

بررسی حذف زایلین از آب به وسیله نانو اکسید روی به عنوان جاذب نفت

بهناز صالحی^۱

امیر حسام حسنی^{۲*}

Ahh1346@gmail.com

همایون احمد پناهی^۳

سید مهدی برقی^۴

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به اثرات نامطلوب زیست محیطی و خسارات غیر قابل جبران مواد شیمیایی موجود در ترکیبات نفتی نظیر بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلین بر سلامت جانداران، حذف موثر و کارآمد این آلاینده ها بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است تا با ابداع روش های نوین کارایی و تاثیر فرایند های حذف بهبود بخشیده شود. در این تحقیق استفاده از نانو ذرات روی اصلاح شده با شاخه های آلی در حذف زایلین از محیط های آبی مورد بررسی قرار گرفته است.

روش کار: نانوذرات اکسید روی (Zno) توسط روش هم رسوبی شیمیایی تهیه گردید. به منظور افزایش راندمان جذب، در ابتدا اصلاح نانو ذرات صورت گرفت و در مرحله بعد مونومر عامل دار شده تهیه گردید و بر روی بدنه نانو ذرات اصلاح شده پیوند داده شد. عملکرد این جاذب در حذف زایلین به عنوان شاخص آلودگی نفتی مورد مطالعه قرار گرفت و اثر پارامتر های مختلف بر میزان جذب از قبیل pH محیط، زمان تماس و غلظت جاذب بررسی شد.

یافته ها: نتایج بدست آمده نشان داد که بیشترین میزان جذب نانو جاذب سنتز شده در pH برابر با ۶ و پس از گذشت ۲۵ دقیقه از زمان تماس می باشد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانو جاذب درصد حذف نیز افزایش می یابد.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به بررسی های انجام شده کارایی بالای استفاده از نانواکسید روی اصلاح شده در حذف زایلین از محیط های آبی تایید گردید و امکان استفاده از آن در حذف آلاینده های نفتی از آب مطرح شد.

واژه های کلیدی: نانو ذرات اکسید روی، اصلاح سطحی، جذب، آلاینده های نفتی، زایلین.

۱- دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- دانشیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران * (مسئول مکاتبات)

۳- دانشیار دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، تهران، ایران

۴- استاد دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

Investigating the removal of xylene from water by ZnO nanoparticles as an adsorbent for petroleum

Behnaz Salehi¹

Amirhesam Hasani^{*}

Ahh1346@gmail.com

Homayon Ahmad Panahi^r

Seyed Mahdi Borghei^f

Admission Date: August 8, 2016

Date Received: June 6, 2016

Abstract

Background and Objective: Considering the adverse environmental effects and irreparable damages of the chemicals in petroleum compounds, e.g. benzene, toluene, ethylbenzene and xylene, to living organisms, the efficient removal of these pollutants have received much more attention to be improved through innovative methods for enhancing the efficiency and impact of removal processes. In this study, the removal of xylene from aqueous solution by modified zinc oxide nanoparticles was investigated.

Method: In this study, zinc oxide nanoparticles were synthesized and modified by a four-stage method. The removal of xylene as a toxic petroleum hydrocarbon from aqueous solution by nanoparticles was evaluated. Batch experiments were conducted at room temperature to evaluate the optimum conditions such as the effect of pH, contact time and zinc oxide concentration.

Findings: It was found that the optimum adsorption condition can be achieved at pH=6 and contact time of 25 min. Moreover, the percentage of xylene adsorption increased with the increase in concentration of modified zinc oxide nanoparticles.

Discussion and conclusion: This study showed that the modified zinc oxide nanoparticles could be used as an effective adsorbent for the removal of xylene from aqueous solution.

