

سنتز و شناسایی گرافن اکساید اصلاح شده و استفاده از آن برای حذف جیوه (II) از نمونه های آبی

سید محمد ابراهیمی عسکری، شهلا الهامی*

گروه شیمی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۱۸

تاریخ تصحیح: ۹۹/۰۴/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۹

چکیده

در کار حاضر، ابتدا گرافن اکساید از گرافیت سنتز شد و سپس با تیواستامید اصلاح گردید. گرافن اکساید اصلاح شده با استفاده از تکنیک های SEM و FT-IR شناسایی گردید. در ادامه، حذف جیوه (II) از محیط های آبی با استفاده از گرافن اکساید اصلاح شده به عنوان جاذب، مورد مطالعه قرار گرفت. بهترین شرایط برای حذف جیوه (II) شامل: pH محلول، مقدار جاذب، زمان تماس و دور شیکر به ترتیب ۳، ۰/۰۵ گرم، ۱۰ دقیقه و 100 rpm بدست آمد. در شرایط بهینه داده های سنتیکی با استفاده از مدل های سنتیکی شبه مرتبه اول و دوم مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج نشان دادند که مدل سنتیکی شبه مرتبه دوم بهترین تطابق را با داده های سنتیکی دارد. ایزوترم های لانگمویر و فروندلیچ برای بررسی نتایج آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفتند و این مطالعات نشان دادند که مدل ایزوترم لانگمویر مطابقت خوبی با داده های جذبی دارد. نتایج به دست آمده نشان داد که گرافن اکساید اصلاح شده، می تواند به طور موثر برای حذف جیوه (II) از نمونه های آبی و پساب به کار گرفته شود.

کلمات کلیدی: جیوه (II)، گرافن اکساید، تیواستامید، جذب سطحی.

۱- مقدمه

فلزات سنگین مهمترین و اصلی ترین آلاینده های محیط زیست هستند به علت سمیت بالای آنها حتی در غلظت های خیلی کم و خطرات جدی که برای سیستم های زنده و همچنین سلامتی انسان دارند [۱]. جیوه (II) یکی از سمی ترین فلزات سنگین است که غیر قابل تجزیه بوده و تمایل شدید به تجمع در بافت های زنده دارد برای همین خطر آن برای سلامتی انسان فوق العاده است [۲]. جیوه (II) استفاده زیادی در ساخت باتری، صنعت معدن، داروسازی، متالورژی و صنایع الکترونیکی دارد [۳]. به منظور کاهش ریسک آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین مانند جیوه (II) ضروری است که پساب کارخانجات قبل از ورود به محیط زیست تصفیه گردد [۲]. جذب سطحی به دلیل مزایای ویژه ای که دارد (مانند قیمت کم، راحتی عملیات، طراحی ساده و تاثیر بالا) یکی از بهترین روش های حذف جیوه (II) از نمونه های آبی میباشد [۴].

تاکنون جاذب‌های متعددی مانند نانو کاتولینیت [۵]، سلولز اصلاح شده [۶]، نانوکامپوزیت [۷]، نانولوله‌های کربنی مغناطیس شده [۸، ۹]، پلیمرهای سلولزی [۱۰]، نانو لوله تیتانات و اکسید تیتانیوم [۱۱] و برگ ذرت [۱۲] برای حذف جیوه (II) به کار برده شده است؛ که هر کدام علیرغم مزایایی که دارند معایبی نیز دارا میباشند. بنابراین تحقیق بر روی جاذب‌های جدید با کارایی بالاتر برای حذف جیوه (II) همچنان ادامه دارد.

گرافن اکساید یک ترکیب از خانواده‌ی کربن، دارای ساختار لایه‌ای و آب دوست (هیدروفیل) میباشد که به راحتی در آب پراکنده می‌شود. سطح ویژه بالا، مقاومت مکانیکی زیاد، و حضور گروه‌های اکسیژنی از ویژگی‌های این ترکیب است. علاوه بر این، ثابت شده است که غیر سمی و زیست تخریب‌پذیر است و می‌تواند براحتی از گرافیت ارزان قیمت سنتز شود [۱۳]. تمام این خواص موجب شده است اخیراً توجه زیادی به آن شده و در تحقیقات متعددی از آن استفاده شده است [۱۴، ۱۵]. در این تحقیق ابتدا گرافن اکساید از گرافیت تهیه شد و توسط تیواستامید اصلاح گردید. گرافن اکساید اصلاح شده، مورد شناسایی قرار گرفته و سپس برای حذف جیوه (II) از نمونه‌های آبی استفاده شد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد شیمیایی و دستگاه‌ها

