

بررسی حذف ماده رنگزای متیل سبز با استفاده از نانوذرات اکسید نیکل

علی اکبر دهنوخلجی

دانشیار، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران، صندوق پستی: ۱۵۵
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۵ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

چکیده

در این تحقیق، روش ساده‌ای برای تهیه نانوذرات اکسید نیکل استفاده شد. نانوذرات اکسید نیکل تهیه شده به کمک روش‌های طیف‌سنجی ارتعاشی زیر قرمز، پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی عبوری شناسایی شدند. همچنین، جذب محلول متیل سبز با غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر با تغییر مقدار جاذب اکسید نیکل، مدت زمان هم‌زدن و دمای محلول مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بهترین وضعیت برای حذف متیل سبز استفاده از ۱۰ میلی‌گرم جاذب اکسید نیکل، در مدت زمان ۴۵ دقیقه و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد است. لذا این جاذب قابلیت حذف مواد رنگزای مشابه را نیز خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: متیل گرین، جذب سطحی، نانوذرات اکسید نیکل، آلاینده‌های آلی،

Removal of Methyl Green Dye using Nickel Oxide Nanoparticles

A. Dehno Khalaji

Department of Chemistry, Faculty of Science, Golestan University, P. O. Box: 155, Gorgan, Iran.
Received: 26-10-2019 Accepted: 15-08-2020 Available online: 08-02-2021

Abstract

In this study, a simple method was used to prepare nickel oxide nanoparticles. The prepared nickel oxide nanoparticles were characterized using Fourier Transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray powder diffraction (XRD) and transmission electron microscopy (TEM) techniques. Also, the adsorption of methyl green solution at a concentration of 20 mg/L was investigated by changing the parameters of the amount of nickel oxide adsorbent, stirring time and temperature of the solution. The results show that the best condition for removing methyl green is to use 10 mg of nickel oxide adsorbent for 45 minutes at 45 °C. Therefore, this adsorbent will be able to remove similar colors. *J. Color Sci. Tech.* 15(2021), 71-77©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Methyl green, Surface adsorption, Nickel oxide nanoparticles, Organic pollutions

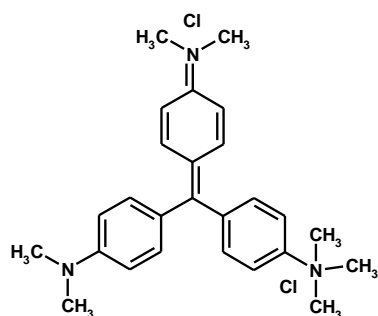
۱- مقدمه

[۲۰]. از معروفترین جاذب‌هایی که بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نانوذرات اکسیدهای فلزی مانند اکسید منیزیم [۲۱]، اکسید نیکل [۲۲-۲۴]، اکسید مس [۲۵، ۲۶] و اکسید روی [۲۷] و نانوفریت‌های مختلف مانند فریت روی [۲۸] و فریت کبالت [۲۹] و فریت نیکل [۳۰] می‌باشند که دارای مزایایی چون روش تهیه ساده، هزینه نسبتاً پایین، جداسازی جاذب از محیط آبی، استفاده دوباره از جاذب و در عین حال دارای توان جذبی بالایی می‌باشند. نانوذرات در مقایسه با ترکیبات توده‌ای در اندازه‌های میکرو دارای نسبت سطح به حجم بسیار بیشتری هستند. این امر سبب می‌شود تا کسر بزرگی از اتم‌های سطحی آن‌ها برای انجام واکنش شیمیایی یا جذب سطحی در دسترس باشند. هدف از این پژوهش، تهیه، شناسایی و استفاده از نانوذرات اکسید نیکل (NiO) برای جذب متیل سبز از محلول آبی سنتزی با تغییر عواملی مانند مقدار جاذب، مدت زمان تماس و دمای محلول می‌باشد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد و دستگاه‌های شناسایی

کلرید نیکل شش آبه (NiCl₂·6H₂O)، اسید بنزوئیک^۴، هیدروکسید سدیم و اتانل از شرکت مرک^۵ آلمان خریداری و بدون خالص‌سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفته شد. برای تهیه نانوذرات از کوره ساخت ایران با افزایش دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه استفاده شد. جهت شناسایی و تعیین ترکیب شیمیایی نانوذرات، از دستگاه پراش پرتو ایکس^۶ مدل GNR MPD3000 ساخت ایتالیا استفاده شد. تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری^۷ نانوذرات تهیه شده به کمک دستگاه Zeiss - EM10C انجام شد. جهت ثبت طیف‌های الکترونی دستگاه UV-Vis شرکت پرکین-المر^۸ و طیف FT-IR دستگاه طیف‌سنجی ارتعاشی زیر قرمز (FT-IR) شرکت پرکین-المر مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۱: ساختار شیمیایی متیل سبز.

