

ارزیابی ظرفیت جذب نانوگرافن و نانوگرافن اکساید برای حذف زایلن از هوا و مقایسه آنها با جاذب استاندارد کربن فعال به منظور معرفی جاذب بهینه

اکرم تبریزی^۱ - فریده گل‌بابایی^۲ - حمید شیرخانلو^۳ - مصطفی جعفری زاوه^۴ - کمال اعظم^۵ - رسول یاراحمدی^۶

fgolbabaei@sina.tums.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۲۴

چکیده

مقدمه: ترکیبات آلی فرار یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های منتشره به هوا ناشی از فعالیت‌های صنعتی بوده و دارای اثرات سوء بر روی انسان و محیط زیست می‌باشد. از این رو لازم است قبل از ورود به اتمسفر حذف شوند. هدف این مطالعه ارزیابی ظرفیت حذف زایلن از هوا توسط جاذب‌های نانوگرافن و نانوگرافن اکساید در مقایسه با جاذب کربن فعال است.

روش کار: پس از تهیه جاذب‌های کربن فعال، نانوگرافن و نانوگرافن اکساید، آزمایشات بررسی ظرفیت جذب سطحی جاذب‌ها در حالت استاتیک (Batch) در ویال شیشه‌ای به حجم ۱۰ میلی لیتر انجام گرفت. عوامل مختلف مورد مطالعه شامل مدت زمان تماس، مقدار جاذب، غلظت زایلن و دما بوده. ایزوترمهای جذب لانگمویر برای بررسی ظرفیت جذب زایلن بر روی جاذب‌ها مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین آنالیز نمونه‌ها توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله ای (GC-FID) انجام شد.

یافته‌ها: ظرفیت جذب زایلن در دمای محیطی (25°C) و در مدت زمان تماس ۱۰ دقیقه برای جاذب کربن فعال ۳۴۹/۸، نانوگرافن اکساید ۱۴/۵ و نانوگرافن ۴۹۰ میلی گرم بر گرم به دست آمد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد اندازه ذرات در مورد جاذب‌های نانوگرافن و نانوگرافن اکساید زیر ۱۰۰ نانومتر می‌باشد و تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نشان دهنده اندازه ذرات برابر با ۴۵ نانومتر در جاذب نانوگرافن و ۶۵ نانومتر در جاذب نانوگرافن اکساید بود. از طرفی تصاویر دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) ساختار مکعبی نانو جاذب‌ها را نشان داد.

نتیجه گیری: در رطوبت ثابت، افزایش مدت زمان تماس و افزایش دما تا ۴۵ درجه سانتی گراد منجر به افزایش میزان ظرفیت جذب جاذب نانوگرافن و نانوگرافن اکساید گردید و تاثیر مثبتی بر روی ظرفیت جذب جاذب‌ها داشت. نتایج نشان داد که نانوگرافن ظرفیت جذب بالاتری نسبت به دیگر جاذب‌های نانوگرافن اکساید و کربن فعال برای حذف زایلن از جریان هوا دارد. اصلاح جاذب نانوگرافن و نانوگرافن اکساید با مواد دیگر به منظور افزایش امکان به‌دام افتادن آلاینده بر روی آن پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: زایلن، جذب سطحی، نانوگرافن، نانوگرافن اکساید و کربن فعال

- ۱- کارشناس ارشد، مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران.
- ۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران.
- ۳- استادیار پژوهشکده سلامت صنعت نفت، تهران، ایران.
- ۴- کارشناس ارشد، مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران.
- ۵- استادیار، گروه آملر و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران.
- ۶- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، ایران.

مقدمه

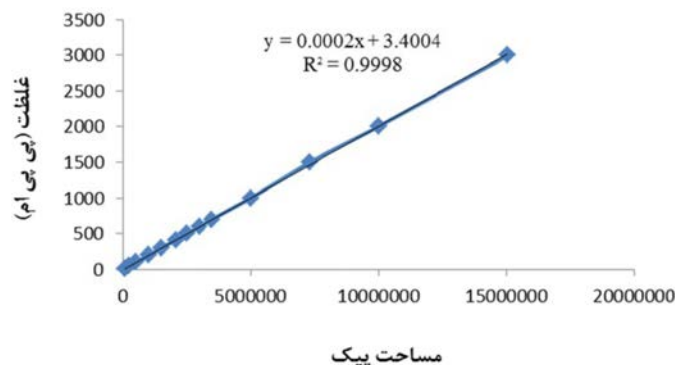
با گسترش سریع صنایع و افزایش جمعیت کره زمین، ضرورت کنترل آلاینده های هوای ناشی از فعالیت های انسانی و طبیعی امری بدیهی است. یکی از عوامل مهم آلودگی هوا ترکیبات آلی فرار (VOCs) می باشند. عمده ترین منابع انتشار این ترکیبات را صنایع نفت و پتروشیمی، پالایشگاه ها و وسایل نقلیه موتوری تشکیل می دهند (۱). یکی از این ترکیبات آلی فرار زایلین می باشد. زایلین یک هیدروکربن آروماتیک بی رنگ، با طعم شیرین است که به راحتی قابل اشتعال می باشد. زایلین موجود در هوای اطراف شهرها و نواحی صنعتی اساساً نتیجه فعالیت های انسان در ارتباط با ترافیک، کاربرد سوخت های فسیلی و فرآیندهای صنعتی می باشد. مشکلات ناشی از مواجهه با این ترکیبات باعث جلب توجهات به این ماده خطرناک شده است (۲). از آنجا که قرارگیری در معرض مواد آلی فرار می تواند باعث ایجاد عوارض بهداشتی مختلفی بر روی سیستم اعصاب مرکزی و دیگر ارگان های داخلی مانند کبد شود و هم چنین در صورت انتشار در اتمسفر می تواند باعث تشکیل مه دود فوتوشیمیایی، گرم شدن کره ی زمین، تغییرات آب و هوایی و دیگر مشکلات محیط زیستی گردند، ارایه روش هایی برای کنترل آن و بهبود کارهای علمی پیشین، ضروری به نظر می رسد (۳).

