

ساخت نانو کمپوزیت کارا مغناطیسی مگمایت-گرافن برای حذف سریع و آسان متیل اورانژ

معصومه محمدنژاد^{۱*}، راضیه رشنوادی^۱، نرگس انصاری^۲، فاضله فقهی^۲

۱- گروه شیمی، دانشکده فیزیک- شیمی، دانشگاه الزهرا، تهران

۲- گروه فیزیک، دانشکده فیزیک- شیمی، دانشگاه الزهرا، تهران

چکیده

هدف از این پژوهش حذف متیل اورانژ از نمونه‌های آبی با استفاده از نانو کمپوزیت مگمایت-گرافن مغناطیسی می‌باشد. استفاده از ترکیبات نانوساختار باعث افزایش نسبت سطح به حجم و در نتیجه ایجاد ظرفیت جذب بالا برای فرآیند جذب سطحی می‌شود. از آنجایی که در استفاده از نانوجاذب‌های مغناطیسی، جدا کردن جاذب از محلول به راحتی و تنها از طریق یک میدان مغناطیسی خارجی انجام می‌شود، نیاز به مراحل زمان‌بر و پرهزینه‌ی جداسازی جاذب از محلول از بین می‌رود. اثر پارامترهای مختلف مانند pH، زمان تماس و میزان وزن نانو کمپوزیت بر حذف متیل اورانژ مورد بررسی قرار گرفت. بهترین بازده جذب و بالاترین ظرفیت جذب در شرایط $pH=2$ و زمان تماس برابر ۲ دقیقه به دست آمد. ویژگی‌های سطح جاذب توسط روش‌های SEM، XRD و VSM مورد مطالعه قرار گرفت. جهت بررسی تعادل جذب از مدل لانگمویر و مدل فرنللیچ استفاده شد که فرآیند جذب با مدل لانگمویر همخوانی داشت.

واژه‌های کلیدی: نانو کمپوزیت مغناطیسی مگمایت-گرافن، جذب سطحی، حذف سریع، متیل اورانژ، ایزوترم جذب

ایمیل نویسنده مسئول: m.mohammadnejad@alzahra.ac.ir

۱-مقدمه

در سال‌های اخیر، حذف آلاینده‌های صنعتی از آب به یک ضرورت رو به رشد تبدیل شده است و روش‌های تعیین آن‌ها تمرکز عمده‌ی محققان را به خود اختصاص داده است. فاضلاب‌های صنعتی عموماً حاوی فلزات سنگین، ترکیبات آلی و مواد رنگی از جمله رنگ‌های آزو هستند که باعث ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی و به خطر انداختن سلامت انسان‌ها، حیوانات و گیاهان می‌شوند. ابداع یک روش کارآمد برای کاهش و حذف این گونه آلودگی‌ها از فاضلاب‌های صنعتی، بخش عمده‌ی مطالعات محققان را تشکیل می‌دهد [۱]

رنگ‌های آزو با یک یا چند گروه $-N=N-$ به طور گسترده در صنایع مختلفی مانند چرم، پلاستیک، صنایع غذایی، نساجی، صنایع آرایشی، کاغذسازی و داروسازی به کار گرفته می‌شوند [۲ و ۳]. بر اساس مطالعات صورت گرفته این رنگ‌ها به علت ایجاد ظاهر نامناسب در منابع آبی و قابلیت تجزیه پایین در محیط، مشکل ساز هستند [۴]. بنابراین ابداع تکنولوژی‌های جدید و مؤثر برای حذف این آلاینده‌ها از محلول‌های آبی بسیار حائز اهمیت است [۵].

روش‌های مختلفی از جمله رسوب‌دهی شیمیایی [۶]، فیلتراسیون [۷]، تعویض یونی، لخته شدن [۸]، روش‌های بیولوژیکی [۹] و

