ORIGINAL ARTICLE

Removal of Acid Black 1 from Aqueous Solutions Using Fe_3O_4 Magnetic Nanoparticles

Mehdi Fazlzadeh[1],
Hossein Abdoallahzadeh[2],
Rasoul Khosravi[3],
Babak Alizadeh[2]

[1] Lecturer, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran
[2] MSc Student in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, School of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran
[3] Phd Student in Environmental Health Engineering, Social Determinants of Health Research Center, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

(Received January 19, 2015 ; Accepted July 31, 2016)

Abstract

Background and purpose: The aim of this study was to investigate the efficiency of Fe_3O_4 nanoparticles synthesized by the chemical co-precipitation method for removal of black acid 1 from aquatic solutions.

Materials and methods: In an experimental study, the Fe_3O_4 nanoparticle was synthesized by the chemical co-precipitation method using Fe^{+2} and Fe^{+3} solution in the presence of N_2. The effect of different parameters including initial pH, adsorbent dose, contact time, initial dye concentration, temperature, and EC and also intervening variables such as nitrate, sulfate, fluoride, chloride and hardness were investigated. In addition, equilibrium data was fitted into Langmuir and Freundlich isotherm model, and pseudo-second order and pseudo-first order kinetic models.

Results: We found that the adsorption capacities of nanoparticle increased when pH and adsorbent dose decreased. But the removal efficiency decreased by increase in temperature and dye concentration. Also intervening variables (nitrate, sulfate, fluoride, chloride, and hardness) were found to have low effect on decreasing the color absorption capacity by Fe3O4 nanoparticles. The removal of dye using Fe_3O_4 nanoparticle complies with Freundlich isotherm model (R^2= 0.991). Also, the equilibrium adsorption data fitted with pseudo-second order kinetic (R^2= 0.992).

Conclusion: This study showed that the Fe3O4 nanoparticle is highly capable of removing black acid 1 dye from aqueous solutions in low contact time. Therefore, the Fe3O4 nanoparticle can be considered as an effective adsorbent in dye removal.

Keywords: acid black 1, adsorption process, aqueous solution, isotherm, Fe_3O_4

J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26(143): 174-186 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و ششم شماره ۱۴۳ آذر سال ۱۳۹۵ (۱۸۶-۱۷۴)

بررسی حذف رنگ اسید بلاک از محلول های آبی با استفاده از نانوذرات مگنتیت

مهدی فضل زاده[۱]
حسین عبداله زاده[۲]
رسول خسروی[۳]
بابک علیزاده[۲]

چکیده

سابقه و هدف: این مطالعه با هدف بررسی حذف رنگزای اسید بلاک ۱ از محلول‌های آبی توسط نانوذرات Fe_3O_4 سنتز شده به روش هم رسوبی شیمیایی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی نانو ذره Fe_3O_4 به روش هم‌رسوبی شیمیایی با استفاده از محلول آهن ۲ و ۳ ظرفیتی در حضور گاز نیتروژن سنتز شد. هم چنین اثر pH اولیه محلول، دوز جاذب، زمان تماس، غلظت اولیه آلاینده، دما، غلظت نمک و مداخله‌گرهایی مثل نیترات، سولفات، فلوراید، کلرور و سختی روی حذف رنگزای اسید بلاک ۱ مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین تبعیت فرایند جذب از ایزوترم‌های فروندلیخ و لانگمویر و سینتیک های درجه اول و دوم کاذب مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با کاهش pH اولیه محلول و دوز جاذب، ظرفیت جذب نانوذره افزایش، اما با افزایش دما و افزایش غلظت رنگ، کارایی حذف کاهش می‌یابد. بالاترین کارایی حذف برای غلظت اولیه ۲۵ میلی‌گرم در لیتر در pH برابر با ۲، زمان واکنش ۶۰ دقیقه و دوز نانو ذره گرم در لیتر ۹۸ درصد بدست آمد. هم چنین مداخله‌گرهای نیترات، سولفات، فلوراید، کلرور و سختی تاثیر بسیار کمی در کاهش ظرفیت جذب رنگ توسط نانو ذره Fe_3O_4 از خودشان نشان دادند. حذف رنگ با استفاده از نانو ذره Fe_3O_4 از ایزوترم فروندلیچ (R^2=۰/۹۹۱) و هم چنین سینتیک جذب از درجه دوم کاذب (R^2=۰/۹۹۲) تبعیت می‌کند.

استنتاج: نتایج نشان داد که نانو ذره Fe_3O_4 سنتز شده به طور قابل ملاحظه‌ای قادر به حذف رنگزای اسید بلاک ۱ در مدت زمان کم از محلول‌های آبی می‌باشد. بنابراین به عنوان یک جاذب موثر می‌تواند جهت حذف مواد رنگی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: اسیدبلک ۱، فرایند جذب، ایزوترم، نانوذراتFe_3O_4

مقدمه

رنگ‌های مصنوعی بدلیل مقرون به صرفه بودن به‌طور فزاینده‌ای در صنایع نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرد، که اکثر این رنگ ها در برابر فرایندهای مختلف تصفیه و نور خورشید پایدار و مقاوم هستند.

مولف مسئول: بابک علیزاده– اردبیل: خیابان دانشگاه، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط E-mail: bo.alizadeh@gmail.com
۱. مربی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران
۳. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۴/۱۰/۲۹ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۳۹۴/۱۱/۴ تاریخ تصویب : ۱۳۹۵/۵/۱۰