در این تحقیق مواد شیمیایی با درجه تجزیه‌ای استفاده شد. برای ساخت محلول جیوه (II) با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار ۱۳۵۳/۱ گرم از کلرید جیوه (II) (مرک-آلمان) برداشته و به وسیله آب مقطر در یک بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شد. تمامی محلول‌ها دارای غلظت پایین‌تر، با رقیق سازی در بالن ژوژه‌های مورد نظر از محلول مادر تهیه گردید. اسپکتروفتومتر پرکین المر مدل لامبدا ۳۵ برای مطالعه‌ی جذب محلول‌ها بکاربرده شد. pH محلول‌ها توسط دستگاه pH متر ساخت شرکت هریبا مدل اف ۱۱ اندازه‌گیری شد.

۲-۲- سنتز گرافن اکساید اصلاح شده با تیواستامید

در کار حاضر برای تهیه گرافن اکساید از روش هامر استفاده شد. در ابتدا ۰/۵ گرم پودر گرافیت، ۰/۵ گرم نیترات سدیم و ۲۳ میلی‌لیتر سولفوریک اسید به یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری در حالیکه که ارلن مورد نظر در حمام یخ بود، اضافه شد. یادآور می‌شود نباید اجازه داد دما از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر رود. مواد اضافه شده به مدت ۴ ساعت به هم زده شد، سپس ۳ گرم پتاسیم پرمنگنات به آرامی به آن اضافه گردید، بعد از گذشت ۱ ساعت مخلوط را از حمام یخ برداشته و به آن گرما داده شد تا به دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد برسد، بعد از به هم‌زدن ۴۶ میلی‌لیتر آب مقطر به آرامی به آن اضافه کرده و گرما داده تا به دمای ۹۵ درجه برسد، مخلوط ۲ ساعت در همین وضعیت نگهداشته شد، سپس هیتر را خاموش کرده و اجازه داد شد تا در دمای اتاق سرد شود، بعد از سرد شدن ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه کرده و به مدت ۱ ساعت به هم‌زده شد، ۱۰

میلی لیتر هیدروژن پراکسید ۳۰ درصد به آن اضافه کرده و سپس ۱ ساعت به هم زده شد تا محلول زرد رنگ یا قهوه ای روشن بدست آید. در آخر مخلوط را با محلول ۵ درصد HCl و آب مقطر شستشو داده تا به pH ۷ برسد [۱۶].

برای اصلاح کردن گرافن اکساید به مخلوط فوق ۵/۰ گرم تیواستامید اضافه کرده و به مدت ۲ ساعت بر روی شیکر قرار داده شد. رسوب را شستشو داده و آن را به مدت ۱۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه در آون گذاشته تا خشک شود.

۲-۳- روش مورد نظر برای حذف جیوه (II)