جذب [۱۰] برای حذف آلاینده‌ها از محلول‌های آبی ابداع شده‌اند. از بین این روش‌ها، روش‌های جذبی به دلیل صرفه‌ی اقتصادی، سهولت عمل، زیست‌سازگار بودن و مناسب بودن روش برای حذف غلظت‌های خیلی پایین از آلاینده‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. بنابراین همیشه نیاز به یافتن یک جاذب جدید که بتواند نتایج بهتر و کارایی بیشتری داشته باشد، وجود دارد. برای مواد رنگی و رنگ‌های آزو، جاذب‌های طبیعی و سنتزی متنوعی وجود دارند که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ مانند: پوست پرتقال، پوست موز، قارچ [۱۱]، جاذب‌های پلیمری [۱۲]، نانولوله‌های کربنی [۱۳]، اکسیدهای فلزی [۱۴]. مواد بر پایه‌ی کربن، مثل کربن فعال [۱۵]، کربنات‌های حفره‌ای [۱۶] و نانولوله‌های کربنی [۱۷] نیز به عنوان جاذب برای حذف رنگ‌های آزو استفاده شده‌اند. بعضی از این جاذب‌ها مانند کربن فعال شاید بیشترین گستردگی کاربرد را در حذف آلودگی‌های آلی مقاوم به تصفیه‌ی بیولوژیکی دارند اما این ماده بسیار گران‌قیمت می‌باشد. همچنین تکنولوژی ساخت برخی از این جاذب‌ها با کیفیت خوب به طور کامل در کشورهای در حال توسعه، صورت نگرفته است. بنابراین تلاش برای سنتز جاذب‌های ارزان‌قیمت که ظرفیت بالایی در حذف آلاینده‌ها داشته باشند، بسیار مورد توجه است. از زمان کشف گرافن، توجه زیادی به این ماده شده است.

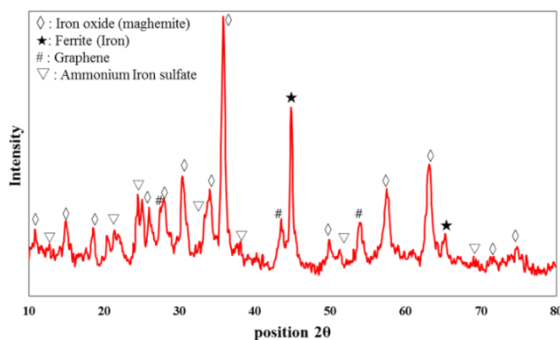
۳- تجزیه و تحلیل نتایج

۳-۱- سنتز نانوکمپوزیت مگمایت-گرافن مغناطیسی

نمونه به روش سایش الکتروشیمیایی با سلول تشکیل شده از یک الکتروآهنی به عنوان آنود، فویل گرافیت به عنوان کاتد و الکتrolیت محلول ۰/۱ مولار آمونیوم سولفات آهن ۶ آبه محلول در آب مقطر و با اتصال به اختلاف پتانسیل مستقیم ۱۰ V ساخته شد. واکنش در مدت زمان ۳ ساعت و در دمای اتاق انجام گرفت. سوسپانسیون قهوه‌ای رنگ حاصل پس از ته‌نشینی با آب مقطر شست‌شو داده و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. پودر قهوه‌ای رنگ نانوذرات برای جلوگیری از اکسیداسیون احتمالی از تماس با هوا دور نگه داشته شد.

۳-۲- مشخصه‌یابی نانوکمپوزیت ساخته شده

برای بررسی فازهای سازنده، اندازه‌ی ذرات و بافت کمپوزیت ساخته شده، از آنالیز XRD با فیلمان مس $\lambda = 1/54060 \text{ \AA}$ استفاده شده‌است. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، فاز غالب نمونه، اکسید آهن فرومغناطیسی (مگمایت Fe_2O_3) می‌باشد. $2\theta = 35/8^\circ$ و پیک‌های آهن خالص ($\alpha\text{-Ferrite}$) به وضوح دیده می‌شود. همچنین مقدار ناچیزی از نمک الکتrolیت $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ واکنش نیز در نمونه مشاهده می‌شود. نکته‌ی قابل‌توجه دیگر پیک‌های در حوالی $2\theta = 26, 43/6, 53/7^\circ$ است که بنابر مطالعات انجام شده [۲۱] می‌تواند دلالت بر وجود صفحات دو بعدی گرافن داشته باشد.



شکل ۱: الگوی پراش پرتو ایکس نانوکمپوزیت مگمایت-گرافن

محاسبات مبتنی بر شدت و پهنای پیک‌ها در الگوی پراش پرتوی ایکس، درصد فازهای تشکیل‌دهنده‌ی کمپوزیت را ۴۸ درصد مگمایت، ۲۱ درصد آهن و ۱۳ درصد گرافن و میانگین سایز ذرات را ۲۳ نانومتر تخمین می‌زنند.

