

Adsorption of Phenol in Wastewater Using Nano Grapheme Oxide-Chitosan-Bentonite Absorbent

Alireza Jadid¹ , Shadab Shahsavari^{*2} , Aliakbar Seifkordi³ , Ali Vaziri Yazdi¹ 

Article Info:

Article History:

Received: 06.06.2020
Accepted: 08.03.2020
Published: 01.04.2021

Keywords:

Chitosan
Bentonite
Graphite
Phenol
Waste Water

DOI: 10.34172/doh.2020.44

Abstract

Background and Objectives: Contamination of surface and groundwater sources with aromatic compounds such as phenolic compounds is one of the newest environmental problems that humans encountered it today. One of the ways to remove these pollutants is the use of polymeric adsorbents. In this study, chitosan-bentonite-nano-graphene oxide nanosorbent was synthesized to investigate the phenol adsorption.

Material and Methods: In this research, experimental design was performed using Design-Expert 7.0 software to investigate the effect of independent variables including nano graphene oxide, chitosan and bentonite on the dependent variable (phenol removal rate). Moreover, phenol adsorption isotherm, kinetics and thermodynamics, were also examined.





Results: Eventually, the optimum formulation of nano-adsorbent with specifications of 0.1 g of chitosan, 0.18 g of bentonite and 0.07 g of nano-graphene oxide was investigated. Optimal adsorption conditions were also obtained at a concentration of 100 ppm, pH=5 and 45 minutes of adsorption time.

Conclusion: Finally, it was found that the synthesized nanosorbent follows the Langmuir isotherm, which represents physical adsorption, and also the kinetics of the adsorption process is the diffusion between particles. As a result, it was found that the optimal application of this nano-adsorbent is in wastewaters with a temperature of less than 400 °C.

Citation: Jadid A, Shahsavari Sh, Seifkordi AA, Vaziri Yazdi A. Adsorption of Phenol in Wastewater Using Nano Grapheme Oxide-Chitosan-Bentonite Absorbent. *Depiction of Health*. 2021; 11(4): 368-380.

1. Chemical Engineering Department, Oil and Chemical Engineering Campus, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Chemical Engineering Department, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran (Email: Sh.shahsavari@srbiau.ac.ir)
3. Chemical Engineering Department, Oil and Chemical Engineering Campus, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

بررسی جذب سطحی فنل از پساب با استفاده از نانو جاذب گرافن اکساید-کیتوسان-بنتونیت

علیرضا جدید^۱ , شاداب شهسواری^{۲*} , علی اکبر سیف کردی^۳ , سیدعلی وزیری یزدی^۱ 

چکیده

زمینه و اهداف: آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی با ترکیبات آروماتیک نظیر ترکیبات فنلی یکی از جدیدترین مشکلات زیست - محیطی می‌باشد که امروزه انسان‌ها با آن روبرو هستند. یکی از روش‌های حذف این آلاینده‌ها استفاده از جاذب‌های پلیمری است. در این تحقیق نانو جاذب پلیمری کیتوسان - بنتونیت - نانوگرافن اکساید جهت بررسی جذب فنل سنتز شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert 7.0 انجام شده و تأثیر متغیرهای مستقل شامل نانو گرافن اکساید، کیتوسان و بنتونیت بر روی متغیر وابسته (میزان حذف فنل) بررسی شد. همچنین در ادامه ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک جذب فنل نیز بررسی گردید.

یافته‌ها: در نهایت نانو جاذب بهینه با مشخصات ۰/۱ گرم کیتوسان، ۰/۱۸ گرم بنتونیت و ۰/۰۷ گرم نانوگرافن اکساید و همچنین شرایط بهینه‌ی جذب در غلظت ۱۰۰ ppm آلایند، pH برابر با ۵، زمان جذب ۴۵ دقیقه و مقدار جاذب ۰/۰۱ گرم به دست آمد.

نتیجه‌گیری: در نهایت مشخص شد نانو جاذب سنتز شده از ایزوترم لانگمویر که نشان‌دهنده‌ی جذب فیزیکی است، پیروی می‌کند و همچنین سینتیک فرایند جذب نیز، نفوذ بین ذرات می‌باشد. همچنین براساس مطالعه‌ی دمایی، پایداری نانوالیاف تا دمای ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد معلوم گردید. در نتیجه مشخص شد کاربرد بهینه‌ی این نانو جاذب در پساب‌هایی با دمای کمتر از ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: کیتوسان، بنتونیت، نانوگرافن اکساید، فنل، تصفیه پساب

نحوه استناد به این مقاله: جدید ع، شهسواری ش، سیف کردی ع، وزیری یزدی س. ع. بررسی جذب سطحی فنل از پساب با استفاده از نانو جاذب گرافن اکساید-کیتوسان-بنتونیت. تصویر سلامت ۱۳۹۹؛ ۱۱(۴): ۳۶۸-۳۸۰.

۱. گروه مهندسی شیمی، دانشکده نفت و مهندسی شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. گروه مهندسی شیمی، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران (Email: Sh.shahsavari@srbiau.ac.ir)

۳. گروه مهندسی شیمی، دانشکده نفت و مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

حقوق برای مؤلف(ان) محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد در تصویر سلامت تحت مجوز کپی‌رایت کامنز (<http://creativecommons.org/licenses/bync/4.0/>) منتشر شده که طبق مفاد آن هرگونه استفاده غیر تجاری تنها در صورتی مجاز است که به اثر اصلی به نحو مقتضی استناد و ارجاع داده شده باشد.

مقدمه

کیتوزان از ضایعات پوسته میگو محلی به عنوان مواد خام کم هزینه با روش های شیمیایی استخراج کردند. کیتوزان را با کربن فعال دانه ای آغشته کردند تا به عنوان جاذب برای حذف فنل از محلول آبی با استفاده از روش جذب سطحی استفاده گردد (۱۳).

از آنجایی که کیتوزان به واسطه ی جذب سطحی و تبادل یونی قادر است با ترکیبات آروماتیک ترکیب شود و نانوذرات گرافن اکساید نیز دارای پتانسیل بالا، ظرفیت جذب و سطح ویژه ی بالایی می باشد و همچنین بنتونیت نیز به عنوان یک ماده با قابلیت بالا برای حذف آلاینده های آب گریز از محلول های آبی به کار می رود؛ لذا انتظار می رود نانو جاذب گرافن اکساید-کیتوسان-بنتونیت بتواند جذب بهتر و بیشتری از فنل داشته باشد. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی تجربی حذف فنل از پساب با استفاده از سنتز نانو جاذب نوین گرافن اکساید-کیتوسان-بنتونیت و بررسی ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک جذب می باشد.

