



بررسی فرایند جذب سطحی آلاینده‌های رنگی با نانوچندسازه گرافن مغناطیسی

نرگس انصاری* | فاضله فقهی | زهرا امینی | معصومه محمدنژاد

دانشکده فیزیک شیمی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

چکیده: حذف آلاینده‌های رنگی از طریق جذب سطحی یکی از متداولترین کاربردهای زیست محیطی نانومواد محسوب می‌شود. این پژوهش نانوچندسازه جاذب مغناطیسی بر پایه گرافن را با سنتز تک‌مرحله‌ای الکتروشیمیایی تولید کرده و توانایی آن برای جذب رنگدانه‌های آنیونی و کاتیونی موجود در پساب‌های رنگی را مورد بررسی قرار داده است. برای بررسی ویژگی نانوچندسازه از آنالیز فاز XRD، مطالعه پیوندها با FTIR، بررسی ریخت‌شناسی با FESEM و رفتار مغناطیسی با VSM بهره گرفته شده است. قابلیت جذب نیز با آزمایش‌های جذب (تاثیر پارامترهای pH، زمان تماس و مقدار نانوچندسازه) برای رنگ‌های متیل‌اورانژ، متیلن‌بلو، کریستال بنفش و رودآمین B انجام و هم‌دمای جذب لانگمویر و فروندلیچ نیز بررسی شده است. در حداکثر زمان ۳۰ دقیقه میانگین ۷۰ درصد رنگدانه‌ها جذب و با اعمال میدان مغناطیسی ظرف کمتر از ۶۰ ثانیه جداسازی شدند. این بررسی نشان داد که نانوچندسازه تهیه شده دارای مزایایی از قبیل کارایی حذف بالا، زمان واکنش بسیار کوتاه و مقدار جاذب کم است.

واژگان کلیدی: گرافن، نانوذرات مغناطیسی، نانوذرات آهن، پاک‌کننده، تصفیه پساب‌رنگی.

n.ansari@alzahra.ac.ir

رنگ‌ها بیشتر براساس ساختار، گروه‌های عاملی، رنگ و نیز بار یونی در صورت تفکیک در محلول‌ها، دسته‌بندی می‌شوند. از آنجایی که طبقه‌بندی یونی رنگ‌ها، بازده جذب رنگدانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در این بررسی نیز از این نوع دسته‌بندی استفاده می‌شود. رنگ‌ها به دو دسته رنگ‌های یونی و غیریونی تقسیم‌بندی می‌شوند. رنگ‌های غیریونی خود به دو دسته‌ی رنگ‌های پخش شونده و رنگ‌های خمره‌ای و رنگ‌های یونی نیز به دو دسته رنگ‌های کاتیونی و رنگ‌های آنیونی تقسیم می‌شوند [۲].

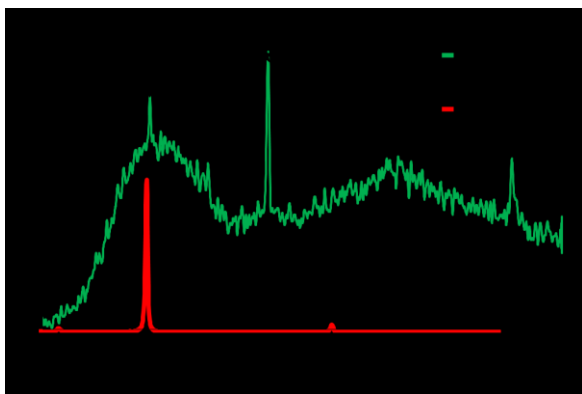
جذب رنگدانه عموماً از سه فرایند سطحی جذب الکترواستاتیک، پیوند هیدروژنی و برهم‌کنش $\pi-\pi$ بین حلقه‌های کربنی صورت می‌گیرد [۳-۴]. دو فرایند اول به راحتی با حضور نانوذرات فلز و اکسید فلزی و فرایند سوم بوسیله مشتقات گرافن صورت می‌پذیرند. به همین دلیل، توجه پژوهشگران به ساختارهایی با حضور نانوذرات فلزی و اکسیدفلزی در کنار صفحات گرافنی با

