حذف رنگ رآکتیو سیاه 5(RB5) از محلولهای آبی با استفاده از فرآیند ازن زنی کاتالیزوری با خاکستر استخوان

قربان عسگری[1] ، ادریس حسین زاده[2*]، محمود تقوی[3]، سید جواد جعفری[4]، عبدالمطلب صیدمحمدی[1]

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به اینکه رنگها یکی از مهمترین آلاینده‌های بسیاری از فاضلاب صنایع می‌باشند و در ایران قسمت اعظم رنگ رآکتیو سیاه۵ به دلیل استفاده در صنایع نساجی به محیط دفع می‌گردد. این مطالعه با هدف کلی بررسی استفاده از فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری با خاکستر استخوان در حذف رنگ رآکتیو سیاه ۵ (RB5) برروی فاضلاب سنتتیک انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه تجربی، خاکستر استخوان در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از کورهٔ الکتریکی و در دمای C° ۸۰۰ در ۲ ساعت زمان ماند تهیه شد. خاکستر استخوان با استفاده از آسیاب برقی خرد شد و با الک استاندارد ASTM در محدودهٔ مش ۱۰ تا ١٦ دانه-بندی گردید. جهت تعیین مشخصات ساختاری خاکستر استخوان از تکنیکهای پراکنش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد و برای تعیین سطح ویژهٔ آن از ایزوترم (Brouner Emmet Teller) BET استفاده شد. غلظت رنگ در نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ٦۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. در این مطالعه از یک دستگاه ازن‌زن با دبی اکسیژن ورودی٤ لیتر در دقیقه برای تولید مقدار ۵ گرم ازن در ساعت استفاده شده است.

یافته‌ها: ساختار خاکستر استخوان تهیه شده در این مطالعه غالباً از اکسیدکلسیم تشکیل شده است. میزان سطح مخصوص آن m^2/g ۹۲/۵ می‌باشد. نتایج آزمایشها نشان داد که میزان حذف رنگ رآکتیو سیاه ۵ با افزایش غلظت اولیه رنگ و pH کاهش می‌یابد. حذف رآکتیو سیاه ۵ در مدت زمان تماس ٤۰ دقیقه تکمیل گردید.

نتیجه‌گیری: خاکستر استخوان به عنوان یک کاتالیست ارزان و مناسب می‌تواند در تصفیهٔ آب و فاضلاب در فرآیند ازن‌زنی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه pH بهینه حذف رنگ رآکتیو سیاه در محدودهٔ قلیایی قرار دارد و اغلب فاضلابهای صنایع نساجی دارای pH قلیایی هستند، به نظر می‌رسد که این فرآیند می‌تواند در حذف رنگ از فاضلاب این‌گونه صنایع مناسب باشد.

کلید واژگان: رآکتیو سیاه ۵، ازن زنی کاتالیزوری، خاکستر استخوان، رنگبری.

۱- دکترای بهداشت محیط، استادیار دانشکده بهداشت.
۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه.
۳- کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت.
۴- کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت.

۱- دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
۲- دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.
۳- دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران.
۴- دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

* نویسندهٔ مسؤول:
ادریس حسین زاده؛ دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.
تلفن: ۰۰۹۸۹۳۵۸۸٤۰۳٦۵
Email: Hoseinzadeh@lums.ac.ir

دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۷/۱۵ دریافت مقالهٔ اصلاح‌شده: ۱۳۹۱/۴/۱۹ اعلام قبولی: ۱۳۹۱/٤/۲۱

