

## اثرات اصلاح اسیدی کربن فعال در جذب سطحی گاز بیهوشی سووفلوران

اصغر قهری<sup>۱</sup> - فریده گل‌بابایی<sup>۲\*</sup> - لیلا وفاجو<sup>۲</sup> - سیدمحمد میراسکندری<sup>۴</sup> - مهدی یاسری<sup>۵</sup>

سیدجمال‌الدین شاهطاهری<sup>۲</sup> - فرانک نجاریان<sup>۶</sup>

*fgolbabaei@sina.tums.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸

### مکیده

**مقدمه:** گازهای بیهوشی مورد استفاده در بیمارستان‌ها شامل اکسید نیتروز و هیدروکربن‌های هالوژن دار مانند سووفلوران بوده که می‌توانند از طریق نشتی‌های موجود در مدار بیهوشی و بازدم کنترل نشده بیمار، به هوای تنفسی کارکنان اتاق عمل انتشار یابند. این گازها دارای اثرات گل‌خانه‌ای در محیط زیست و مخاطرات جدی مانند بیماری‌های تولیدمثلی، زایمان زودرس، ناهنجاری‌های جنینی و افزایش ریسک سقط خودبه‌خودی بر سلامتی کارکنان اتاق عمل می‌باشند. با توجه به مطالب فوق، حذف این گازها از هوای محیط کار به ویژه مراکز درمانی امری واجب است. هدف از مطالعه حاضر جذب سطحی سووفلوران از هوا با استفاده از کربن فعال و هم‌چنین تاثیر اصلاح اسیدی بر عمل کردن آن می‌باشد.

**روش کار:** در این مطالعه از دو جاذب زغال فعال اصلاح نشده و اصلاح شده با اسید نیتریک جهت حذف سووفلوران استفاده گردید. پس از تهیه و آماده‌سازی، جاذب‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمایشات تفرق اشعه ایکس، ایزوترم‌های جذب، اسپکتروفتومتری مادون قرمز-انتقال فوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی تعیین ویژگی شدند. پس از مشخصه‌یابی، نقطه شکست و متعاقباً ظرفیت جذب سطحی سووفلوران بر روی هر دو جاذب سطحی با استفاده از معادله ویلر اصلاح شده تعیین گردید.

**یافته‌ها:** نتایج مشخصه‌یابی بسترها نشان داد که اصلاح اسیدی بر ساختار کریستالی زغال فعال تاثیر تخریبی نداشته و موجب افزایش مساحت سطحی ویژه و میانگین حجم منافذ میکروبی به‌ازاء گرم زغال فعال اصلاح شده با اسید در مقایسه با زغال فعال اصلاح نشده می‌گردد. هم‌چنین موجب کاهش گروه‌های عاملی سطحی کربن فعال می‌شود. نتایج تعیین ظرفیت جذب سطحی سووفلوران نشان دهنده افزایش ظرفیت جذب زغال فعال اصلاح شده با اسید در مقایسه با زغال فعال اصلاح نشده است.

**نتیجه‌گیری:** از مطالعه حاضر نتیجه‌گیری می‌شود که هر دو بستر کربنی مورد مطالعه توانایی جذب سطحی سووفلوران را داشته و زغال فعال اصلاح شده با اسید دارای عمل کرد بهتری در این فرآیند می‌باشد. این اثر می‌تواند در نتیجه سطح جذب و حجم منافذ میکرو بیش‌تر بستر فوق نسبت به زغال فعال اصلاح نشده باشد.

### کلمات کلیدی: کربن فعال، اصلاح اسیدی، سووفلوران، جذب سطحی

۱- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت، ایمنی و محیط (HSE)، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه بیهوشی بیمارستان امام خمینی (ره)، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۵- دانشیار، گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۶- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران

حین عمل و ریکآوری، فلوران ها به همراه اکسید نیتروز به هوای تنفسی کارکنان (جراحان، متخصصین بیهوشی، پرستاران بیهوشی و غیره) در غلظت های کم انتشار می یابند. این گازها علاوه بر اثرات گل خانه ای و تخریب لایه ازن، برای افراد در مواجهه به ویژه کارکنان اتاق عمل مخاطرات جدی مانند بیماری های کلیوی، کبدی، قلبی و عروقی، تولیدمثلی، زایمان زودرس و ناهنجاری های جنینی، کاهش فعالیت مغزو افزایش ریسک سقط خودبه خودی را به همراه دارند (۸-۱۲). با توجه به اثرات مضر گازهای بیهوشی بر سلامتی کارکنان در مواجهه و هم چنین کثرت افراد در مواجهه با این گازها، حذف آن ها از هوای محیط کار به ویژه مراکز درمانی امری واجب می باشد.

روش های زیادی برای کنترل آلاینده های گازی شکل به ویژه ترکیبات آلی مانند فلوران ها وجود دارد که شامل روش های تخریبی و بازیافتی می باشند (۱۳). فلوران ها مواد شیمیایی گران قیمت بوده و به همین دلیل بهتر است این مواد جمع آوری و بازیافت گردد (۱۴، ۱۵). بنابراین باید از روش های کنترل بازیافتی جهت جداسازی و بازیافت فلوران ها استفاده نمود. از روش های پیشنهاد شده در این زمینه می توان به شیوه های متراکم سازی، جداسازی با غشا و جذب سطحی اشاره نمود. با توجه به این که روش متراکم سازی برای آلاینده هایی با غلظت بالای ۵۰۰۰ ppm موثر و مقرون به صرفه می باشد و هم چنین در این زمینه اطلاعات مناسبی از روش غشایی وجود ندارد و از طرف دیگر، در مطالعات زیادی موثر بودن جذب سطحی هیدروکربن های آلی توسط جاذب های سطحی تایید شده است، بنابراین جذب سطحی با توجه به مصرف انرژی کم، هزینه-سود مناسب و تکنولوژی نسبتاً ساده می تواند گزینه مناسب و موثری در جذب و بازجذب فلوران ها باشد (۱، ۱۴، ۱۶).

یکی از مهم ترین مسایل دنیای امروز در نتیجه توسعه شهرنشینی، افزایش وسایل نقلیه موتوری و صنعتی شدن، آلودگی هوا می باشد. با توجه به افزایش روز افزون مواد شیمیایی طبیعی و مصنوعی، خطرات بالقوه ای سلامت انسان ها را تهدید می نمایند (۱). یک گروه مهم از این آلاینده ها، گازهای گل خانه ای شامل دی اکسید کربن، متان، اکسید نیتروز و هیدروکربن های کلردار و فلئوئور دار بوده که در فرآیندها و فعالیت های مختلف تولید می شوند (۲). از فرآیندهای مهم در این زمینه، فرآیند بیهوشی در اتاق عمل بیمارستان های مراکز درمانی- آموزشی و برخی کلینیک های دندان پزشکی و دام پزشکی می باشد. گازهای بیهوشی مورد استفاده در ۲ کلاس  $N_2O$  (اکسید نیتروز) و مایعات تبخیر شونده یا همان هیدروکربن های هالوژن دار (هالوتان، انفلوران، سووفلوران، دسفلوران، و ایزوفلوران) تقسیم بندی می شوند (۳، ۴). تا دهه ۱۹۹۰ هالوتان و انفلوران در ترکیب با اکسید نیتروز جزء گازهای بیهوشی اصلی و رایج بودند. در طی سال های گذشته هالوتان و انفلوران به علت متابولیته شدن بیش تر (در حدود ۲۰٪) نسبت به گازهای هم خانواده خود یعنی ایزوفلوران، دسفلوران و سووفلوران (کمتر از ۲ درصد) دارای اثرات جانبی بیش تر به ویژه هیپاتیت های ایمونولوژیکی بوده و با این سه ماده جایگزین شده اند (۵، ۶). امروزه، رایج ترین فلوران های استفاده شده در فرآیند بیهوشی، ایزوفلوران و سووفلوران می باشند.

در طول فرآیند بیهوشی، فلوران ها تبخیر شده و با هوا یا اکسیژن و اکسید نیتروز ترکیب می شوند. مخلوط حاصل از طریق ماسک های بیهوشی به بیمار تحویل داده می شود (۷). از طریق نشتی های موجود در مدار بیهوشی و بازدم غیرقابل کنترل به ویژه در

مقایسه با کربن فعال خام و اصلاح شده با آمونیوم پرسولفات و هیدروژن پراکسید در حذف نیکل از محیط های آبی بیش تر است. علت این امر می تواند در نتیجه بیش تر بودن گروه های عاملی سطح جذب کربن فعال اصلاح شده با اسید نسبت به دیگر جاذب های مورد مطالعه باشد (۱۹).

در مطالعه حاضر به بررسی حذف سووفلوران (به عنوان نماینده فلوران ها) از هوا توسط جذب سطحی زغال فعال و زغال فعال اصلاح شده با اسید نیتریک پرداخته شده است. ابتدا اثرات اکسیداسیون (شستشوی اسیدی) بر ویژگی های بافتی و ساختار شیمیایی (شیمی سطح) کربن فعال از طریق آزمایشات تفرق اشعه ایکس (XRD)، ایزوترم های جذب (BET)، اسپکتروفتومتری مادون قرمز - انتقال فوریه (FTIR)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) مجهز به EDS و پلاسما جفت القایی (ICP-OES) مشخص می گردد. سپس با استفاده از آزمایشات تجربی منحنی های زمان نقطه شکست جذب سطحی سووفلوران توسط زغال فعال و زغال فعال اصلاح شده با اسید رسم می گردد. در نهایت با استفاده از مدل ویلر اصلاح شده ظرفیت جذب سطحی جاذب های مورد مطالعه تعیین شده و اثرات اصلاحات انجام شده بر ظرفیت جذب آن ها مورد بحث قرار می گیرد.

