

تهیه غشاء نانو کامپوزیتی بر پایه پلی آکریلونیتریل و نانو کلاستر {Mo₁₅₄} جهت جذب کپسایسینوئیدها با قابلیت استفاده در لباس های محافظ

Preparation of Nanocomposite Membranes Based on Polyacrylonitrile and Nanoclusters {Mo₁₅₄} For Absorption of Capsaicinoids Usable in Protective Clothing

رضا حداد^{۱*} و مهدی دوستی^۲

۱- پژوهشگاه علوم انتظامی و مطالعات اجتماعی ناجا، پژوهشکده تجهیزات و فناوری های انتظامی، کد پستی ۱۹۳۹۵-۶۵۱۶

۲- مرکز جامع سلول های بنیادی و پزشکی بازساختی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

چکیده

در این مقاله غشای نانوالیاف کامپوزیتی پلی آکریلونیتریل- نانوپلی اکسومولیبیدات {Mo₁₅₄}-PAN با استفاده از فرایند الکتروریسی در شرایط محیطی بعد از بهینه سازی پارامترهای مختلف و تاثیر گذار بر روی نانوالیاف با میانگین قطر حدود ۱۰۰ نانومتر تهیه شد. نانوالیاف مذکور قابلیت استفاده در لباس های محافظ و ماسک های تنفسی جهت جذب کپسایسینوئیدها را خواهد داشت. در این مطالعه ساختار نانوالیاف کامپوزیتی با استفاده از تکنیک SEM، TEM، FT-IR، UV-Vis مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس نانوالیاف به عنوان غشاء جاذب جهت جذب کپسایسینوئیدها مورد استفاده قرار گرفت. ماکزیم جذب کپسایسینوئیدها حدود ۳۰ دقیقه می باشد. بعد از بهینه سازی شرایط مختلف، غشاء نانوالیاف کارایی بالایی در جذب کپسایسینوئیدها از خود نشان داد به طوری که در جذب انواع مختلف این ترکیبات کارایی حدود ۹۸-۹۰٪ مشاهده شد. شرایط بهینه شده شامل ۸wt% از پلی آکریلونیتریل، درصد های وزنی مختلف از {Mo₁₅₄}، ولتاژ ۱۲ کیلو ولت، نرخ تغذیه محلول ریسندگی ۰/۱ میلی لیتر بر ساعت، فاصله نازل تا جمع کننده (جمع کننده متحرک) ۱۵ سانتی متر و سرعت حرکت جمع کننده ۶۰۰ دور بر دقیقه می باشد. از جمله مزایای این نانوالیاف می توان به قدرت جذب بالا، روش سنتز سریع، هزینه پایین، زیست سازگاری و عدم سمیت اشاره کرد.

مقدمه

ضد درد و همچنین در بسیاری از مکمل های غذایی استفاده می شود [۵ و ۴]. در سال ۱۹۶۱، شیمیدان های ژاپنی، موادی را از فلفل قرمز، مشابه با کپسایسین جداسازی کردند و آن ترکیبات را کپسایسینوئید نامیدند. خانواده کپسایسینوئیدها عموماً از کپسایسین (C، ۶۹٪)، دی هیدرو کپسایسین (DHC، ۲۲٪)، نوردی هیدرو کپسایسین (NDHC، ۷٪)، هموکاپسایسین (HC، ۱٪)، همودی هیدرو کپسایسین (HDHC، ۱٪) و نونو امید تشکیل می شوند (جدول ۱). در این میان، کپسایسین (C) و دی هیدرو کپسایسین (DHC) در حدود ۸۰-۹۰٪ مسئول تندی در اکثر فلفل های قرمز می باشند. فعال ترین کپسایسینوئیدها دی هیدرو کپسایسین، نوردی هیدرو کپسایسین و هموکپسایسین هستند. در مجموع،

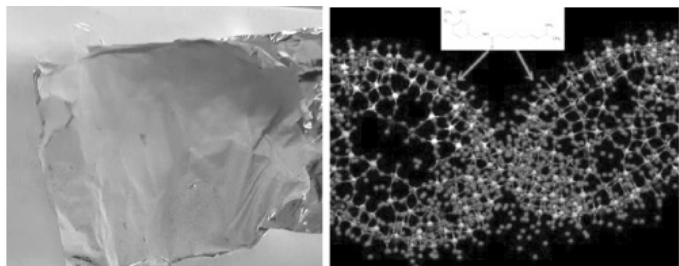
عوامل شیمیایی تحریک کننده دستگاه تنفسی فوقانی ترکیباتی هستند که از طریق چشم ها (اشک ریزش و اسپاسم پلک ها) و بسته شدن آنها و همچنین تحریک دستگاه تنفسی فوقانی (عطسه و استفرغ)، باعث ناتوانی موقت در فرد می شوند. این گونه ترکیبات تحت عنوان «تحریک کننده ها»، «عوامل آزار دهنده» و «عوامل ناتوان کننده» نامیده می شوند که عموماً از آنها به عنوان اشک آور ها یاد می شود، یکی از این ترکیبات به عنوان جزء فعال و اصلی کپسایسین ها است.

