

ایجاد گروه‌های عاملی مناسب در ساختار الیاف آکرلیک به منظور جذب ترکیبات یونی فلزی

Incorporating Functional Groups on the Structure of Acrylic Fibers for Adsorption of Metal Ionic Compounds

مژده زرگران^۱، احمد موسوی شوشتری^{۱*}، مجید عبدوس^۲

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱- دانشکده مهندسی نساجی، ۲- دانشکده شیمی، صندوق پستی ۱۵۸۱۷۵/۴۴۱۳

دریافت: ۸۳/۱۱/۱۵، پذیرش: ۸۴/۴/۸

چکیده

در این پژوهش، با انتخاب الیاف آکرلیک متداول تجاری و ایجاد گروه‌های عاملی مناسب در ساختار مولکولی آنها، قابلیت الیاف اصلاح شده در جذب ترکیبات یونی بررسی شد. به این منظور، الیاف آکرلیک با مواد شیمیایی مختلف نظیر هیدروکسیل آمین، هیدرازین و اوره واکنش داده، گروه‌های عاملی ایجاد شده در ساختار الیاف شناسایی و فرمول پیشنهادی در هر مورد ارائه شده است. سپس، برای بررسی قابلیت جذب ترکیبات یونی این گروه‌ها، الیاف اصلاح شده در محلولهای نمکهای فلزی مختلف قرار داده شد. نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که هیدروکسیل آمین در مقایسه با دو ماده دیگر استفاده شده در این پژوهش بازده جذب بیشتری دارد. از سوی دیگر، در اثر عمل آوری الیاف با هیدرازین یا اوره و سپس هیدروکسیل آمین ضمن افزایش تعداد گروه‌های عاملی مناسب جذب در ساختار لیف، بازده جذب یون نیز به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی

آکرلونیتریل، اصلاح شیمیایی،
ترکیبات یونی، گروه‌های عاملی،
ترکیبات آمینی

مقدمه

شده است [۱،۲]. در میان کارهای بسیار انجام شده در سالهای اخیر روی الیاف آکرلیک، بنظر می‌رسد اصلاح ساختار این الیاف برای ایجاد خواص تبادلگر یونی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. زیرا اگرچه روشهای متداولی همچون تبلور، ته نشینی، صاف کردن مرحله به

پلیمرهای آکرلونیتریل که برای تولید الیاف بکار می‌روند، بطور عمومی پلیمرهایی هستند که براحتی طی فرایند پلیمر شدن و ریسندگی یا پس از تولید اصلاح می‌شوند. از این رو، در دو دهه اخیر اصلاح کوپلیمرهای آکرلونیتریل با اهداف مختلف، از موضوعات مهم پژوهشی محسوب

Key Words

acrylonitrile, chemical modification,
ionic compounds, functional groups,
amine compounds

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: amousavi@aut.ac.ir

سبب کاهش خواص فیزیکی ایاف شود.

از جمله روش‌های متداول برای تهیه ایاف تبادلگر یون، استفاده از ایاف تبادلگر یون کی‌لیت کننده است. اصول روش‌های سنتز ایاف تبادلگر یون کی‌لیت کننده، کوپلیمر شدن ترکیبات مونومری (پلیمری) شامل گروه‌های تبادلگر یون کی‌لیت کننده با منومرها یا پلیمرهایی است که قابلیت تشکیل لیف را دارند. در این روش گروه‌های فعال روی لیف اولیه یا کوپلیمر پیوند خورده مشتق شده از آن به گروه‌هایی که قابلیت تبادل یون را دارند، تبدیل می‌شوند [۶]. پلیمرهای مورد استفاده برای تولید لیف، ممکن است یک ترکیب زنجیر کربنی مانند پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن یا زنجیر نامتجانس مانند سلولوز، پلی‌آکریلونیتریل، نایلون [۱۲] و ابریشم [۱۳] باشند [۵]. این روش سبب محدودیت تولید انواع تبادلگرها شده، علاوه بر این پیدا کردن مونومری که هم برای ریسندگی مناسب و هم از قابلیت تبادل یون برخوردار باشد، مشکل است.