Keywords: ZnO Nanoparticles, Modification, Adsorption, Petroleum Contaminants, Xylene

1- PhD, of Industrial, Department of Environmental and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Environmental and Energy, Science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran *(Corresponding Author)

3- Associate Professor, Department of Chemistry, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4- Prof., School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology

مقدمه

با توجه به حجم پیشرفت تکنولوژی و صنعت و استفاده گسترده از نفت و ترکیبات آن، ورود آلاینده های نفتی به محیط زیست امری اجتناب ناپذیر است. گسترش آلودگی های نفتی در بخش- های مختلف صنعت نفت اعم از پالایشگاه ها، خطوط حمل و نقل، مخازن ذخیره سوخت بروز سوانح، تجهیزات پالایشگاهی در سواحل دریا، سکوهای نفتی داخل آب، تصادف نفت کش ها و اضافه شدن پساب ها و رودخانه های کثیف به دریا از مهم ترین عوامل پخش هیدروکربن های نفتی در آب ها به شمار می رود (۱-۴).

ترکیبات BTEX که شامل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن می باشند از مهم ترین ترکیبات هیدروکربنی فرار موجود در نفت بوده و به طور گسترده در صنایع مورد استفاده قرار می- گیرند (۵).

این ترکیبات یکی از رایج ترین آلاینده های زیست محیطی بوده و انتشار و پخش آن ها، آثار منفی و پیامدهای مختلفی به همراه دارد. زایلن، جزئی از ترکیبات BTEX بوده و توسط سازمان WHO به عنوان یکی از مهم ترین مواد سمی طبقه بندی شده است و به عنوان یک ترکیب با ریسک بالا برای محیط زیست به شمار می رود. بر اساس دستورالعمل های سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت مجاز زایلن در آب آشامیدنی باید ۰/۵ میلی گرم بر لیتر باشد (۶ و ۷).

تنها حضور مقادیر کمی از زایلن در آب آشامیدنی می تواند منجر به بروز بسیاری از بیماری های سرطانی و ژنتیکی در انسان گردد (۸). جهش های ژنتیکی، آسیب های خونی، مشکلات تنفسی، تحریکات پوستی، آسیب های کبدی و کلیوی و بیماری های سیستم اعصاب مرکزی تنها برخی از خطرات مهلک این آلاینده می باشد (۷ و ۹). اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از این ترکیبات سبب گردیده است تا به عنوان یکی از اولویت های حذف آلاینده ها در محیط زیست مطرح گردند. از این رو دستیابی به تکنیک های موثر در حذف این ترکیبات از آب یکی از مهم ترین مسایل زیست محیطی می- باشد (۱۰).

در این راستا تاکنون مطالعات فراوانی انجام شده است و روش های مختلفی مانند روش های احیای بیولوژیکی، اکسیداسیون شیمیایی، تبخیر و جذب برای حذف این آلاینده ها به کار برده شده است. در این بین جذب سطحی به وسیله انواع جاذب ها به دلیل ظرفیت جذب بالا بیش از سایر روش ها مورد توجه قرار دارد. علاوه بر جاذب های گوناگون مانند دیاتومیت، رزین ها، ارگانوکلکی ها و کربن فعال که تاکنون برای جذب زایلن از محیط های آبی استفاده شده است (۱ و ۸ و ۱۲-۱۱)، تحقیقات فراوانی در زمینه استفاده از نانوجاذب ها به عنوان یکی از تکنولوژی های مطرح و کارآمد در حذف آلاینده ها انجام گرفته است. از بین نانوجاذب های مختلف، خصوصیات مانند غیر سمی بودن و مقرون به صرفه بودن پروسه سنتز نانو جاذب اکسید روی سبب گردیده تا این نانوجاذب به یکی از پرکاربرد ترین نانوجاذب ها در زمینه حذف آلاینده ها و تصفیه فاضلاب- ها تبدیل گردد (۱۳). بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی جاذب ها همواره مورد توجه بوده است تا با بکارگیری تکنیک های نوین، خواص ویژه ای را در جاذب ایجاد نموده و ویژگی های آن ها را برای جذب ماده ای خاص بهبود بخشید. اصلاح سطح جاذب- ها به وسیله پیوند زدن زنجیره های پلیمری به سطح آن ها یکی از روش هایی است که سبب افزایش ظرفیت جذب جاذب و ارتقا کارایی آن ها می گردد (۱۴).