کپسایسینوئیدها گروهی از ترکیبات هستند که مسئول طعم تند و ویژگی های دارویی بالقوه و با ارزش فلفل قرمز می باشند [۳-۱]. کپسایسینوئیدها در بسیاری از داروهای

کلمات کلیدی

نانو کامپوزیت،
لباس محافظ،
کپسایسینوئیدها،
پلی آکریلونیتریل،
نانوالیاف

* مسئول مکاتبات، پیام نگار: Haddad.reza2009@yahoo.com



شکل ۱- شمایی از برهمکنش نانوکلاستر $\{Mo_{154}\}$ با کپسایسین (سمت راست) و نانوالیاف $\{Mo_{154}\}/PAN$ تولید شده با فرایند الکتروریسی بر روی ورقه آلومینیوم (سمت چپ)

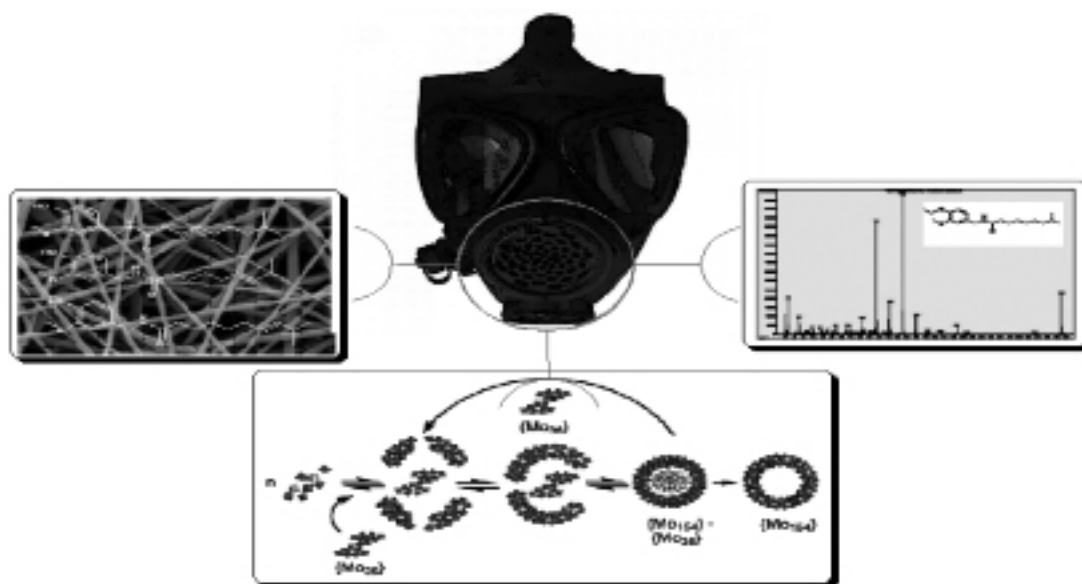
بی اثر و در برابر بیشتر حلال های آلی و اسیدها مقاوم است، فیبرهای آن در برابر شکستن مقاوم و عایق حرارتی نرمی می باشند. در مواجهه با گرما این پلیمر ذوب نشده و ساختار مورفولوژیکی آن حفظ می شود، خاصیتی که برای تولید الیاف عایق، الیاف مقاوم در برابر شعله و پتو برای تصفیه گازهای گرم استفاده می شود [۱۴-۱۱]. در این کار به دلیل ویژگی های ذکر شده در بالا و همچنین به دلیل هزینه پایین و سهولت در الکتروریسی، پلی آکریلونیتریل به عنوان پلیمر مورد نیاز انتخاب شد. با توجه به مطالعات انجام شده، تا به حال گزارشی مبنی بر استفاده از نانوالیاف $\{Mo_{154}\}/PAN$ برای جذب کپسایسینوئیدها گزارش نشده است.