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

تقریباً ۱۰۰۰۰ نوع ماده رنگ صنعتی در صنایع تولید و دفع می‌گردند. سالانه در سراسر جهان ۷×۱۰^{۸} کیلوگرم رنگ تولید می‌شود که ۱۰ تا ۲۰ درصد از این مقدار ت در نتیجه عملیات رنگرزی وارد پساب این صنایع می‌گردد(۱). فاضلاب صنایع نساجی نه فقط به خاطر ظاهر رنگی، بلکه به خاطر اینکه بسیاری از رنگ‌های آزو و محصولات تجزیه آن‌ها سمی و یا موتاژن هستند، برای محیط زیست نامطلوب شناخته می‌شوند(۲). تخلیه فاضلاب‌های رنگی ناشی از صنایع در آب‌های پذیرنده، منجر به بروز پدیده اوتریفیکاسیون و تداخل در اکولوژی آبهای پذیرنده می‌گردد. هم‌چنین حضور مقدار ناچیز رنگ در آب ،شفافیت و غلظت اکسیژن محلول آب را کاهش داده و در نتیجه حیات آبی محیط‌های پذیرنده را مورد تهدید قرار می‌دهد(۲). با در نظر گرفتن استانداردهای موجود جهت تخلیه پساب به داخل آب‌های پذیرنده و با توجه به مشکلاتی که در کاربرد روش‌های متداول جهت جداسازی رنگ وجود دارد، انتخاب روش مناسب که بتواند کارایی بالایی در حذف رنگ داشته باشد ضروری به نظر می‌رسد(۳). تاکنون روش‌های مختلفی از جمله روش‌های بیولوژیک، فرآیندهای غشایی، فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته و سایر روش‌ها برای تصفیه این‌گونه پساب‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. اکثر مطالعاتی که در زمینه حذف رنگ صورت گرفته بر پایه فرایندهای اکسیداسون پیشرفته می‌باشد که علی‌رغم درصد بالای حذف رنگ در این فرآیندها، تشکیل محصولات جانبی و هزینه آن‌ها یک معضل محسوب می‌گردد(۱، ۴). در بین روش‌های مختلف، جذب به عنوان یک فرایند موثر برای حذف رنگ از فاضلاب‌های رنگی مورد استفاده قرار گرفته است(۱۱-۵). معمولاً فرآیند جذب سطحی روی کربن فعال انجام می‌گیرد، که دارای ظرفیت و سطح جذب بالا می‌باشد ولی گران قیمت بوده و کاربرد آن نیاز به نیروی متخصص دارد(۶). در سال‌های اخیر نانو ذرات مغناطیسی به خاطر اقتصادی و خاصیت مغناطیسی آن‌ها که اجازه بازیافت آسان از بستر را ممکن می‌سازد به عنوان ترکیبات غالب برای فناوری‌های پاک‌سازی محیط زیست شناخته می‌شوند(۷). در بین انواع نانوذره‌های استفاده شده، نانوذره های مغناطیسی شامل آهن صفر ظرفیتی، مگنتیت Fe_3O_4، مگمیت γFe_2O_3 به طور گسترده در استفاده‌های مهندسی برای حذف آلاینده‌های آب و محیط زیست استفاده شده است(۱۱). از دلایل کاربرد وسیع نانو ذرات در جذب سطحی می‌توان به سطح ویژه بالا، مکان‌های فعال بیش‌تر، راندمان جذب بالا، واکنش پذیری زیاد و توانایی نانو ذرات در پراکنده شدن در محلول آبی اشاره کرد(۵). ماده نانو معمولاً واکنش‌پذیری و توانایی جذب بالاتری را نسبت به اندازه معمولی همان ماده نشان می‌دهد. نسبت سطح به جرم بالای نانوذرات، به شدت ظرفیت‌های جذب مواد جاذب را افزایش می‌دهد(۸). در بین این نانو ذرات، نانو ذرات آهن به دلیل فراوانی، ارزانی، غیر سمی بودن، واکنش سریع و توانایی و بازده بالا در تجزیه آلاینده‌ها و هم‌چنین حذف فلزات سنگین از آب‌های آلوده بیش‌تر مورد توجه بوده است. فاکتورهای اصلی تاثیرگذار در جذب سطحی شامل اختلاط، اسیدیته، درجه حرارت، اندازه ذرات (سطح ویژه)، ویژگی‌های ساختاری جاذب، مقدار جاذب، غلظت اولیه یون فلزی، زمان تماس و حضور یون‌های رقیب است(۹، ۱۰). بنابراین هدف از انجام این تحقیق سنتز نانوذرات مگنتیت Fe_3O_4 به روش هم‌رسوبی شیمیایی و کاربرد آن برای حذف رنگزای اسید بلاک ۱ از محلول های آبی و تعیین تاثیر یون‌های مداخله گر موجود در محیط های آبی بر کارایی آن می‌باشد.

مواد و روش ها

این مطالعه تجربی در مقیاس آزمایشگاهی و در آزمایشگاه شیمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اردبیل انجام گرفت.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

سنتز نانوذزات Fe_3O_4

نانوذرات مگنتیت Fe_3O_4 به روش هم‌رسوبی شیمیایی سنتز شد. در این روش ابتدا درون یک بالن ته گرد در اتمسفری از گاز نیتروژن مقدار ۵/۴ گرم $FeCl_3.6H_2O$ و ۲/۷۸ گرم $FeCl_2.4H_2O$ (به نسبت وزنی دو به یک) در حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر آب بدون یون مخلوط گردید. سپس محلول آمونیاکی ۲۵ درصد به صورت قطره قطره تا رسیدن pH محلول به ۹ روی شیکر به محلول اضافه شد و در نهایت رسوب سیاه رنگی که حاوی نانو ذرات مگنتیت می‌باشد، تشکیل گردید. رسوب تشکیل شده را به مدت ۳۰ دقیقه همزده و تا دمای ۸۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. سپس سریعاً سه بار با آب دیونیزه شسته و در نهایت دو بار با اتانول شستشو داده شد(۱۲). بعد از شستشو با آب دیونیزه و اتانول، رسوب سیاه رنگی که حاوی نانو ذرات مگنتیت می‌باشد توسط آهن ربا از محلول جداسازی شد و در یک محیط حاوی گاز نیتروژن تا موقع استفاده نگه داری گردید.

آزمایش‌های جذب

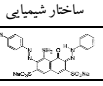
تمام آزمایش‌های جذب این تحقیق به صورت ناپیوسته در ارلن‌هایی به حجم ۲۵۰ میلی لیتر روی شیکر با دور ۱۵۰ دور در دقیقه (ساخت شرکت daihan کره مدل wisd ms-mp8) انجام گرفت. برای تهیه غلظت‌های مختلف رنگزای اسید بلاک ۱، از پودر خالص این رنگ که از شرکت الوان رنگ همدان تهیه شده بود، استفاده شد. مشخصات رنگ مورد استفاده در جدول شماره ۱ آورده شده است. برای انجام آزمایش‌ها ابتدا ۲۰۰ میلی لیتر نمونه با غلظت مشخص توسط استوانه مدرج برداشته شد و داخل ارلن ریخته شد. در صورت نیاز به تنظیم pH، با استفاده از اسید سولفوریک و سود یک دهم نرمال، pH محلول تنظیم شد. سپس دوز مشخصی از نانوذره وزن شد و به نمونه داخل ارلن اضافه گردید و به سرعت روی شیکر گذاشته شد و سرعت هم زدن تنظیم شد. پس از زمان تماس مورد نظر، نمونه از روی شیکر برداشته شد و از کاغذ صافی۰/۲ میکرون عبور داده شد. نمونه صاف شده جهت سنجش مقدار رنگزای اسید بلاک ۱ باقی مانده، مورد استفاده قرار گرفت. مهم‌ترین متغیرهای مورد بررسی در این آزمایش، pH اولیه محلول با دامنه ۱۱-۲ (۱۱ و ۹-۸-۶-۴-۲)، دوز نانو ذره ۱/۲-۰/۲ گرم در لیتر (۱/۲-۱-۰/۸-۰/۶-۰/۴-۰/۲)، زمان واکنش ۶۰-۱ دقیقه (۶۰ و ۴۵ -۳۰-۲۰-۱۵-۱۰-۵-۱)، غلظت اولیه رنگ ۳۰۰-۲۵ میلی گرم در لیتر (۳۰۰ و ۲۰۰- ۱۵۰-۱۰۰-۵۰-۲۵) و تاثیر مداخله گرها به خصوص سولفات، نیترات، فلوراید، کلراید، سختی و غلظت نمک بوده است. برای اطمینان از تکرار نتایج، هر مرحله از آزمایش دو بار تکرار و میانگین نتایج گزارش شد. هم چنین بعد از محاسبه غلظت نهایی برای محاسبه کارایی حذف نانو ذره از رابطه(۱) و ظرفیت جذب آن از رابطه(۲) استفاده شد(۱۳).

$$E_a = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \qquad (۱)$$

$$q = \frac{C_0 - C_t}{m} V \qquad (۲)$$

که در آن، E_a کارایی حذف، q مقدار یون جذب شده برحسب میلی گرم در گرم، C_0 و C_t غلظت های اولیه و ثانویه محلول رنگی بر حسب میلی گرم در لیتر، m جرم جاذب بر حسب گرم و V حجم محلول بر حسب لیتر است.

جدول شماره ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی رنگ اسید بلاک ۱ (۱۵،۱۴).