برای مطالعه‌ی رفتار مغناطیسی نمونه از مغناطیس‌سنج ارتعاشی (VSM) استفاده شد که منحنی پسماند مغناطیسی به‌دست‌آمده نشان‌دهنده‌ی در شکل ۲ طبیعت ابرپارامغناطیسی نمونه را به خوبی به نمایش می‌گذارد که مؤید درهم شکسته‌شدن حوزه‌های مغناطیسی آهن‌ریا و ورود به مقیاس نانو می‌باشد [۲۲].

نکته‌ی حائز اهمیت مقدار مغناطش اشباع (Ms) نانوکمپوزیت برابر با $57/3 \text{ emu/g}$ و تقارن کامل آن نسبت به محورهای

این توجه معمولاً به نسبت سطح به حجم بالا [۱۸]، توانایی انتقال بار الکترونیکی زیاد [۱۹] و خصوصیات مکانیکی گرافن نسبت داده می‌شود.

از سوی دیگر امروزه نانوذرات مغناطیسی در زمینه‌ی استخراج گونه‌های مختلف آلی و معدنی مورد توجه قرار گرفته‌اند. یکی از تغییر خواص جالب و کاربردی که در ابعاد نانو ایجاد می‌شود، این است که بسیاری از موادی که در ابعاد معمولی خواص مغناطیسی ندارند، با کاهش اندازه‌ی ذرات در مقیاس فناوری نانو می‌توانند خواص مغناطیسی داشته باشند. این امر باعث می‌شود تا با توجه به محدوده‌ی وسیع کاربرد ذرات مغناطیسی، مواد جدیدی با خواص بهبودیافته تولید شوند.

نانو جاذب‌ها قدرت جذب و تصفیه‌کنندگی قابل توجهی دارند که ناشی از نسبت سطح به حجم بالای این ذرات است. به عبارتی این ویژگی‌ها منجر به ایجاد ظرفیت جذب بالای آن‌ها در مقایسه با جاذب‌های عادی و متداول شده است. مزیت دیگر نانوجاذب‌های مغناطیسی این است که فرآیند جداسازی نانوجاذب، به راحتی و تنها با به کارگیری یک میدان خارجی مانند یک آهن‌ریا صورت می‌پذیرد. بدین ترتیب نیازی به مرحله‌ی جداگانه‌ی صاف کردن و یا استفاده از سانتریفیوژ جهت بازیابی نانوجاذب نیست. این مسئله، فرآیند جداسازی و بازیابی جاذب را ساده‌تر، سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌کند [۲۰]. از سوی دیگر، امکان اصلاح و عامل‌دار کردن این نانوذرات به کمک ترکیباتی که به صورت انتخابی گونه‌ی موردنظر را از محیط جذب می‌کنند، ابزاری توانمند را در جهت جداسازی آلاینده‌ها فراهم آورده است.

به نظر می‌رسد ساخت ترکیباتی برپایه گرافن و نانوذرات کمک زیادی به افزایش کارایی جاذب‌ها می‌کند. براین اساس، در این پژوهش نانوکمپوزیت آهن گرافن (مگمایت-گرافن) با خاصیت مغناطیسی بالا به روشی ساده و آسان ساخته شد و کارایی آن برای حذف رنگ‌های متیل اورانژ، رودامین B و کریستال ویولت مورد بررسی قرار گرفت.

۲- بخش تجربی

در این پژوهش از محلول HCl با درصد خلوص ۳۷٪ و چگالی $19/1 \text{ g/ml}$ ، آمونیوم سولفات آهن ۶ آبه و NaOH خریداری شده از شرکت Merck جهت تهیه‌ی محلول‌های با pHهای (۲-۱۲) استفاده شد. pH محلول‌ها با pH متر Metrohm مدل ۷۱۳ کنترل شد. غلظت رنگ جذب شده به وسیله‌ی نانوکمپوزیت مگمایت-گرافن مغناطیسی با دنبال کردن جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-VIS مدل Lambda 35 ساخت شرکت PerkinElmer محاسبه گردید. به منظور به هم زدن محلول‌ها از حمام اولتراسونیک استفاده شد. از آهن‌ریا با قدرت میدان $1/5$ تسلا برای جداسازی نانوذرات مغناطیسی استفاده شد. خصوصیات نانوکمپوزیت مغناطیسی سنتز شده با استفاده از روش‌های XRD دستگاه (X-ray diffractometer) مدل-STOE (STADI)، SEM و VSM مورد آنالیز قرار گرفت.