۱- مقدمه

اهمیت تصفیه بهینه پساب‌های خانگی و صنعتی با افزایش جمعیت و هزینه‌های روزافزون تامین مواد اولیه، بیش از پیش احساس می‌شود. همچنین، بحران‌های زیست محیطی مانند آلودگی منابع طبیعی و خشکسالی نیز به اهمیت تصفیه و بازگردانی آب مصرف شده به چرخه تولید صحنه می‌گذارند. همچنین، حضور رنگ‌ها در فاضلاب سبب افزایش اکسایش شیمیایی و به دنبال آن، ایجاد بوی متعفن می‌شود. همچنین، نفوذ آلاینده‌ها به منابع آب زیرزمینی منجر به ایجاد انواع بیماری‌ها و افزایش احتمال ابتلا به سرطان می‌شود [۱]. به همین دلیل، حذف مؤثر رنگدانه‌ها از فاضلاب و تضمین تخلیه ایمن آب تصفیه شده به بستر آب‌های جاری، اجازه چرخش آب در فرایند تولید را به دست می‌دهد.

قابلیت جذب آلاینده‌ها مورد آزمایش واقع شد که نتایج آن به تفصیل در بخش آزمون‌های جذب بیان می‌شود.

در الگوی XRD گرافیت دو پیک تیز و قوی در زوایای ۲۶ و ۵۵ درجه وجود دارد [۸] که الگوی XRD فویل گرافیت در شکل ۱ با رنگ قرمز نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، الگوی پراش نانوجندسازه سنتز شده به وضوح پیک پهن به‌دست آمده از تورق گرافیت و تخریب ساختار کریستالی سه بعدی آن را در بازه ۲۱ تا ۲۸ نمایش می‌دهد. پیک ۵۵ درجه نیز کاهش شدت و پهن شدگی ناشی از افزایش فاصله بین صفحات گرافن را نشان می‌دهد و مشاهده تپه در گستره‌ی زاویه ۲۶ درجه به جای پیک تیز، نشان دهنده‌ی تبدیل گرافیت به گرافن است. نکته حائز اهمیت دیگر ترسیب نانوذرات آهن صفر-ظرفیتی از محلول الکترولیت و پیک‌های شاخص آهن در ۶۵،۴۴ و ۸۲ درجه است. همچنین، حضور مقدار اندکی اکسید آهن در فاز مگنتایت در زوایای ۶۴،۳۵ و ۷۱ درجه مشاهده می‌شود. از آنالیز این طیف می‌توان دریافت که نانوجندسازه تولید شده ترکیبی از گرافن، آهن صفر ظرفیتی و مگنتایت است.



شکل ۱: الگوی پراش پرتو ایکس نانو چندسازه گرافن-آهن (رنگ سبز) و فویل گرافیت (رنگ قرمز).

بررسی پیوندهای نانوجندسازه با FTIR شکل ۲، حضور گروه عاملی هیدروکسیل در ۳۴۱۳، ارتعاشات پیوندهای C-H در ۲۹۲۳ و ۲۸۵۴ را نشان می‌دهد. همچنین، ارتعاش پیوند C=C موجود در ساختار صفحات نیز در ۱۶۳۳ مشاهده شده و ارتعاش پیوند C-O در گروه کربوکسیل نیز در ۱۱۲۰ قابل رویت است. نوارهای

سطح ویژه بسیار بالا جلب شده است. از سوی دیگر، سمیت پایین، زیست سازگاری، ارزان و در دسترس بودن ترکیبات آهن در کنار ویژگی جمع‌آوری با میدان مغناطیسی گزینه بسیار مناسبی برای تهیه جاذب بسیاری از ترکیبات آلی آب دوست است [۵-۶]. در تهیه ترکیباتی از گرافن و آهن، درجه تورق گرافن، توزیع و پیوند ذرات آهنی روی صفحات، پیوندهای سطحی ماده و قوی بودن ویژگی مغناطیسی در کنار سادگی و مقیاس پذیری فرایند تولید، ارزان و در دسترس بودن مواد اولیه نقش اساسی ایفا می‌کند [۷]. سنتز تک مرحله‌ای با تورق الکتروشیمیایی و ترسیب نانوذرات آهن با درصد اکسایش پایین به حفظ خواص مغناطیسی آهن کمک کرده و فرایند ساده و ارزانی برای تهیه نانوجندسازه گرافن-آهن محسوب می‌شود.

