فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال هفتم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، (پیاپی ۲۵): صص ۵۷-۴۷

بررسی انواع مواد به‌کاررفته در پوشش‌های NBC

بزرگمهر مداح[۱]، محمدرضا خوشرو[۲]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۱۷
تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۹/۰۱

چکیده

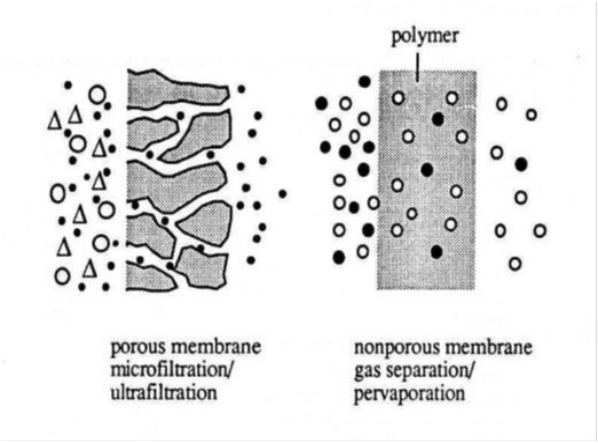
لباس‌های محافظ در برابر مواد بیولوژیکی و شیمیایی، مصارف متنوعی از جمله کاربردهای صنعتی، بیمارستانی، کشاورزی و نظامی دارند. لباس مورد استفاده، متناسب با شرایط کار و در نظر گرفتن پارامترهایی چون وزن، راحتی پوشش، میزان حفاظت و ثبات انتخاب می‌شود. لباس‌های محافظ در برابر عوامل شیمیایی جنگی، در جنگ جهانی اول با پارچه‌های لاستیکی به همراه دستکش و پوتین برای حفاظت بخش داخلی بدن - جدای از قسمت‌های حفاظت‌شده توسط ماسک - استفاده شدند. این نوع لباس‌ها در کلاس لباس‌های نفوذناپذیر قرار می‌گیرند؛ بدین معنی که عوامل شیمیایی سمی از آن عبور نمی‌کنند و از خروج عرق آزادشده از پوست هم جلوگیری به عمل می‌آورند. بنابراین، پوشیدن این نوع از لباس‌ها برای مدت بیشتر، بخاطر افزایش گرما غیر قابل تحمل است. این مقاله تلاش می‌نماید تا ارتباط مناسبی بین انواع لباس محافظ و مواد تشکیل‌دهنده جدید که در نتیجه تحقیق و توسعه اخیر، شناسایی و تولید گردیده‌اند را مورد بررسی و مطالعه قرار دهد. لباس محافظ ایده‌آل در برابر نفوذ بخارها و گازهای خطرناک مقاومت می‌نماید. به عبارت بهتر، لباس محافظ باید از میزان نفوذپذیری بالا در برابر بخارآب و نفوذپذیری پایین در برابر گازها برخوردار باشد. در این ارتباط، شاید استفاده از غشاهای پلیمری در لباس‌های محافظ می‌تواند راه‌حل مناسبی باشد. لباس NBC مرسوم، از لباس‌های برپایه فوم اشباع‌شده با کربن فعال می‌باشد. کربن فعال با کمک چسب به فوم متصل شده و بنابراین کسر زیادی از سطح کربن فعال، دیگر در فعالیت جذب شرکت نخواهند داشت. الیاف کربن به‌صورت نمد، دارای استحکام فیزیکی مناسبی بوده و می‌تواند به‌عنوان لایی در لباس NBC به‌جای فوم استفاده شود به علاوه، تمام سطح الیاف کربن در جذب عوامل شیمیایی دخالت خواهد کرد. بنابراین، استفاده همزمان از غشاء پلیمری و الیاف کربن، روشی مطمئن برای دست‌یابی به لباسی با ایمنی بالاتر و ماندگاری بیشتر در منطقه آلوده است.

کلیدواژه‌ها: : لباس محافظ، پلیمر، کربن فعال، عوامل شیمیایی

۱- دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع) - bmadah@ihu.ac.ir
۲- پژوهشگر، دانشکده علوم، دانشگاه امام علی (ع) و دانشجوی دکتری دانشگاه زنجان

۱- مقدمه

غشا و فنّاوری مربوط به آن، نقش بسیار مهمی را در زندگی انسان ایفا می‌کند. غشاهای طبیعی و پلیمری، در صنایع مختلف، کاربردهای گسترده‌ای پیدا کرده‌اند. کاربرد آن‌ها در فرایندهای جداسازی، به‌شدت در حال افزایش است و هسته یک فرایند جداسازی را غشا تشکیل می‌دهد. غشا را می‌توان به‌عنوان یک مانع نفوذگزین یا یک سطح مشترک بین دو فاز همگن در نظر گرفت [۱ و ۲]. غشا به اجزای معینی در جریان سیال اجازه عبور داده و درعین‌حال، توانائی عبور بعضی از اجزاء را از آن‌ها سلب می‌نماید. غشا را در حالت کلی می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد؛ ناحیه‌ای که به‌صورت غیر ممتد بین دو سیال قرارگرفته و یا فازی که به‌صورت یک سد عمل می‌کند تا از انتقال جرم جلوگیری نماید؛ اما به یک یا چند بخش اجازه عبور از طریق خود را می‌دهد [۳ و ۴]. غشا می‌تواند نازک یا ضخیم بوده و ساختار آن نیز می‌تواند به صورت یکنواخت یا غیریکنواخت باشد. علاوه براین، غشا می‌تواند به حالت گازی، مایع، جامد و یا ترکیبی از این‌ها باشد. به‌طورکلی، غشا را به دو دسته متخلخل و غیرمتخلخل تقسیم می‌کنیم. در غشاهای متخلخل، اندازه حفرات و همچنین توزیع اندازه آن‌ها به‌طور مؤثری اندازه ذرات یا مولکول‌هایی را که توسط غشا برگردانده یا عبور داده می‌شود، تعیین می‌نماید. این نوع سازوکار جداسازی، تحت عنوان «جداسازی بر اساس اندازه» نامبرده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که در این سازوکار، نوع مواد اهمیت کمی را در تعیین عملکرد غشا در فرآیند جداسازی دارا می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، در این غشاها خاصیت انتخاب‌کنندگی غشا عموماً توسط ابعاد حفره‌ها تعیین می‌شود. عملکرد غشاهای متخلخل و غیر متخلخل به‌طور شماتیک در شکل (۱) مقایسه شده است[۲]. غشاهای پلیمری می توانند متخلخل (نفوذپذیر) و غیرمتخلخل (نفوذناپذیر) باشند. یک فیلم



شکل ۱- شمای غشای متخلخل و غیر متخلخل[۲].

متخلخل امکان حرکت بخار از میان غشا را از طریق کانال های میکروسکوپی فراهم می‌آورد. درحالی‌که در یک فیلم غیریکنواخت، انتقال بخار عمدتاً از طریق نفوذ مولکولی صورت می‌پذیرد.