مقدمه

رنگها، مواد آلی با ساختار پیچیده، غالباً سمی، سرطان‌زا، جهش‌زا، غیر قابل تجزیه بیولوژیک و پایدار در طبیعت هستند. بخش قابل توجهی از این رنگها در صنایع نساجی استفاده می‌شود که از طریق فاضلاب این صنایع وارد محیط زیست می‌شود که تهدید جدی برای محیط زیست و سلامتی انسان است (۱، ۲). تخلیه فاضلاب‌های رنگی ناشی از صنایع در آبهای پذیرنده منجر به بروز پدیدهٔ اتروفیکاسیون و تداخل در اکولوژی آبهای پذیرنده می‌شود (۱-٤). رنگها دارای خاصیت سرطان‌زایی و جهش‌زایی بوده و همچنین باعث آلرژی و مشکلات پوستی نیز می‌شوند (۵, ٦). از آنجایی‌که تصفیه فاضلاب در صنایع مختلف هزینه‌بر می‌باشد، صاحبان صنایع کمتر تمایل به این کار دارند در صورتی‌که بتوان از روش‌های ارزان قیمت و مناسب برای حذف رنگ از فاضلاب استفاده شود و با انجام عملیات پیش تصفیه توسط صاحبان صنایع به گونه‌ای که برای آنان مقرون به صرفه باشد می‌توان تا حدی مشکلات مذکور را کاهش داد. برای رنگ‌زدایی فاضلاب صنایع نساجی روشهای متفاوتی وجود دارد که از جمله می‌توان به روشهای انعقاد و لخته-سازی، تصفیه بیولوژیکی، اکسیداسیون شیمیایی، الکتروشیمیایی، تعویض یون و فرآیند جذب سطحی اشاره نمود (۳, ۷-۱۰). در فرآیند اکسیداسیون انواع مختلفی از اکسیدکننده‌ها در فرآیندهای حذف رنگ مورد بررسی قرار گرفته است که از جمله: کلر، ازن، هیدروژن پراکسید را می‌توان نام برد (۳، ٤). استفاده از کلر و ترکیبات آن در رنگ‌بری از نظر هزینه ارزان می‌باشد، ولی از نظر محیطی قابل قبول نیست، خصوصاً اگر فاضلاب مستقیماً به رودخانه تخلیه گردد. پراکسید هیدروژن و آهن برای اکسیداسیون فاضلابها بسیار مناسب هستند. به ویژه وقتی که مواد سمی در فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی مشکل ایجاد می‌کنند. علاوه بر حذف رنگ، مواد سمی را نیز کاهش می‌دهند (۱۱-۱۳). ازن به عنوان یک اکسیدکنندهٔ قوی بسیاری از آلاینده‌های جزئی و مقاوم موجود در آب را می‌تواند حذف کند و کاربرد آن دارای مزایای زیادی است. به‌کارگیری ازن به تنهایی برای حذف ترکیبات آلی طبیعی با توجه به مطالعات صورت گرفته دارای راندمان کمتری است. همچنین به دلیل برخی محدودیتها نظیر اکسیداسیون جزئی آلاینده‌ها، حلالیت کم و تولید محصولات جانبی که ممکن است در برخی موارد سمی‌تر از آلایندهٔ اولیه باشد، کاربرد آن در برخی موارد از نظر اقتصادی و بهداشتی با محدودیتهایی مواجه است (١٤-١٦). با توجه به برخی مطالعات انجام شده به-کارگیری ازن به تنهایی برای حذف ترکیبات آلی، دارای راندمان پایینی است. با توجه به دوز ازن به‌کار برده شده در تصفیه آب، ازن به تنهایی نمی‌تواند ترکیبات آلی را کاملاً اکسید کرده و باعث معدنی شدن آنها شود. امروزه برای بالا بردن راندمان ازن‌زنی و بهبود این فرآیند، تلفیق فرآیند ازن‌زنی و کاتالیزورها مورد توجه قرار گرفته است (۱۷). در مطالعات اولیه کربن فعال به عنوان کاتالیزور در فرآیند ازن‌زنی متداول برای حذف ترکیبات سمی استفاده شده است. نتایج این مطالعات مشخص ساخته است که ترکیب ازن و کربن فعال، باعث اثر هم‌افزایی شده و در حذف آلاینده‌های مختلف از قبیل فتالات هیدروژن مشخص شده، فرآیند تلفیقی باعث حذف بیشتر این آلاینده می‌شود (۱۷). موسوی و همکاران در سال ۲۰۰۹، ازن‌زنی کاتالیستی با نانوکریستال‌های اکسید منیزیوم را در حذف رنگ راکتیو رد ۱۹۸ مورد مطالعه قرار دادند (۱۲)، نتایج مطالعه این محققان نشان داد که فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری در زمان ۵ دقیقه در مقایسه با فرآیند ازن‌زنی تنها (٥٤درصد) قادر است که رنگ راکتیو رد ۱۹۸ را با راندمان ۹۹ درصد حذف کند. سرمین (Sermin) و همکارانشان در سال ۲۰۰۷ تأثیر فرآیند ازن‌زنی در حضور کربن فعال را در حذف رنگ‌های راکتیو (با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بررسی کردند. آنها گزارش نموده‌اند که غلظت ۱۰ گرم در لیتر کربن فعال باعث حذف ۵۰ درصد اکسیژن مورد نیاز شیمیایی حاصل از این رنگ می‌شود. این محققان گزارش کرده‌اند که واکنش سطحی و تأثیر

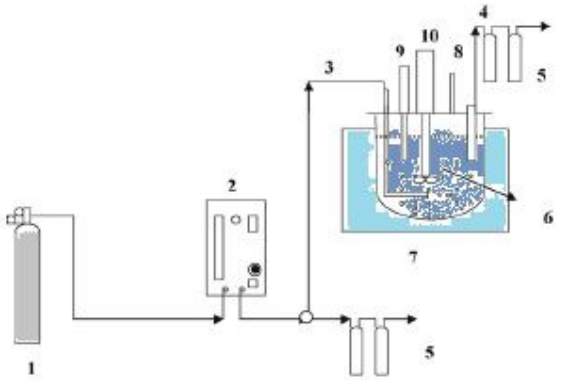
متقابل گروه‌های عاملی در ساختار رنگ و کاتالیزور عامل اصلی در تجزیه و حذف رنگ راکتیو زرد ۱۴۵ می‌باشد (۱۸). عسگری و همکاران در مطالعه‌ای از فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری با پامیس جهت حذف اسید هیومیک از محلول‌های آبی استفاده کرده‌اند. نتایج مطالعه آنها نشان داده است که استفاده از کاتالیزور ممکن است، باعث افزایش سرعت تجزیه اسید هیومیک گردد و در نتیجه دوز مورد نیاز ازن جهت حذف آلاینده را کاهش دهد (۱۹). عسگری و همکاران در مطالعه‌ای از خاکستر استخوان به‌عنوان جاذب برای حذف رنگ متیلن‌بلو از فاضلاب سنتتیک استفاده کردند؛ این محققان استفاده از این جاذب در فرآیندهای تلفیقی چون ازن‌زنی کاتالیزوری برای افزایش کارآیی آن را پیشنهاد کرده‌اند (۲۰). این مطالعه با هدف حذف رنگ راکتیو سیاه ۵ از محلولهای آبی با استفاده از فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری با خاکستر استخوان انجام شد. همچنین تأثیر پارامترهایی چون: زمان تماس، pH، دوز کاتالیزور و غلظت اولیۀ رنگ بر میزان رنگ‌بری مورد بررسی قرار گرفته است.

