

Dor: [20.1001.1.20089597.1400.12.23.16.6](https://doi.org/10.1001.1.20089597.1400.12.23.16.6)

بررسی کارایی نانوکیتوزان در حذف تولوئن از محلول‌های آبی

رقیه مطلبی^۱، حسن رضائی*^۲، سید علی اکبر هدایتی^۳، علی کردرستمی^۴

۱ کارشناسی ارشد آلودگی‌های محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۲ دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۳ دانشیار گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۴ کارشناسی ارشد بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست، گروه شیمی، شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷)

چکیده

اکتشاف، استخراج و بهره‌برداری از منابع نفتی در کشورهای نفت‌خیز مانند ایران با وجود فواید بسیار، موجب بروز مشکلات محیط‌زیستی متعددی شده است. یکی از مهم‌ترین این معضلات آلودگی منابع آب با ترکیبات نفتی است. یکی از رایج‌ترین روش‌های حذف آلاینده‌ها از محلول‌های آبی جذب سطحی است. در حال حاضر تحقیق روی جاذب‌های ارزان با قابلیت بالای حذف آلاینده از نظر اقتصادی حایز اهمیت است. در این پژوهش کارایی نانوکیتوزان برای حذف تولوئن از محلول‌های آبی با روش جذب سطحی در مقیاس آزمایشگاهی با اثر عامل‌های pH، غلظت اولیه محلول تولوئن، دوز جاذب و زمان تماس بررسی شد. مقادیر غلظت تولوئن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر-UV Vis Array مدل Photonix Ar 2015 در طول موج ۲۰۶ نانومتر آنالیز گردید. نتایج نشان داد میزان جذب تولوئن با افزایش pH، افزایش دوز جاذب و افزایش زمان تماس نسبت عکس و با افزایش غلظت نسبت مستقیم دارد. با توجه به نتایج مقدار بهینه جذب تولوئن در pH برابر ۵، غلظت ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر، دوز جاذب ۰/۰۱ گرم بر لیتر و زمان تماس ۵ دقیقه تعیین شد. یافته‌های تحقیق نشان داد که جاذب نانو کیتوزان کارایی بالایی در جذب تولوئن از محلول‌های آبی دارد.

کلید واژه‌ها: تولوئن، جذب سطحی، آلودگی نفتی، نانوکیتوزان

سرآغاز

وجود آلاینده‌های مختلف آلی در محیط‌های آبی در سال‌های اخیر به یک مساله محیط‌زیستی تبدیل شده است (Xu et al., 2013). ترکیبات آلی فرار از جمله تولوئن، به دلیل سمیت بالا از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین آلاینده‌های موجود در محیط‌های آبی هستند. تولوئن با فرمول شیمیایی $C_6H_5CH_3$ مایعی شفاف و بی‌رنگ، قابل اشتعال و خوش‌بو است. تولوئن به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک ماده خام صنعتی و به‌عنوان حلال استفاده می‌شود. این ماده در صنایع تولید پلاستیک، شیشه نوشابه، داروسازی، جوهر و وسایل آرایشی، رنگ ساختمان، دخانیات، چسب، مواد شوینده و پاک‌کننده، آبکاری و لاک به‌کار می‌رود. همچنین به منظور افزایش عدد اکتان و به‌عنوان ماده مکمل به بنزین اضافه می‌شود. تولوئن در فرایند تولید بنزین و سوخت‌های دیگر از نفت خام و همچنین در تولید کک از زغال سنگ و به‌عنوان یک محصول جانبی هنگام تولید استایرن، تولید می‌شود. منابع متحرک، سوخت خودروها و جایگاه‌های سوخت‌گیری عامل انتشار تولوئن هستند. بیشترین تأثیرات تولوئن روی سیستم عصبی مرکزی مغز انسان و حیوانات است. تولوئن به‌وسیله اختلال در سیستم تنفسی سبب آریتمی قلبی شده و حتی این عارضه باعث مرگ می‌شود. به‌طور کلی اکثر عوارض ناشی از تماس با تولوئن مانند بی‌خوابی، سرگیجه در اثر قطع تماس از بین می‌رود ولی تماس مستمر باعث ایجاد اختلالات دائمی می‌گردد (Qin et al., 2017). امروزه مشکلات متعددی در زمینه تصفیه آب وجود دارد و روش‌های متداول جابجایی نیازهای ما در این زمینه نبوده و ضعف و کاستی‌هایی دارد. بنابراین، باید در صدد رفع این کاستی‌ها برآمد. مطالعه حاضر نگاهی بر آن دارد تا با استفاده از نانو تکنولوژی مشکلات رایج در زمینه آب‌های سطحی، زیرزمینی و پساب‌ها را برطرف کند. نانو تکنولوژی مهندسی و مهارت استفاده از مواد در مقیاس نانو (۱۰-۱۰۰ nm) است (Hossein Shahi Bandari, 2012). هر چند جاذب‌های دیگر مانند کربن فعال هنوز به‌عنوان متداول‌ترین جاذب مورد توجه است. امروزه کیتوزان به دلیل مزایایی همچون فراوانی، زیست تخریب‌پذیری، قابلیت تجدیدپذیری، قابلیت جذب کاتیون‌ها و آنیون‌های فلزی، ظرفیت بالا برای جذب آلاینده‌های موردنظر، ارزان قیمت بودن و عملکرد مناسب برای حذف آلاینده‌ها، امروزه برای تصفیه آب و