مدل لانگمویر

مدل لانگمویر یکی از مهم‌ترین مدل‌های جذب یک لایه‌ای می‌باشد، که بر اساس تعداد ثابت مکان‌های جذب بنا شده است و هر مکان نیز قابلیت دریافت یک مولکول از جذب‌شونده را دارد. شرایط جذب برای همه‌ی مکان‌های جذب‌کننده برابر است و هیچ برخوردی بین مولکول‌های جذب‌شونده وجود ندارد. رابطه‌ی مدل لانگمویر به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L C_e} + \frac{1}{q_m} \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه‌ی (۲)، q_m بیشترین ظرفیت جاذب (mg/g) و K_L ثابت جذب لانگمویر می‌باشد. اگر نمودار $1/q_e$ بر حسب $1/C_e$ رسم شود، نموداری خطی به دست می‌آید که در آن $1/q_m$ برابر عرض از مبدأ معادله‌ی خط و $1/q_m K_L$ برابر شیب آن خواهد بود. مدل فرنلچ

مدل فرنلچ، یکی دیگر از مدل‌های جذب هم‌دما است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{رابطه ۳}$$

که در رابطه‌ی (۳)، n و K_f ثابت‌های فرنلچ هستند. در این مدل، نمودار خطی $\ln q_e$ بر حسب $\ln C_e$ رسم می‌شود که شیب خط $1/n$ و عرض از مبدأ آن $\ln K_f$ را نشان می‌دهد. در مدل فرنلچ K_f ثابت فرنلچ یا ترم انرژی می‌باشد که تابعی از سطح پوشیده شده است و n کمیت وابسته به گرما و یا شدت جذب است و $1/n$ مقدار انحراف از جذب خطی است که معیاری از ناهم‌انگهی سطح می‌باشد.

۳-۵- تأثیر پارامترهای موثر بر جذب متیل اورانژ به وسیله‌ی

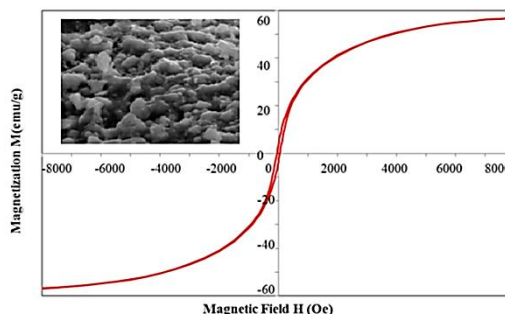
نانوکمپوزیت مغناطیسی مگمایت-گرافن

اثر pH

pH یکی از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند روی فرآیند جذب سطحی اثر مستقیم داشته باشد. از این‌رو که pH می‌تواند بار گونه جذب‌شونده و سطح جاذب و در نتیجه نوع برهم‌کنش بین جاذب و جذب‌شونده را تحت تأثیر قرار دهد.

اثر pH بر روی حذف متیل اورانژ توسط نانوکمپوزیت در گستره‌ی ۲-۱۲ pH بررسی شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که با کاهش pH ظرفیت جذب کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که بیشترین ظرفیت جذب در pH=۲ مشاهده شد. نتیجه‌ی به‌دست‌آمده این‌گونه توجیه می‌شود که با کاهش pH، غلظت H^+ در محیط افزایش می‌یابد و سطح نانوجاذب دارای بار مثبت می‌شود و تمایل زیادی به جذب متیل اورانژ که یک آلایندگی آنیونی است، پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که نیروی جاذبه‌ی الکتروستاتیکی بین جاذب و آلایندگی عامل اصلی افزایش ظرفیت جذب در شرایط اسیدی است. با افزایش pH غلظت یون‌های OH^- در محیط افزایش می‌یابد و با متیل اورانژ آنیونی وارد رقابت می‌شود. نتیجه‌ی مربوط به اثر pH در شکل ۳ قابل مشاهده است.