### روش کار

#### مواد شیمیایی

این مطالعه یک مطالعه تجربی در فاز پیوسته و در مقیاس آزمایشگاهی می باشد. تمام مواد شیمیایی مورد استفاده شامل اسید نیتریک و زغال فعال (شرکت مرک آلمان) و سووفلوران (شرکت دارویی Abbvie آمریکا) دارای خلوص آزمایشگاهی بوده اند.

کربن فعال به علت دارا بودن سطح جذب، حجم منافذ میکرومتری (کم تر از ۲ نانومتر) و پایداری شیمیایی بالا در محیط های نامناسب اسیدی و بازی رایج ترین جاذب مورد استفاده در جذب سطحی آلاینده ها در فاز گازی یا آبی می باشد. هم چنین این ماده می تواند به عنوان بستر کاتالیستی استفاده گردد (۱۷، ۱۸). مطالعات زیادی نشان داده اند که عمل کرد جذب سطحی کربن فعال بستگی به ویژگی های بافتی اش (ساختار منافذ و مساحت سطحی ویژه) دارد. در سال های اخیر برخی محققان نشان داده اند که علاوه بر ویژگی های بافتی، شیمی سطح جاذب سطحی (طبیعت و دانسیته گروه های عاملی سطحی) نقش بسیار مهمی در عمل کرد این جاذب ها در حذف آلاینده ها از هوا و محیط های آبی دارند (۱۸، ۱۹). طبیعت گروه های عاملی سطحی در کربن فعال و حتی ویژگی های بافتی را می توان از طریق پردازش های الکتروشیمیایی، فیزیکی و شیمیایی اصلاح نمود (۱۷، ۲۰). در بین این پردازش ها، پردازش فاز مایع (شیمیایی) با استفاده از اسید نیتریک و هیدروژن پراکسید رایج ترین می باشند. شستشو با اکسیدکننده های شیمیایی، به طور انتخابی، برخی از عامل های سطحی را حذف می نمایند (۲۰). در مطالعه ای نشان داده شد، زمانی که کربن فعال با اسید نیتریک پردازش داده می شود، گروه های اسیدی اکسیژن دار -COOH، -OH و -COOR تولید می شوند. تولید اولیه این گروه ها می تواند دلیل جذب سطحی بیش تر کروم شش ظرفیتی توسط کربن فعال اصلاح شده با اسید نیتریک در مقایسه با زغال فعال اصلاح نشده باشد (۲۱). در مطالعه ای دیگر نشان داده شد که ظرفیت جذب سطحی کربن فعال اصلاح شده با اسید نیتریک در

## آماده سازی جاذب های سطحی

الف- تعیین قطر ذرات زغال فعال با توجه به عدد پکله و جلوگیری از کانال زدن جریان گاز قبل از آماده سازی جاذب ها، باید قطر مناسب آن ها برای جلوگیری از کانال زنی جریان گاز در حین عبور از بستر مشخص گردد. کانال زنی یک عمل مخرب در عمل جذب است. در این عمل سیال مورد نظر (جریان حاوی آلاینده مورد نظر) تمایل به عبور از سطح کلی جاذب ندارد و میل به عبور از کوتاه ترین و ساده ترین راه را دارد (۲۲). عمل کانال زنی در پی نامناسب بودن قطر ذرات جاذب در شرایط عملیاتی (دما، هواگذر جریان عبوری از بستر و غیره) به وجود می آید. برای به دست آوردن حد مطلوب قطر ذرات جاذب می توان از عدد پکله استفاده نمود. عدد پکله نشان دهنده نسبت حرکت هدف مند (جهت دار) جریان گاز عبوری از سطح کلی بستر جاذب می باشد. شرط کانال زدن با توجه به محاسبات عدد پکله، کوچک تر بودن این عدد از یک می باشد ( $pe < 1$ ) که در مطالعه حاضر  $0/99$  در نظر گرفته شد.

$$pe = \frac{u_e \times d}{D_e}$$

d: قطر ذرات جاذب (میکرومتر)

$u_e$ : سرعت سطحی (متر بر ثانیه)

$D_e$ : ضریب انتشار

با توجه به در نظر گرفتن مقدار  $0/99$  برای عدد پکله و پس از انجام محاسبات مربوط به ضریب انتشار و سرعت سطحی، برای جلوگیری از کانال زدن جریان عبوری از بستر در طول عملیات قطر ذرات کربن فعال  $400-420$  میکرون تعیین گردید.

## ب- تهیه کربن فعال اصلاح نشده (AC) از کربن فعال

تجاری با اندازه مورد نظر

برای تهیه کربن فعال اصلاح نشده، ابتدا مقدار لازم از کربن فعال تجاری مورد نظر آسیاب و سپس توسط الک های استاندارد ASTM در محدوده اندازه مورد نظر ( $420-400$  میکرومتر) جداسازی گردید. به منظور جداسازی ناخالصی ها، کربن فعال سایزبندی شده با آب دیونیزه مخلوط شده و توسط هم زن برای ایجاد محلول یکنواخت به مدت ۱ ساعت با سرعت  $150$  (rpm) مخلوط شد. سپس ذرات از فاز مایع توسط فیلتر واتمن جدا شده و بعد از شستشو با آب دیونیزه (۳ مرتبه) در دمای  $60$  درجه سلسیوس به مدت  $24$  ساعت در داخل انکوباتور خشک شدند و پس از خشک شدن، نمونه ها به مدت یک ساعت جهت کلسینه شدن در دمای  $300$  درجه سلسیوس داخل کوره الکتریکی قرار داده شد. نمونه های به دست آمده با علامت اختصاری AC در دسیکاتور برای استفاده در مراحل بعدی نگه داری شد.

## ج- پردازش اسیدی کربن فعال تجاری (AC-N)

در این بخش از مطالعه پردازش اسیدی زغال فعال تجاری با استفاده از اسید نیتریک یک نرمال پرداخته شده است. ابتدا مقادیر مشخصی از زغال فعال (AC) به محلول اسید نیتریک یک نرمال با نسبت جرم به حجم، یک به  $50$  اضافه گردید. ظرف حاوی مخلوط مورد نظر داخل انکوباتور با شرایط عملیاتی  $60$  درجه سلسیوس و سرعت تلاطم  $150$  دور بر دقیقه قرار داده شد. پس از گذشت  $5$  ساعت ذرات با استفاده از فیلتر واتمن جدا شده و بعد از شستشو با آب دیونیزه (۳ مرتبه) در دمای  $60$  درجه سلسیوس به مدت  $24$  ساعت در داخل انکوباتور خشک شدند و پس از خشک شدن، نمونه ها به مدت یک ساعت جهت کلسینه شدن در دمای  $300$

آزمایشات در نتیجه آلودگی احتمالی هوای آزمایشگاه به گاز اکسید نیتروز بوده است. در مسیر گاز خروجی از کپسول یک جاذب رطوبت قرار داده شد تا احتمال وجود رطوبت به صفر برسد. هم چنین در مسیر عبور جریان گاز دو رواتر برای تنظیم دقیق میزان جریان خروجی (هواگذر) تعبیه شد. فلوی گاز مورد استفاده در تعیین نقطه شکست  $0/3$  لیتر بر دقیقه (رواتر) بعد از راکتور) تنظیم گردید.

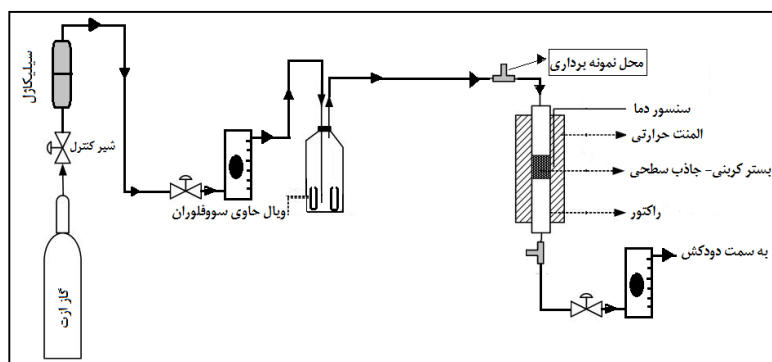
همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، آزمایشات مربوطه در یک راکتور بستر ثابت عمودی ساخته شده از پیرکس انجام شد. راکتور به صورت عمودی در یک کوره الکتریکی مجهز به یک کنترل کننده دمایی قرار داده شد. برای پیش گیری از اتلاف حرارتی، اطراف کوره و کلیه اتصالات مربوطه عایق کاری گردید. جهت حذف هر گونه ناخالصی مانند رطوبت از جاذب ها، قبل از انجام آزمایشات مربوطه مقداری از جاذب داخل کوره در دمای  $200$  درجه سانتی گراد به مدت  $20$  دقیقه قرار می گرفت. سپس، برای انجام آزمایشات مقدار مشخصی جاذب داخل راکتور قرار داده می شد. پس از آن غلظت مشخصی ( $300 \pm 5$ ) از سووفلوران به روش دینامیک اشباع بخار ساخته و به صورت پیوسته از جاذب ها عبور داده می شد.

