

مجله علمی-پژوهشی «علوم و فناوری های پدافند غیرعامل»

سال دوم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰: ص ۲۸۴-۲۷۷

## تهیه الیاف نانو کامپوزیتی پلی استایرن و بررسی جذب

### ۲- کلرواتیل اتیل سولفاید بر روی آن

ابوالقاسم صفی نژاد<sup>۱\*</sup>، بزرگمهر مداح<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲- استادیار، گروه شیمی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

(دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۰۲، پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۲۲)

#### چکیده

نانو ذرات اکسید منیزیم با روش آئروژل سنتز شدند و اندازه و شکل آنها با استفاده از دستگاه‌های پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی تعیین گردید. این نانوذرات با محلول پلی استایرن در حلال تتراهیدروفوران: دی‌متیل فرمامید (۳:۲) مخلوط شده و پس از بررسی پارامترهای الکترونیسی، برای تهیه الیاف نانو کامپوزیتی الکترونیسی شدند. مورفولوژی الیاف با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفت. رفع آلودگی از شبه‌عامل خردل (۲-کلرواتیل اتیل سولفاید) در حضور این الیاف انجام شد. جذب CEES-2 با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی مورد مطالعه قرار گرفت. هم‌چنین میزان جذب بر روی نانوالیاف بدون نانوذره اضافه شده و بر روی نانوذرات مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج حاصل با هم مقایسه گردید.

کلیدواژه‌ها: رفع آلودگی، شبه‌عامل خردل، نانو الیاف پلیمری، الکترونیسی.

## Fabrication of Polystyrene Nanocomposite Fibers and Evaluation of 2-Chloro Ethyl Ethyl Sulfide Adsorption on it

A. Safinejad<sup>\*</sup>, B. Maddah

Department of Chemistry, Imam Hossein University

(Received: 09/24/2011, Accepted: 13/12/2011)

#### Abstract

Nanoparticles of MgO were synthesized by Aero gel method and their size and shape were determined by X-ray diffraction and Scanning Electron Microscopy. MgO nanoparticles were mixed with DMF/THF (2:3) solution of polystyrene and after optimization of electrospinning parameters, subjected to electrospinning to produce nanocomposite fibers. Morphology of fibers was studied by scanning electron microscope. Decontamination of mustard agent-simulant (2-chloro ethyl ethyl sulfide) was performed in the presence of these fibers. The adsorption of 2-CEES was studied using GC. The amount of adsorption on the nanofibers prior to the addition of nanoparticles and nanoparticles alone were studied too and the results were compared.

**Keywords:** Decontamination, Mustard Simulant, Polymeric Nano Fibers, Electrospinning.

\* Corresponding author E-mail: a.safinejad@yahoo.com

## ۱. مقدمه

در سال های اخیر رفع آلودگی عوامل شیمیایی موضوع مهم مورد مطالعه در سراسر جهان بوده است. روش ها و مواد مختلفی برای جذب و هیدرولیز این عوامل به کار برده شده اند [۱]. از جمله مواد شیمیایی که به کار برده شده اند می توان به یدونیزوبیک اسید، پلی اکسومتالات ها، اکسیم ها و کلروآمین ها اشاره کرد. اخیراً هم برخی نانواکسیدهای فلزی از قبیل اکسید منیزیم، اکسید آلومینیوم، اکسید تیتانیوم، اکسید کلسیم و ... به عنوان کاتالیست در برابر عوامل شیمیایی جنگی به کار گرفته شده اند، که توجه زیادی به خود جلب کرده اند [۲-۴]. یکی از مهم ترین روش های رفع آلودگی شیمیایی، استفاده از موادی است که قابلیت هر دو جذب فیزیکی و شیمیایی را دارا باشند، یعنی ابتدا مولکول ها به صورت فیزیکی و سپس به صورت شیمیایی جذب و به طور کامل تجزیه شوند [۵].

تحقیقات گسترده در این زمینه نشان می دهد که سامانه های جاذب فعال بر پایه نانومواد، یکی از کارآمدترین سامانه ها برای رفع آلودگی ناشی از عوامل جنگ شیمیایی (CWA) می باشند [۶-۹]. از جمله این سامانه های جاذب، نانوبلورهای اکسید فلزات می باشند.

این نانوبلورها نه تنها قابلیت خنثی سازی مواد صنعتی سمی را دارند، بلکه آزمایشات مختلف حاکی از قابلیت فوق العاده آنها در تخریب عوامل جنگ شیمیایی شامل عوامل دسته H، V و G از طریق واکنش هیدرولیز و دهیدروهاالوژناسیون می باشد [۱۰]. نانوذرات اکسید فلز به دلیل مساحت سطح فعال بالا، لبه های واکنش دهنده زیاد، نقص بلورین گوشه ای و سطوح شبکه ای غیرعادی، قابلیت بسیار زیادی برای تخریب عوامل شیمیایی جنگی از خود نشان می دهند [۱۱، ۱۰]. مطالعات صورت گرفته در دهه اخیر، به ویژه توسط کلابوند<sup>۱</sup> و همکارانش، نشان داد که اکسیدهای فلزی نظیر MgO، CaO، ZnO، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و TiO<sub>2</sub> قابلیت مطلوبی در تخریب عوامل شیمیایی از خود نشان می دهند [۱۳، ۱۲، ۵].