اهداف تحقیق حاضر شامل سنتز یک نانوجاذب اکسید روی به روش ته نشینی و اصلاح و پیوند زدن پلیمر ها به سطح این نانوجاذب به منظور حذف زایلن از آب می باشد. همچنین بررسی درصد حذف زایلن از آب توسط نانوجاذب و شرایط بهینه حذف از قبیل pH، زمان تماس و غلظت جاذب نیز از دیگر اهداف این تحقیق می باشند.

روش کار

در این مطالعه از یک نانوجاذب اکسید روی که تحت عملیات اصلاح سطحی قرار گرفته و زنجیره های پلیمری به آن پیوند داده شده است، به منظور حذف آلاینده زایلن از آب استفاده گردید. جهت سنتز نانوجاذب از روش ته نشینی به عنوان یکی

ابتدا طبق راهنمای کتاب استاندارد متد برای انجام آزمایشات آب و فاضلاب (۱۸) محلول استوک اولیه 3 mg/L^{-1} از زایلن تهیه گردید. کلیه مراحل آزمایشات در دمای محیط برابر با ۲۵ درجه سانتی گراد انجام گرفت. به منظور تنظیم کردن pH نمونه ها از بافر 0.1 M استات و فسفات استفاده گردید و توسط دستگاه اندازه گیری pH (pH-Meter) ساخت شرکت Denver instrument، مدل Ultra Basic مقدار pH نمونه ها سنجیده شد. کلیه مواد و محلول های مورد استفاده در این آزمایش ساخت شرکت مرک آلمان بود. در هر مرحله از آزمایش پس از اضافه کردن مقدار دقیق و مشخص شده ای از نانوجاذب اکسید روی اصلاح شده به نمونه ها و تنظیم pH، نمونه ها در دستگاه ورتکس (ساخت شرکت Fine PCR) کره، مدل Fine vortex) قرار داده شد. سپس پس از سپری شدن زمان مورد نظر کلیه نمونه ها در دستگاه سانتریفیوژ (ساخت شرکت Hettich، مدل Mikro 120) به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در نهایت محلول رویی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV/Vis) در Jasco spectrophotometer آمریکا، مدل V-630 در طول موج ۲۶۴ نانومتر مورد ارزیابی قرار گرفت.

اثر pH محلول بر جذب زایلن، در دامنه های pH از ۴ تا ۸ در حضور مقادیر ثابت از نانواکسید روی اصلاح شده برابر با 0.4 g در محلول استوک اولیه با غلظت 3 mg/L^{-1} زایلن و زمان تماس ثابت برابر با ۶۰ دقیقه بررسی گردید.

اثر تغییرات زمان تماس بر جذب زایلن، در زمان های متفاوت تماس از ۰ تا ۶۰ دقیقه و pH ثابت برابر با ۶ و در حضور مقادیر ثابت از نانوجاذب برابر با 0.4 g در محلول استوک اولیه با غلظت 3 mg/L^{-1} زایلن بررسی گردید.

اثر تغییرات غلظت نانو جاذب بر درصد حذف زایلن، در pH ثابت برابر با ۶ و زمان تماس ثابت ۲۵ دقیقه و در حضور مقادیر متغیر از نانوجاذب از 0.1 تا 0.8 گرم در محلول استوک اولیه زایلن با غلظت 3 mg/L^{-1} بررسی گردید.

میزان درصد حذف زایلن (R%) و ظرفیت نانوجاذب اکسید روی اصلاح شده (q_e) با در نظر گرفتن تغییرات جاذب و غلظت زایلن به صورت زیر محاسبه گردید.

