www.ElitesJournal.ir

مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

ISSN 2538-581X

جلد ۲- شماره ۱- سال ۱۳۹۶

بررسی حذف نفتالین از محیط آبی با استفاده از تکنیک جذب سطحی بوسیله نانو جاذب گرافن اکساید/ SBA-15

امیرحسین جهان تیغی[۱*]، علی میرابی [۲]، سید علی وزیری[۳]، بهرام قدیری[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران- ایران

۲- دکتری شیمی، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر- ایران

۳- دکتری مهندسی شیمی، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران- ایران

۴- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر- ایران

***a.h_jahantighi@yahoo.com**

ارسال: اسفند ماه ۹۵ پذیرش: اردیبهشت ماه ۹۶

خلاصه

محیط های آبی و از جمله فاضلاب و پساب های صنعتی به عنوان یک منبع دارای آلاینده‌های مختلف در محیط زیست معرفی می‌شوند. همچنین به دلیل استفاده صنایع از مواد شیمیایی، ترکیبات آروماتیک چند حلقه به صورت عمده در این نوع از فاضلاب ها وجود دارند. در این مقاله با استفاده از تکنیک جذب سطحی مواد آلی به حذف آلاینده نفتالین از محیط آبی پرداخته شده است. فرآیند مذکور با هدف حذف آلاینده نفتالین به عنوان یک ترکیب آروماتیک چند حلقه بررسی شده است. در این راستا سنتز نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15 به عنوان یک نانو جاذب متخلخل صورت گرفت. در نتایج حاصل مشاهده شد محیط اسیدی شرایط مساعدی را برای فرآیند جذب بوسیله کامپوزیت تهیه شده ایجاد می کند، همچنین افزایش مدت ماندگاری جاذب در محیط حاوی آلاینده، افزایش مقدار جاذب و کاهش غلظت اولیه از نفتالین باعث بهبود راندمان جذب شده است.

کلمات کلیدی: نفتالین، جذب سطحی، گرافن اکساید/ SBA-15، نانو جاذب، محیط آبی.

۱. مقدمه

در این پژوهش هدف بررسی حذف نفتالین به عنوان یک نمونه از دسته مواد چند حلقه آروماتیکی به وسیله نانو جاذب کامپوزیتی برپایه ماتریسی از سیلیکات بوده و گرافن اکساید تنها به عنوان بهبود دهنده جاذب استفاده شده است. لذا بررسی کارایی نانو ذرات گرافن اکساید در حذف کروم و سرب که این عناصر جزء فلزات سنگین بوده هیچ گونه ربط و تشابهی با هدف تعیین شده در این کار ندارد. همچنین مکانیسم اصلی جذب در SBA-15 به عنوان پایه اصلی جاذب کامپوزیتی، وجود

تخلخل بوده که با فرآیند جذب در توده نانو ذرات گرافن اکساید که به صورت صفحه ای بوده و لایه به لایه مواد را جذب می کنند متفاوت است و از گستره بحث حاضر خارج می باشد.

آلودگی آب یکی از مسائل مهمی است که درطول سالیان دراز مورد توجه محققین قرار گرفته است. جهت حذف آلودگی های مختلف آب، روش های متنوعی بکار رفته است. ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای یکی از گروه های اصلی آلاینده های موجود در آب ها می باشند. هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک، با دو یا تعداد بیشتر از حلقه های آروماتیک هستند که به صورت ایزومرهای مختلفی وجود دارند و گروه بزرگی از آلودگی هـای محیطـی و غذایی محسوب می شوند. اساساً این ترکیبات در طی سوختن ناقص مواد آلی تشکیل می شوند. سـرطانزایـی حدود ۱۶ نوع از این ترکیبات ثابـت شـده است. در شرایط معمول، آب و مواد غذایی یکی از منابع اصلی دریافت این ترکیبات است [۱]. به علت خواص سمیت، سرطان زایی و جهش زایی هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای، سرنوشت این مواد در طبیعت یکی از بزرگترین نگرانی های محیط زیست محسوب می شود [۲و۳]. نفتالین به عنوان یک هیدروکربن آروماتیک از دسته ترکیبات آروماتیک چند حلقه است. روش های مختلف شیمیایی و بیولوژیکی برای حذف نفتالین از پساب پیشنهاد شده است. اگر چه روشهای شیمیایی و بیولوژیکی برای از بین بردن نفتالین موثر هستند [۴] اما آنها نیاز به تجهیزات خاص و انرژی بردارند [۵]. مولکول نفتالین از دو حلقه جوش خورده بنزن ساخته شده است. سوخت هایی از قبیل نفت و ذغال سنگ شامل نفتالین می باشند. این ماده جامد به صورت کریستال هایی به رنگ سفید تخلیص می شود. دارای بوی زیاد و نسبتا مطبوع می باشد. نفتالین در فضای آزاد تصعید و به بخار آن تبدیل می شود. بخار این ماده آتش زا است.

