد بررسی در فرایند فتوفنتون در محدوده های مورد نظر با ۳ بار تکرار همراه با میانگین و خطا در جدول ۱ نشان داده شده است.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

جدول ۱- راندمان عوامل مورد بررسی در فرایند فتوفنتون

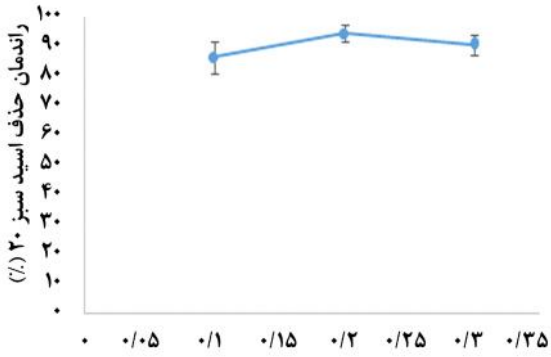
عامل	محدوده	خطا (٪)	میانگین راندمان (٪)	راندمان در هر بار تکرار(٪)		
				۳	۲	۱
pH	۳	۱/۱	۹۴/۶۲	۹۵/۴۷	۹۳/۲۷	۹۵/۱۲
	۷	۱/۵۲	۵۶/۷۲	۵۸	۵۴/۹۶	۵۷/۲
	۱۰	۱/۰۴۵	۵۶/۸	۵۶/۰۷	۵۶/۱۲	۵۸/۲۱
غلظت Fe^{2+} (mg/L)	۲۰	۳/۲۱۵	۴۲/۶	۳۸/۵۷	۴۵	۴۴/۲۳
	۴۰	۲	۹۴/۶۲	۹۶	۹۲	۹۵/۸۶
	۶۰	۲/۶۰۵	۴۲	۴۳/۲۱	۴۴	۳۸/۷۹
	۸۰	۲/۶۸۵	۳۴/۸۷	۳۷/۴۹	۳۲/۱۲	۳۵
	۱۰۰	۲/۱	۳۳/۸۸	۳۶/۲	۳۲	۳۳/۴۴
	۱۲۰	۴/۰۰۵	۳۳/۳۳	۳۴	۳۷	۲۸/۹۹
غلظت H_2O_2 (mmol)	۰/۱	۵/۴	۸۶/۶	۸۵	۸۲	۹۲/۸
	۰/۲	۲/۸۶	۹۴/۶۲	۹۶/۱۴	۹۱	۹۶/۷۲
	۰/۳	۳/۶۵	۹۰/۷۳	۹۴/۳	۸۷	۹۰/۸۹
شدت اشعه UV (وات)	۱۵	۱/۸۹۵	۸۹/۶	۸۷/۲۱	۹۰/۵۹	۹۱
	۳۰	۱/۳۴۵	۹۴/۶۲	۹۵/۶۹	۹۳	۹۵/۱۷
	۴۵	۲/۲۱۵	۹۴/۸۹	۹۶/۵۵	۹۶	۹۲/۱۲
	۶۰	۱/۶۴۵	۹۵	۹۶/۲۹	۹۳	۹۵/۷۱
زمان (دقیقه)	۱۰	۱/۴۳	۹۴/۶۲	۹۵/۸۶	۹۵	۹۳
	۲۰	۰/۴۶۵	۹۴/۷	۹۴/۷۳	۹۵/۱۵	۹۴/۲۲
	۳۰	۱/۰۱۵	۹۵	۹۴/۱۵	۹۶/۱۸	۹۴/۶۷
	۴۰	۱	۹۵/۱	۹۶	۹۴	۹۵/۳
غلظت اولیه رنگ اسید سبز ۲۰ (mg/L)	۲۵	۱/۱۳	۹۴/۶۲	۹۳/۲۱	۹۵/۱۸	۹۵/۴۷
	۵۰	۱/۹۳	۹۱/۳۸	۸۹/۱۴	۹۳	۹۲
	۱۰۰	۳/۱۱	۸۷/۶	۸۸/۲۴	۸۴/۱۷	۹۰/۳۹
	۱۵۰	۳	۸۴/۵	۸۷	۸۱	۸۵/۵
	۲۰۰	۲/۵	۸۱	۷۹	۸۴	۸۰