از مقرون به صرفه ترین روش ها استفاده شد. به منظور بهبود خواص شیمیایی و فیزیکی نانوجاذب سنتز شده و افزایش ظرفیت جذب آن در راستای حذف زایلن از آب، سطح ذرات نانواکسید روی پس از سنتز، به وسیله ۳-مرکاپتوپروپیل تری متوکسی سیلان اصلاح گردید. سپس زنجیره های پلیمری به وسیله دی متیل آکریل آمید و آلایل گلاسیل اتر به سطح آن پیوند داده شد. پس از پیوند زنجیره های پلیمری به سطح نانوجاذب به منظور اصلاح گروه های هیدروفوب اصلاح نانوذرات به وسیله هگزانول انجام شد. نانوجاذب تهیه شده از طریق طیف اسپکتروسکوپی مادون قرمز (IR-FT)، آنالیز عنصری CHN، آنالیز وزن سنجی گرمایی (TGA)، میکروسکوپ الکترونی رومیزی (SEM) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مورد بررسی قرار گرفت. پروسه کامل سنتز و اصلاح نانوذرات به تفصیل در مقاله قبلی چاپ شده توسط این گروه شرح داده شده است (۱۵).

الف) بررسی pH در نقطه صفر شارژ الکتریکی (پتانسیل زتا صفر (The pH of point of Zero Charge))

یکی از مهم ترین فاکتورهای تعیین کننده راندمان حذف، بار الکتریکی سطح جاذب می باشد. pH پتانسیل زتاصفر (pH_{PZC}) مطرح می کند که در کدام pH، سطح جاذب دارای بار الکتریکی صفر یا خنثی می باشد. هنگامی که pH محلول کمتر از pH_{PZC} باشد، سطح جاذب درون محلول دارای بار الکتریکی مثبت و هنگامی که بیشتر از pH_{PZC} باشد، سطح جاذب دارای بار منفی می باشد (۱۶). در این پژوهش اندازه گیری pH_{PZC} به روش Solid addition انجام گرفت. به همین منظور ۵ ویال حاوی بافرهای ۴-۸ به عنوان pH_0 آماده شده و به هر کدام 0.4 g گرم جاذب اضافه و در دمای اتاق بر روی همزمن قرار داده شد و پس از ۲۴ ساعت pH هر محلول اندازه گیری شده و ΔpH از اختلاف $\text{pH} - \text{pH}_0$ محاسبه گردید. با رسم نمودار ΔpH بر حسب pH_0 ، pH_{PZC} بدست آمد (۱۷).

ب) بررسی شرایط بهینه جذب

C_0 و C_e به ترتیب غلظت اولیه و ثانویه (mg/L)
R%: درصد حذف زایلن

$$q_e = \frac{V}{M} (C_0 - C_e) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه:

q_e : ظرفیت جاذب (mg/g)

V : حجم محلول (Lit)

M : جرم جاذب (g)

C_0 : غلظت اولیه (mg/L)

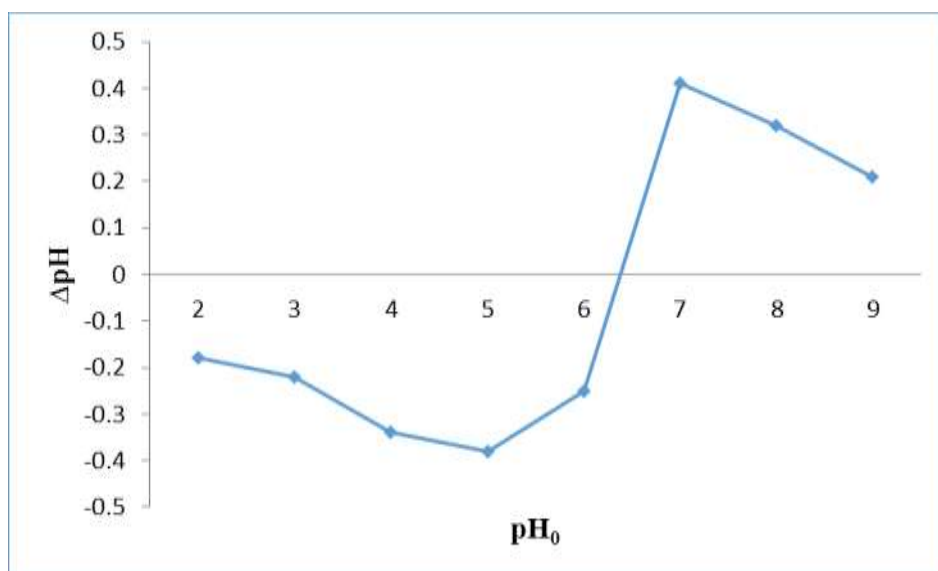
C_e : غلظت ثانویه (mg/L)

$$R\% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه:

