



## سنتز نانو الیاف پلی آکریلونیتریل اصلاح شده به منظور جذب یون‌های مولیبدن از محلول آبی

INC29-1229

محمد رضا فیاضی<sup>۱</sup>، محمد اتوکش<sup>۱</sup>، مهدی اسداله‌زاده<sup>۲\*</sup>، میثم تراب مستعدی<sup>۲</sup>، رضوان ترکمان<sup>۲</sup>

۱- دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، صندوق پستی ۱۱۱۵۵/۱۶۳۹، تهران- ایران

۲- پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران- ایران

## چکیده:

به دلیل کمبود مولیبدن در پوسته زمین و اهمیت این فلز در صنعت هسته‌ای و پزشکی، جداسازی و جذب آن از پساب‌های صنعتی به کمک نانو الیاف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش از الیاف پلی آکریلونیتریل (PAN) تهیه شده به روش الکترووریسی استفاده گردید. برای افزایش مقاومت و اصلاح سطح الیاف، ابتدا با مونومر و پرتوهای گاما پیوند تشکیل گردید. سپس برای عامل دارسازی سطح و برای افزایش توانایی پلیمر در جذب مولیبدن از آمین استفاده شد. تأثیر اتانول آمین، هیدروکسیل آمین، اتیلن دی آمین و تری متیل آمین بر جذب یون‌های مولیبدن مورد بررسی قرار گرفت و برای بررسی مورفولوژی نانو الیاف تهیه شده از الکترووریسی و اصلاح شده از آن از آنالیز SEM استفاده گردید.

کلیدواژه‌ها: نانو الیاف، پلی آکریلونیتریل، الکترووریسی، اصلاح سطح، مولیبدن

### Synthesis of modified polyacrylonitrile nanofibers for the adsorption of molybdenum ions from aqueous solution

Mohammad Reza Fayazi<sup>1</sup>, Mohammad Outokesh<sup>1</sup>, Mehdi Asadollahzadeh<sup>2\*</sup>, Meisam Torab Mostaedi<sup>2</sup>, Rezvan Torkaman<sup>2</sup>

1. Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology, P.O. Box 11365-8639, Tehran, Iran

2. Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O. Box: 11365-8486, Tehran, Iran

**Abstract:**

Due to the lack of molybdenum in the earth's crust and the importance of this metal in the nuclear and medical industries, its separation and adsorption from industrial wastes with nanofibers is of particular importance. The prepared electrospun polyacrylonitrile was used in this research. For the increase in the resistance and modify the surface, first the bonding was obtained with the monomer and gamma rays. Then to functionalize the surface and to increase the ability of the polymer to adsorb molybdenum, amine has been used. The effect of ethanolamine, hydroxylamine, ethylenediamine and trimethylamine was investigated on molybdenum adsorption and SEM has been used to investigate the morphology of electrospun and functionalized nanofibers.

**Keywords:** nanofibers, polyacrylonitrile, electrospinning, Surface modification, Molybdenum



## ۱. مقدمه

مولیبدن از عناصر فلزی نسوز و استراتژیک مهمی است که عمدتاً در سوپر آلیاژها برای افزایش سختی و مقاومت در برابر سایش و خوردگی، در باتری‌های ماشین، صنایع پتروشیمی، صنایع هوافضا و سایر زمینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱] و اما مولیبدن در صنعت هسته‌ای دو کاربرد ویژه دارد: ۱- برای تولید کیک زرد، مولیبدن در مجاورت اورانیوم به‌عنوان ناخالصی قرار دارد، ۲- پیش ماده تولید رادیو داروها، مولیبدن ۹۹ است که پس از واپاشی به تکنسیوم ۹۹ تبدیل می‌شود، مولیبدن ۹۹ از پرتودهی نوترونی مولیبدن ۹۸ و یا پاره‌های شکافت اورانیوم ۲۳۵ به دست می‌آید [۲].

