

بررسی حذف نیکل و آهن از پساب توسط نانو الیاف پلی آکریلونیتریل/ ترموپلاستیک پلی یورتان

سیما حبیبی^۱، اعظم طالبیان^۲، عطیه قاجاریه^۳، شیوا علی اکبری^۴

^۱ دانشیار و عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، گروه نساجی، دانشکده فنی مهندسی، تهران، ایران

^۲ استادیار و عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، گروه نساجی، دانشکده فنی مهندسی، تهران، ایران

^۳ دانشجوی دکتری و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، گروه نساجی، دانشکده فنی مهندسی، تهران، ایران

^۴ دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، گروه نساجی، دانشکده فنی مهندسی، تهران، ایران

sima.habibi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

چکیده

امروزه استفاده از فناوری‌های نو برای حذف فلزات سنگین و ارتقای کیفیت آب یکی از الزامات رفع آلودگی محیط زیست ناشی از فلزات سنگین است. نانوالیاف پلیمری به واسطه برخورداری از خصوصیات سطح به حجم بالا، ساختار سه بعدی، خواص مکانیکی مناسب، اتصال خوب منافذ، پتانسیل شیمیایی و عملکرد بالای فیلتراسیون در مقیاس نانو معمولاً بیشترین کاربرد را در صنعت تصفیه آب دارند. در این پژوهش، نانوالیاف پلیمری ترموپلاستیک پلی یورتان (TPU)/پلی آکریلونیتریل (PAN) به منظور بررسی حذف یون فلز نیکل و آهن به روش الکتروسیسی تهیه شدند. نتایج آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد ولتاژ ۱۰ ولت و فاصله ۱۵ سانتیمتر و ترکیب درصد پلیمرهای پلی آکریلونیتریل/پلی یورتان به نسبت ۷۰/۳۰ بهینه تولید الیاف بوده است. واکنش بین این دو پلیمر با استفاده از آزمون طیف سنجی اشعه مادون قرمز (FTIR) مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج آزمون زاویه تماس، افزایش میزان پلی یورتان به ترکیب پلیمری به نسبت ۳۰/۷۰ منجر به افزایش زاویه تماس قطره با سطح جاذب به میزان ۴۰/۱۰° به نسبت پلی آکریلونیتریل با زاویه ۲۱/۴۹° بوده است. نتایج نشان داد جاذب TPU/PAN با نسبت ۳۰/۷۰، دارای میزان جذب نیکل ۴۵/۸٪ و بیشتر از فلز آهن با میزان حداکثر جذب ۳۳/۱۸٪ در PH و زمان بهینه بوده است.

کلمات کلیدی: نانوالیاف، فلزات سنگین، محیط زیست، جذب سطحی

Investigation of nickel and iron removal from wastewater by polyacrylonitrile/thermoplastic polyurethane nanofibers

Sima Habibi^{1*}, Azam Talebian², Atieh Ghajarieh³, Shiva Aliakbari⁴

¹Associate Professor and Faculty Member, Islamic Azad University, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e Rey Branch, Department of Textiles, Faculty of Engineering, Tehran, Iran

²Assistant Professor and Faculty Member, Islamic Azad University, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e Rey Branch, Department of Textiles, Faculty of Engineering, Tehran, Iran

³Ph.D. student and member of young researchers and elites club, Islamic Azad University, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e Rey Branch, Department of Textiles, Faculty of Engineering, Tehran, Iran

⁴Master of Science, Islamic Azad University, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e Rey Branch, Department of Textiles, Faculty of Engineering, Tehran, Iran
sima.habibi@gmail.com

Abstract

Today, utilizing new technologies for heavy metal removal and water quality improvement is essential in combating environmental pollution caused by heavy metals. Polymeric nanofibers are widely used in the water treatment industry due to their high surface-to-volume ratio, three-dimensional structure, suitable mechanical properties, good pore connectivity, chemical potential, and high filtration performance at the nanoscale. In this study, thermoplastic polyurethane (TPU) and polyacrylonitrile (PAN) polymer nanofibers were prepared using electrospinning to investigate the removal of nickel and iron metal ions. Scanning electron microscopy revealed that a voltage of 10 volts and a distance of 15 cm, with a TPU/PAN polymer ratio of 70:30, were optimal for fiber production. The reaction between these polymers was analyzed using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The results demonstrated that increasing the amount of polyurethane in the polymer composition to a 70:30 ratio increased the contact angle of the droplet with the absorbent surface by 40.10°, compared to polyacrylonitrile with an angle of 21.49°. The findings indicated that the TPU: PAN adsorbent with a 70:30 ratio achieved a nickel absorption rate of 45.8% and an iron absorption rate of 33.18% under optimal pH and time conditions. of 70.30 had a nickel absorption rate of 45.8% and more than iron metal with a maximum absorption rate of 33.18% at optimal pH and time.