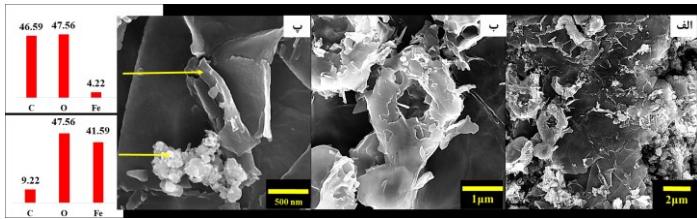
در این پژوهش، برای بررسی قابلیت جاذب مورد استفاده، از متداول‌ترین رنگ‌های یونی نمونه‌ای انتخاب و مقدار جذب بررسی شده است. در ادامه قابلیت جذب انواع متفاوتی از رنگ‌های پرکاربرد قابلیت جذب این نانوجندسازه را محک زده و اثر pH محلول، مقدار جاذب و غلظت رنگدانه اولیه بررسی شده است.

۲- تجربی

۲-۱- سنتز و مشخصه‌یابی نانوجندسازه گرافن-آهن

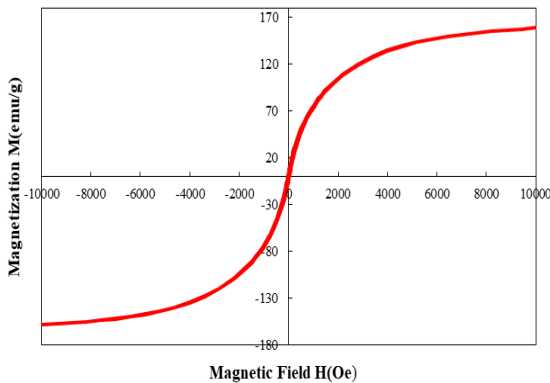
در این پژوهش، نانوجندسازه گرافن-آهن، به صورت تک‌مرحله‌ای در سلول الکتروشیمیایی و طی تورق گرافیت و ترسیب نانوذرات آهن بر صفحات گرافن تولید شد. برای این منظور، سلولی با آند طلا و کاتد فویل گرافیت و با الکترولیت سولفات آهن ۰/۱ مولار ساخته شد و فرایند در سه ساعت و با اعمال ولتاژ مستقیم ۱۰ ولت انجام شد. در ادامه، پودر سیاه رنگ حاصل با آهن‌براجا، شستشو داده و خشک شد. شناسایی نانوجندسازه از طریق آنالیز فازی پرتو ایکس (XRD) و بررسی پیوندهای گرافن و آهن با طیف فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) انجام شد. ریخت‌شناسی و نحوه تورق صفحات گرافنی با میکروسکوپ الکترونی عبوری با نشر میدانی (FESEM) بررسی و رفتار مغناطیسی آن با بررسی منحنی پسماند آزمون VSM مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه،

افزایش سطح فعال گرافنی کمک کرده و در برقراری پیوند با مولکول‌های رنگی موفق باشد.



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نانو چندسازه گرافن-آهن و نمایش اطلاعات EDX.

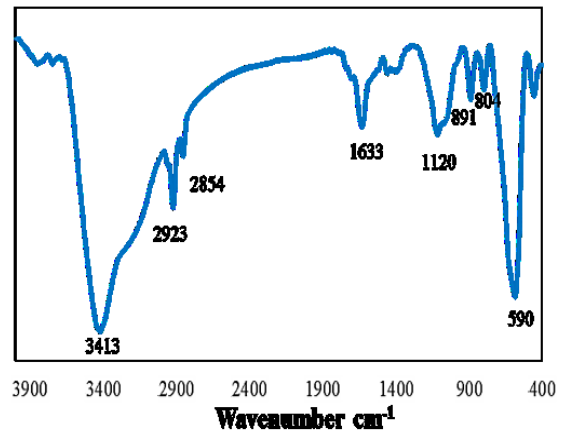
رفتار مغناطیسی نانوجندسازه همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، سوپرپارامغناطیس بوده و مغناطش اشباع بسیار بالایی معادل ۱۵۸ emu/g داشته و به راحتی از طریق میدان مغناطیسی خارجی می‌تواند مقدار زیادی آلاینده با خود حمل کند و پس از پراکنده شدن در محیط آبی به سرعت و به‌طور کامل قابل جمع-آوری است. مغناطش اشباع بالا در این نانوجندسازه در نتیجه حضور نانوذرات آهن صفر ظرفیتی مابین صفحات گرافن بوده است.



شکل ۴: منحنی پسماند مغناطیسی نانوجندسازه گرافن-آهن.

نتایج آزمایش‌ها اکسید نشدن این ذرات طی فرایند سنتز و به دام افتادن آن‌ها روی سطح گرافن را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد درگیر شدن ذرات آهنی بر صفحات گرافن از تمایل آن‌ها به اکسید شدن کاسته و شرایط را برای حضور نانوذرات آهن صفر ظرفیتی با مغناطش بسیار بالا فراهم کرده است.