این مواد همچنین برای کاربردهای کاتالیتیکی مختلفی مورد استفاده قرار می گیرند. برای تهیه این مواد روش های مختلفی گزارش شده است. از بین این روش ها نانوذرات اکسید فلزی که به روش آئروژل سنتز شدند. در مقایسه با سایر نانوذرات دارای اثر کاتالیتیکی بالاتری بودند، که نه تنها به مساحت سطحی بیش تر نانوذرات بلکه به لبه ها و گوشه های فعال بیشتر و شکل و ساختار خلل و فرج دار نانوذرات نسبت داده می شود [۱۴]. مشخص شده است که نانوذرات اکسید منیزیم خیلی فعال اند و عوامل جنگی شیمیایی را شبیه ذغال فعال جذب می کنند و علاوه بر آن، به طور مؤثری آنها را تخریب می کنند، که محصولات تخریب هم غیرسمی هستند [۱۵].

عمل جذب عوامل شیمیایی توسط مکان های بازی و اسیدی که بر

روی سطح نانوذرات قرار دارد انجام می گیرد. در سال ۲۰۰۷ چنگ<sup>۲</sup> و همکارانش خصوصیات اسیدی و بازی برخی اکسیدهای فلزی مانند اکسید کلسیم، اکسید منیزیم و اکسید آلومینیوم را بررسی کردند. آنها دریافتند که CaO و MgO دارای مکان های بازی و Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> دارای مکان های اسیدی و بازی برای جذب عوامل شیمیایی هستند. تعداد این مکان های اسیدی و بازی با کوچک شدن اندازه ذرات افزایش می یابد. بنابراین، مواد در مقیاس نانو با توجه به سطح فعال قابل توجهی که دارند، به طور مؤثری می توانند عوامل شیمیایی را جذب کنند [۱۶].

با توجه به اینکه عوامل شیمیایی در میدان نبرد به صورت ذرات آئروسل و بخار می باشند، از این رو به کار بردن ذرات پودر و دانه ای شکل نانوذرات اکسید فلزی در میدان نبرد برای محافظت تجهیزات و انسان عملی نمی باشد [۱]. از طرفی این نانوذرات جاذب رطوبت هستند و جذب آب کارایی آنها را کاهش می دهد. بنابراین به سامانه نگه دارنده ای نیاز دارند که کاربرد آنها را در مکان های مورد نیاز عملی کند و جاذب رطوبت نیز نباشد.

از بین مواد مختلف پلیمرها به علت خصوصیات از قبیل الاستیسیته، پلاستیسیته و ویسکوزیته مناسب در حالت محلول که قابلیت آنها را برای الکتروریسی فراهم می کند، انتخاب مناسبی می باشند. از طرفی پلیمرها آب گریز بوده و بستری را برای نانوذرات فراهم می کنند، که باعث کاهش جذب آب توسط نانوذرات می شوند و مزاحمت آب را برطرف می کنند [۱۷، ۱].

تولید الیاف پلیمری با استفاده از فن الکتروریسی، روش مناسبی برای به وجود آوردن این بستر می باشد. در حیطه تولید نانوالیاف از پلیمرها، فرآیند الکتروریسی به علت فراهم آوردن کنترل مناسب بر فرآیند تولید نانوالیاف و امکان تولید در مقیاس صنعتی، به عنوان برجسته ترین روش تولید نانوالیاف مطرح می باشد. جهت دستیابی به کنترل کامل بر هر فرآیند، باید پارامترهای تأثیرگذار بر آن فرآیند را مورد بررسی قرار داد تا با اعمال تغییر در این پارامترها بتوان کنترل فرآیند را به بهترین نحو در اختیار گرفت و محصولی با خصوصیات و کیفیت مورد نظر تولید نمود [۱۸]. با کاهش قطر الیاف از میکرومتر به نانومتر، الیاف خواص شگفت انگیزی از قبیل افزایش نسبت سطح به حجم (حدود ۱۰۰۰ برابر میکروالیاف)، انعطاف پذیری زیاد و کارایی مکانیکی فوق العاده از خود نشان می دهند [۱۹].

در مطالعه اخیر نانوذرات سنتز شده با پلیمر پلی استایرن در حلال مخلوط شده و به صورت الیاف کامپوزیتی الکتروریسی شدند. این نانوالیاف برای جذب ۲-کلرو اتیل اتیل سولفاید به کار برده شدند و میزان جذب به صورت کاهش در پیک حاصل از کروماتوگرافی گازی مشاهده شد.

<sup>2</sup> Z. Cheng

<sup>1</sup> K. J. Klabunde

## ۲. بخش تجربی

## ۱-۲. مواد

دی متیل فرم آمید و تتراهیدروفوران، از شرکت مرک<sup>۱</sup>، نوار منیزیم، پلی استایرن و ۲-کلرو اتیل اتیل سولفاید از شرکت آلدریج<sup>۲</sup> خریداری گردید.

## ۲-۲. دستگاهها

دستگاه SEM به کار رفته، مدل HITACHI S-300N (ساخت شرکت HITACHI) بود که با بزرگنماییهای مختلف برای تصویربرداری از الیاف و نانوذرات به کار رفت. منبع نور X-Ray مورد استفاده تفنگ نشر کننده Cu K $\alpha$  با طول موج ۰/۱۵۴۱۸ نانومتر و عمل خواندن در زاویه ۱۰۰-۱۰ درجه و با سرعت ۲C/min و به وسیله دستگاه XRD مدل XDS 2000 diffractometer انجام شد.

پمپ تزریق مدل Perfusor compact S (ساخت آلمان)، با تنظیم سرعت ۰/۴ میلی لیتر بر ساعت برای تزریق محلول جهت الکترورسی به کار رفت. الیاف مورد نظر توسط دستگاه الکترورسی (ساخت گروه فیزیک دانشگاه امام حسین (ع)) تهیه شدند.