درجه سلسیوس داخل کوره الکتریکی قرار داده شدند. نمونه های به دست آمده با علامت اختصاری "AC-N" در دسیکاتور برای استفاده در مراحل بعدی نگه داری گردیدند.

تعیین ویژگی ها و مشخصات جاذب های مورد مطالعه برای بررسی مشخصات جاذب های ذکر شده از دستگاه تفرق اشعه ایکس (XRD) مدل Philips: PW-1830 جهت تعیین ساختار کریستالی کامپوزیت ها و از دستگاه BET مدل MicrotracBel- Belsorp mini II- Japanese instrument برای اندازه گیری میزان تخلخل و سطوح موثر استفاده گردید. برای بررسی مورفولوژی این دو جاذب از SEM مدل Hitachi S-4160 و در نهایت برای بررسی پیوندهای موجود در ساختار جاذب های آماده شده از FTIR مدل Bruker Vector 22 استفاده شد.

مشخصات سیستم طراحی شده جهت انجام آزمایشات مربوطه

در سیستمی که برای این مطالعه طراحی شده است، به جای هوا از گاز بی اثر نیتروزن برای رقیق سازی و متعادل کردن غلظت ها استفاده گردید (شکل ۱). علت این امر از بین بردن تداخل در



شکل (۱)- دیاگرام شماتیک سیستم جذب سووفلوران توسط جاذب های مورد مطالعه

طول زمان می توان غلظت ثابتی ایجاد نمود. برای کاهش نوسانات غلظتی در اثر سطح زیاد مایع، از ویال به جای ریختن مستقیم مایع سووفلوران به داخل ایمپینجر استفاده شد. هم چنین برای ثابت نگه داشتن دمای داخل بطری گازشوی با نوسان  $\pm 0/5$  درجه سلسیوس، بطری داخل یک باکس عایق بندی شده و مجهز به ترمومتر-ترموستات با حساسیت بالا و یک فن با شبکه آلومینیومی جهت کاهش دما و چندین لامپ فشنگی جهت افزایش دما قرار داده شد. میزان صحت نمایش گر دستگاه ترمومتر- ترموستات دیجیتال در حد ۵درصد یعنی یک رقم دیجیتال بود.

#### تعیین غلظت بخارات سووفلوران

برای تعیین غلظت بخارات سووفلوران مورد نظر قبل و بعد از راکتور بر حسب زمان از روش OSHA 103 (نمونه برداری با سرنگ گازتایک همیلتون ۱۰۰۰ میکرولیتری و آنالیز با گازکروماتوگرافی مجهز به آشکارساز یونش شعله ای GC-FID) استفاده شد (۲۳). پارامترهای عملیاتی دستگاه کروماتوگرافی گازی در جدول (۱) بیان شده است. در این بخش از مطالعه،

تهیه اتمسفر استاندارد با روش دینامیک و استاتیک به منظور تهیه اتمسفر استاندارد جهت کالیبراسیون دستگاه های آنالیز و انجام آزمایشات جذب سطحی به ترتیب از روش استاتیک و دینامیک استفاده گردید. در روش استاتیک، اتمسفر استاندارد در داخل کیسه های تدارک تهیه شد. بدین منظور با تزریق مقدار مشخصی از سووفلوران با سرنگ میکرولیتری همیلتون به درون کیسه های تدارک ۱۰ لیتری حاوی ۸ لیتر گاز ازت (با استفاده از پمپ نمونه برداری فردی کالیبره شده)، غلظت های مورد نظر تهیه شد.

برای تهیه غلظت های مشخص از سووفلوران جهت انجام آزمایشات مربوط به تعیین نقطه شکست و ظرفیت جذب سطحی از روش دینامیک اشباع بخار استفاده شد. به این منظور از یک بطری گازشوی ۵۰۰ میلی لیتری حاوی ویال هایی از سووفلوران مایع استفاده گردید. در روش اشباع بخار، سطح و عمق مایع داخل بطری گازشوی و دمای داخلی آن از مهم ترین عوامل در تثبیت مقدار غلظت در گذشت زمان می باشد. در واقع با تثبیت این دو پارامتر در

جدول (۱)- پارامترهای عملیاتی دستگاه گاز کروماتوگرافی جهت آنالیز سووفلوران

ردیف	عنوان	مشخصات
۱	نوع دستگاه	گاز کروماتوگرافی مدل Varian C3800 ساخت کشور آمریکا
۲	نوع دتکتور	یونش شعله ای
۳	نوع ستون	ستون مویینه Chrompack به طول ۲۵ متر با قطر داخلی ۲۵۰ میکرومتر و ضخامت لایه فیلم ۰/۲ میکرومتر
۴	حجم تزریق	۵۰ میکرولیتر با استفاده از سرنگ گازتایک همیلتون ۱۰۰۰ میکرولیتری
۵	تنظیمات دستگاه	گاز حامل: هلیوم با خلوص آزمایش گاهی سوخت دتکتور: هوای صفر و اکسیدان دتکتور: هیدروژن با خلوص آزمایش گاهی دمای قسمت تزریق: ۲۰۰ درجه سلسیوس و دمای دتکتور: ۲۲۰ درجه سلسیوس برنامه ریزی دمایی آون: شروع ۶۵ درجه سلسیوس با زمان ماند ۱ دقیقه و سپس افزایش دما با شیب دمایی ۴ درجه در دقیقه تا دمای ۸۵ درجه با زمان ماند ۱ دقیقه (زمان کل: ۷دقیقه) نسبت تقسیم: ۱ به ۵ فلوی گاز عبوری: ۱/۶ میلی لیتر بر دقیقه

منحنی کالیبراسیون ۸ نقطه ای (۴-۵۰۰ پی پی ام) جهت تعیین غلظت های سووفلوران تهیه شد.

بررسی زمان نقطه شکست و تعیین ظرفیت جذب کامپوزیت های مورد مطالعه

در مطالعات گذشته، معادلات زیادی برای تعیین زمان نقطه شکست و ظرفیت جذب سطحی ارائه شده است. در بین این معادلات، معادله ویلر اصلاح شده به علت ساده بودن مراحل انجام بسیار استفاده شده است. این معادله اساساً از یک معادله پیوسته بالانس جرم بین گاز وارد شده به یک بستر جاذب و مجموع گاز جذب شده و عبور کرده از بستر تعریف می شود. با استفاده از معادله ویلر می توان ظرفیت و سرعت جذب سطحی گاز روی یک بستر ثابت زغال فعال را با استفاده از رابطه مستقیم زمان نقطه شکست و وزن جاذب به دست آورد (۲۴). معادله اصلاح شده ویلر

$$t_b = \frac{W_e}{C_0 Q} \left[ w - \frac{\rho_B Q}{K_v} \ln(C_0/C_x) \right]$$

$t_b$ : زمان نقطه شکست

$C_x$ : غلظت خروجی

$C_0$ : غلظت ورودی

$Q$ : هوا گذر حجمی

$w$ : وزن جاذب

$\rho_B$ : دانسیته بالک بستر

$K_v$ : ضریب سینتیک جذب سطحی

$W_e$ : ظرفیت جذب سطحی

مقادیر نقطه شکست ( $t_b$ )، به عنوان تابعی از

وزن جاذب ( $w$ )، به صورت یک خط مستقیم بر

روی محور مختصات رسم می شود. ظرفیت جذب

سطحی ( $W_e$ ) می تواند از شیب منتج شده و ثابت

سرعت جذب سطحی ( $K_v$ ) محاسبه گردد. معادله اصلاح شده به شکل زیر تبدیل می گردد:

$$t_b = \frac{W_e w}{C_0 Q} - \frac{W_e \rho_B}{K_v C_0} \ln(C_0/C_x)$$

شیب خط رگرسیون برابر با  $\frac{W_e}{C_0 Q}$  و عرض از

مبدأ آن برابر:

$$-\frac{W_e \rho_B}{K_v C_0} \ln(C_0/C_x)$$

عرض محور ایکس ها نشان دهنده وزن کربن فعال مورد نیاز جهت کاهش غلظت خروجی آلاینده به غلظت معین و معادله آن برابر است با:

$$\left( \frac{\rho_B Q}{K_v} \right) \ln \left( \frac{C_0}{C_x} \right)$$

با توجه به توضیحات داده شده، ابتدا زمان نقطه شکست ۵۰ درصد با توجه به معادله زیر برای ۵ سطح جرم جاذب (۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ میلی گرم جاذب) در غلظت ثابت ۳۰۰ پی پی ام و دبی ۰/۳ لیتر بر دقیقه و دمای ۲۳±۰/۵ درجه سلسیوس به دست آمد. جرم جاذب ها قبل از انجام آزمایشات با استفاده از ترازوی دیجیتالی مدل Sartorius CP 225D ساخت کشور آلمان توزین می گردید. سپس منحنی زمان های نقطه شکست (دقیقه) در مقابل جرم های (گرم) مختلف با استفاده از نرم افزار اکسل رسم گردید. پس از یافتن شیب خط منحنی هر کدام از جاذب ها، با استفاده از دبی و غلظت آلاینده ظرفیت جذب با استفاده از معادله زیر به دست آمد.

