

# حذف نفتالن از محلول آبی با استفاده از نانو صفحات گرافن: مطالعات جذب بهینه

محمدصادق نیکنام<sup>۱</sup>، افسانه شهبازی<sup>۲\*</sup>، مصطفی محمد پورامینی<sup>۳</sup>

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آلودگی های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی
- ۲- دانشیار پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی
- ۳- استاد دانشکده شیمی، دانشگاه شهید بهشتی

\*a\_shahbazi@sbu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۶/۲/۳۱]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۱۰/۱۲]

## چکیده

هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای مانند نفتالن به دلیل اثرات سرطان زایی و سمیت از ترکیبات خطرناک برای انسان و محیط زیست می باشد و حذف این آلاینده از محیط زیست امری ضروری به نظر می رسد. در این مطالعه نانو صفحات گرافن سنتز و برای حذف نفتالن از محلول آبی استفاده شد. ساختار این نانوجاذب با استفاده از آنالیزهای پراش اشعه ایکس (XRD)، طیف سنج مادون قرمز (FTIR) و تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی گردید. مطالعات جذب بهینه و بررسی کارایی نانوجاذب در حذف نفتالن از محلول آبی در سیستم ناپیوسته جذبی با بررسی تأثیر متغیرهای pH محلول (۳-۱۰)، دوز جاذب (۰/۲-۰/۱۰ گرم بر لیتر) و غلظت اولیه نفتالن (۳-۱۵ میلی گرم بر لیتر) مطالعه شد. فرآیند جذب با استفاده از مدل های ایزوترمیک لانگمویر و فروندلیچ و نیز مدل های سینتیکی شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم، الویچ و نفوذ درون ذره ای در بهترین نتایج در حالات بررسی شده مدل سازی گردید. نتیجه آزمایش های جذب نشان داد که بهترین نتایج در حالات بررسی شده در  $pH = 10$ ، غلظت جاذب ۱۳ میلی گرم بر لیتر و دوز جاذب برابر با ۰/۱۱ گرم بر لیتر به دست آمد و در این حالات درصد حذف و ظرفیت جذب به ترتیب برابر با ۸۰/۱۹ درصد و ۹۰/۱۸ میلی گرم بر گرم حاصل شد. نتایج حاصل از بررسی ایزوترم و سینتیک جذب نشان داد که فرآیند جذب از مدل ایزوترم فروندلیچ ( $R^2 = 0/97$ ) و مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم ( $R^2 = 0/99$ ) تبعیت می کند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، نانو صفحات گرافن را می توان به عنوان جاذبی مؤثر برای حذف نفتالن از محلول های آبی به کار برد.

**واژگان کلیدی:** نانو صفحات گرافن، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقوی، جذب بهینه، ایزوترم، سینتیک

## ۱- مقدمه

نیست. مشکلات ایجاد شده توسط آلاینده های محیط زیست باعث اثرات غیرقابل پیش بینی بر روی سلامت انسان به دلیل استفاده گسترده و سمیت آنها شده است [1]. یکی از مهم ترین

آب یک ماده حیاتی برای زندگی بشر است و اهمیت دسترسی به آب آشامیدنی با کیفیت بر هیچ کسی پوشیده

یک لایه اتمی، توجه شایانی را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است [11] و به دلیل مساحت سطح قابل توجه، کاربردهای محیط‌زیستی این نانو صفحات به‌عنوان جاذب برتر برای حذف آلاینده‌های آلی و غیر آلی از آب شناخته می‌شود. مطالعات مختلفی در زمینه استفاده از نانو صفحات گرافن به‌عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌های مختلف از محیط‌های آبی انجام گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط Chang و همکاران [12] در سال ۲۰۰۴ انجام گرفته است، از زئولیت برای حذف هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (نفتالن) استفاده شده است. در بررسی دیگری که توسط Anbia و Moradi در سال ۲۰۰۹ انجام گرفته است [13]، برای حذف نفتالن از پساب پتروشیمی از جاذب نانو ساختار متخلخل استفاده کرده‌اند. مطالعات دیگری نیز در رابطه با استفاده از نانو صفحات گرافن در حذف آلاینده‌ها از محیط‌های آبی صورت گرفته است که می‌توان به حذف رنگ متیلن بلو [14]، بیسفنول [15]، یون‌های  $\text{Th(IV)}$  [16] و دیگر آلاینده‌ها اشاره کرد. در سطح داخلی نیز مطالعاتی در زمینه حذف نفتالن انجام گرفته است. فضل‌اللهی و همکاران [17] در سال ۱۳۹۵ ایزوترم و سینتیک جذب نفتالن را از محلول‌های آبی با استفاده از نانوتیوب‌های کربنی چند جداره مورد بررسی قرار دادند. کریمی و همکاران [18] نیز در سال ۱۳۹۵ برای حذف نفتالن از آب از فرایند اکسیداسیون پیشرفته  $\text{UV/TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$  استفاده کردند. در مطالعه دیگری خدادادی و همکاران [19] در سال ۱۳۹۰ فاضلاب مصنوعی حاوی نفتالن را با استفاده از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی کربن فعال تصفیه کردند. علاوه بر این در مطالعه دیگری که توسط کولیوند و همکاران [20] در سال ۱۳۹۴ انجام گرفت، از نانو صفحات گرافن اکساید برای حذف متیلن بلو از محلول‌های آبی استفاده شد و سینتیک و ایزوترم جذب مورد بررسی قرار گرفت. هدف از انجام تحقیق حاضر سنتز و استفاده از نانو صفحات گرافن و بررسی کارایی آن در حذف نفتالن به‌عنوان هیدروکربن آروماتیک چند حلقه‌ای منتخب از محلول‌های آبی می‌باشد. همچنین مطالعه روی شرایطی از قبیل دوز جاذب و pH که در آن جذب بهینه اتفاق می‌افتد و نیز بر مدل‌های