بر اساس استاندارد ASTM C 967-02a، حد مجاز این عنصر بین ۰/۱ تا ۰/۳ درصد وزنی اورانیوم کیک زرد است که در غیر این صورت ادامه فرآیند چرخه سوخت به مشکل می‌خورد و همچنین با توجه به اینکه مقدار مولیبدن به‌طور متوسط در پوسته زمین ۰/۰۱ درصد است، بنابراین جداسازی و حذف آن از کیک زرد نیز از نظر اقتصادی و هسته‌ای و پزشکی بسیار حائز اهمیت است. روش‌های حذف یون‌های مولیبدن و سایر فلزات سنگین از محلول‌های آبی شامل ته‌نشینی شیمیایی، الکتروشیمی، تبادل یون، استخراج حلالی، جداسازی غشایی، جذب سطحی و اسمز معکوس می‌باشد [۳] که جذب سطحی و جداسازی غشایی به دلیل هزینه نسبتاً پایین، ساخت ساده، انتخاب پذیری بالا و امکان استفاده مجدد از جاذب، از روش‌های امیدوارکننده‌ای محسوب می‌شود. نانو الیاف‌های الکتروریسی شده به دلیل خواص متمایز از بقیه جاذب‌ها از جمله: سطح ویژه بالا، تخلخل بالا و ظرفیت جذب بالا در مقایسه با رزین‌ها و پلیمرهای تجاری، مورد توجه تحقیقات قرار گرفته‌اند که در این پژوهش از نانو الیاف پلی‌آکریلونیتریل<sup>۱</sup> (PAN) الکتروریسی شده به‌عنوان بستر استفاده گردیده است و این بستر به دلیل وجود گروه نیتریل در فرمول شیمیایی خود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است ولی اکثر نانو الیاف‌های پلیمری از نظر شیمیایی بی‌اثر هستند [۴] و با توجه به قابلیت ذاتی ضعیف الکتروریسی و توانایی محدود برای اتصال یون‌های فلزات سنگین، این الیاف‌ها نیاز به اصلاح و عامل‌سازی با گروه‌های عاملی مناسب برای جذب انتخابی فلز دارد که این لیگاندها شامل کربوکسیلیک اسید، هیدروکسیل، آمین، آمید، تیول و ایمنودی استات است [۵]. برای اصلاح این بسترهای پلیمری، از پیوند مونومرها به بدنه الیاف برای افزایش مقاومت فیزیکی و کارایی الیاف که اصطلاحاً پلیمریزاسیون<sup>۲</sup> نامیده می‌شود، استفاده می‌گردد که این کار توسط ایجاد رادیکال آزاد بر روی بستر پلیمری به کمک پرتوهای گاما و پیوند آن با مونومرها صورت می‌گیرد که موجب گسترش زنجیره‌های پلیمری قبل از پایان یافتن، می‌شود و سپس به کمک گروه‌های عاملی ذکر شده، عامل دار می‌گردد که بر اساس مطالعات و گزارش‌های ارائه شده، گروه عاملی آمین نه تنها می‌تواند یک کمپلکس فلزی پایدار را با کیلاسیون<sup>۳</sup>، با یک یون فلزی کاتیونی تشکیل دهد، بلکه یک یون فلزی آنیونی را نیز با برهمکنش الکترواستاتیکی جذب می‌کند؛ بنابراین گروه عاملی آمین مناسب‌ترین انتخاب است [۶] سپس بعد از آماده شدن جاذب مورد نظر، وزن مشخصی از آن را داخل محلول مولیبدنی سنتز شده با غلظت و حجم مشخص قرار داده می‌شود و تست جذب به‌صورت ناپیوسته<sup>۴</sup> صورت می‌گیرد و در ادامه درصد جذب و ظرفیت جذب محاسبه می‌شود.