موجود در ۸۹۱ و ۸۰۴ می‌توانند به پیوندهای C-H ای مربوط باشند که از بیرون صفحات به حلقه‌های آروماتیک ورقه‌های گرافن متصل شده‌اند. همچنین، جذب در ناحیه ۵۹۰ به‌عنوان ارتعاش پیوند Fe-O در ساختار مگنتایت (Fe_3O_4) ثبت شده است [۹-۱۱].



شکل ۲: تبدیل فوریه طیف فرسرخ نانو چندسازه گرافن-آهن.

بررسی ساختار ریخت‌شناسی نانوجندسازه به کمک تصاویر میکروسکوپ الکترونی اطلاعات جالبی در مورد نحوه قرارگیری ذرات و صفحات گرافن به دست می‌دهد. همانطور که شکل ۳ (الف) نشان می‌دهد سطح گرافیت کامل خراشیده شده و صفحاتی از آن جدا شده و حتی حفره‌هایی که با بزرگنمایی بیشتر در شکل ۳ (ب) نشان داده شده‌اند نیز، بر آن ایجاد شده‌اند. همچنین، ذرات آهن نیز به صورت پراکنده روی صفحات مشاهده می‌شوند. بر اساس شکل ۳ (پ)، ضخامت مقطع صفحات گرافن ۲۰ نانومتر و اندازه ذرات موجود در توده آهنی به‌طور میانگین ۱۰۰ نانومتر به دست می‌آید که نمایش اطلاعات EDX برای دو گستره‌ی متفاوت از شکل ۳ (پ) به صورت نمودار نمایش داده شده است. از نمودار EDX می‌توان دریافت که صفحات گرافنی دارای درصد بالایی از کربن (۴۶/۵۹ درصد) و اکسیژن (۴۷/۵۶ درصد) است و نانوذرات تقریبی کروی شکل، دارای درصد بالایی از آهن (۴۱/۵۹ درصد) و اکسیژن (۴۷/۵۶ درصد) است که نشان دهنده‌ی فاز اکسید آهن است. نظر به اینکه کاربرد این ذرات در تصفیه پساب‌های صنعتی مدنظر بوده، اهمیت قابلیت جذب رنگدانه و جداسازی مغناطیسی به مراتب بیشتر از ریز بودن ذرات است. پیش‌بینی می‌شود سطح خراشیده و حفره‌های موجود به

۳- نتایج و بحث

۳-۱- به کارگیری نانوچندسازه مغناطیسی در آزمایش‌های جذب

نانوچندسازه گرافن-آهن از طریق سازوکار جذب سطحی، توانایی کنترل و حذف رنگدانه‌های صنعتی از فاضلاب‌ها را دارد که با استفاده از آن فرایند حذف متیل اورانژ، متیلن بلو، کریستال بنفش و رودآمین B از محلول آبی آزمایش شده است. ماده جذب شونده متیلن بلو با نام اختصاری MB، رنگ یونی از نوع کاتیونی (دارای یون مثبت) است. در حالت اکسید یا احیا دارای رنگ آبی یا بی‌رنگ است. جرم مولی آن و فرمول شیمیایی آن به ترتیب $319/85 \text{ gr/mol}$ و $C_{16}H_{18}N_3SCl$ است که عموماً به صورت پودر یافت می‌شود. رنگ متیل اورانژ با نام اختصاری MO به دلیل داشتن گروه SO_3 ، رنگ اسیدی است که محلول در آب و آنیونی است. در محیط اسیدی به رنگ قرمز مایل به نارنجی و در محیط بازی به رنگ زرد است. فرمول شیمیایی آن $327/33 \text{ gr/mol}$ و جرم مولی $C_{14}H_{14}N_{14}O_3Na_3S$ است. کریستال بنفش با نام اختصاری CV یک رنگ بازی کاتیونی، دارای یون مثبت، به رنگ بنفش با ساختار $CH_{30}N_3Cl_{25}$ با جرم مولی $407/979 \text{ gr/mol}$ است. رودآمین B با نام اختصاری RhB رنگی کاتیونی با فرمول $CO_3N_2H_{17}Cl_{21}$ به رنگ صورتی و با جرم مولی $380/82 \text{ gr/mol}$ است.

