

ساخت جاذب از الیاف نارگیل با استفاده از روش EDM و بررسی رفتار آن در حذف نیترات از محلول‌های آبی

نوشین سلمان تبریزی^{۱*}، مریم یاوری^۱، نوشین رئیسی خیرآبادی^۲

^۱ پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده انرژی، کرج، ایران.

^۲ پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده فناوری نانو و مواد پیشرفته، کرج، ایران.

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۶/۳/۲۳، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۶/۱۰/۱۲، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۶/۱۱/۲۸

چکیده در این تحقیق الیاف خرد شده نارگیل با روش شیمیایی^۱ EDM اصلاح شده و از آن جهت حذف یون نیترات از آب استفاده و رفتار آن در فرآیند جذب سطحی مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا اثر پارامترهای مختلف در فرآیند جذب سطحی از قبیل اثر زمان، وزن جاذب، غلظت اولیه نیترات، pH، درجه حرارت در حذف نیترات تعیین گردید. آزمایش‌ها نشان دادند که داده‌های سینتیکی با معادله شبه‌درجه اول مطابقت خوبی داشته و ایزوترم‌های جذب از مدل جذب تک‌لایه Langmuir تبعیت می‌نمایند. همچنین بررسی‌های ترمودینامیکی نشان دادند که واکنش جذب خودبه‌خودی، گرمازا و با کاهش بی‌نظمی در فصل مشترک مایع-جامد همراه بوده است. طبق نتایج آزمایشگاهی جاذب در pH خنثی جذب بیشتری نشان داده و آزمایش‌های واجذب نشان دادند که نیترات جذب شده توسط جاذب با تغییر pH قابل واجذب بوده و لذا جاذب سنتز شده قابلیت استفاده مجدد را دارد.

کلمات کلیدی: جذب سطحی، الیاف نارگیل، حذف نیترات.

Fabrication of Adsorbent from Coconut Coir by EDM Method for Removal of Nitrate from Aqueous Solutions

Noshin Salman Tabrizi^{1*}, Maryam Yavari¹, Noshin Raeisi Kheirabadi²

¹Material and Energy research Center, Department of Energy, Karaj, Iran.

²Material and Energy research Center, Department of Nanotechnology and Advanced Materials, Karaj, Iran.

Abstract In this work crushed coconut coir was chemically modified by EDM method and its performance as adsorbent for removal of nitrate from aqueous solutions was investigated. In this regard, the effect of various parameters like time, adsorbent dosage, nitrate initial concentration, pH, and temperature on the adsorption process was studied. It was observed that the kinetic data followed the pseudo-first order kinetic model and the adsorption isotherms were properly fitted to Langmuir model. Thermodynamic analysis showed that the adsorption process was spontaneous, exothermic with decreased randomness at solid-liquid interface. Moreover, the adsorbent showed a superior performance at neutral pH and the adsorbed nitrate could easily be desorbed by adjusting pH of the solution suggesting the reusability of the adsorbent.

Keywords: Adsorption, Coconut coir, Nitrate removal.

^۱ واکنش با epichlorohydrin و dimethylamine در حضور pyridine و N,N-dimethylformamide روش EDM اطلاق می‌شود.

*عهده دار مکاتبات

۱- مقدمه

فرآیند تصفیه آب، علاوه بر سهولت کار می‌تواند اثرات مفید زیست‌محیطی در پی داشته و از تجمع ضایعات کشاورزی جلوگیری نماید. هسته، دانه و پوست میوه‌ها از جمله ضایعات کشاورزی هستند که به وفور یافت شده و می‌توان آن‌ها را از کارخانه‌های مواد غذایی و مکان‌های مربوطه جمع‌آوری نمود. استفاده از ضایعات کشاورزی در حذف نیترات می‌تواند به صورت استفاده مستقیم از ضایعات کشاورزی و یا اصلاح آن ضایعات باشد.

هدف این تحقیق ساخت جاذب با استفاده از الیاف نارگیل و عامل‌دار کردن سلولز طبیعی $(C_6H_{10}O_5)_n$ آن به روش شیمیایی EDM [۱۱] بدون انجام پیش عملیات جهت حذف مواد استخراج شدنی و لیگنین $(C_9H_{10}O_2, C_{10}H_{12}O_3, C_{11}H_{14}O_4)$ و هم‌چنین بررسی رفتار جاذب سنتز شده در حذف نیترات از آب می‌باشد.

۲- روش تحقیق

مواد مورد استفاده در این تحقیق شامل اتانول، N,N-dimethylformamide (DMF), epichlorhydrin, pyridine dimethylamine, HCl, و NaOH از شرکت Merck تهیه گردیدند.