در گذشته از نفتالین برای جلوگیری از بید زدن فرش و پارچه‌های پشمی استفاده می شده است. امروزه وسعت کاربرد نفتالین افزایش داشته و برای تولید پی وی سی، پلاستیک، رنگ، رزین، مواد فعال کننده سطح، حل کننده ها، روان کننده ها، مواد ضد عفونی کننده، گندزدا ها، حشره کش ها و دیگر مواد شیمیایی استفاده می شود. در کارخانجات آهن و فولاد سازی جهت تامین انرژی حرارتی در کوره های بلند خود از سوخت های پودر ذغال سنگ، ذغال کک، مازوت و گاز طبیعی استفاده می شود که گاز حاصله از ذغال کک مصرف شده در کوره های بلند حاوی نفتالین و دیگر مواد شیمیایی بوده و برای جداسازی و تصفیه گاز به واحد های بعدی منتقل می شوند. قرار گرفتن در معرض مقادیر زیادی از نفتالین می تواند باعث صدمه دیدن و خرابی برخی گلبولهای قرمز خون شود این امر می تواند باعث شود که تعداد گلبول های قرمز خون کاهش پیدا کند، بطوریکه بدن نتواند آنها را جایگزین نماید. این وضعیت را بنام کم خونی همولیتیک می نامند. برخی از نشانه های کم خونی مزبور عبارتند از : خستگی ، کاهش اشتها ، بیقراری و رنگ پریدگی پوست بدن. قرار گرفتن در معرض مقادیر زیادتر نفتالین می تواند باعث : تهوع، استفراغ، اسهال و وجود خون در ادرار شده و پوست بدن را به رنگ زرد در آورد. روش های حذف این دسته از مواد از محیط های آبی بطور کلی شامل روش های فتوکاتالیستی، فیلتراسیون، بیولوژیکی، اکسیداسیون، یونیزاسیون شیمیایی و جذب می شود. در میان تمام روشهای موجود، جذب اهمیت بیشتری دارد که این امر به دلیل کارامد بودن، طراحی ساده و هزینه کم می باشد [۶]. جاذب های متعددی مانند جلبک، پوسته گندم، پوسته برنج، پوسته بادام زمینی، الیاف شیشه، کنجاله پوست سویا، پوست پرتغال وکیتوسان برای حذف ترکیبات آروماتیک از آب مورد استفاده قرار گرفته است [۷ و ۸]. استفاده از نانو جاذب ها نسبتا جدید هستند که می توانند موجب جذب مواد آلاینده در آب باشند [۹و۱۰].

اساس پدیده های جذب سطحی برمبنای جداسازی است. فرآیند جداسازی عکس اختلاط است و فرآیند اختلاط در راستای قانون دوم ترمودینامیک صورت می پذیرد. در فرآیندهای گوناگون جداسازی مخلوط گازها یا مایعات، سیال با ذرات جامد متخلخل تماس پیدا کرده، به گونه ای که جذب سطحی رخ داده و یا با بعضی از اجزای خوراک ترکیب می شوند. در عملیات جذب از قابلیت بعضی از جامدات در جذب بعضی از مواد موجود در محلول روی سطح استفاده می شود [۱۱]. اغلب جاذبهای سطحی مواد بسیار متخلخلی هستند و جذب سطحی عمدتا در دیواره منفذها یا در مواضع خاص داخلی ذره روی می دهد. چون منفذها خیلی کوچک اند سطح داخلی آنها ده ها برابر سطح خارجی شان است. جداسازی به این دلیل روی می دهد که اختلاف جرم مولکولی، اختلاف شکل، یا اختلاف پولاریته باعث می شود بعضی از مولکولها محکمتر از سایر دیگر مولکولها بر روی سطح نگه داشته شوند و یا به این علت است که منفذهای سطح کوچکتر از اندازه مولکولها بوده و از عبور مولکولهای بزرگ جلوگیری می کند. جذب سطحی از فاز مایع برای حذف اجزای آلی از آب شرب یا پسابها، حذف ناخالصی های رنگی از محلولهای قندی و روغن های نباتی، و حذف آب از مایعات آلی بکار می رود [۱۲]. در این فرآیند ها محدوده ی عملیات می تواند از چند گرم ماده جاذب در آزمایشگاه تا چندین تن جاذب در کارخانه های صنعتی تغییر نماید و این محدوده ی استفاده از جاذب ها گویای اهمیت آن ها و کاربردی بودن آن ها در صنعت می باشد. به طور کلی پدیده جذب گرمازا است و انرژی حاصل بیانگر قدرت جذب است. این واکنش به صورت برگشت پذیر انجام می شود. به این ترتیب که با اعمال یک شرایط خاصی جذب را انجام می دهند و با تغییر وضعیت عملیات باعث می شوند که ماده مورد نظر از سطح جاذب دفع شود. این کار معمولا با فشار و تغییرات آن صورت می پذیرد. هنگامی که فشار زیاد باشد جذب انجام می شود و با ایجاد خلا جامد جذب شده از سطح جدا شده و عملیات دفع آن صورت می گیرید. همچنین با حرارت نیز می توان این کار را انجام داد به این ترتیب که وقتی حرارت را کاهش می دهند چون عملیات گرمازاست جذب بهتر صورت می گیرد و زمانی که دما افزایش یابد دفع انجام می شود.