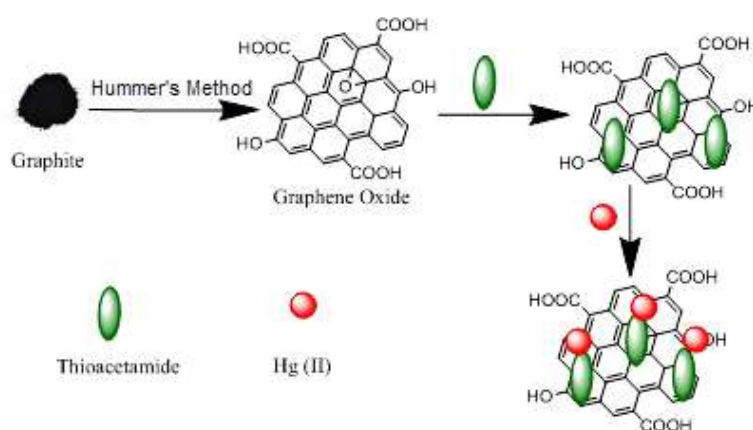
برای اجرای روش جذب سطحی جیوه (II) بر روی گرافن اکساید اصلاح شده، ۵۰ میلی لیتر محلول حاوی ۵۰ میلی گرم بر لیتر جیوه (II) در pH بهینه (pH محلول با استفاده از سود و یا اسید نیتریک رقیق تنظیم گردید) تهیه شد. سپس ۲۰ میلی گرم جاذب اصلاح شده به محلول اضافه گردیده و مخلوط بر روی شیکر قرار داده شد. بعد از زمان مناسبی مخلوط با کاغذ صافی، صاف شد و طیف محلول شفاف بدست آمده با یک دستگاه اسپکتروفتومتر مطالعه شد. بدین ترتیب که ۵ میلی لیتر از هر محلول زیر صافی را به قیف جداکننده خشک و تمیز وارد کرده و با سولفوریک اسید غلیظ به pH زیر یک رسانده و ۷ میلی لیتر دیتیزون حل شده در تتراکلریدکربن به آن افزوده شد. محلول به شدت تکان داده شد و تا جداسدن فاز آلی و آبی ثابت نگاه داشته و فاز آلی به سل شیشه ای منتقل گردید. جذب آن در طول موج ۴۸۵ نانومتر مطالعه و میزان حذف جیوه (II) محاسبه گردید.

۲-۴- تهیه نمونه واقعی

نمونه های آب شهر اهواز، آب رودخانه کارون و پساب صنعتی در بطری های شیشه ای جمع آوری شد و با کاغذ صافی برای حذف ذرات معلق صاف گردید. pH نمونه ها با سود یا اسید نیتریک رقیق تنظیم گردید. سپس روش جذب سطحی مورد نظر بر روی نمونه ها اجرا گردید.

۳- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق، گرافن اکساید با استفاده از روش هامر از گرافیت تهیه شده و با تیواستامید اصلاح گردید. تیواستامید دارای برهم کنش قوی با جیوه (II) میباشد که بدین ترتیب جیوه (II) بر روی جاذب اصلاح شده، جذب سطحی می شود. مکانیسم فرآیند در شکل ۱ نشان داده شده است.

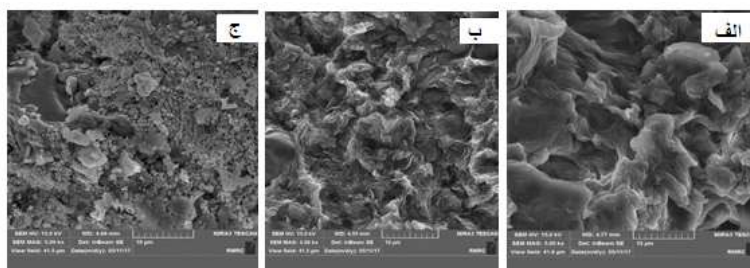


شکل ۱- مکانیسم حذف جیوه (II)

به منظور بررسی کارایی جاذب اصلاح شده برای حذف جیوه (II)، این جاذب با گرافن اکساید اصلاح نشده مقایسه گردید. نتایج حاکی از آن است که گرافن اکساید تقریباً ۲۷ درصد از جیوه (II) را حذف می کند در حالیکه در شرایط کاملاً یکسان جاذب اصلاح شده بیش از ۹۰ درصد از جیوه (II) را حذف کرد. نتایج بیانگر کارایی بالای جاذب اصلاح شده و موثر بودن اصلاح جاذب می باشد.