فاضلاب بسیار مورد توجه قرار گرفته است (He et al., 2014). کیتوزان مشتقی از کیتین است. تعداد گروه‌های استیل موجود روی زنجیر پلیمر، تفاوت این دو پلیمر را مشخص می‌کند. پلیمری که صد در صد گروه‌های آمین آن استیل‌دار شده باشد را کیتین و پلیمری بدون گروه‌های آمیدی (صد در صد گروه آمین) را کیتوزان می‌نامند (Tuyserkani & Honesty, 2012). نانوذرات کیتوزان به دلیل خاصیت پلی‌کاتیونی می‌توانند با نانوذرات دیگر که دارای بار منفی هستند پیوند الکترواستاتیکی و دیگر پیوندهای شیمیایی دهند که از این طریق سبب تولید نانو پلیمر می‌شوند. تشکیل این نانو پلیمرها منجر می‌شود تا فضای موجود بین نانوکامپوزیت‌ها نسبت به حالت انفرادی کاهش یابد و خصوصیات کاربردی این نانو پلیمرها را افزایش می‌دهد (He et al., 2014). در مقایسه با سایر مواد منعقد کننده، نانو کیتوزان چگالی بار بالایی دارد. چگالی بار این پلیمر با بالا رفتن جذب سطحی این پلیمر افزایش می‌یابد که این موضوع بر ناپایداری سازی سریع ذرات دلالت می‌کند. نانو کیتوزان همچنین می‌تواند به‌عنوان یک ماده سازگار با طبیعت برای تصفیه فاضلاب به‌کار گرفته شود (Olivera et al., 2016). در این مطالعه کاربرد نانو کیتوزان برای حذف تولوئن از محلول‌های آبی در سیستم ناپیوسته بررسی شد. اندازه و دوز نانو کیتوزان به‌عنوان یک جاذب، پارامترهای مهمی برای فرآیند جذب سطحی است. این فاکتورها ظرفیت جاذب را برای غلظت اولیه داده شده از ماده جذب شونده تعیین می‌کنند. سایر پارامترها همچون pH، غلظت اولیه محلول و زمان تماس اندازه‌گیری شد. هدف از این مطالعه تعیین مکانیسم حذف آلاینده توسط جاذب نانو کیتوزان برای نخستین بار به‌عنوان یک جاذب طبیعی و سازگار با محیط زیست و ارزان قیمت نسبت به سایر جاذب‌ها است. نتیجه این تحقیق می‌تواند در راستای پاک‌سازی آب‌های آلوده به ترکیبات نفتی از جمله ترکیبات آروماتیک به منظور جلوگیری از انتقال این ترکیبات به محیط‌زیست و موجودات زنده بسیار مفید واقع گردد.

مواد و روش‌ها

مواد

اسید کلریدریک (HCL)، سدیم هیدروکسید (NaOH) و تولوئن ($C_6H_5CH_3$) از شرکت مرک آلمان (MerkGermany) تهیه شد. همچنین کیتوزان مورد استفاده در این تحقیق با کد

۲۰۶ نانومتر قرائت گردید (Wibowo et al., 2007). از آب مقطر دیونیزه به عنوان شاهد استفاده شد.

