

حذف رنگزای اسید آبی ۲۵ با استفاده از پرسولفات فعال شده توسط Fe^{2+}

زینب قربانی^۱، بیتا آیتی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه

تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

Zeinab_ghorbani@modares.ac.ir

خلاصه

مواد رنگزا از مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در فاضلاب صنایع نساجی می‌باشند که غالباً سرطان‌زا، جهش‌زا و غیر قابل تجزیه زیستی بوده، لذا حذف آن‌ها از پساب از لحاظ زیست‌محیطی حائز اهمیت است. هدف از این پژوهش، بررسی کارایی نمک پرسولفات سدیم در حذف رنگزا از محیط‌های آبی بود. به منظور بهینه‌سازی هر کدام از پارامترها از روش تک فاکتوری استفاده شد. در این مطالعه تجربی تأثیر سه پارامتر اصلی شامل pH، غلظت نمک پرسولفات سدیم و غلظت نمک آهن (II) در حذف رنگزا از محیط‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست‌آمده از آزمایشات، راندمان بهینه حذف ۹۲ درصد در مدت‌زمان ۶۰ دقیقه و تحت شرایط بهینه pH برابر با ۳، غلظت اولیه نمک پرسولفات سدیم ۵۰۰ mg/L و غلظت اولیه نمک آهن (II) سولفات ۱۰۰ mg/L بدست آمد. با توجه به نتایج حاصل مشخص شد استفاده از نمک پرسولفات سدیم فعال‌شده با یون آهن دو ظرفیتی می‌تواند یک فرایند کارآمد برای حذف رنگزا از پساب‌های صنعتی باشد.

کلمات کلیدی: رادیکال سولفات، پرسولفات، آهن دو ظرفیتی، رنگزا، محلول‌های آبی

۱- مقدمه

رنگزها از آلاینده‌های متداول موجود در فاضلاب‌های صنعتی می‌باشند و صنایع نساجی و رنگرزی از مهمترین مصرف‌کنندگان این ترکیبات به شمار می‌روند. غلظت مواد رنگی در فاضلاب این صنایع نسبت به دیگر مواد شیمیایی بالاست و ورود آن‌ها به آب‌های پذیرنده با توجه به خصوصیات این فاضلاب‌ها از قبیل ساختار شیمیایی متنوع، مقاومت در برابر نور، غیر قابل تجزیه بیولوژیکی بودن، دامنه pH متغیر و از همه مهم‌تر، سمیت و سرطان‌زا بودن به دلیل ساختار حلقوی آروماتیک، تأثیرات نامطلوبی بر محیط زیست و اکوسیستم موجود خواهد گذاشت [۱].

استاندارد پتانسیل کاهش پرسولفات، بیشترین مقدار را برای استفاده به عنوان اکسیدکننده در فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته به خود اختصاص داده است. با این حال در دمای اتاق و در غیاب کاتالیزت، واکنش‌های اکسیداسیون پرسولفات بسیار آهسته است. فعال شدن پرسولفات که شامل ازهم‌گسیختگی پیوند O-O است، رادیکال سولفات ($SO_4^{\cdot-}$) با قابلیت اکسیدکنندگی بالا را تولید می‌کند [۲]. پرسولفات می‌تواند به روش‌های مختلف مانند گرما، اشعه UV، قلیابیت، کربن فعال و یون‌های فلزی فعال شود. پتانسیل اکسایش-کاهش رادیکال سولفات تولیدشده از طریق فعال‌سازی پرسولفات، بستگی به نحوه فعال‌سازی آن دارد [۳].

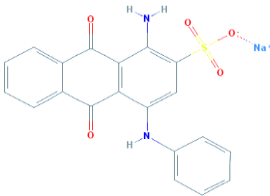
تحقیقات فراوانی در زمینه حذف آلاینده‌های مختلف با استفاده از نمک پرسولفات سدیم فعال شده با روش‌های گوناگون انجام شده است. به عنوان مثال، Hussain و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی، اکسیداسیون آرسنیک موجود در محلول‌های آبی با استفاده از فرایند پرسولفات فعال شده توسط آهن صفر ظرفیتی را بررسی کردند که راندمان حذف برابر با ۹۶٪ بدست آمد [۴]. Izadifard و همکاران (۲۰۱۷) مطالعات خود را در زمینه کاهش سولفولان با استفاده از پرسولفات فعال شده با UV و ترکیب UV و ازن انجام دادند. در این پژوهش، راندمان حذف پس از ۲۵ دقیقه به میزان ۶۰٪ رسید [۵]. Norzaee و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی از پرسولفات فعال شده توسط گرما برای حذف پنی‌سیلین G استفاده کردند که به راندمان حذف ۹۷/۲۵٪ آلاینده رسیدند [۶].