$$W_e = a C_0 Q$$

$W_e$ : ظرفیت جذب (گرم آنالیت بر گرم جاذب)

$a$ : شیب منحنی زمان نقطه شکست ۵۰ درصد در

مقابل جرم جاذب



C0: غلظت اولیه سووفلوران برحسب گرم بر سانتی متر مکعب  
Q: هواگذر جریان آلوده بر حسب سانتی متر مکعب بر دقیقه

### یافته ها

پراش اشعه ایکس (XRD)

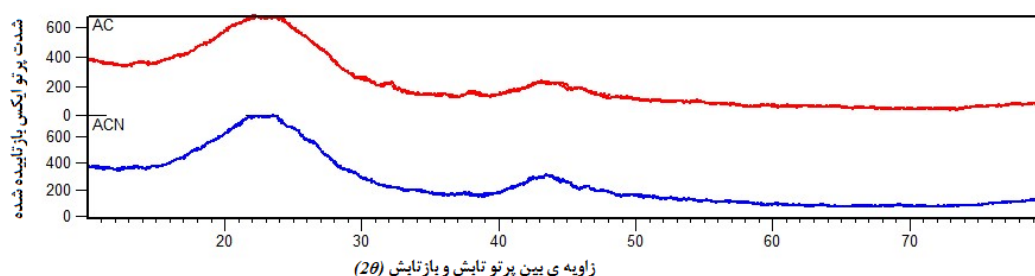
آنالیز XRD برای جذب های مورد مطالعه شامل زغال فعال (AC) و زغال فعال پردازش شده با اسید نیتریک (ACN) انجام گردید که نتایج حاصل از این آنالیز در شکل (۲) نمایش داده شده است. همان گونه که در شکل ملاحظه می گردد، در اثر اصلاحات انجام شده، ساختار دو بستر ثابت بوده و تغییر خاصی صورت نپذیرفته است. قابل ذکر است در هر دو الگوی پراش اشعه ایکس پیک ملایم در ناحیه  $2\theta$  برابر  $43/6$  تشخیص داده شده است.

برونر، امت و تلمر (BET)

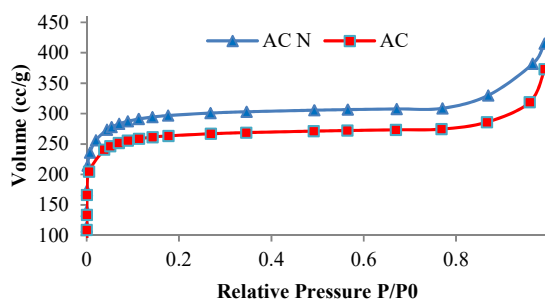
نتایج حاصل از جذب و واجذب نیتروژن بسترهای کربنی مورد مطالعه در شکل (۳) نشان داده شده است. بر اساس IUPAC هردو ایزوترم از نوع ۱ بوده است (۲۵، ۲۶). شکل (۳) نشان می دهد که زغال فعال اصلاح شده با اسید دارای جذب نیتروژن بیش تری در مقایسه با زغال فعال اصلاح نشده هست. نتایج ویژگی های بافتی هر دو جاذب در جدول (۲) بیان شده است.

طیف سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریر

طیف سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریر (FTIR) براساس جذب تابش و بررسی جهش های ارتعاشی مولکول ها و یون های چند اتمی صورت گرفته در شکل (۴) نشان داده شده است. هم چنین در جدول (۳) پیک های رویت شده با باندهای



شکل (۲) - الگوهای پراش اشعه ایکس جاذب های زغال فعال (AC) و زغال اصلاح شده با اسید (ACN)



شکل (۳) - ایزوترم های جذب سطحی نیتروژن بسترهای کربنی در دمای ۷۷ درجه کلوین



جدول (۲) - ویژگی های بافتی بسترهای کربنی مورد مطالعه

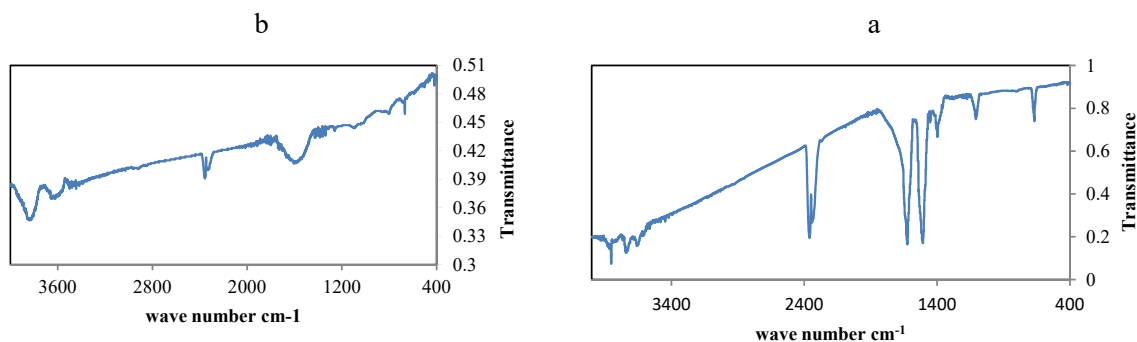
D <sub>p</sub> (nm)	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	V <sup>total pores</sup> (cm <sup>3</sup> /g)	V <sup>micro pores</sup> (cm <sup>3</sup> /g)	Zeolite name
۱/۷۵۸	۹۹۸/۶۷	۰/۴۳۹	۰/۴۱۷	AC
۱/۷۰۸	۱۱۳۹/۸	۰/۴۸۷	۰/۴۷۱	ACN

BET: specific surface area

جدول (۳) - پیک های FTIR مطابق گروه های عاملی روی بسترهای منتخب

گروه های عاملی (16, 17, 27-30)	باند	جاذب		عدد موجی (cm <sup>-1</sup> ) پیک های روییت شده
		ACN	AC	
کبالت یا کلراید (X)	C-X	*	*	۶۷۰
کربوکسیلیک و فنولیک	C-O Stretch	*	*	۱۱۰۰
الکل ها، اترها، استرها، کربوکسیلیک اسیدها،	C-O Stretch	ND	*	۱۳۰۰-۱۴۰۰
آروماتیک	C=C Stretch	ND	*	۱۵۴۰
کربوکسیل و کربونیل (مشخصه مواد کربنی) یا حضور آب	O-H Stretch	*	*	۱۶۳۰
کتون ها	C-O Stretch	*	*	۲۳۵۰
متیلن	C-H Stretch	*	ND	۲۹۵۰
هیدروکسیل یا حضور آب	O-H Stretch	*	*	۳۷۰۰-۳۵۰۰

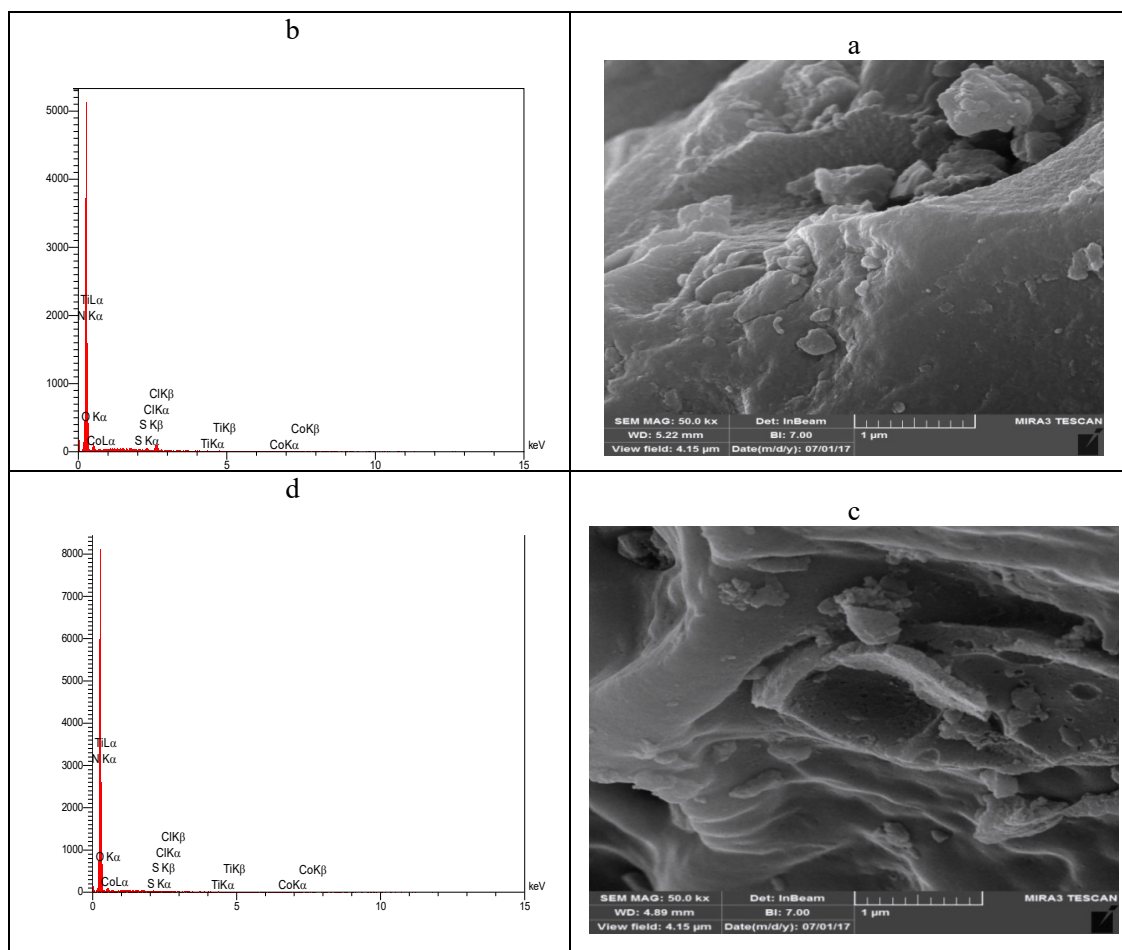
ND: عدم روییت (تشخیصی) \* : وجود پیک در ناحیه مربوطه