۲. مواد و روش ها

در راستای انجام این تحقیق از مواد شیمیایی شامل آب مقطر، هیدروکلریک اسید، سورفکتانت P123، ماده پایه سیلیکاتی تترا اتیل ارتوسیلیکات TEOS، پارافین، پتاسیم کلرید، سدیم کربنات، حلال تولوئن، گرافن اکساید و نفتالین خالص استفاده شده است. تجهیزات بکار رفته شامل دستگاه Unico 2100 UV/Vis Spectrophotometer و سیستم رفلاکس که از بالن ته گرد و مبرد تشکیل شده می باشد.

۱.۲. تهیه نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15

در تهیه این نانو جاذب SBA-15 به عنوان ماتریس پایه قرار داده شد. همچنین جهت ارتقاء خواص، ماده اصلاح کننده گرافن اکساید به عنوان فاز تقویت کننده به SBA-15 متصل گردید. در حقیقت طراحی مواد در مقیاس نانو و ایجاد فصل مشترک مجزا بین فازها باعث بروز خواص منفرد در نانو جاذب تهیه شده می شود. بدین منظور در جهت تولید ماده مورد نظر به قرار ذیل عمل شد.

برای تهیه نانو جاذب، ۳۷۵/۶ میلی لیتر آب مقطر به همراه ۷۴/۴ میلی لیتر هیدروکلریک اسید غلیظ و ۱۲/۵ گرم از P123 را درون بالن ته گردی ریخته و بر روی هیتری که به مدت ۲ ساعت در حمام روغن پارافین در دمای ۴۲ درجه سانتیگراد باقی مانده بود قرار داده، تا شکل گیری کامل ذرات، مواد داخل ظرف توسط یک همزن یکنواخت شدند. بعد از حل شدن کامل P123، ۱۲/۵ گرم KCL و ۳۱/۵ گرم TEOS به محلول اولیه اضافه و به مدت ۸ دقیقه زمان داده شد تا TEOS کاملا حل شود. سپس محلول را به مدت ۲۴ساعت به حال خود رها کرده بعد از این زمان ظرف محلول را به حمام روغن جدیدی که با دمای

۱۳۵درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت در این دما تنظیم شده بود انتقال داده و مجددا ۲۴ ساعت به حال خود رها کرده سپس با استفاده از یک ارلن تخلیه و صافی با مش ۴ و پمپ خلاء ، محلول را از صافی عبور داده و با استفاده از آب مقطر آن قدر محلول را شستشو داده تا pH آن خنثی شود، سپس به مدت ۵ ساعت در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد پس از طی این مراحل ۱ گرم از نانوجاذب SBA-15 به همراه ۲۵ میلی لیتر محلول ۰/۱ مولار Na_2CO_3 به همراه مگنت جهت مخلوط کردن، در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت رفلاکس شد. پس از این مدت نانوجاذب SBA-15 در بالن به همراه ۰/۱ گرم گرافن اکساید، ۲۵ میلی لیتر حلال تولوئن به آن اضافه گردید. بالن در شرایط رفلاکس و دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. محصول رفلاکس به یک بشر انتقال داده شد و سپس در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در آون به مدت ۴۸ ساعت باقی ماند تا کاملا خشک شود. محصول نهایی استخراج شده ازین فرآیند به عنوان نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15 جمع آوری شد.