نتایج

به منظور تعیین pH پتانسیل زتا از روش Solid addition استفاده گردید. نتایج حاصل در نمودار (۱) نمایش داده شده است. بر اساس اطلاعات بدست آمده مشخص گردید که در ۶/۱ pH= سطح جاذب دارای بار الکتریکی برابر با صفر می باشد. بنابراین سطح جاذب در pH بالاتر از pH پتانسیل زتا دارای بار الکتریکی منفی و در pH پایین تر از آن دارای بار الکتریکی مثبت خواهد بود.

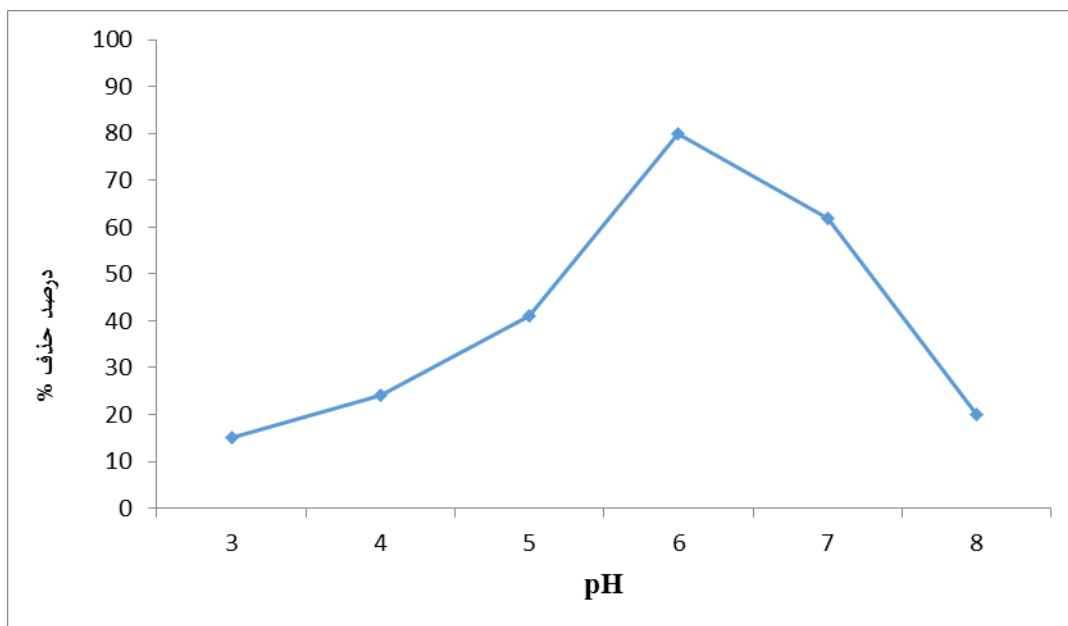


نمودار ۱- pH در پتانسیل زتا صفر

Figure 1. Ph of zero point

در pH پتانسیل زتا می باشد که در آن بار الکتریکی خنثی است. با توجه به نتایج بدست آمده از مرحله قبل pH_{PZC} برابر با ۶/۱ بوده و بنابراین pH بهینه ۶ منطقی و مورد تایید است.