مختصات است. لازم به ذکر است که در مطالعات انجام‌شده، گرافن را از نظر مغناطیسی دیامغناطیس [۲۲]، مگمایت با شبکه‌ی مکعبی شکل را در حالت توده فرومغناطیسی و با ورود به حوزه‌ی نانو دارای خاصیت ابرپارامغناطیس [۲۲] ارزیابی کرده‌اند. پاسخ این نانوکمپوزیت به تغییرات میدان مغناطیسی نزدیک به مقادیر گزارش شده برای نانوذرات مگمایت (مغناطش اشباع حدود 60 emu/g) بوده که ناشی از وجود نانوذرات اکسید آهن در این نانوکمپوزیت است. از سوی دیگر خواص مغناطیسی نانوذرات آهن به شدت به اندازه و شکل ذرات و میزان اکسیدشدگی آن‌ها وابسته است [۲۳] زیرا در مواد مغناطیسی با عبور از توده‌های حجیم و ورود به مقیاس نانو، مغناطش اشباع به دلیل افزایش چشم‌گیر نسبت سطح به حجم در ذرات و پررنگ شدن نقش بی‌نظمی در میان‌های سطحی به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد، همین امر سبب بستگی شدید بین شکل و اندازه با میزان مغناطش ماده می‌شود [۲۴].



شکل ۲: منحنی پسماند مغناطیسی نانوکمپوزیت مگمایت-گرافن و عکس میکروسکوپ الکترونی ۳-۲ اثر pH محلول سنتزی بر اندازه نقاط کوانتومی

۳-۳- آزمایش‌های جذب

به منظور انجام آزمایش جذب، مقدار ۲ میلی‌گرم از نانوکمپوزیت سنتز شده به ۱۰ میلی‌لیتر از محلول متیل اورانژ با غلظت 0.01 mg/L ملول و pH=۲، اضافه شد. محلول به مدت ۲ دقیقه در حمام اولتراسونیک به‌هم زده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در مجاورت آهن‌ربا قرار گرفت.

برای محاسبه‌ی میزان متیل اورانژ جذب شده به وسیله‌ی نانوکمپوزیت مغناطیسی از رابطه‌ی (۱) استفاده می‌شود:

$$q_e = (C_0 - C_e) \frac{V}{m} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در رابطه‌ی (۱)، C_0 غلظت اولیه‌ی متیل اورانژ و C_e غلظت متیل اورانژ بعد از رسیدن به حالت تعادل بر حسب mg/L است. و V به ترتیب نشان دهنده‌ی حجم محلول بر حسب (L) و جرم جاذب بر حسب (g) است. q_e میزان ظرفیت جاذب بر حسب میلی‌گرم جذب‌شونده بر واحد جرم جاذب بر حسب mg/g را نشان می‌دهد.

۴-۳- مدل‌های هم‌دمای تعادلی

مدل‌های زیادی وجود دارند که می‌توانند رابطه‌ی بین جذب و غلظت باقی‌مانده از جذب‌شونده در محلول را بیان کنند. معمول‌ترین این مدل‌ها، مدل لانگمویر و مدل فرنلچ می‌باشند.

۳-۶- بررسی مدل‌ها و پارامترهای سینتیکی جذب

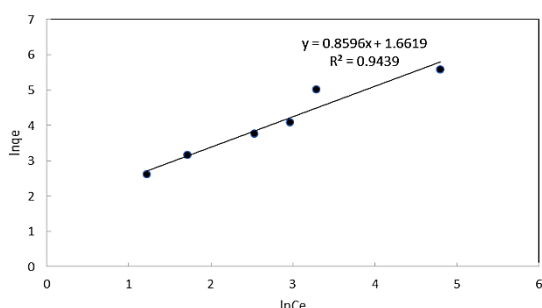
ایزوترم‌های جذبی، بیان‌گر رابطه‌ی تعادلی بین غلظت جذب‌شونده در سطح جاذب و غلظت جذب‌شونده باقی‌مانده در محلول هستند. به منظور رسم ایزوترم‌های جذب مربوط به مدل‌های لانگمویر و فرن‌دلیچ، محلول‌هایی به غلظت‌های مختلف از متیل اورانژ تهیه شد. قبل از انجام فرآیند جذب از محلول‌های تهیه شده طیف جذبی گرفته شد و منحنی کالیبراسیون برای محلول‌های ساخته‌شده رسم شد.

بعد از فرآیند جذب، غلظت‌های تعادلی برای محلول‌های دارای غلظت‌های اولیه‌ی متفاوت، محاسبه شد و بر اساس داده‌های به دست آمده، ایزوترم‌های فرن‌دلیچ و لانگمویر رسم شد که در شکل‌های ۶ و ۷ قابل مشاهده هستند. پارامترهای مربوط به دو ایزوترم مذکور نیز در جدول ۱ ارائه شده است.