با توجه به تحقیقات صورت گرفته در زمینه کارایی نمک پرسولفات سدیم در حذف آلاینده‌ها، هدف از این تحقیق بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر فرایند در حذف رنگزای اسید آبی ۲۵ به عنوان آلاینده شاخص به روش تک‌فاکتوری بود.

۲- مواد و روش‌ها

رنگ اسید آبی ۲۵، از شرکت الوان ثابت همدان، ترکیبات شیمیایی شامل هیدروکسید سدیم و اسیدسولفوریک از شرکت مجللی و پرسولفات سدیم و آهن (II) سولفات از نمایندگی شرکت مرک آلمان تهیه شد. در این پژوهش از pH متر دیجیتالی و اسپکتروفتومتر نوع UV-Visible مدل DR 4000 ساخت شرکت Hach، همزن مغناطیسی مدل H5-860 ساخت شرکت طیف‌آزما استفاده شد. مشخصات رنگزای آزمایش شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات رنگزای اسید آبی ۲۵

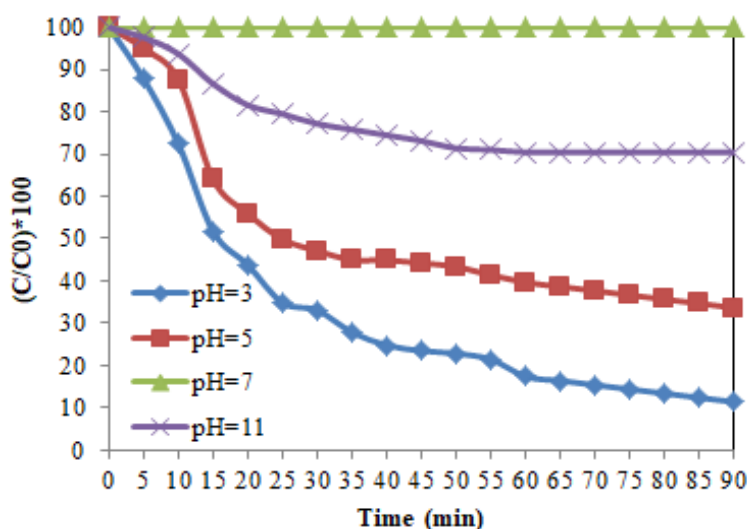
عنوان	توضیحات
فرمول شیمیایی	$C_{20}H_{13}N_2NaO_5S$
ساختار شیمیایی	
جرم مولکولی (g/mol)	۴۱۶/۳۰۸
pH رنگزا	۷/۹۳

به منظور بررسی عملکرد نمک پرسولفات سدیم در حذف رنگزا از یک بشر آزمایشگاهی به حجم مفید ۵۰۰ میلی‌لیتر و برای اختلاط نمونه‌ها از یک همزن مغناطیسی استفاده شد. قبل از قرائت نمونه‌ها و به منظور رفع اثر سوء احتمالی حضور لجن روی نتایج، نمونه‌ها به مدت ۲ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ rpm سانتریفیوژ می‌شدند. مقادیر جذب رنگ باقی‌مانده در نمونه‌ها در طول موج ۶۰۲ nm اندازه‌گیری می‌شد. نکته قابل ذکر اینکه کلیه آزمایشات در دمای اتاق (۲۵ °C) و دور همزن ۱۰۰ rpm انجام شدند.

۳- نتایج

۳-۱- تعیین pH بهینه

به منظور تعیین pH بهینه به عنوان یکی از پارامترهای اصلی این فرایند، نتایج آزمایش حذف رنگزا در pHهای مختلف در شکل ۱ و در فواصل زمانی ۵ دقیقه ارائه شده است. طبق نتایج، با افزایش تدریجی pH از شرایط اسیدی به محدوده قلیایی، بیشتر آهن موجود در سیستم اکسیداسیون، به حالت Fe^{3+} تغییر گونه می‌دهد و از آنجایی که تنها Fe^{2+} قادر به فعال‌سازی $S_2O_8^{2-}$ است، با کاهش نسبت Fe^{2+} به Fe^{3+} کارایی فرایند به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین در pHهای بالای ۳، حلالیت باقی‌مانده در محلول کاهش و آهن به حالت کلئوئیدی در می‌آید. این پدیده نیز به نوبه خود کارایی را کاهش می‌دهد. با افزایش بیشتر pH به بالای ۹، گونه‌های اوکسی هیدروکسیدهای فریک $Fe(OH)^{3+}$ ، $Fe(OH)^4$ ، $Fe(OH)^3$ و $Fe_2(OH)_3^{4+}$ تولید می‌شود. این گونه از آهن، توانایی بسیار ناچیزی در فعال‌سازی $S_2O_8^{2-}$ دارند [۷].