یکی از مهم ترین و متداولترین روش های مورد استفاده در کنترل ترکیبات آلی فرار روش جذب سطحی می باشد (۴، ۵). در میان جاذب های مختلفی که در تکنولوژی جذب سطحی استفاده می شوند، کربن فعال به علت سادگی کار با آن، هزینه های عملیاتی پایین و بازیافت موثر اغلب مواد آلی فرار از آن به طور گسترده ای برای حذف مواد آلی فرار

از هوای آلوده در صنایع استفاده می شود (۶، ۷). از طرفی با توسعه روش های جدید استخراج و بهبود روش های موجود، گرایش به سمت نانو مواد مبتنی بر کربن سوق پیدا کرده است (۸). در این مطالعه نانو گرافن و نانو گرافن اکسید به عنوان جاذبی نوین در جذب سطحی زایلین از هوا مورد استفاده قرار گرفته اند و تاثیر عوامل مختلف مانند مدت زمان تماس، مقدار جاذب، غلظت زایلین و دما بر روی ظرفیت جاذب ها بررسی شد

روش کار

این مطالعه طبق مراحل زیر صورت گرفت. رسم منحنی کالیبراسیون (Calibration Curve) در این مرحله، ابتدا غلظت های استاندارد از زایلین (خریداری شده از شرکت Merck آلمان و cas number = 1330-20-7) در محدوده ۱۰ تا ۳۰۰۰ پی پی ام توسط سرنگ تزریق مایع (ساخت شرکت هامیلتون کشور Switzerland) برداشته و در کیسه های نمونه برداری تدار که توسط پمپ دمشی از هوا پر شده اند ساخته شد (مطابق روش استاندارد پیشنهادی سازمان NIOSH) (۹). سپس از هوای موجود در کیسه های نمونه برداری ۴۰۰ میکرولیتر توسط سرنگ تزریق گاز (ساخت کشور آلمان) به دستگاه GC مجهز به دکتور FID مدل 3800 Varian دارای ستون مویی با طول ۲۵ متر و قطر ۰/۲۵ میلی متر تزریق گردید. دمای تزریق ۲۰۰ درجه سانتی گراد بود و دمای ستون در این دستگاه از ۳۵ درجه با سرعت ۲۰ درجه در دقیقه به ۹۰ درجه سانتی گراد افزایش می یافت. هم چنین نسبت اسپلیت ۲:۱ بود. در آخر پیک های حاصل از دستگاه به دست آمد و منحنی کالیبراسیون با توجه به غلظت زایلین و مساحت پیک متناظر با آن رسم گردید (شکل ۱).



شکل ۱. منحنی کالیبراسیون زایلن

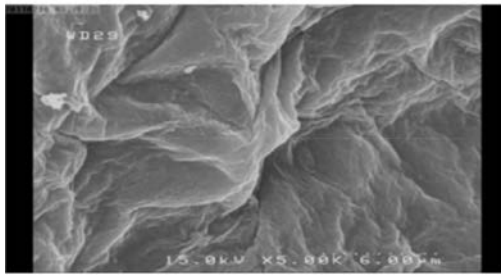
تهیه جاذب‌های مورد استفاده

در این مطالعه آزمایشات بر روی جاذب‌های کربن فعال، نانو گرافن و نانو گرافن اکسید انجام شد. لوله جاذب کربن فعال ساخت شرکت SKC مورد استفاده قرار گرفت و جاذب نانو گرافن و نانو گرافن اکسید از پژوهش‌کده نانو صنعت نفت کشور ایران تهیه شد که مشخصات آن‌ها توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری (Transmission Electron Microscopy یا TEM)، دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (Electron Microscopy Scanning یا SEM) و دستگاه پراش اشعه ایکس (X-Ray Diffraction یا XRD) پژوهش‌کده نانو صنعت نفت کشور ایران بررسی شد.