اکثر پارچه‌ها و کالاها شامل کربن فعال (برای جذب بخارهای سمی) کالاهایی نفوذپذیر هستند [۵]. پارچه‌های نفوذپذیر معمولاً شامل یک پارچه بافته‌شده در قسمت رویه، لایه‌ای از مواد جاذب مانند فوم اشباع‌شده با کربن فعال یا نمد بی‌بافت پرشده با کربن فعال و یک پارچه آستری می‌باشد. ازآنجایی‌که پارچه رویه نه‌تنها در برابر هوا، مایعات و ذرات معلق، بلکه در برابر بخارهای مختلف نیز نفوذپذیر است، به همین دلیل به‌منظور ایجاد محافظت شیمیایی، ساختمان پارچه محافظ باید شامل لایه‌ای با قابلیت جذب مواد شیمیایی سمی باشد. جریان هوا به‌راحتی از لباس نفوذپذیر عبور کرده و منافذ را باز می‌کند. این عمل تبخیر، خنک شدن بدن را به‌دنبال داشته و به عبارت دیگر، موجبات راحتی پوشش را فراهم می‌آورد. به‌عنوان نمونه‌هایی از لباس‌های محافظ و نفوذپذیر که حاوی کربن فعال هستند، می‌توان به لباس های CP[1] آمریکایی، بریتانیایی و همچنین لباس‌های CP رایج در کانادا اشاره نمود [۶]. غشاهای پلیمری که از نفوذپذیری کمی در برابر هوا برخوردار بوده ولی نفوذپذیری آن‌ها در برابر بخارآب بالا می‌باشد، در این دسته قرار می‌گیرند [۶]. دو نوع مختلف از غشاهای نیمه‌تراوا وجود دارد: غشاهای متخلخل و غشاهای انحلال– نفوذی. این غشا امکان عبور جریان همرفتی هوا، ذرات معلق و بخارها را از میان حفره‌های آن ایجاد می‌کند. غشای انحلال- نفوذ که غشای یک پارچه یا غیرمتخلخل نیز نامیده می‌شود، از قوانین نفوذ فیزیکی گازها از میان غشای غیرمتخلخل تبعیت می‌کند. به‌گونه‌ای که گاز در غشا حل می‌شود، در امتداد آن نفوذ کرده و در سمت دیگر آن برحسب گرادیان غلظت، زمان و ضخامت غشا واجذب می‌شود [۶]. یک غشای تراواگزین (SPM)، ماده‌ای بسیار نازک، سبک و انعطاف‌پذیر و محافظ در برابر عوامل CB است. با وجود SPM، دیگر نیازی به یک ماده جاذب ضخیم، سنگین و حجیم مانند لایه‌های کربن فعال که در سیستم‌های موجود CP وجود دارد، نمی‌باشد. بنابراین، ترشحات رطوبت بخار از بدن، از میان لایه‌های لباس محافظ خارج می‌شود و بدن سربازان همواره در طول مأموریت خنک باقی‌مانده و درعین‌حال، از عوامل شیمیایی تاول‌زا به حالت مایع، بخار و ذرات معلق در امان می‌ماند. SPM[2]ها، دارای خواصی مرکب از خواص مواد نفوذپذیر و مواد نیمه تراوا می‌باشند. ساز و کار محافظت در پارچه‌های تراواگزین بر اساس فرآیند انحلال- نفوذ می‌باشد، درحالی‌که پارچه‌هایی با پایه کربن،

1– Chemical Protective
2– Semi-permeable membrane

بر اساس فرآیند جذب سطحی مواد با استفاده از کربن فعال، به دلیل ماهیت حجیم و عایق حرارت بودن، خنک شدن قابل توجهی را موجب نمی‌شوند. SPM ها، در واقع فنّاوری پیشرفته و پیشگام در ارتش آمریکا را تشکیل می‌دهند [۶]. مواد نفوذناپذیر مانند بوتیل، لاستیک بوتیل هالوژن‌دارشده، نئوپرن و دیگر الاستومرها معمولاً در طول سال‌ها برای حفاظت در برابر عوامل CB[1] استفاده می‌شدند. این نوع مواد، با وجود ایجاد ممانعت عالی در مقابل نفوذ عوامل CB در شکل مایع، بخار و ذرات معلق، از انتقال بخار مرطوب (عرق)، از بدن به محیط نیز جلوگیری می‌کنند. استفاده طولانی‌مدت از مواد نفوذناپذیر در لباس‌های حفاظتی در شرایط آب و هوایی گرم در مناطق گرمسیری، خطر تنش‌های ناشی از گرما را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.

۲- ساز و کار عمل غشاها در لباس‌های محافظ

لباس‌های محافظ شیمیایی- بیولوژیکی، می‌بایستی از نفوذ گازهای سمی و همچنین بخارات شیمیایی خطرناک ممانعت نموده و درعین‌حال، امکان عبور بخار آب را از میان لباس فراهم نماید. در بررسی و طراحی لباس‌های محافظ، یکی از آیتم‌های مهم، برقراری توازن بین دو پارامتر مذکور می‌باشد. عملکرد این لباس‌ها عمدتاً به مقاومت پارچه در برابر نفوذ مواد شیمیایی- بیولوژیکی بستگی دارد. بررسی مقالات و متون علمی حاکی از این است که لباس‌های محافظ که ممانعت خوبی در مقابل مواد شیمیایی از خود نشان می‌دهند، عملکرد شخص پوشنده لباس را محدود نموده و موجبات خستگی حرارتی او را فراهم می‌آورند. دلایل این امر را باید در سنگین بودن لباس، تنش‌های حرارتی و تنفس‌پذیری محدود لباس جستجو نمود [۷ و ۸]. به‌عبارت دیگر، افزایش قابلیت تنفس در لباس، کاهش سطح حفاظتی ایجاد شده در طراحی لباس را به دنبال خواهد داشت. بنابراین، توجه به موارد مذکور به‌منظور تعیین مناسب‌ترین ماده و طراحی لباس محافظ، از اهمیت بالایی برخوردار است. راحتی پوشش مستقیماً با پارامترهای سختی، سنگینی و همچنین خواص انتقال رطوبت، گرما و هوا در پارچه در رابطه است. چگونگی وابستگی پارامترهای ممانعتی و راحتی پوشش در الیاف، نخ، پارچه و لباس با یکدیگر متفاوت است. به‌عنوان مثال، در پارچه، پارامترهای مهمی که می‌بایستی مورد توجه واقع شوند عبارت‌اند از: ممانعت مؤثر، راحتی، مقاومت در برابر سایش و آلوده نشدن توسط مواد آلوده‌کننده، ممانعت مؤثر ایجادشده توسط یک پارچه، مستقیماً با ساختار پارچه، میزان تخلخل آن، اندازه حفرات و همچنین ضخامت پارچه در رابطه است [۹].

یک لباس محافظ ایده‌ال می‌بایستی در برابر نفوذ بخارها و گازهای خطرناک مقاومت نموده درحالی‌که امکان عبور بخار آب به سمت خارج از لباس در هر فشاری را فراهم آورد. به عبارت بهتر لباس محافظ باید از میزان نفوذپذیری بالا در برابر بخار آب و نفوذپذیری پایین در برابر گازها برخوردار باشد [۵]. در این ارتباط، استفاده از غشاهای پلیمری در لباس‌های محافظ می‌تواند راه حل مناسبی باشد.

۳- پوشش‌های محافظ شیمیایی و بیولوژیکی مرسوم

۳-۱- پوشش محافظ با لایه‌های کربن فعال

کربن فعال به‌طور گسترده از گذشته دور برای جذب آلاینده های خطرناک، هم برای تصفیه هوا و هم آب به‌کار می‌رود. کربن فعال دارای ساختار میکروکریستالی و غیرگرافیتی است و به دلیل خلل و فرج بسیار، دارای سطح مخصوص بالایی در حدود ۵۰۰ -۱۷۰۰ g/m^2 می‌باشد. این سطح مخصوص زیاد به کربن فعال اجازه جذب فیزیکی گازها، بخارها و مواد حل‌شده یا دیسپرس شده در مایعات را می‌دهد [۱۰و ۱۱]. الیاف‌های کربن فعال (ACF)[2] و پارچه‌های کربن تهیه شده از آن‌ها، در مقایسه با کربن‌های فعال از نوع پودر و گرانول فواید زیادی دارند که مستقیماً به ویژگی‌های ذاتی الیاف‌های کربن فعال وابسته می‌باشد. مهم‌ترین ویژگی و فواید این دسته از کربن‌ها را می‌توان به‌صورت خلاصه ذکر کرد. الف) ACFها دارای ظرفیت جذب و سطح ظاهری بسیار بالایی هستند. ب) دارای شکل فیبرمانند با قطر کوچک، معمولاً بین ۱۰ تا ۴۰ میکرومتر می‌باشند که از مهم‌ترین ویژگی‌ها برای کاربردهایی است که نیاز به تراکم ذخیره‌سازی بالایی دارند (ذخیره‌سازی گازها). ج) ازآنجایی‌که ACF ها سبک هستند به‌راحتی می‌توان آن‌ها را بر روی پارچه‌ها (لباس، نمد و ...) قرار داد. قطر باریک این دسته از کربن‌ها، محدودیت‌های انتقال جرم را با افزایش مقیاس دفع- جذب کاهش می‌دهد [۱۲ و ۱۳].

