کاربرد نانوذرات اکسید نیکل به عنوان یک جاذب کارآمد برای حذف رنگ از پساب‌های سنتتیک

رویا ناطقی[۱]، غلامرضا بنیادی‌نژاد[۲]، محمد مهدی امین[۳]، علی اسدی[۴]

چکیده

مقدمه: در این تحقیق کارایی فرایند جذب با استفاده از نانوذرات اکسید نیکل برای تصفیه پساب حاوی رنگ مونوآزوی نارنجی ۲ (Orange II) در مقیاس آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت.

روش‌ها: تأثیر عوامل مختلف از جمله مقدار جاذب، زمان تماس، pH و غلظت اولیه رنگ‌زا بررسی شد.

یافته‌ها: مناسب‌ترین محدوده pH برای رنگ‌زا، pH اسیدی می‌باشد و تحت این شرایط، می‌توان ۵۰ mg/L رنگ‌زای مورد نظر را با ۰/۶ g/L اکسید نیکل به طور کامل حذف نمود. این غلظت به عنوان غلظت بهینه اکسید نیکل تعیین گردید. با این که افزایش غلظت رنگ‌زا موجب کاهش بازدهی فرایند شد، ولی کارایی قابل توجهی تا غلظت ۱۰۰ mg/L رنگ‌زا به دست آمد.

نتیجه‌گیری: داده‌ها نشان دادند که نانوذرات اکسید نیکل می‌تواند به عنوان یک جاذب کارآمد برای رنگ‌بری رنگ‌زاهای آزو مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: جذب، نانوذرات اکسید نیکل، رنگ آزو، رنگ‌بری.

نوع مقاله: *تحقیقی*

دریافت مقاله: ۸۹/۹/۲ *پذیرش مقاله: ۸۹/۱۰/۳۰*

مقدمه

سالیانه در سراسر جهان حدود یک میلیون تن مواد رنگ زای مختلف سنتز می‌شود که به طور تقریبی ۱۵-۱۰ درصد از ماند. این رنگ‌ها پس از مصرف در پساب‌های نساجی باقی می در دسته‌بندی کلی رنگ‌ها، رنگ‌های آزو بزرگ‌ترین نماینده کلاس رنگ‌ها یا به عبارت دیگر ۷۰-۶۰ درصد از رنگ‌ها را به خود اختصاص می‌دهند (۴-۱). رنگ‌های آزو حاوی عامل) می‌باشند که به همراه آن یک یا -N = N-رنگی باند آزو (چند سیستم آروماتیک نیز حضور دارد (۵، ۳، ۲). تخلیه پساب ها و های پذیرنده از قبیل دریاچه‌های حاوی مواد رنگی به آب ها، موجب کاهش انتقال نور، کاهش میزان اکسیژن رودخانه شود و از این طریق زندگی آبزیان می‌CODمحلول و افزایش را مختل می‌نماید. محققان دریافته‌اند که برخی از رنگ‌زاها های آروماتیک می‌توانند در طی فرایند تجزیه احیایی، آمین سرطان‌زا و جهش‌زا تولید کنند (۶). بدون تصفیه کافی و مناسب، این ترکیبات قادرند برای مدت زمان بسیار طولانی و زدایی بمانند (۷). برای رنگ صورت پایدار در محیط باقی به فاضلاب صنایع نساجی، روش‌های متفاوتی وجود دارد که از توان به فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و جمله می برداری و بیولوژیکی اشاره نمود. بیشتر این فرایندها هزینه بهره

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسؤول)
Email: r_bonyadinejad@yahoo.com
۳- دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.
۴- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران.

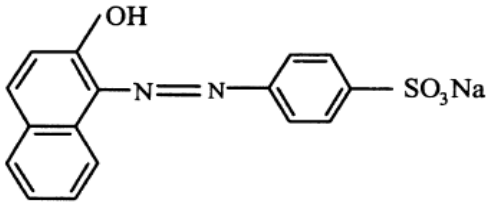
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir

ها برای داری بالایی دارند و به همین دلیل استفاده از آن‌نگه های رنگی برای بسیاری از کشورها مناسب و تصفیه پساب باشد. جذب فیزیکی، یک روش کارآمد و مقرون به صرفه نمی های محلول در پساب کاربردی برای کاهش سریع غلظت رنگ می‌باشد. تحقیقات قابل توجهی در زمینه جذب برخی از رنگ‌ها به وسیله جاذب‌هایی از قبیل کربن فعال، سیلیکا، خاک رس، پلیمرهای طبیعی و مصنوعی و غیره انجام شده است (۸).) به علت ویژگی‌های شیمیایی و NiOاکسید نیکل (مغناطیسی‌اش یک اکسید قابل توجه است. ذرات اکسید نیکل بسیار ریز، با اندازه‌های یکسان و پراکنش خوب در زمینه‌های مختلفی از قبیل تولید فیلم‌ها، مواد مغناطیسی، سرامیک، مواد های قلیایی، الکتروکروم و کاتالیتیکی غیر همگن، تهیه باطری غیره مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۹). اکسید نیکل به عنوان یک کاتالیست مؤثر برای اکسیداسیون طیف وسیعی از ترکیبات آلی استفاده شده است (۱۱، ۱۰).

طی مطالعه‌ای که توسط سعادتجو و همکاران بر روی رنگ‌زای بازیک قرمز ۴۶ در غلظت اولیه رنگ ppm ۱۵ با استفاده از جاذب تکه‌های سخت شده سیمان سفید پرتلند انجام گرفت، در شرایط pH برابر ۱۰ و جاذب با غلظت g/L ۱۰ بعد از ۱۲۰ دقیقه زمان تماس بیش از ۸۰ درصد حذف به دست آمد (۱۲). عسگری و غنی‌زاده با استفاده از g/L ۱ خاکستر استخوان mg/L ۲۰۰ رنگ متیلن بلو را بعد از ۲ ساعت زمان تماس به طور کامل حذف نمودند (۱۵). در تحقیقاتی که آرامی و همکاران انجام دادند، حدود ۷۶ درصد رنگ‌زای بازیک آبی ۴۱ با غلظت mg/L ۵۰، با استفاده از g/L ۰/۸ پوسته تمر هندی در pH برابر ۸ حذف شد (۱۳). Song و همکاران، با استفاده از نانو شیت‌های اکسید نیکل توانستند بعد از ۶ ساعت، mg/L ۱۰۰ رنگ راکتیو را در pH اسیدی به طور کامل حذف نمایند (۸). هدف از انجام این مطالعه بررسی کارایی نانوذرات اکسید نیکل به عنوان یکی از اشکال فرایندهای جذب برای حذف رنگ آزوی Orange II بود.

روش‌ها

این تحقیق یک مطالعه تجربی، مداخله‌ای بود که در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته انجام گردید. نانوذرات اکسید نیکل (NiO) و رنگ‌زای Orange II از شرکت سیگما- آلدریچ خریداری گردید. رنگ‌زا بدون خالص‌سازی استفاده شد. ساختار شیمیایی رنگ‌زا در شکل ۱ ارایه شده است. سایر ترکیبات شیمیایی از شرکت مرک آلمان خریداری شد. دستگاه‌های pHمتر (WTW)، سانتریفیوژ (SIGMA) و اسپکتروفتومتر $DR_{5...}$ مورد استفاده قرار گرفت.



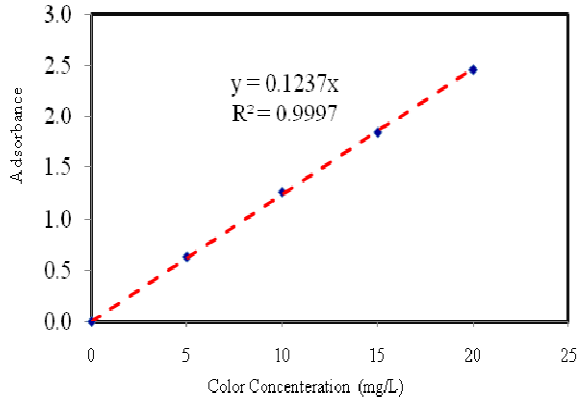
شکل ۱. ساختار شیمیایی رنگ‌زای نارنجی ۲

ابتدا محلول مادر رنگ Orange II با غلظت mg/L ۱۰۰۰ تهیه گردید. سپس از این محلول، با استفاده از آب مقطر محلول‌های استاندارد با غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و mg/L ۳۰ ساخته شد. بعد از اسکن نمودن دامنه جذب هر رنگ، طول موج حداکثر جذب (λ_{max}) برای رنگ Orange II برابر با nm ۵۰۰ به دست آمد. در مرحله بعد، جذب رنگ‌های استاندارد با غلظت‌های معلوم توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ($DR_{5...}$) قرائت شد و منحنی استاندارد مربوط به هر رنگ رسم گردید و غلظت هر رنگ در مراحل مختلف با استفاده از معادله به دست آمده از منحنی استاندارد تعیین گردید. شکل ۲ منحنی استاندارد کالیبراسیون رنگ Orange II را نشان می‌دهد. از آن جایی که نانوذرات اکسید نیکل در آب به طور کامل نامحلول هستند و می‌توان آن‌ها را به طور کامل از پساب جداسازی نمود و به علاوه مقاومت فیزیکی بالاتری نسبت به کربن فعال دارند، این ماده به عنوان جاذب انتخاب گردید. جهت