مطالعه ظرفیت جذب سطحی جاذب‌های مختلف مورد آزمایش و بررسی تاثیر عوامل مختلف بر روی آن

در این مرحله میزان ظرفیت جذب سطحی زایلن بر روی جاذب‌های مختلف و تاثیر عوامل مختلف بر روی آن مورد بررسی قرار گرفت. تعداد نمونه‌ها با توجه به عوامل مختلف ۲۱۶ نمونه بوده است. ابتدا غلظت‌های مختلفی از زایلن ۵۱/۶-۴/۳ میلی گرم بر لیتر در جاذب کربن فعال، ۲۵/۸-

۴/۳ میلی گرم بر لیتر در جاذب نانو گرافن اکسید و ۸۶-۸/۶ میلی گرم بر لیتر در جاذب نانو گرافن توسط سرنگ تزریق مایع به ویال‌های شیشه ای با حجم ۱۰ میلی لیتر بر روی جاذب‌های کربن فعال، نانو گرافن و نانو گرافن اکسید تزریق شد. ویال‌های شیشه‌ای مجهز به درپوش پلی تترافلوئورواتیلن (PTFE) مقاوم در برابر عبور هوا بودند. سپس مقدار مشخصی از هوای داخل ویال دارای جاذب (۴۰۰ میکرولیتر) به دستگاه GC-FID تزریق گردید. تمامی آزمایشات در رطوبت ثابت ۳۲ درصد انجام گرفت. در ادامه تاثیر مدت زمان تماس در دو زمان ۱۰ min و ۳۰ min، مقدار جاذب بر حسب میلی گرم (برابر با یک میلی گرم و توزین شده با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم مدل Sartorius) و غلظت بر حسب میلی گرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تاثیر دما در دو سطح ۲۵°C و ۴۵°C بر روی ظرفیت جذب در انواع جاذب‌های مورد مطالعه، با مقدار جرم جاذب مشخص یک میلی گرم مورد مطالعه قرار گرفت. در پایان ظرفیت جذب زایلن توسط جاذب‌های مختلف طبق معادله ۱ محاسبه شد که در این معادله q_e ظرفیت جذب جاذب بر حسب mg/g ، C_0 غلظت اولیه زایلن بر حسب mg/L ، C_e



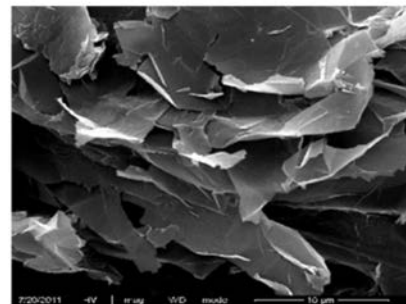
تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوگرافن



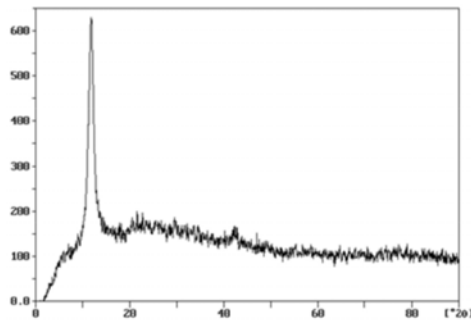
تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوگرافن



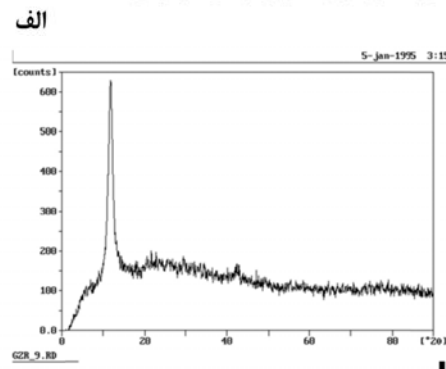
تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانو گرافن اکسید



تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو گرافن اکسید



تصویر پراش اشعه ایکس نانو گرافن



تصویر پراش اشعه ایکس نانو گرافن اکسید

ب

شکل ۲. الف: تصاویر میکروسکوپی بدست آمده از نانو جاذب ها، ب: تصاویر پراش اشعه ایکس بدست آمده از نانو جاذب ها

جذب معادلاتی هستند که در حالت تعادل برای تعیین ظرفیت تئوریک جذب آلاینده ای مشخص به کار می‌روند (۱۰). در این مدل فرض می‌شود که مناطق جذب واقع در سطح جسم جاذب یکنواخت بوده و همگی دارای قدرت جذب یکسان هستند (۱۰). اعتبارسنجی روش مورد بررسی انجام شد و ضریب تغییرات با مقدار قابل قبول به دست آمد.