روش بررسی

تحقیق حاضر یک مطالعه تجربی است. آزمایش جذب در سیستم ناپیوسته انجام گرفت و فاکتورهای مؤثر بر انجام فرآیند مورد مطالعه شامل: زمان تماس، pH، دوز کاتالیست و غلظت رنگ در مراحل جداگانه بررسی شدند. به‌طوری‌که در هر یک از آزمایش‌ها، غیر از فاکتور متغیر، دیگر فاکتورها ثابت در نظر گرفته می‌شدند؛ پس از تثبیت شرایط برای تعیین اثر هر متغیر در هر مرحله بر فرآیند، عملیات نمونه‌برداری صورت گرفت. برای انجام این تحقیق از نمونه‌های سنتتیک رنگ راکتیو سیاه ۵ محصول شرکت مرک آلمان (ساختگی) با استفاده از آب دیونیزه استفاده شد.

برای انجام آزمایشها، ابتدا پودر رنگ مورد نظر به مدت دو ساعت در دمای C ° ۱۰۰±۵ در آون قرار داده شد تا رطوبت جذب شده از آن خارج گردد، سپس در دسیکاتور خنک گردید. محلول ذخیرۀ ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر رنگ رآکتیو سیاه ۵ تهیه گردید. سنجش غلظت رنگ در نمونه‌های استاندارد و مجهول با استفاده از اسپکتروفتومتر Simadzo-1700 و رسم منحنی استاندارد در طول موج بیشینه ۶۰۰ نانومتر انجام شد. خاکستر استخوان در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از کورۀ الکتریکی (Alrsh- 1200,Exciton.co) در دمای C ° ۸۰۰ و در ۲ ساعت زمان ماند تهیه شد. خاکستر به‌دست آمده از استخوان با استفاده از آسیاب برقی (در مدت۳۰ ثانیه) خرد گردید و با استفاده از الک‌های استاندارد ASTM با مش در محدودۀ ۱۰ تا ۱۶ مش (۱/۱۸ تا ۲ میلی‌متر) جهت انجام آزمایشها دانه‌بندی شد. جهت تعیین مشخصات ساختاری خاکستر استخوان از روش‌های پراکنش پرتو ایکس (XRD) و ایزوترم جذب گاز نیتروژن BET (Brouner-Emmet-Teller) با ویرایش پنجم نرم‌افزار بلسورپ ژاپن (Belsorp (Data Analysis Software 5.3.3.0 موجود در پژوهشگاه مواد و انرژی شهر کرج جهت تعیین سطح مخصوص خاکستر استخوان، استفاده شد. در این مطالعه از یک دستگاه ازن‌زن (ARDA co-AEGCOG5S) با دبی اکسیژن ورودی ٤ لیتر در دقیقه برای تولید مقدار ۵ گرم ازن در ساعت استفاده شد. با توجه به اینکه در این رآکتور تولید ازن از تخلیه الکتریکی با جریان متناوب در یک شکاف تخلیه در حضور اکسیژن یا هوای خشک تولید می‌شود، لذا با تنظیم دبی ورودی اکسیژن به رآکتور میزان تولید ازن تنظیم می‌شد (۱۷). به منظور ازن‌زنی نمونه‌ها از یک راکتور ازن‌زنی با ارتفاع ۲۰ و قطر ۵ سانتی‌متر استفاده شد و تأثیر زمان تماس (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ دقیقه)، pH (۳،۸ و ۱۰)، غلظت رنگ (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و میزان خاکستر استخوان (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم) در حذف رنگ بعد از ازن‌زنی مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل ۱ شمایی از آزمایش ارائه شده است. جهت تنظیم pH محلول رنگی از اسید سولفوریک و سود یک نرمال و دستگاه pH متر (Sartorius، مدل PP-۵۰) استفاده شد و برای

جداسازی خاکستر از نمونه‌ها از روش سانتریفیوژ کردن استفاده شد.



