

بررسی مقایسه‌ای فیلترهای جاذب آلاینده‌های سمی بر پایه فوم پلی اورتان

آغشته به کربن فعال یا پارچه کربنی آستر دار

محمد رضا خوشرو^۱، حسن حسینی منفرد^{۲*}، بزرگمهر مداح^۳

۱- پژوهشگر، دانشکده علوم، دانشگاه امام علی (ع) و دانشجوی دکتری دانشگاه زنجان

۲- استاد، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان ۳- دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

(دریافت: ۹۳/۱۱/۱۲، پذیرش: ۹۴/۰۵/۲۶)

چکیده

کارایی و ویژگی‌های عملکردی فوم پلی اورتان آستر دار آغشته شده به کربن فعال و پارچه کربن فعال لامینه شده تهیه شده از الیاف پلی آکریلونیتریل برای استفاده در فیلترهای جاذب آلاینده‌های آلی فاز گازی، تحت آزمون‌های استاندارد بررسی شدند. نتایج حاصل از این آزمون‌ها، توانمندی‌ها و قابلیت‌های این فیلترها را آشکار می‌سازد و کمک می‌کند تا فیلتر مناسبی تولید کنیم. آزمایش‌ها بر روی دو نوع پارچه فیلتری آستر دار بر پایه کربن فعال شامل پارچه فیلتر آستر دار فوم پلی اورتان کربنی و فیلتر آستر دار پارچه کربنی در شرایط یکسان انجام شدند. ویژگی‌های عملکردی دو نمونه شامل وزن، ضخامت، نیروی پارگی، خمش، ریزش کربن فعال، نفوذپذیری هوا و میزان جذب عامل مشابه نوعی مواد سمی سولفیدی، ۱،۳ دی کلرو پروپان به صورت بخار/ بخار و مایع/ بخار مطابق روش‌های آزمون مندرج در سند استاندارد، اندازه‌گیری و نتایج با حداقل‌های موجود در استاندارد مقایسه گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که کارایی پارچه کربنی نسبت به فوم آغشته به زغال فعال در برابر جذب آلاینده گازی موجود در هوا بالاتر و در نتیجه برای بکار گیری به عنوان جاذب در فیلتر در محیط‌های آلوده مناسب‌تر است.

کلید واژه‌ها: فیلتراسیون، سمی، فوم، پارچه کربن آستر دار.

A Comparative Investigation of the Toxic Materials Adsorbent Filters Based on Activated Carbon-Impregnated Polyurethane Foam Lining or Laminated Carbon Fiber

M. R. Khoshroo, H. Hosseini-Monfared*, B. Maddah

Faculty of Science, Imam Ali University & Ph.D. Student, Zanjan University

(Received: 01/02/2015; Accepted: 17/08/2015)

Abstract

Filtration of toxic materials were examine by two different laminated filterazied fabrics consisted of activated carbon polyurethane foam and carbon fabric laminated at the same conditions. Functionalized characteristics of two samples such as weight, thickness, force tearing, bending, active carbon collapsing, air permeability and absorbed dose of toxic simulant, i.e. 1,3-dichloropropane in vapor/vapor and liquid/vapor phases according to the standard methods were investigated. The obtained results indicated that capability and efficiency of carbon fabric laminated has advantage over the activated carbon polyurethane foam, also it is more suitable to be used in sealed area.

Keywords: Filtration, Toxic, Foam, Laminated Carbon Fabric.