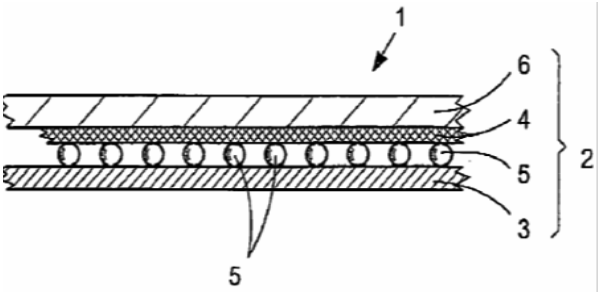
۳-۱-۱- استفاده از کربن فعال و مواد فعال کاتالیتیکی در دولایه مجزا

محافظ ساخته‌شده بر پایه کربن فعال اگرچه از قابلیت بالایی در جذب بخارات شیمیایی سمی برخوردارند، ولی عملکرد آن ها در جذب مواد بیولوژیکی ضعیف می‌باشد. به همین دلیل، بوهرینگر و همکارانش [۱۴] در ساختار پوشش چندلایه خود، از مواد فعال کاتالیتیکی بر پایه فلزات و یا ترکیبات فلزی بهره گرفتند تا حفاظت شیمیایی و بیولوژیکی به‌صورت همزمان برقرار گردد. تصویر

1– Chemical and biological
2– Activated carbon fibers

شماتیک ساختار طراحی‌شده، در شکل (۲) نمایش داده شده است.

لایه ۶ به‌عنوان یک‌لایه پشتیبان فوقانی عمل می‌نماید.



شکل ۲- شماتیک ساختار چندلایه‌ای طراحی‌شده متشکل از دولایه خارجی و یک‌لایه جاذب بر مبنای ذرات کربن [۱۴].

لایه ۴ به عنوان لایه خارجی ثانویه می‌باشد.

لایه ۵، فرآیند جذب بخارات سمی شیمیایی در این لایه صورت می‌گیرد.

لایه ۳ نشان‌دهنده لایه خارجی اولیه می‌باشد.

لایه ۵ به عنوان لایه مرکزی در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند با استفاده از ذرات کربن فعال و الیاف کربن فعال در قالب پارچه کربنی به‌کار گرفته شود.

حداقل یکی از لایه‌های خارجی اولیه و ثانویه، حاوی مواد فعال کاتالیتیکی می‌باشد. درواقع می‌توان گفت که وجه تمایز اصلی در طرح محافظ طراحی‌شده توسط بوهرینگر بر پایه استفاده از مواد فعال کاتالیتیکی در لایه‌ای مجزا غیر از لایه حاوی کربن فعال و استفاده از کربن فعال خالص و اشباع نشده استوار است، این طرح از مزایای زیادی، از جمله موارد زیر برخوردار است:

۱) مرحله دشوار و پرهزینه اشباع‌سازی کربن فعال با استفاده از مواد فعال کاتالیتیکی در این روش حذف‌شده و علاوه‌براین، از کاهش ظرفیت جذب لایه حاوی کربن فعال به‌واسطه اشباع شدن با مواد فعال کاتالیتیکی اجتناب می‌گردد.

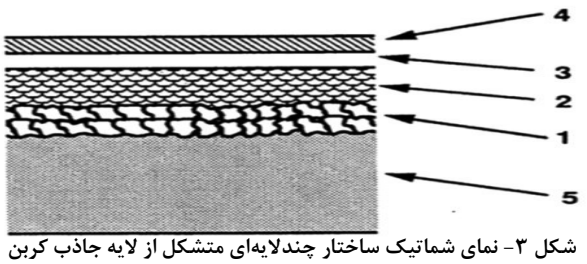
۲) بر اساس اصول مهندسی، مجهز نمودن لایه‌های خارجی با مواد فعال کاتالیتیکی در خط تولید لباس، از سادگی عملیاتی بیشتری برخوردار است.

۳) افزایش زمان تماس بخارات مضر شیمیایی بیولوژیکی با مواد جاذب، شامل کربن فعال به همراه مواد کاتالیتیکی فعال به دلیل حضور مواد مذکور در دولایه مجزا که موجب می‌شود فرآیند فیلتراسیون و به‌تبع آن، حفاظت از کاربر، باراندمان بالاتری صورت پذیرد.

کربن فعال را می‌توان به‌صورت ذرات جدا از هم و یا به صورت پارچه کربنی متشکل از الیاف کربن مورد استفاده قرار داد. در مورد ذرات کربن فعال، پیشنهاد شده که قطر ذرات کمتر از ۰/۱ mm انتخاب گردد. میزان کربن فعال در لایه محافظ در محدوده ۱۰۰-۲۵۰ g/m^2 وزن مخصوص پارچه ۳۰-۱۵۰ g/m^2 انتخاب گردد. همچنین می‌توان لایه جاذب را به‌صورت ترکیبی از ذرات کربن و الیاف کربن فعال در نظر گرفت. عنوان‌شده است که سطح مخصوص ذرات و الیاف کربن فعال در محدوده ۸۰۰-۲۵۰۰ g/m^2 انتخاب گردد. مواد فعال کاتالیتیکی، بر مبنای فلز و یا ترکیبات فلزی تهیه می‌شوند. به‌عنوان مثال، می‌توان فلزات مس، نقره، کادمیوم، رودیوم، پلاتینیوم، پالادیوم، روی، جیوه، تیتانیوم، زیرکونیوم، آلومینیوم و همچنین یون‌ها و نمک‌های فلزات مذکور را نام برد. از میان ترکیبات مذکور، یون‌ها و نمک‌های نقره و مس ترجیح داده می‌شوند. در نهایت، مقایسه سامانه طراحی‌شده با سامانه‌هایی که از کربن فعال اشباع شده استفاده می‌نمایند، نشان داده است که میزان نفوذ گازهای خردل و سومان از میان لایه محافظ ارائه‌شده در این کار، بسیار کمتر از سامانه‌هایی می‌باشد که مواد فعال کاتالیتیکی و کربن فعال، هر دو در یک‌لایه به‌صورت کربن فعال اشباع وجود دارند. همچنین توانایی سامانه طراحی باکتری در بستر آزمایش‌شده بیش از ۹۹٪ گزارش‌شده درحالی‌که این میزان برای سامانه‌های دیگر، در ۷۱٪ اندازه‌گیری شده است [۱۴]. سامانه طراحی‌شده، از عملکرد حفاظتی بسیار خوبی در برابر عوامل شیمیایی/ بیولوژیکی برخوردار می‌باشد که علت اصلی آن را باید در استفاده همزمان از کربن فعال و مواد کاتالیتیکی فعال در دولایه مجزا جستجو نمود [۱۴].

۳-۱-۲- استفاده از کربن فعال و غشاهای متراکم غیرمتخلخل

آتاید و همکارانش [۱۵] استفاده توأم از غشاهای پلیمری و لایه جاذب حاوی کربن فعال را در لباس‌های محافظ بررسی نمودند. پوشش محافظ طراحی‌شده توسط آن‌ها در شکل (۳) نشان داده



شکل ۳- نمای شماتیک ساختار چندلایه‌ای متشکل از لایه جاذب کربن فعال و غشای پلیمری[۱۵].

