



حذف فوتواکسیداسیونی رنگزای راکتیو آبی ۱۹ طی فرآیند (Solar/S₂O₈²⁻) در حضور راکتورهای متمرکزکننده سهمی وار خورشیدی

محمد حسین رسولی فرد^{۱*}، لیلا قلمچی^۲، رحمت‌اله پورعطا^۳

۱- دانشیار، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، صندوق پستی: ۴۵۳۷۱-۳۸۷۹۱

۲- کارشناسی ارشد شیمی کاربردی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، صندوق پستی: ۴۵۳۷۱-۳۸۷۹۱

۳- استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، صندوق پستی: ۴۵۳۷۱-۳۸۷۹۱

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۴ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۳/۶/۲۰

چکیده

رنگزاهای ترکیبات آلی با ساختار پیچیده هستند که به دلیل سمیت، سرطان‌زایی و عدم تجزیه زیستی یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی محسوب می‌شوند. هدف از این مطالعه بررسی فرآیند اکسایش پیشرفته با استفاده از اکسیدکننده پتاسیم پراکسی دی‌سولفات و نور خورشید در حضور متمرکزکننده‌های سهمی وار خورشیدی جهت حذف رنگزای راکتیو آبی ۱۹ از آب‌های آلوده می‌باشد. شدت تابش نور- خورشید در حضور این نوع از متمرکزکننده‌های خورشیدی افزایش می‌یابد به طوری که پرتوها پس از انعکاس از سطوح آینه‌ای در نقطه کانونی متمرکز می‌گردند. افزایش شدت تابش نور باعث افزایش رادیکال‌های سولفات تولید شده از پتاسیم پراکسی دی‌سولفات می‌شود. در این مطالعه، عوامل موثر بهینه‌سازی شدند. با توجه به نتایج، استفاده از فرآیند فوتوکاتالیزوری همگن به کمک متمرکزکننده‌های نور خورشید می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب در جهت حذف موثر رنگزا از پساب‌های صنایع نساجی معرفی گردد به طوری که ۹۸٪ از این رنگزا در مدت زمان ۶۰ دقیقه در شرایط بهینه حذف گردید.

واژه‌های کلیدی: فرآیند اکسایش پیشرفته، متمرکزکننده‌های نور خورشید، راکتیو آبی ۱۹، تصفیه آب و پساب.

Photo-oxidation Degradation of Reactive Blue 19 by (Solar/S₂O₈²⁻) Process in Presence of Solar Parabolic Concentrator Reactors

M. H. Rasoulifard*, L. Ghalamchi, R. Pourata

Department of chemistry, Faculty of science, University of Zanjan, P.O.Box: 45371-38791, Zanjan, Iran.

Received: 13-03-2014

Accepted: 14-05-2014

Available online: 11-09-2014

Abstract

Dyes belong to organic compound families with complex structure due to their toxicity, carcinogenic and lack of biodegradability properties' are considered as a serious environmental pollutant. The objective of this paper is to investigate decolorization of Reactive Blue 19 from contaminated water by potassium peroxydisulfate and solar light in the presence of solar parabolic concentrator. Solar irradiation intensity will be increased. In this case radiation after reflecting will be concentrated on the focal path of collector. The more light intensity, the more enhancement production of sulfate radical from persulfate would be. In this study evaluation of effective parameter has been investigated. Regards to the results from homogenous photo-oxidation in presence of solar concentrator has been introduced and considered as a superior option for removal of dyes from textile' industry wastewater. Using this collector dramatically increase the performance of advanced oxidation processes respects 98% of RB19 has been mineralized during 60 min in optimal condition. J. Color Sci. Tech. 8(2014), 149-155©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Advanced oxidation process, Solar concentrator, Reactive Blue 19, Water and wastewater treatment.