*Corresponding Author E-mail: monfared@znu.ac.ir

۱. مقدمه

پایه PAN^۵ در سال ۱۹۷۶ توسط شرکت Royan آغاز شد [۹]. استفاده از قیر^۶ در ساخت ACF ها در سال ۱۹۸۵ شروع شد که تولید تجاری این محصول نیز به وسیله شرکت گاز Osaka با نام تجاری Kynol انجام می شد. با توجه به قیمت پایین تر قیر نسبت به نفت و زغال سنگ و عملکرد بالای ACF های به دست آمده از قیر، تولید ACF های بر پایه قیر افزایش چشمگیری داشته است به طوری که امروزه یکی از مهم ترین پیش سازهای ACF قیر می باشد. اخیراً دسته ای دیگر از ACF ها که دارای قطره هایی در مقیاس نانو هستند مثل نانو الیاف های کربنی فعال (ACNF) و نانو تیوب های کربنی فعال (ACNT) وارد بازار شده است [۱۲-۱۰]. برتری ACF ها در مقایسه با کربن فعال ها در رفع آلودگی گازها و مایعات اساساً به ساختار منفذ دار آن ها برمی گردد. میکروپوریزیتی ACF ها با تبدیل این مواد به عنوان ماده جاذب، امکان جذب آلودگی را فراهم کرده و از طرفی دیگر به دلیل اینکه در ACF ها محدودیت های انتقال جرم وجود ندارد فرایند جذب آلودگی ها سریع تر انجام می شود. به عنوان نمونه می توان از نقش ACF ها در جذب گازهایی مثل SO₂، NO_x و ترکیبات فرار آلی نام برد [۱۷-۱۳]. حذف بنزن و تولوئن موجود در جریان های گازی توسط ACF ها مورد مطالعه قرار گرفته است. به ازای هر ۱۰۰ گرم ACF، ۳۱ گرم بنزن و ۵۳ گرم تولوئن جذب می شود [۱۸]. رفع آلودگی از فاز مایع نیز همان مزیت های بالا را دارد. نقش ACF ها به ویژه در تصفیه آب آشامیدنی و همچنین حذف ترکیبات آلی از آب آشامیدنی بسیار برجسته است [۱۹ و ۲۰]. پارچه کربن تهیه شده از الیاف نوعی کربن انعطاف پذیر و نرم، نسل جدید این محصول می باشد که از اهمیت بسیار زیادی در صنایع مختلف برخوردار است. پارچه کربن فعال از نظر مکانیکی دارای استحکام کم می باشد اما ساختاری با تخلخل بالا دارد. سطح مخصوص پارچه کربن فعال بین ۲۴۰۰-۵۰۰۰ است. ساختار متخلخل پارچه کربن فعال باعث خاصیت جذب سطحی بالای آن می گردد. منافذ پارچه کربن فعال نسبت به نوع گرانول کوچک تر و توزیع آن یکنواخت تر می باشد. ظرفیت جذب پارچه های کربن فعال برای گازهای آلی چندین برابر بیشتر از گرانول کربن فعال می باشد. پارچه های کربن فعال دارای مقاومت حرارتی بالایی بوده و دمای تخریب یا نقطه اشتعال آن ها در مجاورت هوا بیش از ۵۰۰°C و تحت اتمسفر گاز خنثی بیش از ۱۰۰۰°C می باشد. از خواص دیگر پارچه های کربن فعال می توان به مقاومت شیمیایی بالا در شرایط اسید و باز قوی، هدایت الکتریکی خوب، عایق حرارتی خوب، محتوای خاکستر بسیار کم، خنثی و غیر سمی بودن این پارچه اشاره کرد. پارچه های کربن فعال تقریباً از ۱۰۰٪ الیاف کربن متخلخل تشکیل شده و به صورت منسوجات نرم و انعطاف پذیر می باشند. به خاطر افزایش ظرفیت جذب یا کنترل دیگر خواص مورد نیاز، پارچه های کربنی با افزودنی های شیمیایی مانند مخلوط ۳٪ ZnCl₂:AlCl₃:NH₄Cl [۲۱ و ۲۲] فسفات ها و بورات ها [۲۳-۲۵]، کمپلکس ها و اکسید فلزات واسطه [۲۶]، کلریدهای آهن و کبالت [۲۷] همراه می شود.

کربن فعال به طور گسترده از گذشته دور برای جذب آلاینده های خطرناک هم برای تصفیه هوا و هم آب به کار می رود. کربن فعال دارای ساختار میکرو کریستالی و غیره گرافیتی است و به دلیل خلل و فرج بسیار، دارای سطح مخصوص بالایی در حدود ۱۷۰۰-۵۰۰۰ m²/g می باشد. این سطح مخصوص زیاد به کربن فعال اجازه جذب فیزیکی گازها، بخارها و مواد حل شده یا پخش شده در مایعات را می دهد [۱]. الیاف های کربن فعال (ACF)^۱ و پارچه های کربن تهیه شده از آن ها در مقایسه با کربن های فعال از نوع پودر و گرانول فواید زیادی دارند که مستقیماً به ویژگی های ذاتی الیاف های کربن فعال وابسته می باشد. مهم ترین ویژگی و فواید این دسته از کربن ها را می توان به صورت خلاصه ذکر کرد. الف) ACF ها دارای ظرفیت جذب و سطح ظاهری بسیار بالایی هستند. ب) دارای شکل فیبر مانند با قطر کوچک، معمولاً بین ۱۰ تا ۴۰ میکرومتر، می باشند که از مهم ترین ویژگی ها برای کاربردهایی است که نیاز به تراکم ذخیره سازی بالایی دارند (ذخیره سازی گازها). ج) از آنجایی که ACF ها سبک هستند به راحتی می توان آن ها را بر روی پارچه ها (لباس، نمد و ...) قرارداد. قطر باریک این دسته از کربن ها محدودیت های انتقال جرم را با افزایش مقیاس دفع-جذب کاهش می دهد. از آنجایی که ACF ها به راحتی بافته و قالب ریزی می شوند، می توان فیلترهای را تهیه نمود که مشکلات گرانولی را ندارند [۱ و ۲]. با توجه به مقاومت کم هیدرودینامیکی این نوع از کربن ها، آن ها را می توان به عنوان پارچه های نازک در حل مشکل جریان شدید گازها استفاده کرد که برای کنترل آلودگی گازها بسیار مفید است [۲]. توسعه ACF ها و پارچه های کربنی فعال بسیار به الیاف کربنی^۲ (CF) وابسته است به همین دلیل موادی که در تهیه ACF ها استفاده می شود با مواد تشکیل دهنده CF ها یکسان می باشد. در سال ۱۹۶۶ میلادی اولین مواد متشکله ACF و CF ها، پارچه های ویسکوز بودند [۳ و ۴]. عملکرد پایین ACF هایی که از این دسته از مواد به دست می آمدند باعث شد که محققین در جستجوی دسته دیگری از مواد برای ساخت ACF ها باشند که هم ارزان تر باشد و هم اینکه عملکرد بهتری داشته باشد. از این رو از سال ۱۹۷۰ به بعد، ACF ها از پلی وینیل کلرید [۵] و همچنین پیش سازهای پلی اکریلیک [۶] تهیه شدند. عملکرد بسیار بالا و ویژگی های مکانیکی مناسب ACF هایی که از این دسته از ترکیبات حاصل می شوند نشان از مناسب بودن این پیش سازها^۳ دارد. اکنون می توان از پیش ساز فنول فرمالدئید برای ساخت ACF استفاده کردند که در سال ۱۹۷۶ با نام تجاری Novolak به تولید انبوه رساندند [۷]. در سال ۱۹۸۰ شرکت شیمیایی کورای^۴ ACF هایی را به صورت تجاری عرضه کرد که از پیش ساز رزین های فنولی استفاده شده بود [۸]. ساخت ACF های بر