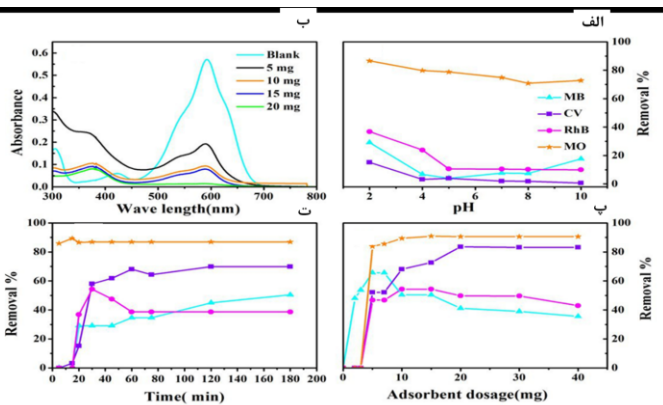
محلول‌های اولیه متیلن بلو و کریستال بنفش با غلظت ۵-۱۰ مولار، متیل اورانژ با غلظت 10^{-5} مولار و رودآمین B با غلظت 10^{-7} مولار تهیه و سپس، مقادیر معینی از نانوچندسازه به عنوان جاذب به محلول‌های گفته شده در بالا در حجم ۱۰ میلی لیتر با pHهای مشخص افزوده شد. pH محلول، زمان تماس و جرم جاذب به عنوان عوامل مؤثر بر فرایند جذب برای بررسی شرایط بهینه آزمایش شد. برای کنترل pH از محلول ۰/۱ مولار HCl و محلول ۰/۱ مولار NaOH استفاده و با دستگاه pH متر مقدار دقیق pHها اندازه‌گیری شد. سپس، هرکدام از بشرها در دستگاه التراسونیک قرار داده و پس از هم‌زدن، بشرها را به منظور جداسازی نانوچندسازه جاذب، کنار آهنربا انتقال داده و غلظت رنگدانه‌های جذب شده با دستگاه طیف‌سنج UV-Vis اندازه‌گیری شد.

فرایندهای جذب با استفاده از معادلات

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

$$R = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} 100 \quad (2)$$

مورد بررسی قرار گرفت که در آن مقدار رنگدانه جذب شده در تعادل C_0 (mg/g)، غلظت اولیه رنگ (mg/l)، C_e غلظت رنگ تعادل (mg/l)، V حجم محلول (l)، m جرم جاذب و R درصد جذب است [۱۲].



شکل ۵: آزمایش‌های جذب (الف) اثر pH در فرایند جذب (ب) راندمان جذب بر حسب مقدار جاذب برای CV (پ) اثر جرم جاذب (ت) اثر زمان.

در شکل ۵ (ب) نتایج مقدار جذب کننده و راندمان جذب برای رنگ CV نشان داده شده است. افزایش مقدار جاذب نشان دهنده یک روند کاهشی برای مقدار غلظت رنگ مورد نظر در محلول است. اولین پارامتری که بهینه می‌شود، pH محیط آلاینده است. pH محلول باعث کاهش بار سطحی نانوچندسازه جاذب، جداسازی گروه‌های عاملی در محل‌های فعال جاذب و همچنین تغییر ساختار مولکول‌های رنگ می‌شود. برای بهینه‌سازی pH محلول، محلول رنگی در چند pH متفاوت از بازه‌ی اسیدی، خنثی و بازی آماده شده است و مقدار ثابت ۱۰ میلی‌گرم جاذب به آن افزوده شده که پس از هم‌زدن با التراسونیک و قرار گیری کنار آهنربا، نانوچندسازه که آلاینده‌های رنگی را جذب کرده، جدا می‌شود. و از محلول باقیمانده طیف UV-Vis گرفته می‌شود. همانطور که در شکل ۵ (الف) نشان داده شده است، زمانی که

اثر جرم جاذب به وسیله ی تغییر تدریجی مقدار نانوچندسازه در محلول رنگی مورد آزمایش قرار گرفت. مقادیری که بیشترین مقدار جذب رنگ در آن اتفاق افتاده به عنوان جرم مطلوب تعیین شد. این آزمایش در pH بهینه ۲ و در زمان بهینه آمده هر رنگ در شکل ۵ (ت) انجام شده است. با توجه به آنچه در شکل ۵ (پ) نشان داده شده است، جرم های ۱۵، ۲۰ و ۱۰ میلی گرم به ترتیب برای MO با ۹۰٪، MB با ۶۵٪، CV با ۸۳٪ و RhB با ۵۴ درصد حذف رنگدانه به عنوان جرم بهینه انتخاب شده است. همدمای جذب لانگمویر برای بسیاری از فرایندهای جذب آلودگی، مناسب است و کاربرد گسترده ای برای جذب یک حل شونده از یک محلول دارد. یک فرض پایه از مدل لانگمویر بدین صورت است که ماده ی جذب شونده یک منطقه را اشغال می کند و جذب دیگری در آن منطقه رخ نمی دهد یعنی مکان های جذب یکسان و سطح جذب یکنواخت و همگن است. همدمای لانگمویر با معادله زیر بیان شده است:

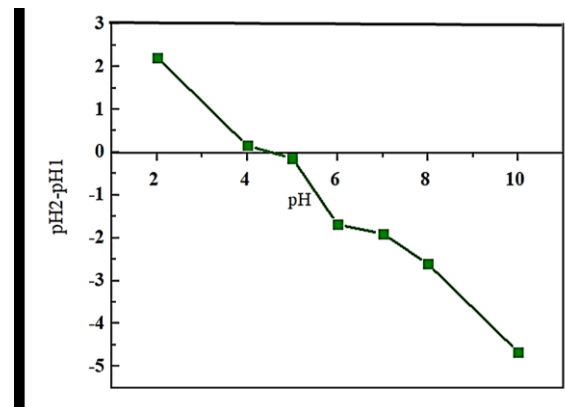
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m} \quad (3)$$

که C_e غلظت تعادلی (mg/L)، q_m مقدار ماده جذب شده (mg/g)، q_m بیشترین مقدار یون جذب شده بر واحد جرم جاذب (حداکثر ظرفیت جذب) (mg/g)، K_L ثابت تعادلی (L/mg) است که در شکل ۷ (الف) نشان داده شده است. در سال ۱۹۰۶، فروندلیچ جذب فلزات بر زغال را مورد بررسی قرار داد. همدمای فروندلیچ با معادلات تجربی

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

بیان شده است که K_f و n ثابت های فروندلیچ هستند که K_f همبستگی مقدار رنگدانه جذب شده در جاذب در واحد تعادل و n نشان دهنده ی مقدار مطلوب بودن فرایند جذب است که در شکل ۷ (ب) نشان داده شده است [۱۳]. بنابه نتایج انطباق داده های تجربی با همدمای هر دو همدمای قابل تطبیق نسبی هستند اما نتایج با همدمای فروندلیچ همسانی بیشتری دارد.

pH از ۱۰ به ۲ کاهش می یابد. حذف رنگدانه از محلول آبی برای MO از ۷۲٪ به ۸۶٪، برای RhB از ۱۰٪ به ۳۶٪، برای MB از ۱۸٪ به ۳۰٪ و برای CV تا ۱۱٪ افزایش می یابد. بار سطحی جاذب در فرایند جذب مهم است و همانطور که گفته شد pH محلول تأثیر متقابل بر جذب الکتروستاتیکی بین رنگ و سطح جاذب دارد. در بازه های اسیدی، یون های H^+ به راحتی با یون های OH تولید شده وارد واکنش شده و نانوچندسازه به طور مثبت شارژ می شود. منحنی تغییرات pH بر حسب pH که در شکل ۶ نشان داده شده است، با اندازه گیری مداوم pH محلول حاوی نانوذرات تا جایی که تغییرات ثابت شود به دست آمده و معیار مناسبی برای تعیین بار سطحی نانوذرات در محیط های اسیدی و بازی است. بنابراین، منحنی نقطه صفر یا بار خنثی، برای سطح نانوچندسازه در ۴/۵ به دست آمده و بدان معنی است که برای $pH < 4/5$ بار سطحی نانوچندسازه مثبت و برای $pH > 4/5$ بار سطحی نانوچندسازه منفی است که می تواند منجر به جذب الکتروستاتیک رنگدانه ها به جاذب در pH های متفاوت شود.



شکل ۶: تغییرات pH محلول حاوی نانوچندسازه در pH های اسیدی و بازی.

اثر زمان تماس یا در واقع زمان همزدن با التراسونیک با مقدار ثابت ۱۰ میلی گرم جاذب و این بار با دانستن pH بهینه در pH برابر ۲ برای تمامی رنگ ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از طیف سنجی جذب UV-Vis برای زمان های متفاوت همزدن در شکل ۵ (ت) نشان داده شده است. این نمودار نشان می دهد که بهترین ظرفیت جذب جاذب تا ۸۹٪ برای MO در مدت ۱۵ دقیقه، ۵۰٪ برای MB در ۱۸۰ دقیقه، ۶۸٪ برای CV در ۶۰ دقیقه و ۵۴٪ برای RhB در ۳۰ دقیقه طول می کشد.