۱.محفظه هوای خشک ۲. مولد ازن ۳. ورودی ازن ۴.خروجی ازن ۵.جاذب یدید پتاسیم
۶.رآکتور ۷.تشت آب ۸.الکترود pH ۹.نقطه نمونه برداری ۱۰.همزن

شکل 1: شماتیک آزمایش در این مطالعه

یافته‌ها

مشخصات ساختاری خاکستر استخوان تولیدی در این مطالعه در شکل ۲ و جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس آنالیزهای صورت گرفته بیشترین درصد تشکیل‌دهندهٔ خاکستر استخوان تهیه شده در این مطالعه از CaO (۹۲/۸۹۶درصد) می‌باشد.

جدول ۲ برخی از ویژگی‌های مهم خاکستر استخوان را نشان می‌دهد که می‌تواند بر ظرفیت جذب و خاصیت کاتالیزوری مؤثر باشد. بر اساس محاسبات انجام شده با نرم افزار بلسورپ، سطح مخصوص خاکستر استخوان ۹۲/۵ m^2/gr به‌دست آمد.

با توجه به تأثیر pH بر میزان حذف رنگها، در این مطالعه اثر pH بر درصد حذف رنگ رآکتیو سیاه ۵ در سه حالت اسیدی، خنثی و قلیایی بررسی شد (شکل ۳). نتایج این مرحله از آزمایشها نشان داد که با افزایش pH، درصد حذف رنگ افزایش یافته است. بیشترین درصد حذف رنگ درpH=۱۰ و در انتهای زمان تماس ۴۰ دقیقه وجود داشته است. شکل ۲ نشان می‌دهد که سرعت حذف رنگ در ۲۰ دقیقه ابتدایی آزمایش بیشتر و به تدریج از سرعت آن کاسته می‌شود.

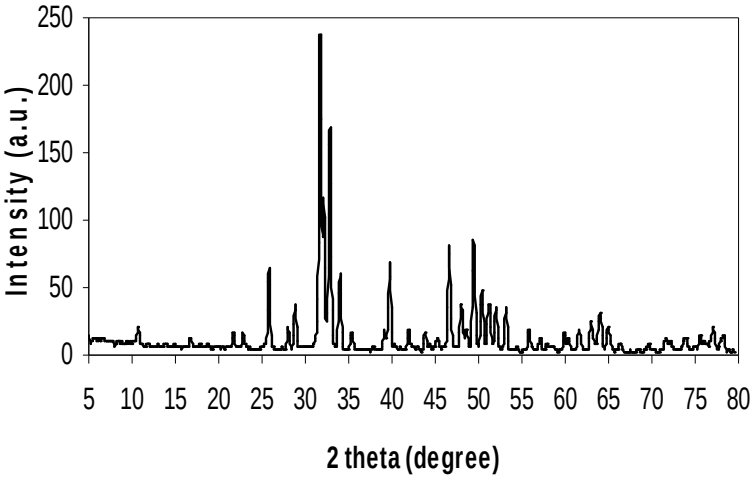
با توجه به بررسی زمان تماس بر درصد حذف رنگ رآکتیو سیاه ۵، اگرچه با افزایش زمان تماس میزان حذف رنگ افزایش می‌یابد، اما فرآیند حذف رنگ مذکور بعد از گذر ۴۰ دقیقه تکمیل می‌گردد لذا از زمان تماس ۴۰ دقیقه برای دیگر مراحل استفاده شد.

بررسی تأثیر میزان خاکستر استخوان در حذف رنگ رآکتیو سیاه ۵ از محلول رنگی نشان داد که با افزایش میزان خاکستر استخوان از ۰/۲۵ گرم به ۱ گرم، درصد حذف رنگ دارای روند افزایشی نبوده است (شکل ۵). به‌طوری‌که با افزایش میزان خاکستر استخوان از ۰/۲۵ به ۰/۵ گرم، درصد حذف رنگ دارای روند افزایشی بوده است ولی با افزایش آن از ۰/۵ تا ۱ گرم همواره درصد حذف رنگ رآکتیو سیاه ۵ دارای روند کاهشی بوده است. بر اساس محاسبات این مرحله از آزمایشها، میزان مناسب خاکستر استخوان به عنوان کاتالیزور در این مطالعه در حد ۰/۵ گرم تعیین گردید.

با توجه به شکل ۵ می‌توان گفت که افزایش غلظت اولیه رنگ منجر به کاهش حذف رنگ می‌گردد. بر اساس نتایج این بخش از مطالعه با افزایش غلظت رنگ از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تغییر زیادی در میزان حذف رنگ وجود نداشته است، اما با افزایش غلظت به غلظت‌های بالاتر، کاهش درصد حذف رنگ محسوس بوده است. بنابراین می‌توان گفت بیشترین درصد حذف رنگ در غلظت‌های پایین وجود خواهد داشت.