^۱ Activated Carbon Fibers

^۲ Carbon Fibers

^۳ Precursors

^۴ Kuray

^۵ Polyacrylonitrile

^۶ Pitch

سلول باز به کربن فعال استفاده گردید. فوم پلی اورتان در هوای آزاد خشک و برای افزایش استحکام چسب آکرلیک، فوم به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. به منظور افزایش استحکام، لامینه شدن توسط فرایند اتصال شعله‌ای با آستر نایلون نفوذپذیر انجام شد (شکل (۱)).



شکل ۱. فوم لامینه پلی اورتان آغشته شده به پودر کربن فعال

۲-۳. تهیه فیلتر پارچه کربن فعال

پارچه کربن فعال شده خود از استحکام فیزیکی پایین برخوردار است. بنابراین ضروری بود که استحکام آن افزایش یابد تا قابلیت به‌کارگیری به عنوان فیلتر را داشته باشد. برای بالا بردن استحکام فیلتر پارچه کربنی، آستر (پرلون) با نفوذپذیری مناسب نسبت به هوا و وزن کم به طور یکنواخت در دو طرف پارچه کربنی با استفاده از چسب حرارتی شبکه‌ای (زانفیکس) پرس گرمایی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد در مدت ۵ دقیقه روکش شد (شکل (۲)). با توجه به اینکه پارچه آستری، از دو سطح، پارچه کربنی را روکش نموده است، ضمن افزایش استحکام فیزیکی، موجب افزایش مقاومت در برابر عوامل خارجی نیز می‌شود.



شکل ۲. پارچه کربنی لامینه شده توسط نایلون (پرلون)

۲-۴. اندازه‌گیری میزان خمش

برای اندازه‌گیری میزان خمش ابتدا نمونه‌ها به ابعاد ۵۰×۲۰ میلی‌متر

فیلترهای تنفسی پارچه‌ای به منظور حفاظت افراد که در معرض آلاینده‌های مواد سمی و بیولوژیک به طور محدود قرار دارند، طراحی و تولید می‌شوند. شرکت‌های مختلفی فیلترهای تنفسی را با توانمندی جذب بالاتر به منظور کاهش آلاینده‌های گازی تولید می‌کنند. فیلترهای تنفسی باید نفوذپذیری مناسب داشته باشد و ضمن اینکه قابلیت تبادل هوا، رطوبت و دی‌اکسید کربن را دارد باید توانمندی جذب آلاینده سمی و ذرات میکربی را هم در بازه زمانی معین داشته باشد. انواع فیلترهای تنفسی پارچه‌ای با قابلیت جذب آلاینده‌های گازی شامل فوم آغشته به کربن اکتیو، پارچه کربنی، نمد زغالی، الیاف کربنی، پارچه زغالی به روش اسپری کردن زغال کروی و پارچه زغالی به روش چاپی می‌باشند [۲۸].

در این مقاله آزمون‌های استاندارد بر روی دو نوع فیلترهای تنفسی پارچه‌ای ساخته شده از فوم پلی اورتان و پارچه کربنی آستردار، انجام شده و میزان کارایی آن‌ها به عنوان جاذب آلاینده‌های سمی با استفاده از ماده مشابه عوامل گوگردی یعنی با شبه عامل ۱ و ۳ دی کلرو پروپان [۲۹] بررسی شده است.