مورفولوژی و ساختار جاذب توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی Cambridge 360 و پیوندهای شیمیایی ساختار جاذب توسط طیف‌سنجی مادون سرخ تبدیل فوریه (FT-IR, Perkin Elmer FTIR Spectrum RX I) مورد بررسی قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری pH از pH meter مدل Metrohm 827pH lab meter استفاده به عمل آمد. اندازه‌گیری غلظت نیترات در نمونه‌های واقعی به‌طور معمول با روش کروماتوگرافی یونی انجام می‌گیرد اما در این تحقیق به دلیل عدم حضور آنیون‌های دیگر در محلول از روش طیف‌سنجی نوری (T80+UV-Vis PG Instruments) و استاندارد (4500- NO₃-B) استفاده شد.

جهت اصلاح الیاف نارگیل با روش EDM، ابتدا الیاف نارگیل خریداری شده از بازار ریز شده و در دمای ۵۰°C به مدت ۲۴h قرار گرفتند. سپس ذرات به اندازه مش ۴۰ (حدود ۴۲۰ μm) با آسیاب عقیق خرد گردیدند. مقدار ۲/۵ g از ذرات فوق با ۲۵ mL اپی کلروهیدرین در

یکی از منابع عمده آلودگی آب آشامیدنی نیترات است که به دلیل پایداری و حلالیت بالایی که در آب دارد امکان حذف آن با روش‌های معمول به راحتی ممکن نمی‌باشد. یون نیترات و نیتريت به‌طور طبیعی در چرخه نیتروژن به وجود آمده و یون نیترات (NO_3^-) شکل پایدار این چرخه می‌باشد. نیتريت به‌طور معمول به سرعت به نیترات تبدیل می‌شود. اگرچه یون نیترات از نظر شیمیایی پایدار است اما بر اثر فعالیت میکروبی تحت شرایط بی‌هوازی می‌تواند به نیتريت یا (NO_2^-) کاهش یابد که حالت ناپایدار دارد. این ماده می‌تواند به ترکیب N-Nitroso تبدیل شود که به شدت سرطان‌زا است [۲۱]. حداکثر غلظت مجاز نیترات در آب آشامیدنی طبق سازمان بهداشت جهانی (WHO) و استاندارد ملی ایران $mg NO_3^-/L$ ۵۰ می‌باشد [۳].

روش‌های مختلفی از جمله روش تعویض یونی، اسمز معکوس، روش‌های شیمیایی، روش‌های زیستی، روش الکتروکواگولاسیون و روش جذب سطحی برای حذف نیترات به کار می‌رود [۴-۷]. در بین روش‌های مختلف، کاربرد روش جذب سطحی گسترده بوده و از آنجایی که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد، تحقیقات وسیعی بر روی این روش انجام می‌پذیرد [۸]. در این روش به‌طور معمول به عمل پس تصفیه نیازی نیست. درصد حذف با جاذب‌های مختلف متفاوت بوده و در صورت عدم توانایی جاذب به واجذب آلاینده، نیاز به دور ریز جاذب می‌باشد. روش جذب سطحی یکی از سه روشی است که به صورت درجا (in-situ) می‌تواند به کار گرفته شود [۹]. جاذب‌های سطحی به صورت‌های مختلفی دسته‌بندی می‌شوند به عنوان مثال جاذب‌های کربنی، جاذب‌های طبیعی مانند زئولیت‌ها، انواع کانی‌ها و رس، ضایعات کشاورزی: مانند باگاس چغندر قند، شلتوک برنج، پوست نارگیل و ضایعات دیگر، ضایعات صنعتی مانند گل قرمز، جاذب‌های زیستی مانند کیتوسان و پودر بامبو، جاذب‌های دیگر مانند نانوفلرات و ضایعات سیمان [۱۰]. همان‌گونه که اشاره شد یکی از روش‌هایی که جهت حذف نیترات مناسب می‌باشد استفاده از ضایعات کشاورزی و یا مواد طبیعی به عنوان جاذب می‌باشد. استفاده از ضایعات کشاورزی در

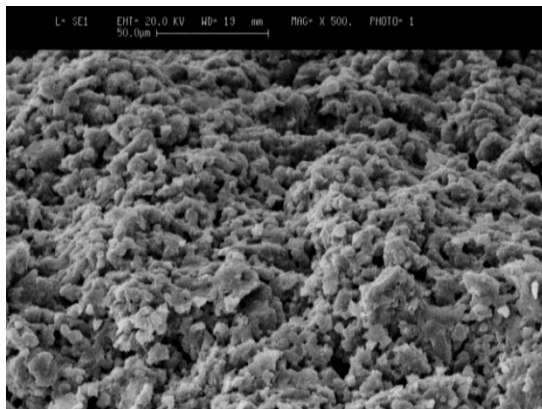
گیری گردید. جهت بررسی اثر درجه حرارت مقدار ۲۵ mL از محلول‌های ۶-۲۸ ppm نیترات در مجاورت ۵۰ mg از جاذب و در درجه حرارت‌های ۳۰۳ K، ۳۱۰ K، ۳۲۰ K قرار داده شده و پس از رسیدن به تعادل، غلظت نیترات اندازه‌گیری گردید.