غلظت تعادلی زایلین در ویال بر حسب mg/L ، m مقدار جاذب مورد آزمایش بر حسب g و V حجم ویال بر حسب L می‌باشد.

$$qe = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

در این پژوهش، برای مدل‌سازی ایزوترم جذب زایلین از مدل جذب لانگمیر استفاده شد. ایزوترم‌های

یافته ها

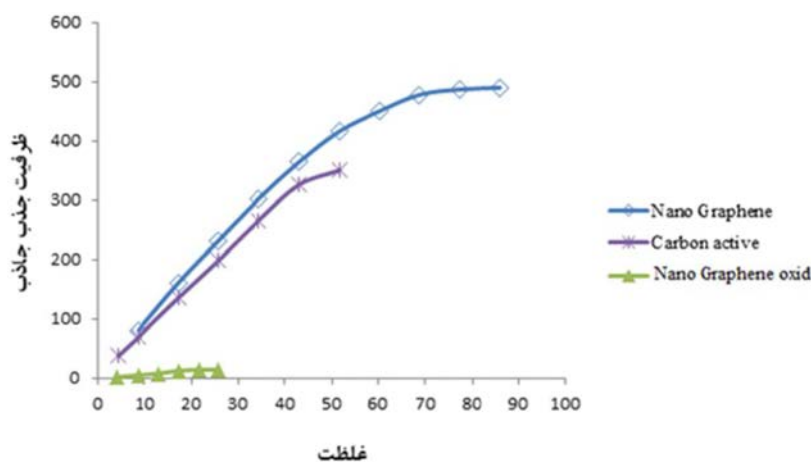
بررسی تاثیر غلظت بر روی ظرفیت جذب جاذب کربن فعال، نانو گرافن و نانو گرافن اکساید تاثیر غلظت زایلن بر روی ظرفیت جذب جاذبها در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و مدت زمان تماس ۱۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. غلظت‌های بالاتر در نظر گرفته شده به منظور رسیدن به حداکثر ظرفیت جذب جاذب می‌باشد. نتایج در جدول ۱ و شکل ۳ آمده است.

تاثیر مدت زمان تماس بر روی ظرفیت جذب جاذب‌های نانوگرافن و نانو گرافن اکساید مدت زمان تماس در دو مقدار، ۱۰ و ۳۰ دقیقه بر روی ظرفیت جذب زایلن توسط جاذب‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور مقادیر مختلف زایلن در مورد هر جاذب، در ویال‌های شیشه ای حاوی یک میلی گرم جاذب در شرایط دمای ۲۵°C، رطوبت ۳۲ درصد تزریق شد و سپس با گذشت مدت زمان تماس یکبار ۱۰ دقیقه و سپس ۳۰ دقیقه ظرفیت جذب در دو حالت به دست آمد. غلظت زایلن ۴/۳-۲۵/۸

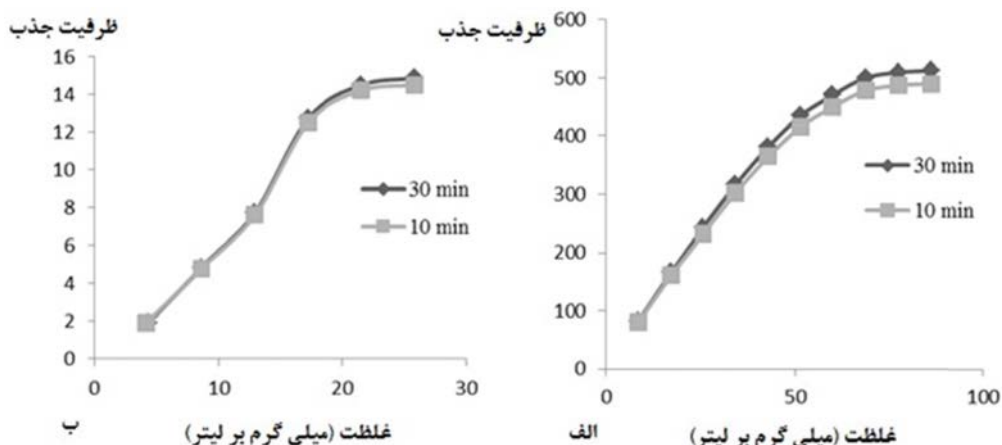
در شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی و تصاویر پراش اشعه ایکس حاصل از انواع نانو جاذب‌ها آمده است. مشخصات جاذب نانو گرافن و نانو گرافن اکساید مورد استفاده توسط دستگاه‌های TEM، XRD و SEM بررسی گردید. همچنین بررسی اندازه ذرات بین ۴۰ تا ۵۰ نانومتر برای جاذب نانوگرافن تایید شد. تصاویر میکروسکوپی SEM نشان داد اندازه ذرات در مورد جاذب‌های نانو گرافن و نانو گرافن اکساید زیر ۱۰۰ نانومتر می‌باشد و تصاویر میکروسکوپی TEM نشان دهنده اندازه ذرات برابر با ۴۵ نانومتر در جاذب نانوگرافن و ۶۵ نانومتر در جاذب نانو گرافن اکساید بود. همچنین تصاویر XRD نشان دهنده ساختار مکعبی نانو جاذب‌ها می‌باشد.