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی انجام شد.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]

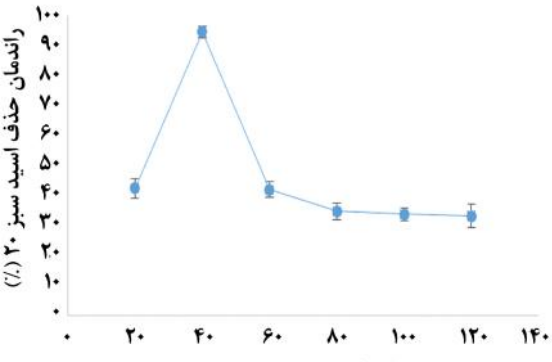
[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

تغییرات راندمان حذف رنگ اسید سبز ۲۰ در محدوده غلظت ۰/۱ تا ۰/۳ میلی‌مول از پراکسید هیدروژن در نمودار ۱ نشان داده‌شده است.



نمودار ۱- تغییرات غلظت های مختلف از پراکسید هیدروژن در شرایط: pH: ۳ ، زمان: ۱۰ دقیقه، غلظت آهن فروس: ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر، توان لامپ UV: ۳۰ وات، غلظت اولیه رنگ: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر در حذف رنگ اسید سبز ۲۰

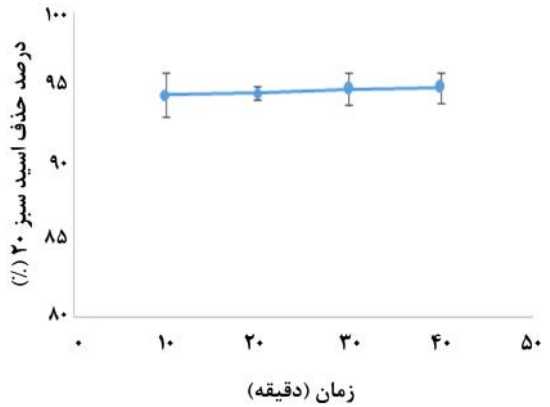
با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن از ۰/۱ به ۰/۲ میلی‌مول میزان حذف از ۸۶/۶ به ۹۴/۶۲ افزایش یافت. با افزودن مقادیر بیشتر پراکسید هیدروژن میزان حذف کاهش و به ۹۰/۷۳ رسید. غلظت بهینه پراکسید هیدروژن ۰/۲ میلی‌مول تعیین گردید. تغییرات راندمان حذف اسید سبز ۲۰ در مقابل غلظت‌های مختلف از آهن فروس در نمودار۲ نشان داده شده است.



نمودار۲- تغییرات غلظت های مختلف از Fe^{2+} در شرایط: pH: ۳ ، زمان: ۱۰ دقیقه، غلظت پراکسید هیدروژن: ۰/۲ میلی‌مول، توان لامپ UV: ۳۰ وات، غلظت اولیه رنگ: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتردر حذف رنگ اسید سبز ۲۰

با افزایش غلظت آهن فروس از ۲۰ به ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف از ۴۲/۶ به ۹۴/۶۲٪ افزایش یافت ولی با افزایش غلظت از ۴۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف کاهش یافت. بنابراین غلظت بهینه آهن ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر تعیین گردید.

تغییرات راندمان حذف اسید سبز ۲۰ در مقابل زمان های مختلف تماس در نمودار ۳ نشان داده شده است.