به دلیل استفاده از مواد رنگزای مختلف (به ویژه آزو^۱) در صنایعی مانند نساجی، چرم، کاغذسازی، مواد غذایی، آرایشی و بهداشتی، پساب‌های تولیدی حاصل از این صنایع آلوده به مواد رنگزا است [۱، ۲] با ورود این پساب‌ها به محیط زیست، به دلیل اثرات سمی و مخرب مواد رنگزا، شرایط زیست‌محیطی آب‌های سطحی، رودخانه‌ها و حتی خاک منطقه دچار تغییر می‌شود. این تغییر برای سلامت انسان‌ها، حیوانات و گیاهان بسیار خطرناک است. لذا تا حد امکان باید پساب‌های صنایع قبل از ورود به محیط زیست تصفیه شوند و از آلودگی‌های مختلف آن‌ها تا حد ممکن کاسته شود [۳]. مواد رنگزای مورد استفاده در صنایع مختلف علاوه بر آلودگی اولیه محیط زیست (آب و خاک)، در اثر گذشت زمان و طی فرآیندهای شیمیایی مختلف به ترکیباتی بسیار خطرناک، سرطان‌زا و سمی تبدیل می‌شوند [۴]. بیشتر مواد رنگزا در برابر گرما، نور محیط و همچنین تجزیه زیستی مقاوم و پایدار می‌باشند و به راحتی از بین نمی‌روند. لذا مدت زمان طولانی می‌توانند در محیط باقی بمانند. متیل سبز^۲ (شکل ۱) یکی از مواد رنگی مورد استفاده در صنایع مختلف است که سنتزی بوده [۵] و از طبقه مواد رنگزای تری‌فنیل‌متان^۳ می‌باشد. متیل گرین در گروه مواد رنگزای بازی قرار دارد که کاملاً در آب حل می‌شود. به کمک روش‌های متداول تصفیه نیز نمی‌توان این ترکیبات را از محیط جدا کرد. روش‌های مختلفی مانند استفاده از منعقد کننده‌ها، عوامل اکسنده، فرآیندهای کاتالیزوری نوری و استفاده از صافی‌ها و غشاهای مختلف برای جداسازی مواد رنگزا به کار رفته است که این روش‌ها دارای معایبی مانند داشتن هزینه بالا و نیاز مداوم به مواد منعقد کننده و اکسنده می‌باشند [۶-۱۱]. علاوه بر آن، عدم حذف مواد رنگزا با بازده بالا نیز از معایب آن‌ها به شمار می‌رود. کارآمدترین و بهترین روش برای حذف مواد رنگزا استفاده از جاذب‌های مختلف است که از طریق فرآیند جذب سطحی سبب منتقل شدن ماده رنگزا به فاز ساکن (جاذب) می‌شوند [۱۲، ۱۳]. از ویژگی‌های این روش می‌توان به بازیابی مجدد جاذب و استفاده دوباره آن، هزینه سرمایه‌گذاری پایین، سادگی روش و طراحی آن و غیره اشاره کرد. تا کنون جاذب‌های زیادی برای حذف مواد رنگزا استفاده شده است که عبارتند از نانولوله‌های TiO₂ [۱۴]، نانوکامپوزیت‌های حاوی اکسید گرافن [۱۵]، کربن فعال اصلاح شده با نانوذرات اکسید مس [۱۶]، خاک اره پوشش دهی شده با نانوذرات اکسید منیزیم [۱۷]، نانوذرات مغناطیسی نیکل [۱۸]، کامپوزیت Ag/CMK-3 [۱۹] و نانوذرات مغناطیسی عامل دار شده با پورفیرین

4- Benzoic acid
5- Merck Company
6- X-ray powder diffraction
7- Transmission electron microscopy
8- Perkin-Elmer

1- Azo
2- Methyl green
3- Threphenylmethane

محلول ماده رنگزای متیل سبز و ۱۰ میلی گرم جاذب اکسید نیکل ریخته شد. سپس توسط هم‌زن مغناطیسی در دماهای ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه هم زده شدند و طیف جذبی هر محلول ثبت شد. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه جذب در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- شناسایی نانوذرات اکسید نیکل

طیف ارتعاشی نانوذرات اکسید نیکل تهیه شده در شکل ۲ نشان داده شده است. پیک قوی ظاهر شده در ناحیه 438 cm^{-1} مربوط به ارتعاش پیوند Ni-O است که دلالت بر تهیه اکسید نیکل است. دو پیک پهن و ضعیف در اعداد موجی 1610 cm^{-1} و 3412 cm^{-1} دلالت بر وجود مولکول‌های آب یا رطوبت جذب شده بر روی سطح نانوذرات یا KBr دارند [۳۱-۳۳].

الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید نیکل تهیه شده در شکل ۳ نشان داده شده است. پیک‌های ظاهر شده در زوایای ۲θ مختلف مربوط به صفحات بلوری بوده (۱۱۱)، (۰۰۲)، (۲۰۲)، (۱۱۳)، (۲۲۲)، (۰۰۴)، (۳۱۳) و (۲۰۴) بوده و با الگوی پراش پرتو ایکس کارت^۱ شماره ۰۴۲۹-۰۷۸-۰۱۰ JCPDS^۲ مطابقت دارد که نشان‌دهنده ساختار مکعبی نانوذرات حاصل است [۳۱-۳۳]. همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود، پیک‌ها تمیز و تیز بوده و فاقد هرگونه پیک اضافی که نشان دهنده ناخالصی است می‌باشند. تیز بودن پیک‌ها نیز دلالت بر بلورینه بودن خوب نانوذرات و پهنای پیک‌ها دلالت بر اندازه کوچک نانوذرات تهیه شده دارند. این موارد به کمک تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (شکل ۴) تایید می‌شوند. شکل ۴ نشان می‌دهد که نانوذرات جدا از یکدیگر بوده و نانوذرات حاصل تقریباً دارای گوشه‌های خاص و مشخصی نیستند و بیشتر آن‌ها به صورت تقریباً دایره‌ای دیده می‌شوند. هر چند که شکل‌های تقریباً مستطیلی نیز در آن‌ها دیده می‌شود.

1- Card number

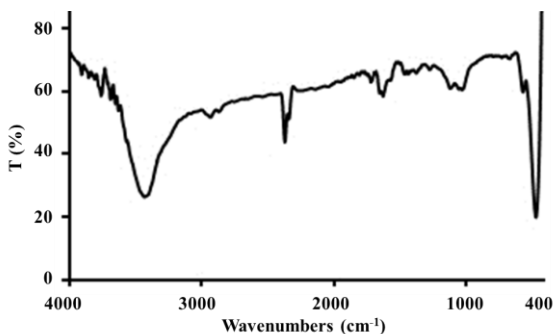
2- Joint Committee on Powder Diffraction Standards

۲-۲- تهیه نانوذرات NiO

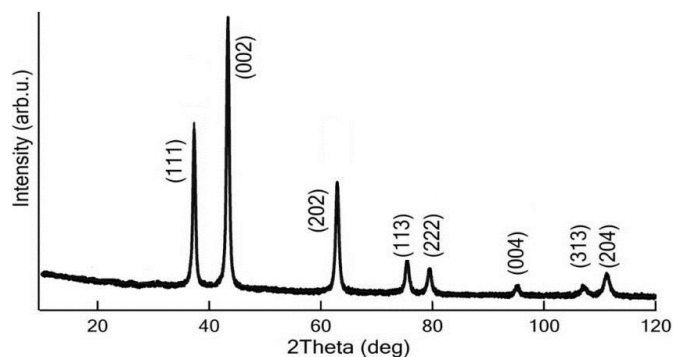
ابتدا ۲ گرم کلرید نیکل شش‌آبه در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و در حین هم‌زدن ۲ گرم جامد اسید بنزوئیک به آن اضافه شد. در حین هم‌زدن مخلوط حاصل، به آن قطره قطره محلول ۱ مولار سدیم هیدروکسید برای رسیدن pH محلول به ۱۲ اضافه گردید. مخلوط نهایی به مدت ۱٫۵ ساعت هم زده شد. سپس در آن با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد کاملاً خشک شد. جامد خشک شده در یک هاون چینی به صورت پودر کاملاً یکنواختی درآورده شد و سپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار گرفت. رسوبات سیاه رنگ نهایی به کمک مخلوط متانل-آب مقطر (۱:۱ حجمی-حجمی) شسته شدند. سپس رسوبات حاصل در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ ساعت خشک شدند.