شکل (۴) - طیف FTIR گرفته شده از کربن فعال (a) و کربن فعال پردازش اسیدی (b)

چنین دارای مقادیری ناخالصی مانند گوگرد، کلرو برخی فلزات واسطه است (۲۸-۳۰). نتایج حاصل از آنالیز نمونه ها توسط دستگاه FE-SEM (جدول ۴) نشان داد ترکیبات اصلی زغال فعال به ترتیب کربن، اکسیژن و نیتروژن می باشند. پس از اصلاح اسیدی کربن فعال (ACN) مقادیر تمام ترکیبات موجود در ساختار آن به جز نیتروژن (به علت وجود نیتروژن در ساختار اسید نیتریک) کاهش یافته است.

مربوطه و گروه های عاملی براساس استانداردهای موجود مشخص شده است. با استفاده از روش های میکروسکوپی، تصاویر با بزرگ نمایی بالا از ماده به دست می آید تا بتوان جزئیات آن را با دقت مطالعه نمود. نتایج این بخش در شکل (۵) نشان داده شده است. کربن فعال ماده ای هیدروکربنی است که ترکیبات اصلی آن از کربن و اکسیژن می باشد و هم



شکل (۵) - تصاویر گرفته شده به روش FE-SEM و تجزیه EDS کربن فعال (a) و کربن فعال پردازش اسیدی (c)

جدول (۴) - درصد ترکیبات موجود در ساختار بسترهای مورد مطالعه

Co	Tio <sub>2</sub>	Cl	S	O	N	C	نام بستر
۰/۰۹	۰/۰۸	۱/۸۷	۰/۷	۸/۳۸	۴/۵۵	۸۴/۳۴	AC
۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۳	۰/۲۰	۷/۹۳	۷/۲۴	۸۴/۲۱	ACN

منحنی های نقطه شکست سووفلوران در غلظت های ثابت ۳۰۰ ppm برای بسترهای تحت مطالعه در شکل های (۷و۶) نمایش داده شده است.

### بحث

تعیین ویژگی ها و مشخصات کامپوزیت ها  
نتایج XRD (شکل ۲) نشان داد فازهای اصلی

تعیین نقطه شکست و ظرفیت جذب کامپوزیت های  
مورد مطالعه برای سووفلوران

در این مطالعه برای تعیین ظرفیت جذب کامپوزیت ها از روش ویلر اصلاح شده استفاده گردید. مقادیر ظرفیت جذب هر کدام از جاذب ها به همراه پارامترهای تاثیر گذار (معادله:  $We = aC_0^b$ ) در جدول (۵) مشخص شده است.

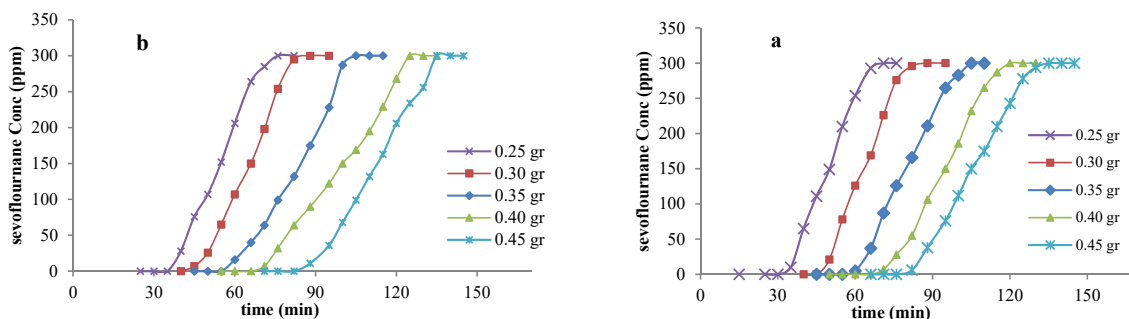
تمام نمونه های کربنی شامل کربن در زاویه  $\theta_2$  برابر  $43/7$  با فضای بین لایه ای  $2/07$  آنگستروم می باشند (31-37). در مطالعات بیان شده است که عدم وجود پیک های تیز (sharp) در بسترهای مورد مطالعه نشان دهنده ساختار آمورفوس (بی شکل) است که یک مزیت در جاذب های سطحی می باشد (16). در مطالعه مابایوجی و همکارانش هیچ پیک خاصی در الگوهای تفرق اشعه ایکس نمونه های آماده شده از مواد کربنی (گرافیت) دیده نشده است

که نشان دهنده آمورفوس (بی شکل) بودن کامل آن ها می باشد (27). با وجود این، گزارش شده است که زغال فعال دارای یک ساختار بینابینی بین گرافیت و حالت بی شکل دارد که ساختار توربواستراتیک یا ساختار شبکه ای لایه ای بی نظم نامیده می شوند. برخلاف گرافیت، کریستالیت مواد کربنی بسیار کم بوده و حاوی مقادیر زنجیره های الیفاتیک کناری روی لبه هایشان هستند. این کریستالیت های کوچک می توانند از طریق زنجیره هایشان به شکل

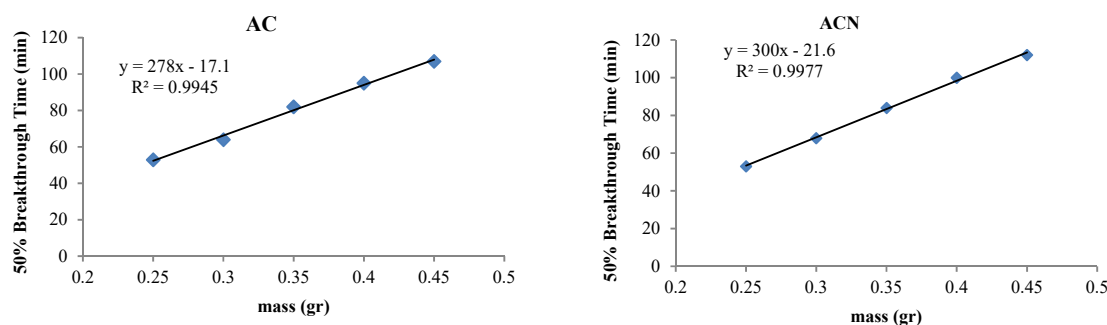
جدول (5) - مقادیر ظرفیت جذب سووفلوران بر روی بسترهای کربنی مورد مطالعه

ردیف	کامپوزیت	غلظت اولیه (gr/cm <sup>3</sup> )	هواگذر حجمی (cm <sup>3</sup> /min)	شیب خط (a)	ظرفیت جذب (mg/gr)
1	AC	2.45E-06	300	279.33±6.11	205.70±4.50
2	ACN	2.45E-06	300	304.66±19.42	224.32±14.27

میانگین ± انحراف معیار از سه بار تکرار



شکل (6) - منحنی نقطه شکست سووفلوران برای جرم های مختلف کربن فعال (a) و کربن فعال پردازش اسیدی (b) در شرایط عملیاتی ثابت ( $T=25\pm 5$ ,  $C_0=300$  ppm,  $Q=300$  ml/min)



شکل (7) - نمودار زمان نقطه شکست 50 درصد سووفلوران روی جاذب های AC و ACN در مقابل جرم