گروه بندی	وزن مولکولی	فرمول شیمیایی	ساختار شیمیایی	مشخصات
رنگ آزو	۶۱۶/۴۹g/mol	$C_{22}H_{14}N_6Na_2O_9S_2$		اسید بلاک ۱

مطالعات ایزوترم و سینیتیک

به منظور بیان رفتار جذب رنگزای اسید بلاک ۱، داده‌های حاصل در مرحله آزمایش تعادل جذب روی متداولترین مدل‌ها که لانگمویر و فروندلیچ می‌باشند،

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

مورد آزمایش قرار گرفته است. برای ارزیابی سرعت انتقال جرم رنگزا روی نانوذره، سینتیک جذب بر اساس داده‌های حاصل از مرحله آزمایش تعادل از دو مدل درجه اول کاذب و درجه دوم کاذب استفاده گردید که روابط مربوطه در جدول شماره ۲ مشخص گردیده است(۱۷-۱۴).

جدول شماره ۲: روابط مورد استفاده برای تعیین ایزوترم و سینیتیک جذب(۱۸)

مدل	معادله	معادله خطی
سینتیک درجه یک کاذب	$q_t = q_e[1-\exp(-K_{1p}t)]$	$Ln(q_e - q_t) = Lnq_e - K_{1p}t$
سینتیک درجه دو کاذب	$q_t = \frac{K_{2p}q_e^2 t}{1+q_e K_{2p}t}$	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_{2p}q_e^2} + \frac{1}{q_e}$
ایزوترم لانگمیر	$q_e = \frac{q_m K_l C_e}{1+K_l C_e}$	$\frac{C_e}{q_e} = \left(\frac{1}{K_l q_m}\right) + \left(\frac{C_e}{q_m}\right)$
ایزوترم فروندلیچ	$q_e = K_f(C_e)^{1/n}$	$Lnq_e = LnK_f + n^{-1}LnC_e$

روش‌های آنالیز

در این آزمایش برای سنجش مقدار رنگزای اسید بلاک ۱ از روش اسپکترومتری بر اساس روش‌های ارایه شده در کتاب استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب در طول موج 622 نانومتر استفاده شد(۱۹). هم‌چنین جهت بررسی خصوصیات نانوذرات مورد استفاده از جمله ساختار کریستالی، عوامل فعال، مشاهده ساختار میکروسکوپی و تعیین مساحت سطح نانوذره به ازای وزن و حجم آن، از آزمایش‌های XRD، FTIR، SEM و BET استفاده شد.

تعیین pH_{zpc}

برای تعیین PH نقطه صفر نانو ذره، مقدار ۰/۰۵ گرم از نانو ذرات سنتز شده را در ارلن‌های ۲۵۰ میلی لیتری ریخته سپس با استفاده از اسیدسولفوریک و سود، pH های محلول در ۲-۳-۴-۵-۶-۷-۸-۹-۱۰- ۱۱ و ۱۲ تنظیم و به مدت ۴۸ ساعت با دور rpm ۱۵۰ اختلاط داده شد. پس از مدت مذکور، pH های نهایی قرائت گردیده و pH اولیه و نهایی در یک نمودار مقابل یکدیگر رسم گردید. نقطه‌ای که نمودارها یکدیگر را قطع می‌کنند به عنوان pH نقطه صفر جاذب تعیین گردید(۲۰،۶).

یافته ها

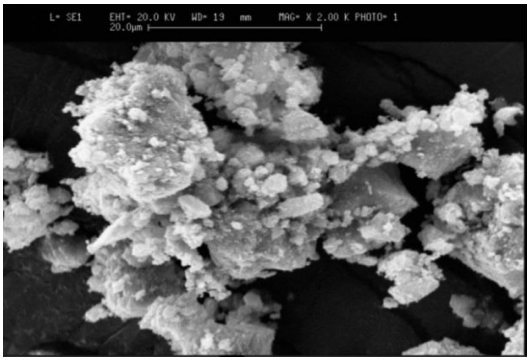
خصوصیات نانوذرات تولیدی

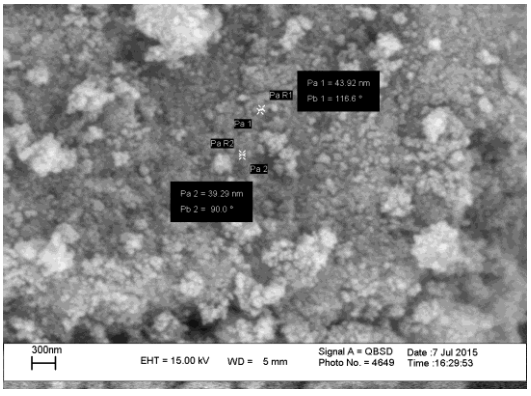
در تصویر شماره ۱ تصویر SEM نانوذرات سنتز شده قبل و بعد از استفاده برای جذب رنگزای اسید بلاک ۱ نشان داده شده است. طیف مادون قرمز FT-IR نانوذرات مگنتیت قبل و بعد از استفاده برای جذب رنگزای اسید بلاک ۱ نیز در شکل شماره ۲ و هم‌چنین آنالیز XRD بر روی نانو ذرات سنتز شده در تصویر شماره ۳ نشان داده شده است. تصاویر SEM نانو ذره Fe_3O_4 سنتز شده نشان می‌دهد که قطر نانوذره‌های سنتز شده حدود ۳۹ الی ۴۵ نانومتر هستند. توزیع ذرات و مرفولوژی سطح به صورت نامنظم بوده و سطوح نسبتاً تیز و ناهمواری مشاهده می‌گردد(۲۱). با توجه به نگاره‌های تصویر شماره ۱ (ب) که نشان دهنده سطح جاذب بعد از استفاده است، مشاهده می‌شود که سطوح تیز نانوذرات با رنگ پوشیده شده و سطوح ملایمی را ایجاد کرده است.

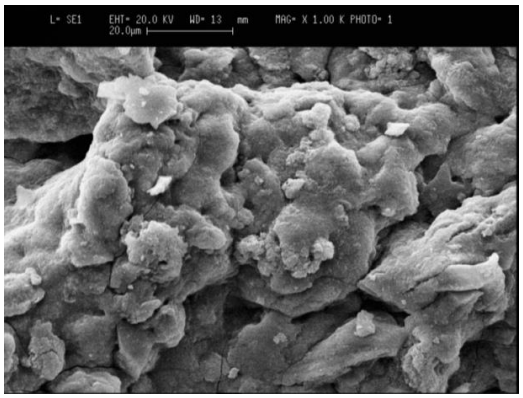
نتایج حاصل از FTIR برای نانوذره سنتز شده Fe_3O_4 در فرکانس cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰ همان‌گونه که تصویر شماره (۲-الف) مشخص می‌باشد نشانگر حضور تعدادی از گروه‌های عاملی فعال در سطوح جاذب می‌باشد. با توجه به نمودار پیک‌های اطراف cm^{-1} ۳۳۸۹/۵۲، cm^{-1} ۱۶۲۴/۹۰ و cm^{-1} ۱۰۴۴/۹۲ به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی N-H (آمیدها)، C=C (آلکان ها) و O-C (اترها) می‌باشد(۲۲). هم‌چنین طیف مادون قرمز در طول موج‌های پایین ($\leq 700\ cm^{-1}$) پیوندهای Fe-O را نشان می‌دهد(۱۶). بنابرین پیک cm^{-1} ۵۸۲/۹۱ و cm^{-1} ۴۳۶/۳۹ مربوط به Fe-O می‌باشد(۲۳). چنانچه در نمودار FTIR نانوذره استفاده شده بعد از جذب رنگ مشاهده می‌شود در جایگاه‌های گروه‌های عاملی تغییرات قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود که نشان‌دهنده حفظ ساختار کریستالی نانوذره می‌باشد. برای تایید حضور نانوذره سنتز شده Fe_3O_4 و هم‌چنین بیان ساختار کریستالی آن از الگوی پراش اشعه