۲.۲. انجام آزمایشات

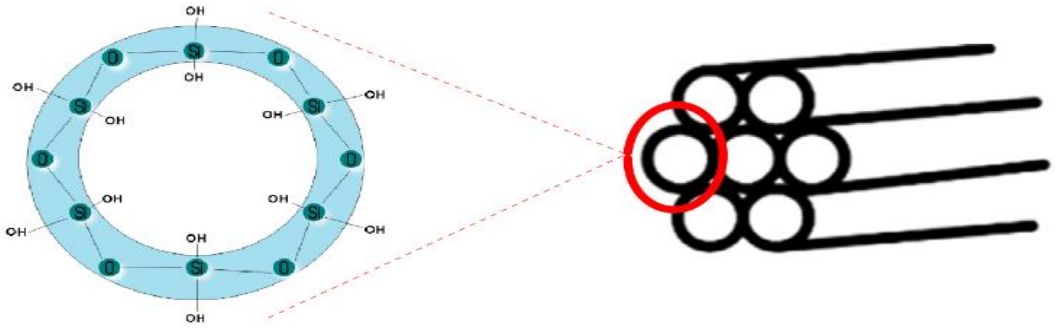
جهت بررسی جذب نفتالین بوسیله نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15 تحت شرایط آزمایشگاهی و انجام آزمایشات تاثیر pH، مقدار جاذب، اثر زمان حذف و اثر غلظت نفتالین بررسی شد. در ابتدا یک لیتر محلول ppm ۱۰۰ از نفتالین در حلال استون تهیه شد. جهت انجام آزمایشات pH متری در ۶ ارلن، pH محلول از ۱ تا ۱۱ بوسیله محلول های اسیدی HCl و بازی Na_2CO_3 تنظیم شد. سپس داخل هر ارلن ۰/۰۱ گرم از جاذب اضافه شده و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی شیکر قرار گرفت، پس از آن ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ با ۴۰۰۰ دور بر دقیقه انجام شد و سپس جذب نفتالین به روش اسپکتروفتومتری بررسی گردید.

در بررسی مقدار جاذب و اثر زمان حذف از محلول اولیه نفتالین با غلظت ۱۵۰ppm و گذشت زمان ۳۰ دقیقه بر روی شیکر استفاده شد. در بررسی مقدار جاذب مقادیر ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۲ گرم از جاذب استفاده شد. همچنین در مطالعه اثر زمان حذف از محلول هایی حاوی ۰/۰۱ گرم از جاذب در رنج زمانی ۱۵ تا ۱۵۰ دقیقه استفاده شد. در آزمایش اثر غلظت نفتالین محلول اولیه در غلظت های ppm ۱۰۰ تا ppm ۴۰۰ از نفتالین سنتز شد و مقدار جاذب ۰/۰۰۵ گرم به آنها اضافه گردید سپس بعد از گذشت ۳۰ دقیقه از شیک شدن و ۲۰ دقیقه تحت ساتریفیوژ قرار گرفتن مقدار جذب آنها با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

۳. بحث و نتایج

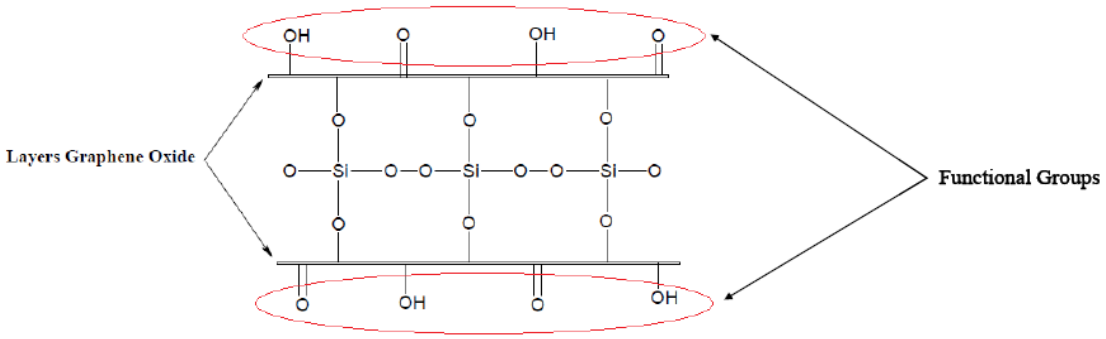
۱.۳. بیان ساختار نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15

اسکلت ساختاری نانو ذره SBA-15 با داشتن پایه سیلیکاتی و برقراری ۴ پیوند اتم سیلیسیوم با اتم های مجاور خود، دارای پایداری و استحکام بالایی است و مقاومت هیدروترمالی آن باعث شده تا ازین نانو ذره در شرایط دمایی مختلف نیز بتوان استفاده کرد. از طرف دیگر وجود اتم اکسیژن و هیدروژن در ساختار شیمیایی نانو ذره، پتانسیل واکنش پذیری آن را بالا برده و جذب مواد آلاینده بر روی آن به سهولت انجام می شود. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود جداره داخلی و خارجی حفره های نانو ذره دارای عامل هیدروکسیل بوده و در ساختار داخلی آن اکسید های سیلیسیوم قرار گرفته است.