(ACN) به ویژگی های بافتی به همراه شیمی سطح (سایت های فعال) آن ها بستگی دارند (۲۰). حضور اکسیژن و ساختارهای آروماتیک در بسترهای کربنی مورد مطالعه توسط آنالیز FT-IR (جدول ۳) شناسایی شدند. گروه های شیمیایی تشخیص داده شده توسط باندهای جذب سطحی، گروه های کربوکسیل، کربونیل، فنولیک، اترها، کتون ها و هیدروکسیل سطحی را تایید نمودند. طیف های هر دو نمونه نشان می دهند که باندهای اصلی در  $670$ ،  $1100$ ،  $1630$ ،  $2340$  و  $3400-3900 \text{ cm}^{-1}$  قرار دارند (شکل ۴). مشابه بودن باندهای اصلی، نشان دهنده دارا بودن گروه های عاملی یکسان در هر دو نمونه و هم چنین نشان دهنده عدم تغییر شیمیایی در طول اصلاحات انجام شده می باشد (۱۷). با وجود این، شدت پیک ها در نمونه کربن فعال اصلاح شده با اسید نسبت به کربن فعال کاهش یافته است که نشان دهنده کاهش گروه های عاملی می باشند (۲۰ و ۱۷). پیک موجود در باند  $670$  نشان دهنده پیوندهای CO-O می باشد (۲۷). مابایوجی و همکارانش در مطالعه شان گزارش کرده اند انتظار می رود پیک های پیوند CO-O در طول موج های کم تر تقریباً  $670$  و  $580$  مشخص گردد (۲۷). سه نوار ارتعاشی کششی مربوط به پیوند C-O که متعلق به کربن متصل به گروه های (کربوکسیل و فنول)، (الکل ها، اترها، استرها و کربوکسیلیک اسیدها) و (کتون ها) است به ترتیب در ناحیه های  $1100$ ،  $1300$ - $1400$  و  $2350$  مشاهده می شوند (۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۹). هم چنین نوار ارتعاشی مربوط به پیوند C=C متعلق به پیوندهای اکسید نشده در ناحیه  $1540$  ظاهر شده است (۳۹) که یک افزایش در آروماتیسیته (aromaticity) در طول مرحله فعال سازی را نشان

ماکروملکول، به کربن بی شکل اتصال یابند (۲۹). وجود یک پیک در  $2$  تتای  $43/6$  نشان دهنده وجود میکروکریستالیت گرافیت نامنظم در فضاهای خالی ایجاد شده در منافذ می باشد (۳۱، ۳۳، ۳۶). مقایسه پیک های کربن فعال و کربن فعال اصلاح شده با اسید نشان داد که هیچ تفاوتی از لحاظ نقطه قرار گیری پیک ها و شدت بین آن ها وجود ندارد (شکل ۳). این نتایج در موافقت کامل با نتایج مطالعه سیاهیدا و همکارانش می باشد (۳۸). نتایج حاصل از آزمایشات BET نشان داد (شکل ۳) براساس IUPAC هر دو ایزوترم مربوط به بسترهای مورد مطالعه از نوع ۱ بوده است. در این نوع ایزوترم ها، ساختار نمونه ها از مواد میکرومنفذ تشکیل شده اند (۱۶). هم چنین، افزایش ناگهانی جذب نیتروژن با شیب تند در زمان اشباع (انتهای منحنی ها) وجود مقادیر کمی منافذ مزو را تایید می نماید (۲۱). با توجه به جدول (۳) اصلاح اسیدی کربن فعال منجر به افزایش مساحت سطحی ویژه از  $998/7$  به  $1139$  مترمربع بر گرم (حدود  $140$  واحد) می گردد که نشان دهنده تغییر معنادار بر ویژگی های بافتی کربن فعال است. هم چنین نتایج نشان می دهند که میزان حجم منافذ میکرو به صورت جزئی افزایش یافته است ( $40$  واحد). شستشوی اسیدی منجر به حذف برخی مواد معدنی می شود، درحالی که تغییرات گروه های سطحی، منافذ میکرو را انسداد خواهد داد و منجر به تغییر کم ساختار منافذ می شود (۱۸). به همین دلیل تغییرات حجم منافذ در اصلاح اسیدی کم است. این نتایج در موافقت کامل با نتایج ویوو و همکارانش و وانگ و همکارانش می باشد (۱۸، ۲۰). از نتایج می توان استدلال نمود که جذب سطحی آلاینده های گازی شکل در این دو نوع جاذب (AC و

می دهد (۱). در نهایت می توان دو نوار ارتعاشی مربوط به پیوند O-H متعلق به گروه های کربوکسیل (و/یا ارتعاش ملکول های آب) و هیدروکسیل (و/یا جذب شیمیایی آب) به ترتیب در ناحیه های ۱۶۳۰ و ۳۴۰۰-۳۵۰۰ ملاحظه نمود (۱، ۱۷). هم چنین پیوند O-H در ناحیه ۱۶۳۰ می تواند به تجزیه شدن گروه های کربوکسیل ویا وجود ساختارهای کربنات- کربوکسیل ارتباط داشته باشد. از طرفی این باند پیک تشخیص مواد کربنی است که تایید کننده گروه های کربونیل در اتصال با لایه های گرافن از قبیل کیونون ویا ساختار ionoradical پیوند C=O هستند (۱۷، ۱۹). قابل ذکر است در جذب اصلاح شده با اسید، پیک کوچکی در ناحیه ۲۹۳۰ وجود دارد که می تواند با نوار ارتعاشی C-H متیلن ها ارتباط داشته باشد (۲۸).

میکروگراف های SEM کربن فعال، تصاویر واضحی از تخلخل جذب های سطحی را ارائه می نماید (شکل ۵) و هم چنین ساختارهای سطحی نامنظم و پیچیده اندازه و شکل منافذ را نشان می دهد. شیارهای سطحی نامنظم با اشکال مختلف به طور واضح از تصاویر قابل مشاهده است که می تواند در نتیجه اصلاح اسیدی کربن رخ داده باشد. در داخل این شیارها منافذ ریز در نتیجه شستشوی اسیدی ایجاد شده اند که منجر به مساحت سطحی ویژه بزرگتر روی ساختار کربن فعال می گردد. این یافته ها مشابه نتایج مطالعه انجام شده در سال ۲۰۱۵ می باشد (۲۸).

شکل های مربوط به آنالیز EDS و جدول مربوطه (جدول ۴) نمونه ها تایید می کنند که ترکیبات اصلی زغال به ترتیب کربن، اکسیژن و نیتروژن می باشد. مطالعه پانچینر و همکارانش

بر روش ساخت زغال فعال و اصلاح شده با اسید نشان داد که ترکیبات اصلی کربن و اکسیژن می باشد که مقدار آن ها برابر ۸۲/۹۶ و ۱۶/۷۶ درصد وزنی می باشند (۲۸). در مطالعه دیگری بر روی زغال فعال مشخص گردید که ترکیبات اصلی اکسیژن و کربن بوده ولی مقادیر کم ناخالصی ها شامل منیزیم، پتاسیم، کلسیم، کلر، آهن و مس وجود دارد (۲۹). تفاوت مقادیر کم در زغال های فعال مختلف ارتباط به نوع ماده پایه کربن، روش آماده سازی، روش فعال سازی و اصلاحات شیمیایی انجام شده دارد.

تعیین نقطه شکست و ظرفیت جذب سطحی سووفلوران توسط بسترهای کربنی

سووفلوران، هیدروکربن فلئوئور دار ( $C_4H_3F_7O$ ) می باشد که به عنوان گاز بیهوشی در اتاق های عمل مورد استفاده قرار می گیرد. در طول فرآیند بیهوشی هوای بازدمی بیمار موجب آلودگی هوای اتاق عمل به مقادیر کم گازهای بیهوشی می گردد. به علت گران بودن و نیاز به واجذب مجدد سووفلوران، یکی از گزینه های کنترلی جذب سطحی می باشد. تا سال ۲۰۱۵ مطالعات کمی در زمینه حذف فلوران ها از هوا صورت پذیرفته است که بیش تر معطوف به جذب فلوران ها از خروجی دستگاه ها بدون توجه به جزییات و شرایط جذب سطحی بوده است (۱۵، ۴۰-۴۲). برای نمونه در سال ۱۹۹۸ جانسون و همکارانش جذب سطحی دسفلوران توسط زئولیت ها از سیستم اسکاونجر را در طول فرآیند بیهوشی مورد مطالعه قرار دادند (۴۰). نتایج نشان داد که در فرآیند بیهوشی با هواگذر پایین و بالا، به ترتیب ۶۲ و ۸۶ درصد دسفلوران جذب سطحی می گردند. در سال ۲۰۱۶ هو و همکارانش طی مطالعه ای به بررسی

جذب سطحی سووفلوران با غلظت ۱ درصد حجمی در ترکیب با رطوبت ۵۰ درصدی بر روی ساختار آلی-فلزی (MOF) با پایه کروم پرداخته اند. نتایج مطالعه اخیر نشان دهنده موثر بودن بستر فوق در جذب سطحی سووفلوران بود (۴۳).

تاکنون هیچ مطالعه ای مشابه مطالعه حاضر به بررسی تعیین نقطه شکست و ظرفیت جذب سطحی سووفلوران زغال فعال اصلاح شده با اسید صورت نپذیرفته است. صرفاً در مطالعاتی که در یک مرکز تحقیقاتی در کشور آلمان در سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ انجام شده است (۷، ۴۴)، به بررسی ایزوترم های جذب سطحی فلوران ها توسط یک سری بسترهای زئولیتی و زغال فعال تجاری پرداخته شده است. هنوز فقدان بزرگی در درک پایه ای و کار سیستماتیک جذب سطحی گازهای بیهوشی در غلظت کم و ظرفیت جذب روی زئولیت ها و کربن های فعال با منافذ و سطوح مختلف وجود دارد. به دلایل فوق در این بخش از مطالعه کم تر به مطالعات دیگران در زمینه جذب سطحی سووفلوران رجوع شده و بیش تر مطالعات جذب سطحی دیگر مواد در نظر گرفته شده است.