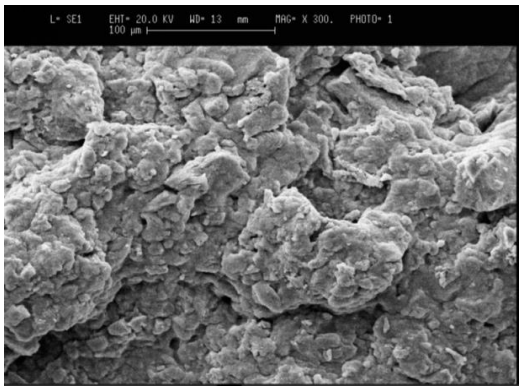
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

ایکس XRD استفاده گردید. تفسیر الگوهای پراش در شناسایی بلورها به صورت تجربی است(۲۴). موقعیت‌ها و شدت‌های نسبی الگوی XRD نانوذرات سنتز شده با پیک‌های Fe_3O_4 الگوی استاندارد (JCPDS card No. 85-1436)، که نشان دهنده حضور ساختار بلوری مکعبی نانوذره مغناطیسی سنتز شده است مطابقت دارد. پیک‌های ۳۵/۴۲ ، ۴۴/۴۳ ، ۴۸/۴۴ ، ۶۲/۵۴ و ۷۴/۱۵ درجه در الگوی XRD دیده می‌شوند که این پیک‌ها به ترتیب متناظر شاخص‌های (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۳۳۱)، (۵۱۱) و (۵۳۱) می‌باشند که نشان‌دهنده نانوذره Fe_3O_4 با ساختار بلوری هستند(۱۸). هم‌چنین در الگوی XRD پیک‌های ۱۴/۴۱ و ۲۴/۴۱ درجه مشاهده می‌شوند که مربوط به FeOOH می‌باشد(۲۱، ۲۳). نتایج حاصل از انجام آزمایش BET نشان داد سطح نانوذرات سنتز شده برابر ۱۰۲ مترمربع بر گرم، قطر میانگین حفره‌های داخلی نانوذرات حدود ۱۳ نانومتر و حجم کل حفره‌های داخل نانوذره ۰/۳۳ سانتیمرمکعب بر گرم می‌باشد.

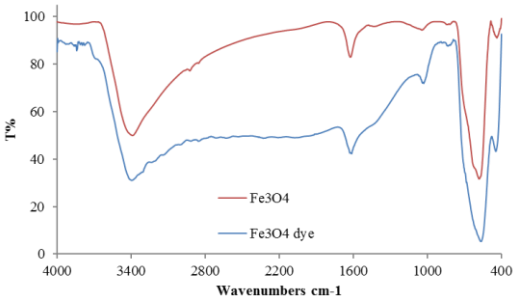




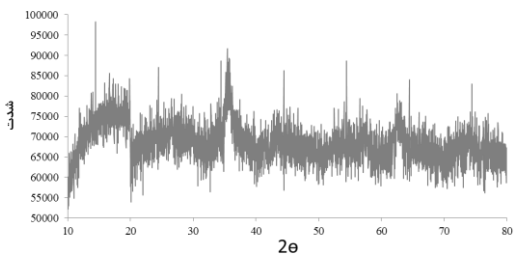




تصویر شماره ۱: نگاره sem از سطح نانوذره مگنتیت قبل از مواجه با رنگزای اسیدبلاک ۱ (الف) و نگاره sem از سطح نانوذره مگنتیت بعد از مواجه با رنگزای اسیدبلاک ۱ (ب)



تصویر شماره ۲: FTIR نانوذره Fe_3O_4 سنتز شده و نانوذره Fe_3O_4 استفاده شده برای جذب رنگزای اسید بلاک ۱

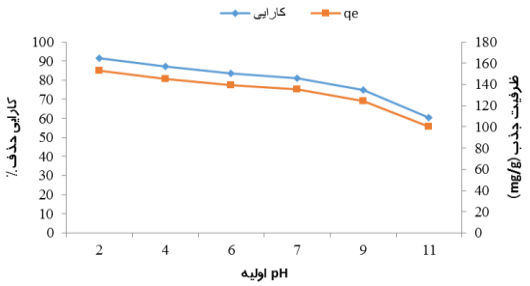


تصویر شماره ۳: نمودار XRD نانوذره سنتز شده Fe_3O_4

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

اثر pH اولیه محلول

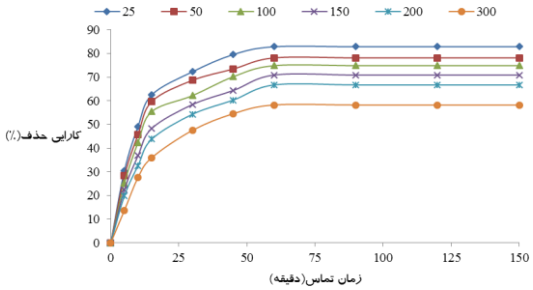
با توجه به تصویر شماره ۴ مشخص می گردد که کارایی حذف و ظرفیت جذب در pH های پایین بالا بوده و عملکرد نانوذره در حذف رنگ بهتر می باشد و با افزایش pH ،کارایی حذف و ظرفیت جذب رنگ کاهش می‌یابد.کارایی حذف و ظرفیت جذب رنگ در pH= ۲ به ترتیب حدود ۹۲ درصد و ۱۵۰ میلی گرم در گرم بوده ولی در pH=۷ کارایی حذف و ظرفیت جذب به ترتیب حدود ۸۰ درصد و ۱۳۰ میلی گرم در گرم و در pH= ۱۱ کارایی حذف و ظرفیت به ترتیب حدود ۶۰ درصد و ۹۶ میلی گرم در گرم رسیده است. هم چنین نتایج نشان دادکه pH_{zpc} برای نانو ذره سنتز شده برابر ۶/۷ می باشد.



تصویر شماره ۴: کارایی حذف وظرفیت جذب اسیدبلاک ۱ با جاذب نانوذره Fe_3O_4 در pH های مختلف(غلظت رنگ ۲۵ میلی گرم درلیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه، دوز جاذب ۱ گرم درلیتر)

اثر زمان تماس و غلظت اولیه رنگ

کارایی حذف نانو ذره در غلظت اولیه رنگ در محدوده ۲۵ تا ۳۰۰ میلی گرم در لیتر بررسی شد که نتایج آن در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. با افزایش غلظت اولیه رنگ، میزان جذب و هم چنین کارایی حذف کاهش، اما ظرفیت جذب افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که کارایی حذف در غلظت اولیه ۲۵ میلی گرم در لیتر رنگ، برابر با ۸۲/۸۴ درصد به دست آمده که با افزایش غلظت به ۳۰۰ میلی گرم در لیتر، کارایی حذف به ۵۸/۲۴ درصد کاهش یافته است. هم‌چنین با توجه به شکل شماره ۵ مشخص می شود که با افزایش زمان تماس، کارایی حذف رنگ افزایش می‌یابد، به‌طوری که برای غلظت رنگ ۲۵ میلی گرم در لیتر در مدت زمان ۱۰ دقیقه، کارایی حذف برابر ۴۹ درصد بود ولی با افزایش زمان تماس به ۶۰ دقیقه، کارایی حذف رنگ ۸۲ درصد رسیده است. هم چنین برای غلظت رنگ ۳۰۰ میلی گرم در لیتر کارایی حذف برای زمان‌های ۱۰ دقیقه و ۶۰ دقیقه به ترتیب ۲۷ درصد و ۵۴ درصد می‌باشد.