شناسایی ۱۰۴۵۶۴ از شرکت Sigma-Aldrich آمریکا تهیه شد و سپس با روش مکانیکی تبدیل به نانو کیتوزان شد.

روش

تولید نانو کیتوزان

برای تهیه نانو ذرات کیتوزان مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم از کیتوزان (ساخت شرکت سیگما آلدریج آمریکا) در ۵۰ میلی‌لیتر محلول استیک اسید ۱٪ حل شد و به مدت ۲۵ دقیقه روی همزن مغناطیسی با دور ۱۰۰۰ rpm در دمای محیط هم زده شد تا محلول کاملاً شفاف شود. سپس محلول به مدت ۲۴ ساعت در التراسونیک قرار گرفت و پس از آن pH محلول با استفاده از محلول‌های رقیق NaOH و HCl روی عدد ۵ تنظیم شد و سپس از فیلتر ۰/۲ میکرون عبور داده شد. برای جداسازی نانو کیتوزان از سانتریفیوژ و فریز درایر استفاده شد.

تهیه محلول‌های تولوئن

برای تهیه محلول مادری تولوئن به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر، مقدار ۱/۱۵ میلی‌لیتر از تولوئن را در بالن ژوژه ۱۰۰۰ میلی‌لیتر ریخته و با آب مقطر دیونیزه به حجم رسانده شد. به منظور حل کردن کامل تولوئن در آب، محلول مادری به مدت ۶۰ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. سایر محلول‌های موردنظر با غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر از رقیق سازی محلول مادری تهیه شد. برای تنظیم pH از محلول‌های NaOH و HCl با استفاده از دستگاه pH متر مدل AZ86P3 ساخت کشور تایوان استفاده شد.

روش اندازه گیری تولوئن

برای اندازه گیری غلظت تولوئن ابتدا نمونه‌ها با غلظت مورد نظر از محلول مادری تهیه و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. pH نمونه‌ها بین ۳ تا ۸ تنظیم و مقدار مشخصی از جاذب (۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ گرم) به آن‌ها اضافه گردید. سپس به مدت ۶۰ دقیقه درون شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه و پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفیوژ با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. غلظت تولوئن با دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis Array مدل Photonix Ar 2015 در طول موج

رسم منحنی کالیبراسیون

برای رسم منحنی کالیبراسیون محلول‌های استاندارد تولوئن در محدوده ۴۵-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر از محلول مادری تهیه شد. ابتدا از نمونه شاهد تهیه شده برای صفر کردن دستگاه اسپکتروفوتومتر استفاده شد. سپس میزان جذب محلول‌های تهیه شده از رقیق به غلیظ با استفاده از سل‌های کوارتز در طول موج ۲۰۶ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت گردید.

آنالیز داده‌های جذب تولوئن در سیستم ناپیوسته

درصد حذف تولوئن در هر آزمایش با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{درصد حذف} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

در این رابطه C_0 و C_e به ترتیب، غلظت اولیه و غلظت نهایی تولوئن بر حسب میلی‌گرم بر لیتر است.