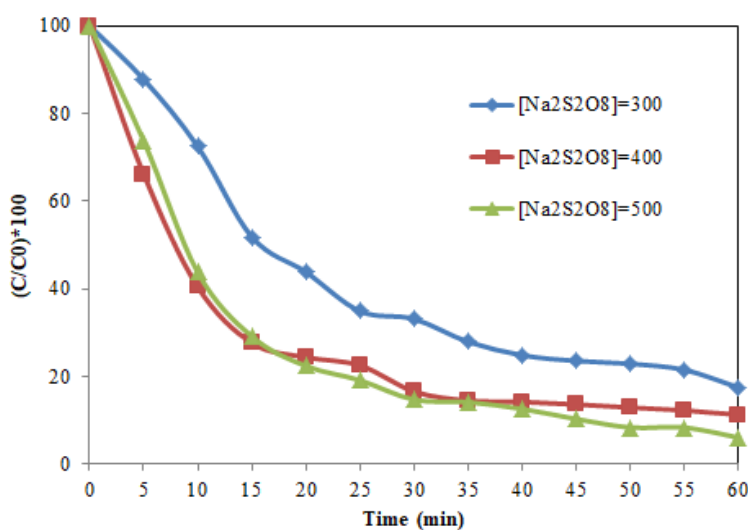
شکل ۱- تغییرات غلظت رنگزا در واحد زمان برای مقادیر مختلف pH

$[Na_2S_2O_8]=300 \text{ mg/L}$ ، $[Dye]=50 \text{ mg/L}$ ، $[Fe^{2+}]=100 \text{ mg/L}$

با توجه به نتایج حاصل از آزمایشات ملاحظه می‌شود حداکثر راندمان حذف رنگزا در pH برابر با ۳ و در مدت زمان ۶۰ و ۹۰ دقیقه برابر با ۸۳ و ۸۸ درصد بدست آمد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت راندمان حذف رنگزا در این سیستم در صورت کاهش pH به کمتر و بیشتر از ۳ کاهش می‌یابد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل، pH برابر با ۳ به عنوان مقدار بهینه این فرایند انتخاب شد. همچنین به دلیل اینکه بیشترین حذف رنگزا در pHهای مختلف در ۶۰ دقیقه اول آزمایش رخ داد، زمان بهینه آزمایش برابر با ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

۳-۲- تعیین غلظت اولیه نمک پرسولفات سدیم

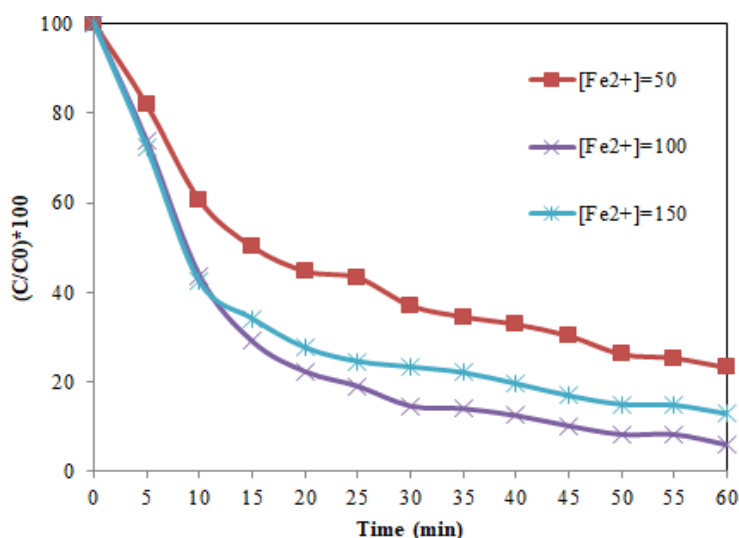
آزمایشات انجام شده به منظور به دست آوردن مقدار غلظت بهینه یون پرسولفات، در شرایط بهینه pH و غلظت رنگزای 50 mg/L و با ثابت نگه داشتن پارامترهای دیگر انجام شد که نتایج در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات غلظت این ترکیب به عنوان عامل اصلی تولید SO_4^- ، تأثیر محسوسی در کارایی حذف رنگ داشت. با توجه به اینکه راندمان حذف رنگزا در یون پرسولفات با غلظت 500 mg/L تقریباً برابر با ۹۲٪ است، این غلظت به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد.