۳- نتایج و بحث

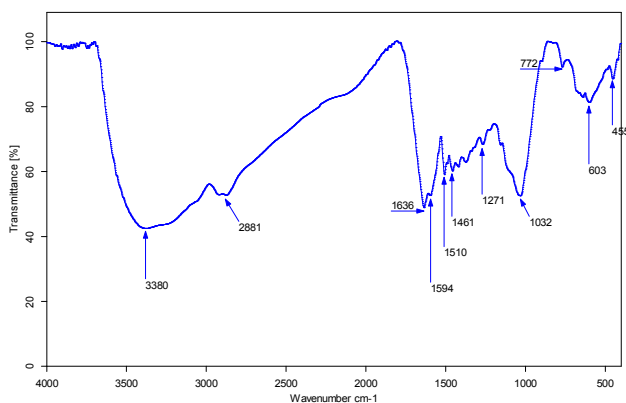
در این بخش به مشخصه‌یابی جاذب ساخته شده و نیز بررسی‌های سینتیکی، تعادلی و ترمودینامیکی فرآیند جذب سطحی نیترات پرداخته می‌شود.

۳-۱ مشخصه‌یابی جاذب

شکل ۲ تصویر SEM از ذرات جاذب را در بزرگنمایی ۵۰۰ نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود ذرات آگلومره بوده و سطح ذرات ناهموار و توزیع اندازه آنها به‌طور نسبی باریک به‌نظر می‌آید. همچنین وجود خلل و فرج بین ذرات آگلومره مشاهده می‌شود.



شکل ۲. تصویر SEM از ذرات جاذب (خط مقیاس معادل ۵۰ میکرومتر می‌باشد).



شکل ۳. طیف FTIR از ذرات جاذب.

۳۰ mL محلول DMF در دمای ۱۰۰°C به مدت ۱ h در حالی که بهم می‌خورد واکنش داد. سپس ۱۰ mL پیریدین جهت تسریع به نرخ ترکندگی و بسط پلیمر سلولز اضافه گردید. مخلوط برای ۱ h در دمای ۱۰۰°C هم‌زده شد. محصول واکنش با اتانول رقیق شده (اتانول:آب=۱:۱) در ۴۰°C شستشو شد تا نمک‌های پیریدین و اپی‌کلروهیدرین اضافی حذف گردد. سپس گروه‌های آمینی به محصول جانبی اپوکسی پروپیل پس از واکنش با ۲۵ mL محلول دی‌متیل‌آمین ۵۰٪ برای مدت ۳h و در حرارت ۱۰۰°C اضافه شد.

محصول واکنش دوباره با ۵۰۰ mL محلول ۵۰٪ اتانول و سپس با ۵۰۰ mL محلول NaOH (0.1 M) و ۵۰۰ mL محلول HCl (0.1 M) شستشو داده شد تا مواد اضافی حذف گردد. محصول سپس با مقدار زیادی آب مقطر در دمای ۵۰°C شستشو داده شده و تحت خلأ برای مدت ۲ h خشک گردید [۱۱]. ذرات حاصل در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.



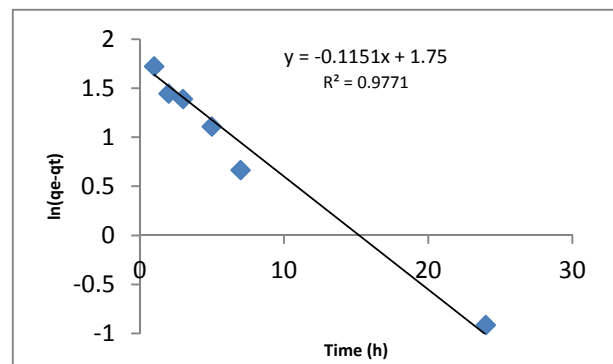
شکل ۱. الیاف خرد شده نارگیل قبل (راست) و بعد از فرآوری (چپ).

در آزمایش‌های فرآیند جذب سطحی جهت بررسی رفتار جاذب نسبت به زمان، مقدار ۲ mg/۱۰۰٪ از جاذب در ۵۰ mL از محلول ۲۰ ppm نیترات قرار داده شد و غلظت نیترات در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری گردید. جهت بررسی اثر وزن جاذب مقدار ۲۵ mL از محلول ۲۰ ppm نیترات در مجاورت ۲۴-۲۰ mg از جاذب قرار داده شده و پس از رسیدن به تعادل غلظت نیترات اندازه‌گیری گردید. در آزمایش‌های بررسی اثر غلظت اولیه نیترات، مقدار ۲۵ mL از محلول ۶-۲۸ ppm نیترات در مجاورت ۵۰ mg از جاذب قرار داده شده و پس از رسیدن به تعادل غلظت نیترات اندازه‌گیری گردید. در بررسی اثر pH در محدوده ۲/۵-۱۱/۷ مقدار ۲۵ mL از محلول ۲۰ ppm نیترات در مجاورت ۵۰ mg از جاذب قرار داده شده و pH محلول توسط سود و اسید کلریدریک M ۰,۱ تنظیم شد و پس از رسیدن به تعادل غلظت نیترات اندازه