۲-۳- روش حذف ماده رنگزای متیل سبز

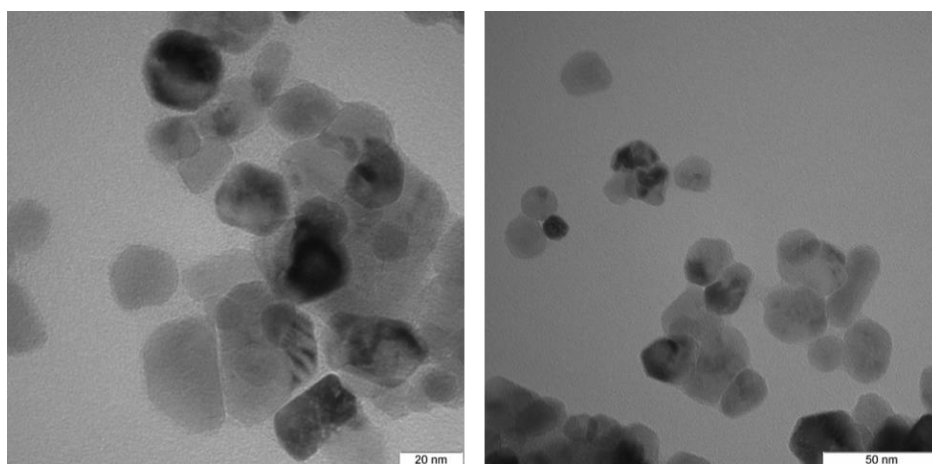
در این تحقیق نانوذرات اکسید نیکل به‌عنوان جاذب برای حذف ماده رنگزای متیل سبز استفاده شد. برای مطالعه و بررسی حذف ماده رنگزای متیل سبز، آزمایش بر طبق مراحل زیر انجام گرفت. ابتدا ۱ لیتر محلول اولیه متیل سبز با غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه شد. جذب آن به‌عنوان جذب اولیه اندازه‌گیری گردید. در ۴ ارلن ۲۵ میلی‌لیتری، مقدار ۲۰ میلی‌لیتر از محلول اولیه ریخته شد. سپس به‌ترتیب مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم از جاذب اکسید نیکل به ارلن‌ها اضافه شد و به مدت ۶۰ دقیقه به کمک شیکر تمامی مخلوط‌ها هم زده شدند. در ادامه، مقدار ۲ میلی‌لیتر از هر محلول را به کمک پی‌پت برداشته و طیف جذبی هر یک به کمک UV-Vis ثبت گردید. پس از بررسی نتایج، مقدار جاذب ۱۰ میلی‌گرم برای ادامه کار انتخاب شد. سپس با افزودن ۱۰ میلی‌گرم جاذب اکسید نیکل به ۲۰ میلی‌لیتر محلول ماده رنگزا، طیف‌های جذبی محلول در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه و همچنین پس از گذشت ۲۴ ساعت هم‌زدن بر روی شیکر ثبت شدند. بر اساس نتایج، بهترین زمان تماس جاذب ۱۵ دقیقه انتخاب شد. در انتها، در ۵ ارلن ۲۵ میلی‌لیتری جداگانه ۲۰ میلی‌لیتر از



شکل ۲: طیف ارتعاشی نانوذرات اکسید نیکل تهیه شده.



شکل ۳: الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید نیکل تهیه شده.



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات اکسید نیکل تهیه شده با دو مقیاس مختلف.

C_i = غلظت اولیه محلول ماده رنگزا (mg/l)، C_f = غلظت نهایی محلول ماده رنگزا (mg/l)، V = حجم محلول استفاده شده (L) و M = مقدار جاذب استفاده شده (g) است. نمودار q_t بر حسب مقدار جاذب در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار جاذب، مقدار ماده رنگزای جذب شده بر حسب میلی‌گرم به ازای یک گرم جاذب کاهش می‌یابد. در جدول ۱ مقادیر درصد حذف ماده رنگزا نیز ارائه شده است.

جدول ۱: نتایج حذف ماده رنگزای متیل سبز در حضور مقادیر مختلف جاذب اکسید نیکل و زمان ۶۰ دقیقه تماس.

مقدار جاذب (mg)	جذب محلول	غلظت محلول (mgL ⁻¹)	q_t	درصد حذف
۰	۰,۶۷۶	۲۰	-----	-----
۵	۰,۳۶۸	۱۰,۸۸	۳۶,۴	۵۶,۴۵
۱۰	۰,۱۶۵	۴,۸۸	۳۰,۲	۷۵,۶۰
۲۰	۰,۱۳۰	۳,۸۴	۱۶,۱	۷۷,۸۰
۳۰	۰,۱۲۸	۳,۷۸	۱۰,۸	۸۱,۱۰

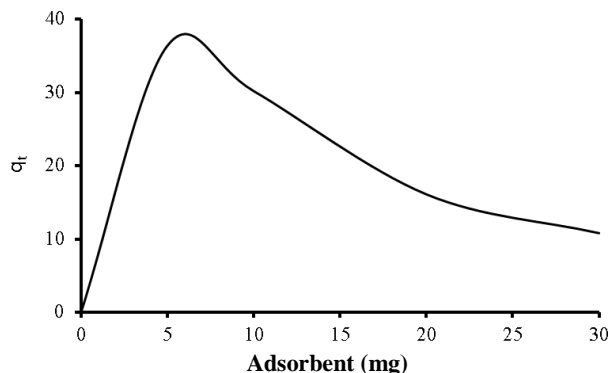
میانگین اندازه نانوذرات به کمک رابطه شرر^۱ ($d = 0.9\lambda / \beta \cos\theta$) در حدود ۲۰,۵ نانومتر به دست آمد که با تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نیز سازگار است. در معادله شرر، d اندازه نانوذرات، λ طول موج منبع پرتو ایکس مورد استفاده، β پهنای نیمه ارتفاع پیک دارای بیشترین ارتفاع (در این محاسبات از پیک مربوط به صفحه بلوری (۰۰۲) استفاده شده است) و θ زاویه براگ می‌باشند.