آلاینده‌های آب هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی ( $\text{PAHs}^1$ ) می‌باشد. هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی، گروه بزرگی از ترکیبات آلی، با دو یا بیش از دو حلقه آروماتیک را شامل می‌شوند [2] و از نظر سمیت، PAHs در طبقه آلاینده‌های سمی، سرطان‌زا و ایمنوتاکسیک<sup>۲</sup> قرار می‌گیرند [3]. این ترکیبات به‌عنوان یکی از شایع‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست، به دلیل حضور در نفت خام، زغال، دوده و هوای آلوده می‌باشند و از این رو از مهم‌ترین منابع انتشار آنها می‌توان به نیروگاه‌ها، وسایل نقلیه موتوری، خاکستر آتشفشانها، نشت و تراوش‌های نفتی و صنایع نفت و گاز اشاره کرد [4,5]. علاوه بر این از دیگر راه‌های ورود این ترکیبات به منابع آبی می‌توان به ریزش‌های اتمسفری و رواناب‌های شهری نیز اشاره کرد [6] و لذا این ترکیبات از مهم‌ترین آلاینده‌های سیستم‌های آب شور و شیرین می‌باشند. از بین گونه‌های مختلف هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی، ۱۶ گونه‌ی آن از سوی آژانس حفاظت محیط‌زیست ( $\text{EPA}^3$ ) به‌عنوان آلاینده‌های خطرناک اعلام گردیده است که یکی از این ترکیبات نفتالن می‌باشد [7]. روش‌های مختلفی برای حذف ترکیبات آلی سمی از قبیل نفتالن، شامل انعقاد، تصفیه، ته‌نشینی، ازن زنی، تبادل یونی، اسمز معکوس و جذب سطحی وجود دارد [8] که از بین روش‌های فوق‌الذکر فرایند جذب و با استفاده از جاذب‌ها یک راه ساده و جهانی برای حذف مؤثر آلاینده‌های آلی از محیط آبی فراهم کرده است [9]. جاذب‌ها انواع مختلفی دارند که به دو دسته طبیعی و سنتزی تقسیم می‌گردند. جاذب‌های طبیعی شامل رس‌ها، زئولیت‌ها و جاذب‌های سنتزی شامل مواد متخلخل و جاذب‌های نانو ساختار می‌باشند. نانو جاذب‌ها انواع مختلفی دارند که بر اساس تخلخل و حفرات زیاد و یا مساحت سطح بالا طبقه‌بندی می‌شوند [8,10]. نانو صفحات گرافن<sup>۴</sup> (GNS) به‌عنوان عضوی از نانو مواد می‌باشند که به‌تازگی از مواد کربنی توسعه یافته است. این نانو صفحات دارای ساختار دوبعدی، شامل کربن‌های هیبرید شده  $\text{SP}^2$  و با ضخامت تنها

1 Polycyclic aromatic hydrocarbons

2 Immunologic

3 Environmental Protection Agency

4 Graphene Nano Sheets

ایزوترمیک و سینتیکی در فرایند جذب متمرکز است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد شیمیایی و دستگاه‌های آنالیز

مواد شیمیایی به کار گرفته شده در این پژوهش شامل پودر گرافیت، پودر کریستالی نفتالن، فسفروز پنتوکساید ( $P_2O_5$ )، اسید هیدروکلریک، آب اکسیژنه ( $H_2O_2$ )، اسید سولفوریک، هیدرازین منویدرات ( $N_2H_4$ ) و کلسیم کلراید ( $CaCl_2$ ) همگی از شرکت Merck، پتاسیم پرمنگنات ( $KMnO_4$ ) از شرکت Scharlau، متانول از شرکت Apchem، پتاسیم پر سولفات ( $K_2S_2O_8$ ) و سدیم هیدروکساید ( $NaOH$ ) از شرکت Chem-Lab می‌باشد.

جدول (۱) برخی از ویژگی‌های آلاینده نفتالن و نانو صفحات گرافن



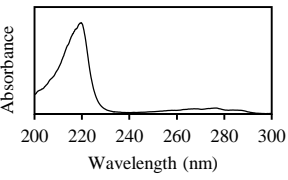
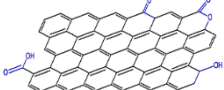

Naphthalene	
	Structure
White solid crystals	Appearance
	Appearance
$128.17 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	Molar mass
$1.0253 \text{ g}/\text{cm}^3 (20^\circ \text{C})$	Density
	uv-vis ( $\lambda_{\max}$ )
Graphene Nanosheets	
	Structure
$2630 \text{ m}^2/\text{g}$	Surface area
Black solid	Appearance
	Appearance

Table (1) Some features of Naphthalene and Graphene Nanosheets

همچنین تجهیزاتی که برای آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت شامل دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-VIS Shimadzu 2100) برای خواندن غلظت، دستگاه X-ray

(Philips-PW 17C diffractometer) برای آنالیز<sup>۱</sup> XRD، دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز انتقالی (Shimadzu 4600 spectrometer) برای آنالیز<sup>۲</sup> FT-IR، میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۳</sup> (Leo-1455vp)، pH متر برای تنظیم pH محلول، اولتراسونیک برای همگن کردن نمونه و در نهایت دستگاه سانتریفیوژ برای شستشوی جاذب و جدا نمودن آن پس از واکنش جذب، می‌باشد. برخی از ویژگی‌های آلاینده نفتالن و نانو صفحات گرافن در جدول (۱) ارائه شده است.

### ۲-۲- سنتز نانو صفحات گرافن

برای تهیه جاذب مورد استفاده، ابتدا گرافن اکساید به روش اصلاح شده هامر [21] سنتز و سپس از احیای گرافن اکساید تحت شرایط خاص نانو صفحات گرافن به دست آمد. در ابتدا پودر گرافیت،  $K_2S_2O_8$  و  $P_2O_5$  با نسبت یکسان (۵ گرم) درون ارلن ریخته شد. سپس اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه و به مدت ۶ ساعت و در دمای ۸۰ درجه سلسیوس روی همزن مغناطیسی و درون حمام روغن قرار داده شد. سپس آب مقطر به آن اضافه و به مدت ۲۴ ساعت روی همزن مغناطیسی قرار داده شد. ماده حاصله با استفاده از آب مقطر و توسط کاغذ صافی شستشو داده شد تا pH محلول افزایش یابد. سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک، ۶ گرم  $KMnO_4$  و در پایان ۸ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به نمونه افزوده شد. نمونه به دست آمده با نیتریک اسید و آب مقطر توسط سانتریفیوژ دور بالا شسته و در دمای محیط خشک گردید. برای سنتز نانو صفحات گرافن از گرافن اکساید ابتدا ۰/۱ گرم گرافن اکساید را درون بالن ریخته و سپس آب مقطر به آن اضافه و تحت اولتراسونیک قرار داده شد. سپس هیدرازین هیدرات به بالن اضافه و در دمای ۱۰۰ درجه تحت رفلکس قرار گرفت و ماده حاصله توسط آب مقطر و متانول به وسیله سانتریفیوژ دور بالا شستشو داده شد. لازم به ذکر است که مبنای تهیه نانو صفحات گرافن از گرافن اکساید، استفاده از هیدرازین هیدرات به عنوان کاهنده قوی

1 X-ray Diffraction (XRD)

2 Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)

3 Scanning Electron Microscope (SEM)

می باشد.

در معادلات ایزوترمیک، پارامتر  $q_e$  (mg/g) و  $Q_m$  (mg/g) به ترتیب بیانگر ظرفیت جذب در نقطه تعادل و حداکثر ظرفیت جذب،  $C_e$  (mg/l) بیانگر غلظت تعادلی و پارامترهای  $K_f$ ،  $1/n$  در معادله فروندلیچ و  $1/Q_m$  و  $1/K_a Q_m$  در معادله لانگمویر به ترتیب از طریق عرض از مبدأ و شیب نمودار به دست می آیند. در معادلات سینتیک جذب،  $t$  زمان،  $q_t$  و  $q_e$  به ترتیب ظرفیت جذب در نقطه تعادل و در زمان  $t$  می باشند. پارامترهای  $1/b$  و  $\ln(ab)$  در معادله الویچ،  $q_e$  و  $K_2$  در معادله شبه مرتبه اول،  $K_1$  در معادله شبه مرتبه دوم و  $c$  و  $K$  در معادله نفوذ درون ذره ای از طریق عرض از مبدأ و شیب نمودار به دست می آیند. ضریب تعیین برای ارزیابی شایستگی مدل های مختلف استفاده می شود و هرچه  $R^2$  به یک نزدیک تر و یا برابر یک باشد همبستگی با مدل بیشتر می باشد [27].