مواد و روش ها

مواد

در این سنتز از کیتوسان (شرکت سیگما ساخت کشور آمریکا)، بنتونیت (شرکت مرک ساخت کشور آمریکا)، نانوگرافن اکساید (شرکت اگری ساخت کشور هندوستان)، اسید استیک (آزمایشگاهی) و آب دیونیزه (تقطیر شده توسط دستگاه جی اف ال آلمان) استفاده شده است. همچنین برای بررسی نانوجاذب سنتز شده از فنل به عنوان آلاینده استفاده شده است.

طراحی آزمایش

بر اساس تحقیقات صورت گرفته روش آماری چندین مزیت را نسبت به روش کلاسیک ارائه می کند: به فهم روابط بین پارامترها در مقدارهای مختلف کمک می کند، مطمئن است، از تعداد آزمایشات می کاهد، موجب صرفه جویی در وقت، زمان و نیروی انسانی می شود. به این جهت طراحی آزمایش با استفاده از نرم افزار Design-Expert 7.0 برای بررسی تأثیرات ۳ متغیر مستقل در ۳ سطح شامل وزن نانو گرافن اکساید (۰/۲-۰/۰۲)، وزن کیتوسان (۰/۱-۰/۰۱) و وزن بنتونیت (۰/۲-۰/۰۲) بر روی متغیر وابسته شامل میزان جذب فنل بر اساس روش طراحی دی ایتیمال صورت پذیرفت، سپس بهینه سازی با روش سطح پاسخ انجام شد. تمام بازه های انتخابی برای متغیرهای مستقل بر اساس مطالعات قبلی انجام شده، انتخاب شده است.

سنتز نانو جاذب گرافن اکساید-کیتوسان-بنتونیت

آلوده شدن منابع آب به فنل و ترکیبات فنلی مشکلی جدی و تهدیدی برای سلامتی انسان، به دلیل سمیت بالای آن ها محسوب می شود (۱). فنل یک ترکیب آروماتیک و از مشتقات بنزن بوده، حلالیت بسیار بالایی در آب دارد و در طبیعت بسیار سمی می باشد. این ماده بی رنگ، رطوبت پذیر و کریستالی است که در اثر اکسیداسیون در هوا به رنگ صورتی در می آید و پس از حل شدن در آب خاصیت بسیار کم اسیدی به آب می دهد. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا فنل را به عنوان یک ماده ی آلوده کننده در فهرست خود قرار داده است (۳،۲). ترکیبات فنلی یکی از مهم ترین مواد آلاینده هستند که موجب سمی شدن منابع آب می گردند. حضور فنل و مشتقات آن در آب و فاضلاب به دلیل سمیت و تهدیدی که برای زندگی انسان، حیوان و محیط ایجاد می کند، یک نگرانی عمده محسوب می شود (۱). به منظور کاهش یا حذف کامل این ترکیب از محلول های آبی از روش های مختلفی مانند فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته (۵،۴) یا جذب سطحی (۶-۸) با استفاده از جاذب های طبیعی و ارزان قیمت نظیر بنتونیت استفاده می شود که از اهداف اصلی کاربرد فرایند جذب سطحی در تصفیه ی آلاینده ها می باشد (۹،۱۰).

در بین جاذب ها، نانوذرات گرافن اکساید به دلیل پتانسیل بالا، ظرفیت جذب و سطح ویژه ی بالایی که دارند، برای حذف آلاینده ها از آب مورد استفاده قرار می گیرند. گرافن اکساید یکی از مهم ترین مشتقات گرافن، دارای مساحت سطحی بالا، هدایت بسیار عالی و مقاومت مکانیکی قوی می باشد. حلقه های اکسید شده ورقه های عامل دار شامل گروه زیادی از اپوکسی (C-O-C) و گروه های هیدروکسیل می باشد، در حالی که ورقه ها به گروه های OH- و COOH- ختم می شوند. ناتمام بودن یا باز بودن حلقه های انتهایی در گرافن اکساید می تواند خواص الکترونیکی و شیمیایی آن را تغییر دهد. ورقه های گرافن اکساید آب دوست تر هستند و می توانند به راحتی در حلال با ثبات بالایی پراکنده شوند. علاوه بر این، آن ها می توانند به راحتی در مقادیر انبوه در مقایسه با نانو لوله های کربنی تولید شوند (۱۱).

بنتونیت اصلاح شده به عنوان یک ماده با قابلیت بالا برای حذف آلاینده های آب گریز از محلول های آبی ارائه شده است و بنابراین یک عامل بسیار امیدوارکننده در کنترل محیط زیست و کاهش علف کش ها (سموم دفع آفات) است.

اخیراً تولید پلیمرهای زیستی به دلیل عدم سمیت در محیط، در دسترس بودن و هزینه ی پایین آن ها، به عنوان ابزاری برای جذب عناصر سنگین مورد توجه اکثر محققین قرار گرفته است. استفاده از پلیمرهای زیستی مانند کیتین و کیتوزان یکی از روش های جذب و حذف آلاینده ها حتی در غلظت های کم است (۱۲). احمد موسی و همکارانش با

تمکین (معادله‌ی ۴) به روش غیرخطی در دماهای ۲۹۸ درجه‌ی کلون مدل شد (۱۵).

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

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2)$$

$$q_e = q_s e^{-k_{ad} \epsilon^2} \quad (3)$$

$$q_e = \frac{R T}{b T} \ln A_T C_e \quad (4)$$

در معادلات فوق C_e غلظت تعادلی، q_e مقدار جذب شده در حالت تعادل، q_m و k_a ثوابت معادلات لانگمویر بوده و مشخص‌کننده‌ی کارایی فرایند هستند. k_f مشخص‌کننده‌ی ظرفیت جذب و n شدت (توان) جذب را مشخص می‌کند. در نهایت با استفاده از معادلات خط به دست آمده از رسم شکل‌ها و تطابق دادن آن‌ها با معادلات ایزوترم جذب، پارامترهای ایزوترم جذب سطحی محاسبه شدند.

بررسی سینتیک جذب

مطالعه‌ی سینتیک جذب سطحی درک عمیق‌تری از سرعت بارگذاری دارو روی جاذب و مکانیسم فرایند جذب سطحی می‌دهد. سرعت جذب دارو تعیین‌کننده‌ی زمان اقامت مورد نیاز برای کامل شدن فرایند جذب سطحی است. از این رو، مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه‌ی اول (معادله‌ی ۵)، شبه مرتبه‌ی دوم (معادله‌ی ۶)، نفوذ درون ذره‌ی (معادله‌ی ۷) برای بررسی جذب سطحی در دمای ۲۹۸ درجه‌ی کلون به کار برده شد (۱۶).

$$q_t = q_e (1 - e^{-k_1 t}) \quad (5)$$

$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad (6)$$

$$q_t = k_i t^{0.5} + C \quad (7)$$

در معادلات فوق، q_e ظرفیت جذب در زمان تعادل، k_1 و k_2 به ترتیب، ثابت سرعت شبه مرتبه‌ی اول، شبه مرتبه‌ی دوم و نفوذ درون ذره‌ی می‌باشد.