جدول ۱. مقایسه ظرفیت جذب (mg/g) در جاذب‌های مختلف در دمای ۲۵°C و مدت زمان ۱۰ دقیقه

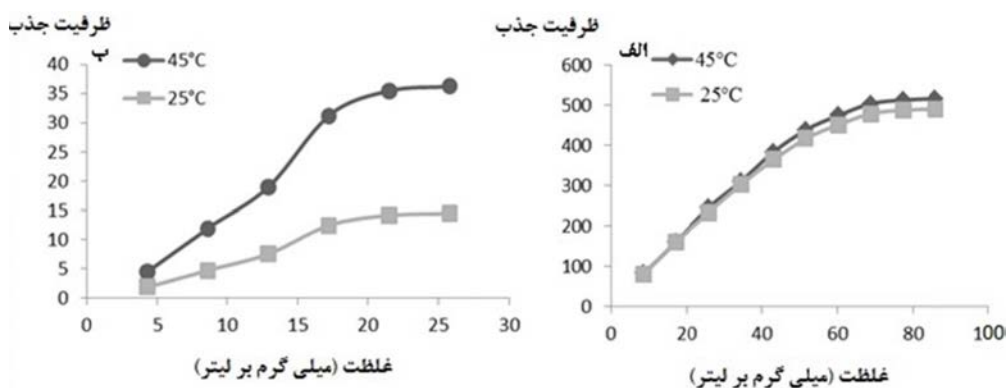
نوع جاذب	کربن فعال	نانو گرافن	نانو گرافن اکساید
ظرفیت جذب (mg/g)	۳۴۹/۸	۴۹۰	۱۴/۵



شکل ۳. مقایسه نمودار ظرفیت جذب (qe) بر حسب غلظت (mg/L) در جاذب‌های مختلف



شکل ۴. تاثیر مدت زمان تماس بر روی ظرفیت جذب نانوجاذب‌ها: الف. تاثیر مدت زمان تماس بر روی ظرفیت جذب نانوجاذب‌ها، ب. تاثیر مدت زمان تماس بر روی ظرفیت جذب نانوجاذب‌ها



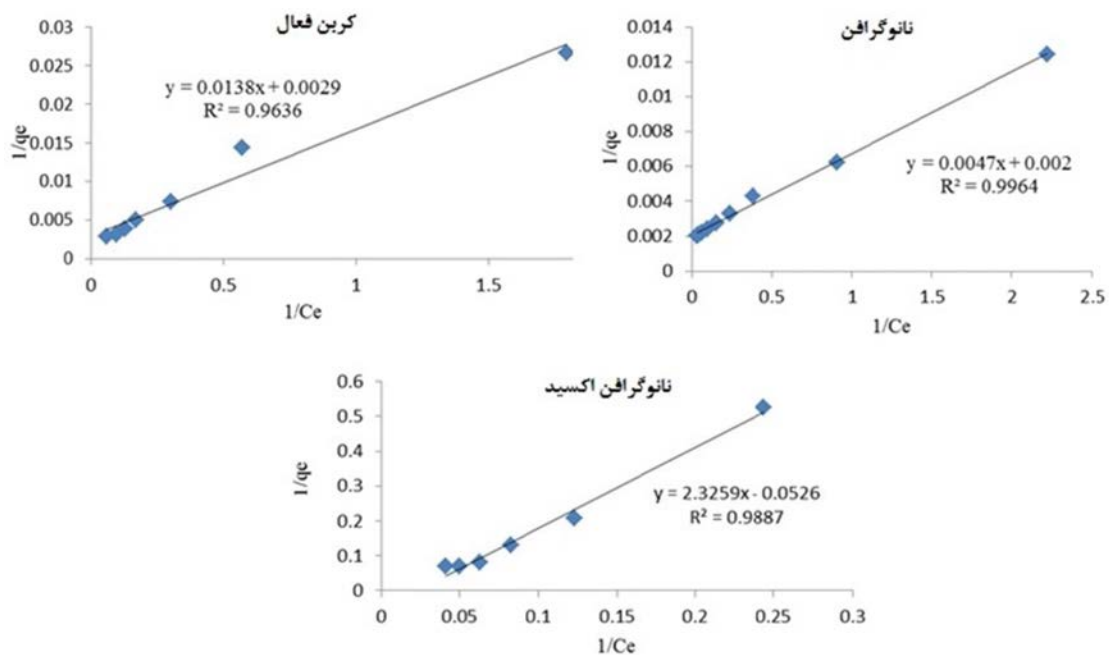
شکل ۵. تاثیر دما بر روی ظرفیت جذب نانوجاذب‌ها: الف. تاثیر دما بر روی ظرفیت جذب نانوجاذب‌ها، ب. تاثیر دما بر روی ظرفیت جذب نانوجاذب‌ها

مدت زمان تماس ۱۰ دقیقه و غلظت ۲۵/۸-۴/۳ میلی گرم بر لیتر در جاذب نانوجاذب اکسید و مقدار جاذب یک میلی گرم مورد آزمایش قرار گرفت و ظرفیت جذب محاسبه گردید.