Key words: Nanofibers, heavy metals, environment, surface adsorption

۱. مقدمه

یون های فلزات سنگین در محیط زیست هم به صورت طبیعی و هم از فعالیت های صنعتی به وجود می آیند [۱]. فاضلاب های حاوی فلزات سنگین تولید شده توسط صنایع، از نظر شدت آلودگی در گروه آلاینده های درجه اول سمی قرار گرفته اند [۲] که باعث آلودگی جدی آب و خاک شده و سلامتی موجودات زنده را به خطر می اندازد. اغلب فلزات سنگین در واکنش های بیولوژیکی سلول های موجودات زنده دخالت کرده و فعالیت های متابولیکی آنها را مختل می نمایند [۳]. یون های فلزات سنگین تجزیه ناپذیر هستند و تمایل به تجمع در بدن موجودات زنده دارند. این فلزات حتی در سطوح نسبتاً کم نیز سمی هستند. در نتیجه این نوع آلودگی به سلامت انسان و سیستم اکولوژیکی آسیب جدی وارد می کند [۴]. فلزاتی که برای انسان و محیط زیست بسیار سمی هستند عبارتند از: کروم (Cr)، مس (Cu)، سرب (Pb)، جیوه (Hg)، منگنز (Mn)، کادمیوم (Cd)، نیکل (Ni)، روی (Zn) و آهن (Fe) [۵]. سطح سمیت این فلزات از ترتیب $Zn < Fe < Cu < Mn < Ni < Cr < Pb < Cd < Hg$ پیروی می کند. برای اینکه غلظت این فلزات در فاضلاب کمتر از حد تعیین شده باشد، باید قبل از تخلیه آنها در محیط زیست یا استفاده مجدد از آنها در صنعت، تحت یک فرآیند تصفیه قرار گیرند [۶].

این مشکل در سال های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. یکی از نگرانی های اصلی این است که موجودات دریایی می توانند به راحتی فلزات سنگین را در محیط های آبی جذب کنند و مستقیماً وارد زنجیره غذایی انسان شوند و به طور جدی سلامتی مصرف کنندگان را به خطر بیندازند [۵]. بنابراین جداسازی این یون ها از آب دارای اهمیت بسزایی می باشد. در یک سیستم کارآمد سرعت فرایند، سازگاری با محیط زیست و رفع آلودگی مؤثر اهمیت زیادی دارد. امروزه جذب سطحی به عنوان یک روش موثر و اقتصادی برای تصفیه آب و فاضلاب از فلزات سنگین شناخته می شود [۷]. نانوالیاف به علت قطر کوچک شان خصوصیات ویژه ای مانند نسبت سطح به حجم بسیار زیاد، انعطاف پذیری در سطح، کاربردهای مکانیکی بهتر (مانند سختی و استحکام کششی) در مقایسه با هر شکل شناخته شده دیگری از مواد از خود نشان می دهند و لایه های نانولیفی تخلخل بالا با ارتباط بین منافذ عالی دارند [۸-۱۱]. با نظر به اهمیت خواص پلیمرهای ترموپلاستیک TPU^1 و PAN^2 و با توجه به دارا بودن حلال مشترک برای این دو پلیمر و همچنین با در نظر گرفتن کاربردهای به روز و مفید ترکیب این پلیمرها، می توان از طریق ریسندگی ترکیب این دو پلیمر، نانوالیاف با خصوصیات مشترک و بهینه تولید نمود. هدف این پژوهش، تولید جاذب نانوالیاف پلی یورتان/پلی اکریلونیتریل به روش الکتروریسی و

² Polyacrylonitrile¹ Thermoplastic Polyurethane

دقیقه در حلال DMF توسط همزن استیرر برای الکتروریسی (مدل KATO TECH ساخت کشور ژاپن) آماده شد. پس از تهیه محلول های پلیمری تقریباً شفاف، نمونه های خالص از هر دو پلیمر در شرایط یکسان توسط دستگاه الکتروریسی شد.

۳.۲. الکتروریسی محلول پلیمری

به منظور تولید لیاف و بررسی خواص متفاوت و در نتیجه به دست آوردن بهترین نمونه از نظر ظرافت و تخلخل لیاف و بید کمتر جهت فیلتراسیون، محلول های پلیمری با ترکیب درصد های مختلف در فواصل ۱۰ و ۱۵ سانتی متر و با دو ولتاژ ۱۰ و ۱۵ کیلوولت با سرعت غلطک ۲ متر بر دقیقه الکتروریسی و نمونه های حاصل توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شدند تا نمونه بهینه با بررسی اثر ولتاژ و فاصله بر مورفولوژی نانوالیاف تولیدی بدست آید.

۴.۲. تهیه محلول یون فلزی

جهت بررسی میزان حذف یون فلزی نیکل توسط جاذب نانوالیاف ایجاد شده، ابتدا محلول فلزی توسط دو نمک آهن سولفات و نیکل نیترات آماده شدند. عواملی مانند میزان PH محلول و زمان جذب بر میزان جذب یون فلز به جاذب TPU/PAN و در نتیجه افزایش راندمان حذف آن تاثیر دارد. برای این منظور محلول فلزی در شرایط مختلف اسیدی

ارزیابی توانایی آن در جذب یون فلزات سنگین نیکل و آهن است.

۲. تجربیات

۱.۲. مواد

در این پژوهش پلی اکریلونیتریل تجاری (70000 g/mol وزن مولکولی) تهیه شده از شرکت پلی اکریل ایران و پلی یورتان از شرکت اونیک^۱ مورد استفاده قرار گرفت. همچنین حلال دی متیل فرمامید (DMF) 73.09 g/mol = وزن مولکولی، نیترات نیکل و سولفات آهن از شرکت مرک^۲ آلمان خریداری شد.