جهت بررسی بنیان‌های شیمیایی از آنالیز FTIR استفاده شد. پیک پهن در 3380 cm^{-1} ناشی از ارتعاشات کششی گروه‌های هیدروکسیل و نیز N-H می‌باشد. پیک واقع در 2881 cm^{-1} را می‌توان به ارتعاشات کششی C-H و نیز به ارتعاشات گروه‌های متوکسی نسبت داد. پیک واقع در 1636 cm^{-1} می‌تواند توسط گروه C=O و پیک 1594 cm^{-1} می‌تواند ناشی از ارتعاشات خمشی N-H باشد. پیک واقع در 1461 cm^{-1} مربوط به ارتعاش خمشی C-H است. پیک واقع در 1271 cm^{-1} را می‌توان به ارتعاشات C-O گروه کربوکسیلیک اسید و پیک واقع در 1032 cm^{-1} را می‌توان به ارتعاشات C-O الکل اولیه و N-H₂ آمین اولیه نسبت داد [۱۲-۱۳].

۲-۳ سینتیک واکنش

داده‌های سینتیک با معادلات شبه‌درجه اول (شکل ۴)، شبه‌درجه دوم و نفوذ بین‌ذره‌ای برازش داده شدند که ضریب همبستگی (R^2) برای معادله شبه‌درجه اول و مدل نفوذ بین‌ذره‌ای نزدیک به یک بوده و ظرفیت جذب تعادلی محاسبه شده توسط معادله شبه‌درجه اول با ظرفیت جذب تعادلی حاصل از آزمایش تطابق خوبی نشان داد. لذا سینتیک فرآیند جذب از معادله شبه‌درجه اول به‌خوبی پیروی می‌نماید. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که در برازش داده‌های سینتیک با معادله نفوذ بین‌ذره‌ای، داده‌ها بر روی دو خط با شیب‌های مختلف قرار می‌گیرند که نشانگر این است که جذب در دو مرحله صورت می‌گیرد.



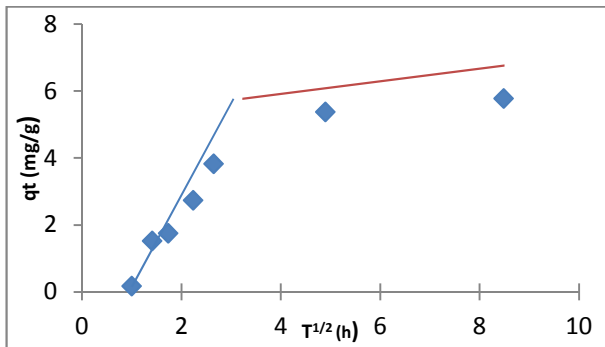
شکل ۴. برازش داده‌های سینتیک با معادله شبه‌مرتبه اول.

خط با شیب کمتر بیانگر تدریجی بودن واکنش و مربوط به نفوذ بین‌ذره‌ای است و نشان می‌دهد که نفوذ بین‌ذره‌ای کنترل‌کننده و خط با شیب بیشتر به جذب سطحی خارجی نسبت داده می‌شود که سریع‌تر است [۱۴]. در معادلات ذیل

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

$$q_t = \left(\frac{C_0 - C_t}{m}\right) V \quad \text{معادله (۲)}$$

در معادلات فوق، غلظت‌های نیترات در زمان‌های اولیه $t=0$ و t به ترتیب C_0 و C_t ، m جرم جاذب و V حجم محلول می‌باشند. پارامترهای سینتیک در جدول ۱ آورده شده اند که در آن k ثابت سرعت در معادله درجه اول، k_2 ($\text{g}/(\text{mg min})$) ثابت سرعت در معادله شبه‌درجه دوم می‌باشند و در مدل نفوذ بین‌ذره‌ای α (mg/g) ثابتی است که به ضخامت لایه مرزی مربوط شده و K_i ($\text{mg}/(\text{g min}^{0.5})$) ثابت سرعت می‌باشد.



شکل ۵. برازش داده‌های سینتیک با معادله بین‌ذره‌ای.

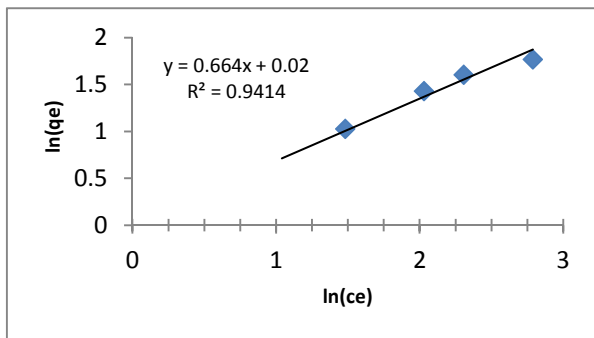
جدول ۱. ضرایب معادلات سینتیک جذب نیترات توسط جاذب.