همان طور که گفته شد، در این مطالعه برای به دست آوردن ظرفیت جذب بسترهای مورد مطالعه از معادله ویلر اصلاح شده استفاده گردید. قبل از محاسبه ظرفیت جذب، باید منحنی زمان نقطه شکست ۵۰ درصد ( $T_{50}$ ) در مقابل جرم های مختلف جاذب رسم گردد و شیب خط آن به دست آید. در شکل (۶) برای جاذب ها منحنی های نقطه شکست از زمان صفر تا زمان اشباع جاذب از سووفلوران نشان داده شده است. همان طور که از نتایج مشخص است با ثابت بودن شرایط عملیاتی با افزایش جرم جاذب بر زمان

نقطه شکست افزوده می گردد. متعاقباً با افزایش زمان نقطه شکست ۵۰ درصد بر مقدار شیب خط (a) افزوده می شود (شکل ۷) و با توجه به معادله  $We=aC_0Q$  ظرفیت جذب جاذب افزایش می یابد. این نتایج هم خوانی خوبی با نتایج مطالعات گذشته دارد (۲۴، ۴۵). با افزایش مقدار جاذب، مساحت سطحی ویژه و سایت های فعال افزایش یافته و دسترسی ملکول های سووفلوران به آن ها بیش تر شده و به آسانی جذب جاذب می شوند (۲۴، ۴۶-۴۸).

همان طور که در جدول (۵) ملاحظه می شود، تمام بسترها توانایی جذب سووفلوران را دارا می باشند. اصلاح زغال فعال با اسید نیتریک منجر به افزایش ظرفیت جذب از  $20.5/70 \pm 4/50$  به  $224/32 \pm 14/27$  میلی گرم سووفلوران بر گرم جاذب می گردد. افزایش ظرفیت جذب سطحی جاذب ACN نسبت به AC را می توان در ارتباط با تغییرات ایجاد شده در ویژگی های بافتی (افزایش سطح جذب) و شیمی سطح زغال فعال در نتیجه اصلاح اسیدی دانست.

نتایج آزمایشات مربوط به تعیین ویژگی های بافتی توسط BET (جدول ۲) نشان داد که هر دو جاذب دارای بستر میکرو منفذ (با قطر کم تر از ۲ نانومتر) می باشند و ملکول های جذب شونده می توانند با هر دو سمت دیوار منافذ فعل و انفعالات داشته باشند. هم چنین نتایج نشان داد که شستشوی اسیدی منجر به افزایش ۱۴۰ واحدی جذب سطح می شود. قطر ملکولی سووفلوران توسط محاسبات مکانیکی کوانتومی ۷/۱ آنگستروم (۰/۷۱ نانومتر) تخمین زده شده است (۷) و در محدوده قطر منافذ میکروبی زغال فعال قرار دارند. از طرفی دیگر فلوران ها گشتاور دوقطبی (dipole moment) متوسط دارند و بنابراین می توانند فعل و انفعالات دوقطبی-دوقطبی

سوئفلوران را داشته و زغال فعال اصلاح شده با اسید دارای عمل کرد بهتری در این فرآیند می باشد. این اثر می تواند در نتیجه سطح جذب و حجم منافذ میکرو بیش تر نسبت به زغال فعال اصلاح نشده باشد.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش برگرفته از طرح پژوهشی (امکان سنجی حذف توام گازهای هوش بر(اکسید نیتروز و سوئفلوران) از جریان هوا با استفاده از کامپوزیت های نانوکربنی و زئولیتی) است که با حمایت مالی دانش گاه علوم پزشکی تهران به شماره ۲۸۴۲۷ به اجرا در آمده است، بدین وسیله نویسندگان تشکر و قدردانی خود را از معاونت محترم پژوهشی دانش گاه ابراز می دارند.

### REFERENCES

1. Vohra M. Adsorption-Based Removal of Gas-Phase Benzene Using Granular Activated Carbon (GAC) Produced from Date Palm Pits. *Arabian Journal for Science & Engineering*. 2015;40(11): 3007-3017.
2. Sulbaek Andersen M, Sander S, Nielsen O, Wagner D, Sanford Jr T, Wallington T. Inhalation anaesthetics and climate change. *British journal of anaesthesia*. 2010;105(6):760-6.
3. Elmer JM. An Analytical Comparison of Isoflurane Levels in Veterinary Operating Theaters. faculty of Drexel University School of Public Health. Master's Project. 2011; 1-20.
4. Austin ML. Nitrous Oxide Sedation: Clinical Review & Workplace Safety. *The Academy of Dental Learning & OSHA Training*; 2013.
5. Hosseini Gohari L, Bangale Z, Fayazi M.R., Moghaddam F, Jamshidi K. Evaluation Of Liver

با گروه های قطبی سطح زغال فعال تشکیل دهند. با توجه به نتایج FTIR شدت پیک های گروه های عاملی اکسیژنی بعد از شستشوی اسیدی جاذب ACN کاهش یافته است (شکل ۵). در واقع تعداد این گروه ها کاهش یافته و متعاقباً باید از ظرفیت جذب کاسته شود، در صورتی که ظرفیت جذب افزایش یافته است. بنابراین می توان این گونه بیان کرد که ویژگی های بافتی نسبت به شیمی سطح تاثیر بیش تر و غالب تری بر جذب سطحی سوئفلوران در کربن فعال شستشو داده شده با اسید (ACN) داشته و جذب بر اساس ویژگی های بافتی جاذب انجام می پذیرد.

### نتیجه گیری

از مطالعه حاضر نتیجه گیری می شود که هر دو بستر کربنی مورد مطالعه توانایی جذب سطحی

- Enzymes Activities (ALT-AST-ALP-GGT) Before And After Isoflurane Anesthesia In Neurosurgery Patients. *Payavard-Salamat*. 2014; 8(1): 69-78. [ Persian].
6. Wruck N, Riecke M, Kullik G. Anesthetic gas intermediate storage unit with adsorption characteristics which can be influenced electrically. *Google Patents*; 2012.
  7. Bucher D, Pasel C, Luckas M, Bentgens Jr, Bathen D. Adsorption of Inhalation Anesthetics (Fluranes and Ethers) on Activated Carbons and Zeolites at Trace Level Concentrations. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 2017; 62 (6): 1832-1841.
  8. Chandrasekhar M, Rekhadevi P, Sailaja N, Rahman M, Reddy J, Mahboob M, et al. Evaluation of genetic damage in operating room personnel exposed to anaesthetic gases. *Mutagenesis*. 2006;21(4):249-54.
  9. Cornick-Seahorn J, Cuveliez S, Gaynor J, McGrath



- C, et al. Commentary and recommendations on control of waste anesthetic gases in the workplace. *Journal of the American Veterinary Medical Association*.1996;209(1):75–77.
10. Shirangi A, Fritschi L, Holman C. Maternal occupational exposures and risk of spontaneous abortion in veterinary practice. *Occupational and environmental medicine*. 2008;65(11):719-25.
  11. Shirangi A, Fritschi L, Holman CDAJ. Associations of unscavenged anesthetic gases and long working hours with preterm delivery in female veterinarians. *Obstetrics & Gynecology*. 2009;113(5):1008-17.
  12. Lawson CC, Rocheleau CM, Whelan EA, Hibert ENL, Grajewski B, Spiegelman D, et al. Occupational exposures among nurses and risk of spontaneous abortion. *American journal of obstetrics and gynecology*. 2012;206(4): 327.e1-8.
  13. Parmar GR, Rao N. Emerging control technologies for volatile organic compounds. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2008;39(1):41-78.
  14. Vanisudha C, Yiling L, Chunyu M, Ying Z, Nikhil S, Kisoen D. Removal of N<sub>2</sub>O and Isoflurane from the exhaust stream of the operation rooms in hospitals. *Chemical Process Design* 3301. Faculty of Applied Sciences, Delft University of Technology.200; 1-72..
  15. Yamauchi S, Nishikawa K, Tokue A, Ishizeki J, Kadoi Y, Saito S. Removal of sevoflurane and nitrous oxide from waste anesthetic gases by using Anesclean, the system for treating waste anesthetic gases. *Masui The Japanese journal of anesthesiology*. 2010;59(7):930-4.
  16. Das D, Samal DP, Meikap B. Preparation of activated carbon from green coconut shell and its characterization. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*.2015; 6(5):1–7.
  17. Xu D, Dai P, Guo Q, Yue X. Improved hydrogen generation from alkaline NaBH<sub>4</sub> solution using cobalt catalysts supported on modified activated carbon. *international journal of hydrogen energy*. 2008;33(24):7371-7.
  18. Wang S, Zhu Z. Effects of acidic treatment of activated carbons on dye adsorption. *Dyes and Pigments*. 2007;75(2):306-14.
  19. Edwin Vasu A. Surface Modification of Activated Carbon for enhancement of Nickel (II) adsorption. *Journal of Chemistry*. 2008;5(4):814-9.
  20. Wibowo N, Setyadi L, Wibowo D, Setiawan J, Ismadji S. 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*. 2007;146(1):237-42.
  21. Liu S, Chen X, Chen X, Liu Z, Wang H. Activated carbon with excellent chromium (VI) adsorption performance prepared by acid–base surface modification. *Journal of Hazardous Materials*. 2007;141(1):315-9.
  22. Patankar, Suhas V. *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. New York: McGraw-Hill. (1980). p. 102.
  23. Sakhvidi MJZ, Bahrami A, Ghiasvand A, Mahjub H, Tuduri L. Determination of inhalational anesthetics in field and laboratory by SPME GC/MS. *Analytical Letters*. 2012;45(4):375-85.
  24. Balanay JAG, Crawford SA, Lungu CT. Comparison of toluene adsorption among granular activated carbon and different types of activated carbon fibers (ACFs). *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2011;8(10):573-9.
  25. Sing K, Everett D, Haul R, Moscou L, Pierotti R, Rouquerol J, et al. Physical and biophysical chemistry division commission on colloid and surface chemistry including catalysis. *Pure Appl*