۳-۲- بهینه‌سازی شرایط جذب

جهت تعیین شرایط بهینه جذب ماده رنگزای متیل سبز توسط نانوذرات اکسید نیکل تهیه شده عواملی مانند مقدار جاذب، زمان تماس و دمای محلول مورد بررسی قرار گرفتند. در جدول ۱ نتایج حذف ماده رنگزای متیل سبز در حضور مقادیر مختلف جاذب و در زمان ۶۰ دقیقه تماس ارائه شده است. مقدار جذب ماده رنگزا بر حسب میلی‌گرم به ازای ۱ گرم جاذب (q_t) از رابطه ۱ به دست آمده است.

$$q_t = (C_i - C_f)V / M \quad (1)$$

با افزایش مقدار جاذب است [۳۴-۳۸]. بیشترین مقدار درصد حذف ماده رنگزا به میزان ۸۵,۹۵، برای زمان ۲ ساعت بدست آمده است. نمودار q_t برحسب زمان (دقیقه) برای مقدار جاذب ۱۰ میلی گرم در شکل ۶ نشان داده شده است. مشاهده می کنید که مقدار q_t تا زمان ۴۵ دقیقه افزایش یافته، اما بعد از آن و تا زمان ۱۲۰ دقیقه، افزایش محسوسی را نشان می دهد [۳۴، ۳۵]. این افزایش در مقدار جذب به دلیل طولانی بودن زمان تماس بین سطح جاذب و ماده رنگزا است. بنابراین نتایج، زمان ۴۵ دقیقه به عنوان مینا برای بررسی اثر دما بر روی جذب متیل گرین در حضور ۱۰ میلی گرم جاذب انتخاب شد. در مقاله ای که آی و ژنگ [۳۶] در مورد حذف ماده رنگزای کنکو قرمز به کمک نانوذرات اکسید نیکل منتشر کردند، با افزایش زمان تماس تا ۴۵ دقیقه مقدار حذف ماده رنگزا در حال افزایش بوده، اما پس از آن با افزایش زمان مقدار حذف ماده رنگزا تغییر زیادی نمی کند و تقریباً ثابت باقی می ماند که با نتایج حاصل از این مقاله سازگار است. نتایج اثر جذب ماده رنگزا توسط ۱۰ میلی گرم جاذب و در زمان ۴۵ دقیقه در دماهای مختلف در جدول ۳ ارائه شده اند. همان گونه که در جدول ۳ دیده می شود، با افزایش دما مقدار درصد حذف افزایش می یابد و بیشتری مقدار جذب به میزان ۹۰,۵۵ درصد در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد مشاهده شده است [۳۷]. نتایج آل-اوح نشان می دهد که مقدار q_t حذف ماده رنگزای بروموفنول آبی توسط جاذب اکسید نیکل با افزایش دما از ۳۰ به ۶۰ درجه سانتی گراد نیز افزایش می یابد که با نتایج مقاله حاضر سازگار است [۳۷]. در شکل ۷ نمودار تاثیر دمای محلول بر q_t محلول ماده رنگزا در λ_{max} نشان داده شده است. در این شکل دیده می شود که تا دمای ۴۵ درجه سانتی گراد میزان جذب ماده رنگزا با شدت بیشتری توسط جاذب اتفاق می افتد و پس از این دما جذب ماده رنگزا با شدت کمتری دیده می شود.



شکل ۵: تاثیر مقدار جاذب بر q_t .

نتایج نشان می دهد که با بیشتر شدن مقدار جاذب مورد استفاده مقدار درصد حذف ماده رنگزا بیشتر می شود که نشان دهنده بیشتر شدن سطح جاذب و مناطق فعال جذب بر روی جاذب می باشد که با نتایج حاصل از پژوهش محمودی و همکارانش [۳۴] و یاوری و همکاران [۳۵] مطابقت دارد. بیشترین مقدار حذف ماده رنگزا برای ۳۰ میلی گرم جاذب معادل ۸۱,۱۰ درصد بدست آمده است. بر اساس نتایج جدول ۲ مشاهده می شود که با تغییر مقدار جاذب از ۱۰ به ۳۰ میلی گرم تنها حدود ۵,۵ درصد بر مقدار جذب افزوده شده است که مقدار قابل توجهی در مقابل افزایش مقدار جاذب نمی باشد. بنابراین مقدار ۱۰ میلی گرم جاذب برای بررسی شرایط زمانی و دمایی بر روی حذف متیل گرین انتخاب شد.