Pseudo-First-order model $\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - kt$	q_e (mg/g)	K (min^{-1})	R^2
	۵,۷۷	۰,۱۱۵۱	۰,۹۷۷۱
Pseudo-second-order model $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$	q_e (mg/g)	K ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$)	R^2
	۷,۱	۰,۰۱	۰,۸۱
Intraparticle diffusion model $q_t = k_i t^{1/2} + \alpha$	K_i ($\text{mg/g min}^{0.5}$)	α (mg/g)	R^2
	۲,۰۷	۱,۷۵	۰,۹۷۷

۳-۳ اثر وزن جاذب

همان‌گونه انتظار می‌رود با افزایش وزن جاذب و به تبع آن افزایش مکان‌های جذب، غلظت تعادلی محلول کاهش یافته و نیترات بیشتری حذف می‌گردد (شکل ۶).

$0.1 < 1/n < 1$ نشانگر جذب مطلوب جذب شونده بر جاذب است [۱۴ و ۱۵] که در مورد جاذب مورد استفاده طبق جدول ۲ مقدار آن حدود ۰/۶۶ می باشد.



شکل ۹. برازش داده‌های تعادلی با معادله Freundlich.

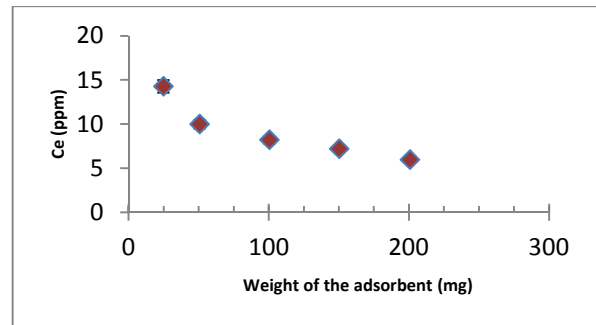
جدول ۲. ضرایب معادلات ایزوترم جذب.

Langmuir	q_{max} (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2
$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{max}} + \frac{1}{q_{max}K_L}$	۹,۷۸	۰,۰۹۵	۰,۹۸۵۷
Freundlich	n	K_F ((mg/g)(L/mg) ^{1/n})	R^2
$\ln(q_e) = \ln(k_F) + \frac{1}{n} \ln(C_e)$	۱,۵	۱,۰۲	۰,۹۶۵۲

جدول ۳. ظرفیت جذب برخی از جاذب های مختلف.

مرجع	ظرفیت (mg/g) جذب	جاذب
[۱۶]	۱۰,۳	کربن فعال حاصل از الیاف نارگیل فرآوری شده با $ZnCl_2$
[۱۷]	۱۰,۲۶	کربن فعال گرانولی نارگیل فرآوری شده با $ZnCl_2$
[۱۸]	۱,۱۰	زغال ساقه گندم
[۱۹]	۰,۸	کربن فعال تجاری
[۲۰]	۳,۴۶	سپیولیت
[۲۱]	۹,۹۲	کربن فعال حاصل از میوه کاج
[۱۹]	۱,۱۲	پودر زغال بامبو
[۱۸]	۱,۳۰	زغال ساقه خردل
-	۹,۷۸	کار حاضر

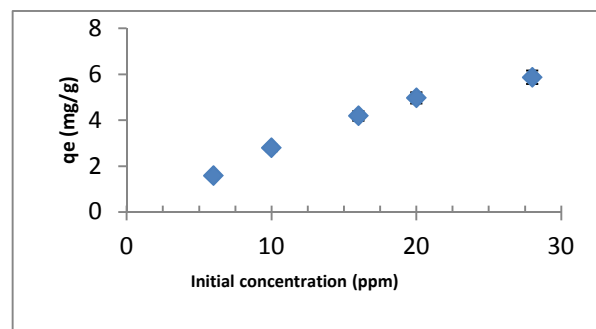
همین‌طور در مدل Langmuir پارامتر q_{max} (mg/g) بیشینه ظرفیت جذب و k_L (L/mg) ثابتی است که به انرژی جذب سطحی مربوط است. این ثابت‌ها از شیب و عرض از مبدا منحنی به دست می‌آیند. همان‌گونه که در جدول بالا مشاهده می‌شود ضریب همبستگی برای مدل Langmuir که



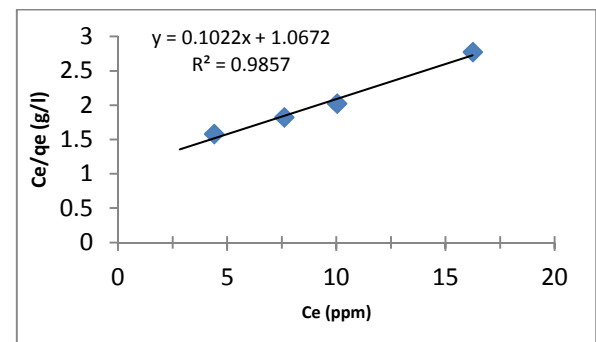
شکل ۶. تغییرات غلظت محلول نیترات با وزن جاذب.