یکی از راه‌های حائز اهمیت از نظر تجاری استفاده از ایافی است که واکنش‌پذیری خوبی داشته و بتوان گروه‌های تبادلگر یون را روی این ایاف پس از تولید، از طریق واکنش‌های شیمیایی ساده و کم هزینه ایجاد کرد. بطوری که خواص لیف حفظ شده و امکان تنوع تولید انواع تبادلگرهای آنیونی، کاتیونی و دو خصلتی (آمفوتری) روی آنها وجود داشته باشد. از جمله تبادلگرهای لیفی که با این روش تهیه شده است، می‌توان به ایاف پلی‌آکریلونیتریل یا کوپلیمرهای آن اشاره کرد. ایاف پلی‌آکریلونیتریل در تولید تبادلگرهای لیفی می‌تواند شامل گروه‌های آمیدوکسیم و هیدروکسام، گروه‌های کربوکسیل و تترازین، گروه‌های آمیدرازون - هیدرازین و گروه‌های بیس‌آمید باشند [۵].

در این پژوهش، با بهره‌گیری از روش یاد شده، ایاف آکریلیک متداول تجاری پس از تولید با مواد شیمیایی مختلف نظیر هیدروکسیل آمین هیدروکلرید، هیدرازین و اوره در شرایط مختلف آزمایشگاهی واکنش داده شده و گروه‌های عاملی مناسب در ساختار مولکولی آنها ایجاد شده است، سپس قابلیت ایاف در جذب ترکیبات یونی فلزی نظیر مس و آهن و نیز بازده جذب مجدد ایاف پس از بازیابی یونهای جذب شده اولیه از آنها، بررسی گردیده است.

تجربی

مواد

در این پژوهش، از ایاف آکریلیک تجاری تهیه شده از شرکت پلی‌آکریل ایران با نمره ۳۳۳ dtex، هیدروکسیل آمین هیدروکلرید، هیدرازین، اوره، نیتریک اسید و دی‌متیل فرمامید و نمک‌های فلزی مانند

مرحله، کروماتوگرافی گازی، استخراج مایع - مایع و تبخیر برای زدودن یا احیای اجزای یونی از محلول ارائه شده است، اما بازده و صرفه اقتصادی این روشها در رابطه با محلولهای بسیار رقیق اغلب نامطلوب و فاقد کارایی لازم است. به همین علت، در مواردی که زدودن یا بازیابی و احیای اجزای یونی از محلولهای رقیق مدنظر باشد، روش تبادل یون به دلیل کارایی بیشتر، صرفه جویی در مکان و انرژی و نیز از نظر هزینه، نسبت به تمام روشهای دیگر ارجحیت دارد [۱،۳].

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که پژوهش در مورد ایاف جاذب ترکیبات یونی از اوایل دهه ۸۰ میلادی مطرح شده است. این نوع ایاف در فرایند جذب از محیط آبی و گازی، سرعت و کارایی زیادی دارند و به شکلهای مختلفی نظیر ایاف کوتاه، نخ یا منسوجات بی بافت یا به شکل فیلمها، صافیها و لوله‌ها بکار برده می‌شوند [۸-۴]. این مواد بخوبی در خالص سازی هوا از اسیدها (مانند HF ، HCl ، HCOOH ، HNO_3 و H_2SO_4)، بازها (مانند NH_3 ، PH_3 و NaOH)، مواد آلی یون شونده (مانند آمینها، هیدروژن سولفید، مرکپتانها و ترکیبات ناجور حلقه)، انیدرید اسید (مانند SO_2 ، CrO_3 ، N_xO_y ، SO_3 ، Cl_2 ، Br_2 و H_2S) و نیز در خالص سازی آب از یونهای فلزی (مانند Pb(II) ، Hg(II) ، Cu(II) ، Zn(II) ، Fe(II) ، Fe(III) و Mn(II))، یروسها و باکتریها بکار برده می‌شوند [۹]. همچنین، از این منسوجات محافظ برای جلوگیری از تماس پوست با افشانه‌ها، گردپاشها (aerosol) و بخارات اسیدی و قلیایی استفاده می‌شود [۹].

روشها و فناوری تولید انواع مختلف تبادلگر یون لیفی توسعه زیادی یافته است. یکی از روشهای تولید تبادلگرهای لیفی افزودن مواد تبادلگر یون به شکل افزودنی به مذاب یا محلول پلیمری است [۱۰]. البته باید توجه داشت وجود هر نوع افزودنی سبب کاهش کیفیت خواص لیف شده، گرانی و مذاب یا محلول را برهم زده، قابلیت ریسندگی را کاهش می‌دهد، بنابراین از سرعت تولید می‌کاهد.