نتایج بررسی اثر pH بر درصد حذف زایلن در نمودار (۲) نشان داده شده است. بر اساس نتایج بیشترین میزان جذب در pH برابر با ۶ بدست آمد. با توجه به این مسئله که بار سطحی مولکول های نفت و آلاینده های نفتی در آب خنثی می باشند، بهترین pH محیط برای جذب این مولکول ها توسط نانوجاذب،

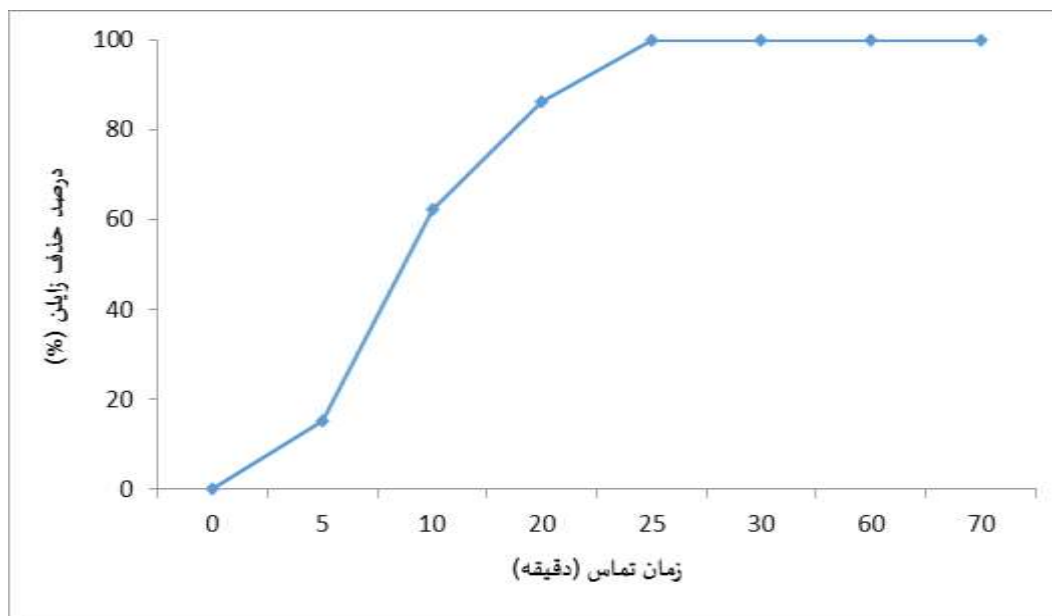


نمودار ۲- اثر pH بر درصد حذف زایلین

Figure 2. Effect of pH on Sorbtion of Xylene onto modified nano-Zno.

این امر حاکی از آن است که فرایند جذب به وسیله جاذب نانو اکسید روی اصلاح شده سینتیک بالایی داشته و در مدت زمان کوتاهی به حداکثر ظرفیت جذب می رسد و نیازی به مدت زمان طولانی برای تماس جاذب با نفت نیست.

همانگونه که در نمودار (۳) مشاهده می گردد، نتایج حاصل از اثر زمان تماس بر درصد حذف زایلین نشان داد که درصد حذف زایلین پس از ۸ دقیقه اول به بیش از ۵۰٪ می رسد و میزان جذب پس از ۸ دقیقه با روندی ثابت افزایش می یابد به طوری که پس از گذشت ۲۵ دقیقه از زمان تماس به حداکثر می رسد.