#### ۲-۴- مطالعات جذب بهینه و مدل سازی جذب

آزمایش های جذب توسط نانو صفحات گرافن برای حذف نفتالن و در راکتور ناپیوسته انجام گرفت. برای این منظور از ویال های شیشه ای درب دار و در دمای اتاق استفاده گردید. محلول اولیه نفتالن با غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر در بالن ژوژه و با حلال متانول خالص ساخته شد و سپس محلول های مورد نیاز از آن ساخته شد. در این بررسی فاکتورهای مختلف مؤثر بر فرآیند جذب از قبیل غلظت اولیه (۳-۱۵ میلی گرم بر لیتر)، pH (۳-۱۰)، دوز جاذب (۰/۱ - ۰/۲ گرم بر لیتر) مورد بررسی قرار گرفتند. تنظیم pH با اضافه نمودن محلول های سود و اسید کلریدریک صورت گرفت. کلیه آزمایش های با اضافه نمودن ۱۰ میلی لیتر از محلول نفتالن با غلظت مشخص به جاذب و روی همزن مغناطیسی انجام گرفت. میزان جذب آلاینده توسط جاذب در طول موج ۲۲۰ نانومتر محاسبه گردید. در نهایت از داده های حاصله برای مدل سازی ایزوترم و سینتیک جذب استفاده شد. برای محاسبه درصد حذف رنگ ( $R\%$ ) و مقدار آن ( $q_e$ ) بر حسب mg/g از روابط زیر استفاده شد [24]:

#### ۲-۳- مطالعات ایزوترم و سینتیک جذب

در این بررسی داده های ایزوترم جذب با استفاده از معادلات ایزوترمیک فروندلیچ<sup>۱</sup> و لانگمویر<sup>۲</sup> مدل سازی گردیدند. علاوه بر این، یکی از مطالعات مهم فرایند جذب، مطالعه سینتیک جذب است. برای بررسی سینتیک جذب، ۲۰۰ سی سی از محلول ۱۳ ppm و pH=۱۰ به درون بالن ۲۵۰ میلی لیتری و در دمای اتاق ( $1 \pm 2$  درجه سلسیوس) ریخته و سپس مقدار ۰/۱۱ گرم بر لیتر جاذب به محلول اضافه گردید. مقادیر pH محلول، دوز جاذب و غلظت اولیه نفتالن بر اساس بهترین نتایج در حالات بررسی شده طی آزمایش های جذب انتخاب گردید. سپس سینتیک جذب در مقاطع زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۰۰، ۳۶۰ و ۴۵۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. مدل های شبه مرتبه اول<sup>۳</sup>، شبه مرتبه دوم<sup>۴</sup>، الویچ<sup>۵</sup> و نفوذ درون ذره ای<sup>۶</sup> برای بررسی سینتیک جذب به کار گرفته شد. از روابط جدول (۲) برای بررسی ایزوترم و سینتیک فرایند جذب استفاده گردید.

جدول (۲) معادلات به کار گرفته شده در ایزوترم و سینتیک جذب نفتالن

Ref.	Equations	Isotherm
	$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$	Freundlich
[22]	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_a Q_m} + \frac{C_e}{Q_m}$	Langmuir
Ref.	Equations	Kinetic
[23]	$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.30} t$	Pseudo-first-order
[24]	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k q_e^2} + \frac{t}{q_e}$	Pseudo-second-order
[25]	$q_t = \frac{1}{b} \ln(ab) + \frac{1}{b} \ln(t)$	Elovich
[26]	$q_t = K(t)^{1/2} + c$	Intraparticle diffusion

Table (2) Applied equations for isotherm and kinetic of naphthalene adsorption

- 1 Freundlich
- 2 Langmuir
- 3 Pseudo first order
- 4 Pseudo second order
- 5 Elovich
- 6 Intra-particle diffusion

اکسایش یافته است. پیک‌های موجود در نواحی  $1389\text{ cm}^{-1}$ ،  $1054\text{ cm}^{-1}$  و  $1219\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به ارتعاش کششی گروه‌های عاملی کربوکسیل ( $\text{O}=\text{C}-\text{OH}$ )، اپوکسی ( $\text{C}-\text{O}$ ) و الکوکی ( $\text{C}-\text{O}$ ) و طی فرایند اکسیداسیون قوی می‌باشد. پیک پهن موجود در ناحیه حدود  $3400\text{ cm}^{-1}$  نیز مربوط به ارتعاش کششی گروه‌های هیدروکسیل ( $\text{OH}$ ) است [28]. در طیف GNS، پیک‌های نواحی  $1634\text{ cm}^{-1}$  و  $1098\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی  $\text{C}=\text{C}$  در حلقه بنزنی و پیک‌های موجود در نواحی  $1732\text{ cm}^{-1}$  و  $1624\text{ cm}^{-1}$  و  $3435\text{ cm}^{-1}$  در ارتباط با ارتعاش کششی  $\text{C}-\text{O}$  و  $\text{OH}$  می‌باشند [15]. در آنالیز XRD، در الگوی GO پیک بزرگ در محدوده  $2\theta = 10.24^\circ$  نشان از بازتاب (0 0 1) آن و نبود پیک در ناحیه  $2\theta = 26.7^\circ$  نشان از اکسایش کامل گرافیت و تبدیل آن به گرافن اکساید است [29]. در مورد GNS نیز می‌توان گفت که پیک پهن موجود در ناحیه  $2\theta = 23.94^\circ$  با بازتاب (0 0 2) نشان‌دهنده احیای GO توسط هیدرازین هیدرات و سنتز صحیح این نانو صفحات است [30].

### ۳-۱-۲- آنالیز تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گرافن اکساید و گرافن با بزرگنمایی  $10000\times$  برابر در شکل (۲) به نمایش در آمده است. در مورد گرافن اکساید، مورفولوژی تصویر نشان‌دهنده حالت صفحه‌ای، برگ‌مانند و رگ‌دار بودن نمونه است. همچنین از نظر مورفولوژی گرافن، نمونه از تعداد زیادی واحد صفحه‌ای، دارای رگ‌های برگ‌مانند که به دلیل پیچش و مچاله شدن تشکیل شده است، می‌باشد. چاله‌های اطراف صفحات می‌تواند به دلیل استفاده از اولتراسونیک به منظور همگن سازی طی فرایند سنتز باشد. نتایج نشان داد که نانو جاذب سنتز شده از نظر مورفولوژی، با جاذب سنتز شده در منابع علمی مطابقت دارد [31].