در پژوهش انجام شده در دانشگاه ایلینویز (Illinois) تبادلگر جدیدی به شکل لیف ساخته و ادعا شده است که مزایای برجسته‌ای نسبت به بسترهای متداول تبادلگر یون دارد که از آن جمله می‌توان به سرعت بیشتر تبادل یون اشاره کرد. در این پژوهش، ایاف تبادلگر یون در سه مرحله پوشش دهی لیف شیشه ارزان قیمت با اولیگومر پلی‌استیرن - دی‌وینیل‌بنزن، پخت و سولفون دار شدن تهیه می‌شود [۲].

روش دیگر تولید ایاف تبادلگر یون، اضافه کردن منومری که خاصیت تبادل یون دارد به شکل پیوند خورده با پلیمر اصلی است. در پژوهش دیگری، از این روش برای جذب یونهای کبالت، نیکل، جیوه و مس استفاده شده است [۱۱]. البته باید توجه داشت پیوندزنی ممکن است

شد. مقدار یون فلزی موجود در الیاف به کمک معادله (۱) محاسبه شد:

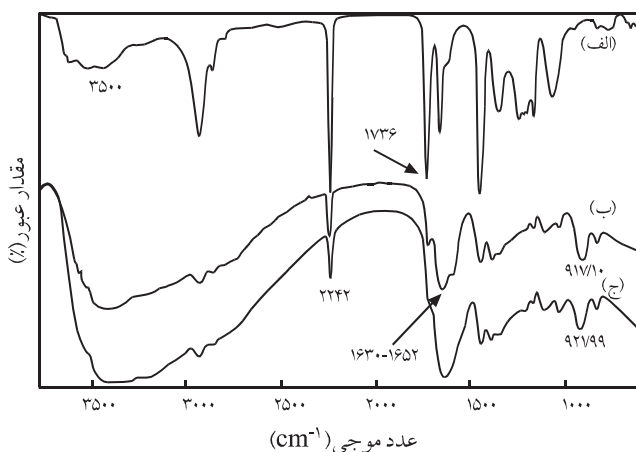
$$C.I = W_1 - W_2 \quad (1)$$

که در این معادله C.I مقدار یون موجود در الیاف، W_1 مقدار یون موجود در محلول فلزی اولیه قبل از ورود الیاف اصلاح شده به آن و W_2 مقدار یون باقیمانده در محلول پس از عمل آوری با الیاف اصلاح شده است.

نتایج و بحث

بررسی ایجاد گروه‌های عاملی مورد نظر در الیاف

در شکل ۱ طیف FTIR لیف آکریلیک (AF)، لیف اصلاح شده و عمل شده با هیدروکسیل آمین (AAF) و لیف اصلاح شده با هیدروکسیل آمین پس از قرارگیری در محلول جیوه کلرید (II) نشان داده شده است. پیکهای جذبی ارتعاش کششی $C\equiv N$ 2242 cm^{-1} و $C=O$ 1736 cm^{-1} (گروه استر) در شکل ۱ (الف) برای لیف آکریلیک اولیه قابل مشاهده است [۱۰، ۱۵]. با توجه به ساختار آکریلونیتریل، گروه استری مشاهده شده را می‌توان به کومونومرهای موجود در ساختار لیف آکریلیک نسبت داد. در شکل ۱ (ب) در اثر واکنش لیف آکریلیک با هیدروکسیل آمین ارتفاع پیکها در 2242 cm^{-1} و 1736 cm^{-1} کاهش می‌یابد که می‌تواند نشان دهنده پیوند هیدروکسیل آمین با گروه‌های قطبی CN در زنجیر آکریلیک باشد که منجر به تشکیل گروه آمیدوکسیم شده و مقدار



شکل ۱ طیف FTIR لیف آکریلیک: (الف) قبل از عمل آوری، (ب) بعد از واکنش با هیدروکسیل آمین و (ج) بعد از واکنش با هیدروکسیل آمین و قرارگیری در محلول جیوه کلرید.

مس سولفات (II)، آهن سولفات (II) و جیوه کلرید (II)، که همگی از نوع آزمایشگاهی و محصول شرکت مرک بودند، استفاده شد.