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir

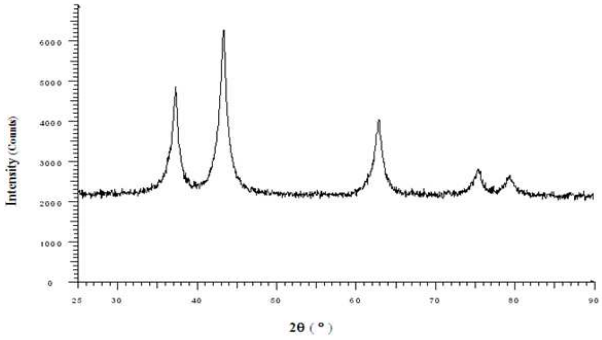
تعیین مشخصات ساختاری نانوذرات اکسید نیکل از تکنیک‌های پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) استفاده شد. در این مطالعه تأثیر پارامترهای مختلف از قبیل غلظت اولیه رنگ، pH، زمان تماس و غلظت‌های مختلف اکسید نیکل مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور آزمایشات جذب در غلظت‌های متفاوتی از محلول رنگی با استفاده از مقدار مشخصی نانوذرات اکسید نیکل و در pH مختلف با سرعت همزن ۱۰۰ rpm به مدت ۲ ساعت انجام گرفت. نمونه‌های گرفته شده، سانتریفیوژ گردید و غلظت هر رنگ‌زا توسط UV-Vis اسپکتروفتومتر ($DR_{۵}$...)، تعیین شد.



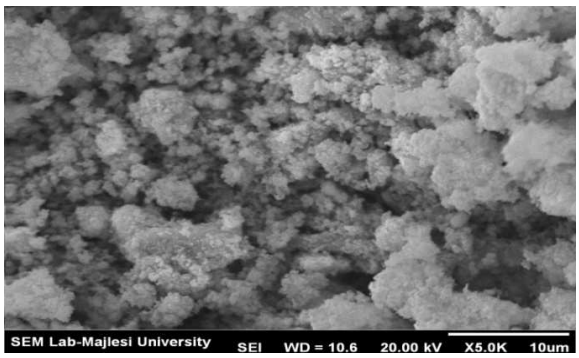
شکل ۲. منحنی استاندارد جذب جهت اندازه‌گیری رنگ Orange II در نمونه‌های مجهول

یافته‌ها

جهت تعیین مشخصات ساختاری نانوذرات اکسید نیکل از تکنیک‌های پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) استفاده شد. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نشان دهنده عکس XRD و SEM نانوذرات اکسید نیکل می‌باشند. میزان سطح قابل دسترسی بر اساس محاسبات انجام شده، توسط شرکت سیگما ۵۰ m2/g تعیین گردید و مطابق آزمایش‌های به انجام رسیده، متوسط اندازه این ذرات کمتر از ۱۰ nm تخمین زده شد.



شکل ۳. تکنیک‌های پرتو ایکس (XRD) نانوذرات اکسید نیکل

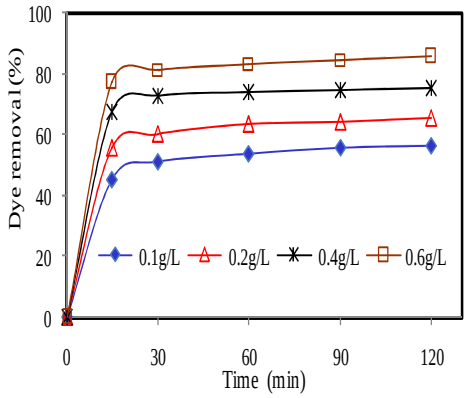


شکل ۴. عکس میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) نانوذرات اکسید نیکل