۲. بخش تجربی

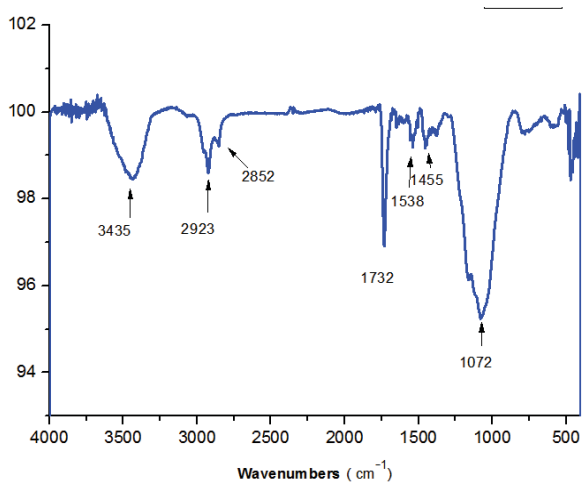
۲-۱. مواد و دستگاه‌ها

پودر کربن فعال تجاری تهیه شده در ایران با سطح فعال ۹۰۰-۱۱۰۰ مترمربع بر گرم و پارچه کربنی با سطح فعال ۷۰۰-۹۰۰ مترمربع بر گرم، ضخامت ۰/۷۳ میلی‌متر و وزن ۱۹۲ گرم بر مترمربع از شرکت چینی Alibaba، فوم پلی اورتان به ضخامت متوسط ۱/۵ میلی‌متر و وزن متوسط ۳۰۰ گرم بر متر مربع و دانسیته ۲۵ کیلوگرم بر متر مربع از شرکت چینی Alibaba، لایه پرلون از جنس نایلون از بازار ایران و بیندر پلی آکرلیک (لاتکس الاستومر آکرلیک) از شرکت آلمانی Merck تهیه شد. از دستگاه آشکارساز FID مدل Radfish ساخت آلمان، دستگاه FTIR شرکت Perkin-Elmer Spectrophotometer Spectrum One، ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم از شرکت Metrom استفاده شد.

۲-۲. تهیه فوم زغالی آغشته به کربن فعال

نمونه فوم پلی اورتان با دانسیته ۲۵ کیلوگرم در متر مکعب به ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر مربع تهیه شد. برای تهیه حمام آغشته‌سازی، به یک ظرف مناسب، ۲ لیتر آب مقطر اضافه شد و سپس به آن محلول آمونیاکی (۳ میلی‌لیتر ۲۸٪) و کازوئین (۱۵ گرم) اضافه شد و مجموعه تا انحلال کازوئین هم خورد. سپس ۳۰ گرم کربن فعال (مش کمتر از ۲۰۰) به آن اضافه شد و هم خوردن تا پخش کامل ذغال ادامه یافت. سپس به محلول مذکور، مخلوطی هم خورده‌ای از ۱۵۰ گرم لاتکس الاستومر آکرلیک در ۲۸۰ میلی‌متر آب مقطر ضمن هم خوردن اضافه شد. این سوسپانسیون باید دارای بیش از ۲۵٪ کربن فعال باشد. از این حمام برای اشباع کردن فوم پلی اورتان

اورتان حاوی کربن فعال و پارچه کربن فعال در ابعاد 20×20 سانتی‌متر مربع بریده شدند. وزن آن‌ها برحسب گرم بر سانتی‌متر مربع تعیین و تحت شرایط استاندارد محیطی قرار گرفتند. دستگاه آشکارساز FID (شکل ۴) جریانی با سرعت ۵ متر بر ثانیه از هوای آلوده به شبه عامل با غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر مترمکعب بر سطح یک قطعه به‌اندازه ۴ سانتی‌متر مربع از نمونه ایجاد کرد. یک جریان هوا با دبی ۴۰ میلی‌لیتر بر دقیقه از داخل نمونه مکیده و از برج جذب حاوی معرف مقدار کمی عبور داده شد. بعد از گذشت ۶ ساعت، برج جذب حاوی معرف از دستگاه خارج شده و مقدار شبه عامل عبوری اندازه‌گیری گردید. با توجه به سطح نمونه و دبی جریان هوا، مقدار عبور شبه عامل برای پارچه کربنی ۶۰ و فوم پلی اورتان کربنی ۴۶۰ میلی‌گرم در دقیقه بر متر مکعب در مدت ۶ ساعت به‌دست آمد [۳۲].



شکل ۴. طیف FT-IR مربوط به پارچه کربنی

۲-۷. تعیین مقدار نفوذ عامل شیمیایی به صورت مایع / بخار

ابتدا دستگاه FID پس از عبور گاز حامل یعنی مخلوطی از هوا با فشار ۱ bar و هیدروژن با فشار ۲ bar که از دستگاه عبور می‌کرد، تنظیم شد. نمونه‌هایی به ابعاد 20×20 سانتی‌متر مربع از فوم پلی اورتان و پارچه کربنی که از قبل در شرایط محیطی استاندارد قرار گرفته بودند، برای انجام آزمون بر روی دستگاه FID قرار گرفتند. توسط سرنگ مقدار ۴ میکرو لیتر از شبه عامل ۱ و ۳ دی کلرو پروپان به صورت قطره بر روی نمونه قرار گرفت و روی آن‌ها درپوش گذاشته شد. سپس با ایجاد مکش (خلأ) از یک طرف نمونه، میزان عبور شبه عامل برای پارچه کربنی 0.9 و فوم پلی اورتان کربنی 0.2 برحسب میکروگرم بر سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد [۳۳ و ۳۴]. مقدار قابل قبول مطابق سند استاندارد دفاعی ایران میزان عبور شبه عامل نباید بیشتر از ۴ میکروگرم به ازای هر سانتی‌متر مربع نمونه در مدت ۶ ساعت باشد.