۱- مقدمه

است که بسیاری از ترکیبات شیمیایی آلی را به مواد معدنی تبدیل می‌کنند [۹]. این رادیکال‌های به شدت فعال هستند و از طریق واکنش‌های شیمیایی و یا فوتوشیمیایی در محل تولید می‌شوند. رادیکال‌های آزاد اکسید کننده قوی هستند و به سرعت با مولکول‌های مواد آلی واکنش می‌دهند و یک اتم هیدروژن از ساختار ماده آلی جدا می‌کنند [۱۰، ۱۱]. این فرآیندهای فوتوکاتالیزوری ممکن است به صورت همگن یا ناهمگن و با استفاده از منابع انرژی طبیعی یا مصنوعی مورد استفاده قرار گیرند. در فرآیندهای فوتوکاتالیزوری ناهمگن با استفاده از منابع مصنوعی اغلب از عوامل کاتالیزور جامد نظیر دی اکسید تیتانیم و اکسید روی و لامپ‌های مولد پرتو فرابنفش استفاده می‌گردد. در صورتی که در فرآیندهای همگن از عوامل کاتالیزور کننده محلول جهت کنترل و بهینه‌سازی فرآیند استفاده می‌گردد. در سال‌های اخیر با توجه به الزامات زیست‌محیطی مرتبط با کنترل مصرف حامل‌های انرژی اغلب متخصصین به دنبال راه‌کارهای مناسب جهت استفاده از منابع طبیعی هستند به طوری که استفاده از انرژی نور خورشید به دلیل فراوانی و رایگان بودن به عنوان یک منبع مناسب جهت تامین انرژی مورد نیاز فرآیندهای فوتوکاتالیزوری و فوتواکسیداسیونی مورد توجه قرار گرفته است. زیرا منابع مصنوعی به دلیل مسایل ایمنی و نیاز به انرژی زیاد با مشکلات اقتصادی روبرو هستند [۱۲]. براین اساس با توجه به مشکلات بهره‌برداری فرآیندهای فوتوکاتالیزوری و مشکلات مرتبط با منابع مصنوعی تامین کننده انرژی، فرآیند فوتواکسیداسیونی جهت حذف رنگزای راکتیو آبی ۱۹ به عنوان یکی از رنگزاهای پرمصرف در صنایع رنگرزی کشور استفاده شده است. همچنین در این پروژه به منظور استفاده بهینه از توان تابشی خورشید از کلکتور یا گردآور نور خورشید استفاده شد. استفاده از کلکتورهای خورشیدی به منظور افزایش شدت تابش خورشید و در نتیجه افزایش تعداد فوتون‌های حاصله برای فعال کردن اکسند، ایده‌ای نو برای افزایش سرعت حذف آلاینده‌ها با روش‌های مرسوم اکسایش پیشرفته می‌باشد که در این پژوهش به بررسی این مهم و عوامل موثر پرداخته شده است. کلکتور خورشیدی دستگاهی است که برای جمع‌آوری انرژی خورشید و انتقال و ذخیره آن در محل بهره‌برداری، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کلکتور انواع مختلفی دارند که معمول‌ترین آنها عبارتند از کلکتورهای تخت و کلکتورهای متمرکزکننده. در این پژوهش از کلکتورهای متمرکزکننده استفاده گردید. این کلکتور متمرکزکننده سهمی‌وار در مقیاس نیمه صنعتی طراحی و ساخته شد و از آن به عنوان فوتوراکتور آزمایش استفاده گردید.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

رنگزای راکتیو آبی ۱۹ از شرکت الوان ثابت تهیه گردید و بقیه مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان تهیه شد. ساختار