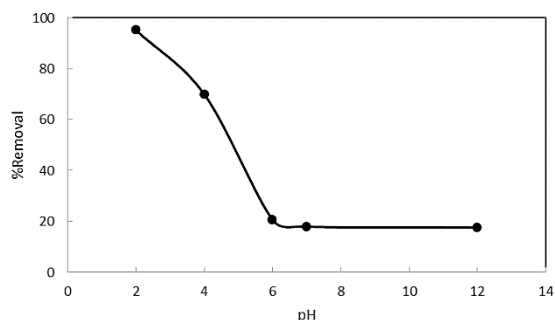
همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، ضریب همبستگی R^2 برای ایزوترم مدل فرن‌دلیچ برابر ۰/۹۴۳۹ و برای مدل لانگمویر برابر ۰/۹۸۹۷ است. بر اساس این اطلاعات می‌توان گفت فرآیند جذب در این پژوهش از مدل لانگمویر تبعیت می‌کند.

جدول ۱. پارامترهای مدل‌های ایزوترمی مورد استفاده		
مدل ایزوترم	پارامترهای مدل	مقادیر به دست آمده
مدل لانگمویر	q_m (mg/g)	۶۲۵
	K_L (L/mg)	۰/۰۰۶۶
	R^2	۰/۹۸۹۷
مدل فرن‌دلیچ	K_F (L/mg)	۵/۲۷
	n	۱/۱۶
	R^2	۰/۹۴۰۹

مدل لانگمویر بیان‌گر آن است که مولکول‌های جذب‌شونده با هم دیگر برهم‌کنش شیمیایی ندارند و در نهایت جذب آلاینده توسط جاذب به صورت یک لایه انجام می‌شود. بیشترین ظرفیت جاذب بر اساس مدل لانگمویر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای متیل اورانژ برابر با ۶۲۵ mg/g به دست آمد.

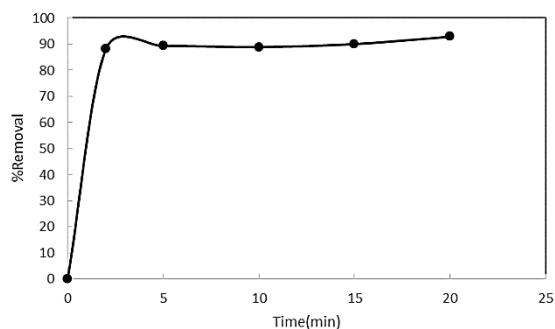


شکل ۶: ایزوترم فرن‌دلیچ مربوط به فرآیند جذب متیل اورانژ



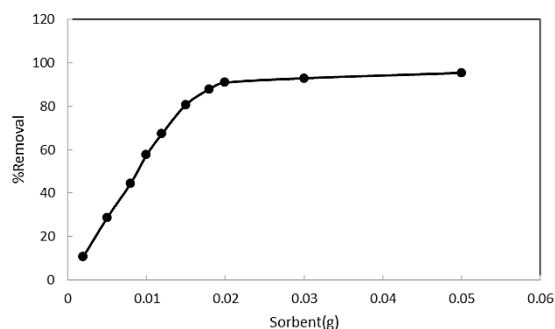
شکل ۳: اثر pH بر روی فرآیند جذب متیل اورانژ

اثر زمان بر فرآیند جذب
اثر زمان بر روی کارایی حذف متیل اورانژ در گستره‌ی ۲۰-۲ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده ملاحظه شد که در مدت زمان ۲ دقیقه که محلول در حمام اولتراسونیک به هم زده می‌شود، بیشترین میزان جذب متیل اورانژ توسط نانوکمپوزیت صورت می‌گیرد. در شکل زیر نتایج مربوط به اثر زمان نشان داده شده است.



شکل ۴: اثر زمان بر روی جذب متیل اورانژ

اثر وزن نانوکمپوزیت
اثر وزن جاذب در گستره‌ی ۲۰-۲ میلی‌گرم مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که با افزایش وزن جاذب تا میزان ۲۰ میلی‌گرم، جذب متیل اورانژ بر سطح جاذب تا حدود ۹۰٪ افزایش می‌یابد. این اثر برای مقادیر بالاتر بررسی نشد به این دلیل که یکی از اهداف مورد نظر در این پژوهش کارایی بالا برای حذف آلاینده با مقادیر پایین از میزان جاذب بود. شکل ۵ اثر وزن نانوکمپوزیت را بر روی فرآیند جذب نشان می‌دهد.