تجربیات

مواد

پلی آکریلونیتریل، دی متیل فرامید و انواع مختلف کپسایسینوئیدها از شرکت مرک تهیه شدند. نانوکلاستر $\{Mo_{154}\}$ با استفاده از روش ذکر شده در مرجع [۱۵] سنتز شد.

بیش از ۲۰ کپسایسینوئید در گونه های مختلف فلفل یافت شده است [۶ و ۷]. این مواد می توانند به سلامتی افراد صدمه بزنند این شرایط شامل تماس فرد بدون محافظ با غلظت های بالای این مواد، یا تماس طولانی مدت می باشد. هنگامی که فرد بطور مستقیم در معرض اشک آورها و یا غلظت های بالا موضعی این گازها قرار گیرد، معمولاً دچار بعضی صدمات می شوند که احتمالاً آسیب های جدی تر هستند. هنگام استفاده از اسپری حاوی کپسایسین به عنوان اسپری دفاع شخصی، با توجه به اینکه کپسایسین ماده ای بسیار تحریک کننده است که باعث سوزش و قرمزی پوست شده و در تماس با چشم، باعث پارگی شدید ملتحمه درد و اسپاسم خواهد شد. همچنین استنشاق آن منجر به حالت تهوع، درد شکمی، استفراغ و اسهال می شود [۸]. «احساس گرما، سوزش و عواقب تحریک کننده» از کپسایسین ناشی از اتصال کپسایسین به گیرنده های بالقوه وانیلوئید گیرنده یونی کانال می باشد. کپسایسین میل ترکیبی بالایی به گیرنده TRPV19 از خود نشان می دهد [۹]. مهمترین مسئله در مورد این ترکیبات شیمیائی احتمال تغییر اثرات فیزیولوژی و احساسی در انسان به طرق مختلف می باشد. هر تغییری که در دهان و بینی حس شود، بر تعادل روحی فرد تأثیر گذاشته و بخاطر ناشناخته بودن اثرات این عوامل، ترس ایجاد می شود. بنابراین پوشش های محافظ و ماسک های شیمیایی علیه کپسایسینوئیدها برای سربازان در مواقع بحرانی و اضطراری ضروری است. و این نیاز احساس می شود که برای جذب ترکیبات کپسایسینوئیدها به غشاهای جدید نیاز است. با توجه به مطالعات قبلی، تهیه غشای نانوالیاف جهت تخریب شبه عوامل شیمیایی [۱۰] در پژوهش حاضر غشاء جذب جدیدی بر پایه پلی آکریلونیتریل حاوی نانوکلاستر $\{Mo_{154}\}$ برای جذب ترکیبات کپسایسینوئیدها تهیه شد (شکل ۱). غشاء تولید شده کارایی و قابلیت مناسبی در پوشش های محافظ از جمله ماسک و لباس های محافظ خواهد داشت (شکل ۲). پلی آکریلونیتریل تقریباً مقاوم ترین پلیمر در بین انواع پلیمرها در برابر تخریب بوسیله نور خورشید، بسیار



شکل ۲- شمایی کلی از نانوغشاء ساخته شده با قابلیت استفاده در ماسک تنفسی و لباس های محافظ

جدول ۱- ساختار تعدادی از کپسایسین‌ها

ردیف	فرمول شیمیایی	ساختار شیمیایی	نام ترکیب
۱	$C_{18}H_{27}NO_3$		کپسایسین
۲	$C_{18}H_{29}NO_3$		دی هیدرو کپسایسین
۳	$C_{17}H_{27}NO_3$		نوردی هیدرو کپسایسین
۴	$C_{19}H_{29}NO_3$		هموکپسایسین
۵	$C_{19}H_{31}NO_3$		همودی هیدرو کپسایسین
۶	$C_{17}H_{27}NO_3$		نونیوامید

روش‌ها

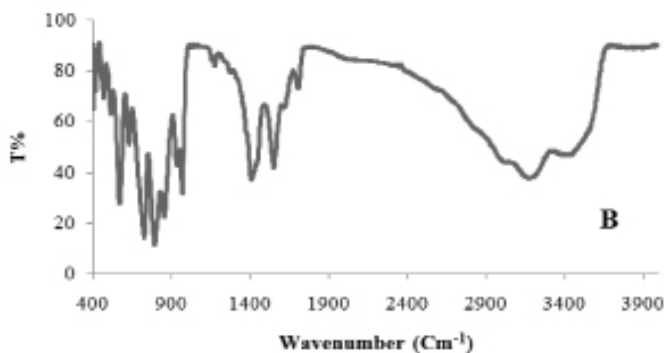
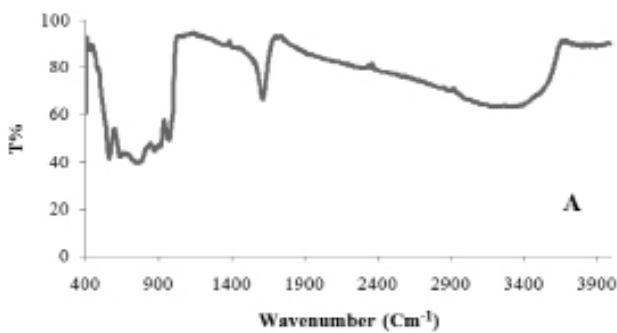
تهیه محلول $PAN/\{Mo_{154}\}$