۳-۴ اثر غلظت اولیه نیترات

همان‌گونه که از شکل ۷ مشهود است ظرفیت جذب جاذب با افزایش غلظت نیترات افزایش یافته است. داده‌های تعادلی محلول‌های نیترات و برازش آنها با ایزوترم‌های Langmuir و Freundlich در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده‌اند. هم‌چنین ضرایب این معادلات در جدول ۲ فهرست شده است. مدل اول برپایه جذب تک‌لایه بوده و در آن مکان های جذب معادل فرض می‌شوند و در مدل دوم، سطح نا همگن و با مکان‌های ناهمگن جذب فرض می‌گردد.



شکل ۷. تغییرات ظرفیت جذب با غلظت اولیه نیترات.



شکل ۸. برازش داده‌های تعادلی با معادله Langmuir.

در این معادلات K_F و n ثابت‌های Freundlich و به ترتیب مربوط به ظرفیت و شدت جذب سطحی هستند. مقدار $1/n$ به ناهمگنی سطح جذب مربوط می‌شود. مقادیر

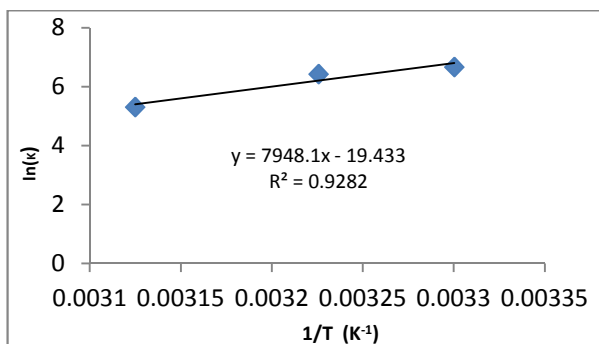
تعادلی می‌باشند. وقتی که غلظت جذب‌شونده نزدیک به صفر می‌شود، ضریب فعالیت به یک میل می‌کند. لذا برای محاسبه K مقادیر تئوری q_e و C_e می‌توانند از مدل‌های مناسب ایزوترم در درجه حرارت‌های مختلف به‌دست آمده و در محاسبات استفاده شوند [۲۲ و ۲۳].

تغییرات انتالپی استاندارد (ΔH°) و انتروپی استاندارد (ΔS°) جذب سطحی از شیب و عرض از مبدا منحنی Van't Hoff، ($\ln(K)$ versus $1/T$)، به‌دست می‌آیند (شکل ۱۱):

$$\ln(K) = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \quad \text{معادله (۵)}$$

ثابت جهانی گاز R (8.314 J/mol K) و T درجه حرارت مطلق (K) است. تغییرات انرژی آزاد استاندارد ΔG° جذب سطحی با استفاده از معادله ذیل به‌دست می‌آید:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln(K) \quad \text{معادله (۶)}$$



شکل ۱۱. منحنی Van't Hoff

در جدول ۴ مقادیر منفی انرژی آزاد گیبس نشانگر جذب سطحی خودبه‌خودی است. علامت منفی تغییرات انتالپی استاندارد نشانگر طبیعت گرمزای فرآیند جذب سطحی و تغییرات منفی انتروپی استاندارد نشان‌دهنده کاهش بی‌نظمی در فصل مشترک جامد-مایع در این فرآیند می‌باشد [۲۴].

جدول ۴. پارامترهای ترمودینامیکی جذب.

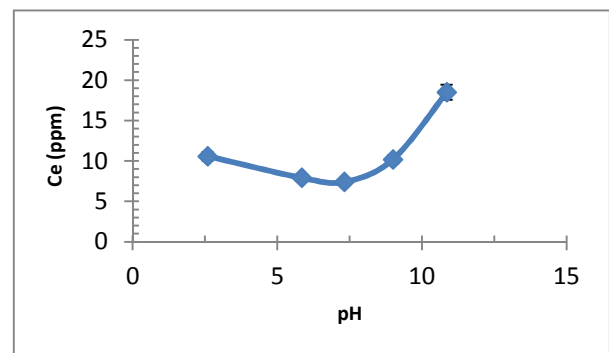
T(K)	Ln(K)	ΔG_0 (kJ/mol)	ΔH_0 (kJ/mol)	ΔS_0 J/(mol K)
۳۰۳	۶,۶۷	-۱۶,۸۰		
۳۱۰	۶,۴۳	-۱۶,۵۷	-۶۶,۰۸	-۱۶۱,۵
۳۲۰	۵,۳۱	-۱۴,۱۲		

مبتنی بر جذب تک‌لایه است بیشتر می‌باشد. جذب بیشینه توسط این معادله در حدود ۹,۷۸ mg/g محاسبه می‌گردد.

جدول ۳ ظرفیت جذب برخی از جاذب‌های به‌دست آمده از منابع طبیعی را در مقایسه با جاذب ساخته شده نشان می‌دهد.