هر چند مقدار جذب در دوره‌های بعدی استفاده کاهش می‌یابد اما در نظر گرفتن مقدار میانگین پایین برای حذف آلاینده‌ها (تنها ۳ گرم بر لیتر) و وجود امکان بهبود وضعیت با افزایش نرخ تورق گرافن و در نتیجه مکان‌های جذب می‌تواند نانوپندسازه گرافن- آهن را برای استفاده صنعتی در تصفیه پساب مفید واقع کند.

۴- نتیجه‌گیری

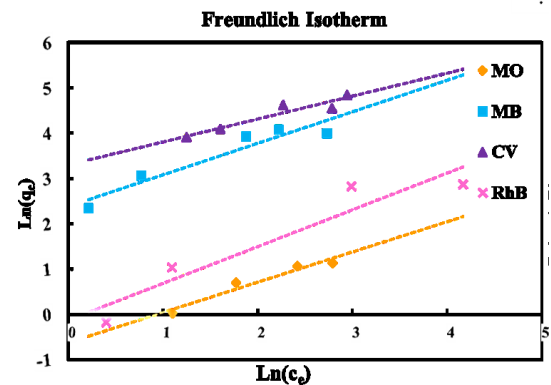
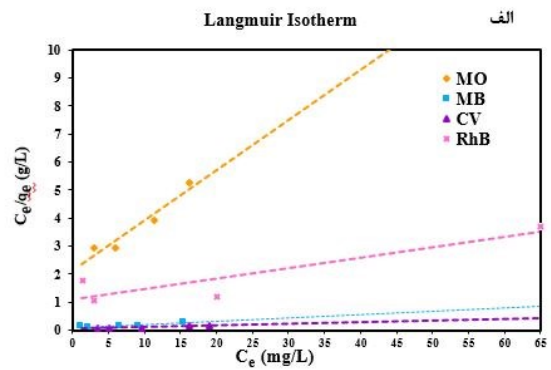
در پژوهش حاضر، نانوپندسازه گرافن-آهن به روش ساده و تک‌مرحله‌ای الکتروشیمیایی سنتز و کارایی آن برای جذب آلاینده‌های رنگی مورد بررسی قرار گرفته است. نانوپندسازه سنتز شده متشکل از اکسید آهن و گرافن و دارای مغناطش اشباع بالا است که قابلیت جذب و جداسازی آسان با اعمال میدان مغناطیسی را نشان داده است. کارایی این نانوپندسازه به عنوان جاذب برای حذف هر دو گروه رنگ‌های کاتیونی (متیلن بلو، کریستال بنفش و رودآمین B) و آنیونی (متیل اورانژ) از آب مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که با مقدار اندک ۳ گرم بر لیتر به طور میانگین ۷۰ درصد رنگدانه‌ها را طی مدت ۳۰ دقیقه جذب کرده و با اعمال میدان مغناطیسی در زیر یک دقیقه جداسازی انجام می‌گیرد. بنا به نتایج،

انطباق داده‌های تجربی با هم‌دمای لانگمویر و فروندلیچ، هر دو هم‌دما قابل تطبیق نسبی هستند اما نتایج با هم‌دما فروندلیچ همسانی بیشتری دارد. با توجه به ویژگی‌های نانوپندسازه گرافن-اکسید آهن سنتز شده، این ذرات می‌توانند در کاربرد صنعتی تصفیه پساب‌های رنگی مفید واقع شوند.

مراجع

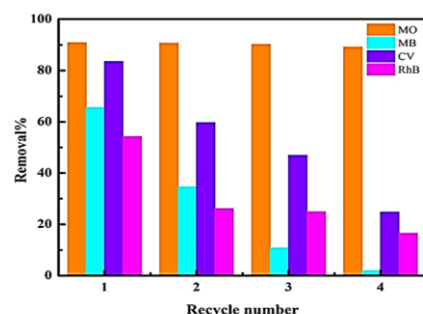
[1] S. Hongmei, L. Cao, and L. Lu. "Magnetite/reduced graphene oxide nanocomposites: one step solvothermal synthesis and use as a novel platform for removal of dye pollutants." *Nano Research*, 4, 550-562, 2011.

[۲] دوبران دینز، اصغری محمد، " جذب سطحی رنگ‌ها توسط نانومواد: پیشرفت‌های اخیر و مکانیزم‌های جذب سطحی جدید" ماهنامه فناوری نانو سال پازدهم شماره ۱ فروردین ۱۳۹۵، ۴۰-۵۳.