دستگاه GC مدل Star3400CX، مجهز به دکتور FID و ستون پر شده ۸ in  $\times$  1.8 mm OV-101CWHP 80/100 2m، بود. دمای تزریق و دکتور ۲۲۰°C انتخاب شد و برنامه ریزی دمایی ستون به صورت دمای اولیه ۶۰°C به مدت ۶ دقیقه و سپس افزایش دما از ۶۰°C به ۲۲۰°C با شیب ۲۰°C/min و ثابت ماندن دمای ستون به مدت ۱۶ دقیقه در ۲۲۰°C بود.

## ۳-۲. سنتز AP-MgO [۲۰]

ابتدا مقدار ۱/۲ گرم از نوار منیزیم به ۵۰ میلی لیتر متانول اضافه شده و روی همزن مغناطیسی قرار داده شد و تحت دمیدن نیتروژن اجازه داده شد تا به مدت یک شب منیزیم به طور کامل حل گردد. محلول شیری رنگ حاصل تحت دمیدن نیتروژن، قطره قطره به ۱۵۰ میلی لیتر تولوئن اضافه گردید. سپس مقدار ۱/۸۵ میلی لیتر آب مقطر دیونیزه شده، به صورت قطره قطره در طول مدت ۳۰ دقیقه به محلول حاصل اضافه گردید. این محلول تحت اثر نیتروژن به مدت یک شب هم خورد.

سوسپانسیون شیری رنگ حاصل از این مرحله به یک راکتور (استیل) انتقال و درب آن محکم بسته شد تا در فشار بسیار بالا هیچ نشستی وجود نداشته باشد. توسط یک رابط، فشار گاز داخل راکتور با گاز ازت به ۱۰۰ psi رسانده شد. سپس راکتور در کوره قرار داده شد و دمای کوره ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی گراد تنظیم گردید و به مدت ۲ ساعت این دما حفظ گردید. سپس شیر خروجی راکتور با احتیاط

باز شد تا گازهای موجود از راکتور خارج گردند. سپس دمای کوره به ۵۰۰ درجه رسانده شد و به مدت ۹۰ دقیقه این دما اعمال گردید. محصول حاصل پودر سفید رنگ AP-MgO بود.

## ۴-۲. تهیه نانوالیاف

مقدار ۰/۳ گرم پلیمر پلی استایرن در مخلوط حلال دی متیل فرمامید و تتراهیدروفوران (با نسبت ۲ : ۳) حل گردید. به محلول حاصل ۰/۳۳ گرم نانوذره منیزیم اکسید اضافه گردید تا درصد نانوذره موجود در الیاف ۱۰ درصد باشد. مخلوط حاصل به مدت یک شب هم خورد تا نانوذرات به طور کامل در محلول پخش شوند. پس از بهینه سازی پارامترهای مختلف الکترورسی، محلول حاصل تحت ولتاژ ۱۴ کیلوولت، اعمال سرعت تزریق ۰/۴ میلی لیتر بر ساعت (توسط پمپ تزریق) و فاصله ۱۲ سانتی متری نوک سرنگ تزریق تا صفحه جمع کننده الیاف، توسط دستگاه الکترورسی، الکترورسی شد. الیاف حاصل در آن قرار داده شد، تا خشک شده و برای مراحل بعدی آماده گردد.

## ۵-۲. روش کار با GC برای بررسی میزان جذب CEES-2 بر روی الیاف نانوکامپوزیتی

در این مرحله ۲ میکرو لیتر از محلول ۲-کلرو اتیل اتیل سولفاید در ۲ میلی لیتر حلال هپتان حل شد. ۲ میکرو لیتر n-دکان نیز به عنوان استاندارد داخلی به محلول اضافه گردید. سپس مقدار ۰/۱۳ گرم از نانوالیاف تهیه شده در این محلول ریخته شد و محلول روی همزن مغناطیسی هم زده شد. در دمای ۲۵°C و در زمانهای مختلف ۱ میکرو لیتر از محلول برداشته و به دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شد. هم چنین آزمایشهای مشابهی به ترتیب بر روی ۰/۱۳ گرم از نانوالیاف پلی استایرن بدون نانوذره اضافه شده و ۰/۱۳ گرم از نانوذرات اکسید فلزی انجام گردید.