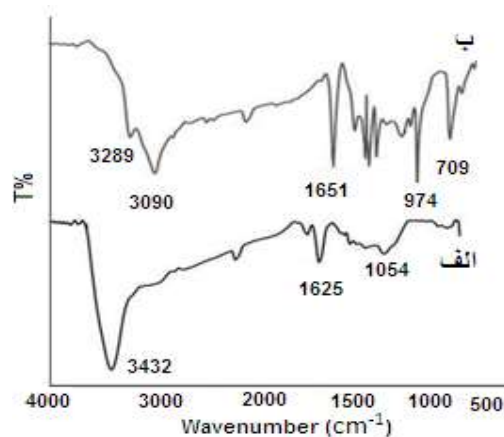
۱-۳- مشخصه یابی جاذب

جاذب به کمک تکنیک‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف مادون قرمز (FT-IR) مشخصه یابی شد. شکل ۲ تصاویر SEM گرافن اکساید اصلاح نشده (قسمت الف) و گرافن اکساید اصلاح شده با تیواستامید (قسمت ب) و گرافن اکساید اصلاح شده پس از جذب جیوه (II) (قسمت ج) را نشان می‌دهد. در این شکل تفاوت ساختار سطحی گرافن اکساید اصلاح شده و اصلاح نشده بخوبی نمایش داده شده است. همانطور که در قسمت الف شکل ۲ مشاهده می شود، گرافن اکساید اصلاح نشده حاوی صفحاتی می باشد که در یکدیگر فرو رفته‌اند. قسمت ب شکل ۲ گرافن اکساید اصلاح شده با تیواستامید می‌باشد، که ذرات تیواستامید مانند لایه‌ای نازک بر روی صفحات گرافن اکساید قرار گرفته‌اند و در قسمت ج شکل ۲ تصویری از گرافن اکساید اصلاح شده پس از جذب سطحی جیوه (II) به نمایش گذاشته است که ذرات جیوه (II) سطح جاذب اصلاح شده را پوشش داده است.



شکل ۲- تصاویر SEM مربوط به الف) گرافن اکساید ب) گرافن اکساید اصلاح شده ج) گرافن اکساید اصلاح شده پس از جذب سطحی جیوه (II)

شکل ۳ طیف FT-IR گرافن اکساید ثبت شده قبل و پس از اصلاح با تیواستامید را نشان میدهد. قابل توجه است که پیک‌هایی در جاذب اصلاح شده وجود دارد که از مهم‌ترین آنها میتوان به پیک ۷۰۹، N-H خمشی خارج از صفحه‌ای، پیک ۱۶۵۱، N-H خمشی و دو پیک ۳۰۹۰ و ۳۲۸۹ مربوط به N-H کششی در آمین‌های نوع اول اشاره کرد که نشان‌دهنده قرار گرفتن تیواستامید در بین لایه‌های گرافن اکساید می‌باشد، و می‌توان نتیجه گرفت جاذب توسط تیواستامید اصلاح شده است.

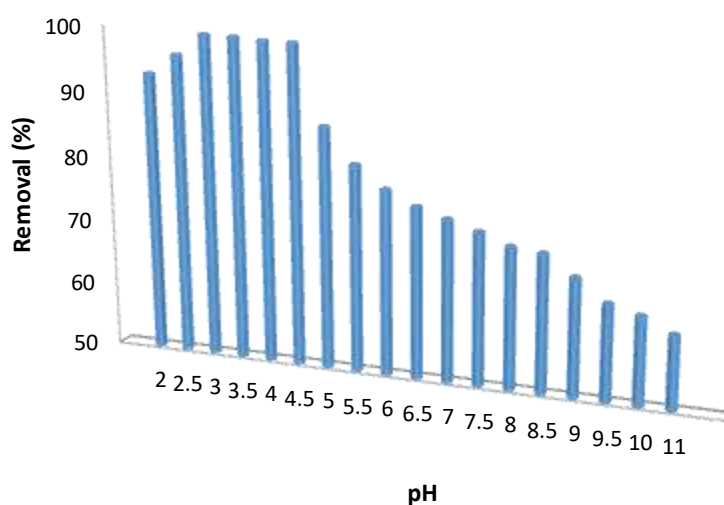


شکل ۳- طیف FT-IR مربوط به الف) گرافن اکساید ب) گرافن اکساید اصلاح شده با تیواستامید

۳-۲- بهینه‌سازی پارامترهای موثر در حذف جیوه(II)

۳-۲-۱- بررسی اثر pH

به منظور بررسی اثر pH، محلول‌هایی با غلظت 20 mg.L^{-1} جیوه(II) با pH های مختلف (۲ تا ۱۱) تهیه گردید و در مجاورت $0/05$ گرم جاذب قرار گرفته و روی شیکر با دور ۱۰۰ rpm به مدت ۶۰ دقیقه هم‌زده شد. سپس محلول همراه جاذب با کاغذ صافی صاف گردید و میزان جذب کمپلکس جیوه(II)-دیتیزون در طول موج ۴۸۵ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتری تعیین گردید و درصد خروج جیوه(II) محاسبه شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در شکل ۴، مقدار pH بهینه ۳ در نظر گرفته شد و برای اندازه‌گیری‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.