### ۳-۲- مطالعات جذب بهینه

فرایند جذب تحت تأثیر پارامترهای مختلفی قرار می‌گیرد که می‌تواند بازده حذف آلاینده را تحت تأثیر قرار دهد. در این مطالعه اثر دوز جاذب و pH محلول به‌عنوان دو پارامتر مهم در مطالعات جذبی مورد بررسی قرار گرفتند.

$$(R\%) = \frac{(C_0 - C_e) \times 100}{C_0} \quad , \quad (q_e) = \frac{(C_0 - C_e)v}{w}$$

در روابط فوق  $C_0$  بیانگر غلظت اولیه نفتالن ( $\text{mg/l}$ )،  $C_e$  غلظت نفتالن در نقطه‌ی تعادل ( $\text{mg/l}$ )،  $V$  حجم محلول (L) و  $W$  وزن جاذب (g) می‌باشد.

شکل (۱) طیف مادون قرمز انتقالی (a) و پراش اشعه ایکس (b) از GO و GNS

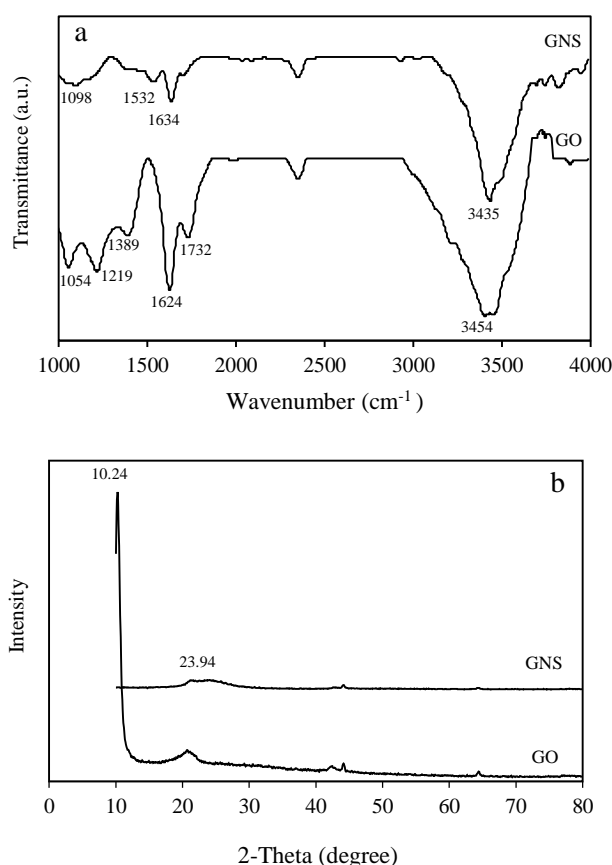


Fig. 1. Fourier transform infrared spectroscopy (a) and X-ray diffraction (b) of GO and GNS

## ۳- یافته‌ها

### ۳-۱- مواد شیمیایی و دستگاه‌های آنالیز

#### ۳-۱-۱- آنالیز طیف سنجی مادون قرمز و پراش اشعه ایکس

شکل (۱) طیف مادون قرمز انتقالی و پراش اشعه ایکس گرافن اکساید و نانو صفحات گرافن را نشان می‌دهد. در آنالیز FT-IR، در طیف GO پیک‌های در نواحی  $1624\text{ cm}^{-1}$  و  $1732\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب نشان‌دهنده ارتعاش کششی  $\text{C}=\text{C}$  و  $\text{O}=\text{C}$  از گرافیت

ساخته و تحت شرایط pH برابر با ۶/۵ و در دمای اتاق، دوزهای ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱۱ و ۰/۲ گرم بر لیتر جاذب به محلول‌های با غلظت مشخص و با حجم ۱۰ میلی لیتر اضافه گردید و پس از به تعادل رسیدن جاذب، غلظت نفتالن در نمونه‌ها آنالیز گردید که نتایج آن در شکل (۳) ارائه شده است.

#### ۲-۳-۲ اثر pH

جهت بررسی تأثیر pH بر راندمان حذف ابتدا محلول ۳ میلی گرم بر لیتر از نفتالن تهیه گردید و سپس آزمایش‌های جذب تحت شرایط ۰/۰۱ گرم بر لیتر از جاذب، حجم نمونه ۱۰ میلی لیتر و در دمای اتاق ( $20 \pm 1$  درجه سلسیوس) انجام گرفت. از اسید هیدروکلریک ۰/۱ نرمال و سود ۰/۱ نرمال برای تنظیم pH در گستره مورد بررسی (۳-۱۰) استفاده گردید. نتایج بررسی اثر pH اولیه محلول بر راندمان حذف نفتالن در شکل (۴) به نمایش درآمده است.

شکل (۴) تأثیر pH بر راندمان حذف نفتالن

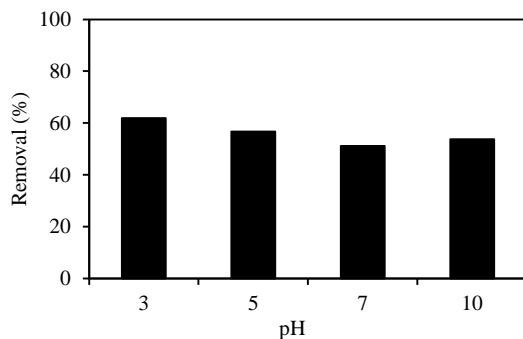


Fig. 4. Effect of pH on removal of naphthalene

۳-۳-۳ مطالعات ایزوترم: مدل ایزوترمیک فروندلیچ و لانگمویر مدل ایزوترمی فروندلیچ معادله‌ای تجربی است و بر این فرض استوار است که غلظت ماده جذب شده بر روی جاذب، با افزایش سطح جاذب افزایش می‌یابد [32] و نیز نشان‌دهنده جذب چندلایه بر روی سطح ناهمگن است [33]. مدل ایزوترمی لانگمویر برای جذب مواد موجود در یک محلول بر روی سطح یک جاذب تک لایه با تعداد سایت‌های در دسترس محدود مناسب است. همچنین این مدل سطح را با سایت‌های همگن، انرژی‌های جذب برابر و عدم برهمکنش ماده

شکل (۲) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی GO (a) و GNS (b)