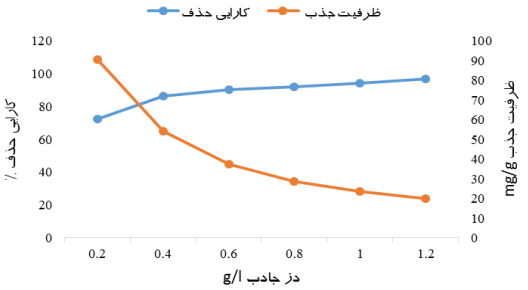


تصویر شماره ۵:کارایی حذف و ظرفیت جذب رنگزای اسید بلاک ۱ با نانوذره Fe_3O_4 در غلظت های رنگ مختلف و زمان تماس های مختلف(pH=۲، دما ۲۰ درجه سلسیوس، دوز جاذب ۱ گرم درلیتر)

تاثیر دوز نانو ذره

همان‌گونه که در تصویر شماره ۶ نشان داده شده است با افزایش دوز جاذب، مقدار حذف رنگ افزایش پیدا می‌کند. به گونه‌ای که با افزایش مقدار جاذب از ۰/۲ به ۰/۴ گرم در لیتر، شیب حذف رنگ تندتر و از ۰/۴ تا ۰/۶ با شیب حذف ملایم تر شده و از ۰/۶ گرم در لیتر به بعد با افزایش دوز جاذب، نمودار حذف رنگ با شیب ثابت و کمی ادامه می یابد. کارایی حذف و ظرفیت جذب در دوز ۰/۲ گرم در لیتر به ترتیب حدود ۷۲ درصد و ۹۰/۵۵ میلی گرم در گرم می باشد که در دوز ۰/۶ گرم در لیترکارایی حذف و ظرفیت جذب به ترتیب به حدود ۹۰ درصد و ۳۷/۵۸ میلی گرم در گرم رسیده است. هم‌چنین در بالاترین دز جاذب آزمایش شده یعنی ۱/۲ گرم در لیتر، کارایی حذف و ظرفیت جذب به ترتیب به حدود ۹۸ درصد و ۲۰/۱۵ میلی گرم در گرم می‌باشد.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]



تصویر شماره ۶ : کارایی حذف رنگزای اسیدبلاک ۱ با نانوذره Fe_3O_4 در دوزجاذب های مختلف(pH=۲، غلظت رنگ ۲۵ میلی گرم در لیتر، زمان ۶۰ دقیقه)

تاثیر کاتیون ها و آنیون ها در حذف رنگزای اسید بلاک ۱ با نانوذره Fe_3O_4 سنتز شده

با توجه به اطلاعات جدول شماره ۳ مشخص می گرددکه حضور بعضی مداخله گرها در غلظت‌های آزمایش شده باعث کاهش جزئی در کارایی حذف و ظرفیت جذب رنگ می گردند. به گونه‌ای که سولفات، نیترات، فلوراید و کلراید باعث کاهش کارایی حذف و ظرفیت جذب از ۱۹ درصد تا ۲۶ درصد می‌شوند. با توجه به اطلاعات جدول مشاهده می‌شود دخالت غلظت‌های بالاتر سولفات، نیترات، فلوراید و کلراید در مقایسه با دخالت غلظت‌های کم‌تر این کاتیون‌ها و آنیون‌ها در کارایی حذف و ظرفیت جذب رنگ تاثیر چندانی نداشته و غلظت‌های بالای این مداخله گرها باعث کاهش کارایی حذف و ظرفیت جذب به مقدار جزئی در مقایسه با غلظت‌های پایین می‌شوند. ولی همانگونه که دیده می‌شود این مسئله در مورد عامل سختی به صورت $CaCO_3$ برعکس بوده و با دخالت عامل سختی در غلظت‌های کم (۲۵ میلی گرم در لیتر) باعث کاهش کارایی حذف و ظرفیت جذب حدود ۱۹ درصد و در غلظت‌های بالاتر (۷۵ میلی گرم در لیتر) کارایی حذف و ظرفیت جذب را حدود ۸ درصد کاهش می‌دهد.

تاثیر غلظت نمک بر کارایی حذف

با توجه به جدول شماره ۴ مشخص می گردد که با افزایش غلظت نمک کارایی حذف کاهش می یابد. در غلظت نمک پایین، کاهش جزئی در کارایی حذف اتفاق می افتد به گونه‌ای که در ۰/۰۱ میلی گرم NaCl ، کارایی حذف ۹۵/۳۲ درصد بوده و با افزایش غلظت نمک کارایی حذف کاهش یافته و در نهایت در ۰/۳ میلی گرم NaCl کارایی حذف به ۶۵ درصد رسیده است.

جدول شماره ۳: تاثیر مداخله گرها در کارایی حذف رنگزای اسید بلاک ۱ با نانوذره Fe_3O_4 (pH=2، غلظت رنگ ۲۵ میلی گرم در لیتر، دوز جاذب ۱ گرم در لیتر، زمان ۶۰ دقیقه، دما ۲۰ درجه سلسیوس)

مداخله گرها (میلی گرم در لیتر)	غلظت (میلی گرم در لیتر)	درصد حذف رنگ
سولفات	۲۰۰	۷۹/۱۶
	۴۰۰	۷۸/۸۸
	۶۰۰	۷۴/۵۶
نیترات	۲۵	۷۶/۴۴
	۵۰	۷۵/۰۸
	۱۰۰	۷۳/۴
فلوراید	۲/۵	۷۲/۶
	۵	۷۴/۶۸
	۷/۵	۷۵/۷۲
کلراید	۲۰۰	۷۷/۹۶
	۴۰۰	۷۶/۲
	۶۰۰	۷۳/۵۲
سختی بر حسب کربنات کلسیم	۷۵	۷۹/۷۲
	۱۵۰	۸۳
	۳۰۰	۹۰/۱۶

جدول شماره ۴: تاثیر قدرت یونی در کارایی حذف رنگزای اسید بلاک ۱ با نانوذره Fe_3O_4 سنتز شده (pH=2، غلظت رنگ ۲۵ میلی گرم در لیتر، دوز جاذب ۱ گرم در لیتر، زمان ۶۰ دقیقه، دما ۲۰ درجه سلسیوس)