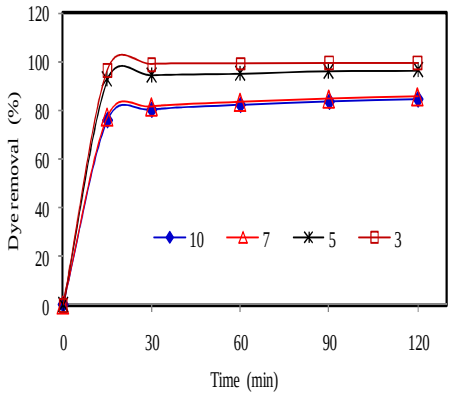
جهت انجام این تحقیق، ابتدا تأثیر مقدار مصرفی نانوذرات اکسید نیکل بر حذف رنگ‌زا در غلظت ثابت ۵۰ mg/L رنگ‌زا، pH خنثی و غلظت‌های مختلف جاذب انجام شد. نتایج حاصل در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج بیان‌گر آن است که بعد از ۳۰ دقیقه زمان تماس حدود ۸۱ درصد از رنگ‌زای Orange II توسط ۰/۶ g/L جاذب حذف گردیده است. بنابراین این مقدار به عنوان مقدار بهینه برای ادامه بررسی‌های فرایند رنگ‌بری رنگ‌زا مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی تأثیر مقدار pH در فرایند جذب در شکل ۶ نشان می‌دهد که ظرفیت جذب نانوذرات اکسید نیکل با افزایش pH کاهش یافته است. به عبارت دیگر بالاترین کارایی حذف رنگ‌زا (حدود ۹۹/۵ درصد) در pH برابر ۳ به دست آمده است.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir

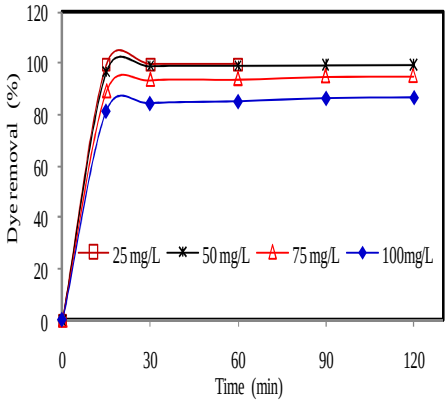


شکل ۵. تأثیر مقدار جاذب NiO و زمان تماس روی حذف رنگ Orange II (pH: ۷، Color: ۵۰ mg/L)



شکل ۶. تأثیر pH اولیه رنگ در فرایند جذب (NiO: ۰/۶ g/L، Color: ۵۰ mg/L)

به منظور بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگ در فرایند جذب غلظت‌های مختلف رنگ به ترتیب برابر با (۱۰۰–۷۵–۵۰–۲۵) میلی‌گرم در لیتر مورد مطالعه قرار گرفت. برای بررسی این بخش از تحقیق، از بهترین ناحیه اثر pH و غلظت بهینه NiO به دست آمده از مراحل قبل به همراه غلظت‌های مختلف رنگ استفاده گردید. همان گونه که شکل ۷ نشان می‌دهد، با افزایش غلظت اولیه رنگ از ۲۵ mg/L تا mg/L ۱۰۰، سرعت رنگ‌بری کاهش می‌یابد.



شکل ۷. تأثیر غلظت رنگ‌زا بر کارایی فرایند رنگ‌بری با استفاده از جاذب NiO (pH: ۳ – NiO: ۰/۶ g/L)

بحث

نتایج آزمایش‌های XRD و SEM بیان‌گر آن است که ذرات اکسید نیکل دارای ساختاری غیر متبلور بوده، دارای خلل و فرج و سطوح مناسب برای جذب است. با توجه به سطح NiO که شامل تک لایه‌های متناوب قطبی یون‌های اکسیژن و کاتیون‌های نیکل است، یک میدان الکترواستاتیک قوی عمود به سطح NiO ایجاد می‌نماید که ممکن است منجربه یک جذب الکترواستاتیک بین سطح اکسید نیکل و مولکول‌های رنگ در محلول شود که علاوه بر مساحت سطح، در حذف رنگ کمک می‌نماید (۸).