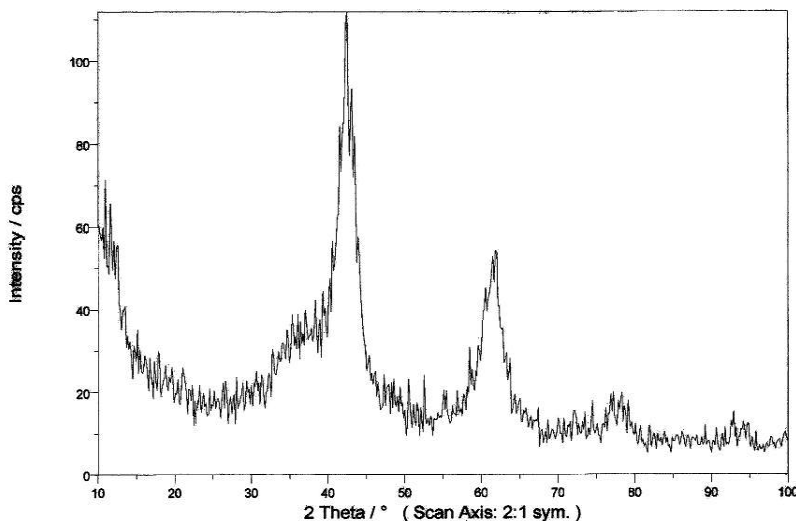
## ۳. نتایج و بحث

## ۳-۱. بررسی اندازه و ساختار ذرات با طیف XRD و SEM

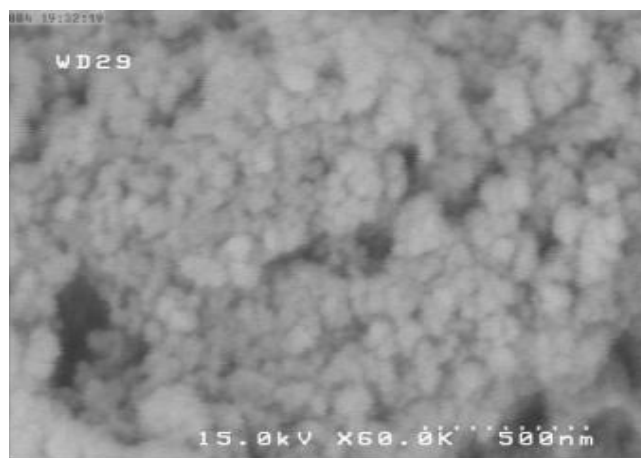
طیف XRD مربوط به نانوذرات سنتز شده در شکل (۱) نشان داده شده است. با استفاده از معادله شرر، اندازه متوسط ذرات ۲۰ نانومتر به دست آمد. هم چنین از مقایسه این طیف با طیف مرجع [۲۱] مربوط به نانوذرات AP-MgO می توان به خلوص بالای نانوذرات سنتز شده پی برد. تصویر SEM گرفته شده از نانوذرات اکسید فلزی پس از پوشش دادن توسط طلا، در شکل (۲) نشان داده شده است. همان طور که از شکل پیداست نانوذرات به طور کامل به صورت پودر و کروی شکل می باشند.

<sup>1</sup> Merck

<sup>2</sup> Aldrich



شکل ۱. طیف XRD نانو AP-MgO سنتز شده

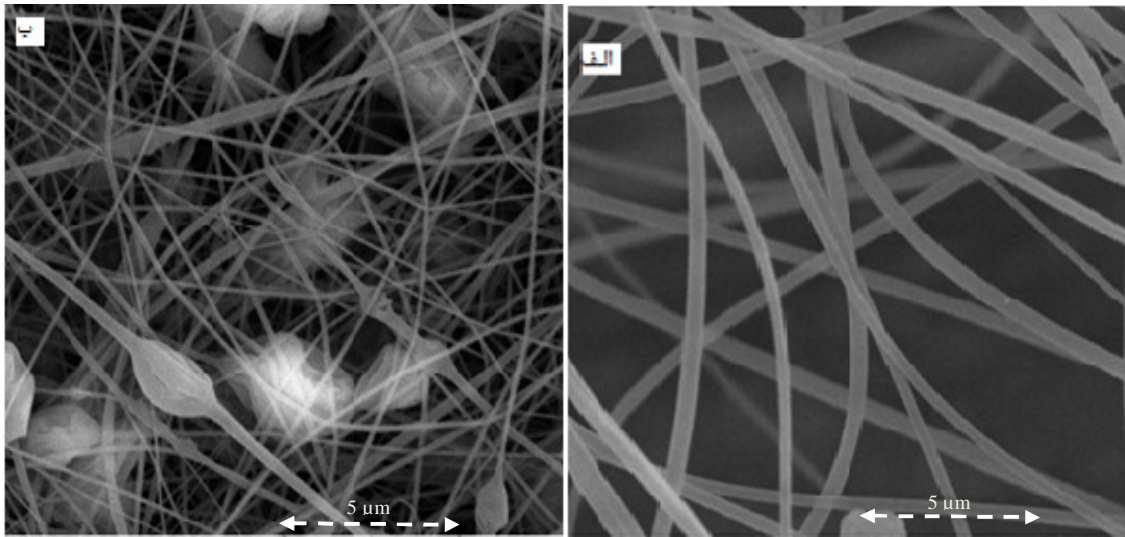


شکل ۲. تصویر SEM نانوذرات AP-MgO

نانوالیاف پس از اضافه کردن ذرات اکسید فلزی به‌طور کامل تحت تأثیر قرار می‌گیرند. اندکی درهم‌رفتگی در الیاف به‌وجود می‌آید و قطر الیاف کاهش می‌یابد. این کاهش قطر احتمالاً به‌دلیل افزایش هدایت الکتریکی محلول الکتروریسی پس از اضافه کردن نانوذرات می‌باشد، که موجب اعمال کشش بیشتری به محلول می‌گردد. به‌طوری که چنین کاهش قطر الیاف با اضافه کردن برخی نمک‌ها مانند سدیم کلرید به محلول مشاهده شده است [۲۲، ۲۳]. همچنین تشکیل ساختارهای گلوله‌مانند باعث ایجاد کشیدگی بیشتر نانوالیاف شده و بنابراین قطر متوسط الیاف به‌طوری که مشاهده می‌گردد، کاهش می‌یابد.