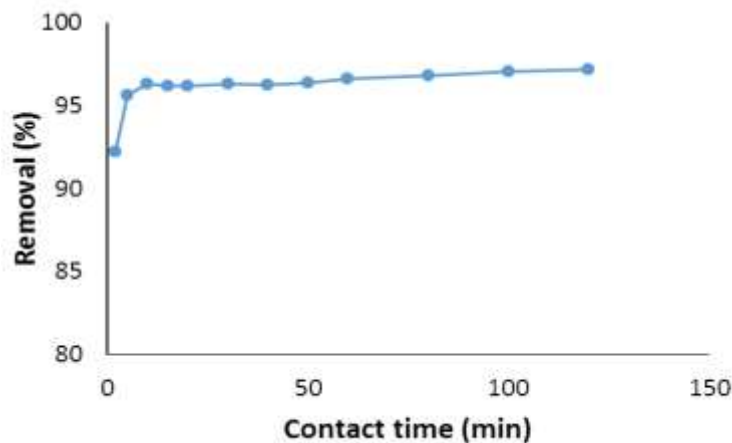
شکل ۴- نمودار تغییرات حذف جیوه (II) بر حسب pH.

۳-۲-۲- بررسی اثر مقدار جاذب

به منظور مطالعه اثر مقدار جاذب، محلول‌های جیوه (II) که حاوی 20 mg.L^{-1} جیوه (II) و دارای pH برابر ۳ بوده را به ارلن‌های حاوی وزن‌های مختلفی از جاذب (۰/۱ تا ۰/۳ گرم)، اضافه گردید و روی شیکر با دور ۱۰۰ rpm به مدت ۶۰ دقیقه قرار داده شد و درصد خروج جیوه (II) محاسبه گردید. مقدار بهینه جاذب ۰/۰۵ گرم به دست آمد.

۳-۲-۳- بررسی اثر زمان تماس

به منظور مطالعه اثر زمان تماس، محلول‌های جیوه (II) که حاوی 20 mg.L^{-1} جیوه (II) و دارای pH برابر ۳ می‌باشند را به ارلن‌های حاوی ۰/۰۵ گرم جاذب اضافه گردید و با دور شیکر ۱۰۰ rpm به مدت زمان‌های مختلف هم‌زده شد. نتایج در شکل ۵ نشان می‌دهد که حذف جیوه (II) یک فرآیند بسیار سریع است بطوریکه در ۲ دقیقه بیش از ۹۰ درصد حذف حاصل می‌شود. زمان بهینه ۱۰ دقیقه انتخاب شد زیرا در این زمان بیش از ۹۵ درصد حذف اتفاق می‌افتد و بعد از آن درصد حذف تغییر چندانی ندارد.



شکل ۴- نمودار تغییرات حذف جیوه (II) برحسب زمان تماس

۳-۲-۳- بررسی اثر دور شیکر

به منظور مطالعه اثر دور شیکر، محلول‌های جیوه (II) که حاوی 20 mg.L^{-1} جیوه (II) و دارای pH برابر ۳ می‌باشند را به ارلن‌های حاوی 0.05 گرم جاذب اضافه گردید و به مدت زمان ۱۰ دقیقه و دورهای مختلف شیکر (60rpm - 140) هم‌زده شد. نتایج بدست آمده تفاوت چندانی با یکدیگر نداشت و دور شیکر 100 rpm به‌عنوان بهینه انتخاب شد.

۳-۳- مطالعه غلظت‌های مختلف جیوه (II)

تمام مراحل بهینه‌سازی بر روی غلظت 20 mg.L^{-1} جیوه (II) انجام پذیرفت. به منظور بررسی کارآیی جاذب در غلظت‌های مختلف، شرایط بهینه، بر غلظت‌های 5mg.L^{-1} - 1000 جیوه (II) اعمال شد. نتایج در جدول ۱ نشان می‌دهد که جاذب دارای کارآیی بالایی می‌باشد؛ بطوریکه در شرایط بهینه، بیش از ۹۱ درصد جیوه (II) با غلظت 200 mg.L^{-1} حذف گردید. با افزایش غلظت درصد حذف کاهش یافت؛ بطوری که بیش از ۵۶ درصد جیوه (II) با غلظت 1000 mg.L^{-1} حذف گشت.