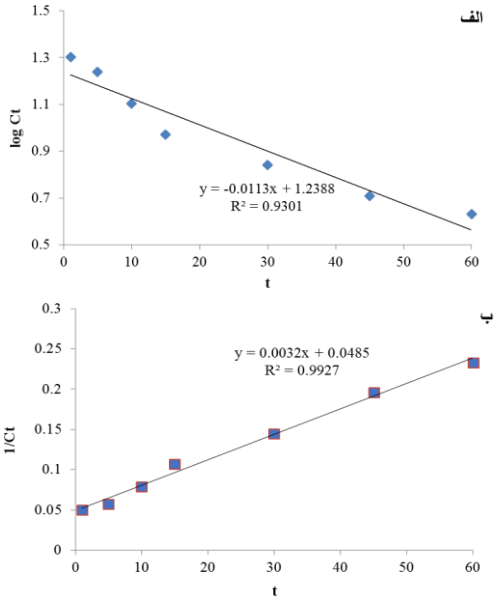
مداخله گر (میلی گرم در لیتر)	غلظت (میلی گرم در لیتر)	درصد حذف رنگ
غلظت نمک بر اساس NaCl	۰/۰۱	۹۵/۳۲
	۰/۰۵	۸۸/۷۲
	۰/۱	۸۷/۵۶
	۰/۱۵	۸۴/۳۲
	۰/۲	۸۰/۴۸
	۰/۲۵	۷۶/۸۴
	۰/۳	۶۵

سینتیک و ایزوترم‌های جذب

تصویر شماره ۷ سنتیک جذب را برای جذب رنگزای اسید بلک ۱ با استفاده از نانو ذرات مگنتیت

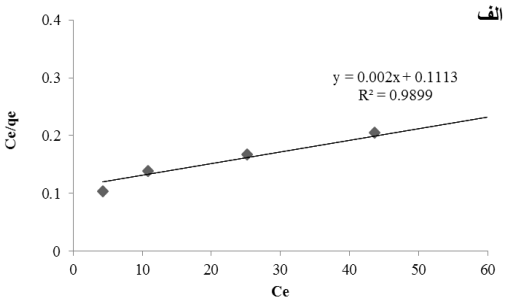
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

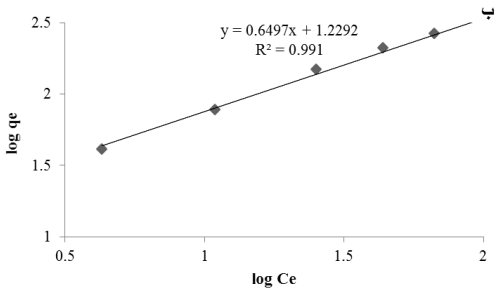
Fe_3O_4 نشان می دهد. با توجه به R^2 نمودارها مشخص می‌شود که سنتیک جذب برای جاذب نانو ذره Fe_3O_4 از مدل درجه دوم کاذب (R^2=0.9927) کاذب تبعیت می کند.



تصویر شماره ۷: مدل سنتیک درجه اول کاذب (الف) و درجه دوم کاذب (ب) برای جذب رنگ بر روی نانو ذره Fe_3O_4

تصویر شماره ۸ نشان دهنده ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ حاصل از داده‌های فرایند جذب می باشد و جدول شماره ۵ بیانگر ضرایب حاصل از مدل های ایزوترم جذب می‌باشد. همان‌طور که مشخص است میزان R^2 برای جاذب نانو ذره Fe_3O_4 در ایزوترم فروندلیچ (R^2=991) بالاتر از ایزوترم لانگمویر (R^2=۹۸۹۹) می‌باشد که نشان از تبعیت فرایند جذب از مدل فروندلیچ دارد.





تصویر شماره ۸: مدل ایزوترم لانگمویر (الف) و فروندلیچ (ب) برای جذب رنگزای اسید بلاک ۱ روی نانو ذره Fe_3O_4

جدول شماره ۵: ضرایب ایزوترم های جذب لانگمویر و فروندلیچ برای جذب رنگزای اسید بلاک ۱ روی نانو ذره Fe_3O_4

جاذب	لانگمویر			فروندلیچ		
	K_L	R_L	R^2	K_F	n	R^2
Fe_3O_4	۰/۰۱	۰/۰۰۱۹	۰/۹۸۹	۳/۴۱	۱/۵۴	۰/۹۹۱

بحث

با توجه به نمودار شماره(۱-ب)، نتایج FTIR بعد از جذب رنگزای اسید بلاک ۱ کاهش شدیدی در درصد عبور مشاهده می‌شود به طوری‌که بیش‌ترین میزان کاهش مربوط به گروه‌های عاملی C=C و Fe-O می‌باشد که نشان از نقش موثر این دو گروه عاملی در حذف رنگ می‌باشد(۱۳). با توجه به نگاره‌های SEM، توزیع ذرات و مرفولوژی سطح به صورت نامنظم بوده و سطوح نسبتا تیز و ناهمواری مشاهده می‌گردد که در مواد پودری و منفذدار طبیعی است. هم‌چنین آنالیزها نشان داد که اندازه ذرات در محدوده ۳۹ الی ۴۵ نانومتر می‌باشد. بسیاری مطالعات نشان داده است که ظرفیت و واکنش‌پذیری نانوذرات کاملا به اندازه ذره بستگی دارد(۱۶،۱۳).

Shu و همکاران گزارش دادند که ظرفیت حذف نانوذره های Fe_3O_4 با اندازه ۸ نانومتر هفت برابر بیش‌تر از نانوذره هایی با اندازه ۵۰ میکرومتر است. هم چنین آن‌ها نشان دادند که واکنش پذیری آهن صفر ظرفیتی ۹۰-۵۰ برابر بیش‌تر از وقتی است که اندازه از ۵۰۰ به ۱۰۰ نانومتر می رسد(۱۷). بار سطحی در نقطه pHzpc خنثی است. زیر این نقطه سطح جاذب بار مثبت می گیرد

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

و جذب آنیون‌ها بهتر اتفاق می افتد(۲۵). مکانیسم حذف آلاینده توسط Fe_3O_4 از نوع شیمیایی است. اتم‌های اکسیژن در سطح اکسیدهای آهن می‌توانند در pH های مختلف قطبی شوند، مخصوصاً زمانی که مقدار pH زیر pHzpc است. سطح اکسیدهای آهن مثبت شده و آلاینده‌های بار منفی را بهتر جذب می‌کند(۲۶).

pH محیط یکی از عواملی است که با تاثیر بر بار سطحی جاذب، راندمان فرایند را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این مطالعه بیش‌ترین کارایی حذف در pH اسیدی بدست آمد زیرا در شرایط اسیدی خوردگی نانوذرات آهن صورت گرفته و باعث افزایش سرعت واکنش می‌شود(۲۲،۲۰). در حالی‌که در pH های بالا به دلیل تشکیل $Fe(OH)_3$ سرعت واکنش کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه حاضر با نتایج حاصل از تحقیق رحمانی و همکاران و همچنین با نتایج حاصل از تحقیق Shao-Feng Niu در حذف کروم (VI) از محیط‌های آبی با نانوذرات آهن مطابقت دارد(۲۵). pH محیط میتواند اثرات متنوع دیگری نیز بر ساختار سطحی جاذب داشته باشد. در بعضی موارد کاهش pH سبب افزایش و تجمع یون H^+ در اطراف جاذب می‌شود، این یونها با ایجاد اثر حائل سبب خنثی سازی لحظه‌ای بارهای منفی سطح جاذب می‌شوند و بنابراین آلاینده‌های دارای بار منفی می‌توانند روی جاذب جذب شوند(۱۴). هم‌چنین در pH پایین سطح جاذب توسط عوامل کربوکسیلیک حاوی پروتن احاطه می‌شود که این امر مانع از جذب رنگ‌های راکتیو در سطح جاذب می‌گردد. از طرفی دیگر با توجه به ساختار رنگ مورد مطالعه، در محیط‌های آبی، رنگ اسید بلاک ۱ حل شده و گروه سولفانات منفی تشکیل می‌گردد. بنابرین جذب رنگ با استفاده از باند شدن گروه‌های سولفونات منفی با گروه‌های عاملی مثبت صورت می‌گیرد(۲۶). نتایج پژوهش Gao و همکاران نشان می دهد با کاهش pH از ۸ به ۱ ظرفیت جذب رنگ‌های آنیونی آزو به تدریج افزایش می‌یابد(۹). علت این افزایش احتمالاً به این خاطر است که با کاهش pH قدرت جاذبه الکترواستاتیکی افزایش یافته و بر گروه کاتیونی آمونیوم غالب آمده و باعث افزایش ظرفیت حذف می‌گردد(۲۷). سطح اکسیدهای آهن معمولاً پوشیده از گروه‌های هیدروکسیل است که در pHهای مختلف تغییر می‌یابند. در pHهای بالا کاهش در بار الکتریکی محل های گیرنده سطح جاذب می‌تواند باعث کاهش کارایی حذف گردد(۲۸).