جدول1: نتایج آنالیز انجام شده به منظور تعیین عناصر متشکله خاکستر استخوان فرآوری شده

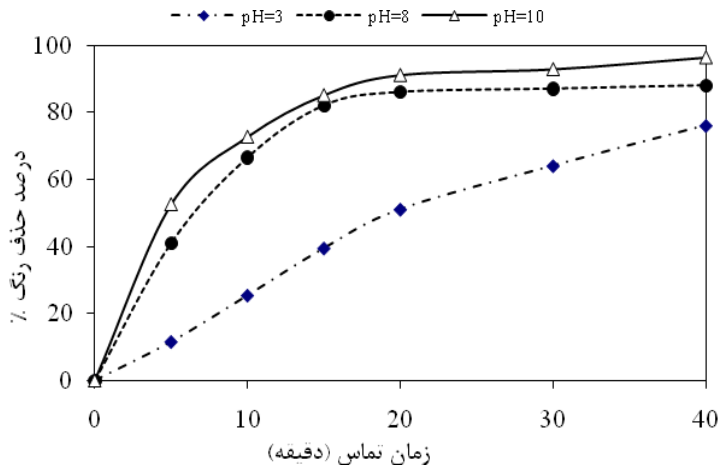
عناصر متشکله خاکستر اسخوان فرآوری شده	CaO	P_2O_5	MgO	SiO_2	Na_2O	k_2O	MnO
مقدار (درصد وزنی)	92/896	2/954	0/672	0/095	0/6	0/034	0/008



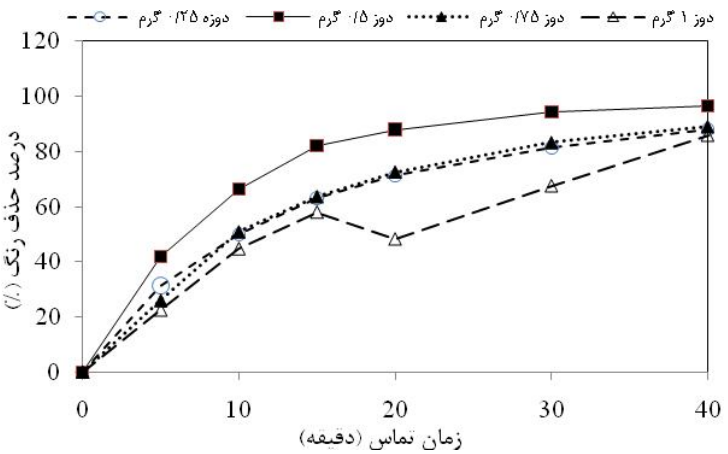
شکل 2: نتایج بررسی خاکستر استخوان با پراکنش اشعه ایکس

جدول 2: مشخصات تعیین شده برای خاکستر استخوان تهیه شده در این مطالعه

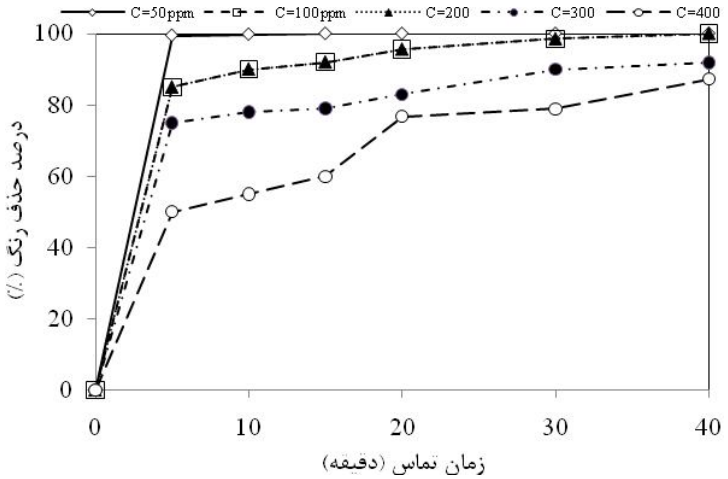
ویژگی اندازه گیری شده	مقدار	واحد
BET	۹۲/۵	m^2/g
BJH	۱۱٦/٤۱	m^2/g
HCLجذب	۰/۳۳	meq/g
NaOHجذب	۰/۷۱	meq/g
عدد یدی	۱۳٤/٤٤	mg/g
حجم منافذ	۰/۳٦	cm^3/g
قطر منافذ	۱۵/۵	nm
توزیع اندازه منافذ	۲-۱/۱۸	mm
D_{10}	۱/۰۸	mm
D_{60}	۱/۷۲	mm
ضریب یکنواختی	۱/۵۳	------



شکل 3: تأثیر pH اولیه در حذف رنگ با غلظت ثابت 200 میلی گرم در لیتر و میزان خاکستر استخوان 0/5 گرم



شکل 4: تأثیر میزان خاکستر استخوان بر حذف رنگ رآکتیو سیاه 5 در غلظت ثابت 200 میلی گرم در لیتر و pH=10



شکل 5: تأثیر غلظت اولیه رنگ بر درصد حذف رنگ در pH=10 و میزان 0/5 گرم خاکستر استخوان