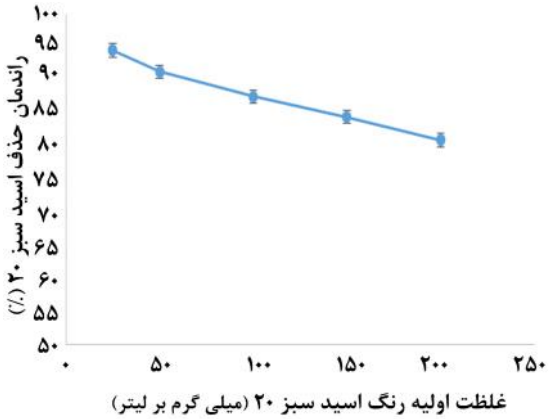
نمودار ۳- راندمان حذف رنگ اسید سبز ۲۰ در زمان‌های مختلف تماس درشرایط: pH: ۳ غلظت پراکسید هیدروژن ۰/۲ میلی‌مول، غلظت آهن فروس: ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر، توان لامپ UV: ۳۰ وات، غلظت اولیه رنگ: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتردر حذف رنگ اسید سبز ۲۰

میزان حذف در زمان ده دقیقه ۹۴/۶۲٪ بود با افزایش زمان از ده دقیقه به چهل دقیقه میزان حذف به ۹۵/۱ رسید که قابل‌توجه نمی‌باشد. بنابراین زمان ده دقیقه به عنوان زمان بهینه در نظر گرفته شد.

تغییرات راندمان حذف در مقابل غلظت‌های اولیه متفاوت از اسید سبز ۲۰ در نمودار ۴ نشان داده‌شده است.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]

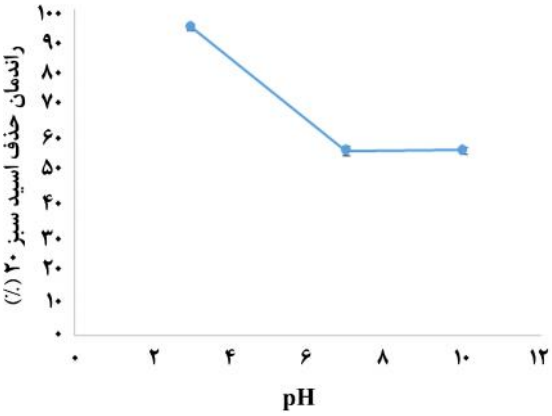
[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]



نمودار ۴- تغییرات غلظت‌های مختلف از رنگ اسید سبز ۲۰ در شرایط pH: ۳ غلظت پراکسید هیدروژن: ۰/۲ میلی‌مول ، غلظت آهن فروس: ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر، توان لامپ UV:۳۰ وات، زمان: ۱۰ دقیقه

با افزایش غلظت اسید سبز۲۰ از ۲۵ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف از ۹۴/۶۲ به ۸۱٪ کاهش یافت.

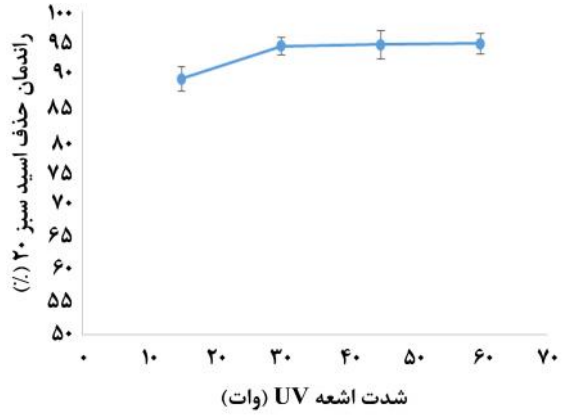
تغییرات راندمان حذف رنگ اسید سبز ۲۰ در مقابل pHهای متفاوت در نمودار ۵ نشان داده شده است.



نمودار ۵- راندمان حذف اسید سبز ۲۰ در pHهای ۳ ، ۷ و ۱۰ در غلظت اولیه رنگ: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت پراکسید هیدروژن: ۰/۲ میلی‌مول، غلظت آهن فروس: ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر، توان لامپ UV: ۳۰ وات، زمان: ۱۰ دقیقه

با افزایش pH از ۳ به ۱۰ میزان حذف از ۹۴/۶۲ به ۵۶/۸٪ کاهش یافت. لذا pH= ۳ به‌عنوان pH بهینه تعیین گردید.