سپس با توجه به غلظت اولیه تزریقی و غلظت نهایی بعد از عبور از روی جاذب، نمودار در دو دمای ۲۵ و ۴۵ سانتی گراد رسم گردید. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، افزایش دما سبب افزایش ظرفیت جذب جاذب به‌طور جزئی می‌شود. نتایج در شکل ۵ آمده است.

میلی گرم بر لیتر در جاذب نانوجاذب اکسید و ۸۶-۸/۶ میلی گرم بر لیتر در جاذب نانوجاذب اکسید در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست آمده در شکل ۴ نشان داده شده است. ظرفیت جذب جاذب با افزایش مدت زمان تماس افزایش یافت و طبق نتایج به‌دست آمده، تاثیر مدت زمان تماس بر روی ظرفیت جذب مثبت نشان داده شد.

تاثیر دما بر روی ظرفیت جذب جاذب‌ها در این حالت برای دو جاذب نانوجاذب و نانوجاذب اکسید دو سطح دمایی ۲۵°C و ۴۵°C در



شکل ۶. ایزوترم لانگمویر در جذب زایلن بر روی جاذب‌های مختلف

پس از رسم منحنی حاصل از این دو مقدار، معادله خط آن و عدد رگرسیون به دست آمد و با توجه به معادله ذکر شده در بالا مقادیر حداکثر ظرفیت جذب (b) و ثابت لانگمویر (a) به دست آمد.

در این مطالعه نتایج به دست آمده از بررسی ایزوترم جذب در جدول ۲ و شکل ۶ آمده است.

مقدار ضریب رگرسیون (R^2) در جاذب‌های مختلف، جذب قابل قبول زایلن را در دمای 25°C و مدت زمان تماس ۱۰ دقیقه نشان داد. مقدار Q_{max} یا b در معادله ۲ در ایزوترم لانگمویر برای جاذب نانو گرافن 500 mg/g و برای جاذب نانو گرافن اکسید $19/01 \text{ mg/g}$ به دست آمد. مقادیر ثابت مربوط به ایزوترم لانگمویر در جدول ۲ و شکل ۶ نشان داده شده است.

در مقایسه با سایر جاذب‌ها جاذب نانو گرافن ظرفیت جذب بیشتری را در جذب زایلن از هوا از خود نشان داد.

بررسی تعادل جذب و ایزوترم جذبی در جاذب نانو گرافن و نانو گرافن اکسید ایزوترم لانگمویر به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{ab} \times \frac{1}{c_e} + \frac{1}{b} \quad (2)$$

که در آن :

q_e : مقدار ماده جذب شده در حالت تعادل (mg/g)

a: ثابتی است که به پیوستگی محل‌های جذب و انرژی جذب بستگی دارد.

b: حداکثر یون فلزی جذب شده برای تکمیل یک لایه، ثابتی است که به ظرفیت جذب بستگی دارد. (mg/g)

Ce: غلظت ماده جذب شونده در حالت تعادل (mg/L)

به منظور رسم منحنی ایزوترم لانگمویر جذب زایلن بر روی جاذب‌های مختلف، مقادیر مربوط به $1/q_e$ و $1/C_e$ مورد استفاده قرار گرفت.

اعتبار سنجی داخلی نانوگرافن انجام شد. در تعیین تکرارپذیری برون سنجی ضریب تغییرات $3/35$ و در تعیین تکرارپذیری درون سنجی $3/01$ به دست آمد که در هر دو حالت قابل قبول می باشد. در بررسی اعتبار سنجی خارجی نانوگرافن بازده در محدوده ۸۱ تا ۹۳ درصد حاصل شد.