بررسی ترمودینامیک جذب

ترمودینامیک جذب در محدوده‌ی دمایی ۲۵ تا ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و بر طبق معادله‌ی وانت-هوف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و در ادامه پارامترهای ترمودینامیکی آنتروپی (S)، آنتالپی (H) و انرژی آزاد گیبس (G) محاسبه شدند (معادلات ۸-۱۰).

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \quad (8)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln k \quad (9)$$

$$\ln k = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \quad (10)$$

جهت سنتز نانو جاذب، در مرحله‌ی اول میزان مشخصی از کیتوسان بر طبق جدول طراحی آزمایش در ۵۰ سی‌سی آب مقطر و اسید استیک (به نسبت ۲۴ به ۲) ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه تحت همزن جهت هموزن‌سازی قرار گرفت. در مرحله‌ی بعد میزان مشخصی از نانو گرافن اکساید و بتونیت بر طبق جدول طراحی آزمایش در ۵۰ سی‌سی آب مقطر ریخته و در داخل دستگاه اولترا سونیک شفت‌دار به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد تا به طور کامل همگن شود. در ادامه‌ی کار، محلول اول و دوم با هم مخلوط شده و به مدت ۳ ساعت در دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تحت مبرد قرار گرفت. بعد از مدت مذکور به محلول مورد نظر، سود ۱ نرمال قطره قطره اضافه شد تا محلول به فرم ژل حاصل شود، سپس محلول را از روی کاغذ صافی گذرانده و جهت خنثی‌سازی با آب شست و شو داده شد. در نهایت محصول به دست آمده به مدت ۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در آون جهت خشک شدن و جهت بررسی‌های نهایی قرار گرفت.

تنظیم pH بهینه

یکی از پارامترهای مهم در جذب فنل، pH پساب می‌باشد. در این قسمت جهت تنظیم pH ۲۵ میلی‌لیتر از محلول ۵۰ ppm از فنل را تهیه کرده و نمونه‌های مختلفی با pH های در محدوده‌ی بین ۱ تا ۱۳ تنظیم گردید، سپس محلول به مدت ۳۰ دقیقه مخلوط شد. در نهایت جاذب را با استفاده از سانتریفیوژ و فیلتر سرسرنگی جداسازی کرده و میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ماکزیم بررسی شد و pH بهینه‌ی جذب به دست آمد (۱۴).

تعیین زمان بهینه‌ی جذب

زمان از عوامل مؤثر برای جذب فنل جذب شده به صورت سطحی توسط جاذب می‌باشد؛ لذا برای تعیین مقدار بهینه‌ی زمان میزان درصد جذب در زمان‌های مختلف (۵-۷۵ دقیقه) برای جرم مشخصی از فنل جذب شده در حضور ۰/۱ گرم ماده‌ی جاذب، در حجم کل ۱۰ میلی‌لیتر و در pH ثابت بهینه (در شرایطی که سایر پارامترهای مورد بررسی ثابت بود) مورد بررسی قرار گرفت و زمان بهینه‌ی مقادیر جذب فنل توسط هر جاذب به دست آمد.

بررسی ایزوترم جذب

فرایند جذب سطحی تا هنگامی که جاذب و جذب‌شونده به یک تعادل دینامیکی برسند، ادامه می‌یابد. رابطه‌ی تعادلی با هم‌دماهای جذب سطحی توصیف می‌شود که اطلاعاتی در مورد شیوه‌ی واکنش میان سطح جاذب و جذب‌شونده و بهینه‌سازی فرایند بارگذاری دارو فراهم می‌سازد. در این پژوهش، داده‌های تعادلی برای جذب سطحی فنل روی نانو جاذب با استفاده از هم‌دماهای لانگمویر (معادله‌ی ۱)، فروندلیچ (معادله‌ی ۲)، دوینین-رادوشکوویچ (معادله‌ی ۳) و

یافته‌ها

طراحی آزمایش

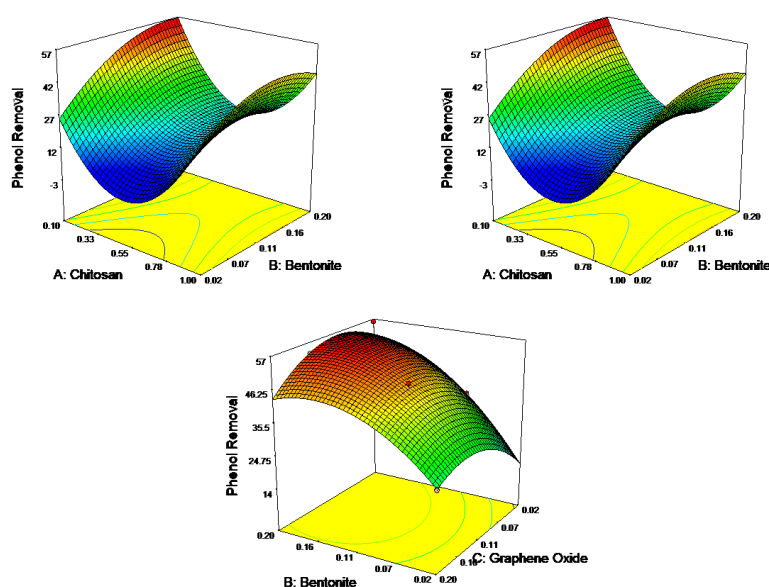
از آنجایی که میزان ترکیب درصد مواد بر روی جذب فنل تأثیر دارد، در این قسمت با استفاده از نرم‌افزار طراحی آزمایش و با روش طراحی دی اپتیمال آزمایش‌های مختلفی براساس ترکیب درصد مختلف مواد ارائه شد و در ادامه میزان جذب برای هریک از آزمایش‌ها اندازه‌گیری شد.