شکل ۱- نمایش عامل های شیمیایی بر روی جداره های نانو جاذب متخلخل SBA-15

با وجود پتانسیل جذب سطحی در نانو ذره SBA-15 جهت ارتقای توانایی آن از نانو صفحات گرافن اکساید استفاده شد. در این اصلاح ماده تهیه شده از نانو مواد مذکور سطح بسیار فعالی را جهت جذب سطحی مواد ایجاد می کند. بر این اساس با توجه به شکل ۲ وجود صفحات گرافن اکساید به علت داشتن سطح پایه کربنی که گروه های عاملی متفاوت بر روی آن قرار دارند فضای فعالی را برای انجام واکنش های جذب سطحی در محیط آبی فراهم می آورد. با وجود گروه های هیدروکسیل در جداره داخلی و خارجی نانو ذره SBA-15 این احتمالات به ذهن می رسد که صفحات گرافن اکساید توانایی انجام واکنش با هر دو سطح از ساختار هگزوگونال SBA-15 را داشته و بتوانند در هر دو سطح از حفرات جای بگیرند.



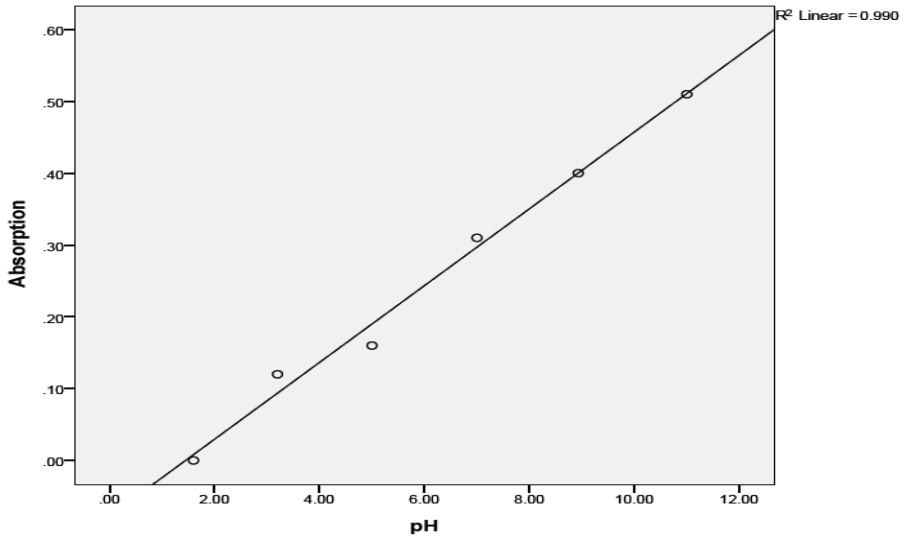
شکل ۲- نمایش جداره و گروه های عاملی بر روی نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15

۲.۳. بررسی متغییرهای حذف نفتالین بوسیله نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15

موارد استفاده از نانو جاذب ها دارای شرایط مختلف بوده که در این پژوهش از نانو جاذب اصلاح شده گرافن اکساید/SBA-15 به عنوان ماده جاذب استفاده شده و شاخص های تغییرات pH ، اثر غلظت اولیه نفتالین، اثر غلظت نانو جاذب و اثر تغییرات زمان مطالعه گردید. در این خصوص تحولات واکنش با آلاینده نفتالین بررسی شده است.