۲.۲. تهیه محلول پلیمری PAN و TPU

به منظور تهیه محلول پلیمری جهت انجام فرآیند الکتروریسی، ابتدا دو غلظت ۱۰٪ و ۱۵٪ (درصد وزنی: حجمی) از هر دو پلیمر PAN و TPU پس از وزن و حل کردن پلیمر در حلال DMF^۳، به مدت ۲۴ ساعت جهت انحلال بهتر و سست شدن پیوندهای پلیمر، در حلال خیسانده شد. سپس توسط همزن استیرر با سرعت ۶۰۰ الی ۷۰۰ دور بر دقیقه و در دمای ۴۵ درجه به مدت ۴ ساعت جهت انحلال بهتر همزده شد و در نهایت در شرایط متفاوت الکتروریسی قرار گرفتند. جهت محلولسازی نمونه های خالص PAN، پلیمر وزن شده به مدت ۲ ساعت و در دمای ۲۵ درجه و سرعت ۲۵۰ الی ۳۰۰ دور بر

³ Dimethylformamide

¹ Evonic

² Merck

مختلف آماده و زاویه تماس قطره آب با سطح جاذب توسط دستگاه اندازه گیری زاویه تماس مدل KCV CAM 200 مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جهت بررسی میزان جذب یون های فلزی آهن و نیکل توسط جاذب نانوالیاف، از دستگاه جذب اتمی با شعله (مدل PG-990) استفاده شد.

۴. بحث و نتایج

۱.۴. حذف نیکل و آهن توسط نانوالیاف با تغییر PH

به منظور تعیین PH بهینه جهت حذف فلز نیکل و آهن توسط نانوالیاف پلی یورتان / پلی آکریلونیتریل، نمونه های مشابه در PH مختلف از ۲ تا ۷ همگن شده و جذب اتمی گرفته شد. بدین منظور، نمونه ها پس از فیلتراسیون با فیلتر ۰.۴۵ میکرومتر، در صورت نیاز رقیق سازی شدند. منحنی کالیبراسیون با استفاده از محلول های استاندارد در محدوده ۰.۱ تا ۵ میلی گرم بر لیتر برای هر دو عنصر تهیه شد. هر نمونه سه بار اندازه گیری شد و میانگین نتایج گزارش شد. حد تشخیص دستگاه برای نیکل ۰.۰۲ میلی گرم بر لیتر و برای آهن ۰.۰۳ میلی گرم بر لیتر بود. با توجه به شکل ۱ و نتایج بدست آمده، PH بهینه ۵ جهت حداکثر حذف نیکل (۵۲.۷۵٪) و PH بهینه ۶ جهت حداکثر حذف آهن (۴۱.۲۵٪) به دست آمد. در مطالعه ای که توسط ژانگ^۱ و همکارانش انجام شد، نشان داده شد که نانوالیاف پلی آکریلونیتریل در pH=5 بهترین عملکرد را برای جذب نیکل دارند. در

ساخته شد و مورد بررسی قرار گرفت تا PH و زمان بهینه به دست آید.

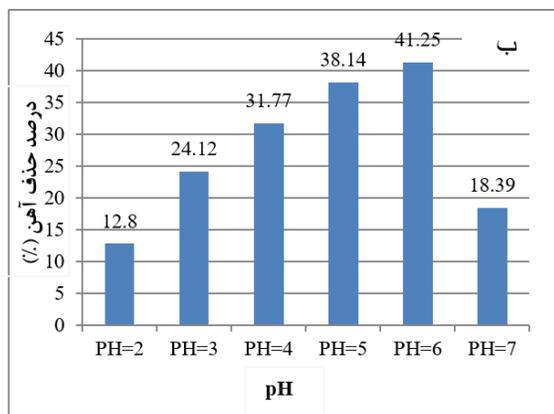
۳. روش های شناسایی

جهت بررسی تاثیر و امکان جذب فلزات بر سطح نانوالیاف الکترورسی شده، هر یک از نمونه های نانوالیاف پس از انجام فرآیند جذب یون های فلزی نیکل و آهن، قطعات کوچکی از غشای نانوالیافی (حدود ۱ سانتی متر مربع) جدا شده و پس از خشک شدن در دمای اتاق، با لایه نازکی از طلا پوشش داده شدند. تصاویر نمونه های آماده شده به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل AIS2100 ساخت شرکت SERONTECHNOLOGIES کره ی جنوبی) در بزرگنمایی های مختلف ثبت شدند. همچنین جهت مطالعه و شناسایی گروه های عاملی پلیمرهای استفاده شده و در نتیجه بررسی تاثیر برهم کنش ترکیب دو پلیمر و تفاوت های ساختاری ایجاد شده و تاثیر آنها بر خواص پلیمر از آزمون طیف سنجی مادون قرمز (توسط دستگاه Thermo Nicolet Nexus 670 ساخت کشور آمریکا) استفاده شد. به این منظور غلظت ۱۰٪ از هر دو پلیمر TPU و PAN مورد استفاده قرار گرفت.

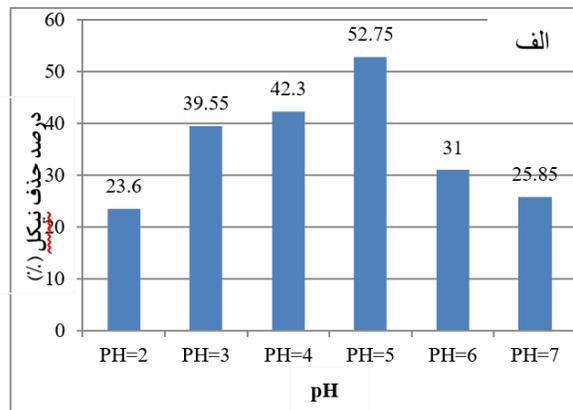
جهت بررسی تاثیر ترکیب نانوالیاف TPU/PAN و خواص آبدوستی غشا از آزمون زاویه تماس آب استفاده شد، بدین صورت که نمونه های ۴*۴ از نانوالیاف با ترکیب درصد های

¹ Zhang

عملکرد را برای جذب آهن دارند. مشابه نیکل، جذب آهن نیز تحت تاثیر pH قرار دارد. در pH بالاتر، جذب آهن به دلیل کاهش رقابت یون‌های هیدروژن و افزایش تعداد سایت‌های جذب فعال افزایش می‌یابد [۱۳].