نتایج حاصل از بررسی تأثیر مقدار ماده جاذب بر کارایی فرایند جذب نشان داد که با افزایش جاذب، کارایی افزایش می‌یابد، که این می‌تواند به خاطر افزایش سطح جاذب و میزان دسترسی بیشتر به مکان‌های جذب باشد (شکل ۵). این نتایج با مطالعات انجام شده توسط سایر محققین مطابقت دارد (۱۳، ۱۲). مطابق شکل ۵ حدود ۸۱ درصد از رنگ‌زای Orange II در ۳۰ دقیقه حذف شده پس از آن کارایی حذف رنگ‌زاها به مقدار ثابتی رسیده است. به طور کلی ظرفیت جذب و کارایی حذف رنگ‌زا توسط جاذب، با زمان تماس، رابطه مستقیم دارد؛ به طوری که با افزایش زمان تماس، به دلیل افزایش احتمال برخورد مولکول‌های رنگ‌زا با سطح

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir

جاذب، جذب سطحی بیشتر خواهد شد ولی در یک زمان مشخصی به مقدار ثابتی می‌رسد. در این لحظه مقدار رنگ زای جذب شده، با مقدار رنگ‌زای واجذب شده در حالت تعادل دینامیکی قرار دارد و بعد از این زمان میزان جذب رنگ توسط جاذب به طور تقریبی ثابت می‌ماند (۱۳).

مقدار pH محلول نقش مهمی را در کل فرایند و ظرفیت جذب ایفا می‌نماید و نه تنها بار سطحی جاذب بلکه درجه یونیزاسیون مواد موجود در محلول و تفکیک گروه‌های عاملی در مکان‌های فعال جاذب و همچنین شیمی محلول را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بسیاری از محققین معتقدند که pH نقشی ضروری در جاذبه الکترواستاتیکی بین جاذب و رنگ زای هدف ایفا می‌نماید (۱۳، ۸). نتایج این مرحله از تحقیق بیان‌گر آن است که ظرفیت جذب با افزایش pH کاهش یافته است. در بهترین شرایط یعنی در pH برابر ۳ حدود ۹۹/۵ درصد از رنگ‌زا حذف گردیده است (شکل ۶). جذب بیشتر رنگ در pH پایین‌تر، ممکن است در اثر جذب الکترواستاتیک بین یون‌های رنگی با بار منفی و سطح جاذب با بار مثبت باشد. در pH پایین‌تر، پروتون‌های بیشتری در دسترس خواهند بود که به موجب آن جاذبه الکترواستاتیک بین یون‌های رنگی با بار منفی و محل‌های جذب دارای بار مثبت افزایش می‌یابد که موجب افزایش در جذب رنگ می‌شود. جذب کمتر در pH بالاتر ممکن است ناشی از فراوانی یون‌های OH^- و ایجاد نیروی دافعه بین سطح دارای بار منفی و مولکول‌های آنیونی رنگ باشد. نتایج مشابهی توسط Song و همکاران به دست آمده است (۸).

به منظور بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگ در فرایند جذب غلظت‌های مختلف رنگ به ترتیب برابر با (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵) میلی‌گرم در لیتر مورد مطالعه قرار گرفت. همان گونه که شکل ۷ نشان می‌دهد، با افزایش غلظت اولیه رنگ از mg/L ۲۵ تا mg/L ۱۰۰، سرعت رنگ‌بری کاهش می‌یابد. در غلظت اولیه پایین‌تر، جذب رنگ‌زا روی جاذب بسیار شدید است و به سرعت به تعادل می‌رسد. به عبارت دیگر نسبت تعداد اولیه مول‌های رنگ‌زا به مکان‌های در دسترس جذب کمتر و در تنیجه مقداری از جذب مستقل از غلظت اولیه خواهد بود (۱۴). در غلظت‌های بالاتر، تعداد مکان‌های در دسترس جذب کمتر، در نتیجه حذف رنگ‌زا به غلظت اولیه بستگی دارد (۱۳). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که pH مؤثرترین عامل در کارایی فرایند جذب رنگ‌زای Orange II توسط نانوذرات اکسید نیکل می‌باشد. به طور کلی نانوذرات اکسید نیکل یک جاذب مؤثر برای حذف رنگ زای آزو از پساب‌های آلوده می‌باشد. g/L ۰/۶ اکسید نیکل به عنوان مقدار بهینه جاذب برای حذف کامل رنگ‌زا در شرایط mg/L ۵۰ غلظت اولیه رنگ‌زا، pH برابر ۳ و سرعت همزن rpm ۱۰۰ به مدت ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