تغییرات راندمان حذف رنگ اسید سبز ۲۰ در مقابل شدت‌های مختلفی از UV در نمودار ۶ نشان داده شده است.



نمودار ۶- راندمان حذف رنگ اسید سبز ۲۰ در شدت تابش‌های مختلف از اشعه UV در pH: ۳ غلظت پراکسید هیدروژن: ۰/۲ میلی‌مول، غلظت آهن فروس: ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر، غلظت اولیه رنگ: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر، زمان: ۱۰ دقیقه

با افزایش شدت تابش از ۱۵ وات به ۳۰ وات میزان حذف از ۸۹/۶ به ۹۴/۶۲ افزایش یافت و با افزایش بیشتر در شدت نور UV تغییر چندانی مشاهده نشد لذا شدت تابش ۳۰ وات به عنوان شده بهینه تابش اشعه UV تعیین گردید.

در مرحله بعد آزمایش در شرایط بهینه به دست آمده فوق بر روی یک نمونه فاضلاب واقعی تهیه شده از کارخانه نساجی یزد باف که مشخصات فیزیکی و شیمیایی این فاضلاب در جدول ۲ نشان داده شده انجام شد.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

جدول ۲- کیفیت شیمیایی و فیزیکی فاضلاب کارخانه نساجی یزدباف و استاندارد محیط زیست در تخلیه پساب به آب‌های سطحی

پارامتر	مقدار	استاندارد برای دفع پساب به آب‌های سطحی (سازمان حفاظت محیط زیست)[۲۶]
COD	۶۶۲-۳۲۸۰ mg/L	۱۰۰
TDS	۹۳۰۰-۱۰۷۰۰ mg/L	-
TSS	۲۲۰۰ mg/L	۶۰
pH	۸	۶/۵-۸/۵
BOD	۲۸۰-۳۲۰ mg/L	۵۰
سرب	۳۰ mg/L	۱
نیکل	۱۶ mg/L	۲
دترجنت	۱۲۰ mg/L	۱/۵
بنزن	۱۵۲ mg/L	-
EC	۴۸۴۰µs/cm	-
کدورت	۶۴۰NTU	-

COD: Chemical Oxygen Demand
TDS: Total Dissolved Solid
TSS: Total Suspended Solid
BOD: Biological Oxygen Demand

- استاندارد ارائه نشده است.

بحث

نتایج حاصل از بررسی تأثیر غلظت پراکسید هیدروژن نشان داد، با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن از ۰/۱ به ۰/۲ میلی‌مول حذف به میزان ۸/۰۲٪ افزایش یافت که به دلیل افزایش تولید رادیکال هیدروکسیل است [۲۷، ۲۱]. با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن از ۰/۲ به ۰/۳ میلی‌مول حذف به میزان ۳/۸۹٪ کاهش یافت. در غلظت‌های بالای پراکسید هیدروژن این ماده به عنوان یک عامل تخریب کننده عمل کرده و در واکنش با رادیکال هیدروکسیل منجر به تولید رادیکال هیدروپروکسیل مطابق واکنش شماره ۴ و ۵ می‌گردد که واکنش‌پذیری کمتری داشته بوده و در تجزیه ترکیبات آلی نقش ندارد [۲۱].

$$OH + H_2O_2 \longrightarrow H_2O^+ HO_2 \quad (۴)$$

$$HO_2 + OH \longrightarrow H_2O+O_2 \quad (۵)$$

نتایج تحقیق Sohrabi و همکاران در ایران نشان داد که با افزایش پراکسید هیدروژن از ۰/۱ تا ۰/۲ میلی‌مول راندمان حذف کارموزین افزایش می‌یابد و با افزایش پراکسید هیدروژن از ۰/۲ به ۰/۳ راندمان حذف کاهش می‌یابد [۲۱]. Bahmani و همکاران در ایران با افزایش پراکسید هیدروژن از ۰/۷۳ میلی‌مول به ۲/۹ میلی‌مول راندمان حذف رنگ راکتیو بلو ۵ افزایش یافت و در مقادیر پراکسید هیدروژن بیش از ۲/۹ میلی‌مول راندمان حذف