۵-۳ اثر pH

شکل ۱۰ تغییرات غلظت تعادلی محلول را نسبت به تغییرات pH نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بالاترین میزان جذب نیترات در pHهای خنثی ۷~ اتفاق افتاده که از نظر کاربردی مطلوب می‌باشد. هم‌چنین غلظت بالای نیترات در pHهای بالا، نتایج واجذب را نیز تایید می‌نماید. در pHهای بالا شاید سطح جاذب منفی شده و دافعه الکترواستاتیکی بین سطح جاذب و آنیون نیترات باعث کاهش و در نهایت توقف جذب سطحی می‌گردد.



شکل ۱۰. اثر pH بر جذب نیترات توسط جاذب.

۶-۳ اثر درجه حرارت

پارامترهای ترمودینامیکی جذب مانند تغییرات انرژی آزاد گیبس استاندارد (ΔG°)، تغییرات انتالپی استاندارد (ΔH°)، و تغییرات انتروپی استاندارد (ΔS°) می‌توانند با تغییر ثابت تعادلی ترمودینامیکی K ، در درجه حرارت‌های مختلف تعیین گردند. مقدار K از رابطه ذیل به‌دست می‌آید:

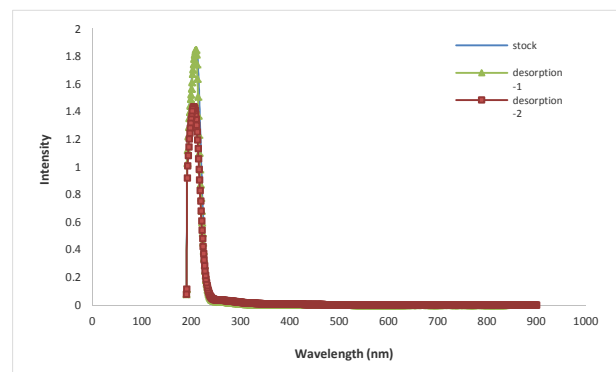
$$K = \frac{a_s}{a_e} = \frac{v_s q_e}{v_e C_e} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$\lim_{C_e \rightarrow 0} \frac{q_e}{C_e} = \frac{a_s}{a_e} = K \quad \text{معادله (۴)}$$

که C_e (mg/g) و q_e (mg/g) به ترتیب مقادیر نیترات جذب شده بر سطح جاذب و در محلول تعادلی، a_s فعالیت جزء جذب شده و a_e فعالیت جذب‌شونده در محلول تعادلی و v_s و v_e ضرایب فعالیت جزء جذب شده و جذب‌شونده در محلول

۷-۳ بررسی واجذب نیترات

جهت انجام آزمایش واجذب، یک نمونه استفاده شده در آزمایش جذب (۱۵۰ mg) جاذب در ۲۵ mL محلول ppm (۵۰) در ۲۵ mL محلول (0.1 M) NaOH قرار داده و به مدت ۱۰ min در شیکر در دمای ۲۵°C تکان داده شد. نتایج طیف جذب نوری نشان داد که نیترات جذب شده تقریباً به طور کامل واجذب گشته به طوریکه طیف واجذب بر روی طیف محلول اولیه قرار گرفت (شکل ۱۲). پس از شستشوی جاذب دوباره آنرا در ۲۵ mL محلول ۵۰ ppm نیترات قرار داده تا جذب مجدد نیترات توسط جاذب مستعمل در سیکل دوم بررسی گردد. همانگونه که در شکل ۱۲ دیده می شود واجذب سیکل دوم هم نزدیک به سیکل اول بوده (در حدود ۹۳٪) و جاذب در سیکل دوم هم کارآیی خودش را به طور عمده حفظ نموده است.



شکل ۱۲. طیف جذب نوری محلول اولیه، واجذب سیکل اول و واجذب سیکل دوم.

۴ - نتیجه گیری

الیاف نارگیل در واکنش با اپی کلروهیدرین و دی متیل آمین در حضور پیریدین و DMF، اصلاح و از آن به عنوان جاذب در حذف نیترات استفاده شد. در این راستا اثر پارامترهای مختلف در فرآیند جذب سطحی از قبیل اثر زمان، وزن جاذب، غلظت اولیه نیترات، pH و درجه حرارت در حذف نیترات مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از معادله Langmuir جذب بیشینه جاذب حدود ۹/۷۸ mg/g محاسبه گردید. از مزایای جاذب فوق جداسازی آسان آن از محلول، قابلیت استفاده مجدد از آن و نیز عملکرد خوب آن در محدوده pH خنثی می باشد.

قدردانی

مولفین از پژوهشگاه مواد و انرژی جهت حمایت مالی و فراهم نمودن تسهیلات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی می نمایند.