وجود رنگ در آب نتیجه وجود مواد رنگی طبیعی و یا وجود پساب‌های رنگی صنعتی به آب‌هاست [۱]. رنگزاهای سنتزی از آلاینده‌های متداول موجود در پساب‌های صنعتی است. صنایع نساجی و رنگرزی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان رنگزاهای سنتزی و مواد شیمیایی جهت فرآیندهای رنگرزی می‌باشند [۲، ۳]. غلظت مواد رنگی در پساب این صنایع نسبت به دیگر مواد شیمیایی کمتر است اما شدت رنگ این پساب‌ها به دلیل وجود مواد رنگی باقی‌مانده در پساب به حدی بالاست که حتی در غلظت‌های خیلی پایین نیز قابل رویت است [۴]. از ویژگی‌های شاخص این پساب‌های رنگی تولید شده در صنایع نساجی، شدت رنگ بالا، درخشندگی، قابلیت رویت رنگ در غلظت‌های بسیار پایین، ساختار شیمیایی متنوع، مقاومت آنها در برابر عبور نور و غیر قابل تجزیه زیستی است [۴، ۵]. برخی از انواع رنگزاهای ویژه رنگزاهای آزو ممکن است سرطان‌زا و جهش‌زا باشند [۵]. در سال‌های اخیر استفاده وسیع از رنگزاهای راکتیو به ویژه رنگزاهای دارای گروه‌های آزو باعث تاثیر بر روی روش‌های متداول تصفیه صنایع نساجی شده است [۶]. رنگزاهای راکتیو سولفوناته، آنیونی و بسیار محلول در آب است نسبت به نور و عوامل مقاوم و در محیط‌های طبیعی بسیار پایدارند و جذب آنها بر روی توده‌های زیستی ضعیف است و عمدتاً دارای تجزیه زیستی ضعیف در شرایط هوازی هستند [۷]. در ترکیب شیمیایی رنگزاهای راکتیو برای بالا بردن درجه تثبیت رنگ مقادیر زیادی نمک و اوره (به ترتیب ۶۰ و ۲۰۰ g/l) وجود دارد و به همین جهت، ۵۰٪-۱۰٪ رنگزا با الیاف واکنش نمی‌دهد و به صورت آبکافت شده در فاز آب باقی می‌ماند. بنابراین هنگام استفاده از این رنگزاهای پساب رنگی با شدت رنگ بالا ایجاد خواهد شد [۶، ۷]. بنابراین دفع آنها به درون آب‌های پذیرنده نه تنها به روی جنبه‌های زیبا شناختی تاثیر می‌گذارد بلکه ایجاد مشکلات جدی زیست‌محیطی از طریق جلوگیری از انتقال و جذب نور خورشید درون جریان‌های آبی و کاهش فعالیت فوتوسنتز محیط‌های آبی می‌نمایند [۴، ۷]. رنگزای راکتیو آبی ۱۹ (RB19) جزو رنگزاهای آنترآکینون و در برابر فرآیند اکسایش شیمیایی بسیار مقاوم است [۷]. تصفیه رضایت‌بخش پساب‌های رنگی به دلیل تنوع زیاد در ترکیب، شدت رنگ و میزان COD بالا، نسبت به آب‌های رنگی طبیعی بسیار مشکل است [۸]. روش‌های متداول فیزیکی و شیمیایی مانند جذب برای حذف رنگ از این پساب‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که اغلب غیرتخریب‌کننده، غیرموثر و گران هستند و منجر به تولید حجم زیاد لجن می‌شوند که خود مشکلات تصفیه و دفع لجن را در پی دارد. این فرآیندهای متداول به دلیل کارایی کمتر و هزینه‌های بهره‌برداری با محدودیت مواجه هستند بر این اساس در سال‌های اخیر فرآیندهای فوتوکاتالیزوری به عنوان یک روش مناسب جهت حذف این آلاینده‌ها مورد توجه قرار گرفته است. حذف آلاینده‌ها در فرآیند اکسیداسیون پیشرفته بر پایه تولید رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل (OH[•]) با قدرت اکسیداسیون بالا

(۱۲) و غلظت پرسولفات پتاسیم (۲، ۰ تا ۳ میلی مول در لیتر) و غلظت اولیه رنگ (۵، ۲۰، ۳۵، ۵۰، ۷۰ میلی گرم در لیتر) در مدت زمان ۶۰ دقیقه درون راکتور سهموی وار خورشیدی انجام گردید. آزمایشات در بازه زمانی ساعات ۱۱ صبح تا ۱۴ عصر در معرض نور خورشید قرار داده شد. اختلاط نمونه‌ها به صورت دستی و با تناوب ۱۰ دقیقه انجام گردید. کنترل و اصلاح pH پساب مذکور در محدوده مورد نظر با استفاده از pH متر و با افزودن اسید سولفوریک و هیدوکسید سدیم یک نرمال انجام گرفت. جهت تعیین طول موج حداکثر جذب رنگ مورد نظر (λ_{max}) از اسپکتروفوتومتر (Shimadzo 160) استفاده و طیف جذب رنگزای راکتیو آبی ۱۹ در محدوده طول موج ۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر تهیه شد. براساس طیف جذبی، λ_{max} رنگزای مورد نظر ۵۹۳ نانومتر تعیین شد. منحنی استاندارد رسم و از رابطه بهترین خط برازش آن جهت تعیین غلظت رنگ در سایر مراحل تحقیق استفاده گردید (در بخش مواد شیمیایی ارائه شده است).

رنگزای RB19 به همراه سایر مشخصات در جدول ۱ نشان داده شده است.