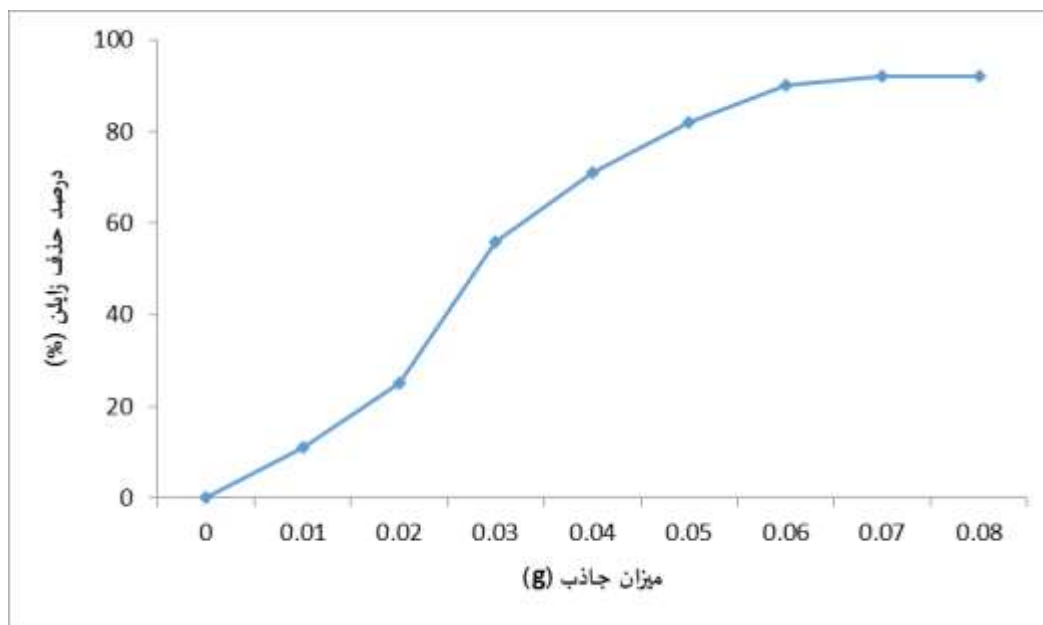


نمودار ۳- اثر زمان تماس بر درصد حذف زایلین

Figure 3. Effect of contact time on sorbtion of Xylene on to modified ZnO.

آلاینده‌ها و ثابت بودن غلظت جاذب، ظرفیت جاذب نیز افزایش می‌یابد.

نتایج بدست آمده از تعیین اثر غلظت جاذب بر میزان جذب در نمودار (۴) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت جاذب درصد جذب نیز افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت در صورت افزایش غلظت



نمودار ۴- اثر غلظت جاذب بر میزان جذب

Figure 4. Effect of modified nano-ZnO concentration on sorbtion of Xylene

نتیجه گیری

زایلین از آب، در زمان و pH ثابت نشان داد که با افزایش غلظت نانوجاذب، عملکرد جذب بهبود می‌یابد. با توجه به بررسی های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از نانو اکسید روی اصلاح شده در حذف نفت و آلاینده های نفتی کارایی بالایی دارد و می‌توان از آن برای حذف لکه های نفتی در آب استفاده نمود.

در این مطالعه استفاده از نانو ذرات روی اصلاح شده با شاخه- های آلی به عنوان جاذب آلودگی‌های نفتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از نانوجاذب اکسید روی با پیوند سطحی پلیمری کارایی و راندمان خوبی در حذف زایلین از آب دارد. بررسی عملکرد نانو اکسید روی اصلاح شده در pH های مختلف نشان داد که pH بهینه برای جذب زایلین از آب برابر ۶ می‌باشد. آزمایش های مربوط به تغییرات درصد حذف زایلین از آب به وسیله نانو اکسید روی اصلاح شده نسبت به تغییرات زمان نشان داد که جاذب در کمتر از ۲۵ دقیقه به ظرفیت جذب اشباع خود می‌رسد بطوریکه ۵۰٪ زایلین تنها در ۸ دقیقه اول جذب می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که سایت های فعال روی سطح نانوجاذب در ابتدا به راحتی در دسترس قرار دارند و با گذشت زمان این سایت ها پر شده و به تدریج ظرفیت جاذب در کمتر از ۲۵ دقیقه به حداکثر خود میرسد. نتایج آزمایش تغییرات غلظت نانوجاذب در جذب

Reference

1. Lin SH, Huang CY. Adsorption of BTEX from aqueous solution by macroreticular resins. *Journal of hazardous materials*. 1999 Dec 23;70(1):21-37.
2. Garciapena I, Ortiz I, Hernandez S, Revah S. Biofiltration of BTEX by the fungus *Paecilomyces variotii*. *International Biodeterioration &*