## ۲. روش انجام آزمایش

## ۱.۲ مواد

<sup>۱</sup> Polyacrylonitrile<sup>۲</sup> Polymerization<sup>۳</sup> Chelation<sup>۴</sup> Batch adsorption



PAN صنعتی، دی متیل فرمامید<sup>۱</sup> (DMF) و متانول به‌عنوان حلال، مونومرهای گلیسیدیل متاکریلات<sup>۲</sup> (GMA)، ۴-وینیل پیریدین<sup>۳</sup>، وینیل استات<sup>۴</sup> و ۱-وینیل-۲-پیرولیدینون، آمین‌های هیدروکسیل آمین، اتیلن دی آمین، اتانول آمین و تری متیل آمین، همگی از شرکت مرک تهیه شده است و همچنین از نمک‌های مرک سولفات آهن ۷ آب<sup>۵</sup> ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) و سدیم مولیبدات<sup>۶</sup> ( $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ ) به ترتیب به‌عنوان نمک مهارکننده<sup>۷</sup>، و منبع یون‌های مولیبدن استفاده شده است.

## ۲.۲ آماده‌سازی بستر

در ابتدا برای تولید نانو الیاف ۱۵٪ وزنی، PAN صنعتی را داخل حلال دی متیل فرمامید به مدت ۲۴ ساعت بر روی همزن مغناطیسی<sup>۸</sup> قرار داده می‌شود تا کاملاً به‌صورت یکنواخت و همگن دربیاید، سپس ۴ سی‌سی از محلول پلیمری آماده‌شده را داخل سرنگ ریخته و داخل دستگاه الکترووریسی با شرایط زیر قرار می‌گیرد: ولتاژ اعمالی ۱۶ کیلوولت، فاصله سرسوزن تا جمع‌کننده<sup>۹</sup> ۱۳ سانتی‌متر و دبی تزریق ۱ میلی‌لیتر بر ساعت است.

## ۳.۲ اصلاح بستر

در اصلاح سطح، برای افزایش مقاومت و کارایی بستر و همچنین به‌عنوان پلی بین الیاف و گروه‌های عاملی از پیوند مونومر به بستر استفاده می‌شود که برای بررسی مونومر مناسب، وزن مشخصی از الیاف الکترووریسی شده را درون محلول‌های مونومری که حاوی مونومرهای موردنظر، حلال متانول و نمک مهارکننده سولفات آهن ۷ آب<sup>۵</sup> ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) است، قرار داده و سپس برای حذف اکسیژن درون نمونه‌ها، گاز ازت زده می‌شود و بعد از مهروموم کردن آن‌ها برای پرتودهی توسط پرتوی گاما با دوز ۲۰ کیلوگرم فرستاده می‌شود تا از روش هم‌زمان پرتودهی<sup>۱۰</sup> استفاده گردد. در این روش، بعد از برخورد پرتوهای گاما به بستر پلیمری الکترووریسی شده، هم‌زمان هم رادیکال آزاد بر روی بستر ایجاد می‌شود و هم پیوند بین مونومر و رادیکال آزاد شکل می‌گیرد و موجب تولید هموپلیمر می‌شود که از معایب این روش است و دلیل اضافه کردن نمک‌های مهارکننده به محلول‌های مونومری، جلوگیری از تشکیل زیاد هموپلیمر بعد از پرتودهی می‌باشد، سپس بعد از پرتودهی الیاف‌های پیوند خورده، با متانول صنعتی شستشو داده می‌شود تا مونومر باقی‌مانده و هموپلیمرهای ایجادشده، شسته شود و سپس به مدت یک روز درون آون<sup>۱۱</sup> در دمای ۳۵ درجه قرار می‌گیرد تا حلال‌هایش تبخیر شود، سپس الیاف‌های پیوند خورده را وزن کرده و به کمک فرمول زیر درجه پیوند<sup>۱۲</sup> آن محاسبه می‌شود:

$$D_g = \frac{W_g - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

<sup>۱</sup> Dimethylformamide

<sup>۲</sup> Glycidyl methacrylate

<sup>۳</sup> 4-vinylpyridine

<sup>۴</sup> Vinyl acetate

<sup>۵</sup> Iron (II) sulfate heptahydrate

<sup>۶</sup> Sodium molybdate dihydrate

<sup>۷</sup> Inhibitor salt

<sup>۸</sup> Stirrer

<sup>۹</sup> Collector

<sup>۱۰</sup> Simultaneous irradiation

<sup>۱۱</sup> Oven

<sup>۱۲</sup> Degree of grafting



$W_g$  وزن الیاف پس از پیوند،  $W_0$  وزن الیاف قبل از پرتودهی (الیاف خام الکترورسی شده) است.