جدول ۱- بررسی حذف جیوه (II) با غلظت‌های مختلف

غلظت جیوه (II) (mg.L^{-1})	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۹۰۰	۱۰۰۰
حذف (%)	۹۹/۳	۹۸/۶	۹۶/۸	۹۵/۷	۹۵/۱	۹۱/۷	۸۶/۶	۸۱/۵	۷۷/۷	۷۲/۸	۶۸/۸	۶۴/۳	۵۹/۹	۵۶/۸

۳-۴- مطالعه سینتیک فرآیند حذف جیوه (II)

برای به‌دست‌آوردن مدل سینتیکی فرآیند جذب، داده‌های سینتیکی فرآیند حذف جیوه (II) با استفاده از مدل‌های شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم مورد بررسی قرار گرفت. این مدل‌ها توسط معادلات ۱ و ۲ بیان می‌شوند.

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{log}(q_e) - K_1 t / 2.303 \quad (1)$$

$$t/q_t = 1/K_2 q_e + t/q_e \quad (2)$$

q_t و q_e به ترتیب مقدار رنگ جذب شده بر واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم) در زمان تعادل و در زمان t می باشد. t زمان و K_1 و K_2 به ترتیب ثابت سرعت معادله شبه مرتبه اول و ثابت سرعت معادله شبه مرتبه دوم هستند. پارامترها برای مدل شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم برای غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر در جدول ۲ خلاصه شده اند. طبق داده های این جدول سنتیک جذب سطحی با مدل سنتیک شبه مرتبه دوم مطابقت دارد.

جدول ۲. پارامترهای سینتیکی برای حذف جیوه (II)

پارامترهای سینتیکی	
۱۸/۱۲	$q_{e, \text{exp}} (\text{mg g}^{-1})$
۰/۰۲۶	سینتیک شبه مرتبه اول $K_1 (\text{min}^{-1})$
۰/۴۱	$q_e (\text{mg g}^{-1})$
۰/۹۲۶۷	R^2
۶/۵۰۶	سینتیک شبه مرتبه دوم $K_2 (\text{gm g}^{-1} \text{min}^{-1})$
۱۸/۰۸	$q_e (\text{mg g}^{-1})$
۰/۹۹۹	R^2

۵-۳- مطالعه همدمای جذب سطحی

همدمای جذب سطحی، چگونگی توزیع مولکول های جذب شده بین فاز مایع و جامد را زمانی که فرآیند جذب سطحی به حالت تعادل رسیده، نشان می دهد. در کار حاضر از همدمای لانگمویر (معادله ۳) و فروندلیچ (معادله ۴) برای بررسی رفتار جذب سطحی جیوه (II) روی گرافن اکساید اصلاح شده استفاده شد. این ایزوترم ها برای غلظت های اولیه ۸۰-۲۰ میلی گرم بر لیتر در زمان ۱۲۰ دقیقه انجام گرفت. معادلات مدل های ایزوترم جذب مربوطه به شرح زیر می باشند:

$$C_e/q_e = C_e/q_m + K_L/q_m$$

(۳)

$$\ln q_e = \ln C_e/n + \ln K_F$$

(۴)

q_e مقدار جیوه (II) جذب سطحی شده توسط جاذب در شرایط تعادل، q_m بیشینه ظرفیت جذب سطحی، K_L و K_F ثابت های تعادل جذب سطحی لانگمویر و فروندلیچ می باشند. پارامترهای مورد نظر در جدول ۳ نمایش داده شده است. ضریب همبستگی (R^2) همدمای لانگمویر بیشتر از فروندلیچ است. بنابراین مدل همدمای لانگمویر نسبت به مدل دیگر، جذب سطحی جیوه (II) را روی جاذب بهتر توصیف کرده است. تطابق مدل لانگمویر برای تفسیر داده های تجربی نشان می دهد که جذب جیوه (II) به پوشش یک لایه محدود است و سطح جاذب نسبتاً همگن با تعامل قابل توجهی با یون های جیوه (II) می باشد.