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

کاهش یافت [۲۷]. در مطالعه Khandelwal و همکارش در هند با افزایش پراکسید هیدروژن تا ۱ میلی‌لیتر راندمان حذف افزایش یافت و در مقادیر بالاتر راندمان حذف کاهش یافت [۲۸]. نتایج این تحقیقات با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

آهن‌فروس عامل مهم دیگری در فرایند فتوفنتون می‌باشد [۲۱]. نقش آهن فروس در فرایند فتوفنتون آغازگر و کاتالیست کننده فرایند می‌باشد [۲۷]. نتایج حاصل از بررسی غلظت Fe^{2+} نشان داد با افزایش غلظت Fe^{2+} از ۲۰ به ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف افزایش می‌یابد که علت آن بهبود فرایند فتوفنتون و افزایش تولید رادیکال هیدروکسیل می‌باشد [۲۹]. ولی با افزایش غلظت آهن فروس از ۴۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف کاهش یافت. با افزایش آهن فروس این ماده اثر تخریبی داشته و باعث تبدیل رادیکال هیدروکسیل به یون هیدروکسید مطابق واکنش۶ می‌گردد [۲۹، ۲۴].

$$OH+Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + OH^- \quad (۶)$$

Hameed و همکارش در مالزی مشاهده نمودند با افزایش غلظت آهن فروس تا ۰/۱ میلی‌مول میزان حذف مالاشیت گرین افزایش یافت [۲۴]. Mousavi و همکاران در ایران مشاهده نمودند با افزایش یون آهن فرو از ۱۰ به ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف رود آمین B افزایش یافت و با افزودن مقادیر بالاتر آهن فرو میزان حذف کاهش یافت [۳۰]. که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

با توجه به نمودار ۵ بیشترین میزان حذف در pH=۳ مشاهده شد. در مقادیر بالاتر pH ته‌نشینی یون آهن به‌صورت هیدروکسید آهن رخ می‌دهد [۲۱]. درنتیجه غلظت Fe^{3+} و متعاقباً Fe^{2+} کاهش می‌یابد. علاوه بر این در چنین شرایطی پراکسید هیدروژن ناپایدار بوده و رادیکال هیدروکسیل کمتری شکل می‌گیرد که ممکن است منجر به کاهش کارایی فرایند شود [۲۹، ۲۱]

Sohrabi و همکاران در ایران مشاهده نمودند با افزایش pH به بالاتر از ۳/۵ میزان حذف رنگ کارموزین کاهش می‌یابد [۲۱]. El Haddad و همکاران در مراکش با افزایش pH از ۳ به ۷ میزان حذف رنگ نساجی ۴۰٪ کاهش یافت [۲۹]. نتایج مطالعات یادشده با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

با توجه به نتایج حاصله از این مطالعه و سایر مطالعات مشابه، فرایند فنتون شدیداً وابسته به pH بوده و برای فاضلاب‌هایی که در شرایط خنثی و یا قلیایی هستند نیازمند یک مرحله اسیدی‌سازی می‌باشند که از محدودیت‌های این فرایند محسوب می‌شود که در این تحقیق نیز pH فاضلاب بهینه شده و در شرایط اسیدی مورد بررسی قرار گرفت.

غلظت اولیه آلاینده یکی از پارامترهای مهم در فرایند فتوفنتون می‌باشد [۲۱]. نتایج حاصل از بررسی غلظت رنگ اسید سبز ۲۰ نشان داد با افزایش غلظت رنگ میزان حذف کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت میزان زیادی از اشعه UV به‌وسیله مولکول‌های رنگ به دام افتاده و درنتیجه به مولکول‌های پراکسید هیدروژن برخورد نمی‌کنند در نتیجه تولید رادیکال‌های هیدروکسیل در تجزیه نوری کاهش می‌یابد. Sohrabi و همکاران در ایران با افزایش غلظت رنگ کارموزین از ۲۰ به ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده نمودند میزان حذف رنگ کاهش می‌یابد [۲۱]. Mansoorian و همکاران در ایران مشاهده نمودند با افزایش غلظت رنگ از ۱۰ به ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

میزان درصد حذف رنگ کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیقات با این تحقیق همخوانی دارد [۲۳].