تعیین دوز جاذب به دلیل ملاحظات اقتصادی از مهم‌ترین مسائل مورد توجه در سیستم‌های جذب می‌باشد. افزایش دوز جاذب به دلیل این‌که منجر به در دسترس قرار گرفتن سطح بیشتر برای جذب و در نتیجه افزایش تماس بین آلاینده و جاذب می‌شود، باعث افزایش کارایی جذب رنگزای اسید بلاک می‌گردد(۱). همان طور که در نتایج نشان داده شده است با افزایش دوز نانوذره Fe_3O_4 ، کارایی حذف رنگزای اسید بلاک ۱ نیز افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش دوز جاذب و حذف رنگزا افزایش یافته و در نتیجه بازده جذب افزایش می‌یابد. هر چند افزایش دوز جاذب باعث افزایش حذف رنگزا می‌شود، اما این افزایش منجر به کاهش ظرفیت جذب می‌گردد. این پدیده را می‌توان به استفاده از سطح در دسترس در شکل غیر اشباع جاذب نسبت داد(۱۷).

مطالعه انجام شده توسط Hung و همکاران در کاهش رنگ آزو Acid Black 24 با استفاده از نانوذرات آهن سنتز شده نشان داد که با افزایش غلظت نانو ذرات آهن کارایی حذف افزایش می‌یابد(۲۶). هم‌چنین نتایج پژوهش افخمی و همکاران نشان داد که با افزایش مقدار جاذب، میزان کارایی حذف رنگ از محیط آبی افزایش می‌یابد که با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد(۱۵). نتایج مطالعه ما با نتایج مطالعه Nadejde و همکاران و مطالعه صفری و مومنی مطابقت دارد(۱۹،۱۲).

نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس، کارایی حذف و ظرفیت جذب تا زمان ۶۰ دقیقه روند افزایشی دارد اما در زمان‌های کوتاه تر سرعت جذب بیش‌تر

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

بوده و در زمان‌های نزدیک به ۶۰ دقیقه سرعت جذب کندتر می‌باشد که این مسئله نشان می‌دهد در ابتدا سطوح در دسترس برای جذب آلاینده روی جاذب‌ها به طور کامل آزاد است و در نتیجه جاذب با تمام سطوح در تماس با آلاینده قرار گرفته است و با گذشت زمان سطوح در دسترس کم‌تر شده و در نتیجه سرعت جذب نیز کاهش می‌یابد(۲۷). هم‌چنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه رنگ، راندمان حذف رنگزا به میزان چشم‌گیری کاهش یافته است. علت این پدیده به نسبت تعداد مول‌های آلاینده در دسترس و سطح فعالی که جذب در آن‌ها اتفاق می‌افتد بستگی دارد. به‌طوری‌که در یک جرم ثابت از جاذب با افزایش غلظت اولیه، میزان سطح فعال در دسترس برای جاذب ثابت مانده اما تعداد مول‌های آلاینده موجود در محیط واکنش جذب، افزایش می‌یابد که این امر باعث کاهش راندمان فرایند می‌گردد(۳۱). همان‌طور که از نتایج مشخص است میزان R^2 برای جاذب نانو ذره Fe_3O_4 در ایزوترم فروندلیچ بالاتر از ایزوترم لانگمویر می‌باشد که نشان از تبعیت بهتر فرایند جذب از مدل فروندلیچ دارد و بیانگر چند لایه بودن جذب در جاذب می‌باشد(۲۹). مقدار Rl (فاکتور برگشت پذیری) برای جاذب بین ۰ و ۱ می‌باشد که نشان‌دهنده مطلوبیت جذب برای جاذب است. هم‌چنین در این مطالعه n برای جاذب بین ۱ و ۱۰ قرار دارد که این مسئله نشان می‌دهد فرایند جذب نانو ذره Fe_3O_4 مناسب بوده است(۲۵). پارامترهای به دست آمده از مدل‌های مختلف اطلاعات مهمی درباره مکانیسم جذب و ویژگی‌ها و کشش سطح جاذب ارائه می‌کند. مقدار n معادله فروندلیچ بزرگ‌تر از یک نشان دهنده جذب شیمیایی است. ایزوترم‌های با n بزرگ‌تر از ۱ جزو ایزوترم‌های نوع L طبقه‌بندی می‌شوند که بیانگر کشش بالا بین جاذب و جذب شونده است و نشانه جذب شیمیایی است(۲۱). در پژوهش Giri و همکاران در زمینه حذف رنگ از محلول آبی با نانوذرات مگنتیت نیز داده‌های تعادلی جذب با مدل فروندلیچ مطابقت بیش‌تری داشت که آن را نشان‌دهنده ناهمگنی سطح جاذب توصیف کردند(۲۱).

در این مطالعه افزایش یون‌های مداخله گر نیترات، سولفات، کلرور، فلوراید و سختی تاثیر بسیار کمی (کم‌تر از ۱۰ درصد) بر کارایی حذف رنگزای اسید بلاک ۱ توسط نانوذره Fe_3O_4 نشان دادند که بیانگر ظرفیت بالای جاذب برای جذف این نوع الاینده‌ها می‌باشد.نتایج تحقیقات Hu و همکاران نشان داد زمانی که بین آلاینده‌ها با نانو ذرات نزدیکی وجود دارد الکترولیت‌های زمینه، تاثیر ناچیزی در حذف آلاینده‌ها دارند. برای مثال نیترات و کلراید با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر حذف کروم (VI) توسط نانوذرات تاثیری ندارند(۱۷). هم‌چنین تحقیقات Chowdhury and yanful نشان داد الکترولیت‌های زمینه در آب زیرزمینی تاثیر خاصی در حذف As(V) با مگنتیت و مگمیت ندارد. در مطالعه افخمی و همکاران در حذف مالاشیت گرین با نانوذره مگنتیت، یون های خارجی به مقدار ۵۰ تا ۸۰۰ برابر مالاشیت گرین را دخالت دادند و مشاهده گردید که تغییرات کارایی حذف کمتر از ۵ درصد بود(۲۸) که این نتایج با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. معمولا نیترات و کلراید عوامل ضعیفی هستند و مکانیسم ضعیفی با ترکیبات محیط اطراف نشان می دهند(۳۱).