بحث

در این مطالعه جاذب هایی جدید برای حذف ترکیبات زایلن از هوا مورد بررسی قرار گرفت و ظرفیت جذب زایلن بر روی آن ها با جاذب کربن فعال مورد تایید سازمان NIOSH مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد جاذب نانو گرافن نسبت به کربن فعال کارایی حذف بالاتری دارد و ظرفیت جذب نانو گرافن حدود دو برابر ظرفیت جذب کربن فعال به دست آمد. این امر به خوبی تاثیر نانوجاذبها در حذف زایلن از هوا را نشان می دهد. در مطالعه ای که توسط حمید رضا پور زمانی و همکاران در سال ۱۳۹۰ برای حذف اتیل بنزن و زایلن از محلول های آبی انجام گرفت، کارایی نانو جاذبها مورد بررسی قرار گرفت. نانوجاذبهای مورد استفاده در این مطالعه نانو لوله های کربنی تک دیواره و چند دیواره و نانولوله های کربنی هیبرید بوده و نتایج نشان داد کارایی نانو جاذبها در حذف زایلن قابل ملاحظه است. نتایج به دست آمده در مطالعه نشان داد ظرفیت جذب اتیل بنزن و زایلن توسط نانو لوله های کربنی تک دیواره بیشتر از نانو لوله های کربنی چند دیواره و نانو لوله های کربنی هیبریدی (برای اتیل بنزن mg/g ۹/۹۷ و برای زایلن $10 mg/g$ توسط نانو لوله های کربنی تک دیواره) بود (۱۱). در مطالعه دیگری که توسط حمید شیرخانلو و همکاران در سال ۲۰۱۴ انجام گرفت، ظرفیت جذب نانوگرافن اصلاح شده با

مایعات یونی در حذف تولوئن از هوا ۱۲۶ میلی گرم بر گرم به دست آمد (۱۲) که تاثیر مثبت نانوجاذب نانوگرافن را در حذف تولوئن به خوبی نشان می دهد. از طرفی در مطالعه حاضر نتایج نشان داد جاذب نانو گرافن اکسید کارایی زیادی در حذف زایلن از هوا نداشت و ظرفیت جذب پایینی نسبت به کربن فعال از خود نشان داد. این امر می تواند به دلیل حضور گروه های اکسیژنی در نانوجاذب مورد نظر باشد که تاثیر منفی بر روی امکان جذب زایلن بر روی نانوجاذب خواهد داشت. از طرفی همان طور که در شکل ۳ و جدول ۱ ملاحظه شد، نتایج تاثیر مثبت افزایش غلظت زایلن برای افزایش ظرفیت جذب نانو گرافن اکسید را به همراه داشت. همچنین در شکل ۴ ملاحظه می شود که با افزایش مدت تماس میزان ظرفیت جذب در جاذب نانو گرافن افزایش پیدا می کند. در صورتی که در جاذب های کربن فعال و نانو گرافن اکسید تغییر قابل ملاحظه ای دیده نشد. ولی در کل افزایش مدت زمان تماس تاثیر مثبت بر ظرفیت جذب جاذب دارد. در واقع افزایش زمان تماس سبب افزایش ظرفیت جذب می شود. زمان تماس با توجه به این که فرآیندهای جذب از نوع واکنش های تعادلی هستند، در پیشرفت واکنش نقش اساسی دارد و واکنش نیز تا رسیدن به تعادل پیش می رود (۱۳). در مطالعه ای که توسط LU و همکارانش به منظور حذف بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و پارا زایلن به وسیله نانو لوله های کربنی اکسید شده با هیپو کلرید سدیم در سال ۲۰۱۰ انجام شد نیز مشخص گردید که ظرفیت جذب جاذبها در ابتدا با افزایش زمان تماس افزایش یافته، به طوری که در ۲۴۰ دقیقه به ماکزیمم مقدار خود می رسد و بعد از آن کاهش می یابد (۱۴). در مطالعه در حال حاضر نیز افزایش ظرفیت جذب با افزایش زمان تماس دیده شد.

با توجه به این که کشور ما دارای شرایط جوی مختلفی می باشد و تولید زایلن در شهرهای صنعتی و نیز دارای آب و هوای نسبتاً گرم صورت می گیرد، بدین منظور این جاذبها در دمای بالا (45°C) مورد آزمایش قرار گرفت. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، افزایش دما سبب افزایش ظرفیت جذب به طور جزیی می گردد. باید متذکر شد که این افزایش دما نیز باید محدود باشد زیرا در دماهای بالا با توجه به ویژگی فرار بودن زایلن تاثیر منفی بر روی کارایی حذف زایلن از هوا وجود دارد. قابل ذکر است که دما بر روی نانو گرافن اکساید تاثیر مثبت بیش تری نسبت به جاذب نانو گرافن از خود نشان داد.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه، نانو گرافن اکساید برای جذب زایلن دارای کارایی قابل ملاحظه نمی باشد. آزمایشات انجام شده بر

روی جاذبهای مختلف در این مطالعه و مقایسه آنها با جاذب کربن فعال مورد تایید NIOSH نشان داد کارایی حذف زایلن از هوا توسط جاذب نانوگرافن در مقایسه با دیگر جاذبها دارای کارایی بهتری برای حذف زایلن از هوا می باشد. ساخت بستر مناسب برای جذب بهینه زایلن بر روی جاذب و استفاده از حداکثر تعداد جایگاههای جذب و نیز اصلاح جاذب نانو گرافن و نانو گرافن اکساید با مواد دیگر به منظور افزایش امکان به دام افتادن آلاینده بر روی آن پیشنهاد می گردد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شده است و از همکاری مسوولین محترم آزمایشگاه بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران و نیز پژوهش کده صنعت نفت تهران قدردانی و تشکر به عمل می آید.