#### ۴.۲ عامل دار سازی بستر برای افزایش انتخابی جذب فلز

پس از یافتن مونومر مناسب و اصلاح سطح، برای عامل دار سازی بستر از آمین‌های متفاوت برای فرایند آمیناسیون<sup>۱</sup> استفاده می‌شود و سپس تست جذب گرفته می‌شود تا آمین مناسب با بهترین عملکرد یافت شود همچنین وزن الیاف، بعد از فرایند آمیناسیون یادداشت کرده و درجه آمیناسیون طبق فرمول ۲ محاسبه می‌شود [۷].

$$D_a = \frac{\left(\frac{W_a - W_g}{M_{wa}}\right)}{\left(\frac{W_g - W_0}{M_{wm}}\right)} \times 100 \quad (2)$$

$W_a$  وزن الیاف پس از آمین،  $W_g$  وزن الیاف قبل از آمین (وزن الیاف بعد از پیوند)،  $W_0$  وزن الیاف قبل از پیوند (الیاف خام)،  $M_{wa}$  وزن مولکولی آمین و  $M_{wm}$  وزن مولکولی مونومر می‌باشد.

#### ۵.۲ تست جذب

نمک سدیم مولیبدات ( $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ ) را به غلظت و حجم دلخواه آماده کرده و سپس مقدار مشخصی از جاذب سنتز شده، داخل ارلن حاوی محلول مولیبیدن قرار می‌گیرد و به مدت ۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد داخل شیکر و به صورت ناپیوسته فرایند جذب را انجام می‌دهد سپس برای به دست آوردن غلظت محلول قبل و بعد از جذب مولیبیدن از آنالیز طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی<sup>۲</sup> (ICP) استفاده می‌شود و در نهایت درصد جذب و ظرفیت جذب به ترتیب به کمک روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌شود.

$$E\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

$$q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (4)$$

که  $C_0$  غلظت اولیه،  $C_e$  غلظت تعادلی،  $V$  حجم محلول در تست جذب،  $m$  جرم جاذبی که در تست جذب استفاده شده است.

#### ۳. نتایج و بحث

مورفولوژی<sup>۳</sup> بستر توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۴</sup> (SEM) گرفته شده است و همان گونه که از **Error! Reference source not found.** پیداست، بستر به خوبی الکترورسی شده و هیچ گونه گره‌ای درون الیاف وجود ندارد و میانگین قطر الیاف الکترورسی شده، ۲۵۰ نانومتر است. سپس الیاف الکترورسی شده را درون محلول‌های حاوی ۴۰٪ حجمی از مونومرهای گلیسیدیل متاکریلات، ۴-وینیل پیریدین، وینیل استات و ۱-وینیل-۲-پیرولیدینون قرار داده شد و در معرض پرتوهای گاما قرار گرفت، مونومرهای وینیل استات و ۱-وینیل-۲-پیرولیدینون، بعد از پرتودهی ساختار الیاف PAN را از بین برده بود و تقریباً الیاف را درون خودش حل کرد و قابل استفاده نبود، مونومر ۴-وینیل پیریدین پیوند کمی بر روی الیاف شکل داده بود ولی مونومر GMA بر روی الیاف پیوند مناسبی تشکیل داده بود ولی از طرفی هم هموپلیمرهای زیاد و سختی بر روی آن شکل گرفته بود به گونه‌ای که تمام محلول مونومری به جامد تبدیل شده بود و الیاف درون جامد هموپلیمری محوشده بود (**Error! Reference source not found.**). پس از شستن