جهت تهیه محلول پلیمری، پلی آکریلونیتریل (۸٪wt) به همراه حلال دی‌متیل‌فرمامید به وسیله همزن مغناطیسی در دمای $50^{\circ}C$ حل، سپس نانوساختار $\{ \}$ با درصدهای وزنی مختلف به آن اضافه می‌شود. پس از افزودن نانو کلاستر ترکیب حاصل به مدت یک ساعت تحت امواج التراسونیک با توان ۳۰ وات قرار گرفته تا سوسپانسیون یکنواختی از پلی آکریلونیتریل در دی‌متیل‌فرمامید به همراه نانو کلاستر حاصل گردد.

الکتروریسی محلول $PAN/\{Mo_{154}\}$

دستیابی به شرایط بهینه محلول پلیمری، پارامترهای فرآیند الکتروریسی و شرایط محیطی یکی از گلوگاه‌های اصلی است، که هر

یک به نوبه خود سهم ویژه‌ای در ساختار نانوالیاف تولیدی و متعاقباً در عملکرد و بازدهی غشاء حاصل دارند. پارامترهای مختلفی همچون حلال، غلظت پلیمر، ولتاژ سیستم، فاصله بین نوک سوزن و جمع‌کننده و سرعت چرخش جمع‌کننده در این کار بررسی شده است. محلول پلیمری پس از حل شدن و پایداری کامل، در یک سرنگ پلاستیکی ۱ میلی‌لیتری مخصوص دستگاه با سرسوزنی از جنس فولاد زنگ نزن با قطر خارجی ۱۸ گیج (معادل ۰/۵۶۵۲ میلی‌متر) که به یک منبع ولتاژ بالا نصب است انتقال داده شد. شرایط بهینه شده دستگاه شامل ولتاژ ۱۲ کیلوولت، نرخ تغذیه محلول ریسندهی ۰/۱ میلی‌لیتر بر ساعت، فاصله نازل تا جمع‌کننده (جمع‌کننده متحرک) ۱۵ سانتی‌متر و سرعت حرکت جمع‌کننده ۶۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. در ضمن، یک ورقه آلومینیومی جهت تمیز بودن فرآیند و جمع کردن نانوالیاف تولید شده، روی جمع‌کننده پوشانده شد. فرآیند مذکور در شرایط محیطی صورت پذیرفته است. لایه‌ی نانوالیاف



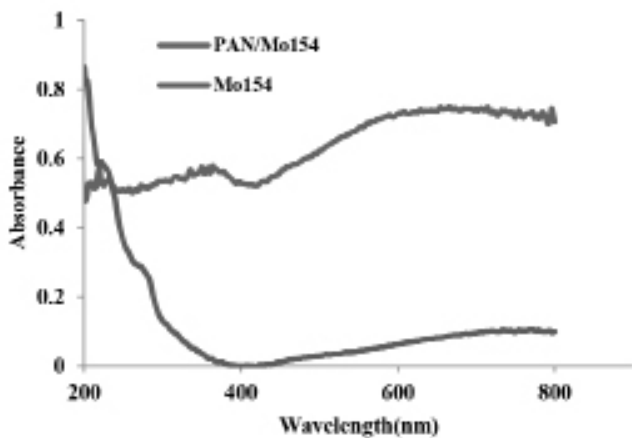
شکل ۳- طیف FT-IR نانو کلاستر (A) Mo_{154} و (B) نانوالیاف $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$

طیف الکترونی مربوط به $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ تایید کننده حضور این نانو کلاستر بر روی بستر نانوالیاف می باشد.

در طیف الکترونی $\{\}$ پیک شاخص کاتالیزور در 745 nm ظاهر شده که در نانوالیاف $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ در حدود 680 nm ظاهر می شود (شکل ۴).