REFERENCES

1. Chen W, Duan L, Zhu D. Adsorption of polar and nonpolar organic chemicals to carbon nanotubes. *Environmental science & technology*. 2007;41(24):8295-300.
2. Gariazzo C, Pelliccioni A, Di Filippo P, Sallusti F, Cecinato A. Monitoring and analysis of volatile organic compounds around an oil refinery. *Water, air, and soil pollution*. 2005;167(1-4):17-38.
3. Moussavi G, Khavanin A, Mokarami H. Removal of Xylene from Waste Air Stream Using Catalytic Ozonation Process. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2010;3(3):239-50.
4. Delage F, Pré P, Le Cloirec P. Mass transfer and warming during adsorption of high concentrations of VOCs on an activated carbon bed: experimental and theoretical analysis. *Environmental science & technology*. 2000;34(22):4816-21.
5. Song W, Tondeur D, Luo L, Li J. VOC adsorption in circulating gas fluidized bed. *Adsorption*. 2005;11(1):853-8.
6. Davidson C, Daugulis A. The treatment of gaseous benzene by two-phase partitioning bioreactors: a high performance alternative to the use of biofilters. *Applied microbiology and biotechnology*. 2003;62(2-3):297-301.

7. Khan FI, Ghoshal AK. Removal of volatile organic compounds from polluted air. Journal of loss prevention in the process industries. 2000;13(6):527-45.
8. Zhang B-T, Zheng X, Li H-F, Lin J-M. Application of carbon-based nanomaterials in sample preparation: A review. Analytica chimica acta. 2013;784:1-17.
9. NIOSH NIOSaH. Method1501. 2005 (3).
10. Pontius F. Drinking water regulation and health: John Wiley & Sons; 2003.
11. Bina B, Amin M, Rashidi A, Pourzamani H. Benzene and toluene removal by carbon nanotubes from aqueous solution. Archives of Environmental Protection. 2012;38(1):3-25.
12. Shirkhanloo H, Osanloo M, Dadras OQ. Nobel Method for Toluene Removal from Air Based on Ionic Liquid Modified Nano-Graphen. International Journal of Occupational Hygiene. 2014;6(1):1-5.
13. ESMAEELIA, NASERI S, MAHVI H, ATASH DR. Removal of Copper and Nickel from Aqueous Solutions by Natural Bentonite. 2003.
14. Su F, Lu C, Hu S. Adsorption of benzene, toluene, ethylbenzene and p-xylene by NaOCl-oxidized carbon nanotubes. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2010;353(1):83-91.

Evaluation of the adsorption capacity of nano-graphene and nano-graphene oxide for xylene removal from air and their comparison with the standard adsorbent of activated carbon to introduce the optimized one

Akram Tabrizi ¹, Farideh Golbabaie ^{2*}, Hamid Shirkhanloo ³, Mostafa Jafarizaveh ⁴,
Kamal azam ⁵, Rasoul Yarahmadi ⁶

¹ M.Sc. Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

² Professor of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Iranian Petroleum Industry Health Research Institute (IPIHRI), Tehran, Iran

⁴ M.Sc. Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁵ Assistant Professor of Biostatistics, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁶ Assistant Professor of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, Faculty of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Volatile organic compounds from industrial activities are one of the most important pollutants released into the air and have adverse effects on human and environment. Therefore, they should be removed before releasing into atmosphere. The aim of the study was to evaluate xylene removal from air by nano-graphene and nano-graphene oxide in comparison with activated carbon adsorbent.

Material and Method: After preparing adsorbents of activated carbon, nano-graphene, and nano-graphene oxide, experiments adsorption capacity in static mode (Batch) were carried out in a glass vial. Some variables including contact time, the amount of adsorbent, the concentration of xylene, and the temperature were studied. Langmuir adsorption isotherms were used in order to study the adsorption capacity of xylene on adsorbents. Moreover, sample analysis was done by gas chromatography with Flame Ionization Detector (GC-FID).

Results: The adsorption capacities of activated carbon, nano-graphene oxide and nano-graphene for removal of xylene were obtained 349.8, 14.5, and 490 mg/g, respectively. The results of Scanning Electron Microscope (SEM) for nano-graphene and nano-graphene oxide showed particle size of less than 100 nm. While, the results of Transmission Electron Microscope (TEM) showed particle size of 45nm for nano-graphene and 65 nm for nano-graphene oxide. Also, X-Ray Diffraction (XRD) showed cube structure of nano-adsorbents.

Conclusion: In constant humidity, increase in exposure time and temperature caused an increase in the adsorption capacity. The results revealed greater adsorption capacity of xylene removal for nano-graphene compared to the activated carbon, and nano-graphene oxide.

Key words: Activated Carbon, Adsorption, Nano-Graphene, Nano-Graphene Oxide, Xylene

* Corresponding Author Email: fgolbabaie@sina.tums.ac.ir