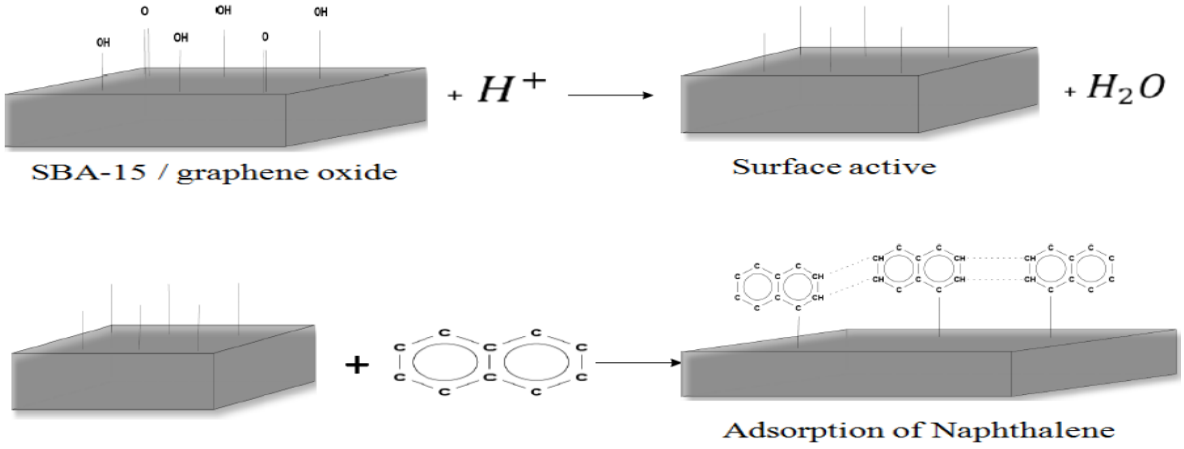
۱.۲.۳. اثر تغییرات pH

از نتایج حاصل شده در شکل ۳ مشخص شد با اسیدی شدن محیط میزان جذب نفتالین بوسیله نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15 افزایش یافته و در محیط کاملا اسیدی توانسته است نفتالین موجود را کاملا جذب کند. در تعیین رگرسیون خطی حذف نفتالین، تغییرات pH به عنوان متغییر مستقل و حذف آن به عنوان متغییر وابسته در نظر گرفته شد و معادله $y= -0.08+0.05x$ با ضریب همبستگی $R^2 = 0.990$ حاصل گشت. با توجه به اسیدی شدن محیط غلظت H^+ افزایش پیدا کرده که این عمل باعث شده تا با گروه های عاملی موجود در سطوح نانو کامپوزیت واکنش داده و قدرت اکتیواسیون کربن موجود در گرافن را بالا برده و قدرت جذب سطحی را در سطوح نانو کامپوزیت افزایش بدهد.



شکل ۳- تاثیرات pH در جذب آلاینده نفتالین بوسیله نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15

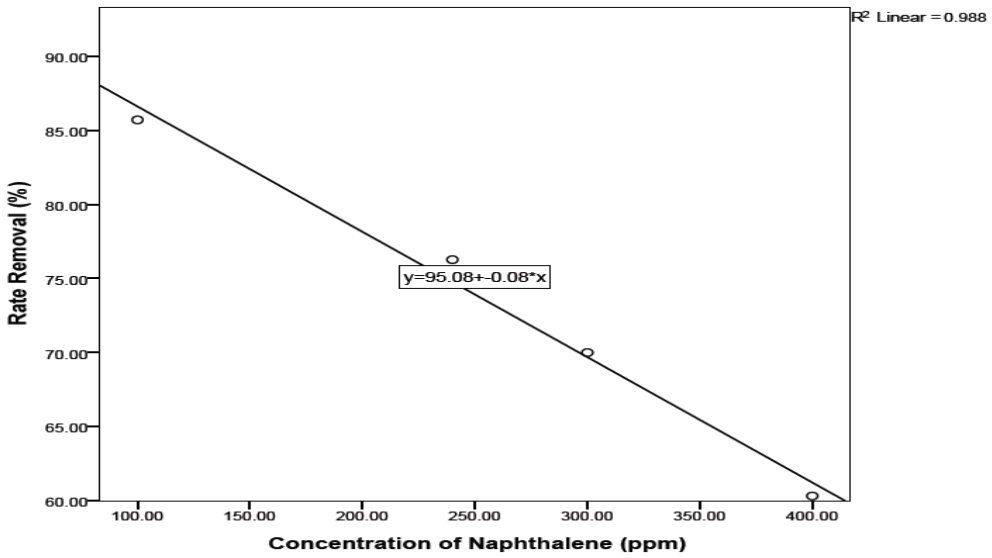
آماده سازی سطوح در محیط اسیدی و برخورد مولکول های نفتالین با آن نمایانگر پتانسیل بالا در قابلیت جذب سطحی نانو کامپوزیت گرافن اکساید/SBA-15 در محیط اسیدی می باشد که در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴- نمایش مکانیسم جذب نفتالین در محیط اسیدی