شکل شناسی نانوالیاف $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$

شکل شناسی سطح نمونه نانوالیاف کامپوزیتی $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵). ابعاد این نانوالیاف دارای میانگینی حدود 100 نانومتر می باشد. همچنین صاف و یکنواخت بودن نانوالیاف سنتزی نیز در تصویر قابل مشاهده است. صاف



شکل ۴- مقایسه طیف الکترونی حالت جامد Mo_{154} و نانوالیاف $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$

ایجاد شده بر روی ورقه‌ی آلومینیوم در شکل (۱) نشان داده شده است.

بررسی خواص و مشخصه یابی نانوغشاء $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$

در این مطالعه ساختار نانوالیاف کامپوزیتی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل هیتاچی S-4160، ساخت کشور کره مورد بررسی قرار گرفت. پس از تهیه تصاویر با کمک میکروسکوپ الکترونی قطر الیاف تولیدی توسط نرم افزار Image J اندازه گیری و سپس میانگین قطری نانوالیاف به کمک نرم افزار Excell تعیین شد. همچنین از طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوریه مدل JASCO و طیف سنج الکترونی ساخت کشور ژاپن برای بررسی خواص نانوالیاف تهیه شده استفاده شد.

بررسی جذب کپسایسینوئیدها بوسیله نانوغشاء $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$

بعد از تهیه و شناسایی نانوغشاء، جهت بررسی قابلیت جذب کپسایسینوئیدها، از ترکیبات مختلف کپسایسین ها استفاده شد. بدین منظور محلولی با غلظت مناسب از ترکیبات کپسایسین، هموکپسایسین، دی هیدرو کپسایسین و همودی هیدرو کپسایسین تهیه سپس نانوغشاء تهیه شده در ابعاد 3×3 سانتی متر را در داخل محلول از قبل تهیه شده با غلظت مشخص از کپسایسین ها غوطه ور کرده و از محلول مورد نظر در زمان های مختلف $5, 10, 15, 20, 25$ و 30 دقیقه نمونه گیری و سپس جهت آنالیز به دستگاه GC تزریق تا کارایی و مقدار جذب کپسایسین توسط نانوالیاف مشخص گردد در انتها نمونه نانوالیاف از محلول خارج و با اتیل استات جهت سیکل بعدی شسته می شود.

نتایج و بحث

خواص شیمیایی سطح نانوالیاف $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$

جهت اطمینان از سنتز نانوالیاف کامپوزیتی $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ ، از طیف سنج FT-IR استفاده شد. این طیف سنجی روشی با کارایی بالا برای تجزیه و شناسایی پلیمرها و برخی مواد افزودنی به آنها است که به صورت مستمر مورد استفاده قرار می گیرد. بدین منظور طیف FT-IR نمونه‌ها در محدوده 400 تا 4000 cm^{-1} بررسی شد. نتایج حاصل در شکل (۳) نشان داده شده است. در طیف A که مربوط به نانو کلاستر $\{\}$ می باشد پیک های اصلی شامل، پیک جذبی 969 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی Mo=O و پیک جذبی 870 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی Mo-O-Mo می باشد. در شکل B پیک مشاهده شده در ناحیه 1546 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات گروه کربونیل و پیک های ارتعاشی در ناحیه های $2944-2880, 1460-1450, 1380-1350$ و $1270-1220 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به C-H های آلیفاتیک موجود در CH_2, CH و CH_3 پلی آکریلونیتریل می باشند. طیف B نانوالیاف $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ ، را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود از مقایسه میان دو طیف A و B حضور نانو کلاستر $\{\}$ در نانوالیاف سنتز شده کاملاً تایید می گردد.

بررسی نتایج طیف الکترونی حالت جامد

با استفاده از طیف الکترونی حالت جامد می توان حضور یا عدم حضور $\{\}$ را در نانوغشاء بررسی کرد.

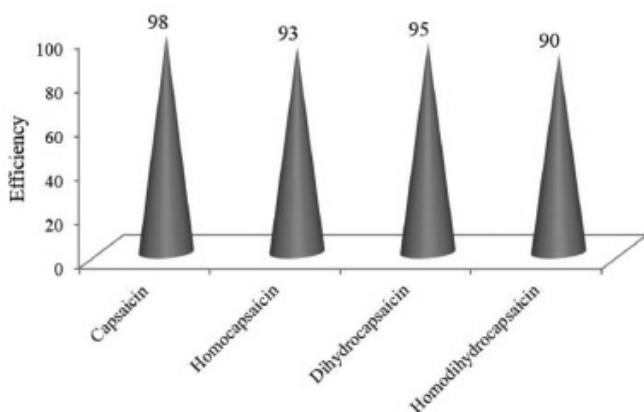
بررسی جذب کپسایسینوئیدها بوسیله ی نانوالیاف $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ همان طور که در بالا نیز اشاره شد ماکزیم جذب کپسایسین ها در زمان های مختلف توسط دستگاه GC مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق نمودار (۱) میزان جذب این ترکیبات در محدوده ی ۹۰-۹۸٪ در مدت زمان ۳۰ دقیقه می باشد.