نتایج حاصل از تاثیر زمان تماس جاذب مورد استفاده (۱۰ میلی گرم) با محلول ماده رنگزا در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که هر چه زمان تماس بیشتر شود، درصد حذف ماده رنگزا بیشتر می شود که نشان دهنده افزایش مناطق فعال جذب

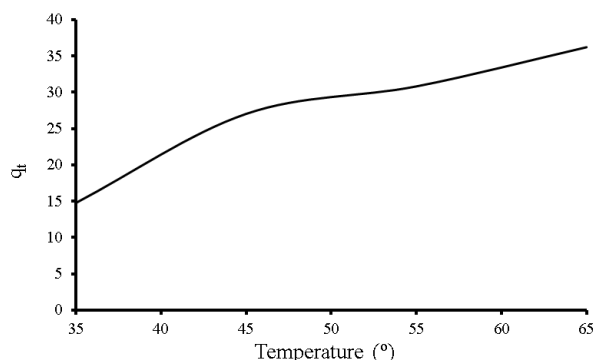
¹ Scherrer equation

جدول ۲: نتایج حذف ماده رنگزای متیل سبز در حضور مقادیر ۱۰ میلی گرم جاذب اکسید نیکل در زمان های مختلف.

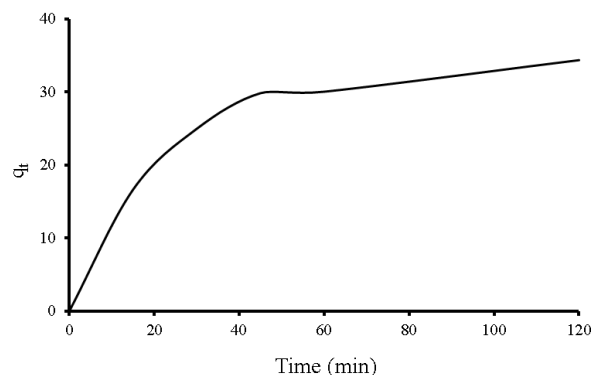
زمان (دقیقه)	جذب محلول	غلظت محلول ($mg l^{-1}$)	q_t	درصد حذف
۰	۰,۶۷۶	۲۰	-	-
۱۵	۰,۳۹۵	۱۱,۶۸	۱۶,۶۴	۴۱,۶۲
۳۰	۰,۲۵۴	۷,۵۱	۲۴,۹۸	۶۲,۴۵
۴۵	۰,۲۲۲	۶,۵۷	۲۹,۸۶	۶۷,۱۵
۶۰	۰,۱۶۸	۴,۹۷	۳۰,۰۶	۷۵,۱۵
۱۲۰	۰,۰۹۵	۲,۸۱	۳۴,۳۸	۸۵,۹۵

جدول ۳: نتایج حذف ماده رنگزای متیل سبز در دماهای مختلف در حضور مقادیر ۱۰ میلی گرم جاذب اکسید نیکل و زمان ۴۵ دقیقه.

درصد حذف	q_t	غلظت محلول (mg l^{-1})	جذب محلول	دما (درجه سانتی گراد)
-----	-----	۲۰	۰,۲۲۲	۲۵
۳۶,۹۵	۱۴,۸۷	۱۲,۶۱	۰,۱۴۰	۳۵
۶۷,۶۰	۲۷,۰۴	۶,۴۸	۰,۰۷۲	۴۵
۷۷,۰۵	۳۰,۸۲	۴,۵۹	۰,۰۵۱	۵۵
۹۰,۵۵	۳۶,۲۲	۱,۸۹	۰,۰۲۱	۶۵



شکل ۷: تاثیر دمای محلول بر q_t .



شکل ۶: تاثیر زمان تماس جاذب بر q_t .

(۱۰ میلی گرم) از نانوذرات اکسید نیکل برای حذف ماده رنگزای متیل سبز در حداقل زمان (۴۵ دقیقه)، بیشترین بازده را در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد خواهیم داشت.

تشکر و قدردانی

از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه گلستان جهت انجام این کار کمال تشکر را دارم.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، نانوذرات تقریباً کروی با اندازه ذرات ۲۰,۵ نانومتر از جاذب اکسید نیکل تهیه و شناسایی شدند. در ادامه تاثیر مقدار جاذب، زمان تماس و دمای محلول بر حذف متیل سبز مورد بررسی قرار گرفت. بهترین مقدار جاذب برای حذف ماده رنگزای متیل سبز ۱۰ میلی گرم به دست آمد. به کمک این مقدار بهترین زمان تماس ۴۵ دقیقه و نهایتاً بهترین دمای محلول ۴۵ درجه سانتی گراد برای حذف ماده رنگزا به دست آمد. این مطالعه نشان می‌دهد که با حداقل مقدار