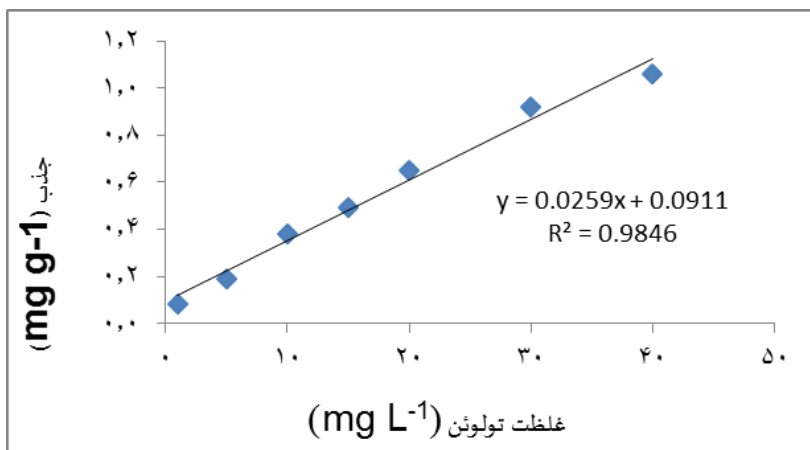
نتایج

بهینه سازی عوامل موثر بر جذب تولوئن

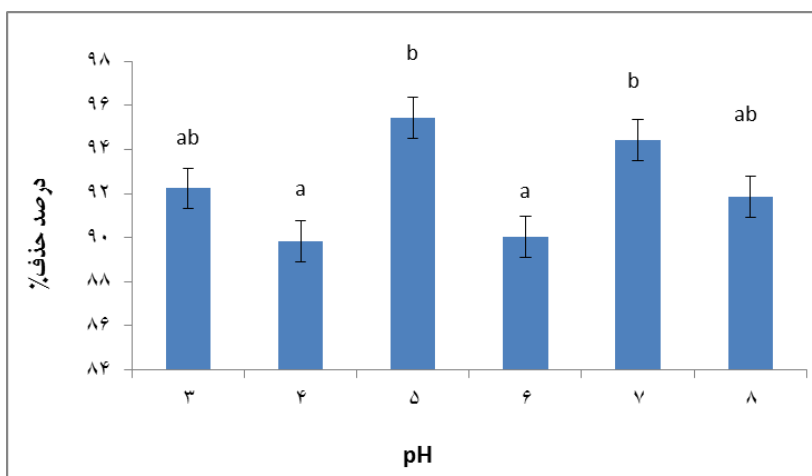
به منظور تعیین غلظت تولوئن در اسپکتروفوتومتری منحنی کالیبراسیون در غلظت‌های ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر برای تولوئن در شکل (۱) رسم گردید.

اثر pH محلول

اثر pH های مختلف (۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸) روی میزان جذب تولوئن تحت تاثیر غلظت اولیه ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان ۰/۱ گرم نانو کیتوزان، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و زمان تماس ۶۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تاثیر pH بر روی جذب تولوئن نشان داد بیش‌ترین درصد حذف در این مرحله در pH= ۵ برابر با ۹۵/۴۴ درصد به دست آمد. با توجه به شکل (۲) آزمون تاثیر pH های مختلف بر درصد حذف نشان داد که سطوح مختلف pH اثر معنی‌داری بر بازده جذب دارند ($p < 0/05$) که بیانگر تفاوت معنی‌دار در انتخاب بالاترین کارایی pH است.



شکل (۱): منحنی کالیبراسیون تولوئن. میزان جذب تولوئن در غلظت‌های ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر



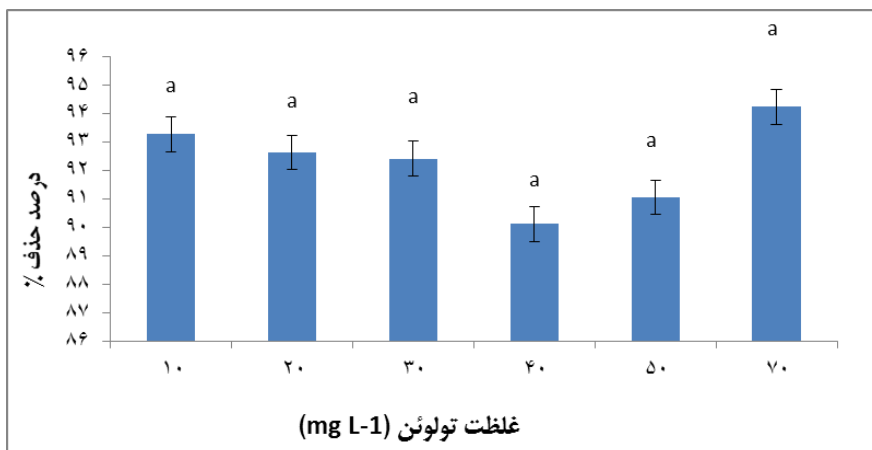
شکل (۲): نمودار تاثیر pH بر درصد حذف تولوئن. غلظت اولیه ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان ۰/۱ گرم نانو کیتوزان، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و زمان تماس ۶۰ دقیقه