بررسی پایداری نانوالیاف $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$

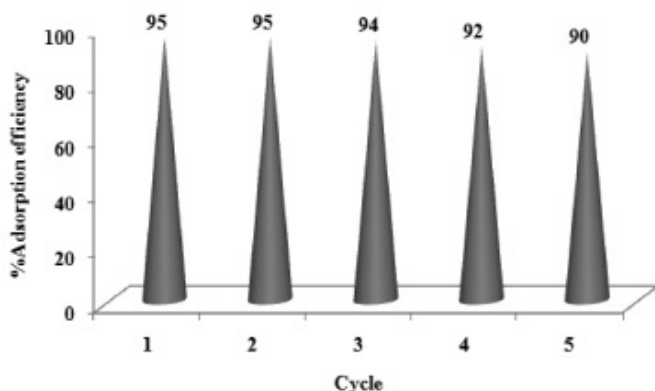
بعد از انجام فرایند جذب کپسایسین ها نمونه نانوالیاف از محلول خارج و چندین بار با اتیل استات جهت سیکل بعدی شسته می شود. با توجه به نمودار (۲) بعد از پنج سیکل جذب-واحد نانوالیاف $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ کارایی حدود ۹۰٪ از خود نشان می دهد، که در مقایسه با نمونه الیاف اولیه (سیکل اول) قابلیت بازیابی خوبی از خود نشان داده و بعد از ۵ سیکل کاهش در حدود ۵ درصد در کارایی جذب در مورد دی هیدرو کپسایسین مشاهده می شود.

بررسی رهائش نانو کلاستر $\{\text{Mo}_{154}\}$ از سطح نانوالیاف

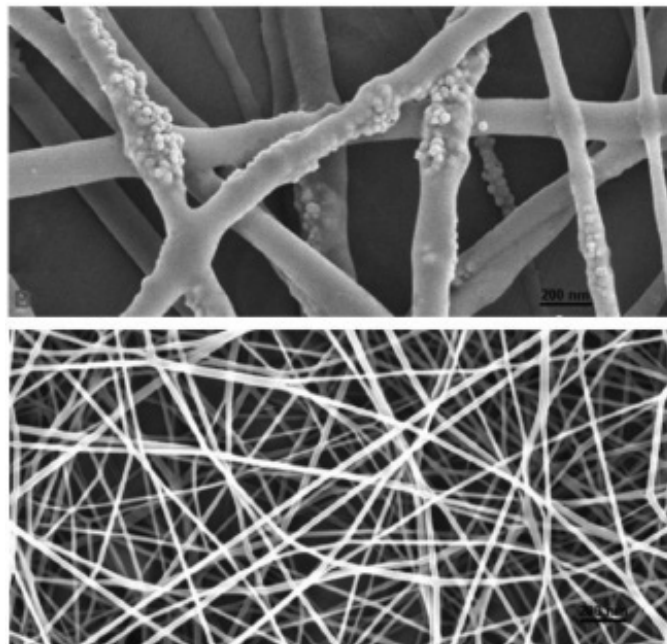
به منظور بررسی رهائش نانو کلاستر $\{\text{Mo}_{154}\}$ از سطح نانوالیاف، نانوالیاف چندین مرتبه در حضور اتانول شسته شده که پس از هر مرحله از مخلوط واکنش جهت مشخص شدن مقدار کاتالیزور جدا شده از سطح نانوالیاف،



نمودار ۱- کارایی نانوغشاء $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ در جذب ترکیبات مختلف کپسایسین ها