۲-۸. تعیین میزان مقاومت در برابر نیروی پارگی

نمونه‌هایی به ابعاد 63×100 میلی‌متر مربع از فوم پلی اورتان و پارچه کربنی و آزمون در محیطی با رطوبت نسبی 2 ± 65 درصد و دمای 2 ± 20 درجه سلسیوس انجام گرفت. آزمون باید طوری انتخاب

از فوم آغشته شده به کربن فعال و پارچه کربنی آستر دار تهیه شدند. نمونه‌های حاصل شده در شرایط محیطی استاندارد (رطوبت ۵۰٪، دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد، فشار محیط) قرار داده شدند تا شرایط به دما و رطوبت مناسب برای انجام آزمون برسند. نمونه به دستگاه خمش سنج منتقل و با استفاده از دستگاه مذکور، مقدار مقاومت در برابر خمش لحظه‌ای در زاویه ۳۰ درجه با نیروی ۲ میلی ژول اندازه‌گیری شد [۳۰]. مقدار حاصل شده از هر دو نوع پارچه کمتر از ۳۰٪ و طبق استاندارد دفاعی ایران این مقدار خمش برای دو نوع پارچه مورد قبول بود.

۲-۵. اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری هوا

قبل از انجام آزمایش نمونه به مدت ۲ ساعت در شرایط محیطی استاندارد قرار گرفتند تا نمونه‌ها رطوبت و دما محیط استاندارد برای آزمون را به‌دست آورند. دو نمونه به اندازه ۱۰۰ سانتی‌متر مربع از فوم آغشته شده به کربن فعال و پارچه کربنی آستر دار بریده شد و توسط دستگاه اندازه‌گیری نفوذ هوا (شکل ۳)، دبی عبوری از نمونه درافت فشار یک میلی بار اندازه‌گیری گردید. با توجه به سطح نمونه مورد آزمون، مقدار عبور هوا برحسب لیتر بر ثانیه به ازای یک مترمربع محاسبه شد [۳۱]. مقدار نفوذ هوا برای پارچه کربنی آستر دار ۱۰۸ و برای فوم پلی اورتان کربنی ۱۵۰ لیتر بر ثانیه به ازای هر مترمربع اندازه‌گیری شد که با توجه به مقدار نفوذ هوای مندرج در سند استاندارد دفاعی (کمینه ۱۰۰ لیتر بر ثانیه به ازای هر مترمربع پارچه) میزان نفوذ هوا برای هر دو نوع پارچه مورد قبول است.



شکل ۳. دستگاه اندازه‌گیری نفوذ هوا از نمونه‌های کربن برای بررسی جذب شبه عامل به صورت بخار-بخار و مایع-بخار (با مجوز شرکت صنعتی میلاد)

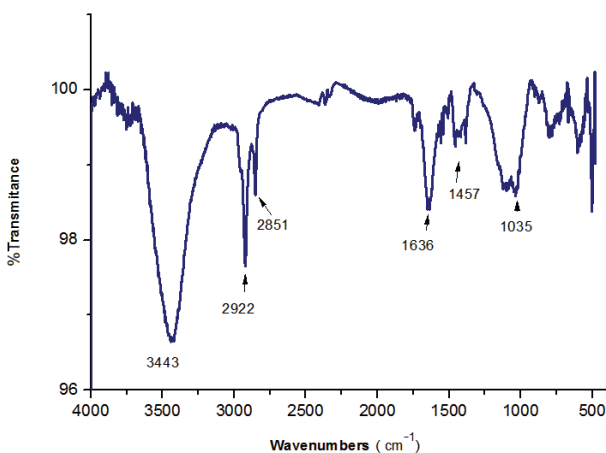
۲-۶. تعیین مقدار نفوذ عامل شیمیایی به صورت بخار / بخار

برای بررسی کارایی جذب در فوم پلی اورتان و پارچه کربنی، از شبه عامل گوگردی (۱ و ۳ دی کلرو پروپان) استفاده شد. مقدار نفوذ شبه عامل طبق استاندارد دفاعی ایران نباید بیشتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در دقیقه بر متر مکعب در مدت ۶ ساعت باشد. نمونه‌های پارچه پلی

آزمون‌های انجام شده برای بررسی ویژگی‌های عملکردی پارچه فیلتر تنفسی حذف آلاینده‌های گازی برای پارچه کربنی و فوم پلی اورتان که در بخش تجربی روش انجام آن به طور کامل شرح داده شده است، با حداقل‌های ذکر شده در سند استاندارد دفاعی ایران با شماره ۰۳۴ در جدول (۱) مقایسه شده است.

با در نظر گرفتن وزن مندرج در سند استاندارد ۵۰۰ گرم در مترمربع، پارچه کربنی با وزن ۴۰۶ و فوم پلی اورتان کربنی با ۳۰۰ گرم در مترمربع نشان می‌دهد که وزن هر دو نمونه در محدوده استاندارد می‌باشد.

در خصوص ضخامت عدد ثابتی تعیین نشده اما ضخامت کمتر دلیلی برای قابلیت بهتر می‌باشد. نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد که ضخامت پارچه کربنی کمتر از نصف پارچه با فوم پلی اورتان می‌باشد.



شکل ۵. طیف FT-IR فوم کربنی پلی اورتان پر شده با پودر کربن فعال

بررسی نتایج حاصل شده مقاومت فیلترها در مقابل نیروی پارگی در جهت تار و پود، نشان می‌دهد که هر دو نمونه قابلیت‌های موجود در استاندارد را دارند. همچنین داده‌های جدول (۱) نشان می‌دهد که میزان ریزش زغال در پارچه کربنی آستر دار کمتر از پارچه فوم کربنی آستر دار می‌باشد.