### ۳-۲. بررسی مورفولوژی الیاف با استفاده از تصاویر SEM

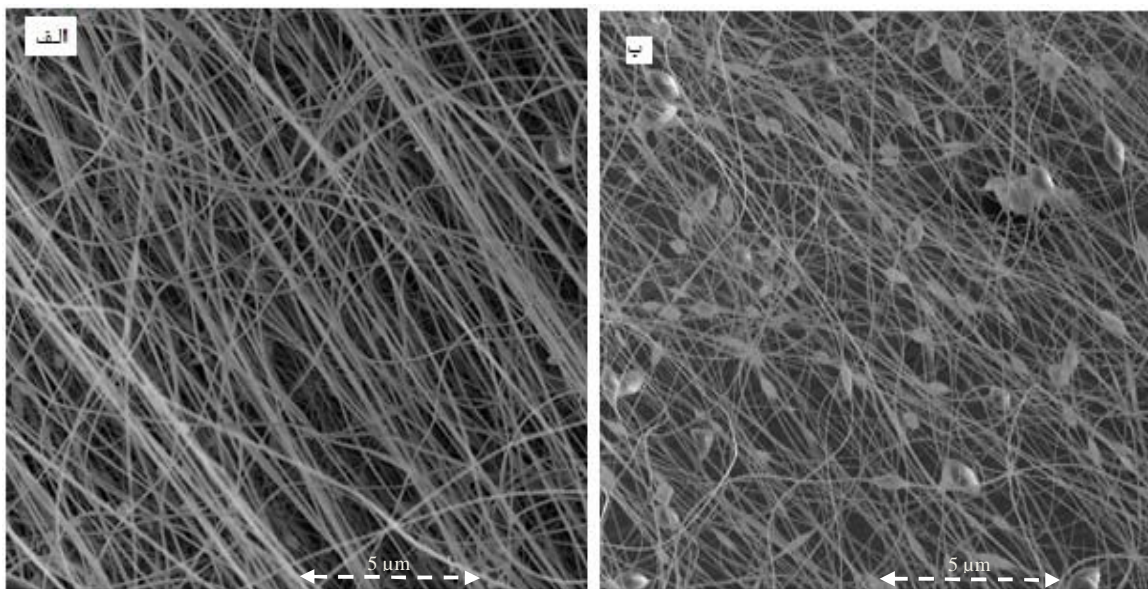
تصاویر گرفته شده از نانوالیاف کامپوزیتی پلی‌استایرن و الیاف بدون اضافه کردن نانوذرات MgO، که توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی، پس از پوشش دادن الیاف با طلا گرفته شده، در شکل (۳) نشان داده شده است. اضافه کردن نانوذرات به محلول پلیمری مورفولوژی الیاف تشکیل شده را تحت تأثیر قرار داده است. قطر الیاف قبل از اضافه کردن نانوذرات ۱۴۰ تا ۵۵۰ نانومتر می‌باشد. این مقدار برای نانوالیاف کامپوزیتی که پس از اضافه کردن نانوذرات MgO به پلی‌استایرن به دست آمده ۸۰ تا ۳۸۰ نانومتر می‌باشد. همان‌طور که در تصاویر گرفته شده مشاهده می‌گردد، تشکیل



شکل ۳. تصاویر SEM نانوالیاف پلی استایرن با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰۰ الف: قبل از اضافه کردن نانوذرات، ب: بعد از اضافه کردن نانوذرات

می‌باشد. از طرفی با افزایش ولتاژ اثر نیروهای الکتروستاتیک افزایش پیدا کرده و این موجب کشش بیشتر محلول می‌گردد، که در نهایت کشش بیشتر موجب کاهش در قطر الیاف می‌گردد. در این جا با توجه به کاهش قطر الیاف می‌توان دریافت که تأثیر افزایش اثر میدان بر عامل کاهش زمان پرواز غلبه کرده است. بنابراین الیاف یکپارچه و آرایش یافته‌ای را با تنظیم دقیق ولتاژ به دست آورد.

اثر افزایش ولتاژ در تشکیل الیاف نیز در ولتاژهای ۲۰ و ۱۴ کیلوولت مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که از شکل (۴) پیداست، در ولتاژ ۲۰ کیلوولت تشکیل بیدها موجب نامناسب شدن الیاف گردیده است. یعنی گرایش به تشکیل بیدها در ولتاژ بالاتر بیشتر است. در ولتاژهای بالاتر کاهش زمان پرواز باعث می‌شود، الیاف فرصت کمتری برای کشیده شدن داشته و این عاملی در جهت افزایش قطر الیاف

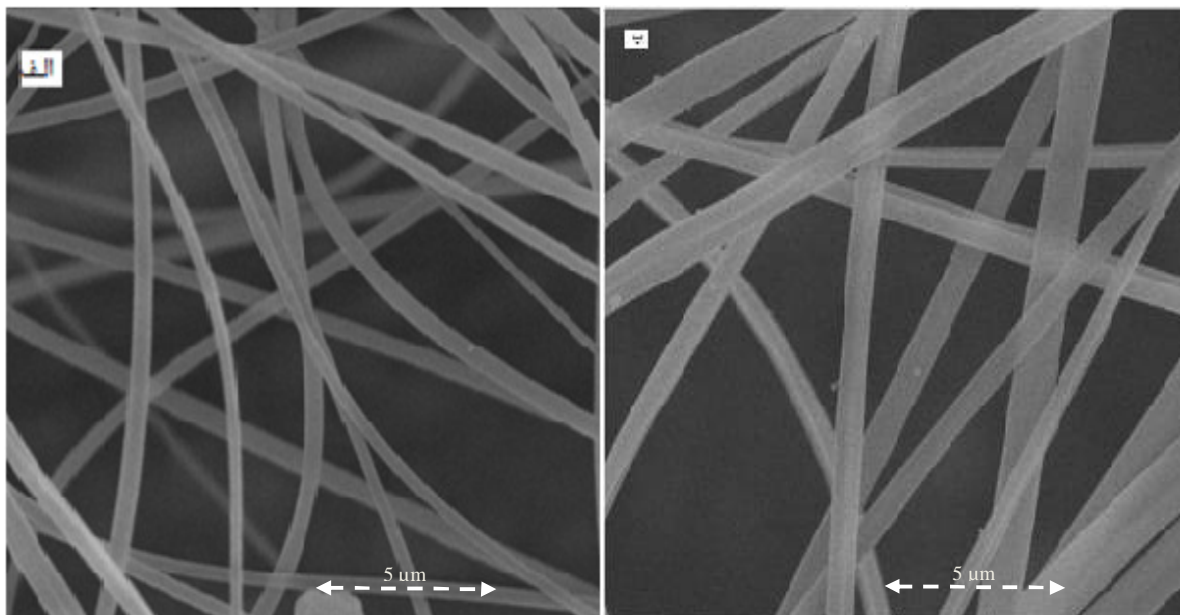


شکل ۴. تصاویر SEM الیاف پلی استایرن با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ الف: ولتاژ ۱۴ کیلوولت ب: ولتاژ ۲۰ کیلوولت