بحث

ترکیبات موجود در ساختار خاکستر استخوان به عنوان یک کاتالیزور، یکی از نکات مهم و مورد توجه در فرآیند ازن‌زنی کاتالیستی می‌باشد. نتایج بررسی ساختار خاکستر استخوان نشان داد (جدول ۱) که بیشترین ترکیبات موجود در ساختار آن (حدود ۹۶ درصد) مربوط به CaO و P_2O_5 می‌باشد. این ترکیبات در ساختار خاکستر استخوان به‌صورت هیدروکسی‌آپاتیت ($Ca_5(PO_4)_3OH$) می‌باشند. با توجه به وجود گروه هیدروکسیل در ساختار آن، تغییرات pH محلول می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر روی میزان حذف رنگ داشته باشد. نتایج مربوط به بررسی ترکیبات خاکستر استخوان در این مطالعه با نتایج گزارش شده توسط چوی(Choy) و همکاران در سال ۲۰۰۵ و سزرنیک‌زنیک (Czerniczyniec)و همکاران در سال ۲۰۰۷ مطابقت دارد (۲۱، ۲۲). یکی از متغیرهای مهم که از طریق تأثیر بر ساختار رنگ، بار سطحی کاتالیزور، تشکیل و عملکرد گروه‌های عاملی و همچنین تجزیه ازن در فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری تأثیر می‌گذارد، pH محیط می‌باشد. همان‌طوری که نتایج نشان داد (نمودار ۲) با افزایش pH، میزان حذف رنگ افزایش یافت. با توجه به pH محلول، ازن در حالت بدون کاتالیزور به دو طریق با آلاینده واکنش می‌دهد، در شرایط اسیدی، اکسیداسیون مستقیم عامل اصلی در تجزیه رنگ است و در شرایط قلیایی اکسیداسیون غیرمستقیم به وسیله رادیکال هیدروکسیل عامل اصلی در حذف رنگ می‌باشد (۳, ۱۲). در ازن‌زنی کاتالیزوری در شرایط اسیدی سه فرآیند جذب، اکسیداسیون مستقیم و غیر مستقیم در حذف رنگ دخالت دارند (۱۸). حداقل میزان مورد نیاز از یک کاتالیزور به عنوان آغازگر یا پیش برندهٔ واکنش تجزیه ازن محلول به رادیکال‌های فعال، یکی از اصلی‌ترین پارامترها در تداوم واکنش است (۱۸). در این مطالعه مشاهده شد که با افزایش دوز کاتالیزور راندمان حذف رنگ افزایش می‌یابد. این افزایش تجزیه رنگ در فرآیند کاتالیزوری شاید در نتیجه افزایش تجزیه ازن باشد. افزایش تجزیه ازن در سطح کربن فعال منجر به افزایش غلظت رادیکال‌ها به ویژه رادیکال هیدروکسیل در سطح و در حجم مایع می‌شود. افزایش دوز کاتالیزور باعث افزایش مساحت سطحی و سایت‌های فعال که منجر به افزایش جذب ازن در سطح می‌شود (۱۳). این افزایش جذب، واکنش‌های سطحی و تولید رادیکال را در فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه دوز بهینه کاتالیزور در فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری بستگی به نوع کاتالیزور، ترکیب هدف و شرایط واکنش دارد و استفاده از حداقل دوز کاتالیزور که راندمان حذف قابل توجه داشته باعث کاهش هزینه فرآیند می‌شد، مقدار نیم گرم به عنوان دوز بهینه خاکستر استخوان انتخاب و در ادامه آزمایشها با مقدار ۰/۵ گرم از خاکستر استخوان انجام شد.

آلوارز (Alvarez) و همکارانشان در سال ۲۰۰۶ تشکیل پراکسید هیدروژن در واکنش ازن با کربن فعال را گزارش نموده‌اند (۲۳). جذب شیمیایی ازن در سطح کاتالیزور که منجر به تشکیل رادیکال‌های فعال می‌شود با رنگ جذب نشده واکنش می‌دهد. جذب شیمیایی رنگ در سطح کاتالیزور و واکنش آن با ازن ملکولی و رادیکال‌های فعال در حجم مایع و جذب همزمان ازن و ملکول رنگ و واکنش آنها در سطح کاتالیزور باعث می‌شود که راندمان حذف رنگ در شرایط اسیدی در فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری در مقایسه با فرآیند ازن‌زنی متداول افزایش یابد. همچنین بخشی از رنگ با واکنش مستقیم ملکول ازن حذف می‌شود. والدز(Valdes) و همکارانشان در بررسی خود، عملکرد کربن فعال به عنوان کاتالیزور در حذف بنزوتیازول در سال ۲۰۰۶ گزارش کرده‌اند (۲۴). در pH اسیدی، ازن جذب سطح کربن شده و در نتیجه واکنش با گروه‌های عاملی و اکسیدهای فلزی در سطح به رادیکال تبدیل می‌شود و همچنین بخشی از رنگ جذب شده در سطح، به وسیلهٔ واکنش سطحی تجزیه می‌شود و مجموع این شرایط باعث افزایش راندمان حذف می‌شود. برخی محققان گزارش کرده‌اند که در شرایط اسیدی