جدول ۳. پارامترهای همدمای جذب سطحی برای حذف جیوه (II)

مقادیر	پارامتر	همدمای
۴۷۶/۲	q_m ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	لانگمویر
۰/۰۴۵	K_a ($\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$)	
۰/۹۹۴۱	R^2	
۳۱/۴۷	K_F	فروندلیچ
۱/۸۷	n	
۰/۹۱۹۲	R^2	

۳-۶- بررسی اثر یون‌های مزاحم

به منظور بررسی میزان انتخابی بودن روش که در واقع شاخص کارایی آن در نمونه‌های حقیقی است، مزاحمت‌های احتمالی گونه‌های کاتیونی و آنیونی بر روی خروج کاتیون جیوه (II) مورد بررسی قرار گرفت. در بالن ۵۰ میلی‌لیتری، محلول جیوه (II) با غلظت $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ و گونه‌های کاتیونی و آنیونی با غلظت $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ، با pH برابر ۳ تهیه شد. سپس محلول به ارلن‌هایی که حاوی ۰/۰۵ گرم جاذب بود اضافه گردید و به مدت زمان ۱۰ دقیقه با دور شیکر ۱۰۰rpm هم‌زده شد. در این تحقیق ۲۰ آنیون و کاتیون مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴)، نتایج حاکی از آن است که یون‌های مربوطه مزاحمت چندانی در حذف جیوه (II) توسط جاذب ندارد و این بیانگر انتخابگری و کارایی بالای جاذب در حذف جیوه (II) می‌باشد.

جدول ۴. بررسی یون‌های مزاحم برای حذف جیوه (II)

غلظت ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	یون‌های مزاحم
۱۰۰	$\text{Ba}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Cd}^{2+}, \text{Pb}^{2+}, \text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+, \text{Co}^{2+}, \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{I}^-, \text{Br}^-, \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{NO}_3^-, \text{C}_2\text{O}_4^{2-}, \text{HPO}_4^{2-}$

۳-۷- بررسی نمونه‌های واقعی

جهت کار بر روی نمونه‌های واقعی چهار گونه آب شامل آب شهر اهواز، آب رودخانه کارون، آب خلیج فارس و پساب پتروشیمی جمع‌آوری شد. هیچ کدام از نمونه‌ها حاوی جیوه (II) در حد شناسایی نبودند و به آنها جیوه (II) به مقادیر مختلف مطابق جدول ۵ اضافه گردید. داده‌ها در جدول ۵ بیانگر آن است که این روش کارایی بالایی در حذف جیوه (II) در انواع نمونه‌های واقعی دارد.

جدول ۵. بررسی درصد خروج جیوه (II) در نمونه‌های مختلف آب

حذف (%)	جیوه (II) باقیمانده در محلول (mg.L ⁻¹)	جیوه (II) اضافه شده (mg.L ⁻¹)	نمونه
۹۰/۲	۱/۹۵	۲۰	آب شهر اهواز
۹۴/۹	۲/۵۲	۵۰	
۹۷/۲	۲/۷۹	۱۰۰	
۹۰/۸	۱/۸۲	۲۰	آب رودخانه کارون
۹۵/۴	۲/۲۷	۵۰	
۹۷/۳	۲/۶۶	۱۰۰	
۹۱/۵	۱/۶۹	۲۰	آب خلیج فارس
۹۵/۶	۲/۱۹	۵۰	
۹۷/۴	۲/۶۰	۱۰۰	
۹۲/۲	۱/۵۴	۲۰	پساب پتروشیمی
۹۵/۸	۲/۰۵	۵۰	
۹۸/۴	۱/۵۱	۱۰۰	

۴- نتیجه گیری

موضوع اصلی این مطالعه سنتز گرافن اکساید اصلاح شده با تیواستامید به عنوان یک جاذب جدید و ارزیابی کارایی آن برای حذف جیوه (II) از نمونه‌های آبی بود. جاذب به کمک تکنیک‌های FTIR و SEM شناسایی شده و اصلاح آن تایید گردید. بیشینه حذف جیوه (II) در pH برابر ۳، مقدار جاذب ۰/۰۵ گرم، در ۱۰ دقیقه برای غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بدست آمد. همدمای جاذب سطحی بررسی شدند که همدمای لانگمویر مطابقت بیشتری داشت. بیشینه ظرفیت جذب سطحی جاذب‌های مختلف با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج جدول ۶ بیانگر آن است که این جاذب در مقایسه با جاذب‌های دیگر کارایی بالایی برای حذف جیوه دارد. اطلاعات سینتیک نشان داد که معادله سرعت شبه مرتبه دوم در مقایسه با معادله سرعت شبه مرتبه اول مناسب‌تر است. نتایج حاکی از آن است که گرافن اکساید اصلاح شده با تیواستامید می‌تواند جاذب مناسبی برای حذف جیوه (II) از نمونه‌های آبی واقعی باشد. بعضی از مزایای گرافن اکساید اصلاح شده با تیواستامید به عنوان یک جاذب کارآمد برای حذف جیوه (II) شامل سادگی تهیه، بازده بالا، ارزان قیمت و ظرفیت بالا می‌باشد.