اثر دوز جاذب

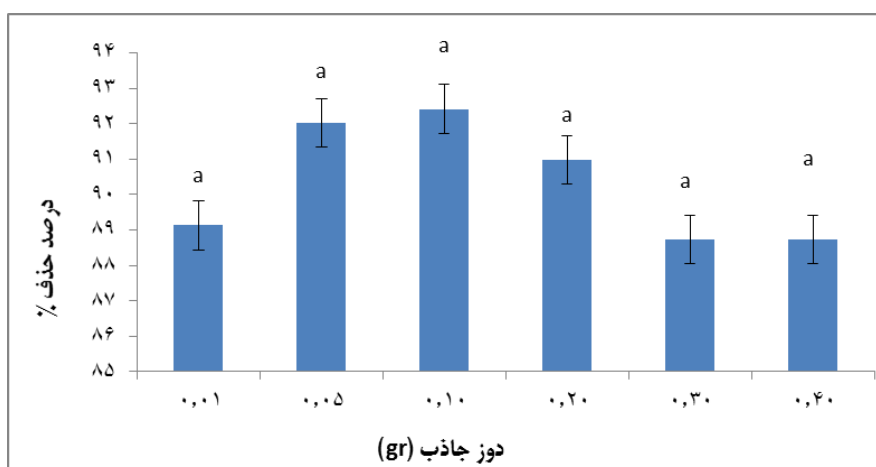
برای بررسی اثر مقادیر مختلف جاذب روی میزان جذب تولوئن، با در نظر گرفتن کمترین مقدار جاذب که می‌تواند بیش‌ترین میزان جذب را داشته باشد، محدوده مقدار نانو کیتوزان از ۰/۱ تا ۰/۴ گرم در غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تولوئن، pH=۵، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد با افزایش دوز جاذب با رسوب کردن نانو کیتوزان راندمان جذب تولوئن کاهش می‌یابد. بررسی عددی داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین درصد حذف تولوئن در دوز ۰/۱ گرم برابر با ۹۲/۴۱ درصد برای نانو کیتوزان بوده است.

اثر غلظت اولیه محلول تولوئن

تاثیر غلظت اولیه تولوئن در محدوده ۱۰ تا ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر، در pH=۵، میزان جاذب ۰/۱ گرم، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل (۳) نتایج تاثیر غلظت‌های مختلف تولوئن بر درصد حذف نشان داد که غلظت‌های مختلف اثر معنی‌داری بر درصد حذف ندارند ($p > 0.05$). هرچند بررسی عددی داده‌ها نشان داد بیش‌ترین درصد حذف مربوط به غلظت ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر تولوئن بوده است (۹۴/۲۴).



شکل (۳): نمودار اثر غلظت‌های اولیه تولوئن بر درصد حذف آن. pH=۵، میزان جاذب ۰/۱ گرم، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه



شکل (۴): نمودار اثر دوز جاذب بر درصد حذف تولوئن. غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تولوئن، pH=۵، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه

آن در زمان ۹۰ دقیقه برابر با ۸۷/۲۱ درصد است.

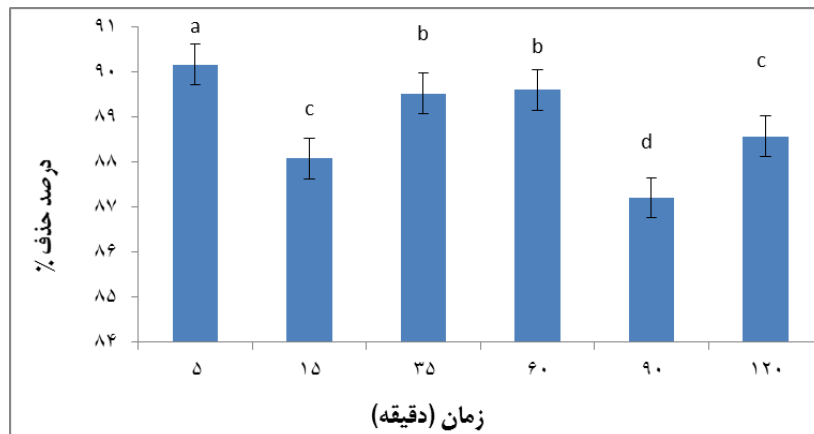
اثر زمان تماس

اثر زمان تماس روی درصد حذف تولوئن در محدوده ۵ تا ۱۲۰ دقیقه در pH=۵، غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان نانو کیتوزان ۰/۱ گرم و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. بررسی آماری نتایج زمان‌های مختلف بر درصد جذب نشان داد که زمان‌های مختلف اثر معنی‌داری بر بازده جذب دارند ($p < 0.05$). با توجه به شکل (۵) بیش‌ترین درصد حذف تولوئن در ۵ دقیقه اول صورت گرفته گرفته است (۹۰/۱۷ درصد). بر اساس نمودار شکل زیر با گذشت زمان درصد حذف در زمان ۳۵-۶۰ دقیقه به حالت تعادل رسیده است. مشاهده می‌شود پس از زمان ۶۰ دقیقه درصد حذف روند نزولی داشته و کمترین مقدار