۲.۲.۳. اثر غلظت اولیه نفتالین

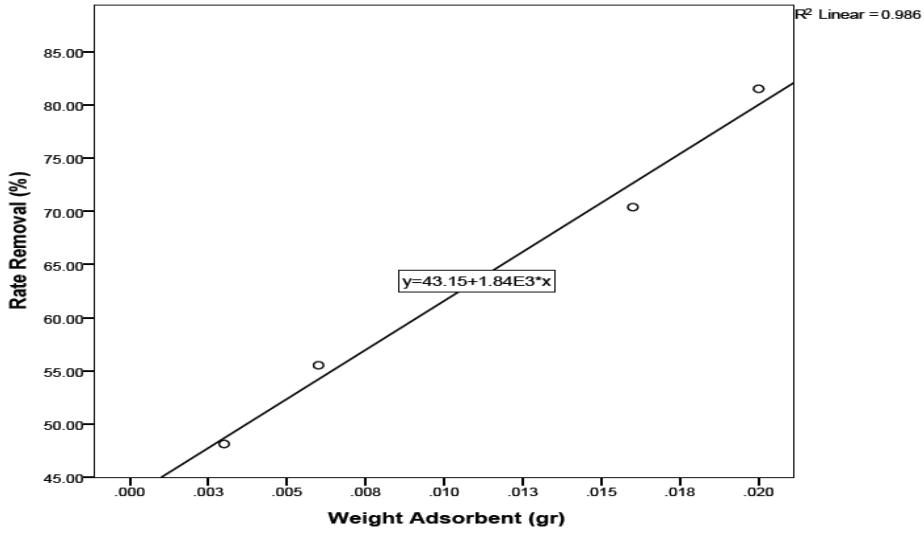
در جهت اندازه گیری پتانسیل نانو جاذب در حذف نفتالین غلظت های ppm ۱۰۰ تا ppm ۴۰۰ از محلول نفتالین تهیه شد و بررسی نتایج منجر به شکل ۵ گردید. لذا متغییرهای جذب نهایی دستگاه اسپکتروفتومتر، غلظت اولیه نفتالین و همچنین راندمان حذف مشخص گردید. مشاهده می شود با افزایش غلظت نفتالین در محلول راندمان جذب سطحی نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15 کاهش پیدا کرده و در غلظت مینیمم دارای حذف ۸۵/۷۱ درصد است. لذا با توجه به افزایش غلظت نفتالین و پر شدن سایت های فعال نانو جذب، کاهش راندمان جذب قابل پیش بینی می باشد. در تعیین رگرسیون خطی راندمان حذف نفتالین، غلظت اولیه نفتالین به عنوان متغییر مستقل و راندمان حذف آن به عنوان متغییر وابسته در نظر گرفته شد و معادله y=95.08-0.08x با ضریب همبستگی $R^2 = 0.988$ حاصل گشت.



شکل ۵- تاثیرات غلظت اولیه آلاینده نفتالین در حذف آن بوسیله نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15

۳.۲.۳. اثر مقدار نانو جاذب

با توجه به استفاده از مقادیر مختلف نانو جاذب در حجم و غلظت معلوم از محلول نفتالین مشخص شد که با افزایش مقدار جاذب درصد حذف آلاینده فزونی یافته که ناشی از افزایش سطح موثر به نسبت مقدار آلاینده معلوم می باشد. نتایج در شکل ۶ نمایش داده شده است. لذا راندمان جذب سطحی نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15 مطلوب بوده و به نسبت آلایندگی محیط راندمان قابل قبول و مفیدی ارائه شده است. در تعیین رگرسیون اثر مقدار نانو جاذب معادله y=43.15+1.84E3x با ضریب همبستگی $\boldsymbol{R^2 = 0.986}$ حاصل گشت.

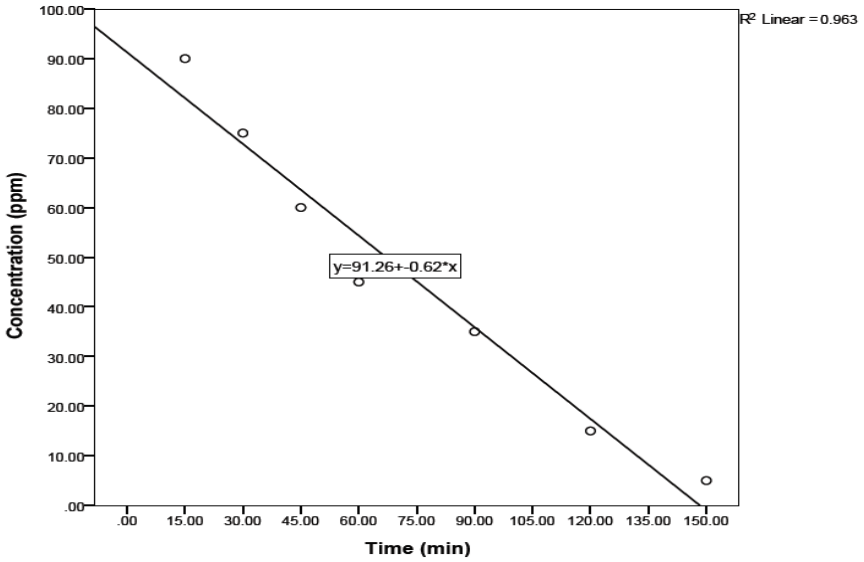


شکل ۶- تاثیرات وزن اولیه نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15 در حذف آلاینده نفتالین

۴.۲.۳. اثر گذشت زمان

در خصوص بررسی رفتار جذبی نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15 در طی زمان، داده های استخراج شده در شکل ۷ نمایش داده شده است. مشاهده می شود با گذشت زمان راندمان حذف نفتالین افزایش داشته و طی آن غلظت آلاینده در محلول کاهش داشته است. گذشت زمان باعث ایجاد برخوردهای بیشتر بین آلاینده و جاذب شده که این امر باعث می شود تا جاذب

از پتانسیل جذب خود به طور کامل استفاده کند. . در تعیین رگرسیون اثر گذشت زمان معادله y=91.26-0.62x با ضریب همبستگی $R^2 = 0.963$ حاصل گشت.