جدول ۶. مقایسه ظرفیت جذب سطحی جیوه (II) توسط جاذب‌های مختلف

جاذب	q _m (mg.g ⁻¹)	مرجع
سلولز اصلاح شده	۳۷۰/۳۷	۶
نانوکامپوزیت سازگار با محیط زیست	۱۴۴/۹	۷
نانولوله های کربن مغناطیسی اصلاح شده	۱۷۲/۴	۸
نانولوله های کربنی مغناطیسی	۲۳۸/۷۸	۹
گوگرد حاوی پلیمرهای آغشته به یون	۸۱/۰۳	۱۰
نانولوله های تیتانات	۱۲۶	۱۱
گرافن اکساید اصلاح شده	۴۷۶/۲	تحقیق حاضر

۵-مراجع

- [1] A. Tadjarodi, S. Moazen Ferdowsi, R. Zare-Dorabei and A. Barzin, *Ultrason. Sonochem.* **33** (2016) 118.
- [2] T. Esfandiyari, N. Nasirizadeh, M. Dehghani and M.H. Ehrampoosh, *Chin. J. Chem. Eng.* **25(9)** (2017) 1170.
- [3] Y.X. Ma, D. Xing, W.J. Shao, X.Y. Du and P.Q. La, *J. Colloid Interface Sci.* **505** (2017) 352.
- [4] Y. Huang, Y. Gong, J. Tang and S. Xia, *J. Hazard. Mater.* **366** (2019) 130.
- [5] G. Chen, X. Li, L. Zhou, S. Xia and L. Yu, *Appl. Surf. Sci.* **488** (2019) 494.
- [6] B. Li, M. Li, J. Zhang, Y. Pan, Z. Huang and H. Xiao, *Int. J. Biol. Macromol.* **122** (2019) 149.
- [7] M. Naushad, T. Ahamad, Z. A.AlOthman and A.H. Al-Muhtaseb, *J. Mol. Liq.* **279** (2019) 1.
- [8] L. Fan, A. Zhou, L. Zhong, Z. Zhang and Y. Liu, *Chemosphere* **226** (2019) 405.
- [9] H. Sadegh, G. A.M.Ali, A.S.H. Makhlouf, K. Feng Chong, N.S. Alharbi, S. Agarwal and V.K. Gupta, *J. Mol. Liq.* **258** (2018) 345.
- [10] T. Velempini, K. Pillay, X.Y. Mbianda and O. A.Arotiba, *J. Environ. Sci.* **79** (2019) 280.
- [11] M.J. Lopez-Munoz, A. Arencibia, L. Cerro, R. Pascual and A. Melgar, *Appl. Surf. Sci.* **367** (2016) 91.
- [12] G. Lin, T. Hu, S. Wang, T. Xie, L. Zhang, S. Cheng, L. Fu and C. Xiong, *Chemosphere* **225** (2019) 65.
- [13] J. Tang, Y. Huang, Y. Gong, H. Lyu, Q. Wang and J. Ma, *J. Hazard. Mater.* **316** (2016) 151.
- [14] A.I.A. Sherlala, A.A.A. Raman, M.M. Bello and A. Buthiyappan, *J. Environ. Manag.* **246** (2019) 547.
- [15] Sh. Sheshmani and H. Najafi, *J. Appl. Chem.* **54** (1399) 9, in Persian.
- [16] N.I. Zaaba, K.L. Foo, U. Hashim, S.J. Tan, Wei-Wen Liu and C.H. Voon, *Procedia Eng.* **184** (2017) 469.