- chemicals in the oil refining and petrochemical industries. *Ann NY AcadSci* 1991;643:368-89.
10. Kim JM, Le NT, Chung BS, Park JH, Bae JW, Madsen EL, Jeon CO. Influence of soil components on the biodegradation of benzene, toluene, ethylbenzene, and o-, m-, and p-xylenes by the newly isolated bacterium *Pseudoxanthomonas spadix* BD-a59. *Applied and environmental microbiology*. 2008 Dec 1;74(23):7313-20.
11. Carmody O, Frost R, Xi Y, Kokot S. Adsorption of hydrocarbons on organo-clays—implications for oil spill remediation. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2007 Jan 1;305(1):17-24..
12. Daifullah AA, Girgis BS. Impact of surface characteristics of activated carbon on adsorption of BTEX. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2003 Mar 12;214(1):181-93..
13. Zhang F, Lan J, Yang Y, Wei T, Tan R, Song W. Adsorption behavior and mechanism of methyl blue on zinc oxide nanoparticles. *Journal of nanoparticle research*. 2013 Nov 1;15(11):1-0.
14. Panahi HA, Soltani ER, Moniri E, Tamadon A. Synthesis and characterization of poly [1-(N, N-bis-carboxymethyl) amino-3-allylglycerol-co-dimethylacrylamide] grafted to magnetic nano-particles for extraction and determination of letrozole in biological and pharmaceutical samples. *Talanta*. 2013 Dec 15;117:511-7.
15. Salehi B, Hasani AH, Panahi HA, Borghei SM. Adsorptive removal of Biodegradation. 2008 Dec 31;62(4):442-7.
3. Lin CW, Chen LH, Yet-Pole I, Lai CY. Microbial communities and biodegradation in lab-scale BTEX-contaminated groundwater remediation using an oxygen-releasing reactive barrier. *Bioprocess and biosystems engineering*. 2010 Mar 1;33(3):383-91..
4. Hinwood AL, Rodriguez C, Runion T, Farrar D, Murray F, Horton A, Glass D, Sheppard V, Edwards JW, Denison L, Whitworth T. Risk factors for increased BTEX exposure in four Australian cities. *Chemosphere*. 2007 Jan 31;66(3):533-41.
5. Bielefeldt AR, Stensel HD. Evaluation of biodegradation kinetic testing methods and longterm variability in biokinetics for BTEX metabolism. *Water Research*. 1999 Feb 28;33(3):733-40.
6. de Mello JM, de Lima Brandão H, de Souza AA, da Silva A, Ulson SM. Biodegradation of BTEX compounds in a biofilm reactor—modeling and simulation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2010 Jan 31;70(1):131-9.
7. Frisbie SH, Mitchell EJ, Sarkar B. Urgent need to reevaluate the latest World Health Organization guidelines for toxic inorganic substances in drinking water. *Environmental Health*. 2015 Aug 13;14(1):1.
8. Aivalioti M, Vamvasakis I, Gidaracos E. BTEX and MTBE adsorption onto raw and thermally modified diatomite. *Journal of Hazardous Materials*. 2010 Jun 15;178(1):136-43.
9. Mehlman MA. Dangerous and cancer causing properties of products and

17. Wang L, Li J. Adsorption of CL Reactive Red 228 dye from aqueous solution by modified cellulose from flax shive: Kinetics, equilibrium, and thermodynamics. *Industrial Crops and Products*. 2013 Mar 31;42:153-8.
18. APHA, AWWA, WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 20th ed. American Public Health Association, Washington Dc.
- petroleum hydrocarbons from aqueous solutions by novel zinc oxide nanoparticles grafted with polymers. *Petroleum Science and Technology*. 2016 Apr 17;34(8):778-84.
16. Njoku VO, Foo KY, Asif M, Hameed BH. Preparation of activated carbons from rambutan (*Nephelium lappaceum*) peel by microwaves-induced KOH activation for acid yellow 17 dye adsorption. *Chemical Engineering Journal*. 2004 Aug 15;250:198-204