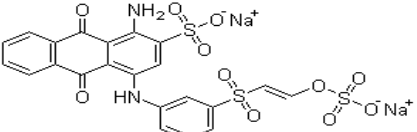
طراحی و ساخت راکتور

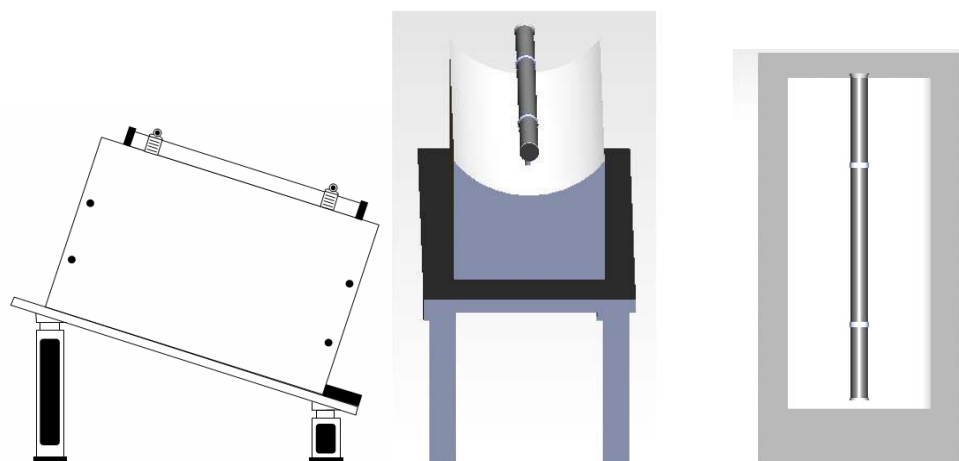
راکتور مورد استفاده در تصویر شماره ۱ نشان داده شده است. همان طور که در تصویر مشاهده می‌شود راکتور مورد استفاده از دو قسمت تشکیل شده است. قسمت بیرونی راکتور از یک منعکس کننده سهمی وار از جنس استیل ۹۸٪ تشکیل شده است. قسمت درونی تر از یک لوله کوارتز تشکیل شده که در واقع نقطه کانونی سهموی وار را تشکیل داده است و محل انجام واکنش‌های شیمیایی است.

۲-۲- روش کار

تهیه محلول مادر رنگزای RB19 (۱۰۰۰ mg/l) با استفاده از حل کردن ۰،۱ g در ۱۰۰ میلی لیتر تهیه شد. در این تحقیق اثرات pH (۲، ۶، ۹،

جدول ۱: مشخصات رنگزای راکتیو آبی ۱۹.

مشخصات	
	ساختار
$C_{22}H_{16}O_{11}N_2S_3Na_2$	فرمول شیمیایی
۶۲۶،۵	وزن مولکولی (g/mol)
۵۹۳	طول موج بیشینه جذب (nm)
۴۶۱۸	جذب مولی (l/mol.cm)
آنتراکینون	نوع کروموفور
۶۰۹	COD محلول رنگزای ۵۰۰ میلی گرم در لیتر قبل از واکنش (mg/l)



شکل ۱: تصویر راکتور متمرکزکننده نور خورشید از ابعاد مختلف.

۳- نتایج و بحث

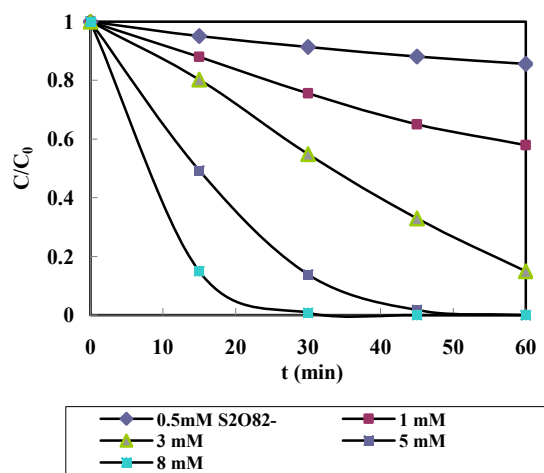
۳-۱- بررسی تاثیر به کارگیری فوتوراکتور متمرکزکننده سهمی وار در تخریب رنگزای راکتیو آبی ۱۹ در حضور نور خورشید در مقایسه با حالت تاریکی و عدم حضور متمرکزکننده در فرآیند (Solar/S₂O₈²⁻)