عمل می‌کند. از طرفی نیز با کاهش فاصله اثر میدان و در نتیجه نیروهای الکتروستاتیک افزایش پیدا می‌کند، که این پدیده موجب کاهش قطر الیاف می‌گردد. بنابراین دو پدیده در جهت مخالف یکدیگر عمل می‌کنند. با توجه به اینکه کدامیک غالب شوند، قطر الیاف افزایش و یا کاهش می‌یابد، که در اینجا مشاهده می‌گردد که قطر الیاف با کاهش فاصله افزایش می‌یابد، به عبارتی افزایش نیروهای الکتروستاتیک نمی‌توانند بر افزایش قطر ناشی از کم شدن فاصله نازل تا صفحه جمع‌کننده غلبه کنند.

تأثیر کاهش فاصله نوک نازل تا صفحه جمع‌کننده در فواصل ۸ و ۱۲ سانتی‌متر بررسی شد. شکل (۵) تصاویر SEM نانوالیاف پلی‌استایرن را در فواصل ۸ و ۱۲ سانتی‌متر نشان می‌دهد. با کاهش فاصله از ۱۲ سانتی‌متر به ۸ سانتی‌متر قطر الیاف نیز افزایش می‌یابد. در فاصله کمتر، الیافی که از نوک نازل شروع به تشکیل شدن می‌کنند، مدت زمان کمتری تا رسیدن به صفحه جمع‌کننده طی می‌کنند، یا به عبارتی زمان پرواز کاهش می‌یابد. بنابراین الیاف فرصت کمتری برای کشیده شدن دارند، که این پدیده در جهت افزایش قطر الیاف



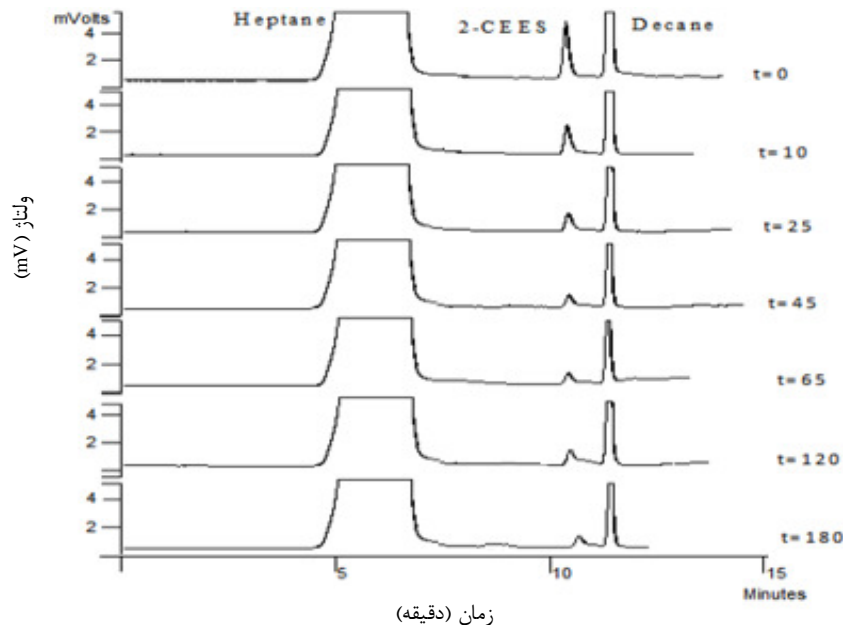
شکل ۵. تصاویر SEM نانوالیاف پلی‌استایرن در فاصله‌های مختلف نوک نازل تا صفحه جمع‌کننده، با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰۰ الف: فاصله ۱۲ سانتی‌متر ب: فاصله ۸ سانتی‌متر

نتایج بیانگر جذب ۸۰٪ از شبه عامل CEES-2 توسط نانوالیاف پس از گذشت زمان ۱۸۰ دقیقه می‌باشند. همچنین با توجه به شکل (۶) می‌توان دریافت که بیشترین مقدار جذب در دقایق اولیه پس از شروع آزمایش رخ می‌دهد و پس از گذشت زمان ۴۵ دقیقه شیب نمودار کاهش چشم‌گیری دارد، که نشان از اشباع شدن مکان‌های جاذب عوامل شیمیایی دارد.

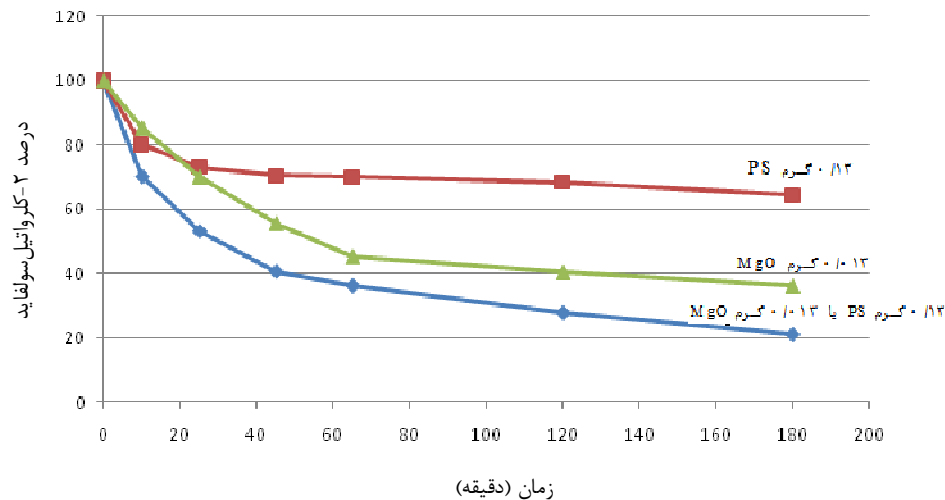
در شکل (۷) نمودار مربوط به رفع‌آلودگی شبه‌عامل توسط الیاف نانوکامپوزیتی، الیاف بدون نانوذره اضافه شده و نانوذرات نیز آورده شده است. به طوری که از شکل پیداست، رفع‌آلودگی توسط نانوالیاف کامپوزیتی میزان جذب بیشتری را نسبت به نانوالیاف بدون نانوذره اضافه شده و نانوذرات به تنهایی، انجام می‌دهند.