بحث و نتیجه‌گیری

اثر pH محلول

میزان pH محیط جاذب یکی از عوامل کلیدی و تاثیر گذار در راندمان جذب سطحی آلاینده‌ها توسط جاذب‌ها است و بر بار سطحی جاذب، یونیزاسیون مواد و تفکیک گروه‌های عاملی بر روی مکان‌های فعال سطح جاذب تاثیر دارد (Jabbar et al., 2014). کیتوزان پلیمری است که در یک محیط اسیدی بهترین عملکرد را از خود نشان می‌دهد (Corami et al., 2008). در pH های پایین بار جاذب مثبت بوده و یک تبادل الکترون در



شکل (۵): نمودار اثر زمان تماس بر درصد حذف تولوئن. pH=۵، غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان نانو کیتوزان ۰/۱ گرم و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

بازدارنده انتقال جرم ماده بین فاز جامد و مایع است. افزایش درصد حذف با افزایش غلظت آلاینده می‌تواند به دلیل افزایش احتمال برخورد و تماس بین تولوئن با جاذب نانو کیتوزان باشد. (Mohamed & Ouki, 2011) اثر غلظت اولیه بر حذف تولوئن با استفاده از کیتین و کیتوزان را بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت اولیه تولوئن درصد حذف نیز به دلیل افزایش نیروی محرکه بین آلاینده و جاذب افزایش می‌یابد و پس از غلظت معینی به حالت تعادل می‌رسد. نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد با افزایش غلظت اولیه تولوئن درصد حذف نیز افزایش می‌یابد. بیش‌ترین درصد حذف برای تولوئن در غلظت ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر برابر با ۹۴/۲۴ درصد است.

اثر دوز جاذب

برای بررسی اثر مقادیر مختلف جاذب روی میزان جذب تولوئن، با در نظر گرفتن کم‌ترین مقدار جاذب که می‌تواند بیش‌ترین میزان جذب را داشته باشد، محدوده مقدار نانو کیتوزان از ۰/۱ تا ۰/۴ گرم در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد با افزایش دوز جاذب با رسوب کردن نانو کیتوزان راندمان جذب تولوئن کاهش می‌یابد. بررسی عددی داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین درصد حذف تولوئن در دوز ۰/۱ گرم برابر با ۹۲/۴۱ درصد برای نانو کیتوزان بوده است. با توجه به ثابت بودن غلظت آلاینده، افزایش دوز جاذب سبب افزایش مکان‌های جذب شده و از این رو سبب کاهش غلظت آلاینده شده است (El-Naas et al., 2010). هر چند انتظار می‌رود در دوزهای ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ گرم نانو کیتوزان،

بین جاذب و حلقه آروماتیکی فنل، بنزن و تولوئن رخ می‌دهد و سبب افزایش نیروی جذب بین جاذب و جذب شونده می‌گردد (Ghafourian & Asadi Mazdi, 2011).

(Shakeri et al., 2016) اثر pH را در محدوده بین ۲ تا ۱۲ بر روی حذف ترکیبات BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلین) در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با استفاده از بیو سورفاکتانت بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش pH از ۷ به ۱۲ درصد حذف از ۳۷ به ۴۴ برای بنزن و از ۶۳ به ۶۷ برای تولوئن افزایش یافت. pH بهینه در این تحقیق برابر ۷ در نظر گرفته شد. آن‌ها دلیل کاهش ظرفیت جذب BTEX در pH های اسیدی را از هم پاشیدگی جاذب در pH های اسیدی دانستند. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از مطالعه حاضر مغایرت داشت.

(Sigdel et al., 2017) اثر pH را بر روی حذف بنزن با استفاده از دانه‌های آلژینات آغشته به پودر کربن فعال از محلول‌های آبی بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد فاکتور pH بر حذف بنزن اثر معنی‌داری ندارد. در حالی که نتایج مطالعه حاضر نشان داد اثر pH های مختلف بر حذف بنزن معنی‌دار بوده و در pH برابر ۴ بیش‌ترین درصد حذف رخ داده است. در pH های پایین بار جاذب مثبت بوده و یک تبادل الکترون در بین جاذب و حلقه آروماتیکی تولوئن رخ می‌دهد و سبب افزایش نیروی جذب بین جاذب و جذب شونده می‌گردد.