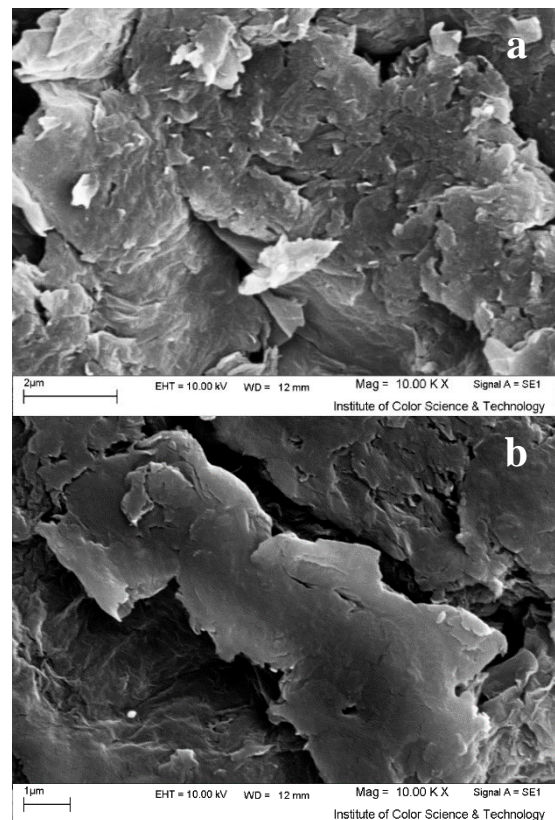


Fig. 2. Scanning electron microscopy of GO (a) and GNS (b)

شکل (۳) تأثیر دوز جاذب بر راندمان حذف نفتالن

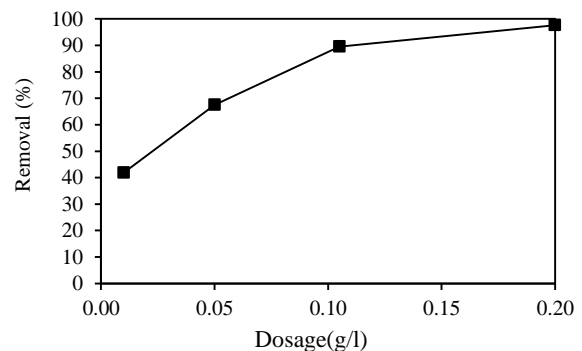


Fig. 3. Effect of adsorbent dosage on removal of naphthalene

#### ۱-۲-۳ اثر دوز جاذب

به دلیل اینکه حذف نفتالن به وسیله جذب سطحی توسط جاذب اتفاق می‌افتد، لذا میزان سطوح در دسترس برای جذب و بنابراین میزان جاذب می‌تواند بر بازده جذب تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. برای بررسی تأثیر میزان جاذب بر کارایی جذب، نمونه‌هایی با غلظت ۹ میلی گرم بر لیتر نفتالن

سطوح جاذب جامد و بدون واجذب و بیشتر در مورد گازها به کار گرفته می‌شود [34] و در پایان مدل سینتیکی نفوذ درون ذره ای برای تعیین مکانیسم نفوذ جاذب‌شونده در لایه‌های جاذب به کار گرفته می‌شود [16]. نتایج حاصل از بررسی مدل‌های سینتیکی به کار گرفته شده در شکل (۶) به نمایش درآمده است.

شکل (۶) مدل سینتیکی شبه مرتبه اول (a) شبه مرتبه دوم (b)، الوویچ (c) و نفوذ درون‌ذره‌ای (d) برای حذف نفتالن توسط GNS

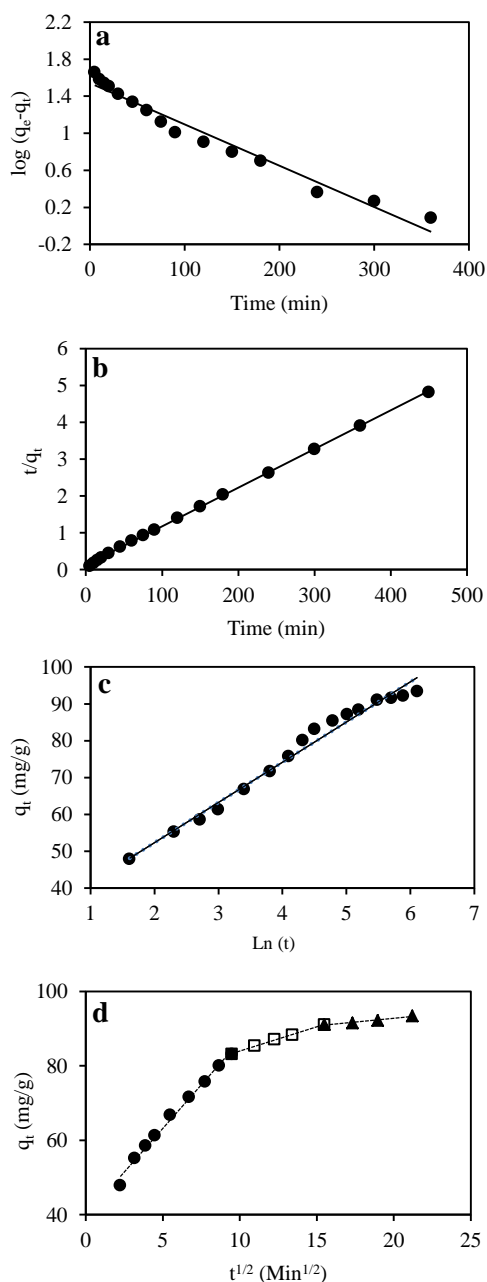


Fig. 6. Pseudo-first-order (a), Pseudo-second-order (b), Elovich (c) and Intraparticle diffusion (d) kinetic models for removal of naphthalene by GNS

جذب‌شونده فرض می‌کند. [32,33]. نتایج حاصل از مدل‌های فروندلیچ و لانگ‌مویر در شکل (۵) به نمایش درآمده است.

شکل (۵) مدل ایزوترمی فروندلیچ (a)، لانگ‌مویر (b) برای حذف نفتالن توسط GNS

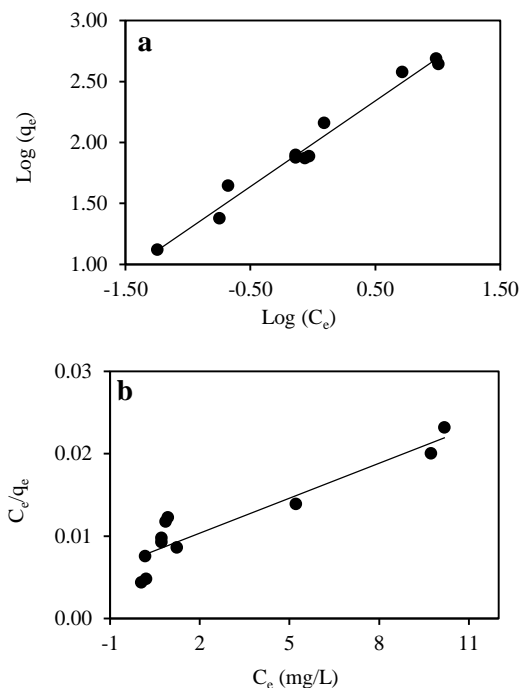


Fig. 5. Freundlich (a) and Langmuir (b) isotherm models for removal of naphthalene by GNS