پس از بررسی نتایج جذب و بهینه‌سازی، مقادیر پارامترهای نمونه‌ی بهینه توسط نرم‌افزار ارائه گردید؛ در نتیجه مقدار بهینه‌ی نانو جاذب با مقادیر کیتوسان ۰/۱٪، نانوگرافن اکساید ۰/۰۷٪ و بنتونیت ۰/۱۸٪ با توجه به صحت مدل ($P < 0.01$) جهت ادامه‌ی آنالیزها به دست آمد. مقادیر داده‌های تجربی و طراحی آزمایش در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. داده‌های طراحی آزمایش‌ها

شماره آزمایش	کیتوسان (درصد)	بنتونیت (درصد)	گرافن اکساید (درصد)	جذب (درصد)
۱	۱/۰۰	۰/۰۲	۰/۲۰	۴۰/۶۱
۲	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۲۰	۲۵/۰۶
۳	۰/۴۶	۰/۱۳	۰/۲۰	۲۵/۳۷
۴	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۴۰/۷۹
۵	۱/۰۰	۰/۱۳	۰/۰۹	۳۰/۹۵
۶	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۴۶/۰۹
۷	۰/۹۴	۰/۰۳	۰/۱۱	۳۳/۷۴
۸	۰/۹۲	۰/۱۱	۰/۱۹	۲۹/۹۸
۹	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۲۰	۴۷/۸۲
۱۰	۰/۴۳	۰/۱۳	۰/۰۹	۳۲/۲۲
۱۱	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۴	۵۵/۹۶
۱۲	۱/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۵۵/۸۳
۱۳	۰/۴۶	۰/۰۲	۰/۰۹	۳۷/۶۴
۱۴	۰/۶۸	۰/۲۰	۰/۰۲	۴۶/۷۶
۱۵	۱/۰۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۴۷/۵۰
۱۶	۱/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۳۷/۲۳
۱۷	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۴	۵۳/۳۸
۱۸	۱/۰۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۵۵/۱۸
۱۹	۰/۶۸	۰/۲۰	۰/۰۲	۵۵/۰۳
۲۰	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۰۲	۵۵/۶۷

همچنین نمودار سطح پاسخ که نشان‌دهنده‌ی تأثیرات متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته است، در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. نمودار سطح پاسخ

همانطوری که در جدول زیر مشاهده می‌شود، با تغییر pH، در قابلیت جذب تغییرات قابل توجهی دیده می‌شود؛ زیرا pH بر روی شارژ الکتریکی سطح جاذب اثر گذاشته و درجه‌ی یونیزاسیون فنل را تغییر می‌دهد. در pH های پایین سطح جاذب دارای بار مثبت شده و در نتیجه در یک کشش قوی با یون‌های با بار منفی فنل قرار می‌گیرد که این امر باعث افزایش میزان حذف می‌شود، ولی با کاهش بیشتر pH از ۵ به ۳ سطح جاذب توسط یون‌های H^+ احاطه شده و حضور بیش از اندازه‌ی این یون‌ها باعث خنثی شدن یونیزاسیون فنل شده و در نتیجه میزان حذف این آلاینده در جاذب کاهش می‌یابد. در نتیجه میزان pH بهینه برای جذب فنل از پساب توسط نانوجاذب گرافن-کیتوسان-بنتونیت pH برابر با ۵ به دست آمد.

بررسی میزان جذب سطحی فنل

پس از به دست آوردن فرمولاسیون جاذب بهینه، قابلیت جذب در غلظت‌های مختلف ۴-۱۰۰ ppm پساب فنل به مدت ۳۰ دقیقه بررسی شد تا غلظت بهینه‌ی جذب به دست آید. با توجه به نتایج، میزان غلظت بهینه‌ی فنل بعد از فرایند جذب ۱۰۰ ppm و میزان بهینه‌ی قابلیت جذب ۷۵/۷۵ می‌باشد.

بررسی میزان جذب در pH های مختلف پساب فنل

یکی دیگر از پارامترهای مهم در جذب فنل pH پساب می‌باشد. جهت بررسی اثر تغییر pH بر قابلیت جذب و با ثابت در نظر گرفتن غلظت بهینه (۱۰۰ ppm)، محلول‌هایی با pH های مختلف (۱-۱۳) از فنل تهیه شد. جدول ۲ میزان جذب در pH های مختلف فنل را نشان می‌دهد.

جدول ۲. بررسی میزان جذب در pH های مختلف فنل

درصد حذف	قابلیت جذب (mg/g)	pH
۶۸/۰۷	۲۴/۲۹	۱
۷۵/۹۳	۲۸/۱۸	۳
۸۹/۲۲	۳۴/۷۶	۵
۷۸/۳۷	۲۹/۵۹	۷
۶۱/۵۱	۲۱/۶۱	۹
۴۲/۹۵	۱۲/۸۸	۱۳

جذب آن توسط دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شد. نتایج میزان جذب در زمان‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به نتایج، زمان تماس بهینه‌ی جذب فنل توسط نانوجاذب ۴۵ دقیقه به دست آمد. در ابتدای فرایند به دلیل

بررسی میزان جذب در زمان‌های مختلف

جهت بررسی زمان‌های مختلف (۵-۷۵ دقیقه) بر قابلیت جذب، مقدار ۰/۰۱ گرم جاذب در محلول ۱۰۰ ppm از فنل در pH بهینه برابر با ۵ ریخته شد و در زمان‌های مختلف

علت اشباع شدن مکان‌های خالی موجود، کاهش راندمان جذب اتفاق می‌افتد و قابلیت جذب آن به صورت خطی ظاهر می‌شود (۱۷).

وجود جایگاه‌های خالی که توانایی به دام انداختن مولکول‌های فنل را در خود دارند، سرعت بالایی در جذب مشاهده می‌شود، این در حالی است که با افزایش زمان به

جدول ۳. بررسی میزان جذب در زمان‌های مختلف

زمان	قابلیت جذب (mg/g)	درصد حذف
۵	۱۰/۰۶	۵/۹۴
۱۰	۱۷/۹۸	۱۷/۹۶
۱۵	۳۴/۷۶	۳۴/۴۰
۳۰	۳۸/۴۰	۶۹/۲۲
۴۵	۴۰/۸۰	۸۲/۹۱
۶۰	۴۰/۱۵	۸۱/۳۳
۷۵	۴۰/۰۸	۸۱/۲۵

بررسی ایزوترم‌های فرایند جذب سطحی

نتایج آزمایش‌ها با استفاده از ۵ مدل هم‌دما یا ایزوترمی معروف و شناخته‌شده لانگمویر، فروندلیچ، تمکین، دابینین-رادوشکوویچ و هارکینز-جورا مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از معادلات خط به دست آمده از رسم شکل‌ها و تطابق دادن آن‌ها با معادلات ایزوترم جذب، پارامترهای ایزوترم جذب سطحی محاسبه شدند.

با توجه به ضرایب همبستگی به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که نانوجاذب گرافن-کیتوسان-بنتونیت از ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند. در نتیجه فرایند جذب به صورت هتروژن و غیریکنواخت می‌باشد (۱۸).

جهت محاسبه پارامترهای ایزوترم جذب سطحی، با استفاده از معادله خط به دست آمده از رسم شکل و تطابق دادن آن با معادلات ایزوترم جذب لانگمویر، ضرایب q_m و K_a به ترتیب برابر با ۴۶/۰۸۲ و ۰/۰۷۴ محاسبه شدند.