واکنش‌هایی که در سطح کربن فعال اتفاق می‌افتد، عامل اصلی افزایش راندمان فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری می‌باشد (۱۳, ۱٦, ۲٤).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تأثیر غلظت اولیه رنگ در فرآیند ازن‌زنی کاتالیستی با خاکستر استخوان نشان داد که با افزایش غلظت اولیه رنگ از ۵۰ به ٤۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، کارآیی حذف رنگ کاهش می‌یابد. این نتایج را بدین شکل می‌توان توضیح داد که با افزایش غلظت رنگ، مولکول‌های رنگ در محیط واکنش افزایش می‌یابد، از طرفی به دلیل ثابت بودن میزان رادیکال‌های هیدروکسیل که در نتیجه تجزیه ازن در سطح کاتالیزور تولید می‌شوند، تجزیه مولکول‌های رنگ در غلظت‌های بالا به کندی صورت می‌گیرد. این مشکل با افزایش دوز ازن‌زنی از طریق افزایش دبی ازن‌زنی یا افزایش زمان آن مرتفع می‌گردد.

بر اساس ترکیبات موجود در ساختار خاکستر استخوان می‌توان آن را جزو جاذب‌های معدنی و مفید برای آلاینده‌های زیست محیطی تلقی کرد. نتایج نشان داد که با افزایش pH محلول رنگی درصد حذف رنگ رآکتیو سیاه ۵ افزایش می‌یابد. دوزاژ بهینه خاکستر استخوان در فرآیند ازن‌زنی کاتالیزوری ۰/۵ گرم به‌دست آمد. با افزایش غلظت اولیه رنگ، کاهش درصد حذف رنگ مشاهده شد. با توجه به ماهیت قلیایی فاضلاب نساجی و نتایج این مطالعه می‌توان گفت که فرآیند ازن‌زنی کاتالیستی با خاکستر استخوان می‌تواند به عنوان یک فرآیند مناسب و کارآمد در حذف رنگ از فاضلاب این‌گونه صنایع به کار رود. با توجه به محدودیت بودجه اجرایی اختصاص یافته به این مطالعه، امکان بررسی اثر مداخله‌گرها بر فرآیند وجود نداشت، لذا پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی به این موضوع پرداخته شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح پژوهشی مصوب بین دانشگاهی مراکز پژوهش دانشجویان دانشگاه‌های علوم پزشکی همدان و مازندران می‌باشد، لذا نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های مادی و معنوی این مراکز تشکر نمایند.

منابع

1-Samarghandy MR, Hoseinzade E, Taghavi M, Hoseinzadeh S. Biosorption of Reactive Black 5 from aqueous solution using acid-treated biomass from potato peel waste, BioResources 2011;6(4):4840-55.
2-Hoseinzadeh E, Rahmani AR. [Producing activated carbon from scrap tires by thermo-chemical method and evaluation its efficiency at removal racid Black1 Dye]. Iranian Journal of Health and Environment 2012;4(4):427-38. [In Persian]
3-Moussavi Gh, Khavanin A, Alizadeh R. The investigation of catalytic ozonation and integrated catalytic ozonation/biological processes for the removal of phenol from saline wastewaters. JHazard Mater 2009;171(1-3):175-81.
4-Wu CH, Kuo CY, Chang CL. Decolorization of C.I. Reactive Red 2 by catalytic ozonation processes. J Hazard Mater 2008;153(3):1052-8.
5-Karagozoglu B, Tasdemir M, Demirbas E, Kobya M. The adsorption of basic dye (Astrazon Blue FGRL) from aqueous solutions onto sepiolite, fly ash and apricot shell activated carbon: Kinetic and equilibrium studies. J Hazard Mater 2007;147(1-2):297-306.
6-Sidmohammadi A, Asgari G, Ebrahimi A, Gholami Z, Hoseinzadeh E. [Studying the removal of Phenol using Modified Zeolite (Clinoptilolite) by Iron Chloride (FeCl3) from Aqueous Solutions]. Health System Research, Special Issue on Environmental Health 2011:848-57. [In Persian]
7-Arami M, Yousefi Limaee N, Mahmoodi NM. Evaluation of the adsorption kinetics and equilibrium for the potential removal of acid dyes using a biosorbent. Chem Engin J 2008;139(1):2-10.
8-Benkli YE, Can MF, Turan M,Celik MS. Modification of organo-zeolite surface for the removal of reactive azo dyes in fixed-bed reactors. Water Res 2005;39(2-3):487-93.
9-Dhodapkar R, Rao NN, Pande SP, Kaul SN. Removal of basic dyes from aqueous medium using a novel polymer: Jalshakti. Bioresource Technol 2006;97(7):877-85.