۳-۴- مطالعات سینتیک: مدل سینتیک شبه مرتبه اول، دوم،

الوویچ و نفوذ درون ذره ای

معادله سینتیکی شبه مرتبه اول به‌طور گسترده‌ای برای توصیف سرعت جذب یک ماده در محلول آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل برای توصیف فرآیندهای جذب در فاز جامد-مایع با تکیه بر ظرفیت جامد ارائه شده است. در مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم، سرعت جذب آلاینده از داخل محلول در ابتدای واکنش بالا بوده و سپس با گذشت زمان، تعداد مکان‌های اشغال‌شده در سطح جاذب افزایش می‌یابد و از تعداد مکان‌های خالی برای قرارگیری آلاینده کاسته شده و سرعت جذب کاهش می‌یابد. یکی از مدل‌های سینتیکی پرکاربرد دیگر مدل الوویچ است که این مدل سینتیکی برای توصیف سیستم‌های با سطوح جاذب ناهمگن، جذب شیمیایی روی

حذف نفتالن در دوز جاذب ۰/۲ گرم بر لیتر و برابر ۹۷ درصد به دست آمد. لذا افزایش بازده حذف با افزایش سطوح و سایت‌های در دسترس و نیز افزایش سطح تماس جاذب قابل توجیه است. این مطالعه با نتایج حاصل از مطالعه Wang و همکاران که بر روی حذف روی از محلول آبی با استفاده از جاذب گرافن اکساید انجام دادند [27] و نیز مطالعه خدادادی و همکاران [19] در حذف نفتالن از محلول های آبی با استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی کربن فعال و کولیوند و همکاران [20] در حذف متیلن بلو توسط گرافن اکساید مطابقت دارد. pH محلول فاکتور مهمی است که جذب مواد را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد. این پارامتر ممکن است خصوصیات شیمیایی جاذب و جذب‌شونده را تغییر دهد و یا در فرایندهای جذبی، بار سطحی جاذب را تحت تأثیر قرار داده و از این طریق بر روی بازدهی فرایند جذب مؤثر باشد [32].

نتایج بررسی تأثیر pH اولیه محلول بر راندمان حذف نفتالن نشان داد که تغییر pH تأثیر بسزایی بر روی راندمان حذف نفتالن ندارد که این نتایج با نتایج بررسی Sun و همکاران [35] همخوانی دارد. مدل‌های ایزوترمیک به منظور تشریح مطالعات تعادلی و مقایسه ظرفیت جاذب برای آلاینده به کار گرفته می‌شود. این مطالعات همچنین اطلاعات کیفی در مورد ظرفیت جذب و ماهیت برهمکنش بین سطح جاذب و آلاینده را بیان می‌کند [36]. بررسی مدل‌های ایزوترمیک نشان داد که نتایج ایزوترم فروندلیچ حاکی از همبستگی بالای آزمایش‌های جذب نفتالن توسط نانو صفحات گرافن (R<sup>2</sup> = ۰/۹۷) با مدل فروندلیچ است که نتایج این مطالعه با نتایج Pei و همکاران [37] تأیید می‌شود و این نشان‌دهنده شرایط جذب چند لایه بر روی سطوح ناهمگن است. نتایج مطالعه‌ی ایزوترم لانگ‌مویر حاکی از همبستگی نه‌چندان بالای آزمایش‌های جذب (R<sup>2</sup> = ۰/۸۴) با این مدل بود که با توجه به فرضیات مدل (این مدل سطح را با سایت‌های همگن، انرژی‌های جذب برابر و عدم برهمکنش ماده جذب‌شونده فرض می‌کند) همبستگی پایین داده‌ها با این مدل قابل توجیه است. مطالعات سینتیک جذب اطلاعات ارزشمندی را در خصوص شیوه‌ها و سازوکارهای دخیل در فرایند جذب فراهم می‌آورد [26]. نتایج نشان داد که جذب

در جدول (۳) مقادیر پارامترهای مدل‌های ایزوترمیک فروندلیچ و لانگ‌مویر و نیز مدل‌های سینتیک شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم، الوویچ و نفوذ درون‌ذره‌ای برای حذف نفتالن توسط جاذب نانو صفحات گرافن ارائه گردیده است.

جدول (۳) مقادیر پارامترهای مدل‌های ایزوترمیک و سینتیک مورد بررسی

برای حذف نفتالن توسط GNS	
<b>Isotherm parameters</b>	
<b>Langmuir</b>	
714.27	Q <sub>m</sub> (mg/g)
0.19	K <sub>a</sub> (l/mg)
0.863	R <sup>2</sup>
<b>Freundlich</b>	
0.70	1/n
97.54	K <sub>f</sub> (mg/g)
0.977	R <sup>2</sup>
<b>Kinetic parameters</b>	
<b>Pseudo-first-order</b>	
34.81	q <sub>e</sub> (mg/g)
0.010	K <sub>1</sub> (1/min)
0.968	R <sup>2</sup>
<b>Pseudo-second-order</b>	
95.243	q <sub>e</sub> (mg/g)
0.001	K <sub>2</sub> (g/mg.min)
0.999	R <sup>2</sup>
<b>Elovich</b>	
0.091	β (g/mg)
e <sup>56.924</sup>	α (g/mg.min)
0.981	R <sup>2</sup>
<b>Intraparticle diffusion</b>	
0.986-39.811-4.674	R <sub>1</sub> <sup>2</sup> - C <sub>1</sub> - K <sub>1</sub> (mg/g min <sup>0.5</sup> )
0.952-70.982-1.302	R <sub>2</sub> <sup>2</sup> - C <sub>2</sub> - K <sub>2</sub> (mg/g min <sup>0.5</sup> )
0.969-84.682-0.403	R <sub>3</sub> <sup>2</sup> - C <sub>3</sub> - K <sub>3</sub> (mg/g min <sup>0.5</sup> )

**Table (3)** Isotherm and kinetic parameters for removal of naphthalene by GNS

#### ۴- بحث

با بررسی اثر دوز جاذب بر روی راندمان حذف نفتالن مشخص گردید که با افزایش میزان جاذب، راندمان حذف جذب‌شونده توسط جاذب افزایش یافته است، بطوریکه بیشترین میزان



نانولوله های کربنی چند جداره ۳۳/۳ میلی گرم بر گرم بدست آمد که با مقایسه حداکثر جذب نفتالن توسط نانو صفحات گرافن و نانو تیوب های کربنی چند جداره مشخص می شود که ظرفیت جذب نانو صفحات گرافن به مراتب بیشتر است. این تفاوت می تواند به دلیل ساختار متفاوت نانو صفحات گرافن و نانو تیوب های کربنی چند جداره و نیز اختلاف در مساحت سطح آنها باشد. همچنین نتایج آزمایش های نشان داد که سینتیک جذب از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم و ایزوترم آن از مدل فروندلیچ پیروی می کند. در کل این مطالعه نشان داد که به دلیل اندازه بسیار کوچک و سطح مقطع بسیار بالا، این نانو صفحات می تواند به عنوان جاذب کارآمد برای حذف نفتالن از محلول های آبی به کار گرفته شود.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از ستاد نانو بابت حمایت مالی تحقیق مذکور کمال سپاسگزاری را دارند.