۵- مراجع

1. Y. R. Zhang, S. L. Shen, S. Q. Wang, J. Huang, P. Su, Q. R. Wang, B. X. Zhao, A dual function magnetic nanomaterial modified with lysine for removal of organic dyes from water solution. *Chem. Eng. J.* 239(2014), 250-256.
2. H. Gao, S. Zhao, X. Cheng, X. Wang, L. Zheng, Removal of anionic azo dyes from aqueous solution using magnetic polymer multi-wall carbon nanotube nanocomposite as adsorbent. *Chem. Eng. J.* 223(2013), 84-90.
3. J. Goscianska, M. Marciniak, R. Pietrzak, Mesoporous carbons modified with lanthanum(III) chloride for methyl orange adsorption. *Chem. Eng. J.* 247(2014), 258-264.
4. L. G. da Silva, R. Ruggiero, P. M. Gontijo, R. B. Pinto, B. Royer, E. C. Lima, T. H. M. Fernandes, T. Calvete, Adsorption of brilliant red 2BE dye from water solutions by a chemically modified sugarcane bagasse lignin. *Chem. Eng. J.* 168(2011), 620-628.
5. م. حسین نژاد، ش. روحانی، مروری بر آخرین تحقیقات درباره سنتز مواد رنگزای فلورسنس با استفاده از روش ماکروویو. *نشریه علمی مطالعات در نیای رنگ*. (۱۳۹۸)، ۶۹-۵۹.
6. T. H. Kim, C. Park, J. Yang, S. Kim. Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and fenton oxidation. *J. Hazard. Mater.* 112(2004), 95-103.
7. Y. Yao, F. Xu, M. Chen, Z. Xu, Z. Zhu. Adsorption behavior of methylene blue on carbon nanotubes. *Bioresour. Technol.* 101(2010), 3040-3046.