10-Petzold G, Schwarz S. Dye removal from solutions and sludges by using polyelectrolytes and polyelectrolyte-surfactant complexes. Separation Purification Technol 2006;51(3):318-24.
11-deSouza S, Bonilla KA, deSouza A. Removal of COD and color from hydrolyzed textile azo dye by combined ozonation and biological treatment. J Hazard Mater 2010;179(1-3):35-42.
12-Moussavi Gh, Mahmoudi M. Degradation and biodegradability improvement of the reactive red 198 azo dye using catalytic ozonation with MgO nanocrystals. Chem Engin J 2009;152(1):1-7.
13-Silva AC, Pic JS, Sant'Anna GL Jr, Dezotti M. Ozonation of azo dyes (Orange II and Acid Red 27) in saline media. JHazard Mater 2009;169(1-3):965-71.
14-Rivera-Utrilla J, Mendez-Diaz J, Sanchez-Polo M, Ferro-Garcia MA, Bautista-Toledo I. Removal of the surfactant sodium dodecylbenzenesulphonate from water by simultaneous use of ozone and powdered activated carbon: Comparison with systems based on O3 and O3/H2O2. Water Res 2006;40(8):1717-25.
15-Kasprzyk-Hordern B, Ziolek M, Nawrocki J. Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment. Applied Catalysis B: Environmental 2003;46(4):639-69.
16-Nawrocki J, Kasprzyk-Hordern B. The efficiency and mechanisms of catalytic ozonation. Applied Catalysis B: Environmental 2010;99(1-2):27-42.
17-Moussavi GR, Khavanin A, Mokarami HR. [Removal of Xylene fromWaste Air Stream Using Catalytic Ozonation Process]. Iran J Health Environ 2010;3(3):239-50.[In Persian]
18- Gül S, Özcan-Yıldırım Ö.. Degradation of Reactive Red 194 and Reactive Yellow 145 azo dyes by O3 and H2O2/UV-C processes. Chem Engin J 2009;155(3):684-90.
19-Asgari Gh, Sidmohammadi A, Ebrahimi A. [Performance evaluation of catalytic ozonation process with pumice in removal of humic acids from aqueous solutions]. Health System Reaserch 2010;6(2):206-16. [In Persian]
20-Ghanizadeh G, Asgari G. [Removal of Methylene Blue Dye from Synthetic Wastewater with Bone Char]. Iran J Health Environ 2009;2(2):104-13.
21-Choy KK, McKay G. Sorption of cadmium, copper, and zinc ions onto bone char using Crank diffusion model. Chemosphere 2005;60(8):1141-50.
22-Czerniczyniec M, Farhas S, Magallanes J, Cicerone D. Arsenic(V) Adsorption onto Biogenic Hydroxyapatite: Solution Composition Effects. Water Air Soil Pollution 2007;180(1-4):75-82.
23-AIvarez PM, Beltran FJ, Pocostales JP, Masa FJ. Preparation and structural characterization of Co/Al2O3 catalysts for the ozonation of pyruvic acid. Applied Catalysis B: Environmental 2007;72(3-4):322-30.
24-Valdes H, Zaror CA. Heterogeneous and homogeneous catalytic ozonation of benzothiazole promoted by activated carbon: Kinetic approach. Chemosphere 2006;65(7):1131-6.

Removal of Reactive Black 5 from Aqueouse solutionUsing Catalytic Ozonation Process with Bone Char

Ghorban Asgari[1], Edris Hoseinzadeh[2]*, Mahmood Taghavi[3], Javad Jafari[4], Abdolmotaleb Sidmohammadi[1]

1- Ph.D of Environmental Health Engineering.
2- Msc in Environmental Health Engineering.
3- Student of Msc in Environmental Health Engineering.
4- Msc in Environmental Health Engineering.

1-Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran.
2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.
3- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran.
4- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences, *Hamedan, Iran.*

**Corresponding author:*
Edris Hoseinzadeh; Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.
Tel: +989358840365
Email: Hoseinzadeh@lums.ac.ir

Abstract

Introduction: As dyes are the most important pollutants of many industrial wastewaters. A large amount of Reactive Black 5 enters the environment in Iran because of the use of this dye in Iran's textile industries, so the goal of this study was to survey the Catalytic Ozonation process with Bone Char in removal of Reactive Black 5 dye from synthetic wastewater.

Methods and Materials: In this experimental study Bone Char(BC) was prepared under laboratory conditions using of electrical furnace at 800°C for 2h.The prepared BC was crushed and pulverized by standard ASTM sieves at range of 10 to16 mesh. The chemical composition and solid structure of BC was analyzed using X-ray diffraction and measurement of the surface area was carried out by N2 gas adsorption via BET(Brouner Emmet Teller) isotherm. The concentration of dye was measured by photometric method at 600nm wave length. A set with 4 L/min inlet flow rate was used for ozonating to produce 5 gram ozone at hour.

Results: As results showed predominant composition of BC is CaO. The BC surface area is 92.5m^2/g. The results of this study showed that increasing of initial dye concentration and pH would lead to decrease of removal of RB5 dye. All of RB5 dye was removed at lapse of 40 minute.

Conclusion: Bone char is a cheap and suitable catalyst that can be used in water and wastewater treatment. Based on optimum pH=10 found for the removal of RB5 and the fact that many of textile industrial wastewaters have an alkaline pH, this process can be suitable for the removal of dyes from these industrial. .wastewaters

Key words: Reactive Black5, Catalytic Ozonation, Bone Char, De colorization.

Received: Oct 17, 2011 **Revised: July 9, 2012** **Accepted: July 11, 2012**