نفوذپذیری هوا برای پارچه آستر دار کربنی ۱۰۸ و برای پارچه آستر دار فوم کربنی ۱۵۰ لیتر بر مترمربع ثانیه می‌باشد. نفوذپذیری هوا برای هر دو نمونه بیشتر از حداقل ذکر شده در استاندارد است.

میزان نفوذ ۱ و ۳ دی کلروپروپان که به عنوان مشابه آلاینده‌های گازی در این آزمایش به کار گرفته شده در دو حالت بخار/بخار و مایع/بخار نشان می‌دهد که پارچه کربنی ۲۵۰ و پارچه فوم کربنی ۵۰۰ میلی گرم در دقیقه بر مترمکعب در مدت زمان ۶ ساعت از ماده شیمیایی ۱ و ۳ دی کلروپروپان را عبور داده است.

شود که حداقل ۲ متر از انتها و ۵۰ میلی متر از حاشیه پارچه فاصله داشته باشد [۳۵]. نمونه بین فک ثابت و متحرک دستگاه قرار گرفت. فک متحرک با سرعت ثابت به حرکت درآمد و در نقطه پارگی متوقف شد. مقدار نیروی پارگی در راستای تار و پود برحسب نیوتن به ترتیب برای پارچه کربنی ۲۶/۵ و ۱۱ و فوم پلی اورتان ۱۴/۶۶ و ۱۳/۲۱ ثبت شد. مقاومت پارگی بایستی مطابق استاندارد کمینه ۱۰ نیوتن در دو جهت تار و پود باشد.

۲-۹. تعیین میزان ریزش زغال

نمونه‌های به ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی متر تهیه شدند و پس از قرار گرفتن در آن در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت وزن شدند. دوباره نمونه‌ها در دمای ۳۰ درجه سلسیوس توسط ماشین لباس شویی شسته و خشک شدند و به مدت دو ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس در آن قرار گرفتند و دوباره وزن شدند. این عمل شستشو تا ثابت ماندن وزن ادامه داده شد. با توجه به وزن اولیه، قبل و بعد از شستشو، درصد وزن کاهش یافته برای نمونه‌ها به مقدار متوسط برای پارچه کربنی ۳/۷٪ و فوم پلی اورتان کربنی ۹/۱٪ محاسبه گردید [۳۶].

۳. نتایج و بحث

به منظور بررسی ویژگی‌های فوم کربنی پلی اورتان، طیف FT-IR محدوده $4500-400\text{ cm}^{-1}$ مطالعه شد (شکل ۵). پیک 3435 cm^{-1} مربوط به باند کششی N-H و OH، پیک‌های 2923 ، 2852 مربوط به باند کششی نامتقارن و متقارن C-H می‌باشد. پیک موقعیت 1732 cm^{-1} مربوط به باند کششی CO و 1538 cm^{-1} مربوط به پیوند دوگانه C=C و 1055 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی باند C-O-C و $800-600\text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات خمشی خارج از صفحه پیوند کربن-هیدروژن در الکن‌ها می‌باشد. همچنین به منظور بررسی ویژگی‌های پارچه کربنی، طیف FT-IR در همان محدوده قبلی یعنی $4500-400\text{ cm}^{-1}$ مطالعه شد (شکل ۴). موقعیت پیک‌ها را در 3443 ، 2922 ، 2851 ، $1636/0.3$ ، 1457 ، 1035 و $800-600\text{ cm}^{-1}$ نشان داد. پیک 3443 cm^{-1} مربوط به باند کششی OH، پیک‌های 2922 و 2851 cm^{-1} مربوط به باند کششی نامتقارن و متقارن C-H آلیفاتیک می‌باشد. پیک 1636 cm^{-1} مربوط به پیوند دوگانه کربنیل و آلفینی است [۳۷ و ۳۸]. عدم وجود گروه سیانید (پیک 2224 cm^{-1}) نشان دهنده این است که پارچه کربنی با منشأ پلی اکریلونیتریل به طور کامل به کربن فعال تبدیل شده است. پیک پر شدت 1732 cm^{-1} در فوم کربنی پلی اورتان که در پارچه کربنی وجود ندارد مربوط به گروه استری موجود در فوم پلی اورتان مربوط می‌باشد (شکل ۵). وجود گروه‌های هیدروکسید، آلفینی و کربنیل می‌تواند به جذب قوی کربن کمک کند. نتایج کلیه

جدول ۱. مقایسه نتایج ویژگی های عملکردی پارچه فیلتر تنفسی حذف آلاینده های گازی برای پارچه کربنی و فوم پلی اورتان با حداقل های