با توجه به مقادیر محاسبه شده برای معادله می‌توان نتیجه گرفت که جذب مولکول‌های فنل توسط نانو الیاف گرافن-کیتوسان-بنتونیت در شرایط مورد استفاده در این تحقیق

جدول ۴. پارامترهای ترمودینامیک جذب

پارامتر ترمودینامیکی	مقادیر
آنتروپی	۷/۱۹
آنتالپی	۱۳۳۱/۳۰
انرژی آزاد گیبس	-۲۰۲۰/۵۱ (۲۹۸ K)
	-۲۲۳۶/۳۳ (۳۲۸ K)
	-۲۴۵۲/۱۵ (۳۵۸ K)

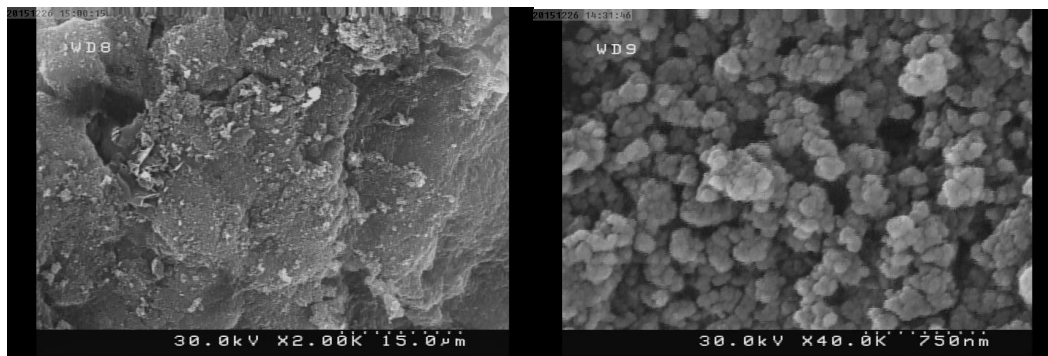
پارامترهای سینتیک جذب محاسبه شد که مقادیر $0/181$ و $21/178$ به ترتیب برای ضرایب K_1 و q مشخص شد.

آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی

به منظور سنجش شکل سطحی نانوالیاف بهینه از میکروسکوپ الکترونی روبشی ساخت شرکت تی اسکن کشور چک استفاده شد. شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو گرافن اکساید-بنتونیت-کیتوسان را نشان می دهد. با توجه به تصاویر به دست آمده مشخص می شود که سطح مورفولوژی نانو جاذب سطحی همراه با خلل و فرج می باشد در صورتی که سطح مورفولوژی کیتوسان صاف و متراکم است (۲۲) که این می تواند نشان دهنده ترکیب بنتونیت و گرافن اکساید با کیتوسان باشد.

بررسی سینتیک های فرایند جذب سطحی

جهت تعیین سینتیک واکنش، داده های حاصل از جذب با استفاده از مدل های شبه درجه ی اول، شبه درجه ی دوم و سینتیک جذب نفوذ بین ذرات مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج، ضرایب همبستگی سینتیک جذب برای مدل های شبه درجه ی اول، شبه درجه ی دوم و نفوذ بین ذرات به ترتیب برابر $0/9821$ ، $0/9691$ و $0/9973$ به دست آمد. از بین مدل های فوق، ضریب همبستگی سینتیک نفوذ بین ذرات به ۱ نزدیک تر است که می توان نتیجه گرفت نانوجاذب از سینتیک جذب نفوذ بین ذرات پیروی می کند که نشان می دهد ذرات فنل در خلل و فرج ماده قرار می گیرد (۲۱). با استفاده از معادله ی خط به دست آمده از رسم شکل و تطابق دادن آن با معادلات سینتیک جذب شبه مرتبه ی اول،

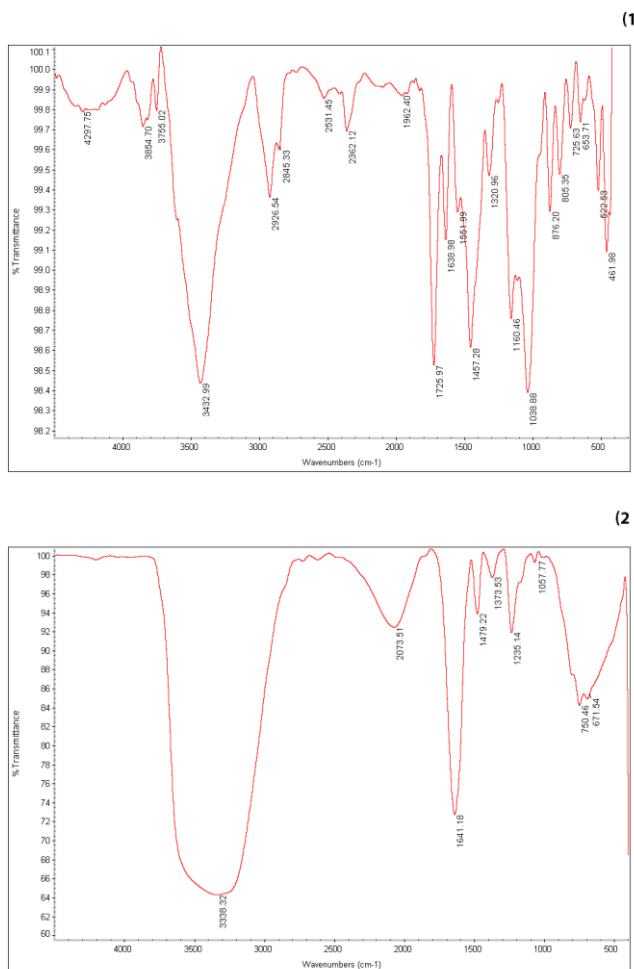


شکل ۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو گرافن اکساید-بنتونیت-کیتوسان

کشور آمریکا استفاده شد. طیف مادون قرمز نانوجاذب قبل و بعد از جذب رنگ در شکل ۳ به تصویر کشیده شده اند.

آنالیز طیف سنجی مادون قرمز

برای بررسی ساختار شیمیایی نانوالیاف قبل و بعد از جذب از دستگاه طیف سنجی مادون قرمز مدل نکسوز ساخت



شکل ۳. آنالیز طیف سنجی مادون قرمز نانو جاذب؛ (۱) قبل از جذب و (۲) بعد از جذب

با پیوند $C=C$ در $1551/99 \text{ cm}^{-1}$ ، با پیوند AL - O در $805/35 \text{ cm}^{-1}$ ، با پیوند $SI-H$ در $805/35 \text{ cm}^{-1}$ ، با پیوند $C-H$ در $2926/54 \text{ cm}^{-1}$ ، با پیوند $C-H$ در $2842/33 \text{ cm}^{-1}$ ، با پیوند $C-H$ در $1725/97 \text{ cm}^{-1}$ ، با پیوند $S=O$ در $1664/99 \text{ cm}^{-1}$ ، با پیوند $C=O$ در $1641/18 \text{ cm}^{-1}$ ، با پیوند $Si-O-Si$ می باشد که پیوندهای اضافه شده حضور بتونیت و گرافن را در ماده نشان می دهد (۲۴).