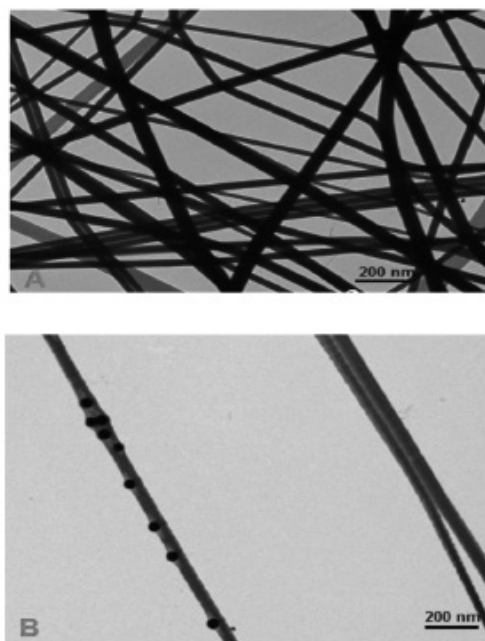


نمودار ۲- قابلیت استفاده مجدد از نانوغشاء $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ در جذب دی هیدرو کپسایسین بعد از ۵ سیکل



شکل ۵- تصاویر SEM مربوط به PAN (A) و $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ (B)

و بدون گره بودن ساختار نانوالیاف سنتز شده نشان دهنده بهینه بودن شرایط سنتز و کیفیت بالای محصول سنتز شده است. جهت بررسی مورفولوژی و چگونگی توزیع نانوذرات ساختار $\{\}$ در پلی آکریلونیتریل از میکروسکوپ الکترونی عبوری استفاده شد. بر اساس شکل (۶) نانوذرات $\{\}$ داخل شبکه زنجیره های پلیمری و یا در سطح نانوالیاف پلیمری از یکنواختی خوبی برخوردار هستند و نانوذرات به خوبی از یکدیگر جدا شده و در ماتریس پلیمری پراکنده شده اند.

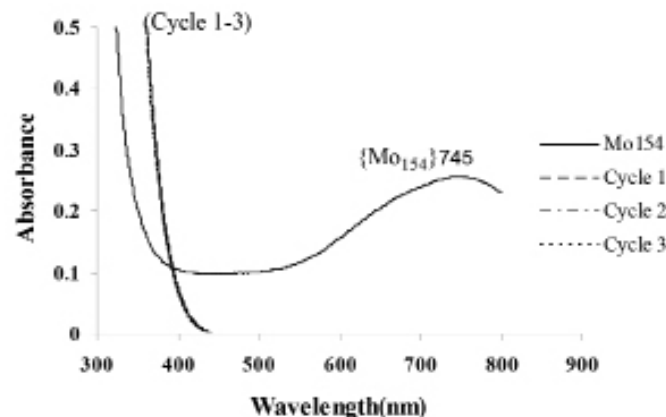


شکل ۶- تصاویر TEM مربوط به PAN (A) و $\text{PAN}/\{\text{Mo}_{154}\}$ (B)

بین $\{Mo_{154}\}$ و سطح نانوالیاف می باشد، که مانع از جدا شدن نانو کلاستر $\{Mo_{154}\}$ از سطح نانوالیاف می گردد.

نتیجه گیری

در این پژوهش نانوالیاف کامپوزیتی $\{Mo_{154}\}$ /PAN به روش الکترووریسی تهیه شد. بررسی خواص فیزیکی، شیمیایی و ساختاری نانوالیاف کامپوزیتی نشان داد که نانوذرات به خوبی بر روی سطح نانوالیاف توزیع شده و از اتصال و چسبندگی مناسبی برخوردارند. بستر نانوالیافی حاصل به دلیل دارا بودن نانوکاتالیست $\{Mo_{154}\}$ و ساختاری با منافذ بسیار ریز قابلیت به کارگیری در بحث فیلتراسیون جهت حذف عوامل شیمیایی را دارد. نانوالیاف کامپوزیتی تهیه شده توسط آزمون های FT-IR، SEM، TEM و UV-Vis شناسایی شد. این نانوالیاف می توانند در پوشش های محافظتی جهت جذب و خنثی سازی ترکیبات کپسایسین تهیه و استفاده شود، این نانوالیاف کارایی خوبی در بحث جذب و حذف این ترکیبات در محلول داشته به طوری که در مدت زمان 30 min کارایی حدود 90-98% با استفاده از نتایج گاز کروماتوگرافی بدست آمد.