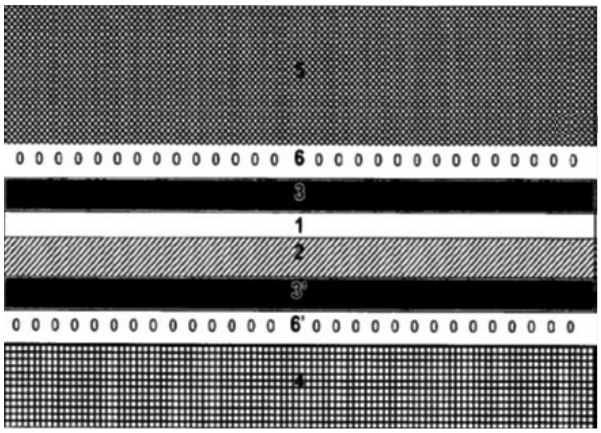
شده است. غشا شامل یک ساختار چندلایه‌ای می‌باشد که در این پوشش محافظ، یک غشای مرکب لایه‌نازک بوده که نسبت به بخار آب، نفوذپذیر و در برابر بخارهای شیمیایی، نفوذناپذیر می‌باشد.

در شکل (۳) لایه ۱ در حقیقت نشان‌دهنده هسته اصلی ماده محافظ است که می‌تواند یک پارچه بافته‌شده و یا یک پارچه کش‌باف باشد. لایه ۲ که بر روی لایه ۱ قرارگرفته است، یک غشای پشتیبان میکرو متخلخل ۳ می‌باشد که در حقیقت، استحکام کامپوزیت را تأمین نموده اما هیچ‌گونه عملکرد گزینشی در برابر مواد مختلف از خود ارائه نمی‌دهد. لایه ۳ یک لایه تراواگزین فوق‌العاده نازک می‌باشد که درواقع، رفتار نفوذپذیری کلی توسط این لایه تعیین می‌گردد. انتخاب ماده مناسب برای این لایه، از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است؛ چراکه رفتار و میزان نفوذپذیری ماده محافظ طراحی‌شده در برابر مواد مختلف، توسط این لایه کنترل می‌شود. ازآنجایی‌که این لایه، یک‌لایه متراکم و غیرمتخلخل است، نسبت به مایعات و ذرات معلق موجود در فضا، نفوذناپذیر می‌باشد. لایه مذکور می‌بایستی در برابر بخارهای شیمیایی، بالاترین میزان پس‌زنی را داشته باشد درحالی‌که بخارآب را باید به‌راحتی انتقال دهد تا از ایجاد تنش حرارتی که از بین رفتن راحتی پوشش را به دنبال دارد، اجتناب گردد. به عنوان لایه تراواگزین پیشنهاد شده است که از پلیمرهای قطبی هیدروفیل با ساختار سخت مانند پلیمرهای شیشه‌ای و یا پلیمرهای کراسلینک‌شده استفاده شود؛ مانند پلی‌اکریلو نیتریل،کوپلیمرهای اکریلو نیتریل، پلی‌آمیدها، استات‌های سلولز مانند سلولزدی‌استات و به‌ویژه سلولز تری استات برای ساخت لایه تراواگزین ترجیح داد ه می‌شوند [۱۱].

لایه ۴ که یک‌لایه اختیاری است، نقش حفاظت از لایه تراواگزین در برابر عواملی از قبیل سایش را بر عهده دارد. اما لایه شماره ۵، لایه متشکل از کربن فعال است که می‌تواند به صورت ذرات پراکنده‌شده کربن فعال در یک واسط پلیمری در نظر گرفته شود. به‌عنوان لایه جاذب می‌توان از مواد جاذب نظیر ذرات و یا الیاف کربن فعال، ذرات و یا پودر زئولیت استفاده نمود. از میان این دو ماده، کربن فعال از اهمیت بیشتری برخوردار است ماده جاذب می‌بایستی درون یک لایه پلیمری قرار بگیرد تا بتوان آن را در ساختار طراحی‌شده به‌کار برد، برای این منظور، می‌توان از پلی‌سولفون، پلی‌اتیلن، پلی‌ترا فلوئورو اتیلن، پلی‌وینیلیدین فلوئورید، پلی‌یورتان، پلی‌پروپیلن و پلی‌آمید استفاده نمود. لایه حاوی ماده جاذب غالباً با استفاده از روش قالب‌گیری حلال در ساختار چندلایه‌ای طراحی‌شده قرار داده می‌شود. در این روش، ماده جاذب (عمدتاً کربن فعال) به درون محلول پلیمری ساخته‌شده منتقل‌شده و با آن به‌خوبی مخلوط می‌شود. مخلوط حاصل در نهایت بر روی پارچه موردنظر قالب‌گیری می‌گردد. پارچه مرکب چندلایه- که ویژگی‌ها و نحوه ساخت آن در بالا موردبررسی قرار گرفت - را به روش‌های ساده‌ای می‌توان جهت ساخت لباس‌های محافظ بکار برد. یک روش، روش دوزندگی می‌باشد. به‌عنوان روش‌های دیگر، می‌توان اتصال به کمک چسب همراه با اعمال فشار، یا حرارت یا هر دو یا بدون اعمال فشار حرارت را متذکر شد [۱۱].

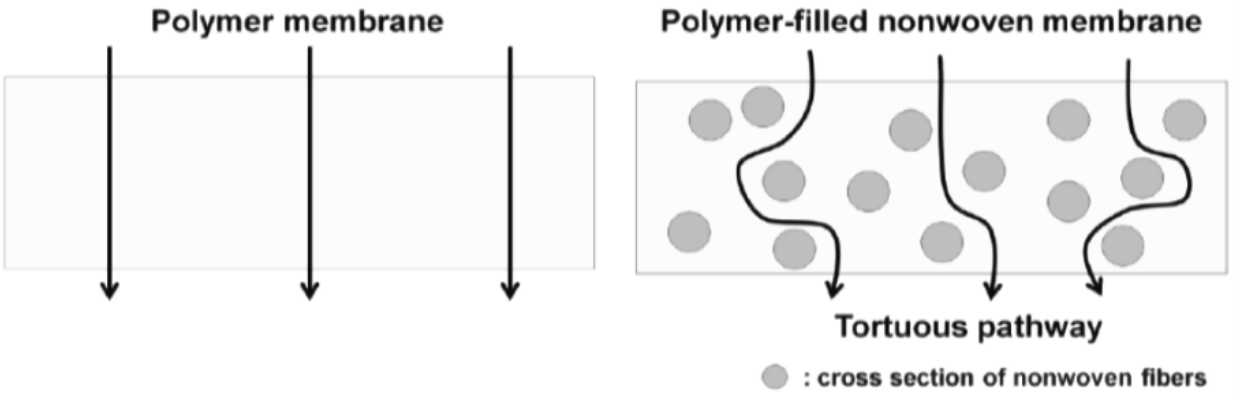
۳-۲- استفاده از غشاهای غیرمتخلخل بر پایه کیتوزان

هاوارد و همکارانش [۱۶] فرآیند ساخت لمینیت‌های تراواگزین با قابلیت حفاظت در برابر عوامل شیمیایی/ بیولوژیکی را ارائه دادند. ساختار طراحی‌شده توسط آن‌ها ساختار چندلایه می‌باشد که در برابر بخارآب نفوذپذیر بوده و درعین‌حال، از نفوذ عوامل شیمیایی/ بیولوژیکی مضر جلوگیری به عمل می‌آورد. ساختار مذکور چنانچه در لباس‌های محافظ مورد استفاده قرار گیرد، راحتی پوشش و محافظت مطلوبی را پشتیبانی می‌نماید. تصویر شماتیک ساختار مذکور که متشکل از ۵ لایه می‌باشد در شکل (۴) نشان داده شده است [۱۶].



شکل ۴- ساختار چندلایه باقابلیت عبور آب [۱۶].