همچنین از مقایسه طیف نانو جاذب کیتوسان-بتونیت-گرافن سنتز شده بعد از جذب فنل با طیف جاذب سنتز شده قبل از جذب اطلاعات زیر به دست آمد (شکل ۲-۳):
 در $3338/32 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $O-H$ ، در $2078/51 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند NH^+ ، در $1641/18 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C=O$ ، در $1479/22 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند CH_2 ، در $1378/53 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند CH_3 ، در $1235/14 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند CH_3COOR ، در $1067/77 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $S=O$ ، در $750/44 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $671/54 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ که همان پیک

با بررسی طیف نانو جاذب کیتوسان-بتونیت-گرافن سنتز شده قبل از جذب با طیف کیتوسان خالص (۲۳) اطلاعات زیر حاصل شد (شکل ۱-۱):
 ارتعاش کششی $N-H$ و $O-H$ از $3436/27 \text{ cm}^{-1}$ به $3432/99 \text{ cm}^{-1}$ ، کششی متقارن CH_3 از $2879/02 \text{ cm}^{-1}$ به $2842/33 \text{ cm}^{-1}$ ، ارتعاش کششی $C=O$ از $1605/68 \text{ cm}^{-1}$ به $1641/18 \text{ cm}^{-1}$ ، ارتعاش کششی $C-N$ از $1423/00 \text{ cm}^{-1}$ به $1467/28 \text{ cm}^{-1}$ ، ارتعاش خمیده CH_3 از $1379/60 \text{ cm}^{-1}$ به $1320/96 \text{ cm}^{-1}$ ، ارتعاش کششی NH_2 از $1320/96 \text{ cm}^{-1}$ به $1378/53 \text{ cm}^{-1}$ ، ارتعاش خمیده $C-O-C$ از $1255/43 \text{ cm}^{-1}$ به $1235/14 \text{ cm}^{-1}$ ، ارتعاش کششی $C-OH$ از $1089/91 \text{ cm}^{-1}$ به $1038/88 \text{ cm}^{-1}$ شیف پیدا کرده است.

همچنین در $2531/45 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $-CH_3-$ ، در $2362/12 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C=NH^+$ ، در $1902/40 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند NH^+ ، در $1725/97 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C=O$ ، در $1539/98 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1467/28 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1320/96 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1160/46 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1098/68 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $876/20 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $805/30 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $726/63 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $693/71 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $522/00 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $461/98 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $4297/71 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $3755/02 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $3654/70 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $3492/99 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $2926/54 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $2842/33 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $2511/45 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $2362/12 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1902/40 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1725/97 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1664/99 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1539/98 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1467/28 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1320/96 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1160/46 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $1098/68 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $876/20 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $805/30 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $726/63 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $693/71 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $522/00 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$ ، در $461/98 \text{ cm}^{-1}$ با پیوند $C-H$.

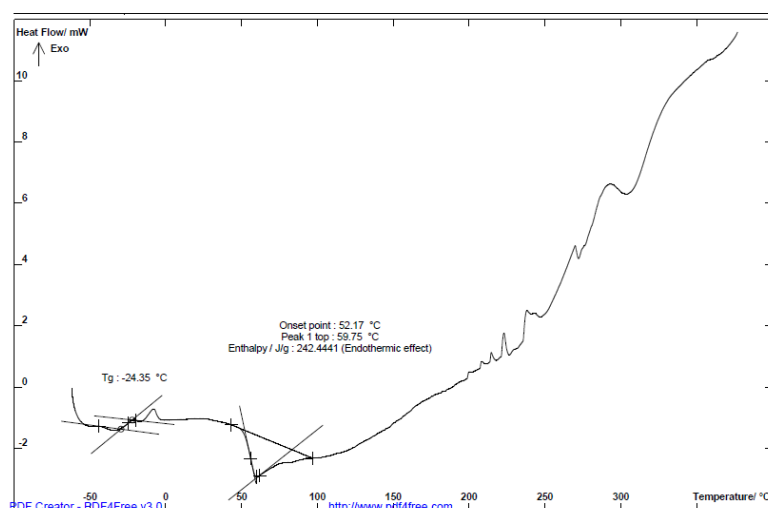
دقیقه تحت اتمسفر نیتروژن قرار گرفت و تغییرات فیزیکی ماده به صورت تابعی از دما رسم شد (۱۴).

شکل ۴ منحنی وزن‌سنجی حرارتی نانوجاذب را براساس کاهش وزن در مقابل حرارت نشان می‌دهد. با استفاده از این تحلیل می‌توان رابطه‌ی بین کاهش وزن نمونه‌ها را در مقابل افزایش دما ارزیابی کرد.

پهن اولیه که مربوط به O-H می‌تواند به تنهایی نشان‌دهنده‌ی وجود فنل در جاذب باشد.

آنالیز وزن‌سنجی حرارتی

آنالیز وزن‌سنجی حرارتی برای پیش‌بینی پایداری حرارتی نانوالیاف به دست آمده توسط دستگاه Q600 ساخت آمریکا انجام گردید. بر این اساس نمونه در گستره‌ی دمایی ۵۰ تا ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد با سرعت ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بر



شکل ۴. منحنی وزن‌سنجی حرارتی جاذب کیتوسان-بتنونیت-نانو گرافن اکساید

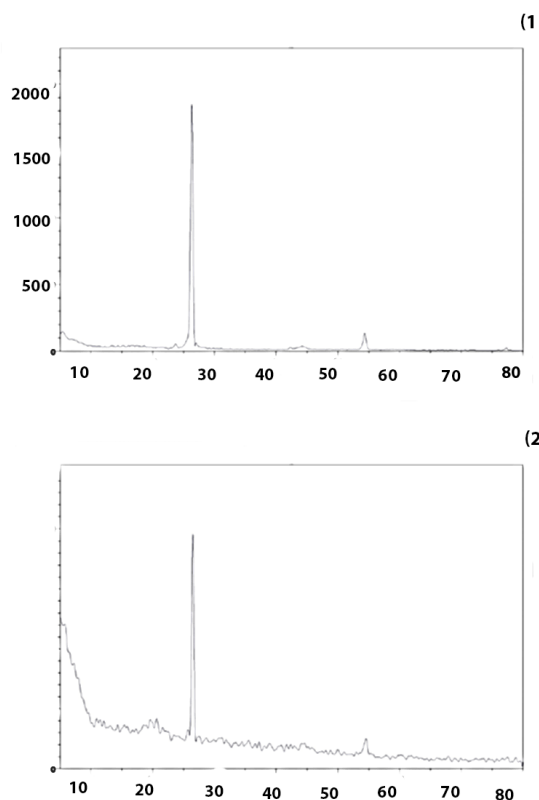
توجه به شکل دمای شیشه‌ای نانوجاذب نیز $24/35^{\circ}\text{C}$ می‌باشد.