نتایج حاصل از بررسی زمان واکنش نشان داد بالاترین میزان حذف در طی ۱۰ دقیقه اول فرایند رخ می‌دهد و با افزایش زمان تغییری در حذف مشاهده نشد. در فرایند فنتون بالاترین میزان تولید رادیکال هیدروکسیل در دقایق ابتدایی فرایند رخ می‌دهد. لذا بالاترین میزان حذف رنگ در ۱۰ دقیقه اول فرایند رخ داد [۲۳]. Mansoorian و همکاران در ایران با استفاده از فرایند فنتون و شبه فنتون در طی ۱۰ دقیقه به راندمان ۹۴٪ حذف رسیدند [۲۳]. که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

نتایج حاصل از بررسی توان‌های مختلف لامپ UV نشان داد بالاترین میزان حذف در توان ۳۰ وات حاصل شد که به دلیل افزایش تولید رادیکال هیدروکسیل می‌باشد. و پس از آن میزان حذف تغییری نداشت Zarjam و همکاران با انجام پژوهشی در ایران به نتیجه مشابهی دست یافتند. طبق نتایج این مطالعه با افزایش توان لامپ UV میزان حذف سورفاکتانت افزایش یافت [۲۰].

با توجه به این‌که فرایند فتوفنتون قادر به تجزیه ترکیبات آلی مقاوم در برابر تجزیه زیستی می‌باشند. لذا پیشنهاد می‌گردد در خصوص سایر رنگ‌ها و مواد غیرقابل تجزیه زیستی مطالعاتی انجام شود و درنهایت به عنوان یک مرحله پیش‌تصفیه قبل از تجزیه زیستی و یا یک مرحله جداگانه به‌منظور تصفیه فاضلاب استفاده شود.

نتیجه‌گیری

فرایند فتوفنتون روشی مناسب برای حذف رنگ اسید سبز از محلول‌های آبی بوده و قادر است باراندمان بالا در مدت زمان کوتاهی این ماده را از فاضلاب واقعی حذف نماید.

تشکر و قدردانی

پژوهش در مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان و با حمایت معاونت تحقیقات و فن‌آوری این دانشگاه انجام یافته، بدین وسیله از مساعدت‌های آنان که هموار کننده انجام این پژوهش بوده است سپاسگزاری می‌نماید.

References

[1] Mahmoodi N.M, Hayati B, Arami M, Lan C. Adsorption of textile dyes on pine cone from colored wastewater: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Desalination* 2011; 268 (1): 117-25.

[2] Rashidzadeh A, Olad A, Salari D. The effective removal of methylene blue dye from aqueous solutions by NaAlg-g-poly (acrylic acid-co-acryl amide)/clinoptilolite hydrogel nanocomposite. *Fibers Polym* 2015; 16 (2): 354-62.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

[3] Anbia M, Salehi S. Removal of acid dyes from aqueous media by adsorption onto amino-functionalized nanoporous silica SBA-3. *Dyes Pigm* 2012; 94 (1): 1-9.

[4] Kamboh MA, Bhatti AA, Solangi IB, Sherazi S, Memon S. Adsorption of direct black-38 azo dye on p-tert-butylcalix [6] arene immobilized material. *Arabian J Chem* 2014; 7 (1): 125-31.

[5] Ajmal A, Majeed I, Malik R.N, Idriss H. Nadeem M.A. Principles and mechanisms of photocatalytic dye degradation on TiO 2 based photocatalysts: a comparative overview. *Rsc Advances* 2014; 4 (70): 37003-26.

[6] Luo X, Zhan Y, Huang Y, Yang L, Tu X, Luo S. Removal of water-soluble acid dyes from water environment using a novel magnetic molecularly imprinted polymer. *J hazard mater* 2011; 187 (1): 274-82.