هسته اصلی این ساختار چندلایه را یک فیلم غیرمتخلخل از کیتوزان تشکیل می‌دهد که در شکل (۴) با شماره ۱ نشان داده شده است. لایه شماره ۲ درواقع زمینه‌ای را ایجاد می‌کند که فیلم کیتوزان بر روی آن چسبیده می‌شود. لایه‌های ۳ و ۳′ لایه‌هایی اختیاری بوده و تحت عنوان لایه‌های تکمیلی شناخته می‌شوند [۱۶]. لایه شماره ۴، یک لایه آستری داخلی و لایه ۵، رویه خارجی ساختار مذکور را نشان می‌دهد. لایه‌های ۴ و ۵ معمولاً از غشاهای



شکل ۵- نمایش شماتیک مسیر نفوذ یک گاز در ماتریس پلیمری در حضور بی بافت [۱۷]

میکرو متخلخل و یا پارچه‌های مناسب انتخاب می‌گردند. می‌توان فیلم کیتوزان را بر روی یک زمینه مناسب قالب‌گیری نموده و فیلم تهیه‌شده را به همراه ماده زمینه مناسب در ساختار چندلایه به‌کار برد. همچنین می‌توان فیلم کیتوزان را بر روی یک سطح صاف، مانند شیشه و یا یک ورقه پلیمری (مانند ورقه پلی‌استری) تهیه نموده و پس از خشک شدن فیلم، آن را از سطح مذکور جدا نمود و سپس فیلم تهیه‌شده را در ساختار لمینیت طراحی شده مورد استفاده قرار داد [۱۶]. مناسب است که پارچه‌های آرامید برای لایه خارجی استفاده شده و آستر داخلی شامل پارچه‌های پلی - آرامیده به‌عنوان یک جزء مخلوط نایلونی، پنبه‌ای و یا مخلوط آن‌ها باشد. مثلاً می‌توان از پارچه آستری استفاده نمود تا آستری تولیدشده دارای خاصیت ضد آتش نیز باشد. ساختار چندلایه‌ای تولیدشده بر پایه استفاده از فیلم کیتوزان به‌عنوان لایه اصلی، نسبت به بخارآب نفوذپذیر بوده و درعین‌حال، در برابر نفوذ مواد شیمیایی/بیولوژیکی سمی محافظت می‌نماید. همچنین نرخ انتقال بخارآب ۱۰ $kg/m^2/24h$ می‌باشد. نفوذپذیری در برابر خردل و سومان ۴ و ۱/۲۵ $\mu g/cm^2$ در ساعت گزارش شده است [۱۲]. ساختار چندلایه‌ای تهیه‌شده در این تحقیق را می‌توان با استفاده از فرآیندهای دوزندگی و یا فرآیندهای چسباندن به همراه پرس حرارتی برای تهیه لباس محافظ به‌کار برد.

۳-۲-۱- تهیه یک ساختار چندلایه بر پایه فیلم متراکم کیتوزان

محلول آبی ۵٪ کیتوزان بر روی فیلم نافیون پوشش داده شده و سپس در حرارت ۱۵۰ ^oC به مدت ۲ دقیقه خشک می‌شود. ضخامت فیلم کیتوزان خشک‌شده در این حالت، ۸ میکرون اندازه‌گیری شده است. از طرف دیگر، این لایه، به فیلم پلی‌یورتان ساختار دولایه‌ای با پارچه تریکوی نایلونی Nafion®[1] کیتوزان با ۴۴ g/m^2 که با استفاده از چسب‌های بر پایه پلی‌یورتان (میزان چسب به‌کار رفته باید به‌اندازه‌ای باشد که سطح را پوشش دهد) به یک فیلم پلی یورتان (باضخامت ۵ تا ۱۰ میکرون) متصل شده است. این دو لایه از پیش تهیه‌شده در دمای ۱۷۰ ^oC و فشار ۷۰ Kpa به هم متصل می‌شوند. میزان نفوذپذیری ساختار چندلایه‌ای تهیه‌شده در برابر گاز خردل و سومان، به ترتیب ۴/۷ $\mu g/cm^2$ و ۰ برای خردل و سومان اندازه‌گیری شده است.

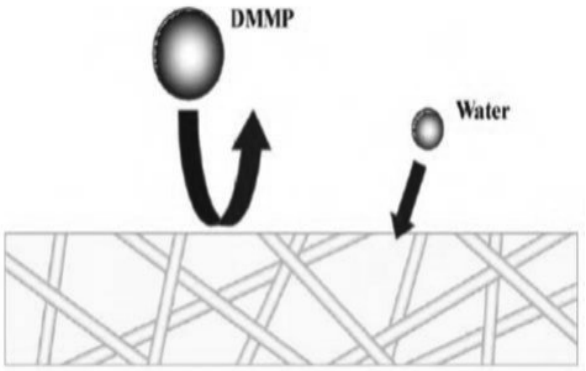
۳-۳- غشای بی‌بافت

در غشای بی‌بافت، الیاف بدون هیچ‌گونه نظمی روی همدیگر قرارگرفته‌اند و در نتیجه، خلل و فرج منظم نمی‌باشد. غشای بی‌بافت موجب می‌گردد که بخارات مواد مختلف، مسیرهای پرپیچ‌وخمی را در امتداد ضخامت غشا طی نمایند (و بنابراین می‌توان گفت که استفاده از بی‌بافت (شکل ۵) موجب می‌گردد که نفوذپذیری غشا در برابر بخارات مواد مختلف کاهش یابد [۱۷].

می‌توان گفت که پیچ‌وخم‌هایی که در مسیر نفوذ مولکول‌ها در ساختار شکل‌گرفته توسط حفرات با اتصالات داخلی در کالای بی‌بافت ایجاد می‌شود، باعث کاهش میزان نفوذپذیری غشای نهایی تولیدشده می‌شود. این کاهش، مستقل از قطر الیاف به‌کاررفته در ساختار کالای بی‌بافت می‌باشد. در شرایطی که الیاف به کار رفته در بی‌بافتها از قطر (دنیر) یکسانی برخوردار باشند، بی‌بافتی که وزن مخصوص بیشتری دارد، دارای ضخامت بیشتری می‌باشد. با افزایش وزن مخصوص کالای بی‌بافت، نفوذپذیری غشای نهایی در برابر بخارآب به میزان کمی کاهش می‌یابد. اما نفوذپذیری در برابر بخارآب چندان تحت تأثیر وزن و افزایش وزن مخصوص کالای بی‌بافت قرار نمی‌گیرد. اما با افزایش وزن مخصوص کالای بی‌بافت،

1- Nafion

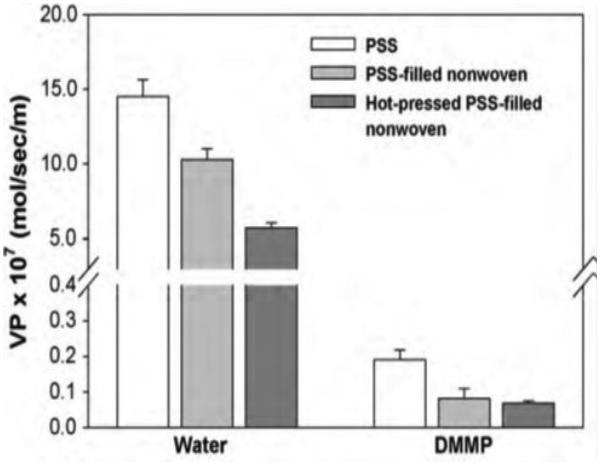
میزان گزینش غشای نهایی نیز افزایش می‌یابد. میزان گزینش بالای غشای متشکل از کالای بی‌بافت را می‌توان برحسب ساز و کار جذب و نفوذ توضیح داد. در این مکانیسم، عبور در داخل ساختار غشا که نیرومحرکه آن گرادیان غلظت می‌باشد، از طریق یک فرآیند چندمرحله‌ای صورت می‌گیرد: در مرحله اول، مولکول های بخار بر روی سطح غشا به‌صورت فیزیکی جذب می‌شوند. در مرحله دوم، مولکول‌های جذب‌شده بر روی سطح غشا در داخل غشا حل شده و در آن پخش می‌شوند (نفوذ می‌کنند) و در مرحله سوم، مولکول‌هایی که به‌طرف دیگر غشا رسیده‌اند، واجذب شده و وارد محیط اطراف می‌شوند. بنابراین، عبور بخار از میان ساختار غشا، به تعداد مولکول‌های بخار که در غشا حل می‌شوند و همچنین سرعت پخش (نفوذ) آن‌ها در ساختار غشا بستگی دارد. چون مولکول آب جذب کمتری نسبت به مواد آلی دیگر دارد، بنابراین غشای بی‌بافت دارای گزینش‌پذیری بالا می‌باشد. تصویر شماتیک سازو کار جذب در شکل (۶) نشان داده شده است [۱۷].