پایین‌تر، یون‌های هیدروژن با یون‌های نیکل رقابت می‌کنند و باعث کاهش جذب می‌شوند. در pH بالاتر، جذب نیکل به دلیل کاهش رقابت یون‌های هیدروژن افزایش می‌یابد [۱۲]. همچنین در مطالعه دیگری که توسط لی^۱ و همکارانش انجام شد، نشان داده شد که نانوالیاف پلی یورتان در pH=6 بهترین



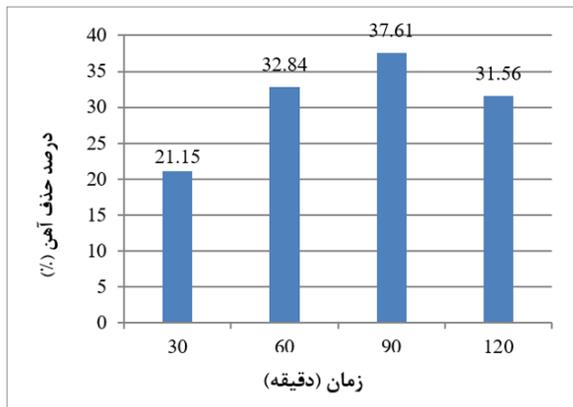
شکل ۱. نمودار درصد حذف فلز نیکل (الف) و فلز آهن (ب) توسط نانوجاذب TPU/PAN با تغییر pH

بیشتری برای جذب یون‌های فلزی فراهم می‌کنند. این ویژگی باعث می‌شود که زمان بهینه برای جذب نیکل و آهن به ترتیب ۶۰ و ۹۰ دقیقه باشد. این نتایج با مطالعه‌ای که توسط ژانگ و همکارانش انجام شد، همخوانی دارد که نشان دادند نانوالیاف پلی آکریلونیتریل در زمان‌های مشابه بهترین عملکرد را دارند [۱۲]. زمان‌های بهینه به نانوالیاف اجازه می‌دهند تا به طور کامل با یون‌های فلزی واکنش دهند و جذب سطحی بهینه‌ای داشته باشند. در پژوهش مشابهی لی و همکارانش نشان دادند که نانوالیاف پلی یورتان در زمان‌های مشابه بهترین عملکرد را برای جذب آهن دارند [۱۳].

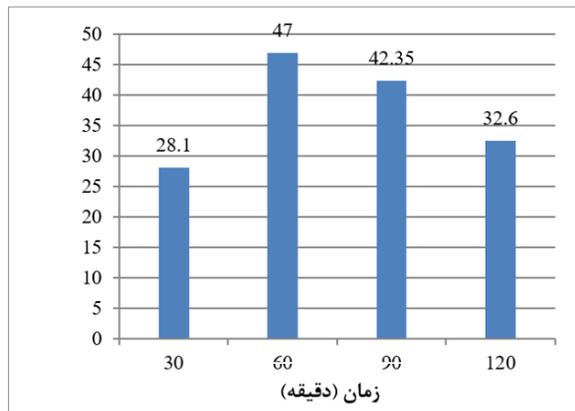
۲.۴. حذف نیکل و آهن توسط نانوالیاف با تغییر زمان جذب

به منظور تعیین زمان بهینه جهت جذب فلز نیکل و آهن توسط نانوالیاف پلی یورتان / پلی آکریلونیتریل، نمونه‌های مشابه در بازه زمانی بین ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه همگن شده و جذب اتمی گرفته شد. با توجه به نتایج مشاهده شده در شکل ۲ و ۳، زمان بهینه ۶۰ و ۹۰ دقیقه جهت حداکثر حذف فلز نیکل و آهن به ترتیب ۴۷٪ و ۳۷.۶۱٪ به دست آمد. نانوالیاف به دلیل ساختار سه‌بعدی و سطح به حجم بالا، سطح تماس

¹ Li



شکل ۳. نمودار درصد حذف فلز آهن توسط نانو جاذب TPU/PAN با تغییر زمان



شکل ۲. نمودار درصد حذف فلز نیکل توسط نانو جاذب TPU/PAN با تغییر زمان

بالتر پلی یورتان، قابلیت بیشتری در حذف یون های نیکل و آهن از محلول آبی دارند. این امر احتمالاً به دلیل حضور بیشتر گروه های عاملی قطبی در ساختار پلی یورتان، مانند گروه های اورتان (-NHCOO-)، است که می توانند با یون های فلزی برهمکنش قوی تری داشته باشند. این نتیجه با یافته های وانگ^۸ و همکاران همخوانی دارد. آنها در مطالعه خود بر روی نانوالیاف پلی آکریلونیتریل/پلی یورتان برای حذف یون های مس، مشاهده کردند که افزایش مقدار پلی یورتان در نانوالیاف منجر به افزایش ظرفیت جذب می شود. آنها این افزایش را به حضور بیشتر گروه های عاملی قطبی در ساختار پلی یورتان و همچنین بهبود خواص فیزیکی نانوالیاف مانند تخلخل و سطح ویژه نسبت دادند. در مطالعه حاضر، تفاوت در میزان حذف بین نیکل و آهن می تواند ناشی از تفاوت در اندازه یون ها، بار