تغییرات جذب رنگزای راکتیو آبی ۱۹ برحسب زمان برای آزمایشات انجام گرفته در حالت تاریکی، در حضور نور خورشید و عدم متمرکزکننده در مقایسه با حضور متمرکزکننده سهمی وار در مقابل نور خورشید در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود تغییر قابل ملاحظه ای در میزان حذف رنگزا در حالت تاریکی وجود ندارد در حالی که حضور متمرکزکننده با تمرکز هرچه بیشتر تابش نور، باعث افزایش شدت نور و تحریک بیشتر پراکسی دی سولفات می شود و رادیکال های سولفات و هیدروکسیل در زمان کوتاه تری در مقایسه با عدم حضور متمرکزکننده تولید می گردند. غلظت پتاسیم پراکسی دی سولفات استفاده شده در آزمایشات به طور ثابت در تمام آزمایشات و برابر ۱ mM و غلظت رنگزای راکتیو آبی ۱۹ برابر ۲۰ mg/l بوده است. نتایج نشان دادند که حضور متمرکزکننده سهمی وار باعث افزایش بازده حذف RB19 در مدت زمان کوتاه تری می گردد در نتیجه استفاده از متمرکزکننده در فرآیندهای اکسایش پیشرفته مانند (Solar/S₂O₈²⁻) از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه بوده است.

۳-۲- بررسی غلظت اولیه پتاسیم پراکسی دی سولفات در

فرآیند Solar/S₂O₈²⁻ در حضور متمرکزکننده نور

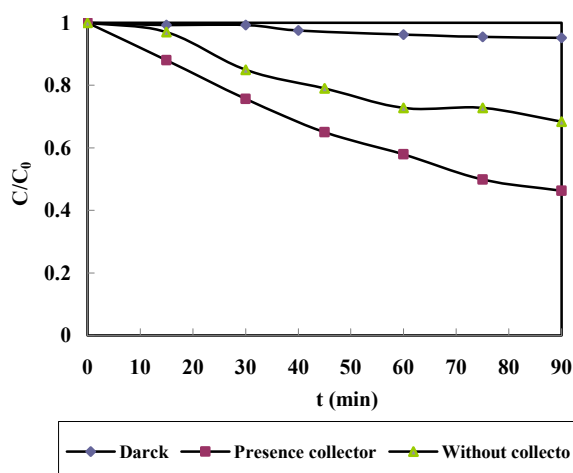
نتایج حاصل از آزمایشات مربوط در داخل محفظه UV و در حضور متمرکزکننده سهمی وار در شکل ۳ به نمایش گذارده شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش غلظت S₂O₈²⁻ از ۰.۲ تا ۳ mM میزان حذف افزایش می یابد. این افزایش با توجه به افزایش تولید رادیکال های هیدروکسیل و رادیکال سولفات در اثر افزایش غلظت پراکسی دی سولفات قابل توجه می باشد. غلظت ۳mM حذفی منطقی با شیب سرعتی مناسبی و دستیابی به حذف ۱۰۰٪ حذف پس از گذشت ۳۰ دقیقه از آغاز واکنش را از خود نشان داده است. این مسئله را می توان به این صورت توجه کرد که افزایش غلظت S₂O₈²⁻ با توجه به معادلات تولید رادیکال های هیدروکسیل در اثر فرآیند فوتولیز افزایش می یابد که با افزایش بیش از حد این رادیکال ها در محیط از میزان حذف کاسته می شود. همچنین با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن براساس واکنش خود پراکسید هیدروژن به صورت روبشگر رادیکال های هیدروکسیل عمل کرده و از غلظت آن در محیط می کاهند [۱۳، ۱۴]



شکل ۳: بررسی تاثیر غلظت اولیه پراکسی دی سولفات بر حذف رنگزای

راکتیو آبی ۱۹ در حضور فوتوراکتور متمرکزکننده سهمی وار.

Solar light, [RB19]₀ = ۲۰ mg/l, pH₀ = natural, T₀ = ۲۵ °C



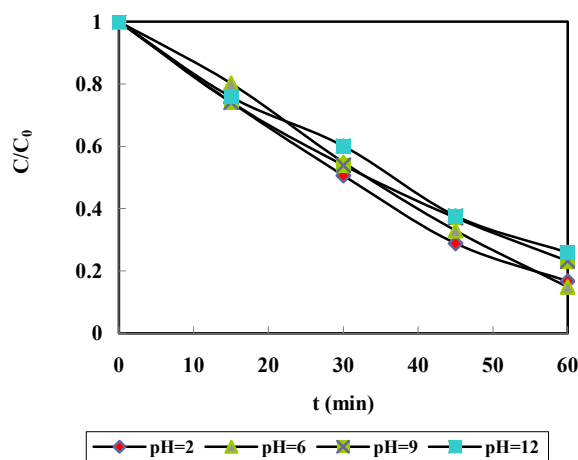
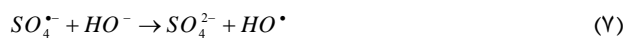
شکل ۴: بررسی تاثیر به کارگیری فوتوراکتور متمرکزکننده سهمی وار در

تخریب رنگزای راکتیو آبی ۱۹ در حضور نور خورشید در مقایسه با حالت

تاریکی و عدم حضور متمرکزکننده در فرآیند Solar/S₂O₈²⁻.