شکل۶- تصویر شماتیک ساز وکار جذب-نفوذ [۱۷].

۳-۳-۱- غشای بی‌بافت پرشده با پلی‌استایرن سولفونیک اسید

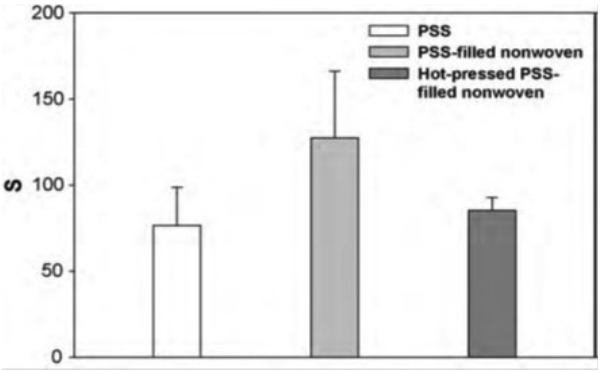
آقای جانگ و همکارانش ساخت غشای مرکب از کالای بی‌بافت پلی‌پروپیلن پرشده با پلی‌استایرن سولفونیک اسید(PSS) را شرح دادند. ازآنجایی‌که PSS در زنجیرهای جانبی خود، دارای گروه‌های سولفونیک اسید می‌باشد، به دلیل ماهیت هیدروفیل گروه‌های مذکور، امکان جذب آب بیشتر در مقایسه با مواد شیمیایی سمی برای غشای تولیدی فراهم می‌آید [۱۸]. علاوه‌براین پلیمرهای سولفونه‌شده، دارای کاربردهای بیولوژیکی نیز می‌باشند و نتایج تحقیقات مختلف پلیمرهای سولفونه شده را به عنوان مواد بیولوژیکی که هیچ خطری برای انسان ندارند، معرفی کرده است. برای سنتز PSS ،از روش پلیمریزاسیون رادیکال آزاد منومر سدیم ۴- وینیل بنزن سولفونات و سپس تبادل یون H^+ با Na^+ بهره گرفته شده است که غشایPSS به‌تنهایی و بدون لایه پشتیبان، از استحکام و سفتی کمی برخوردار است. اما بعد از پر شدن در حفره‌های بی‌بافت، غشای کامپوزیت حاصل، خواص مکانیکی قابل قبولی را دارا می‌باشد. همچنین فرآیند پرس داغ نیز باعث افزایش میزان استحکام کششی، ازدیاد طول تا حد پارگی و سفتی غشای کامپوزیت می‌شود. گروه‌های سولفونیک PSS، امکان ایجاد مسیرهای هیدروفیل برای مولکول‌های آب را به وجود آورده و درنتیجه، قابلیت انتقال بخارآب از میان غشا فراهم می‌آید. غشای مرکب از کالای بی‌بافت پلی‌پروپیلن پرشده با پلی‌استایرن سولفونیک اسید پس از پشت سر گذاشتن عملیات پرس حرارتی، نرخ انتقال بخارآب در غشا را به میزان قابل‌توجهی تغییر نمی‌دهند. نرخ انتقال بخارآب در غشاهای تولیدی با نرخ انتقال DMMP، در شکل (۷) مقایسه شده است [۱۹].



شکل ۷- مقایسه نرخ انتقال بخارآب در غشاهای تولیدی با نرخ انتقال DMMP [۱۹].

همان‌طور که از شکل(۷) مشاهده می‌گردد، غشاهای PSS؛ بیشترین میزان انتقال را برای بخارآب و DMMP فراهم می آورند؛ درحالی‌که کمترین مقدار انتقال برای بخار و DMMP در مورد غشایPSS-PP پرس‌شده مشاهده می‌گردد. زیرا فرآیند پرس؛ حجم

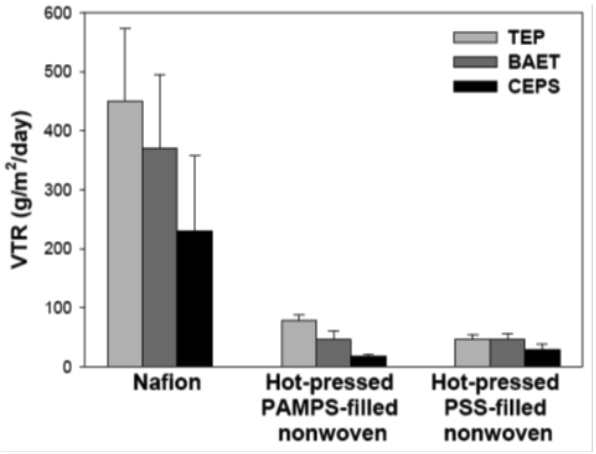
حفرات مابین زنجیرهای پلیمری را که یک پارامتر کلیدی برای وقوع فرآیند انتقال از میان غشاهای پلیمری متراکم است را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. گزینش (S) برای غشاهای تولیدشده به‌صورت نسبت انتقال بخارآب به انتقال DMMP تعریف می‌شود و مقایسه غشای مختلف در شکل(۸) ارائه شده است [۱۹].



شکل ۸- ارزیابی میزان گزینش غشاهای مختلف تولیدشده [۱۹].

غشایPSS-PP در مقایسه با غشای PP (بی بافت پلی پروپیلن) از گزینش بهتری برخوردار است. زیرا وارد شدن لایه PP در ساختار غشا، انتقال DMMP را در مقایسه با انتقال بخارآب به میزان زیادتری کاهش داده است چون قطرDMMP بیشتر از قطر مولکول‌های آب می‌باشد. عبور مولکول‌های DMMP از میان غشای PSS-PP در مقایسه با مولکول‌های آب بیشتر تحت تأثیر پیچ‌وخم‌های موجود در ساختار غشای کامپوزیت -به‌واسطه حضور لایه بی‌بافت- قرار می‌گیرد، نمونه پرس‌شده به عنوان یک سد قوی در برابر نفوذ DMMP می‌باشد. علاوه‌براین، غشای بی‌بافت پرشده با PSS آن را به یک کالای مناسب جهت برقراری محافظت در برابر عوامل شیمیایی سمی تبدیل می‌نماید. از طرف دیگر، بی‌بافت پرشده با PSS بعد از فرایند پرس داغ، در برابر نفوذ بخار آب و هم‌چنین بخارات شبه عوامل شیمیایی با نافیون (پلیمری دارای گروه سولفونیک) مقایسه می‌شود (شکل ۹). برای این کار از شبه عوامل ۲- کلرواتیل‌فنیل‌سولفید (CEPS) شبه عامل خردل، ۲- (بوتیل آمینو) اتان اتیول (BAET) شبه عامل عصبی و تری‌اتیل‌فسفات (TEP) شبه عامل VX استفاده شده است [۱۹].

بی‌بافت پرشده با PSS بعد از فرایند پرس داغ، عملکرد به‌مراتب بهتری را در مقایسه با نافیون (یک غشای تجاری محافظ



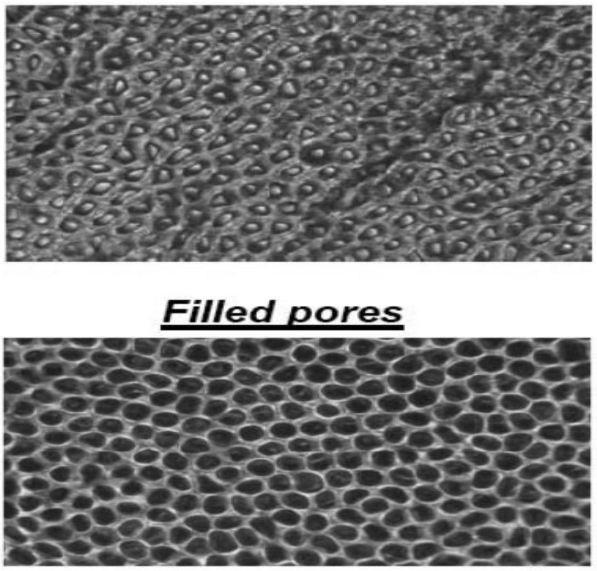
شکل ۹- مقایسه نرخ انتقال بخارات شیمیایی جنگی برای بی بافت‌های پرشده با PSS بعد از پرس حرارتی با نافیون [۱۹].