[7] Thiam A, Sirés I, Garrido J.A, Rodríguez R.M, Brillas E. Effect of anions on electrochemical degradation of azo dye Carmoisine (Acid Red 14) using a BDD anode and air-diffusion cathode. *Sep Purif Technol* 2015; 140: 43-52.

[8] Shirzad-Siboni M, Jafari S.J, Giahi O, Kim I, Lee S-M, Yang J-K. Removal of acid blue 113 and reactive black 5 dye from aqueous solutions by activated red mud. *J Ind Eng Chem* 2014; 20 (4): 1432-7.

[9] Zhang Z, Zheng H. Optimization for decolorization of azo dye acid green 20 by ultrasound and H_2O_2 using response surface methodology. *J hazard mater* 2009; 172 (2): 1388-93.

[10] Gupta V, Gupta B, Rastogi A, Agarwal S, Nayak A. A comparative investigation on adsorption performances of mesoporous activated carbon prepared from waste rubber tire and activated carbon for a hazardous azo dye Acid Blue 113. *J Hazard Mater* 2011; 186 (1): 891-901.

[11] El-Ashtoukhy E.Z, Amin N. Removal of acid green dye 50 from wastewater by anodic oxidation and electrocoagulation A comparative study. *J hazard mater* 2010; 179 (1): 113-9.

[12] Chen Y, Liu C, Nie J, Wu S, Wang D. Removal of COD and decolorizing from landfill leachate by Fenton's reagent advanced oxidation. *Clean Technol Envir* 2014; 16 (1): 189-93.

[13] Oturan M.A, Aaron J-J. Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: principles and applications. A review. *Crit Rev Env Sci Technol* 2014; 44(23): 2577-641.

[14] Wang J.L, Xu L.J. Advanced oxidation processes for wastewater treatment: formation of hydroxyl radical and application. *Crit Rev Env Sci Technol* 2012; 42 (3): 251-325.

[15] Babuponnusami A, Muthukumar K. Advanced oxidation of phenol: A comparison between Fenton,

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

electro-Fenton, sono-electro-Fenton and photo-electro-Fenton processes. *Chem Eng J* 2012; 183: 1-9.

[16] Babuponnusami A, Muthukumar K. A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *J Env Chem Eng* 2014; 2(1): 557-72.

[17] Wang X-J., Song Y, Mai J-S. Combined Fenton oxidation and aerobic biological processes for treating a surfactant wastewater containing abundant sulfate. *J Hazard Mater* 2008; 160 (2–3): 344-8.

[18] Rosales E, Pazos M, Sanromán MA. Advances in the Electro Fenton Process for Remediation of Recalcitrant Organic Compounds. *Chem Eng Technol* 2012; 35 (4): 609-17.

[19] Zanta CLP, Friedrich LC, Machulek A, Higa K.M, Quina FH. Surfactant degradation by a catechol-driven Fenton reaction. *J hazard mater* 2010; 178 (1): 258-63.

[20] Zarjam R, Mostafaei G,Akbari H, Athrizadeh M, Miranzadeh M.B. Assessment of Fenton and photo-Fenton process for removal of sodium dodecylbenzen sulphonate (SDBS) from the aqueous solutions. *J Appl Technol Environ Sanit* 2013; 3 (2): 101-10.

[21] Sohrabi MR, Khavaran A, Shariati S, Shariati S. Removal of Carmoisine edible dye by Fenton and photo Fenton processes using Taguchi orthogonal array design. *Arabian J Chem* 2014; In press

[22] Aleksić M, Kušić H, Koprivanac N, Leszczynska D, Božić AL. Heterogeneous Fenton type processes for the degradation of organic dye pollutant in water the application of zeolite assisted AOPs. *Desalination*. 2010; 257 (1): 22-9.

[23] Mansoorian HJ, Bazrafshan E, Yari A, Alizadeh M. Removal of azo dyes from aqueous solution using Fenton and modified Fenton processes. *Health Scope* 2014; 3 (2): e15507

[24] Hameed B, Lee T. Degradation of malachite green in aqueous solution by Fenton process. *J Hazard Mater* 2009; 164 (2): 468-72.