دستگاهها

برای برداشت طیفهای FTIR، طیف نورسنج Nicolet مدل ۶۷۰ و برای اندازه‌گیری مقدار جذب یون از محلولهای مورد استفاده، دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی مدل ۹۳۹ AA ساخت شرکت UNICAM بکار گرفته شد.

روشها

ایجاد گروه‌های عاملی مختلف روی ساختار الیاف آکریلونیتریل

ابتدا الیاف آکریلیک با استفاده از هیدرازین هیدرات در شرایط مختلف آزمایشگاهی و به کمک آب مقطر با نسبت حجم محلول (۵۰ mL) به وزن کالا (۱ g) برابر $L:G/5:1$ تهیه شد که حدود تغییرات شرایط واکنش برای غلظت g/L ۰-۱۶، دما $^{\circ}C$ ۷۰-۱۰۰ و زمان ۸۰ min است [۱۴].

در مرحله بعد الیاف آکریلیک با استفاده از هیدروکسیل آمین هیدروکلرید در شرایط مختلف آزمایشگاهی و با آب مقطر با نسبت حجم محلول (۵۰ mL) به وزن کالا (۱ g) برابر $L:G/5:1$ تهیه شد که حدود تغییرات شرایط واکنش برای غلظت g/L ۰-۱۶، دما $^{\circ}C$ ۸۰-۹۰ و زمان ۱۰-۱۲۰ min است [۱۴]. سپس، الیاف آکریلیک با استفاده از اوره در شرایط مختلف آزمایشگاهی و با آب مقطر با نسبت حجم محلول (۵۰ mL) به وزن کالا (۱ g) برابر $L:G/5:1$ واکنش داده شد که حدود تغییرات شرایط واکنش برای غلظت g/L ۰-۵، دما $^{\circ}C$ ۷۰-۱۰۰ و زمان ۱۸-۳۰ min است [۱۴].

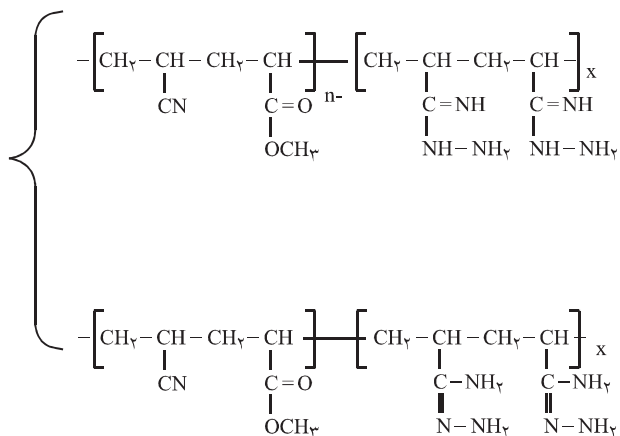
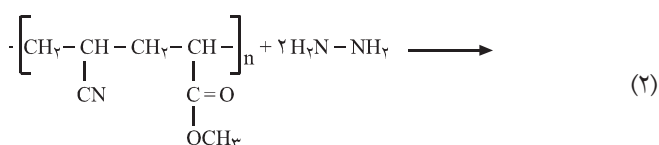
بررسی قابلیت حل شدن الیاف مورد استفاده

برای بررسی قابلیت حل شدن الیاف آکریلیک خام اولیه و نیز الیاف اصلاح شده، g ۰/۱ از هر کدام از نمونه‌های مورد آزمایش در mL ۱۰ حلال دی‌متیل فرمامید در لوله آزمایش در دمای محیط ($^{\circ}C$ ۲۵) به مدت ۳۰ min قرار داده شد.