مقادیر تعیین شده در سند استاندارد

مشخصات	پارچه کربنی (لایه آستری+پارچه کربنی)	فوم زغالی (لایه آستری + فوم زغالی)	حد مجاز در استاندارد [۳۹]
وزن (g/m^2)	۴۰۶	۳۰۰	کمتر از ۵۰۰
ضخامت (mm)	۰/۷۲	۱/۶۶	کمتر بهتر
نیروی پارگی (N)	تار	۱۴/۶۶	بیشتر از ۱۰
	پود	۱۱	بیشتر از ۱۰
ریزش زغال (%)	۳/۷٪	٪۹/۱	کمتر از ٪۱۰
نفوذپذیری هوا $Lm^2 s$	۱۰۸	۱۵۰	بیشتر از ۱۰۰
۱ و ۳ دی کلروپروپان بخار/بخار $mg.min.m^3$	۶۰	۴۶۰	کمتر از ۵۰۰ میلی گرم در دقیقه بر مترمکعب در مدت زمان ۶ ساعت
۱ و ۳ دی کلروپروپان مایع/بخار $\mu g.cm^2$	۰/۹	۰/۲	کمتر از ۴ میکروگرم در ۶ ساعت

۴. نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که پارچه آستر دار کربنی هر چند از لحاظ اقتصادی قیمت بالاتری دارد، در شرایط مشابه دارای ویژگی های آزمایشگاهی بهتری نسبت به پارچه آستر دار فوم پلی اورتان دارد و می تواند مقادیر بیشتری از آلاینده های گازی را جذب کند. همچنین نتایج حاصل از دیگر ویژگی ها برای دو نمونه شامل وزن، ضخامت، جرخوردگی، خمش، ریزش کربن فعال، نفوذپذیری هوا (لیتر بر مترمربع ثانیه)، میزان جذب ۱ و ۳ دی کلرو پروپان به صورت بخار/بخار، نیز نشان داد که نمونه پارچه کربنی آستر دار از قابلیت های بهتری برخوردار می باشد. در نتیجه می توان گفت که کارایی پارچه کربنی آستر دار نسبت به فوم کربنی آستر دار در برابر جذب آلاینده گازی موجود در هوا بالاتر و برای به کارگیری برای تولید لباس محافظ ش.م.ه. و یا استفاده در فیلترهای تنفسی انفرادی و جمعی برای حفاظت در محیط های آلوده مناسب تر است.

۵. مراجع

- [7] Economy, J.; Lin, R. Y. "Quilted Fabric Containing High Surface Area Carbon Fibers"; US Patent 3,769,144, 1973.
- [8] Arons, G. N. "Activated Carbon Fiber and Fabric Achieved by Pyrolysis and Activation of Phenolic Precursors"; Text. Res. J. 1972, 42, 60-65.
- [9] Wu, M.; Zha, Q.; Qiu, J.; Guo, Y.; Shang, H.; Yuan, A. "Preparation and Characterization of Porous Carbons from PAN-Based Preoxidized Cloth by KOH Activation"; Carbon 2004, 42, 205-210.
- [10] Bailey, A.; Arthur, P.; Maggs, P. "Activated Carbon"; British Patent 1,301,101, 1971.
- [11] Barranco, V.; Lillo-Rodenas, M. A.; Linares-Solano, A.; Oya, A.; Pico, F. "Amorphous Carbon Nanofibers and Their Activated Carbon Nanofibers as Supercapacitor Electrodes"; J. Phy. Chem. 2010, 114, 10302-10307.
- [12] Raymundo-Piñero, E.; Azaïs, P.; Cacciaguerra, T.; Cazorla-Amorós, D.; Linares-Solano, A.; Béguin, F. "KOH and NaOH Activation Mechanisms of Multiwalled Carbon Nanotubes with Different Structural Organization"; Carbon 2005, 43, 786-795.
- [13] Raymundo-Piñero, E.; Cazorla-Amorós, D.; Salinas-Martinez, C.; Linares-Solano, A. "Factors Controlling the SO₂ Removal by Porous Carbons: Relevance of the SO₂ Oxidation" Carbon 2000, 38, 335-344.
- [14] Benaddi, H. "Multilayer Protective Fabric Covering Material"; US patent 20150065002, 2015.
- [15] Shirahama, N.; Moon, S. H.; Choi K. H.; Enjoji, T.; Kawano, S.; Korai, Y. "Mechanistic Study on Adsorption and Reduction of NO₂ Over Activated Carbon Fibers"; Carbon 2002, 40, 2605-2611.
- [16] Yang, C. M.; Kaneko, K. "Nitrogen-Doped Activated Carbon Fiber as an Applicant for NO Adsorbent"; J. Colloid Interface Sci. 2002, 255, 236-240.
- [17] Meera, A.; Destailats, H.; Fisk, D. "Use of Manganese Oxide and Activated Carbon Fibers for Removing a Particle, Volatile Organic Compound or Ozone from a Gas"; US Patent 20150065002, 2015.
- [18] Lillo-Ródenas, M. A.; Cazorla-Amorós, D.; Linares-Solano, A. "Benzene and Toluene Adsorption at Low Concentration on Activated Carbon Fibers"; Adsorption 2011, 17, 473-481.
- [19] Lu, Q.; Sorial, G. A. "A Comparative Study of Multicomponent Adsorption of Phenolic Compounds on GAC and ACFs"; J. Hazard. Mater. 2009, 167, 89-96.
- [1] Suzuki, M. "Activated Carbon Fiber: Fundamentals and Applications"; Carbon 1994, 32, 577-586.
- [2] Blucher, H.; Von Blucher, H.; Ruiter, E. "Filter Sheet Materials"; US Patent 4,510,193, 1985.
- [3] Kisamori, S.; Mochida, I.; Fujitsu, H. "Roles of Surface Oxygen Groups on Poly (acrylonitrile)-Based Active Carbon Fibers in SO₂ Desorption. Langmuir"; 1994, 10, 1241-1245.
- [4] Huang, Z. H.; Kang, F.Y.; Zheng, Y. P.; Yang, J. B.; Liang, K. M. "Adsorption of Trace Polar Methy-Ethyl-Ketone and Non-Polar Benzene Vapors on Viscose Rayon-Based Activated Carbon Fibers"; Carbon 2002, 40, 1363-1367.
- [5] Boucher, E. A.; Cooper, R. N.; Everett, D. H. "Preparation and Structure of Saran-Carbon Fibers"; Carbon 1970, 8, 597-605.
- [6] You, S. Y.; Park, Y. H.; Park, C. R. "Preparation and Properties of Activated Carbon Fabric from Acrylic Fabric Waste"; Carbon 2000, 38, 1453-1460.