مراجع

- Dellavalle, C.T Xiao, Q., Yang, G., Shu, X.O., Aschebrook-Kilfoy, B., Zheng, W., Lan Li, H., Ji, B.T., Rothman, N., Chow, W.H., Gao, Y.T., Ward, M.H., Dietary nitrate and nitrite intake and risk of colorectal cancer in the Shanghai Women's Health Study, *International Journal of Cancer*, 134(12) (2014) 2917-2926.
- Gangolli, S.D., van den Brandt, P.A., Feron, V.J., Janzowsky, C., Koeman, J.H., Speijers G.J.A., Spiegelhalter, B., Walker, R., Wishnok, J.S., Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds, *European Journal of Pharmacology*, 292 (1994) 1-38.
- Loganathan, P., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., Enhanced removal of nitrate from water using surface modification of adsorbents: a review, *Journal of Environmental Management*, 131 (2013) 363-374.
- Tyagi, S., Rawtani, D., Khatri, N., Tharmavaram, M., Strategies for Nitrate removal from aqueous environment using Nanotechnology: A Review, *Journal of Water Process Engineering*, 21 (2018) 84-95.
- Mautner, A., Kobkeathawin, T., Bismarck, A., Efficient continuous removal of nitrates from water with cationic cellulose nanopaper membranes, *Resource-Efficient Technologies*, 3(1) (2017) 22-28.
- González Pérez, O., Bisang, J.M., Removal of nitrate using an activated rotating cylinder electrode, *Electrochimica Acta*, 194 (2016) 448-453.
- Lado, J.J., Pérez-Roa, R.E., Wouters, J.J., Tejedor-Tejedor, M.I., Federspill, C., Ortiz, J.M., Anderson, M.A., Removal of nitrate by asymmetric capacitive deionization, *Separation and Purification Technology*, 183 (2017) 145-152.
- Petrov, N., Budinova, T., Razvigorova, M., Minkova, V., Vigouroux, R.A.Z., Björnbom, E., Preparation of activated carbons from cherry stones, apricot stones and grape seeds for removal of metal ions from water, Conference paper, (1999) 46-50.
- Della Rocca, C., Belgiorio, V., Meric, S., Overview of in-situ applicable nitrate removal processes, *Disalination*, 204 (2007) 46-62.
- Bhatnagar, A., Sillanpää, M., A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water, *Chemical Engineering Journal*, 168(2) (2011) 493-504.
- Orlando, U.S., et al., Preparation of agricultural residue anion exchangers and its nitrate maximum adsorption capacity *Chemosphere*, 2002. 48: p. 1041-1046.
- Biswas, S., Mishra, U., Continuous Fixed-Bed Column Study and Adsorption Modeling: Removal of Lead Ion from Aqueous Solution by Charcoal Originated from Chemical Carbonization of Rubber Wood Sawdust, *Journal of Chemistry*, 2015 (2015) 1-9.
- Etim, U.J., Umoren, S.A., Eduok, U.M., Coconut coir dust as a low cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution, *Journal of Saudi Chemical Society*, 20 (2016) S67-S76.

14. Li, Y., Du, Q., Liu, T., Sun, J., Wang, Y., Wu, S., Wang, Z., Xia, Y., Xia, L., Methylene blue adsorption on graphene oxide/calcium alginate composites, *Carbohydrate Polymers*, 95(1) (2013) 501-507.
15. Unnithan Maya R., Anirudhan, T.S., The Kinetics and Thermodynamics of Sorption of Chromium(VI) onto the Iron(III) Complex of a Carboxylated Polyacrylamide-Grafted Sawdust, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40 (2001) 2693-2701.
16. Namasivayam, C., Sangeetha, D., Removal and recovery of nitrate from water by ZnCl₂ activated carbon from coconut coir pith, and agricultural solid waste, *Indian Journal of Chemical Technology*, 12 (2005) 513-521.
17. Bhatnagar, A., Ji, M., Choi, Y.H., Jung, W., Lee, S.H., Kim, S.J., Lee, G., Suk, H., Kim, H.S., Removal of Nitrate from Water by Adsorption onto Zinc Chloride Treated Activated Carbon, *Separation Science and Technology*, 43(4) (2008) 886-907.
18. Mishra, P.C., Patel, R.K., Use of agricultural waste for the removal of nitrate-nitrogen from aqueous medium, *Journal of Environmental Economics and Management*, 90(1) (2009) 519-522.
19. Mizuta, K., Matsumoto, T., Hatate, Y., Nishihiar, K., Nakanishi, T., Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal, *Bioresource Technology*, 95(3) (2004) 255-257.
20. Öztürk, N.B., Ennil, T., Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials, *Journal of Hazardous Materials*, 112(1) (2004) 155-162.
21. Nunell, G.V., Fernandez, M.E., Bonelli, P.R., Cukierman, A.L., Nitrate uptake improvement by modified activated carbons developed from two species of pine cones, *Journal of Colloid and Interface Science*, 440 (2015) 102-108.
22. Duranoğlu, D., Trochimczuk, A.W., Beker, U., Kinetics and thermodynamics of hexavalent chromium adsorption onto activated carbon derived from acrylonitrile-divinylbenzene copolymer, *Chemical Engineering Journal*, 187 (2012) 193-202.
23. Khan, A.A., Singh, R.P., Adsorption Thermodynamics of Carbofuran, *Colloids and Surfaces*, 24 (1987) 33-42.
24. Yasemin, B., Zeki, T., Removal of heavy metals from aqueous solution by sawdust adsorption, *Journal of Environmental Sciences*, 19 (2007) 160-166.