۳.۴ حذف نیکل توسط نانوالیاف با تغییر ترکیب درصد

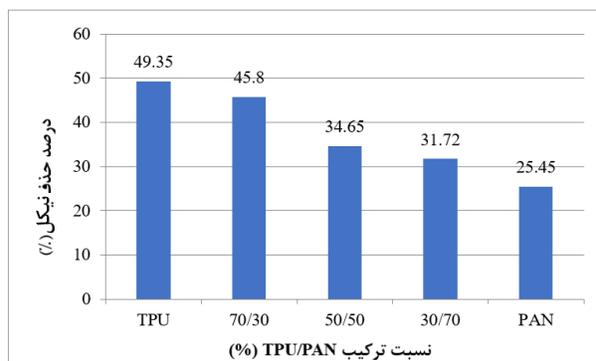
پلیمرها

به منظور تعیین میزان حذف فلز نیکل توسط ترکیب درصدهای مختلف از پلیمرهای پلی آکریلونیتریل و پلی یورتان، نمونه های نانوالیاف در PH و زمان بهینه همگن شد. با توجه به اینکه TPU به طور قابل توجهی هزینه بیشتری نسبت به PAN دارد و با در نظر گرفتن اینکه تفاوت قابل توجهی در درصد حذف نمونه بین TPU خالص و ترکیب TPU/PAN با نسبت ۷۰/۳۰ وجود ندارد، ترکیب ۷۰/۳۰ به عنوان گزینه ای بهتر و اقتصادی تر نسبت به TPU خالص محسوب می شود. بنابراین بهترین ترکیب درصد جهت حداکثر حذف نیکل و آهن به ترتیب ۴۵.۸٪ و ۳۳.۱۸٪ برای نمونه با میزان پلی یورتان بیشتر بوده است. با توجه به شکل های ۴ و ۵، نانوالیاف پلی آکریلونیتریل/پلی یورتان با درصد

⁸ Wang

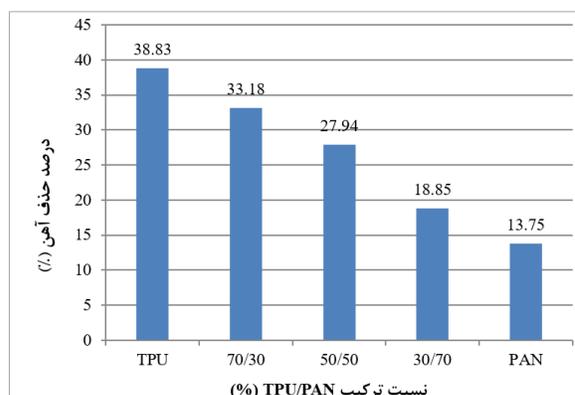
با توجه به شکل، ابتدا به بررسی پیک های مرتبط با پلی اکریلونیتریل می پردازیم. پیک های کربوکسیل $C=O$ در عدد موجی (۱۶۶۶) و پیک موجود در ۷۶۳ مطابق با ارتعاش کششی C-H است. همچنین پیک های مربوط به اعداد موجی ۱۰۷۶ و ۱۲۳۵ مرتبط با گروه C-O می باشند. ارتعاش کششی C-H در پیک های ۱۳۷۲ و ۲۹۳۳ قابل تشخیص هستند و ارتعاشات مربوط به گروه هیدروکسیلی O-H در اعداد موجی ۳۵۳۶ و ۳۶۲۳ قابل مشاهده است. پیک های مرتبط با جزء پلی یورتان به این شرح است: پیک های قرار گرفته در اعداد موجی ۳۳۳۵ و ۲۹۵۶ به ترتیب ارتعاشات N-H و ارتعاشات C-H را نشان می دهند. گروه $C=O$ کششی در عدد موجی ۱۷۳۱ مشاهده می شود. ارتعاش خمشی N-H مربوط به پیک مشاهده شده در عدد موجی ۱۵۹۶ می باشد. ارتعاش کششی C-C در عدد موجی ۱۴۱۴ و پیک های اپوکسی (C-O-C) مربوط به پیک های ۱۱۶۹ و ۱۰۷۶ است. همچنین عدد موجی ۳۳۳۵ به ارتعاش کششی گروه O-H نسبت داده می شود [۱۵]. با توجه به شکل، پس از فرآیند جذب فلز توسط این نانوالیاف تغییر چندانی در نوارهای جذبی شاخص این پلیمر اتفاق نیفتاده است و تنها تغییر ناچیزی در شدت جذب و یا مکان قرارگیری آن ها مشاهده می شود که نشان دهنده برقراری واکنش و جذب سطحی فلزات بوده و پیوند شیمیایی جدیدی بین لیف و فلز تشکیل نشده است.

الکتریکی و تمایل آنها به تشکیل کمپلکس با گروه های عاملی موجود در ساختار نانوالیاف باشد [۱۴].