<sup>۱</sup> Amination

<sup>۲</sup> Inductively coupled plasma mass spectrometry

<sup>۳</sup> Morphology

<sup>۴</sup> Scanning electron microscope



هموپلیمرها و مونومرهای اضافی، الیاف‌های پیوند خورده با ۴-وینیل پیریدین و گلیسیدیل متاکریلات را در ابتدا با هیدروکسیل آمین و اتیلن‌دی‌آمین عامل دار شدند و سپس ۰/۰۵ گرم از جاذب آماده‌شده را درون ۳۰ cc از محلول مولیبدن به مدت ۴ ساعت قرار داده و تست جذب گرفته‌شده است (با توجه به آنالیز ICP غلظت محلول مادر مولیبدن ۲۴/۳ ppm است).

جدول ۱. یافتن مونومر مناسب

مونومر	وزن جاذب قبل از پیوند	وزن جاذب پس از پیوند	درجه پیوند	نوع آمین	غلظت	درصد جذب	ظرفیت جذب
گلیسیدیل متاکریلات (۴۰٪)	۰/۰۲۳۴	۱۱/۰۴	۳۷۱/۷۹	اتیلن‌دی‌آمین	۱۶/۷	۳۱/۲۷	۴/۵۶
۴-وینیل پیریدین (۴۰٪)	۰/۰۳۳	۰/۰۴۸۵	۴۶/۹۷	اتیلن‌دی‌آمین	۲۴/۱	۰/۸۲	۰/۱۲

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از **Error! Reference source not found.** مونومر گلیسیدیل متاکریلات به دلیل درجه پیوند بهتر و جذب بالاتر مولیبدن به همراه گروه عاملی اتیلن‌دی‌آمین، به‌عنوان مونومر مناسب انتخاب‌شده است و در مرحله‌ی بعد و برای انتخاب آمین بهینه و برطرف کردن مشکل هموپلیمر، الیاف الکترورسی شده را درون ۱۵٪ حجمی GMA قرار داده و برای پرتودهی با همان دوز ۲۰ کیلو گری مهیا شد و همان‌گونه که از **Error! Reference source not found.** پیداست هموپلیمر کمتری تشکیل‌شده و محلول مونومری به جامد تبدیل نشده است، سپس با مونومرهای اتانول آمین، هیدروکسیل آمین، اتیلن‌دی‌آمین و تری‌متیل‌آمین، عامل دار می‌شود بدین‌صورت که از اتانول آمین، تری‌متیل آمین و اتیلن دی آمین به مقدار ۶۰ درصد حجمی با آب مقطر و هیدروکسیل آمین ۳ درصد با آب و متانول با نسبت ۱:۱ ترکیب می‌شود و در دمای ۶۰ درجه به مدت ۳ ساعت داخل شیکر قرار می‌گیرد تا فرایند آمیناسیون به‌طور کامل صورت گیرد سپس الیاف‌ها را از محلول آمین خارج کرده و با آب مقطر شستشو داده می‌شود تا آمین‌های پیوند نداده شسته شود و سپس داخل آون در دمای ۳۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار می‌گیرد تا جاذب سنتز شده، آماده‌ی تست جذب شود، سپس مقدار ۰/۱ گرم از جاذب را درون ۴۰ cc محلول مولیبدن به غلظت ۳۰ ppm و به مدت ۴ ساعت درون شیکر قرار گرفته و فرایند ناپیوسته جذب صورت می‌گیرد و نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۱ گزارش‌شده است.