اثر غلظت اولیه محلول

غلظت اولیه ماده آلاینده پارامتر مهمی برای غلبه بر نیروی

روی سطح جاذب اشغال نشده و در دسترس هستند (Mohammed et al., 2015). پس از زمان ۶۰ دقیقه میزان جذب تا حدی کاهش می‌یابد. علت این امر می‌تواند جدا شدن مقداری از تولوئن طی مرحله واجذب از جاذب و کاهش جایگاه‌های فعال در دسترس باشد (Taffarel & Rubio, 2010). اکتشاف، استخراج و بهره‌برداری از منابع نفتی در کشورهای نفت خیز موجب بروز مشکلات محیط‌زیستی فراوان به ویژه در منابع آبی شده است. در این مطالعه کاربرد نانو کیتوزان برای نخستین بار برای حذف تولوئن از محلول‌های آبی در سیستم ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفته است. این ترکیب از نوع مونو آروماتیک بوده و جزء اصلی ترکیبات نفتی به‌شمار می‌رود. پارامترهای pH، غلظت اولیه، مقدار جاذب و زمان تماس در سیستم ناپیوسته بر فرایند جذب تاثیر دارند. نتایج نشان داد که در pH برابر ۵ بیش‌ترین درصد حذف تولوئن اتفاق افتاد. همچنین میزان بهینه جاذب، غلظت اولیه و زمان تماس به ترتیب ۰/۰۱ گرم بر لیتر، ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۵ دقیقه تعیین شد. بررسی کلی نتایج نشان داد که استفاده از نانو کیتوزان به دلیل ظرفیت جذب بالا و همچنین به‌دلیل خصوصیات همچون سازگاری با محیط زیست برای حذف تولوئن از محلول‌های آبی روش مناسبی است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل از پایان‌نامه تحت عنوان حذف فنل، بنزن و تولوئن از محلول‌های آبی آلوده به ترکیبات نفتی با استفاده از نانو کیتوزان مصوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است و با حمایت شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران اجرا شده است.

افزایش مقدار جاذب منجر به افزایش نقاط سطحی فعال و افزایش جذب شود، اما نتایج آزمایش‌های متعدد عکس این حالت را تایید کرده‌اند. علت این پدیده می‌تواند به غیر اشباع ماندن برخی از نقاط فعال سطحی ارتباط داشته باشد، که نتیجه آن کاهش میزان جذب است (Ong et al., 2007). تجمع جاذب‌ها سبب افزایش مسیر انتشار در طی مرحله انتشار آلاینده در سطوح قابل جذب جاذب شده، که نتیجه آن کاهش میزان جذب خواهد بود (Hameed et al., 2007). (Sivakami et al., 2013). کاهش میزان ظرفیت جذب در دوزهای بالاتر از حد بهینه را کاهش دسترسی مکان‌های جذب به علت انباشتگی جاذب دانستند. تعیین دوز بهینه جاذب به دلیل مسایل اقتصادی پارامتری است که باید در کاربردهای واقعی کمترین مقدار آن با توجه به بیش‌ترین ظرفیت جذب انتخاب گردد. بنابراین دوز ۰/۰۱ گرم به‌عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته شد.

اثر مدت زمان تماس

اثر زمان تماس روی درصد حذف تولوئن در محدوده ۵ تا ۱۲۰ دقیقه در pH=۵، غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان نانو کیتوزان ۰/۱ گرم و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. بیش‌ترین میزان درصد حذف تولوئن در ۵ دقیقه اول صورت گرفته است (۹۰/۱۷ درصد). با گذشت زمان درصد حذف در زمان ۳۵-۶۰ دقیقه به حالت تعادل رسیده است. مشاهده می‌شود پس از زمان ۶۰ دقیقه درصد حذف روند نزولی داشته و کمترین مقدار آن در زمان ۹۰ دقیقه برابر با ۸۷/۲۱ درصد است. سرعت جذب بالا در مراحل اولیه جذب می‌تواند به دلیل نیروی محرکه بالا و انتقال سریع مولکول‌های تولوئن و سطح جاذب باشد. همچنین در زمان شروع جذب مکان‌های فعال جذب بر