شکل ۷: هم‌دمای جذب (الف) هم‌دما لانگمویر (ب) هم‌دما فروندلیچ.

توانایی بازیابی و کاهش نانوپندسازه با چندین چرخه جذب متوالی نشان داده می‌شود. پس از استفاده مجدد از نانوپندسازه جاذب (واجذب) که اشغال شدن مکان‌های نانوپندسازه و خیس شدن آن‌ها را در پی دارد، شاهد کاهش قابلیت جذب هستیم. در واقع با پر شدن مکان‌های جذب در گرافن مقدار جذب باقی مانده فقط ناشی از جذب الکتروستاتیکی بر اثر بار سطحی خواهد بود که در متیل اورانژ همواره قابل توجه بوده و در سایر رنگ‌ها به مراتب کمتر است. این روند در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: مقایسه مقدار درصد جذب در چرخه‌های استفاده از نانوپندسازه.

- [11] G, Juan. "Synthesis of Fe nanoparticles@ graphene composites for environmental applications." *Journal of hazardous materials*, 225, 63-73, 2012.
- [12] Y, Zhe. "Magnetic nanomaterial derived from graphene oxide/layered double hydroxide hybrid for efficient removal of methyl orange from aqueous solution." *Journal of colloid and interface science*, 408, 25-32, 2013.
- [13]. W, Peifang. "Kinetics and thermodynamics of adsorption of methylene blue by a magnetic graphene-carbon nanotube composite." *Applied Surface Science*, 290, 116-124, 2014.
- [3] Z. Liyuan. "Highly flexible and porous nanoparticle-loaded films for dye removal by graphene oxide–fungus interaction." *ACS applied materials & interfaces*, 50, 34638-34647, 2016.
- [4] P. Ali. "Synthesis of magnetic graphene oxide-containing nanocomposite hydrogels for adsorption of crystal violet from aqueous solution." *RSC Advances*, 41, 32263-32271, 2015.
- [5] C. Vimlesh. "Water-dispersible magnetite-reduced graphene oxide composites for arsenic removal." *ACS nano*, 4, 3979-3986, 2010.
- [6] M. Daliya S, R. Juang. "An overview of the structure and magnetism of spinel ferrite nanoparticles and their synthesis in microemulsions." *Chemical Engineering Journal*, 129, 51-65, 2007.
- [7] L. Xunyu, C, Zhao. "Electrodeposition of hierarchically structured three-dimensional nickel–iron electrodes for efficient oxygen evolution at high current densities." *Nature communications*, 6, 2015.
- [8] T., Jiří. "Air-stable superparamagnetic metal nanoparticles entrapped in graphene oxide matrix." *Nature Communications*, 7,11-19, 2016.
- [9] M. R. Philip, T. N. Narayanan, M. P. Kumar, S. B. Arya, & D. K. Pattanayak. "Self-protected nickel–graphene hybrid low density 3D scaffolds" *J. Mater. Chem. A Mater. Energy Sustain*, 2, 19488–19494, 2014.
- [10] M. Naebe, J. Wang, A. Amini, H. Khayyam, N. Hameed, L. H. Li, Y. Chen, & B. Fox. "Mechanical property and structure of covalent functionalised graphene/epoxy nanocomposites" *science*, 4, 4375, 2014.

Evaluation of adsorption process in dye pollutants by magnetic graphene nanocomposite

N. Ansari* | F. Faghhi | Z. Amin | M. Mohammadnejad

Department of Physics, Alzahra University, Tehran, 1993893973, Iran.

Abstract: Removing dye pollutants from industrial waste water is a common environmental application of nanomaterials. This study investigated in-situ synthesis and adsorbing ability of a magnetic nanocomposite based on graphene for both cationic and anionic dyes. To determine composite structure, chemical bonds, morphological and magnetic features X-ray diffraction (XRD), Fourier transform of infrared spectroscopy (FTIR), Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) and Vibrating-sample magnetometer (VSM) were examined and adsorbent capacity (function of solution pH, time of removal and material content) for Methyl Orange (MO), Methylene Blue (MB), Crystal Violet (CV) and Rhodamine B (RhB) by two method (Isotherm Langmuir and Isotherm Freundlich) were studied. Experimental results of Iron-Graphene nanocomposite showed average removal adsorbent of 70% in 30 minutes and removing by external magnetic field in a minute. This study shows that the synthesized magnetic nanocomposite advances for high amount of pollutant cleaning in a short time by using small amount of materials.

Keywords: Graphene, Magnetic Nanoparticles, Iron oxide, Removal, Waste water Remediation.