Solar light, [S₂O₈²⁻]₀ = ۱ mM, [RB19]₀ = ۲۰ mg/l, pH₀ = natural, T₀ = ۲۵ °C.

سولفات بیشتر و کارایی بیشتر آنها نسبت به شرایط خنثی و قلیایی میزان حذف رنگزا افزایش می‌یابد. در واقع سرعت حذف رنگزا در مقادیر pH اسیدی نسبت به pH های خنثی و بازی بیشتر است. همچنین در محیط خنثی و بازی طبق واکنش ۷ یون‌های SO₄²⁻ تولید شده طی تبدیل رادیکال‌های سولفات به رادیکال‌های هیدروکسیل تأثیر منفی بر فعالیت HO دارند و با کاهش قدرت اکسندگی HO[•] میزان حذف رنگزا را در این محدوده از pH کاهش می‌دهد [۱۷].



شکل ۵: بررسی تأثیر pH اولیه محلول در میزان حذف رنگزای راکتیو آبی ۱۹.

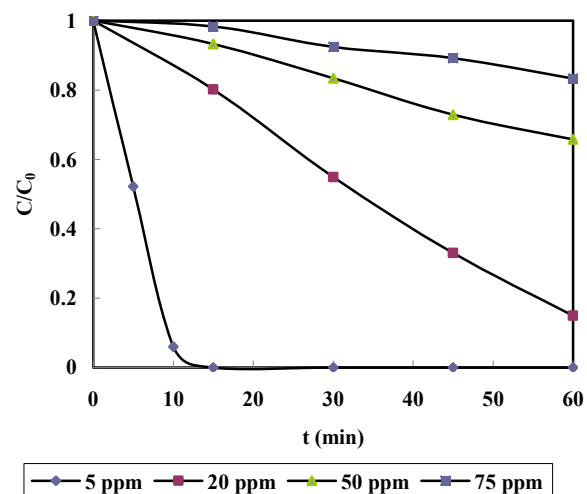
Solar light, [S₂O₈²⁻]₀ = ۳ mM, [RB19]₀ = ۲۰ mg/l, T₀ = ۲۵ °C,

حضور فوتوراکتور سهمی‌وار.

۳-۵- بررسی تغییرات طیف قبل و بعد از حذف رنگزای راکتور آبی ۱۹

جهت بررسی حذف در طول مدت زمان فرآیند اکسایش فوتواکسیداسیونی، آزمایشی به ترتیب زیر طراحی شد که در غلظت ۲۰ mg/l از ماده رنگزا و ۳ mM از پراکسی دی سولفات در مدت زمان ۶۰ دقیقه، در فواصل زمانی ۱۵ دقیقه از محلول نمونه برداری شد و طیف اسپکتروفوتومتری آن رسم گردید. همان‌طور که از طیف‌های حاصل (شکل ۶) مشاهده می‌گردد بعد از ۳۰ دقیقه، پیک‌های بیشینه رنگزای راکتیو آبی ۱۹ به شدت کاهش پیدا کرده است که علاوه بر نشان دادن حذف رنگ (رنگبری)، کاهش پیک در ناحیه ۵۹۳ mM می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که ساختارهای آروماتیک موجود نیز در حال حذف و گسسته شدن هستند [۱۸]. تخریب ماده آلی رنگزا با

۳-۳- بررسی غلظت اولیه رنگزای RB19 در فرآیند Solar/S₂O₈²⁻ نتایج حاصل از انجام آزمایشات مربوطه در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند با افزایش غلظت رنگزا از میزان حذف کاسته می‌شود. از آنجا که غلظت اولیه پراکسی دی سولفات ثابت است زمانی که غلظت رنگزا افزایش می‌یابد، متناسب با آن سرعت تولید رادیکال‌های سولفات و هیدروکسیل افزایش نمی‌یابد. به علاوه غلظت بالای رنگزا از نفوذ نور به عمق محلول جلوگیری می‌کند و در واقع شبیه یک صافی نوری عمل می‌نماید و در پی آن سرعت تولید رادیکال‌های سولفات که بر اثر برخورد فوتون به ذرات S₂O₈²⁻ موجود در محلول تولید می‌شوند، کاهش می‌یابد. بنابراین به دلیل ناکافی بودن عامل اکسندگی سرعت تخریب رنگزا کاهش می‌یابد و از میزان حذف کاسته می‌شود [۱۵]. در این بررسی مشخص شد روش Solar/S₂O₈²⁻ در حذف این رنگزا بسیار موثر است و حتی در غلظت‌های بالا (۵۰ mg/l) رنگبری خوبی مشاهده می‌گردد. مقدار ۲۰ mg/l به عنوان مقدار بهینه انتخاب گردید.