در برابر مواد شیمیایی که توسط شرکت آمریکایی دوپونت تولید می‌شود) برای ممانعت در برابر نفوذ مواد شیمیایی سمی، و جنگی (شامل گاز خردل و مواد تحریک‌کننده عصب) از خود نشان می‌دهد. همچنین گزینش بی‌بافت‌های پرشده با پلیمرهای مذکور نیز در برابر بخارآب نسبت به مواد شیمیایی سمی، بهتر از نافیون می‌باشد. با توجه به نتایج فوق‌الذکرمی‌توان گفت که بی‌بافت‌های پرشده با پلیمرهای PSS بعد از فرایند پرس داغ، عملکرد بسیار خوبی برای حفاظت در برابر عوامل شیمیایی/بیولوژیکی داشته و درعین‌حال، نفوذپذیری آن‌ها در برابر بخارآب که راحتی پوشش را به دنبال دارد نیز بسیار خوب می‌باشد که می‌توانند به عنوان کاندیدای مناسب جهت استفاده در لباس‌های محافظ در نظر گرفته شوند[۱۹]. برای تولید غشاهای مذکور، کالای بی‌بافت از مخلوط منومر، آغازکننده و ماده اولیه استفاده شده و در مرحله بعد، پوشش تحت عملیات حرارتی واقع می‌شود. پس از عبور از خشک‌کن، حلال تبخیر شده و سپس در مرحله نهایی غشای تولیدی تحت فرآیند پرس داغ قرار می‌گیرد تا هم خواص مکانیکی آن، بهبود یابد و هم نفوذپذیری آن همان‌طور که در صفحات قبل توضیح داده شد، کنترل گردد. پیشنهاد شده است برای تولید انبوه در مقیاس صنعتی به‌جای پرس داغ، از فرآیند کلندرکردن (که یکی از فرآیندهای مشهور در صنعت نساجی می‌باشد) بهره گرفته شود تا فشار و گرما به‌طور همزمان به بی‌بافت پرشده با پلیمر یونی اعمال گردد [۱۵].

۳-۴- پوشش محافظ بر پایه کوپلیمرها

آقای کرافورد و همکارانش یک غشای کامپوزیت جدید با ویژگی‌های ساختاری چندبعدی و قابلیت چندعاملی تهیه کردند. ساخت این نوع غشاها با به‌کارگیری توأم دو فنّاوری مجزا امکان‌پذیر است: فنّاوری ساخت غشاهای متخلخل، و فنّاوری پر نمودن حفرات غشا با استفاده از مواد جاذب عوامل شیمیایی- بیولوژیکی. غشاهای کامپوزیت مذکور با پر نمودن حفرات غشاهای میکرو متخلخل به‌وسیله کوپلیمر استایرن- ایزوبوتیلن- استایرن سولفونه‌شده (S-SIBS-97) تهیه می‌شوند. عدد ۹۷ نسبت تعداد مول‌های اسید سولفونیک به تعداد مول‌های واحد تکراری استایرن تعریف می‌شود [۱۶].

درواقع می‌توان راهبرد مربوط به ساخت غشای کامپوزیتی را پر نمودن حفرات غشای متخلخل با استفاده از (S-SIBS-97) عنوان نمود. برای این منظور، از دو فن بهره گرفته شده است. در روش اول، غلظت‌های مختلف از محلول (۵ تا ۱۰ ٪) در مخلوطی از تولوئن/ هگزانول بر روی یک سطح صاف به‌صورت فیلم درآمده و اجازه داده می‌شود که فیلم‌ها به‌صورت جزئی (نه کاملاً) خشک شوند. فیلم‌های نیمه‌خشک که هنوز به‌طور کامل جامد نشده و ماده‌ای ویسکوز می‌باشند بر روی غشای میکرو متخلخل قرار داده شده و با اعمال کمی فشار، پلیمرهای نیمه‌خشک به درون حفرات غشای متخلخل نفوذ کرده و آن‌ها را پر می‌کنند. در روش دوم، غلظت‌های پایین از محلول (۱ تا ۵٪) بر روی غشا قرار داده شده و اجازه داده می‌شود که محلول پلیمری از طریق نیروهای موئینه به درون حفرات غشا نفوذ نماید. برای این منظور، غشای میکرو تخلخل قبل از فرآیند پر کردن حفره‌ها با اسیدسولفوریک ۱ مولار عمل می‌شود تا سازگاری میان افزایش یابد. پس از نفوذ محلول به درون حفرات، حلال باقی‌مانده تبخیر می‌گردد. تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی (دید از بالا) برای غشای میکرومتخلخل پرنشده و پرشده در شکل (۱۱) نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان داد که غشای کامپوزیت تولیدشده، از نرخ نفوذ قابل قبولی در مورد بخارآب برخوردار می‌باشد. اگر از سیستم کراسینک‌شده و نیز از یون کلسیم و منیزیم برای خنثی کردن پروتون استفاده شود، میزان نفوذ DMMP در آن کم است [۲۰].



شکل ۱۰- دید از بالای غشای میکرومتخلخل پرنشده و پرشده [۲۰].

در پایان، انواع پوشش محافظ و نمونه های از مواد به‌کار گرفته شده در آن‌ها و مزایا پوشش‌های تهیه‌شده در جدول (۱) خلاصه شده است .

جدول ۱- مقایسه پوشش های تهیه شده از مواد مختلف برای تهیه لباس های NBC

نوع پوشش محافظ	نمونه‌ای از مواد اصلی	مزایا
غشاهای غیرمتخلخل چند لایه	کیتوزان	نفوذ بخار آب خوب، نفوذ عوامل عصبی بسیار ناچیز، عوامل تاول‌زا قابل قبول
غشای بی‌بافت	پلی‌استایرن سولفونیک اسید	نفوذ بخار مناسب، نفوذ عوامل قابل قبول
بر پایه کوپلیمرها	استایرن - ایزوبوتیلن- استایرن سولفونه‌شده	نفوذ بخار آب قابل قبول، نفوذ عوامل قابل قبول
استفاده ازکربن فعال و غشاهای متراکم غیرمتخلخل	غشاهای پلیمری (اکریلو نیتریل، پلی‌آمیدها، استات‌های سلولز) و لایه جاذب حاوی کربن فعال	نفوذ بخار آب خوب، نفوذ عوامل بسیار ناچیز