فهرست منابع

- CORAMI, A.; MIGNARDI, S. & FERRINI, V. 2008. Cadmium removal from single-and multi-metal (Cd+ Pb+ Zn+ Cu) solutions by sorption on hydroxyapatite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 317, 402-408.
- EL-NAAS, M. H.; AL-ZUHAIR, S. & ALHAIJA, M. A. 2010. Removal of phenol from petroleum refinery wastewater through adsorption on date-pit activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 162, 997-1005.
- Ghafourian, H. & Asadi Mazdi, A. 2011. Investigation of quality and quantity of industrial effluent pollutants from paper production and application of GA-88 nano adsorbent for phenol removal, 6(3), 29-39.
- HAMEED, B. H.; AHMAD, A. A. & AZIZ, N. 2007. Isotherms, kinetics and thermodynamics of acid dye adsorption on activated palm ash. *Chemical Engineering Journal*, 133, 195-203.

- HE, J.; LU, Y. & LUO, G. 2014. Ca (II) imprinted chitosan microspheres: an effective and green adsorbent for the removal of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 244, 202-208.
- Hosseini Shahi Bandari, M. 2012. Applications of nanotechnology in surface water treatment, groundwater and wastewater. *Man and the Environment*, 27-32.
- Jabbar, Z.; Angham, A. & Sami, G. H. F. 2014. Removal of azo dye from aqueous solutions using chitosan. *Oriental journal of chemistry*, 30.
- Mohamed, M. & Ouki, S. 2011. Removal mechanisms of toluene from aqueous solutions by chitin and chitosan. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50, 9557-9563.
- Mohamed, J.; Nasri, N. S.; Zaini, M. A. A.; Hamza, U. D. & Ani, F. N. 2015. Adsorption of benzene and toluene onto KOH activated coconut shell based carbon treated with NH₃. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 245-255.
- Olivera, S.; Muraldhara, H. B.; Vwnkatesh, K.; Guna, V. K.; Gopalakriahna, K. & KUMAR K, Y. 2016. Potential applications of cellulose and chitosan nanoparticles/composites in wastewater treatment: A review. *Carbohydrate Polymers*, 153, 600-618.
- Ong, S.; Lee, C. & Zainal, Z. 2007. Removal of basic and reactive dyes using ethylenediamine modified rice hull. *Bioresource technology*, 98, 2792-2799.
- Qin, C.; Huang, X.; Zhao, J.; Huang, J.; Kang, Z. & Dang, X. 2017. Removal of toluene by sequential adsorption-plasma oxidation: Mixed support and catalyst deactivation. *Journal of Hazardous Materials*, 334, 29-38.
- Shakeri, H.; Arshadi, M. & Salvakion, J. 2016. Removal of BTEX by using a surfactant–Bio originated composite. *Journal of colloid and interface science*, 466, 186-197.
- Sigdel, A.; Jung, W.; Min, B.; Lee, M.; Choi, U.; Timmes, T.; Kim, S. J.; Kang, C. U.; Kumar, R. & Jeon, B. H. 2017. Concurrent removal of cadmium and benzene from aqueous solution by powdered activated carbon impregnated alginate beads. *Catena*, 148, 101-107.
- Sivakami, M.; Gomathi, T.; Venkatesan, J.; Jeong, H. S.; Kim, S. K. & Sudha, P. 2013. Preparation and characterization of nano chitosan for treatment wastewaters. *International journal of biological macromolecules*, 57, 204-212.
- Taffarel, S. R. & Rubio, J. 2010. Adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate from aqueous solution using a modified natural zeolite with CTAB. *Minerals Engineering*, 23, 771-779.
- Tuyserkani, H. & Honesty, f. 2012. Chitin and chitosan: structure, properties and applications. *Scientific Journal of Aquatic Ecology*, 2(3), 26-40.
- Wibowo, N.; Setyadhi, L.; Wibowo, D.; Setiawan, J. & Ismadji, S. 2007. Adsorption of benzene and toluene from aqueous solutions onto activated carbon and its acid and heat treated forms: Influence of surface chemistry on adsorption. *Journal of Hazardous Materials*, 146, 237-242.
- Xu, J.; Tang, J.; Baig, S. A.; Lv, X. & Xu, X. 2013. Enhanced dechlorination of 2,4-dichlorophenol by Pd/FeFe₃O₄ nanocomposites. *Journal of Hazardous Materials*, 244-245, 628-636.