شکل ۷- طیف الکترونی حالت محلول $\{Mo_{154}\}$ و محلول حاصل از شستشوی نانوالیاف بعد از هر مرحله

طیف الکترونی گرفته شد،

همان طور که در شکل ۷ مشاهده می شود بعد از گذشت 3 مرحله متوالی پیکی در محدوده 745 nm که مشخصه نانو کاتالیزور $\{Mo_{154}\}$ می باشد مشاهده نشد که نشان دهنده ی برهم کنش بسیار خوب و اتصال مناسب

مراجع

- Govindarajan, V. S., Sathyanarayana, M. N., Capsicum - Production, Technology, Chemistry, and Quality. Part V. Impact on Physiology, Pharmacology, Nutrition, and Metabolism; Structure, Pungency, Pain, and Desensitization Sequences, Crit. Rev. Food. Sci. Nutr., 29, 435-474, 1991.
- Reyes-Escogido Mde, L., Gonzalez-Mondragon, E. G., Vazquez-Tzompantzi, E., Chemical and Pharmacological Aspects of Capsaicin, Molecules., 16, 1253-1270, 2011.
- Thiele, R., Mueller-Seitz, E., Petz, M., Chili Pepper Fruits: Presumed Precursors of Fatty Acids Characteristic for Capsaicinoids, Journal of Agricultural and Food Chemistry., 56, 4219-4224, 2008.
- Sumate, B., Chada, P., Muenduen, P., Ultrasound-assisted Extraction of Capsaicinoids from Capsicum Frutescens on a Lab- and Pilot-Plant Scale, Ultrasonic Sonochemistry., 15, 1075-1079, 2008.
- Cichewicz, P., Thorpe, A., The Antimicrobial Properties of Chile Peppers (Capsicum Species) and Their Uses in Mayan Medicine, Journal of Ethnopharmacology., 52, 61-70, 1996.
- Kosuge, S., Inagaki, Y., Okumura, H., Studies on the Pungent Principles of Red Pepper. Part VIII. On the Chemical Constitutions of the Pungent Principles, J. Agric. Chem. Soc., 35, 923-927, 1961.
- Bennett, D. J., Kirby, GW., Constitution and Biosynthesis of Capsaicin, J. Chem. Soc. C., 442-446, 1968.
- Mark, H., Peter, C. A. Kam., Capsaicin: A Review of its Pharmacology and Clinical Applications, Current Anaesthesia and Critical Care., 19, 338-343, 2008.
- Nelson, A. J., Ragan, B. G., Bell, G. W., Ichiyama, RM., Iwamoto, G. A., Capsaicin-Based Analgesic Balm Decreases Pressor Responses Evoked by Muscle Afferents, Medicine & Science in Sports & Exercise., 36, 444-450, 2004.
- Haddad, R., Dusti Telgerd, M., Hadi, H. A., Sadeghinia, M., Fabrication of a Novel Electrospun Polyacrylonitrile/Giant Ball $\{Mo_{132}\}$ Composite Nanofibrous Mats in Adsorption of 2-CEES, Current Applied Polymer Science., 3, 130-138, 2019.
- Janthana, N., Winita, P., Patnarin, W., Synergistic Effect of Welding Electrospun Fibers and MWCNT Reinforcement on Strength Enhancement of PAN-PVC Non-Woven Mats for Water Filtration, Chemical Engineering Science., 193, 230-242, 2019.
- Zhai, G., Fan, Q., Tang, Y., Zhang, Y., Pan, D., Qin, Z., Con-

- ductive Composite Films Composed of Polyaniline Thin Layers on Microporous Polyacrylonitrile Surfaces, *Thin Solid Films.*, 519, 169–173, 2010.
13. Raesi, F., Nouri, M., Haghi, A. K., Electrospinning of Polyaniline-Polyacrylonitrile Blend Nanofibers, *e-Polymers.*, 114, 1–13, 2009.
14. Zhang, D., Karki, A. B., Rutman, D., Young, D. P., Wang, A., Cocke, D., Ho, T. H., Guo, Z., Electrospun Polyacrylonitrile Nanocomposite Fibers Reinforced with Fe₃O₄ Nanoparticles: Fabrication and Property Analysis, *Polymer.*, 50, 4189–4198, 2009.
15. Muller, A., Das, S. K., Fedin, V. P., Krickemeyer, E., Beugholt, C., Bogge, H., Schmidtman, M., Hauptfleisch, B., Rapid and Simple Isolation of the Crystalline Molybdenum-Blue Compounds with Discrete and Linked Nanosized Ring-Shaped Anions: Na₁₅[MoVI₁₂₆MoV₂₈O₄₆₂H₁₄(H₂O)₇₀]_{0.5} [MoVI₁₂₄MoV₂₈O₄₅₇H₁₄(H₂O)₆₈]_{0.5} ca.400H₂O and Na₂₂[MoVI₁₁₈MoV₂₈O₄₄₂H₁₄(H₂O)₅₈] ca. 250H₂O, *Z. Anorg. Allg. Chem.*, 625, 1187-1192, 1999.