شکل ۴. نمودار درصد حذف نیکل توسط نانو جاذب TPU/PAN با

تغییر ترکیب درصد پلیمرها در PH و زمان بهینه



شکل ۵. نمودار درصد حذف آهن توسط نانو جاذب TPU/PAN

با تغییر ترکیب درصد پلیمرها در PH و زمان بهینه

۴.۴. طیف IR⁹ جذب فلز توسط اختلاط ترموپلاستیک

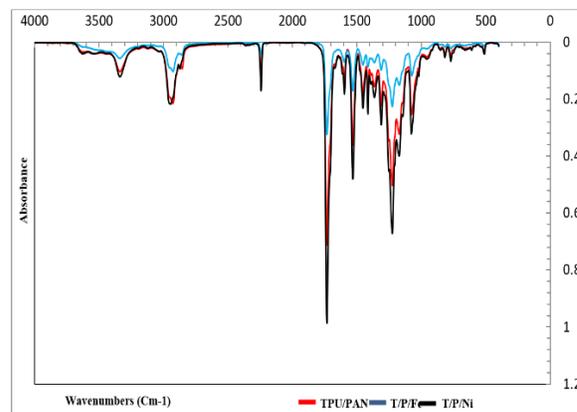
پلی آکریلونیتریل / پلی یورتان

شکل ۶ طیف IR جذب نانوالیاف پلی آکریلونیتریل / پلی یورتان را قبل و بعد از جذب فلز آهن و نیکل نشان می دهند.

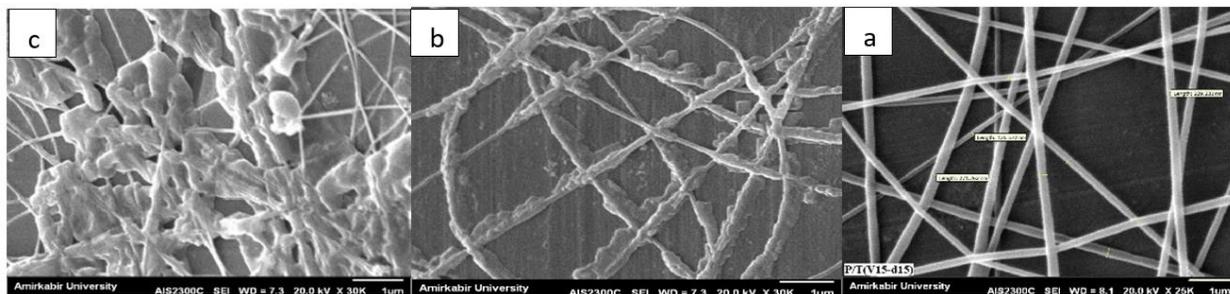
⁹ Infra-Red absorption spectroscopy

۴.۵. نتایج میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM¹⁰)

به جهت بررسی تاثیر و امکان جذب فلزات بر سطح نانوالیاف الکترونیسی شده، هر یک از نمونه های نانوالیاف با ترکیب درصدهای مختلف، پس از انجام فرآیند جذب فلزات نیکل و آهن به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفته اند که نتایج به صورت شکل ۷ نشان داده شده است. از تصاویر SEM می توان نتیجه گرفت فلزات سنگین بر سطح نانوالیاف جذب شده و منجر به افزایش ظرفیت و کاهش قطر آن ها نسبت به الیاف قبلی شده است.



شکل ۶. نمایش طیف IR نانوالیاف پلی آکریلونیتریل / پلی یورتان و پلی آکریلونیتریل / پلی یورتان با آهن و نیکل در یک قاب



شکل ۷. تصویر SEM نانوالیاف ۱۰٪ پلی آکریلونیتریل / پلی یورتان به نسبت ۳۰/۷۰ در ولتاژ ۱۵ و فاصله ۱۵ با میانگین قطر 216.75 ± 48.90 nm - (a) نمونه شاهد) و تصویر SEM نانوالیاف پلی یورتان / پلی آکریلونیتریل ۳۰/۷۰ / آهن (b) و نانوالیاف پلی یورتان / پلی آکریلونیتریل ۳۰/۷۰ / نیکل (c)

فوق آبریز از خود نشان می دهند. این یافته با نتایج یون^{۱۱} و همکارانش همخوانی دارد که زاویه تماس بالای 150° را برای نانوالیاف پلی یورتان گزارش کردند [۱۶]. خاصیت فوق آبریزی نانوالیاف پلی یورتان را می توان به ساختار متخلخل و اندازه کوچک حفره های آن نسبت داد که مانع نفوذ آب می شود. ما^{۱۲} و همکارانش نیز در پژوهشی به ارتباط بین

۶.۴ مطالعه نتایج زاویه تماس آب (تست قطره)

شکل ۸ و جدول ۱، نتایج تماس قطره آب با نانوالیاف پلی یورتان، پلی آکریلونیتریل و ترکیب آن ها را نمایش می دهند. در شکل ۹ نمودار تخلخل و زاویه تماس TPU و PAN خالص و نانوالیاف TPU/PAN ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود، نانوالیاف پلی یورتان با زاویه تماس 112° خاصیت