- [29] Beer Singh, M. V. S.; Suryanarayana, S. M.; Baronia N. B.; Rao, S. N.; Tripathi, V. S.; Darshan, L.; Sen, A. K. "Evaluation of Chemical Protective Clothing: Comparative Study of Breakthrough Time with Sulfur Mustard and a Simulant, 1,3 Dichloropropane"; *Defence Sci. J.* 2000, 50, 51-57.
- [30] DIN 53864 "Determination of the Bending Strength"; 1978.
- [31] DIN 53887 "Determination of Air Permeability of Textile Fabrics"; 1986.
- [32] International Standard-Helsa "Operating Manual for Real Gas Test and Real Standard Test".
- [33] ASTM D3467 - 04 "Standard Test Method for Carbon Tetrachloride Activity of Activated Carbon"; 2014.
- [34] BS 5690 "Method for Determination of Abrasion Resistance of Fabrics"; 1991.
- [35] DIN 53859 Part2: January "Tear Growth Testing of Textile Fabrics"; 1979.
- [36] DIN EN 26330 "Domestic Washing and Drying Procedures for textile texting"; 1994.
- [37] He, J.; Ma, W.; He, J.; Zhao, J.; Yu, J. C. "Photo Oxidation of Azo Dye in Aqueous Dispersions of H₂O₂/FeOOH"; *Appl. Catal. B Environ.* 2002, 39, 211-220.
- [38] Pavia, D. L.; Lampman, G. M.; Kaiz, G. S. "Introduction to Spectroscopy: A Guide for Students of Organic Chemistry"; W. B. Saunders Company, 2008.
- [39] Iran Defense Standardization "Nuclear, Biological and Chemical Permeable Protective Suit with Charcoal Foam Specifications and Test Methods"; 034, 1384.
- [20] Shmidt, J. L.; Pimenov, A.V.; Lieberman, A. I.; Cheh, H. Y. "Kinetics of Adsorption with Granular, Powdered, and Fibrous Activated Carbon"; *Separ. Sci. Technol.* 1997, 32, 2105-2014.
- [21] Gurudatt, K.; Tripathi, V. S. "Studies on Changes in Morphology during Carbonization and Activation of Pretreated Viscose Rayon Fabrics"; *Carbon* 1998, 36, 1371-1377.
- [22] Babić, B. M.; Milonjić, S. K.; Polovina, M. J.; Čupić, S.; Kaludjerović, B. V. "Adsorption of Zinc, Cadmium and Mercury Ions from Aqueous Solutions on an Activated Carbon Cloth"; *Carbon* 2002, 40, 1109-1115.
- [23] Ayranci, E.; Hoda, N.; & Bayram, E. "Adsorption of Benzoic Acid onto High Specific Area Activated Carbon Cloth"; *J. Colloid Interface Sci.* 2005, 284, 1, 83-88.
- [24] Freeman, J. J.; Gimblett, F. G. R.; Roberts, R. A.; Sing, K. S. W. "Studies of Activated Charcoal Cloth. I: Modification of Adsorptive Properties by Impregnation with Boron-Containing Compounds"; *Carbon* 1987, 25, 559-563.
- [25] Osmond, N. M. "Activated Carbon Fiber Adsorbent Materials"; *Adsorpt. Sci. Technol.* 2000, 18,6, 529-539.
- [26] Freeman, J. J.; Gimblett, F. G. R.; Sing, K. S. W. "Studies of Activated Charcoal Cloth. V. Modification of Pore Structure by Impregnation with Certain Transition Metal Salts and Oxo-Complexes"; *Carbon* 1989, 27, 85-93.
- [27] Morawski, A. W.; Kalucki, K.; Nakashima, M.; Inagaki, M. "Modified Carbonization of Polyacrylonitrile by Incorporation of FeCl₂ and Fe(NO₃)₃ Pore Structure"; *Carbon* 1994, 32, 1457-1461.
- [28] "Requirements for a Non-Woven Cloth Coated on one Side with Activated Charcoal"; Issued by Director, Stores and Clothing, Research and Development Establishment, Colchester, UK Standard No.UK/SC/3346. G, 9-11.