نوع آمین	وزن اولیه (بستر (گرم))	وزن پس از پیوند (بستر (گرم))	درجه پیوند (درجته پیوند)	وزن پس از آمیناسیون (بستر (گرم))	درجه	غلظت (mg/l)	درصد جذب	ظرفیت
نوع آمین	بستر (گرم)	پیوند (گرم)	درجته پیوند (گرم)	آمین (گرم)	آمیناسیون	(mg/l)	درصد جذب	ظرفیت (mg/g)
اتانول آمین	۰/۰۴۴۲	۰/۱۴۶۸	۲۳۲/۱۳	۰/۱۹۱۱	۱۰۰/۴۹	۲۳/۶۶	۲۳/۳۱	۲/۸۲ (mg/g)
هیدروکسیل آمین	۰/۰۴۴۲	۰/۰۴۳۸	۴۴۴/۸۳	۰/۱۶۶۶	۶۹۱/۴۹	۴۴/۶۵	۴۴/۴۵	۶/۶۲
هیدروکسیل آمین	۰/۰۱۳۸	۰/۰۵۲	۲۷۶/۸۱	۰/۶۶۶	۶۹۱۷/۴۱	۲۲/۴۵	۲۷/۲۵	۶/۶۱
اتیلن‌دی‌آمین	۰/۰۲۳۴	۰/۱۱۰۴	۳۷۱/۷۹	۰/۱۵۳۲	۱۱۶/۳۶	۲۲/۰۸	۲۸/۴۴	۳/۴۸
تری‌متیل‌آمین	۰/۰۴۴۴	۰/۱۴۷۲	۴۶۵/۷۹	۰/۲۵۵۵	۱۴۷/۴۶	۲۳/۵۵	۹۸/۴۵	۳/۴۷
تری‌متیل آمین	۰/۰۳۷۴	۰/۱۴۷۸	۲۹۵/۱۸	۰/۲۱۵۵	۱۴۷/۴۷	۰/۳۵۵	۹۸/۸۵	۱۱/۸۷

جدول ۱. بررسی آمین‌های متفاوت و مقدار جذب مولیبدن

با توجه به

جدول ۱، عامل دار سازی با تری متیل آمین جذب بهتری نسبت به سه آمین دیگر داشت و همان‌طور که از **Error! Reference**

نوع آمین	وزن اولیه بستر (گرم)	وزن پس از پیوند (گرم)	درجه پیوند (گرم)	وزن پس از آمین (گرم)	درجه آمیناسیون	غلظت (mg/l)	درصد جذب	ظرفیت جذب (mg/g)
تانول آمین	۰/۰۴۴۲	۰/۱۴۶۸	۲۳۲/۱۳	۰/۱۹۱۱	۱۰۰/۴۹	۲۳/۶۶	۲۳/۳۱	۲/۸۲
هیدروکسیل آمین	۰/۰۱۳۸	۰/۰۵۲	۲۷۶/۸۱	۰/۶۶۶	۶۹۱۷/۴۱	۲۲/۴۵	۲۷/۲۵	۶/۶۱
اتیلن دی آمین	۰/۰۲۳۴	۰/۱۱۰۴	۳۷۱/۷۹	۰/۱۵۳۲	۱۱۶/۳۶	۲۲/۰۸	۲۸/۴۴	۳/۴۸
تری متیل آمین	۰/۰۳۷۴	۰/۱۴۷۸	۲۹۵/۱۸	۰/۲۱۵۵	۱۴۷/۴۷	۰/۳۵۵	۹۸/۸۵	۱۱/۸۷

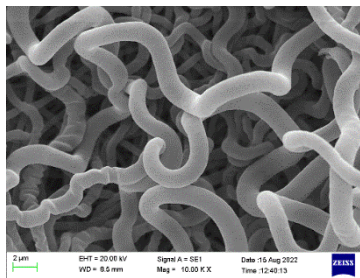
**source not found.** پیداست با افزودن ۱۵٪ حجمی GMA برای اصلاح سطح و تری متیل آمین به‌عنوان عامل دار کردن، قطر الیاف افزایش چشم‌گیری داشته و به میانگین ۹۵۰ نانومتر رسیده است و فرایند اصلاح سطح و عامل دار کردن به نحو احسن صورت گرفته و منجر به جذب ۹۸ درصدی مولیبدن و با ظرفیت جذب ۱۱/۸۷ mg/g شده است.