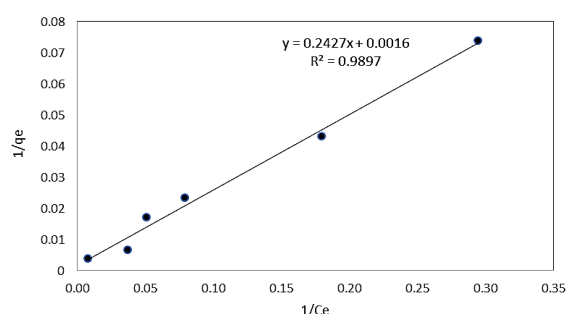


شکل ۵: اثر وزن جاذب بر روی جذب متیل اورانژ

بیشینه‌ی بازده در $pH=2$ ، وزن جاذب ۲۰ میلی‌گرم و مدت زمان ۲ دقیقه به دست آمد که مدت زمان کوتاه برای انجام آزمایش یکی از مزیت‌های استفاده از نانوکمپوزیت مگمایت-گرافن به حساب می‌آید. هم‌چنین فرآیند جذب به وسیله‌ی دو مدل لانگمویر و فرنرندلیچ بررسی شد و با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده برای R^2 مشخص شد که مدل لانگمویر هم‌خوانی بهتری با داده‌های تجربی دارد. ظرفیت جذب نانوکمپوزیت مغناطیسی ساخته‌شده معادل ۶۲۵ به‌دست آمد که در مقایسه با پژوهش‌های گذشته مقدار قابل قبولی می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که جاذب مورد استفاده در این پژوهش قادر به حذف متیل‌اورانژ از محیط‌های آبی و پساب‌های صنعتی در زمان‌های بسیار کوتاه می‌باشد. در کنار این ویژگی‌ها اشاره به این مسئله بسیار مهم است که نانوکمپوزیت سنتز شده برای محیط‌زیست کاملاً بی‌خطر بوده و نیازی به روش‌های پیچیده برای جداسازی جاذب از محلول ندارد.

۵. منابع

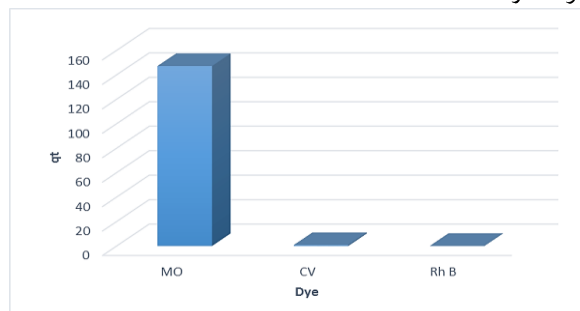
1. T.A. Saleh, A.A. Al-Saadi, Surf Interface Anal, 47; 785-792, (2015).
2. P. Kaushik, A. Malik, Int., 35; 127-141, (2009).
3. A.N. Soon, B.H. Hameed, Desalination, 269: 1-16, (2011).
4. K. Golka, S. Kopps, Z.W. Myslak, Toxicol. Lett., 151: 203-210, (2004).
5. نوید نصیری زاده، محمد دهقانی، سعید جعفری، علوم و فناوری رنگ، ۱۰: ۱۳۷-۱۴۴، (۱۳۹۵).
6. L. Chen, B.-Y. He, S. He, T.-J. Wang, C.-L. Su, Y. Jin, Powder Technol., 227: 3-8, (2012).
7. M. Hamoda, I. Al-Ghusain, N. Al-Mutairi, Desalination, 164: 203-211, (2004).
8. K.E. Lee, N., Moradi, T.T. Teng, B.T. Poh, Chem. Eng. Journal, 203: 370-386, (2012).
9. R. Rosal, A. Rodriguez, J.A. Perdigon-Melon, A. Petre, E. Garcia- Calvo, M.J. Gomez, A. Aguera, A.R. Fernandez-Alba, Water Res., 44: 578-588, (2010).
10. R. Arasteh, M. Masoumi, A. Rashidi, L. Moradi, V. Samimi, S. Mostafavi, Appl. Surf. Sci., 256: 4447-4455, (2010).
11. حمید مقیمی، احسان آذین، رضوان حیدری تبار، علوم و فناوری رنگ، ۱۰: ۱۷۷ - ۱۸۴، (۱۳۹۵).
12. J.-H. Huang, K.-L. Huang, S.-Q. Liu, A.-T. Wang, C. Yan, Colloids Surf. A, Physicochem. Eng. Asp, 330: 55-61, (2008).
13. Y. Yao, H. Bing, X. Feifei, C. Xiaofeng, Chem. Eng. J., 170: 82-89, (2011).
14. D.E. Giammar, C.J. Maus, L. Xie, Environ. Eng. Sci., 24: 85-95, (2007).
15. C.M.S.S. Neves, J. Lemus, M.G. Freire, J. Palomar, J.A.P. Coutinho, Chem. Eng. J., 252: 305-310, (2014).