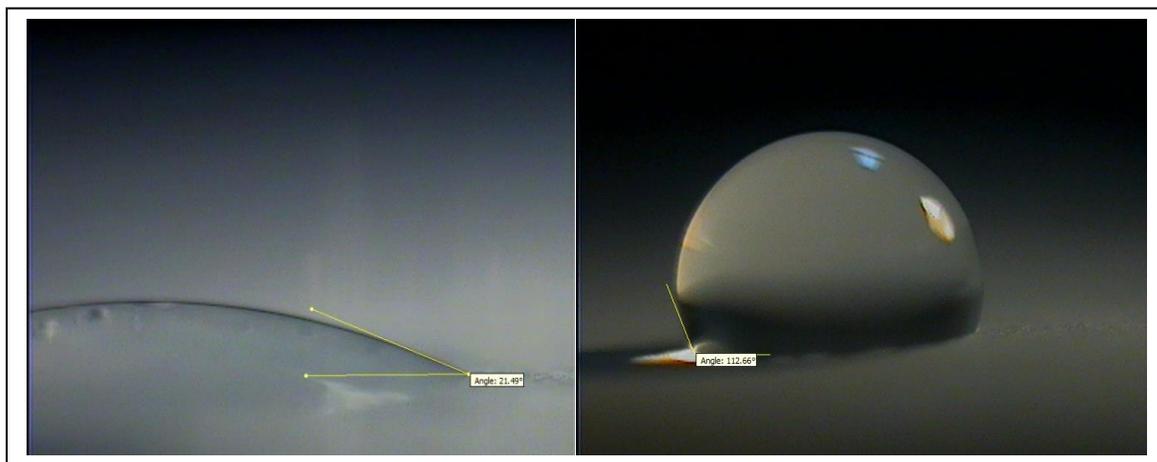
¹² Ma

¹⁰ Scanning electron microscope

¹¹ Yoon

آبدوستی نانوالیاف می‌شود [۱۴]. این افزایش آبدوستی می‌تواند به بهبود خواص فیلتراسیون کمک کند، همانطور که در مطالعه لیو^{۱۳} و همکارانش نیز مشاهده شده است [۱۸]. تغییر در زاویه تماس و خواص آبدوستی/آبگریزی نانوالیاف با تغییر ترکیب پلیمرها، نشان‌دهنده امکان کنترل این ویژگی‌ها برای کاربردهای خاص مانند فیلتراسیون است. این یافته با نتایج هوانگ^{۱۴} و همکارانش که امکان تنظیم خواص سطحی نانوالیاف را برای بهبود عملکرد فیلتراسیون نشان دادند، همخوانی دارد [۱۹].

ساختار متخلخل نانوالیاف، اندازه حفره‌ها و خاصیت فوق آبگریزی اشاره کرده‌اند. بر اساس این مطالعه، ساختار متخلخل و حفره‌های کوچک در سطح نانوالیاف می‌توانند هوا را به دام انداخته و مانع نفوذ آب شوند، که منجر به افزایش زاویه تماس و ایجاد خاصیت فوق آبگریزی می‌شود [۱۷]. با توجه به نتایج ثبت شده در جدول ۱، کاهش غلظت پلی‌یورتان و ترکیب آن با پلی‌آکریلونیتریل منجر به کاهش زاویه تماس (نسبت به پلی‌یورتان خالص) و افزایش آبدوستی نانوالیاف شده است. این نتیجه با مطالعه وانگ و همکارانش مطابقت دارد که نشان دادند افزودن پلی‌آکریلونیتریل به پلی‌یورتان باعث افزایش



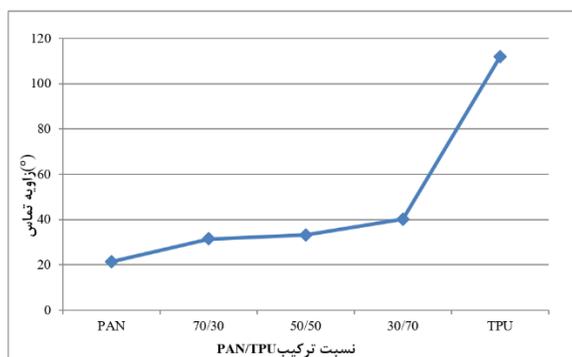
شکل ۸. تصویر نحوه تماس قطره با نانوالیاف خالص TPU (سمت راست) و PAN (سمت چپ)

جدول ۱. بررسی زوایای تماس قطره با سطح نانوالیاف PAN/TPU

PAN / TPU	100 / 0	70 / 30	50 / 50	30 / 70	0 / 100
زاویه تماس قطره	21.49°	45.31°	33.08°	40.10°	112°

¹⁴ Huang

¹³ Liu



شکل ۹. نمودار تخلخل و زاویه تماس PAN و TPU خالص و غشاء نانوالیاف PAN/TPU

۵. نتیجه گیری

آمده، کاهش غلظت پلی یورتان و ترکیب آن با پلی آکریلونیتریل منجر به کاهش زاویه تماس و افزایش آبدوستی نانوالیاف گردید. با توجه به هزینه بالاتر TPU نسبت به PAN و با در نظر گرفتن عدم تفاوت چشمگیر در درصد حذف نمونه بین TPU خالص و ترکیب TPU/PAN با نسبت ۷۰/۳۰، ترکیب ۷۰/۳۰ به عنوان گزینه‌ای بهینه و اقتصادی‌تر نسبت به TPU خالص توصیه می‌شود. همچنین جذب فلز نیکل توسط این جاذب نانولیفی با ترکیب درصد ۷۰/۳۰، به میزان ۴۵.۸٪ بوده که بیشتر از جذب فلز آهن با حداکثر میزان جذب ۳۳.۱۸٪ می‌باشد.