۴- نتیجه‌گیری

یک لباس محافظ ایده‌آل می‌بایستی در برابر نفوذ بخارها و گازهای خطرناک مقاومت نموده درحالی‌که امکان عبور بخار آب به سمت خارج از لباس در هر فشاری فراهم آورد. به عبارت بهتر، لباس محافظ باید از میزان نفوذپذیری بالا در برابر بخارآب و نفوذپذیری پایین در برابر گازها برخوردار باشد. در این ارتباط، شاید استفاده از غشاهای پلیمری در لباس‌های محافظ می‌تواند راه‌حل مناسبی باشد. با توجه به متون علمی (شامل پتنت‌ها، مقالات و گزارش‌ها علمی) بررسی‌شده (جدول ۱)، می‌توان اظهار نمود که ساخت غشای پلیمری محافظ در برابر عوامل شیمیایی/ بیولوژیکی مضر با استفاده از فن بی‌بافت‌های پلیمری (معمولاً بی‌بافت پلی‌پروپیلن و یا پلی‌اکریلو نیتریل) امکان‌پذیر می‌باشد. از طرف دیگر، بزرگ‌ترین مزیت استفاده از کربن فعال در لباس‌های محافظ، در دسترس بودن کربن فعال در هر دو طرف لباس می‌باشد. به‌عبارت دیگر، در شرایطی که بخارات سمی شیمیایی به‌دلیل وجود درزها و شکاف‌ها امکان عبور از لباس و رسیدن به‌طرف دیگر را دارند (طرف نزدیک به پوست) هنوز هم امکان جذب آن‌ها توسط لایه کربن فعال وجود داشته و به‌سرعت توسط لایه مذکور جذب می‌گردند. درصورتی‌که در سامانه‌های بر پایه غشاهای پلیمری تنها، امکان جذب بخارات شیمیایی سمی در طرف نزدیک به پوست برای غشا میسر نبوده و درنتیجه، عبور گازها و بخارات سمی از میان درزها و شکاف‌های موجود در لباس موجب می‌گردد که گازهای مذکور در فضای مابین لباس و غشا باقی بماند که می‌تواند باعث آسیب رسیدن به شخص استفاده‌کننده از لباس گردد. همان‌طور که می‌دانید لباس NBC ساخت کشور ما (شرکت میلاد) از لباس‌های بر پایه فوم اشباع‌شده با کربن فعال می‌باشد. کربن فعال با کمک چسب به فوم متصل شده و بنابراین، کسر زیادی از سطح کربن فعال، دیگر در فعالیت جذب شرکت نخواهند داشت. از طرف دیگر، اگر از الیاف کربن به‌صورت نمد که دارای استحکام فیزیکی مناسبی هستند به‌عنوان لایی در لباس NBC به‌جای فوم استفاده شود، تمام سطح آن در جذب عوامل شیمیایی دخالت خواهد کرد. بنابراین، استفاده همزمان از غشای پلیمری و الیاف کربن روشی، مطمئن برای دست‌یابی به لباسی با ایمنی بالاتر و ماندگاری بیشتر در منطقه آلوده است.

۵- منابع

1. A. K. Pabby, S. Rizvi, and A. Requena, “Handbook of membrane separations: chemical, pharmaceutical, food, and biotechnological applications,” CRC press, 2015.
2. M. Mulder, “Basic Principles of Membrane Technology,” Center for Membrane Science and Technology, Netherlands, 1990.
3. H. Park, I. Chang, and K. Lee, “Principles of Membrane Bioreactors for Waste water Treatment,” CRC Press, 2015.
4. C. Zhang, C. Y. Dai, C. Justin, and R. J. Koro, “High performance ZIF-8/6FDA-DAM mixed matrix membrane for propylene/propane separations,” J. Membrane Sci., vol. 389, pp. 34-42, 2012.
5. H. L. Schreuder-Gibson, Q. Truong, J. E. Walker, J. R. Owens, J. D. Wander, and W. E. Jones, “Chemical and biological protection and detection in fabrics for protective clothing,” MRS Bulletin, pp. 574-578, 2003.
6. E. Wilusz, “Military Textiles,” CRC Press, New York, Washington DC, 2008.
7. H. Faerevik, D. Markussen, G. E. Ogleand, and R. E. Reinertsen, “The thermoneutral zone when wearing aircrew protective clothing,” Journal of Thermal Biology, vol. 26, 2001.
8. G. P. Krueger, “Psychological and performance effects of chemical-biological protective clothing and equipment,” Military Medicine, vol. 166, PP. 41-43, 2001.
9. 9. M. G. Mccord, K. Birla, and R. L. Barker, “The relationship between porosity and barrier effectiveness of some shell fabrics used in protective apparel,” Performance of Protective Clothing: Issues and Priorities for the 21st Century, vol. 7, 2000.
10. B. Maddah and K. Nasori, “Fabrication of High Surface Area PAN-based Activated Carbon Fibers Using Response Surface Methodology,” Fibers and Polymers, vol. 6, pp. 2141-2147, 2015.

۱۱. خوشرو، م، حسینی منفرد، ح، مداح، ب، مطالعه مقایسه‌ای کارایی فیلترهای حذف آلاینده‌های سمی پارچه کربنی استردار و فوم پلی اورتان آغشته به کربن

نشریه فعال، علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل، سال ۵، صص ۲۷۵-۲۶۹، ۱۹۹۳.

۱۲. مداح، ب، چلابی، ح، سنتز نانو الیاف کامپوزیتی AP-MgO به عنوان جاذب عوامل رفع آلودگی، سومین همایش سراسری کاربردهای دفاعی علوم نانو، ایران، تهران، آذر ۱۳۹۲.

۱۳. مداح، ب، سلطانی‌نژاد، تولید نانو الیاف کربن از پلی اکریلو نیتریل و بررسی کارایی جذب آن در فیلتراسیون آب‌های آلوده به سموم کشاورزی، پانزدهمین همایش دانش‌آموختگان فنآوری نانو، ایران، تهران، اردیبهشت ۱۳۹۳.

14. B. Bohringer and S. Kamper, “Adsorptive filtering material having biological and chemical protective function and use thereof, US Patent, US 2007/0181001 A1, 2007.

15. G. Blucher, “Protective clothing providing NBC protection,” US Patent 465490B2, 2008.

16. E. Howard, R. B. Lioyd, R. J. McKinney, B. B. Sauer, and M. G. Weinberg, “Process for making selectively permeable laminates,” US Patent 2007/0190166 A1, 2007.

17. K. H. Jung, B. Pourdeyhimi, and X. Zhang, “Structure-property relationships of polymer-filled nonwoven membranes for chemical protection applications,” J. Membrane Sci., vol. 361, pp. 63-70, 2010.

18. Y. H. Toh, X. X. Loh, K. Li, A. Bismarck, and A. G. Livingston, “In search of a standard method for the characterization of organic solvent nanofiltration membranes,” J. Membrane Sci., vol. 291, pp. 120-125, 2007.

19. K. H. Jung, B. Pourdeyhimi, and X. Zhang, “Chemical protection performance of polystyrene sulfonic acid-filled polypropylene nonwoven membranes,” J. Membrane Sci., vol. 362, pp. 137-142, 2010.

20. D. M. Crawford, G. Napadensky, J. Sloan, D. Harris, V. Kapur, V. Samuelson, and J. Perrotto, “Flexible composite membranes for selective permeability,” Available on: http://www.dtic.mil/cgibin, 2006.

Investigation of Various Kind Material Utilized in NBC Clothing

B. Maddah*, M. R. Khoshroo

Abstract

Proper protective clothing is needed during every day in industrial, agricultural, medical work, during military operation and response to terrorism incident. Choices must be made as to which items of protective clothing to select for a given situation or environment. A number of variable to be consider ed include weight, comfort, level of protection and during of protection required. The protective clothing used in the World War I against chemical warfare agents (CWA) consisted of rubber clothing, which, together with gloves and boots, to cover the entire body apart from that protected by the mask. Clothing of this kind is usually characterized as impermeable. This means that CW agents cannot pass through the material and also the fact that perspiration released from the skin is also prevented from passing out. onsequently, to wear clothing of this kind for longer periods is extremely uncomfortable and in hot climates the period during which protective clothing of this kind can be worn will be very short. This review brings out a sequence related to the NBC protective clothing, their type, various materials available for the development of NBC clothing. An ideal protective cloth is the one that resists encountering with dangerous gases and steams. Another word, an ideal protective cloth is the one that has pregnability facing with water-steam and low impregnability encountering with different gases. In other to produce the above protective clothing, it is suitable to use polymeric membrane. The customary NBC clothing is based on foam thus is saturated with active carbon. A substantial portion of active carbon is contact to the foam which is not participated in absorption process. Carbon fiber demonstrates good physical stability and it can be used in NBC clothing instead of foam. All surface of carbon fiber participates in absorption of chemical agents. Simultaneous application of polymeric membranes and carbon fiber conforms and produce a clothing with high safety and high durability in contamination area.

Key Words: *Protective Clothing, Active Carbon, Chemical Agent, Polymer.*

*Imam Hussein Comprehensive University (bmadah@ihu.ac.ir) Writer-in-Charge