8. J. Galan, A. Rodriguez, J.M. Gomez, S.J. Allen, G.M. Walker, Reactive dye adsorption onto a novel mesoporous carbon, *Chem. Eng. J.* 219(2013), 62-68.
9. D. P. Li, Y. R. Zhang, X. X. Zhao, B. X. Zhao, Magnetic nanoparticles coated by aminoguanidine for selective adsorption of acid dyes from aqueous solution. *Chem. Eng. J.* 232(2013), 425-433.
10. M. Khayat, A.Y. Zahrim, N. Hilal, Modelling and optimization of coagulation of highly concentrated industrial grade leather dye by response surface methodology. *Chem. Eng. J.* 167(2011), 77-83.
11. M. Janus, E. Kusial, J. Choina, J. Ziebro, A.W. Morawski, Enhanced adsorption of two azo dyes produced by carbon modification of TiO₂. *Desalination*. 249(2009), 359-363.
۱۲. س. ح. مرتضوی میلانی، ع. صباغ الوانی، ر. سلیمی، ح. سامعی، مطالعه روش های تخریب مواد رنگزای آلی توسط نانوذرات فوتوکاتالیستی. نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ. (۱۳۹۸) ۹، ۸-۱.
۱۳. م. قائمی زاده، م. خواجه مهریزی، کاربرد فوتوکاتالیست ها و عوامل موثر بر آنها در تصفیه پساب های رنگی. نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ. ۹ (۱۳۹۸) ۲۰-۹.
۱۴. م. مقصودی، ش. خامنه اصل، مروری بر روش های بهبود نانولوله های TiO₂ برای استفاده در تجزیه فوتوکاتالیستی مواد رنگزا. نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ. (۱۳۹۸) ۹، ۲۹-۲۱.
۱۵. م. گل محمدی، ع. صباغ الوانی، ح. سامعی، ر. سلیمی، مروری بر ویژگی های فوتوکاتالیستی نانوکامپوزیت های حاوی اکسید گرافن جهت استفاده در غشاهای پلیمری به منظور تخریب پساب های رنگی. نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ. (۱۳۹۸) ۹، ۲۲-۱۳.
۱۶. آ. جعفری راد، ر. میرزاجانی، حذف رنگ تارترازین به وسیله کربن فعال اصلاح شده با نانوذرات اکسید مس، فصلنامه کاربرد شیمی در محیط زیست. (۱۳۹۳) ۱۹، ۱۲-۵.
۱۷. ر. انصاری، ا. محمدپور نسبه، ا. رسولی گرمارودی، ح. کرمانیان، حذف رنگینه متیلن بلو توسط خاک اره پوشش دهی شده با نانوذرات منیزیم اکسید. مجله علمی شیمی کاربردی. (۱۳۹۷) ۱۳، ۲۳۷-۲۱۹.
۱۸. س. سبحان اردکانی، ر. زندی پاک، حذف رنگ متیل اورانژ از محیط های آبی با استفاده از نانوذرات مغناطیسی نیکل: مطالعه تعادلی و سینتیکی. مجله سلامت و محیط زیست. (۱۳۹۵) ۹، ۲۵۴-۲۵۸.
۱۹. ع. جعفرقلی نژاد، ل. ترکیان، م. دقیقی اصلی، بررسی جذب سطحی رنگ اورانژ G به وسیله کامپوزیت Ag/CMK-3. نشریه پژوهش های کاربردی در شیمی. (۱۳۹۴) ۹، ۵۴-۴۷.
۲۰. ل. عدل نسب، ل. حیدری، س. اوسطی، آ. پیری صدیق، بررسی حذف رنگدانه های آلی از نمونه های محیطی با استفاده از سنتز نانوذرات مغناطیسی عامل دار شده با پورفیرین. نشریه علمی علوم و فناوری رنگ. (۱۳۹۵) ۱۰، ۱۱۶-۱۰۷.
۲۱. ا. قهرمانی، م.ت. قانعیان، ا. ابویی مهریزی، ژ. قوامی، ک. احمدی، م. تقوی، ش. صادقی، بررسی کارایی و اثربخشی نانوذرات اکسید منیزیم در حذف رنگ راکتیو یلو ۳ از محیط های آبی. مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی. (۱۳۹۵) ۸، ۱۲۴-۱۱۷.
22. H. A. Al-Aoh, Adsorption performances of nickel oxide nanoparticles (NiO NPs) towards bromophenol blue dye (BB), *Desal. Water Treat.* 110 (2018) 229-238.
23. H. Hu, G. Chen, C. Deng, Y. Qian, M. Wang, Q. Zheng, Green microwave-assisted synthesis of hierarchiral NiO architectures displaying a fast and high adsorption behavior for Congo red, *Mater. Lett.* 170 (2016) 139-141.
24. Y. Zheng, B. Zhu, H. Chen, W. You, C. Jiang, J. Yu, Hierarchical flower-like nickel(II) oxide microspheres with high adsorption capacity of Congo red in water. *J. Colloid Interface Sci.* 504(2017), 688-696.
25. M. Rashad, H. A. Al-Aoh, Promising adsorption studies of bromophenol blue using copper oxide nanoparticles, *Desal. Water Treat.* 139(2019), 360-368.
26. X. Liu, Z. Li, Q. Zhang, F. Li, T. Kong, CuO nanowires prepared via a facile silution route and their photocatalytic property. *Mater. Lett.* 72(2012), 49-52.
27. M. Rashad, N. M. Shaalan, A. M. Abd-Elnaiem, Degradation enhancement of methylene blue on ZnO nanocombs synthesized by thermal evaporation technique. *Desal. Water Treat.* 57(2016), 26267-26273.
۲۸. ر. آرمند، گ. ریگی، ر. علیزاده، حذف رنگ مستقیم سبز ۶ با استفاده از نشاندن شدن آنزیم لاکاس بر روی نانوذرات فریت روی از محلول های آبی، مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان، ۱۶ (۱۳۹۶)، ۸۵۷-۸۶۸.
29. N. M. Mahmoodi, J. Abdi, Surface modified cobalt ferrite nanoparticles with cationic surfactant: synthesis, multicomponent dye removal modeling and selectivity analysis, *Prog. Color Colorants Coat.* 12 (2019) 163-177.
30. M. Baghat, A. A. Farghalo, W. El Roubay, M. Khedr, M.Y. Mohassab-Ahmed, Adsorption of methyl green dye onto multi-walled carbon nanotubes decorated with Ni nanoferrite. *Appl. Nansci.* 3(2013), 251-261.
31. A. D. Khalaji, Preparation and characterization of NiO nanoparticles via solid-state thermal decomposition of Ni(II) complex. *J. Clust. Sci.* 24(2013), 189-195.
32. A. D. Khalaji, Preparation and characterization of NiO nanoparticles via solid-state thermal decomposition of Ni(II) Schiff base complexes [Ni(salophen)] and [Ni(Me-salophen)]. *J. Clust. Sci.* 24(2013), 209-215.
33. A. D. Khalaji, M. Nikookar, D. Das, Preparation and characterization of nickel oxide nanoparticles via solid-state thermal decomposition of dinuclear nickel(II) Schiff base complex [Ni₂(Brsal-1,3-ph)₂] as new precursor. *Res. Chem. Intermed.* 41(2015), 357-363.
34. N. M. Mahmoodi, J. Abdi, D. Bastani, Direct dyes removal using modified magnetic ferrite nanoparticles. *J. Environment. Health Sci. Eng.* 12(2014), 96.
35. S. Yavari, N. M. Mahmodi, P. Yetmouri, B. Shahmoradi, Cobalt ferrite nanoparticles: Preparation, characterization and anionic dye removal capability. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 59(2016), 320-329.
36. L. Ai, Y. Zeng, Hierarchical porous NiO architectures as highly recyclable adsorbents for efficient removal of organic dye from aqueous solution. *Chem. Eng. J.* 215-216(2013), 269-278.
37. H. A. Al-Aoh, Adsorption performances of nickel oxide nanoparticles (NiO NPs) towards bromophenol blue dye (BB). *Desal. Water Treat.* 110(2018), 229-238.
38. N. Alizadeh, M. Mahjoub, Removal of crystal violet dye from aqueous solution using surfactant modified NiFe₂O₄ as nanoadsorbent; isotherms, thermodynamics and kinetics studies. *J. Nanoanalysis.* 4(2017), 8-19.