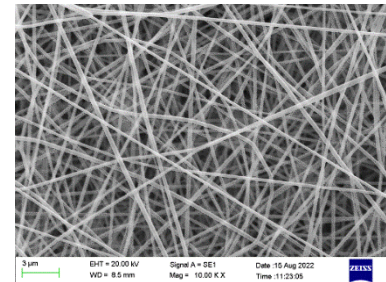
شکل ۲. الیاف پیوند خورده با ۱۵٪ حجمی GMA



شکل ۱. الیاف پیوندخورده با ۴۰٪ حجمی GMA



شکل ۳. تصویر SEM از جاذب سنتز شده با تری متیل آمین



شکل ۴. تصویر SEM از الیاف خام الکتروریسی شده

#### ۴. نتیجه‌گیری

الیاف ۱۵ درصد وزنی PAN در شرایط خوبی الکتروریسی شد و هیچ‌گونه بیدی درونش شکل نگرفته بود و مونومر GMA به دلیل وجود حلقه‌ی اپوکسی در ساختارش واکنش‌پذیری بالایی با آمین‌ها از خودش نشان می‌دهد و پیوند خوبی که با بستر خورده بود، بهترین عملکرد را داشت و نیز درصد بالای مونومر باعث به‌وجود آمدن هموپلیمر زیاد و سختی بعد از پرتودهی می‌شود که شستن و جدا کردن آن از الیاف اصلی بسیار دشوار می‌شود، به همین دلیل از ۱۵ درصد حجمی مونومر استفاده شده است و در بین آمین‌های بالا، آمین نوع سوم یعنی تری متیل آمین جذب بهتری از خودش در قبال مولیبدن نشان داد زیرا که آمین نوع سوم در مواجهه با GMA، پس از باز کردن حلقه‌ی اپوکسی و واکنش با آن، تبدیل به آمونیوم نوع چهارم می‌شود و از طرف دیگر نمک سدیم مولیبدات در محیط خنثی هیرولیز شده و تبدیل به مولیبدات ( $MoO_4^{2-}$ ) می‌شود و بار مثبت موجود در آمونیوم باعث می‌شود که مولیبدات را به خودش توسط نیروی الکترواستاتیکی جذب کند، در صورتی که در آمین‌های نوع اول و دوم، از هیدروژن‌های متصل به نیتروژن آمین‌کنده شده و با حلقه اپوکسی واکنش می‌دهد و مولیبدن را به کمک نیروی واندروالسی به خودش متصل می‌کند.



## ۵. منابع

1. Xiao H, Chen L, Qin Z, Yin R, Weng D, Wang Z, et al. Separation of vanadium, tungsten and molybdenum from spent SCR catalysts solution by solvent extraction with primary amine N1923. *Waste Management*. 2022;150:301-9.
2. Tabasi M, Samani B, Shirvani Arani S, Ghannadi Maragheh M, Mohammadi A. Assessment of Mo-99 radioisotope supply chain using LEU in Iran. *Journal of Nuclear Science and Technology (JonSat)*. 2021;42(3):104-10.
3. Ghadiri A, Daneshvar G, Nozari N, Moghtaderi S. Investigation of Molybdenum Content Reduction in Uranium Leach Liquor by Using Activated Charcoal in Bandar Abbas Plant. *Journal of Nuclear Science and Technology (JonSat)*. 2010;31(2):54-9.
4. Yang D, Li L, Chen B, Shi S, Nie J, Ma G. Functionalized chitosan electrospun nanofiber membranes for heavy-metal removal. *Polymer*. 2019;163:74-85.
5. Perea O, Bode-Aluko C, Laatikainen K, Nechaev A, Petrik L. Morphology, modification and characterisation of electrospun polymer nanofiber adsorbent material used in metal ion removal. *Journal of Polymers and the Environment*. 2019;27(9):1843-60.
6. Saeed K, Haider S, Oh T-J, Park S-Y. Preparation of amidoxime-modified polyacrylonitrile (PAN-oxime) nanofibers and their applications to metal ions adsorption. *Journal of Membrane Science*. 2008;322:400-405.
7. Alakhras FA, Dari KA, Mubarak MS. Synthesis and chelating properties of some poly(amidoxime-hydroxamic acid) resins toward some trivalent lanthanide metal ions. *Journal of Applied Polymer Science*. 2005;97(2):691-6.