شکل ۷- تاثیرات گذشت زمان در حذف آلاینده نفتالین بوسیله نانو جاذب گرافن اکساید/SBA-15

۴. نتیجه گیری

با توجه به خصوصیات جاذب طراحی شده مشاهده شد فرآیند مذکور بازدهی قابل قبولی در حذف آلاینده نفتالین به عنوان یک نمونه از آلاینده های آروماتیکی دارد. در دفع آلاینده نفتالین با ساختار آروماتیکی و قرار گیری در دسته مواد آلاینده آلی، وجود ماده اصلاح کننده کربنی گرافن اکساید ماده ای موثر در جذب نفتالین شناسایی شد. در خصوص فاکتورهای pH، غلظت اولیه نفتالین، اثر مقدار نانو جاذب و اثر گذشت زمان برای محلول حاوی نفتالین در شرایط یکسان بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که در pH های اسیدی مقدار جذب با توجه به ساختار جاذب افزایش پیدا می کند. همچنین کاهش غلظت اولیه نفتالین، افزایش مقدار جاذب و افزایش زمان تماس جاذب با محلول حاوی آلاینده نفتالین باعث افزایش راندمان جذب و بهبود دفع آن می شود.

۵. منابع

۱. ایوانی، محمد جواد و قاسم زاده محمدی، وحید و عاطفی، محسن، "هیدروکربن های آروماتیک چند حلقهای و راههای کاهش در محصولات غذایی"، علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. سال هفتم، شماره ۵. سال ۱۳۹۱.

۲. مناف فر، رامین [و همکاران]. "اندازه گیری هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای در منابع آبی با استفاده از زیست حسگر الکتروشیمیایی(DNA)"، سلامت و محیط، فصلنامه ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره ۸، شماره ۲، سال ۱۳۹۴.

۳. یزدانبخش، احمد رضا، "راهنمای کنترل هیدروکربورهای آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) در آب آشامیدنی"، وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، معاونت سلامت، مرکز سلامت محیط و کار، سال ۱۳۸۴.

4. Liang Li, "Treatment of produced water using chemical and biological unit operations", Department of civil and environmental engineering ,The university of Utah, 2010.

5. R. Tehrani-Bagha, N. M. Mahmoodi, M. Arami, "Study of the effective parameters on decolorization of C.I. Reactive Black 5 wastewater by ozonation", J. Color Sci. Technol.2, pp. 67-75, 2008.

6. N. A.Oladoja, C. O. Aboluwoye, A. O. Akinkugbe, "Evaluation of loofah as a sorbent in the decolorization of basic dye contaminated aqueous system", Ind. Eng. Chem, pp. 2786-2794, 2009.

7. T. Robinson, B. Chandran, P. Nigam, "Removal of dyes from an artificial textile dye effluent by two agricultural waste residues", corncob and barley husk. Environ. Int, pp.29–33, 2002.

8. G. Crini, et al, "The removal of Basic Blue 3 from aqueous solutions by chitosanbased adsorbent: Batch studies", J. Hazard. Mater, pp.96-106, 2008.

9. H. Tayebi, A. Mirabi, N. Hoseini, "Application of polyaniline/silica nanocomposite for removal of Cd (II) from aqueous media", 1st International Conference on Nanostructures and Nanomaterials, Science and Applications, masjed soleyman.

10. H. Tayebi, I. Akbartabar, M. E. Yazdanshenas, "Abosaeed Rashidi, Adsorption behavior of Reactive Red 198 onto carbon nanotubes :Isotherm, Kinetic and Thermodynamic studies", 1st International Conference on Nanostructures and Nanomaterials, Science and Applications, masjed soleyman

۱۱. تریبال، رابرت ایولد،" عملیات واحد"، ترجمه پریسا زینی، انتشارات نهر دانش، تهران، ۱۳۸۶.

۱۲. مک کیب. اسمیت. هریوت."عملیات واحد مهندسی شیمی"، ترجمه بهرام پوستی، انتشارات کتاب دانشگاهی، تهران، ۱۳۸۸.