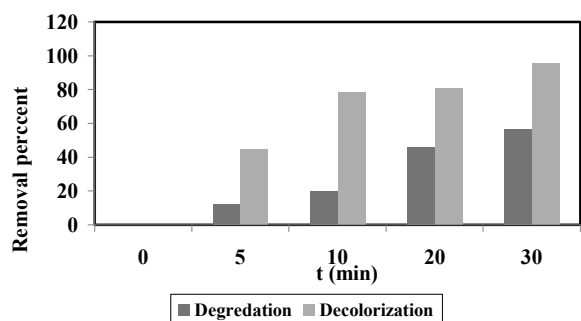


شکل ۴: بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگزا بر حذف رنگزای راکتیو آبی ۱۹ در حضور فوتوراکتور متمرکزکننده سهمی‌وار.

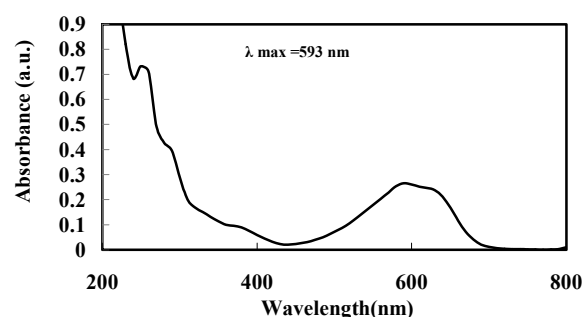
Solar Light, [S₂O₈²⁻]₀ = ۳ mM, pH₀ = natural, T₀ = ۲۵ °C

۳-۴- بررسی تغییرات pH در حذف رنگزای RB19 در فرآیند Solar/S₂O₈²⁻

نتایج مربوط به بررسی pH اولیه محلول بر میزان حذف رنگزا در شکل ۵ جمع‌آوری شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که میزان شدت حذف رنگزا در pH های اسیدی نسبت به pH های خنثی و قلیایی اندکی بیشتر است و بیشینه حذف در pH = ۲ اتفاق می‌افتد با افزایش pH میزان تخریب رنگزا کاسته می‌شود همان‌طور که بیان شد محیط اسیدی می‌تواند تولید رادیکال‌های سولفات را کاتالیز کند [۱۶]. (واکنش‌های ۵ و ۶). پس در شرایط اسیدی به علت تولید رادیکال‌های



شکل ۶: مقایسه میزان رنگزدایی و تخریب آن در شرایط بهینه.

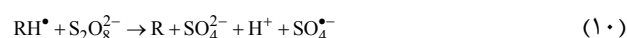
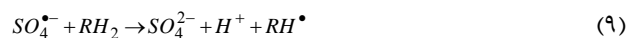


شکل ۷: بررسی تغییرات طیف قبل و بعد از حذف رنگزای راکتیو آبی ۱۹.

Solar light, $[RB19]_0 = 20 \text{ mg/l}$, $[S_2O_8^{2-}]_0 = 3 \text{ mM}$, $pH_0 = \text{natural}$,

$T_0 = 25^\circ\text{C}$.

توجه به واکنش‌های ۴-۱ و ۱۱-۸ انجام می‌گیرد.



۴- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات حاضر نشان داد که رنگزای مورد مطالعه در حضور نور خورشید به صورت منفرد قادر به تجزیه نمی‌باشد. همچنین طی مطالعات مشخص گردید که فرآیند فوتوکاتالیزوری همگن با استفاده از پتاسیم پراکسی دی سولفات و استفاده از پرتو نور خورشید به دلیل مزایای متعدد می‌تواند به عنوان گزینه‌ای برای حذف رنگزا از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد. حضور کلکتورهای سهمی‌وار خورشیدی باعث افزایش کارایی حذف رنگزا گردیده به طوری که با افزایش شدت تابش نور خورشید در این کلکتورها بازده واکنش در مدت زمان کمتری به طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