[25] Ono E, Tokumura M, Kawase Y. Photo-Fenton degradation of non-ionic surfactant and its mixture with cationic or anionic surfactant. *J Environ Sci Health, Part A* 2012; 47 (8): 1087-95.

[26] Yargholi b, Siadat h, Shiati k., Abbasi h., Azimi a.a. Environmental criteria for water reuse and effluents. In: Abfa Ooeatc, editor: Vice president of strategic planning and programming. *Ministry of Energy*; 2006. p: 155.

[27] Bahmani P, Kalantary RR, Esrafili A, Gholami, M, Jafari AJ. Evaluation of Fenton oxidation process coupled with biological treatment for the removal of reactive black 5 from aqueous solution. *J Environ Health Sci Eng* 2013; 11 (1): 13.

[28] Khandelwal D, Ameta R. Use of photo-Fenton reagent in the degradation of Basic Yellow 2 in

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

aqueous solutions. *J Mater Environ Sci* 2014; 5: 667-74.

[30] Mousavi SA, Mohammadi P, Parastar SM, Ghaebzadeh M, Kamari F. Efficiency of Fenton oxidation in Rodamine B removal from synthetic solutions. *water and wastewater*. 2013; 6: 122-9.

aqueous medium. *Res J Recent Sci* 2013; 2 (1): 39-43.

[29] El Haddad M, Regti A, Laamari MR, Mamouni R., Saffaj N. Use of Fenton reagent as advanced oxidative process for removing textile dyes from

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]

Performance Evaluation of Photo-Fenton Process in Removal of Acid Green 20 Dye from Wastewater of Textile Industries

M. Malakootian[1], A. Dehdari rad[2]

Received:11/05/2015 Sent for Revision: 23/06/2015 Received Revised Manuscript: 13/10/2015 Accepted: 26/10/2015

Background and Objective: Acid dyes are synthetic organic compounds with complicated chemical structures which their treatment are difficult and costly. Discharchig of these dyes into the environmen causes harmful effects on ecosystem and water quality. In this study efficiency investigation of photo-fenton process in removal of acid green 20 dye from wastewater of textile industries was assessed.

Materials and Methods: Experimental study in the first half of 2015 was carried out in environmental health engineering research center, Kerman University of Medical Sciences. Factors which influence on removal including: pH, concentrations of H_2O_2 and Fe^{2+} ,light intensity of UV, the initial concentration of acid green 20 dye and contact time were investigated. Examinations under optimum removal conditions on real textile wastewater which its quality predetermined were also carried out. Sampling and examinations were conducted according to standard methods for examination of water and wastewater 20^{th} edition. Descriptive statistics was used for analysis of data.

Results: Optimum removal conditions were pH = 3 [H_2O_2]= 0.2 mMol,[Fe^{2+}]=40 mg/L, UV=30 watt , the initial concentration of acid green 20 dye= 25 mg/L and time= 10 minutes. Maximum removal values were 94.62 and 73 percent for synthetic solutions and real wastewater, respectively.

Conclusion: Photo-Fenton process is an effective way in removal of acid dyes and able to remove these dyes from wastewater with high efficiency.

Key words: Photo-fenton efficiency, Textile wastewater, Acid green 20

Funding: This research was funded by Kerman University of Medical Sciences**.**

Conflict of interest: None declared.

Ethical approval: The Ethics Committee of Kerman University of Medical Sciences approved the study.

How to cite this article: Malakootian M, Dehdari rad A. Performance Evaluation of Photo-Fenton Process in Removal of Acid Green 20 Dye from Wastewater of Textile Industries. *J RafsanjanUniv Med Sci* 2016; 14(10): 827-40. [Farsi]

1- Prof., Environmental Health Engineering Research Center and Dept of Environmental Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

(Corresponding Author) Tel: (034) 33205074, Fax: (034) 33205105, E- mail: m.malakootian@yahoo.com

2- MSc Student in Environmental Health Engineering, Dept of Environmental Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1394.14.10.5.1]