شکل ۷: ایزوترم لانگمویر مربوط به فرآیند جذب متیل اورانژ

۳-۷- بررسی میزان گزینش‌پذیری نانوکمپوزیت

با توجه به این‌که محلول‌های آبی یا پساب‌های صنعتی می‌توانند شامل مخلوطی از آلاینده‌های آلی از جمله رنگ‌های آزو باشند، گزینش‌پذیری جاذب به نحوی که بتواند یک رنگ را از سایر آلاینده‌ها جدا کند، یکی از ویژگی‌های مهمی است که در ساخت جاذب مورد توجه قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش نشان داد که نانوکمپوزیت استفاده شده در حذف متیل اورانژ کاملاً گزینشی عمل می‌کند، این در حالی است که جاذب مورد مطالعه در حذف رودامین B و کریستال‌وایت بی‌اثر است. این ویژگی می‌تواند به عنوان یک مزیت برای جاذب به منظور حذف آلاینده‌ی مذکور مطرح شود. جاذب‌های گزینش‌پذیر می‌توانند در استخراج و به‌طور کلی جداسازی یک ماده از میان مخلوطی از مواد مورد استفاده قرار بگیرند. از این‌رو نانوکمپوزیت مذکور می‌تواند در محلول‌های آبی و پساب‌های صنعتی برای حذف گزینش‌پذیر متیل‌اورانژ استفاده شود. شکل ۸ بیان‌گر همین موضوع است که جاذب سنتز شده دارای ظرفیت جذب بالایی برای متیل اورانژ است در حالی که ظرفیت جذب برای دو آلاینده‌ی دیگر بسیار ناچیز و قابل صرف‌نظر است.



شکل ۸: مقایسه ظرفیت جذب برای سه نوع آلاینده

۴. نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، بررسی بازده جذب متیل اورانژ به صورت گزینش‌پذیر در مقایسه با سایر رنگ‌ها با استفاده از نانوکمپوزیت مگمایت-گرافن مغناطیسی بوده است. برای نانوکمپوزیت به‌کارگرفته در این پژوهش، تأثیر پارامترهای مختلف مانند pH ، میزان جاذب و زمان تماس مورد بررسی قرار گرفت.



16. L. Gu, N.W. Zhu, H.Q. Guo, S.Q. Huang, Z.Y. Lou, H.P. Yuan, J. Hazard. Mater., 246: 145-153, (2013).
17. J.C. Meyer, A.K. Geim, M.I. Katsnelson, K.S. Novoselov, T.J. Booth, S. Roth, Nature, 446: 60-63, (2007).
18. C. Lee, X. Wei, J.W. Kysar, J. Hone, Science, 321: 385-388, (2008).
19. S. Latil, L. Henrard, Phys. Rev. Lett., 97: 036803-036806, (2006).
20. M. Saleem, M. Afzal, F. Mahmood, A. Hameed, J. Chem. Soc., 16: 83-86, (1994).
21. H.K. Kim, A.R. Kamali, K.C. Roh, K.B. Kim, D.J. Fray, Energ. Environ. Sci., 9: 2249-2256, (2016).
22. E. Heidari, A. Kamali, NiFe₂O₄/graphene nanocomposites with tunable magnetic properties. J. Magn. Magn. Mater., 379: 95-101, (2015).
23. S. Gangopadhyay, Phys. Rev. B: Condensed Matter, 45: 9778-9787, (1992).
24. L. Lu, Crys. Growth Des., 7: 459-464, (2007).