آنالیز پراش پرتو ایکس

جهت تشخیص فازهای تشکیل‌شده و مقدار بلورینگی نانوالیاف از دستگاه پراش پرتو ایکس شرکت فیلیپس ساخت کشور هلند استفاده شد.

شکل ۵ تصویر مربوط به پراش پرتو ایکس نانوالیاف مغناطیسی را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۴ میزان دمای ذوب نانوجاذب ۵۹/۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است. این در حالی است که دمای ذوب کیتوسان ۱۰۳/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد (۲۵) می‌باشد. می‌توان به این نتیجه رسید که کاهش دمای ذوب به علت وجود نانو گرافن اکساید است که دمای اشتعال پایینی دارد و همچنین می‌توان پایین آمدن دمای ذوب را به مخلوط بتنونیت با کیتوسان ربط داد، مخلوط کیتوسان با بتنونیت باعث می‌شود سطح صاف کیتوسان دارای خلل و فرج شود که این نیز باعث راحت‌تر ذوب شدن ماده می‌شود (۲۶). همچنین با



شکل ۵. آنالیز پراش پرتو ایکس؛ (۱) کیتوسان و (۲) جاذب کیتوسان-بتونیت-نانو گرافن اکساید

بحث

مقدار حذف فنل به شدت وابسته به غلظت اولیه فنل می باشد و غلظت اولیه به ارتباط بین غلظت فنل و سایت های موجود بر روی سطح جاذب وابسته می باشد. به طور کلی، درصد حذف فنل با افزایش غلظت اولیه که منجر به اشباعیت سایت های جذب سطحی روی سطح جاذب می شود، کاهش می یابد. از سوی دیگر، با افزایش غلظت اولیه ظرفیت جاذب نیز افزایش می یابد. علت این امر ممکن است به دلیل نیروی محرکه ی بالا برای انتقال جرم در غلظت اولیه ی بالا باشد (۲۹).

همچنین مشخص شد نانوجاذب سنتز شده از ایزوترم لانگمویر که نشان دهنده ی جذب فیزیکی است و همچنین سینتیک فرایند جذب، نفوذ بین ذرات می باشد که نشان می دهد ذرات فنل در خلل و فرج ماده قرار می گیرد. براساس تصاویر میکروسکوپ الکترونی، وجود پیوند بتونیت با کیتوسان نتیجه می شود؛ چراکه سطح صاف کیتوسان پر از خلل و فرج شده است و همچنین وجود ذرات نانومتری بر روی سطح ماده نشان دهنده ی وجود ذرات گرافن

با توجه به مقایسه ی نمودار ماده ی سنتز شده با کیتوسان خالص می توان دریافت که پیک های ۱۰ و ۲۰ درجه باقی مانده (لازم به ذکر است که پیک های ۱۰ و ۲۰ درجه متعلق به کیتوسان می باشد)، اما به علت مخلوط کیتوسان با بتونیت و نانوجاذب اکساید ضعیف شده است. همچنین با مقایسه ی آن با نمودار نانو گرافن اکساید متوجه می شویم که پیک های مربوط به آن از بین نرفته، اما به مانند کیتوسان پیک های آن ضعیف شده است (پیک بلند بر روی ۲۷ درجه و همچنین پیک کوتاه بر روی ۵۴ درجه مربوط به نانو گرافن اکساید است که بر روی شکل مشخص است) (۲۷). با توجه به مشخص شدن پیک های نمودارها، این را می توان پیش بینی کرد که سایر پیک های موجود می تواند مربوط به بتونیت باشد. ترکیب گرافن اکساید و بتونیت با کیتوسان باعث ضعیف شدن پیک های آن شده است، اما آن ها را از بین نبرده است که همین می تواند پیوند فیزیکی این ۳ جزء را نشان دهد (۲۸).

بر روی سطح کیتوسان و بنتونیت می‌باشد. نتایج آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز و آنالیز پراش پرتو ایکس نشان دادند که برهم‌کنش خوبی بین نانوذرات گرافن اکساید، کیتوسان و بنتونیت رخ داده است و همچنین طیف‌سنجی بعد از جذب، جذب سطحی فنل را در نانوجاذب سنتزی تأیید می‌کند.

بر اساس مطالعه‌ی دمایی صورت‌گرفته مشخص شد که نانوالیاف تا دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد پایدار بوده و در نتیجه مشخص شد کاربرد بهینه این نانوجاذب در پساب‌هایی با دمای کمتر از ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نانوجاذب پلیمری کیتوسان-بنتونیت-نانوگرافن اکساید سنتز شد. هدف از تهیه‌ی این نانوجاذب، به کارگیری از آن در صنعت جهت حذف فنل که آروماتیکی است که در پساب صنعتی به وفور یافت می‌شود. برای طراحی آزمایش‌ها و بهینه‌سازی از نرم‌افزار طراحی آزمایش استفاده شد. فرمولاسیون بهینه‌ی نانوجاذب شامل کیتوسان ۰/۱ گرم، بنتونیت ۰/۱۸ گرم و نانوگرافن اکساید ۰/۰۷ گرم به دست آمد. همچنین در ادامه میزان غلظت بهینه‌ی فنل بعد از فرایند جذب ۱۰۰ ppm و میزان بهینه‌ی قابلیت جذب mg/g ۷۵/۷۵ تعیین شد. سپس تأثیر هریک از پارامترهای غلظت

پیامدهای عملی پژوهش

این جاذب به طور مؤثری می‌تواند در صنایع آب - فاضلاب و تصفیه مورد استفاده قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران با کد ۰۲/۱۲/۰۲/۰۲/۰۸۲ می‌باشد.

تضاد منافع

بدین وسیله نویسندگان اعلام می‌کنند که این اثر برگرفته از پایان‌نامه بوده و هیچگونه تضاد منافی با سازمان‌ها و اشخاص دیگر ندارد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از کلیه‌ی مراکز تحقیقاتی که در این پژوهش همکاری کردند، اعلام می‌دارند.