در این مطالعه به بررسی حذف رنگزای اسید بلاک ۱ با نانوذره سنتزشده Fe_3O_4 پرداخته شد. با توجه به نتایج پژوهش مشخص گردید که نانوذره سنتز شده در غلظت ها و در شرایط مختلف کارایی مناسبی جهت حذف رنگزای اسید بلاک ۱ دارد و می تواند برای حذف این رنگ ها مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

این طرح با حمایت مادی و معنوی کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی اردبیل انجام گردیده است و بدین وسیله از معاونت پژوهشی و سرپرست کمیته تحقیقات کمال تشکر و قدردانی را داریم.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

References

1. Bazrafshan E, Zarei AA, Nadi H, Zazouli MA. Adsorptive removal of methyl orange and reactive red 198 dyes by Moringa Peregrina ash. Indian J Chem Technol 2014; 21(2): 105-113.
2. Khosravi R, Hazrati S, Fazlzadeh M. Decolorization of AR18 dye solution by electrocoagulation: sludge production and electrode loss in different current densities. Desalination and Water Treatment 2016; 57: 14656-14664.
3. Khosravi R, Fazlzadehdavil M, Barikbin B, Hossini H. Electro-decolorization of Reactive Red 198 from aqueous solutions using aluminum electrodes systems: modeling and optimization of operating parameters. Desalination and Water Treatment 2015; 54: 3152-3160.
4. O'Neill C, Hawkes FR, Hawkes DL, Lourenco ND, Pinheiro HM, Delee W. Color in textile effluents sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. J Chem Technol Bi 1999; 74(11): 1009-1018.
5. Levine WG. Metabolism of azo dyes: implication for detoxification and activation. Drug Metab Rev 1991; 23(3-4): 253-309.
6. Pirsaheb M, Dargahi A, Hazrati S, Fazlzadehdavil M. Removal of diazinon and 2,4-dichlorophenoxy-acetic acid (2,4-D) from aqueous solutions by granular-activated carbon. Desalination and Water Treatment 2014; 52: 4350-4355.
7. Rajaguru P, Vidya L, Baskarasethupathi B, Kumar PA, Palanivel M, Kalaiselvi K. Genotoxicity evaluation of polluted ground water in human peripheral blood lymphocytes using the comet assay. Mutat Res 2002; 517(1-2): 29-37.
8. Abdoallahzadeh H, Alizadeh B, Khosravi R, Fazlzadeh M. Efficiency of EDTA Modified Nanoclay in Removal of Humic Acid from Aquatic Solutions. J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26(139): 111-125.
9. Ramakrishna K, Viraraghavan T. Dye removal using low cost adsorbents. Water Sci Technol 1997; 36(2,3): 189-196.
10. Crini G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. Bioresour Technol 2006; 97(9): 1061-1085.
11. Fazlzadeh M, Rahmani K, Zarei A, Abdoallahzadeh H, Nasiri F, Khosravi R. A novel green synthesis of zero valent iron nanoparticles (NZVI) using three plant extracts and their efficient application for removal of Cr(VI) from aqueous solutions. Advanced Powder Technology 2016; in press.
12. ZHAO Y, QIU Z, HUANG J. Preparation and Analysis of Fe_3O_4 Magnetic Nanoparticles Used as Targeted-drug Carriers. Chin J Chem Eng 2008; 16(3): 451-455.
13. Nadejde C, Neamtu M, Schneider RJ, Hodoroaba VD, Ababei G, Panne U. Catalytical degradation of relevant pollutants from waters using magnetic nano catalysts. Appl Surf Sci 2015; 352: 42-48.
14. Shahmoradi B, Maleki A, Byrappa K. Removal of Disperse Orange 25 Using in situ Surface Modified Iron Doped TiO2 Nanoparticles. Desalination Water Treat 2015; 53(13): 3615-3622.
15. Zazouli MA et al, Investigating the Removal Rate of Acid Blue 113 from Aqueous Solution by Canola. J Mazand Univ Med Sci 2013; 22(2): 71-78.
16. Bahrami M, Brumand-Nasab S, Kashkooli HA, Farrokhian-Firouzi A, Babaei AA.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

Cadmium Removal from Aqueous Solutions Using Modified Magnetite Nanoparticles. IJHE 2013; 6(2): 221-232.

17. Tang SC, Lo IM. Magnetic nanoparticles: Essential factors for sustainable environmental applications. Water Res 2013; 47(8): 2613-2632
18. Khosravi R, Fazlzadehdavil M, Barikbin B, Taghizadeh AA. Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by granular and powdered Peganum Harmala. Appl Surf Sci 2014; 292: 670-677.
19. Xiaoming P, Xijun H, Dafang F, Frank LY. Adsorption removal of acid black 1 from aqueous solution using ordered mesoporous carbon. Appl Surf Sci 2014; 294: 71-80.
20. Safari J, Zarnegar Z, Heydarian M. Magnetic Fe3O4 Nanoparticles as Efficient and Reusable Catalyst for the Green Synthesis of 2-Amino-4H-chromene in Aqueous Media. Bull Chem Soc Jpn 2012; 85(12): 1332-1338.
21. Weng X, Huang L, Chen Z, Megharaj M, Naidu R. Synthesis of iron-based nanoparticles by green tea extract and their degradation of malachite. Ind Crops Prod 2013; 51: 342-347.
22. Douglas AS, Donald MW, Holler FJ, Stanley RC. Fundamentals of analytical chemistry. 9thed. Canada. Thomson-Brooks. 2009.
23. Shahwan T, Abu Sirriah S, Nairata M, Boyacıb E, AE Eroğlub, TB Scottc, et al. Green synthesis of iron nanoparticles and their application as a Fenton-like catalyst for the degradation of aqueous cationic and anionic dyes. Chem Eng J 2011; 172(1): 258-266.
24. Khosravi R, Fazlzadehdavil M, Samadi Z, Mostafavi H, Taghizadeh AA, Dorri H. investigation of phenol adsorption from aqueous solution by carbonized service bark and modified-carbonized service bark by ZnO. Journal of Health & Hygiene 2013; 4(1): 21-30 (Persian).
25. Afkhami A, Moosavi R. Adsorptive removal of Congo red, a carcinogenic textile dye, from aqueous solutions by maghemite nanoparticles. J Hazard Mater 2010; 174(1-3): 398-403.
26. Rahmani AR, Norouzi R, Samadi MT, Afkhami A. Hexavalent Chromium Removal from Aqueous Solution by Produced Iron Nanoparticles. IJHE 2009; 1(2): 67-74.
27. Gao H, Kan T, Zhao S, Qian Y, Cheng X, Wu W, et al. Removal of anionic azo dyes from aqueous solution by functional ionic liquid cross-linked polymer. J Hazard Mater 2013; 261: 83-90.
28. Afkhami A, Moosavi R, Madrakian T. Preconcentration and spectrophotometric determination of low concentrations of malachite green and leuco-malachite green in water samples by high performance solid phase extraction using maghemite nanoparticles. Talanta 2010; 82(2): 785-789.
29. Afkhami A, Saber-Tehrani M, Bagheri H. Modified maghemite nanoparticles as an efficient adsorbent for removing some cationic dyes from aqueous solution. Desalination 2010; 263(1-3): 240-248.
30. Safavi A, Momeni S. Highly efficient degradation of azo dyes by palladium/ hydroxyapatite/Fe3O4 nanocatalyst. J Hazard Mater 2012; 201-202: 125-131.
31. Afkhami A, Norooz-Asl R. Removal, preconcentration and determination of Mo (VI) from water and wastewater samples using maghemite nanoparticles. Colloids Surf A Physicochem Eng Asp 2009; 346(1-3): 52-57.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]