### ۳-۳. اندازه‌گیری میزان جذب ۲-کلرواتیل اتیل سولفاید توسط نانوالیاف کامپوزیتی

۱ میکرولیتر از محلول مورد آزمایش که حاوی ۲ میلی‌لیتر حلال هپتان، ۲ میکرولیتر CEES-2 و ۲ میکرولیتر n-دکان به‌عنوان استاندارد داخلی و ۰/۱۳ گرم نانو الیاف بود در زمان‌های ۰، ۱۰، ۲۵، ۴۵، ۶۵، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه برداشته شد و به دستگاه GC تزریق گردید. کروماتوگرام حاصل در شکل (۶) آورده شده است. کروماتوگرام‌های حاضر در شکل (۶) از بالا به پایین به ترتیب مربوط به شاهد، زمان‌های ۱۰، ۲۵، ۴۵، ۶۵، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه می‌باشند. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، از بالا به پایین روند کاهشی در اندازه پیک مربوط به CEES-2 نسبت به استاندارد داخلی وجود دارد؛ بنابراین جذب شبه‌عامل توسط نانوالیاف صورت گرفته است.



شکل ۶. کروماتوگرام‌های GC مربوط به جذب 2-CEES توسط نانوالیاف کامپوزیتی، در زمان‌های مختلف



شکل ۷. نمودارهای مربوط به جذب شبه‌عامل توسط نانوالیاف و نانوذرات

#### ۴. نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی شرایط عمل، برای انجام الکترورسی امری ضروری است. همچنین مشاهده شد که با اضافه شدن درصد نانوذرات در محلول پلیمری تشکیل الیاف کامپوزیتی سخت‌تر شده و ساختارهای گلوله مانند بیشتری به وجود می‌آیند. در آزمایش انجام شده تصاویر SEM الیاف به دست آمده از محلول‌های حاوی نانوذرات با درصدهای ۱۰ و ۳۰، ۲۰ مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که الیاف به دست آمده از محلول حاوی نانوذرات با درصد پایین‌تر (۱۰٪) نسبت به الیاف به دست آمده از محلول‌های حاوی نانوذرات با درصدهای بالاتر از کیفیت مناسب‌تری برخوردار می‌باشد. بنابراین، امکان حصول

نانوذرات اکسید منیزیم که به روش آتروزل تولید شدند، به علت وجود تعداد زیاد لبه‌ها، گوشه‌های فعال و نقص‌های بلورین، فعالیت خوبی در برابر عوامل شیمیایی جنگی دارند، اما به دلیل جذب رطوبت و کاهش شدید در توانایی جذب و تخریب عامل شیمیایی قابلیت استفاده در مناطقی عملیاتی را ندارند. فن الکترورسی برای تهیه کامپوزیت از نانوذرات و پلیمر مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای الکترورسی مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده گردید که تشکیل الیاف به شدت تحت تأثیر پارامترهای الکترورسی قرار می‌گیرند. لذا