- Chem. 1985;57(4):603-19.
26. Sing SJGKSW. Adsorption, Surface Area and Porosity. London: Academic Press, 1982.
  27. Mabayoje O, Seredych M, Bandoz TJ. Cobalt (hydr) oxide/graphite oxide composites: Importance of surface chemical heterogeneity for reactive adsorption of hydrogen sulfide. *Journal of colloid and interface science*. 2012;378(1):1-9.
  28. Pongener C, Kibami D, Rao KS, Goswamee RL, Sinha D. Synthesis and Characterization of Activated Carbon from the Biowaste of the Plant *Manihot Esculenta*. 2015; 4(1): 59-68.
  29. Bangash F, Alam S. Adsorption of acid blue 1 on activated carbon produced from the wood of *Ailanthus altissima*. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 2009;26(2):275-85.
  30. Gunjate JK. Adsorption of Cobalt onto Coal based Granular Activated Carbon: Kinetics and Equilibrium Studies. *International Journal of Applied Environmental Sciences*. 2017;12(6):1045-58.
  31. Ma X, Yang H, Yu L, Chen Y, Li Y. Preparation, surface and pore structure of high surface area activated carbon fibers from bamboo by steam activation. *Materials*. 2014;7(6):4431-41.
  32. Jamalzadeh Z, Haghghi M, Asgari N. Synthesis, physicochemical characterizations and catalytic performance of Pd/carbon-zeolite and Pd/carbon-CeO<sub>2</sub> nanocatalysts used for total oxidation of xylene at low temperatures. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2013;7(3):365-81.
  33. Li J, Xiao X, Xu X, Lin J, Huang Y, Xue Y, et al. Activated boron nitride as an effective adsorbent for metal ions and organic pollutants. *Scientific reports*. 2013;3:3208.
  34. Numwong N, Luengnaruemitchai A, Chollacoop N, Yoshimura Y. Partial hydrogenation of polyunsaturated fatty acid methyl esters over Pd/activated carbon: Effect of type of reactor. *Chemical engineering journal*. 2012;210:173-81.
  35. Zhenyu Ryu HR, Jingtang Zheng, Maozhang Wang, Bijiang Zhang. Microstructure and chemical analysis of PAN-based activated carbon fibers prepared by different activation methods. *Carbon*. 2002;40:1131 -50.
  36. Lee D-W, Jin M-H, Lee Y-J, Park J-H, Lee C-B, Park J-S. Reducing-agent-free instant synthesis of carbon-supported Pd catalysts in a green Leidenfrost droplet reactor and catalytic activity in formic acid dehydrogenation. *Scientific reports*. 2016;6:26474.
  37. Isik-Gulsac I. Investigation of Impregnated Activated Carbon Properties Used in Hydrogen Sulfide Fine Removal. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 2016;33(4):1021-30.
  38. Arsyad NAS, Razab MKAA, An'amt Mohamed Noor MH, Amini M, Yusoff NNAN, Halim AZA, et al. Effect of Chemical Treatment on Production of Activated Carbon from *Cocos nucifera* L.(Coconut) Shell by Microwave Irradiation Method. *J Trop Resour Sustain Sci*. 2016;4:112-6.
  29. Sheshmani SH, Arab Fashapoyeh M, Amini R. Iron (III) Hydroxide / Graphene Oxide Nano Composite and Investigation of Lead Adsorption. *Journal of Applied Researches in chemistry*. 2013; 6(4): 17-23.[persian].
  40. Jänchen J, Brückner J, Stach H. Adsorption of desflurane from the scavenging system during high-flow and minimal-flow anaesthesia by zeolites. *European journal of anaesthesiology*. 1998;15(3):324-9.
  41. Sekiyama H, Hotta M, Chaen S, Kyungho C, Yamada Y. Simultaneous Treatment of Waste Anesthetic Gases from 11 Operating Rooms: Against Global Warming. *the Anesthesiology*

- Anual meeting. 2007;107:A1718.
42. Panni MK, Corn SB. The use of a uniquely designed anesthetic scavenging hood to reduce operating room anesthetic gas contamination during general anesthesia. *Anesthesia & Analgesia*. 2002;95(3):656-60.
  43. Hua Y, Gargiulo N, Peluso A, Aprea P, Eic M, Caputo D. Adsorption Behavior of Halogenated Anesthetic and Water Vapor on Cr-Based MOF (MIL-101) Adsorbent. Part I. Equilibrium and Breakthrough Characterizations. *Chemie Ingenieur Technik*. 2016;88(11):1730-8.
  44. Ortmann R, Pasel C, Luckas M, Heimböckel R, Kraas S, Bentgens Jr, et al. Adsorption and Desorption of Isoflurane on Carbonaceous Adsorbents and Zeolites at Low Concentrations in Gas Phase. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 2015;61(1):686-92.
  45. F. Golbabaei, R. Moradi Rad, L. Omid, S. Farhang Dehghan, S. Roshani. Comparison of adsorption isotherms and kinetics of naphthalene and phenanthrene at activated carbon beds in the organic n-hexane solution. *Journal of Health and Safety at Work*. 2015; 5(2):63-74.[persian].
  46. H. Shirkhanloo, M. Osanloo, O. Qurban Dadras. Nobel Method for Toluene Removal from Air Based on Ionic Liquid Modified Nano-Graphen. *International Journal of Occupational Hygiene (IJOH)*. 2014;6(1):1-5.
  47. R. Moradi Rad, L. Omid, H. Kakooei, F. Golbabaei, et al. Adsorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Activated Carbons: Kinetic and Isotherm Curve Modeling. *International Journal of Occupational Hygiene (IJOH)*. 2014;6(1):43-49.
  48. E. Rahmzadeh, F. Golbabaei, A. Faghihi Zareandi, S. Gh. Moussavi, M.R. Baneshi. Investigation of activated carbon efficiency in hexavalent chromium adsorption from airflow. *Journal of Health and Safety at Work*. 2017; 7(3):191-202.[persian].

## Effects of acid modification of activated charcoal on adsorption of Sevoflurane as an anesthesia gas

Asghar Ghahri<sup>1</sup>, Farideh Golbabaei<sup>2,\*</sup>, Leila Vafajoo<sup>3</sup>, Seyed Mohammad Mireskandari<sup>4</sup>, Mehdi Yaseri<sup>5</sup>, Seyed Jamaledin Shahtaheri<sup>2</sup>, Faranak Najarian<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Research Center for Health, Safety and Environment (RCHSE), Department of Occupational Health Engineering, Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor, Department of Anesthesiology and Critical Care, Imam khomeini Hospital Complex, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>5</sup> Assistant Professor, Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>6</sup> M.Sc., Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

### Abstract

**Introduction:** Anesthetic gases used in hospitals include N<sub>2</sub>O and halogenated hydrocarbons (such as sevoflurane) which can be released through leakages and uncontrolled exhalation by the patient into the ambient air of clinical staff. These gases have greenhouse effect and damage to the ozone layer and serious risks such as reproductive, preterm delivery and fetal abnormalities and increased spontaneous abortion on the health of operating room personnel. Therefore, removal of these gases from the workplaces is essential especially in the treatment centers. The purpose of the present study was to investigate the adsorption of sevoflurane from air by using activated Charcoal and also the effect of acid modification on its performance.

**Material and Method:** In this study, two adsorbents of unmodified and modified activated charcoal with nitric acid were used to remove sevoflurane. After preparation, the adsorbents were characterized using XRD, FT-IR, BET and FE-SEM methods. After characterization, the breakthrough and adsorption capacity of sevoflurane on both adsorbents were determined using the modified wheeler equation.

**Result:** The results of characterization showed that acid modification did not affect the crystalline structure of activated charcoal and increased the adsorption and microporous of acid-modified activated charcoal in comparison with unmodified activated charcoal. It also reduces surface functional groups of the activated carbon. The results of determination of adsorption capacity indicated that the adsorption capacity of modified activated charcoal was improved in comparison with unmodified activated charcoal.

**Conclusion:** The results demonstrated that both adsorbents have the ability to absorb sevoflurane and modified activated charcoal have a better performance in this process. This effect may be due to the surface area of adsorption and volume of micro pores more than the unmodified activated charcoal.

**Key words:** Activated Carbon, Acid Modification, Sevoflurane, Adsorption

\* Corresponding Author Email: [fgolbabaei@sina.tums.ac.ir](mailto:fgolbabaei@sina.tums.ac.ir)