References

1. Daraei H, Mittal A, Noorisepehr M, Daraei F. Kinetic and equilibrium studies of adsorptive removal of phenol onto eggshell waste. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2013; 20(46): 4603-4611. doi: 10.1007/s11356-012-1409-8.
2. Vimal C, Srivastava M, Swamy I D, Basheswar P, Mishra M. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Colloid Surface A*. 2006; 272(1-2): 89-104. doi: 10.1016/j.colsurfa.2005.07.016.
3. Manshoury M, Daraei H, Yazdanbakhsh AR. A feasible study on the application of raw ostrich feather, feather treated with H₂O₂ and feather ash for removal of phenol from aqueous solution. *Desalin Water Treat*. 2017; 41(1): 179-85. doi: 10.1080/19443994.2012.664712.
4. Shankar G, Poodar S, Dheeravath B, Vurimindi H, Vidyavathi s. Photochemical oxidation of antibiotic gemifloxacin in aqueous solutions - A comparative study. *South African Journal of Chemical Engineering*. 2017; 1(24): 8-16.
5. Gharbani P, Khosravi M, Tabatabaie SM, Zare K, Dastmalchi S, Mehrizad A. Degradation of trace aqueous 4-chloro-2-nitrophenol occurring in pharmaceutical industrial wastewater by ozone. *Int J Environ Sci Te*. 2010; 7(2): 377-384. doi: 10.1007/BF03326147.
6. Adami, S, Fakhri A. Adsorption of 4-chloro-2-nitrophenol by zero valent iron nanoparticles and Pddoped zero valent iron nanoparticles surfaces: isotherm, kinetic and mechanism modeling. *Journal of Physical Chemistry and Biophysics*. 2013; 3(2): 1-5. doi: 10.4172/2161-0398.1000115.
7. Mehrizad A, Aghaie M, Gharbani P, Dastmalchi S, Monajjemi M, Zare K. Comparison of 4-chloro-2-nitrophenol adsorption on single-walled and multi-walled carbon nanotubes. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2012; 9(5): 1-6. DOI: 10.1186/1735-2746-9-5.
8. Mehrizad A, Zare K, Aghaie H, Dastmalchi S. Removal of 4-chloro-2-nitrophenol occurring in drug and pesticide waste by adsorption onto nano-titanium dioxide. *Int J Environ Sci Te*. 2012; 9(2): 355-60. doi: 10.1007/s13762-012-0038-6.
9. LeBaron PC, Wang Z, Pinnavaia TJ. Polymer-layered silicate nanocomposites: an overview. *Applied Clay Science*. 1999; 15(1-2): 11-29.
10. Carter MR, Stewart BA. *Structure and Organic matter Storage in Agricultural soils*. Boca Raton, FL: CRC Press; 1995.
11. Sheshmani SH, Arab Fashapoyeh M, Amini R. Iron (iii) hydroxide/graphene oxide nano composite and investigation of lead adsorption. *JARC*. 2013; 6(4): 17-23 (Persian).

12. Crini G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Bioresource Technol.* 2006; 97(9): 1061–85. doi:10.1016/j.biortech.2005.05.001.
13. Ahmed A, Moosa A M R, Noor A K. Use of Biopolymer Adsorbent in the Removal of Phenol from Aqueous Solution. *American Journal of Materials Science.* 2016; 6(4): 95-104. doi: 10.5923/j.materials.20160604.03.
14. Nasrollahi Z, Azizinezhad F, Tajik Sh, Borbor Azhdari N, Mohammad Amini P. An investigation of the graft copolymerization of chitosan by the mixture of itaconic acid _ methacrylamide. 3rd National & 1st International Conference in applied research on Chemistry & Chemical Engineering; 2016; Tehran: Malek Ashtar University of Technology.
15. Wan Y, Lu X, Dalai S, Zhang J. Thermophysical properties of polycaprolactone/chitosan blend membranes. *Thermochimica Acta.* 2009; 478(1-2): 33-38. doi:10.1016/j.tca.2009.01.007.
16. Hanaor DAH, Ghadiri M, Chrzanowski W, Gan Y. Scalable surface area characterization by Electrokinetic Analysis of Complex Anion Adsorption. *Langmuir.* 2014; 30(50): 15143–52.
17. Dada A.O, Olalekan AP, Olatunya AM, DADA O. Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin – Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn²⁺ onto Phosphoric Acid Modified Rice Husk. *IOSR-JAC.* 2012; 3(1): 38-45. doi:10.9790/5736-0313845
18. Iyer A, Kunju S. Extension of Harkins—Jura adsorption isotherm to solute adsorption. *colloids and surface.* 1992; 63(3-4): 235-40. doi: 10.1016/0166-6622(92)80244-V.
19. Sobkowsk J and Czerwin'ski A. Kinetics of carbon dioxide adsorption on a platinum electrode. *J Electroanal Chem.* 1974; 55(3): 391-97. doi: 10.1016/S0022-0728(74)80433-X.
20. Ho YS, McKay G. The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. *Water Res.* 2000; 34(3): 735-42. doi: 10.1016/S0043-1354(99)00232-8.
21. Zhou Z. Adsorption of food dyes from aqueous solution by glutaraldehyde cross-linked magnetic chitosan nanoparticles. *J Food Eng.* 2014; 126(2): 133-141. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.11.014.
22. Yagub MT, Sen TK, Ang H. Equilibrium, Kinetics, and Thermodynamics of Methylene Blue Adsorption by Pine Tree Leaves. *Water, Air, & Soil Pollution.* 2012; 223(2): 5267-5282.
23. Saratale RG, Saratale R, Chang JS, Govindwar SP. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: a review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.* 2011; 42(1): 138-57. doi: 10.1016/j.jtice.2010.06.006.
24. Fan L, Luo C, Lv Z, Lu F, Qiu H. preparation of magnetic modified chitosan and adsorption of Zn²⁺ from aqueous solution. *Colloids and Surfaces B: bioninterfaces.* 2011; 88(1): 574-81. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2011.07.038.
25. M.salehi H, Mirzaee M. Experimental Study of Influencing factors and kinetic in Catalytic Removal of methylene blue with TiO₂ nano power. *American journal of environmental Engineering.* 2012; 2(2): 1-7. Doi:10.5923/j.aje.20120201.01.
26. Mohseni-Bandpei A, Kakavandi B, Rezaei kalantary R, Azari A. Development of a novel magnetite-chitosan composite for the removal of fluoride from drinking water: adsorption modeling and optimization. *RSC Advances.* 2015; 4(89): 73279-89. doi:10.1039/c5ra11294j.
27. Asgarzadeh A, Shahsavari Sh, Vaziri-Yazdi A, Moniri E. Design of Magnetic Chitosan nanoparticles for Targeted Cancer Therapy using 5-Fluorouracil in Glycerol-Monoleate. *IJBQ.* 2018; 2(1): 45-56. (Persian)
28. Lehyani Sh, Hassan RA, Alharbi A, Alomayri T, Alamri H. Magnetic Hyperthermia using Cobalt Ferrite Nanoparticles: The Influence of particle size. *International Journal of Advancements in Technology.* 2017; 8(1): 567-79.
29. Jaroniec M. Adsorption on heterogeneous surfaces: The exponential equation for the overall adsorption isotherm. *Surface Science.* 2018; 50(2): 553–64. doi: 10.1016/0039-6028(75)90044-8.