References

1. Somasiri W, Li XF, Ruan WQ, Jian C. Evaluation of the efficacy of upflow anaerobic sludge blanket reactor in removal of colour and reduction of COD in real textile wastewater. Bioresour Technol 2008; 99(9): 3692-9.
2. Movahedian Attar H, Rezaee R. Investigating the Efficiency of Advanced Photochemical Oxidation (APO) Technology in Degradation of Direct Azo Dye by UV/H2O2 Process[persian]. Water & Wastewater Journal 2006; 59: 75-83.
3. Daneshvar N, Aber S, Vatanpour V, Rasoulifard MH. Electro-Fenton treatment of dye solution containing Orange II: Influence of operational parameters. Journal of Electroanalytical Chemistry 2008; 615(2): 165-74.
4. Peng Y, Fu D, Liu R, Zhang F, Liang X. NaNO2/FeCl3 catalyzed wet oxidation of the azo dye Acid Orange 7. Chemosphere 2008; 71(5): 990-7.
5. Lopes A, Martins S, Morمo A, Magrinho M, Gonçalves I. Degradation of a Textile Dye C. I. Direct Red 80 by Electrochemical Processes. Portugaliae Electrochimica Acta 2004; 22(3): 279-94.
6. Shi B, Li G, Wang D, Feng C, Tang H. Removal of direct dyes by coagulation: the performance of preformed polymeric aluminum species. J Hazard Mater 2007; 143(1-2): 567-74.
7. Santosa AB, Cervantes FJ, Lier JB. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. Bioresource Technology 2007; 98(12): 2369-85.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir

8. Song Z, Chen L, Hu J, Richards R. NiO111 nanosheets as efficient and recyclable adsorbents for dye pollutant removal from wastewater. Nanotechnology 2009; 20(27): 275707.
9. Mahaleh YBM, Sadrnezhaad SK, Hosseini D. NiO Nanoparticles Synthesis by Chemical Precipitation and Effect of Applied Surfactant on Distribution of Particle Size. Journal of Nanomaterials 2008; 2008.
10. Lai TL, Wang WF, Shu YY, Liu YT, Wang CB. Evaluation of microwave-enhanced catalytic degradation of 4-chlorophenol over nickel oxides. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 2007; 273(1-2): 303-9.
11. Wang HC, Chang SH, Hung PC, Hwang JF, Chang MB. Catalytic oxidation of gaseous PCDD/Fs with ozone over iron oxide catalysts. Chemosphere 2008; 71(2): 388-97.
12. Saadatju N, Rasulifard MH, Heidari H. Removal of basic red 46 using low-cast absorbent of hardened paste of portland cement from contaminated water. Journal of Color Science and Technology 2008; 2(4): 221-6.
13. Khoramfar SH, Mahmoudi NM, Rami M, Haranjig Kad. Dye removal from colored textile wastewater using tamarindus indica hull: Adsorption isotherm and kinetics study. Journal of Color Science and Technology 2009; 3(2): 81-8.
14. Crini G, Badot PM. Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. Progress in Polymer Science 2008; 33(4): 399-447.
15. Ghanizadeh GH, Asgari GH. Removal of Methylene blue dye from synthetic wastewater with bone char. Iranian Journal of Health and Environment 2009; 2(2): 104-13.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]
www.mui.ac.ir

Nickel oxide nanoparticles application as an efficient adsorbent for dye removal from synthetic wastewater treatment

Roya Nateghi[1], Gholam Reza Bonyadinejad[2], Mohammad Mehdi Amin[3], Ali Assadi[4]

Abstract

Background: In this study, adsorbentn process performance was assessed using nickel oxide nanoparticles for wastewater treatment containing mono azo Orange II dye in a laboratory scale.

Methods: The effects of various factors such as adsorbent dosage, contact time, pH and initial dye concentration were investigated.

Findings: Based on the obtained results, the optimum pH range to dye removal is acidic pH and under these conditions, complete removal of the 50 mg/L dye can be achieved by using 0.6 g/L of nickel oxide. This concentration of nickel oxide was determined as the optimum concentration. Although increasing dye concentration caused a decrease in the efficiency process, but a considerable efficiency was obtained in 100 mg/L dye concentration.

Conclusion: The data showed that the nickel oxide nanoparticles could be used as an efficient adsorbent for the decolorization of azo dyes.

Key words: Adsorbtion, Nickel Oxide Nanoparticles, Azo Dye, Decolorization.

1- MS Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran.
2- MS Student, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (Corresponding Author)
Email: r_bonyadinejad@yahoo.com
3- Associate Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-28]

www.mui.ac.ir