- [8] Wagner, G.; Procell, L.; Corner, R.; Munavalli, S.; Carnes C.; Kapoor, P.; Klabunde, K. "Reactions of VX, GB, GD, and HD with Nanosize  $Al_2O_3$ -Formation of Aluminophosphonates."; *J. Am. Chem. Soc.* 2001, 123, 1636-1644.
- [9] Waysbort, D.; Garvey, D.; Creasy, W.; Morrissey, K.; Hendrickson, D.; Durst, H. "A Decontamination System for Chemical Weapons Agents using a Liquid Solution on a Solid Sorbent."; *J. Hazard. Mater.* 2009, 161, 1114-1121.
- [10] Kleinhammes, A.; Wagner, G.; Kulkarni, H.; Jia, Y.; Zhang, Q.; Qin, L.; Wu, Y. "Decontamination of 2-Chloroethyl Ethyl Sulfide Using Titanate Nanoscrolls."; *Chem. Phys. Lett.* 2005, 411, 81-85.
- [11] Mahato, T.; Prasad, G.; Singh, B.; Acharya, J.; Srivastava, A.; Vijayaraghavan, R. "Nanocrystalline Zinc Oxide for the Decontamination of Sarin."; *J. Hazard. Mater.* 2009, 165, 928-932.
- [12] Prasad, G.; Mahato, T.; Pandey, P.; Singh, B.; Suryanarayana, M.; Saxena, A.; Shekhar, K. "Reactive Sorbent Based on Manganese Oxide Nanotubes and Nanosheets for the Decontamination of 2-Chloroethyl Ethyl Sulphide."; *Micropor. Mesopor. Mater.* 2007, 106, 256-261.
- [13] Koper, O.; Klabunde, K.; Martin, L.; Knappenberger, K.; Hladky, L.; Decker S. "Method for Biological and Chemical Contamination."; US Patent 7,335,808, 2008.
- [14] Epifani, M.; Diaz, R.; Arbiol, J.; Comini, E.; Sergent, N.; Pagnier, T.; Siciliano, P.; Faglia, G.; Morante, JR. "Nanocrystalline Metal Oxides from the Injection of Metal Oxide Sols in Coordinating Solutions: Synthesis, Characterization, Thermal Stabilization, Device Processing, and Gas-Sensing Properties."; *Adv. Funct. Mater.* 2006, 16, 1488.
- [15] Koper, O.; Lucas, E.; Klabunde, K. "Development of Reactive Topical Skin Protectants Against Sulfur Mustard and Nerve Agents."; *J. Appl. Toxicol.* 1999, 19, 59.
- [16] Cheng, Z.; Tang, H.; Zhu, H.; Zuo, G.; Zhang, M. "Effect of Acid and Base Sites on the Degradation of Sulfur Mustard over Several Typical Oxides."; *Appl. Cat. B. Env.* 2008, 79, 323-330.
- [17] Zhao, H.; Robert, K. Y. "Effect of Water Absorption on the Mechanical and Dielectric Properties of Nano-Alumina Filled Epoxy Nanocomposites."; *Key Engineering Materials* 2007, 334, 617-620.
- [18] Wannatong, L.; Sirivat, A. "Effects of Solvents on Electrospun-Polymeric Fibers: Preliminary Study on Polystyrene."; *Polymer. Int.* 2004, 53, 1851-1859.
- [19] Huang, Z.; Zhang, Z.; Kotaki, M.; Ramakrishna, S. "A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Application in Nanocomposite."; *Compos. Sci. Technol.* 2003, 63, 2223-2253.
- [20] Klabunde, K. "Nanocrystals as Stoichiometric Reagents with Unique Surface Chemistry."; *J. Phys. Chem.* 1996, 100, 12143.
- [21] [http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct\\_frame\\_top.cgi](http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi), 2011.
- [22] Yang, Q.; Li, D.; Hong, Y.; Li, Z.; Wang, C.; Qiu, S.; Wei, Y. "Preparation and Characterization of a PAN Nanofibre Containing Ag Nanoparticles via Electrospinning."; *Synth. Metals* 2003, 137, 973.
- [23] Zhou, Q.; Tang, C.; Wang, Y-Z.; Zheng, L. "Catalytic Degradation and Dechlorination of PVC-Containing Mixed Plastics via Al-Mg Composite Oxide Catalysts."; *Fuel* 2004, 83, 1727.

تغییرات در مورفولوژی نانوالیاف با تغییر پارامترهای الکتروسی وجود دارد. پلیمر پلی استایرن بستر مناسبی را برای قرار گرفتن نانوذرات اکسید فلزی فراهم آورده است. نانوذرات اکسید فلزی با قرار گرفتن در بستر نانوالیاف مقداری از فعالیت خود را از دست می دهند. این مقدار برای نانوذرات منیزیم اکسید در الیاف پلی استایرن ۳۰٪ بود. در کاری که در سال ۲۰۰۷ توسط سوندراجان<sup>۱</sup> و همکارانش [۱] برای رفع آلودگی از عامل عصبی پاراکسون انجام شد، این مقدار ۵۰٪ گزارش شده است. از مقایسه این نتایج می توان به این نتیجه رسید که هر اندازه قطر الیاف تهیه شده کمتر باشد، تعداد بیشتری از نانوذرات بر روی سطح الیاف قرار خواهند گرفت. بنابراین درصد کاهش فعالیت نانوذرات موجود در الیاف نیز کمتر خواهد بود. بنابراین همان طور که از شکل (۷) نیز پیداست، میزان جذب توسط نانوالیاف نانوکامپوزیتی از نانوذرات بیشتر است. بنابراین با انجام آزمایش های بیشتر در این زمینه و همچنین تهیه الیاف کامپوزیتی در مقیاس صنعتی می توان با کنار هم قرار دادن لایه هایی از الیاف تولید شده لباس های محافظ و ماسک های با خصوصیات فیلتری بهتری در برابر عوامل شیمیایی جنگی تولید کرد.

## ۷. مراجع

- [1] Sundarajan, S.; Ramakrishna, S. "Fabrication of Nanocomposite Membranes from Nanofibers and Nanoparticles for Protection Against Chemical Warfare Stimulants."; *J. Mater. Sci.* 2007, 42, 8400-8402.
- [2] Moss, R.; Kim, K.; Swarup, S. "Efficient Catalytic Cleavage of Reactive Phosphates by a Functionalized o-Iodosobenzoate Surfactant."; *J. Am. Chem. Soc.* 1986, 108, 788-93.
- [3] Buntun, C.; Foroudian, H.; Gillitt, N. "Reduction of o-Iodosobenzoate Ion by Sulfides and Its Oxidative Regeneration."; *J. Phys. Org. Chem.* 1999, 12, 758.
- [4] Yang, Y-C. "Decontamination of Chemical Warfare Agents."; *Acc. Chem. Res.* 1999, 32, 109-115.
- [5] Saxena, A.; Srivastava, A.; Sharma, A.; Singh, B. "Kinetics of Adsorption of 2-Chloroethyl Ethyl Sulphide on  $Al_2O_3$  Nanoparticles with and without Impregnants."; *J. Hazard. Mater.* 2009, 112, 419-27.
- [6] Stout, S.; Larsen, S.; Grassian, V. "Adsorption, Desorption and Thermal Oxidation of 2-CEES on Nanocrystalline Zeolites."; *Micropor. Mesopor. Mater.* 2007, 100, 77-86.
- [7] Wagner, G.; Bartram, P.; Koper, O.; Klabunde, K. "Reactions of VX, GD, and HD with Nanoscale  $MgO$ ."; *J. Phys. Chem.* 1999, 103, 3225-3228.

<sup>1</sup> S. Sundarajan