### References

- [1] Wang Z, Han Q, Xia J, Xia L, Ding M, Tang J. Graphene-based solid-phase extraction disk for fast separation and preconcentration of trace polycyclic aromatic hydrocarbons from environmental water samples. *Journal of separation science*. 2013;36(11):1834-42.
- [2] Srogi K. Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2007;5(4):169-95.
- [3] Davila DR, Davis DP, Campbell K, Cambier JC, Zigmond LA, Burchiel SW. Role of alterations in ca<sup>2+</sup>-associated signaling pathways in the immunotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A Current Issues*. 1995;45(2):101-26.
- [4] Reynaud S, Deschaux P. The effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on the immune system of fish: a review. *Aquatic Toxicology*. 2006;77(2):229-38.
- [5] Münchnerová D, Augustin J. Fungal metabolism and detoxification of polycyclic aromatic hydrocarbons: a review. *Bioresource technology*. 1994;48(2):97-106.
- [6] Changchaivong S, Khaodhiar S. Adsorption of naphthalene and phenanthrene on dodecylpyridinium-modified bentonite. *Applied Clay Science*. 2009;43(3):317-21.
- [7] Mastral AM, Callen MS. A review on polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) emissions from energy generation. *Environmental Science & Technology*. 2000;34(15):3051-7.
- [8] Rashed MN. Adsorption technique for the removal of organic pollutants from water and wastewater: INTECH

### ۶- مراجع

نفتالن توسط GNS با سرعت بالایی و در دقایق اولیه آزمایش، بیشترین جذب صورت پذیرفت، بطوریکه در ۱۰ دقیقه ابتدایی در حدود ۵۰ درصد جذب انجام گرفت. مطالعه کریمی و همکاران [18] نشان داد که فرایند تجزیه نفتالن طی فرایند اکسیداسیون پیشرفته نیز به مانند فرایند جذب، بیشترین میزان کاهش در دقایق اولیه اتفاق می افتد. در این مطالعه مدل های سینتیک شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم، الوویچ و نفوذ درون ذره ای به کار گرفته شدند. نتایج نشان دهنده ی همبستگی با  $R^2 = 0.97$  مطالعات سینتیک با مدل سینتیک شبه مرتبه اول است و بین سرعت جذب و مدل سینتیک الوویچ همبستگی با  $R^2 = 0.98$  وجود دارد. نتایج مطالعه مدل سینتیک نفوذ درون ذره ای نشان داد که این مدل شامل ۳ مرحله می باشد که هر سه مرحله دارای همبستگی بالا ( $R^2$  مرحله یک، دو و سه به ترتیب برابر با ۰/۹۹، ۰/۹۹ و ۰/۹۷ است) با داده های سینتیک جذب است. از بین ۳ مرحله موجود مرحله دوم به عنوان مرحله کاهنده سرعت جذب به دلیل کاهش شیب نمودار مطرح است. همچنین نتایج نشان می دهد که مدل سینتیک شبه مرتبه دوم با همبستگی  $R^2 = 0.999$  بیشترین همبستگی را در بین مدل های سینتیک مورد مطالعه داشته است. نتایج حاصل از این مدل با نتایج Gök و همکاران [38] که بر روی حذف نفتالن از محلول های آبی با استفاده از DTMA-sepiolite مطالعه کردند و نیز مطالعه Chang و همکاران [12] که نفتالن را از محلول آبی با استفاده از ژئولیت حذف کردند، مطابقت دارد.

### ۵- نتیجه گیری

در این مطالعه به بررسی جذب نفتالن به عنوان یک هیدروکربن آروماتیک چند حلقه ای، از محلول آبی با استفاده از نانو صفحات گرافن پرداخته شد. نتایج آزمایش های نشان دهنده ی توان بسیار بالای نانو صفحات گرافن برای حذف نفتالن بود. به طوری که بیشترین مقدار جذب (۴۸۶ میلی گرم بر گرم) تحت شرایط دوز جاذب ۰/۱ گرم بر لیتر، غلظت اولیه نفتالن ۱۵ میلی گرم بر لیتر و pH برابر با ۱۰ به دست آمد. حداکثر جذب نفتالن در مطالعه فضل الهی و همکاران [17] با استفاده از