شکل ۲- تغییرات غلظت رنگزا در واحد زمان برای مقادیر مختلف غلظت پرسیولفات سدیم
[Dye]=۵۰ mg/L ، [Fe²⁺]=۱۰۰mg/L، pH =۳

۳-۳- تعیین غلظت بهینه نمک آهن (II) سولفات

آزمایشات انجام شده در این مرحله به منظور به دست آوردن مقدار غلظت بهینه یون آهن (II)، در شرایط بهینه pH، غلظت رنگزا و غلظت یون پرسیولفات و با ثابت نگه داشتن پارامترهای دیگر انجام شد که نتایج در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- تغییرات غلظت رنگزا در واحد زمان برای مقادیر مختلف غلظت سولفات آهن (II)
[Dye]=۵۰ mg/L ، [Na₂S₂O₈]=۵۰۰mg/L، pH =۳

با توجه به نتایج آزمایشات می توان نتیجه گرفت یون آهن رفتار دوگانه از خود نشان می دهد. با افزایش غلظت نمک آهن (II) سولفات از ۵۰ mg/L تا ۱۰۰ mg/L، راندمان حذف افزایش می یابد. اما با افزایش غلظت از ۱۰۰ mg/L تا

۱۵۰ mg/L، راندمان حذف کاهش می‌یابد. اضافه کردن بیش از حد آهن دوظرفیتی این است که به عنوان رباينده رادیکال پرسولفات عمل نموده و باعث تولید گونه‌های دیگر سولفات می‌شود که قدرت اکسیداسیون کمتری دارند. واکنش انجام‌شده در رابطه ۱ نشان داده شده است [۸].



با توجه به اینکه راندمان حذف رنگزا یون آهن دوظرفیتی با غلظت ۱۰۰ mg/L تقریباً برابر با ۹۲٪ است، این غلظت به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، عملکرد حذف رنگزای اسید آبی ۲۵ با استفاده از نمک پرسولفات سدیم و پارامترهای مؤثر در این فرایند به روش تک‌فاکتوری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد در مدت‌زمان ۶۰ دقیقه و در شرایط بهینه $\text{pH} = 3$ ، $[\text{Fe}^{2+}] = 100 \text{ mg/L}$ و $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8] = 500 \text{ mg/L}$ راندمان حذف ماده رنگزا ۹۲ درصد بدست آمد.

۵- مراجع

1. Khataee, A., Akbarpur, A., Vahid, B., (2013). "Photoassisted electrochemical degradation of an azo dye using Ti/RuO₂ anode and carbon nanotubes containing gas-diffusion cathode", Journal of the Taiwan of Chemical Engineers, 727, pp: 1-7.
2. Ike, I. A., Linden, K., Orbell J. D., Duke M., (2018). "Critical review of the science and sustainability of persulfate advanced oxidation processes", Chemical Engineering Journal, 338, pp: 651-669.
3. Wang J., Wang S., (2018). Activation of persulfate (PS) and peroxymonosulfate (PMS) and application for the degradation of emerging. Chemical Engineering Journal. 334: 1502-1517.
4. Hussain I., Li M., Zhang Y., Huang S., Hayat W., Li Y., Du X., Liu G., (2017). Efficient oxidation of arsenic in aqueous solution using zero valent iron-activated persulfate process. Journal of Environmental Chemical Engineering. 5 (4): 3983-3990.
5. Izadifard M., Achari G., Langford C. H., (2017). Degredation of sulfolane using activated persulfate with UV and UV-Ozone. Water Research. 125: 325-331.
6. Norzaee S., Taghavi M., Djahed B., Mostafapour F. K., (2018). Degradation of Penicillin G by heat activated persulfate in aqueous solution. Journal of Environmental Management. 215: 316-323.
7. Zhou L., Zheng W., Ji Y., Zhang J., Zeng C., Zhang Y., Wang Q., Yang X., (2013). Ferrous-activated persulfate oxidation of arsenic (III) and diuron in aquatic system. Journal of Hazardous Materials. 263: 422-430.
8. Jiang X., Wu Y., Wang P., Li H., Dong W., (2013). Degradation of bisphenol A in aqueous solution by persulfate activated with ferrous ion. Environmental Science and Pollution Research. 20(7): 4947-4953.