۵- مراجع

1. T. Y. Chen, C. M. Kao, A. Hong, C. E. Lin, S. H. Liang, Application of ozone on decolorization of Reactive dyes-Orange1 and Blue 19. *Desalination*. 249(2009), 1238-1242.
2. K. Cruz-Gonzalez, O. Torres-Lopez, A. Garcia-Leon, J. L. Guzman-Mar, L. H. Reyes, A. Hernandez- Ramire, et al, Determination of optimum operating parameters for Acid Yellow 36 discoloration by electro Fenton process using BDD cathode. *Chem. Eng. J.* 160(2010), 199-206.
3. M. Zhou, Q. Yu, L. Lei, G. Barton, Electro-Fenton method for the removal of methyl red in an efficient electrochemical system. *Sep. Pur. Technol.* 57(2007), 380-387.
4. P. A. Pekakis, N. P. Xekoukoulotakis, D. Mantzavinos, Treatment of textile dye house wastewater by TiO_2 photocatalysis. *Water Research*. 40(2006), 1276-1286.
5. S. M. De Souza, K. A. Bonilla, A. A. de Souza, Removal of COD and color from hydrolyzed textil Azo dye by combined ozonation and biological treatment. *J. Hazard. Mater.* 179(2010), 35-42.
6. L. Hsieh, H. J. Kang, H. Shyu, Optimization of a ultrasound-assisted nanoscale Fe/Fenton process for dye wastewater through a statistical experiment design method. *Environ. Inform. Arch.* 5(2007), 664-673.
7. M. Ghaneian, M. H. Ehrampoush, G. H. Ghanizadeh, M. Dehvary, M. Abootoraby, T. Jasemizad, Application of solar irradiation/ $K_2S_2O_8$ photochemical oxidation process for the removal of Reactive Blue 19 dye from Aqueous Solutions. *Iran. J. Health. Environ.* 3(2010), 165-176.
8. C. Wang, J. L. Hu, W. L. Chou, Y. M. Kuo, Removal of color from real dyeing wastewater by Electro-Fenton technology using a three-dimensional graphite cathode. *J. Hazard. Mater.* 152(2008), 601-606.
9. F. Al-Momani, E. Touraud, J. R. Degorce-Dumas, J. Roussy, O. Thomas, Biodegradability enhancement of textile dyes and textile wastewater by UV photolysis. *J. Photochem. Photobiol. A.* 153(2002), 191-7.
10. S. Ledakowicz, M. Solecka, R. Zylla, Biodegradation, decolourisation and detoxification of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes. *J. Biotechnol.* 89(2001), 175-84.
11. A. Asadi, M. Mehrvar, Degradation of aqueous methyl tert-butyl ether by photochemical, biological, and their combined processes. *Int. J. Photoenergy*. DOI 10.1155/IJP/2006/19790 1-7.
12. M. Muruganandham, N. Shobana, M. Swaminathan, Optimization of solar photocatalytic degradation conditions of Reactive Yellow 14 azo dye in aqueous TiO_2 . *J. Molecul. Catal. A: Chemical*. 246(2006), 154-161.
13. K. C. Huang, Zhao, G. E. Hong, A. Dahmani, P. A. Block, Degradation of volatile organic compound with thermally activated proxysulfate oxidation. *Chemosphere*. 61(2005), 551-560.
14. D. Salari, A. Niaei, S. Aber, M. H. Rasoulifard, The photooxidative destruction of C.I. Basic Yellow 2 using

- UV/S₂O₈²⁻ process in a rectangular continuous photoreactor. *J. Hazard. Mater.* 166(2009), 61-66.
15. L.G. Devi, S. Girish Kumar, K. Mohan Reddy, Photo Fenton like process Fe³⁺/(NH₄)₂S₂O₈/UV for the degradation of di azo dye congo red using low iron concentration. *Cent. Eur. J. Chem.* 7(2009), 468-477.
16. C. Liang, Z. S. Wang, C. J. Bruell, Influence of pH on persulfate oxidation of TCE at ambient temperatures. *Chemosphere.* 66(2000), 106-113.
17. S. Yang, P. Wang, X. Yang, L. Shan, W. Zhang, X. Shao, R. Niu, Degradation efficiency of azo dye Acid Orange 7 by the interaction of heat, UV and anions with common oxidant. *J. Hazard. Mater.* 179(2010), 552-558.
18. R. Bayat bid koopeh, B. Keyvani, M. Ebrahimi, Decolorization and Mineralization of Acid Red 206 dye in pollutant water using ZnFe₂O₄/Clinoptilolite as a Nanophotocatalyst in circulating fluidized bed reactor (CFBR) with taguchi method. *J. Color. Sci. Tech.* 6(2012), 187-196.