- derivatized graphene oxide nanosheets on natural zeolites as effective adsorbents for cationic dye removal. *Journal of hazardous materials*. 2013;260:330-8.
- [24] Lin Y, Xu S, Li J. Fast and highly efficient tetracyclines removal from environmental waters by graphene oxide functionalized magnetic particles. *Chemical Engineering Journal*. 2013;225:679-85.
- [25] Li Y, Du Q, Liu T, Peng X, Wang J, Sun J, et al. Comparative study of methylene blue dye adsorption onto activated carbon, graphene oxide, and carbon nanotubes. *Chemical Engineering Research and Design*. 2013;91(2):361-8.
- [26] Ai L, Jiang J. Removal of methylene blue from aqueous solution with self-assembled cylindrical graphene-carbon nanotube hybrid. *Chemical Engineering Journal*. 2012;192:156-63.
- [27] Wang H, Yuan X, Wu Y, Huang H, Zeng G, Liu Y, et al. Adsorption characteristics and behaviors of graphene oxide for Zn (II) removal from aqueous solution. *Applied Surface Science*. 2013;279:432-40.
- [28] Debnath S, Maity A, Pillay K. Impact of process parameters on removal of Congo red by graphene oxide from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2014;2(1):260-72.
- [29] Mishra AK, Ramaprabhu S. Functionalized graphene sheets for arsenic removal and desalination of sea water. *Desalination*. 2011;282:39-45.
- [30] Chen SQ, Wang Y. Microwave-assisted synthesis of a  $\text{Co}_3\text{O}_4$ -graphene sheet-on-sheet nanocomposite as a superior anode material for Li-ion batteries. *Journal of Materials Chemistry*. 2010;20(43):9735-9.
- [31] Li Y, Zhang P, Du Q, Peng X, Liu T, Wang Z, et al. Adsorption of fluoride from aqueous solution by graphene. *Journal of colloid and interface science*. 2011;363(1):348-54.
- [32] Balati A, Shahbazi A, Amini MM, Hashemi SH, Jadidi K. Comparison of the efficiency of mesoporous silicas as adsorbents for removing naphthalene from contaminated water. *European Journal of Environmental Sciences*. 2014;4(1):69-76.
- [33] Akin I, Arslan G, Tor A, Ersoz M, Cengeloglu Y. Arsenic (V) removal from underground water by magnetic nanoparticles synthesized from waste red mud. *Journal of hazardous materials*. 2012;235:62-8.
- [34] Cea M, Seaman JC, Jara A, Mora ML, Diez, Kinetic and thermodynamic study of chlorophenol sorption in an allophanic soil. *Chemosphere*. 2010 Jan 31;78(2):86-91.
- [35] Sun Y, Yang S, Zhao G, Wang Q, Wang X. Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons on graphene oxides and reduced graphene oxides. *Chem Asian J*. 2013;8:2755-61.
- [36] Leng Y, Guo W, Su S, Yi C, Xing L. Removal of antimony (III) from aqueous solution by graphene as an adsorbent. *Chemical Engineering Journal*. 2012;211:406-11.
- [37] Pei Z, Li L, Sun L, Zhang S, Shan X-q, Yang S, et al. Adsorption characteristics of 1, 2, 4-trichlorobenzene, 2, 4, 6-trichlorophenol, 2-naphthol and naphthalene on graphene and graphene oxide. *Carbon*. 2013;51:156-63.
- [38] Gök Ö, Özcan AS, Özcan A. Adsorption kinetics of naphthalene onto organo-sepiolite from aqueous solutions. *Desalination*. 2008;220(1):96-107.
- Open Access Publisher; 2013.
- [9] Anbia M, Moradi SE. Adsorption of naphthalene-derived compounds from water by chemically oxidized nanoporous carbon. *Chemical Engineering Journal*. 2009;148(2):452-8.
- [10] Sing KS. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984). *Pure and applied chemistry*. 1985;57(4):603-19.
- [11] Yu J-G, Yu L-Y, Yang H, Liu Q, Chen X-H, Jiang X-Y, et al. Graphene nanosheets as novel adsorbents in adsorption, preconcentration and removal of gases, organic compounds and metal ions. *Science of The Total Environment*. 2015;502:70-9.
- [12] Chang C-F, Chang C-Y, Chen K-H, Tsai W-T, Shie J-L, Chen Y-H. Adsorption of naphthalene on zeolite from aqueous solution. *Journal of colloid and Interface Science*. 2004;277(1):29-34.
- [13] Anbia M, Moradi SE. Removal of naphthalene from petrochemical wastewater streams using carbon nanoporous adsorbent. *Applied Surface Science*. 2009;255(9):5041-7.
- [14] Liu T, Li Y, Du Q, Sun J, Jiao Y, Yang G, et al. Adsorption of methylene blue from aqueous solution by graphene. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2012;90:197-203.
- [15] Xu J, Wang L, Zhu Y. Decontamination of bisphenol A from aqueous solution by graphene adsorption. *Langmuir*. 2012;28(22):8418-25.
- [16] Pan N, Deng J, Guan D, Jin Y, Xia C. Adsorption characteristics of Th (IV) ions on reduced graphene oxide from aqueous solutions. *Applied Surface Science*. 2013;287:478-83.
- [17] Fazlollahi S., Hassani A., Borghei M., Pourzamani H, Study of Adsorption Isotherms and Kinetics of Naphthalene from Aqueous Solutions by Multi -Wall Carbon Nanotubes, *Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences*. 2016; 24 (1): 162-173 (In Persian).
- [18] Karimi B., Rajaei M.S., Eisvand M., Habibi M., Application of UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Advanced Oxidation to Remove Naphthalene from Water, *J. of water and wastewater*. 2016;27 (5): 53-63 (In Persian).
- [19] Khodadadi A., Ganjidoust H., Ijad panah H., Treatment and Kinetic of Synthetic Wastewater Containing  $\beta$ -naphthol by Nano Titanium Oxide Coated on Activated Carbon, *Iran. J. Health & Environ.*, 2012; 4 (4): 401-409 (In Persian).
- [20] Koolivand H., Shahbazi A., Hashemi H., Removal of methylene blue from aqueous solution using graphene oxide nanosheets: kinetic and isotherm study, *Modares Civil Engineering Journal*. 2015; 15: 191-198 (In Persian).
- [21] Kovtyukhova NI, Ollivier PJ, Martin BR, Mallouk TE, Chizhik SA, Buzaneva EV, et al. Layer-by-layer assembly of ultrathin composite films from micron-sized graphite oxide sheets and polycations. *Chemistry of Materials*. 1999;11(3):771-8.
- [22] Deng J-H, Zhang X-R, Zeng G-M, Gong J-L, Niu Q-Y, Liang J. Simultaneous removal of Cd (II) and ionic dyes from aqueous solution using magnetic graphene oxide nanocomposite as an adsorbent. *Chemical Engineering Journal*. 2013;226:189-200.
- [23] Yu Y, Murthy BN, Shapter JG, Constantopoulos KT, Voelcker NH, Ellis AV. Benzene carboxylic acid

# Naphthalene Removal from Aqueous Solutions Using Graphene Nano sheets: Optimal Adsorption Studies

M.S. Niknam<sup>1</sup>, A. Shahbazi<sup>2\*</sup>, M.M. Amini<sup>3</sup>

1MSc Graduate of Environmental Pollutions, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University

2 Associate Professor of Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University

3 Professor of Department of Chemistry, Shahid Beheshti University

\* a\_shahbazi@sbu.ac.ir

## Abstract:

Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) is a group of several hundred chemically-related and environmentally persistent organic compounds. These compounds exhibit the highest structural variety in nature relative to any other class of non-halogenated molecules in the eco and biosphere. PAHs such as naphthalene, are dangerous for humans and the environment due to their carcinogenic and toxic properties. In addition, They are classified as persistent organic pollutants because they tend to remain in environment for a long time. Thus, removing these pollutants from the environment is necessary. Some conventional physicochemical methods were used to pollutants removal including coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, ozonation and adsorption. However, adsorption processes are more effective methods than other methods in PAHs removal. Graphene Nanosheets (GNS) is a fascinating member of the carbonaceous nanomaterial family with a honeycomb structure that is  $sp^2$ -hybridized with a thickness of one atom. In this study, Graphene Nanosheets were synthesized by using modified hummers method and were applied in the adsorption of naphthalene from aqueous solution. The structure of the studied Nano-adsorbent using Fourier Transform Infrared (FTIR), X-ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM). In order to determine the adsorption capacities of the GNS for Naphthalene, as well as the influence of the initial concentration of PAHs, pH of solution, and adsorbent dose, adsorption experiments were performed in PTFE screw cap vials sealed with aluminum foil at  $25\pm 1^\circ\text{C}$ . Optimal adsorption studies for naphthalene removal from aqueous solution has been carried out at batch technique under various experimental conditions including adsorbent dosage (0.01 - 0.2 g/l), pH of solution (3 - 10) and initial concentration of naphthalene (3 - 15 mg/l). The isotherm of adsorption data was analyzed using Langmuir and Freundlich models, and the kinetic of adsorption data was modeled with the best results of experiments in investigated cases using Pseudo-first-order, Pseudo-second-order, Elovich and Intraparticle diffusion models. The best results of experiments in investigated cases have been achieved at pH=10, initial concentration 13 mg/l and the adsorbent dosage 0.11 g/l and in these conditions, the removal percentage and adsorption capacity of naphthalene was obtained 80.19% and 90.18 mg/g, respectively. The results indicated that adsorption isotherm and kinetic followed Freundlich isotherm ( $R^2=0.97$ ) and pseudo-second-order kinetic ( $R^2=0.99$ ) models, respectively. Overall, according to present study Graphene Nanosheets can be used as an efficient adsorbent for the naphthalene removal from aqueous solutions.

**Keywords:** Graphene Nanosheets, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Optimal adsorption, Isotherm, Kinetic