۶. مراجع

1. Fatehi, M. H., Shaygan, J., Zabihifar, M., A review of methods for removal of heavy metals from aqueous environments, *Journal of Ecohydrology*, 5(3), 855-874, 2018.
2. Heidari, H., Rahnavarad, A., Gholamreza Fahimi, F., Saeb, K., Application of Modified Multi-Walled Carbon Nanotubes in Removal of Zinc and Nickel from Effluent, Case Study: Effluent of Tarom

در این پژوهش جاذب نانوالیاف ترموپلاستیک پلی یورتان/ پلی آکریلونیتریل توسط روش الکترورسی تهیه شد و توانایی آن برای جذب یون فلزی نیکل و آهن مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی امکان برقراری پیوند بین دو پلیمر پلی یورتان و پلی آکریلونیتریل توسط طیف سنجی IR، از نمونه های نانوالیاف با ترکیب درصدهای مختلف در زمان و PH مختلف جذب اتمی شعله گرفته شد و در نتیجه زمان و PH بهینه جهت آزمایشات جذب به دست آمد. با توجه به نتایج به دست

Industrial Town of Zanjan, *Water and Wastewater Journal*, 33(4), 51-70, 2022.

3. Ghajarieh, A., Farizadeh, Kh., A review on the application of alginate nanocomposites in the removal of heavy metals, *Proceedings of the First National Nanotechnology Conference: Advantages and Applications*, Shahid Mofatteh University, 2013.
4. Mohammed, Y.A., Ma, F., Liu, L., Zhang, C., Dong, H., Wang, Q., Xu, X., Al-Wahbi, A.A., Preparation of electrospun polyvinylidene fluoride/amidoximized polyacrylonitrile nanofibers for trace metal ions

- removal from contaminated water, *J. Porous Mater.*, 28, 383-392, 2021.
5. Moreno-Piraján, J. C., Garcia-Cuello, V. S., Giraldo, L., The removal and kinetic study of Mn, Fe, Ni and Cu ions from wastewater onto activated carbon from coconut shells, *Adsorption*, 17, 505-514, 2011.
 6. Shrestha, R., Ban, S., Devkota, S., Sharma, S., Joshi, R., Tiwari, A.P., Kim, H.Y. and Joshi, M.K., Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review, *Journal of J. Environ. Chem. Eng.*, 9(4), 105688, 2021.
 7. Imam Shushteri, M. M., Helchi, S., Shad afza, S., Pajum Shariati, F., A review on methods for nickel removal from industrial wastewater., *Fourth Congress of Water and Wastewater Science and Engineering of Iran, Qom University of Medical Sciences*, 2022.
 8. Hosseini Shekarabi, H., Hashemzadeh, F., Javid, A. H., Hasani, A. H., Investigation of Nickel Removal from Water by Electrospun Alumina Nanofiber Adsorbent, *Water and Wastewater Journal*, 32(2), 1-14, 2021.
 9. Talebian, A., Najdaki, H., Aliakabarshirazi, S., Habibi, S., Production of gelatin nanofibers from aqueous solvents: Effect of electrospinning parameters on morphology and diameter of nanofibers, *Text. Sci. Tech.*, 7(1), 51-58, 2011.
 10. Elahami, M., Habibi, S., A Study on morphology of Poly(vinyl alcohol)- organoclay nanocomposite nanofibers, *Composite Science and Technology*, 5(3), 325-330, 2018.
 11. koosha, k., Habibi, S., Talebian, A., Study on Morphology of Gelatin Electrospun Nanofiber, *Text. Sci. Tech.*, 7(1), 9-5, 2018.
 12. Zhang, C., Ma, F., Liu, L., Dong, H., Wang, Q., Xu, X., Al-Wahbi, A. A., Adsorption of Nickel Ions by Polyacrylonitrile Nanofibers: Effect of pH and Initial Concentration, *J. Environ. Manage.*, 2020.
 13. Li, X., Guo, J., Wang, Z., Zhao, L., Polyurethane Nanofibers for Iron Ion Removal: Influence of pH and Temperature, *Environ. Sci. Technol.*, 2019.
 14. Wang, J., Li, X., Guo, J., Wang, Z., Zhao, L., Preparation of PAN/PU composite nanofibers and their application for heavy metal ion removal, *J. Environ. Chem. Eng.*, 8(4), 103951, 2020.
 15. Nikkhah Nikkho, M.M., Tahvildari, K., Gholi Ghasri, M.A., Habibi, S. and Nourbakhsh, S., Effect of corona discharge modification on the surface properties of Polyacrylonitril/Thermoplastic polyurethane nanofiber membrane, *J. Theor. Appl. Phys.*, 18(2), 1-13, 2024.
 16. Yoon, J., Sung, Y. K., Kwon, O. H., Moon, J. H., You, N., Yoon, S. Y., Superhydrophobic and antimicrobial properties of polyurethane nanofibers containing tourmaline nanoparticles., *Mater. Sci. Eng., C*, 82, 141-147, 2017.
 17. Ma, M., Hill, R.M., Lowery, J.L., Fridrikh, S.V. and Rutledge, G.C., Electrospun poly(styrene-block-dimethylsiloxane) block copolymer fibers exhibiting superhydrophobicity, *Langmuir*, 21(12), 5549-5554, 2005.
 18. Liu, C., Huang, L., Lai, Y., Huang, Z., Xie, Q., Huang, C., Hydrophilic modification of polyacrylonitrile nanofibers to enhance efficiency for oil/water separation, *Sep. Purif. Technol.*, 217, 298-305, 2019.
 19. Huang, L., Lai, Y., Huang, Z., Xie, Q., Huang, C., Tunable surface properties of electrospun nanofibers for improved filtration performance, *J. Mater. Sci.*, 53(21), 14991-15007, 2018.