حذف یونهای فلزی به وسیله الیاف آکریلیک اصلاح شده

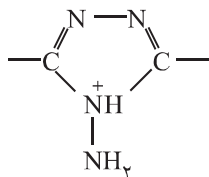
برای بررسی مقدار تبادل یونهای فلزی با گروه‌های عاملی موجود در الیاف اصلاح شده، این الیاف در نمکهای فلزی مس سولفات (II)، آهن سولفات (II) و جیوه کلرید (II) هر کدام به غلظت M ۰/۱ در دمای محیط به مدت ۳۰ min قرار گرفت و برای بازیابی یونهای فلزی جذب شده به وسیله الیاف، از نیتریک اسید M ۲ به مدت ۳۰ min در دمای محیط بر اساس روش ارائه شده توسط Zhang و همکاران [۸]، استفاده

ارتفاع پیکها در 2242 cm^{-1} ($\text{C}\equiv\text{N}$) و 1736 cm^{-1} ($\text{C}=\text{O}$) کاهش می‌یابد که نشان دهنده پیوند هیدرازین با گروه‌های قطبی CN در زنجیر آکریلیک است و منجر به تشکیل گروه هیدرازید شده، مقدار گروه‌های نیتریل و استر را کاهش می‌دهد. در شکل ۲ (ج) شدت پیک جذبی در ناحیه 1600 cm^{-1} کمتر شده در حالی که پیک 1600 cm^{-1} که به ارتعاش کششی پیوند $\text{C}=\text{N}$ اشاره دارد، پهن‌تر و قوی‌تر شده است. در شکل ۲ (ج) در اثر واکنش لیف آکریلیک با هیدروکسیل آمین هیدروکلرید، پیک جذبی در 917 cm^{-1} که به ارتعاش کششی گروه N-O نسبت داده شد، مشاهده می‌شود. در ادامه ساز و کار پیشنهادی برای واکنش هیدرازین با آکریلیک داده شده است:



ساز و کار پیشنهادی برای واکنش هیدرازین با الیاف آکریلیک.

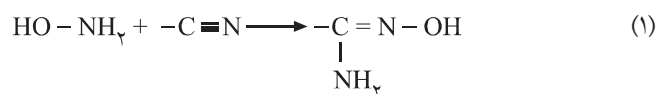
از آنجا که هیدرازین دو گروه عاملی دارد، امکان ایجاد پیوند عرضی در این الیاف وجود دارد. البته برای بررسی صحت این فرض، انجام آزمایش انحلال پذیری لازم بنظر می‌رسد. در زیر ساختار پیشنهادی در حالت تشکیل پیوند عرضی نشان داده شده است:



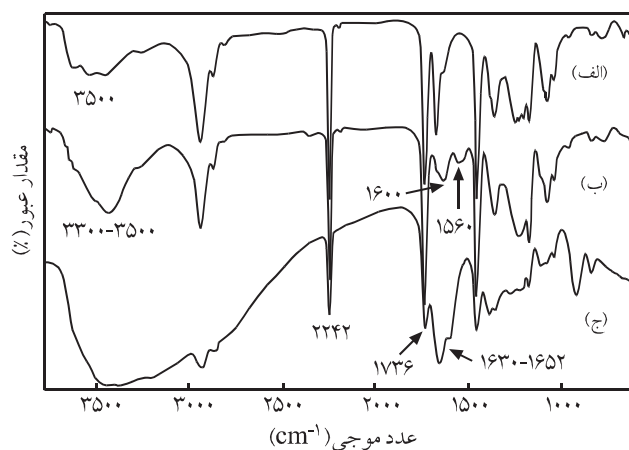
در شکل ۳ طیفهای FTIR آکریلیک اولیه، نمونه‌های لیفی عمل شده با اوره (UAF) و عمل شده با اوره و هیدروکسیل آمین هیدروکلرید (UAAF) نشان داده شده است. در شکل ۳ (الف) پیک جذبی جدیدی

گروه‌های نیتریل و استر را کاهش می‌دهد. همچنین، پیک جذبی جدیدی در 917 cm^{-1} مشاهده می‌شود که با ارتعاش کششی پیوند N-O مطابقت دارد و می‌تواند بیانگر وجود گروه‌های آمید و کسید در لیف آکریلیک اصلاح شده و عمل شده با هیدروکسیل آمین باشد. همچنین، پیک پهن در ناحیه $3300 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ را می‌توان به ارتعاش کششی گروه OH نسبت داد. این نتایج با نتایج ارائه شده توسط Lin و همکاران مطابقت خوبی دارد [۵]. در الیاف اصلاح شده، پس از قرارگیری در محلول جیوه کلرید (شکل ۱ ج)، پیک جذبی N-O به سمت طول موجهای بیشتر (921 cm^{-1}) جابه‌جا می‌شود که به دلیل اثر گروه‌های مجاور (جیوه جذب شده به الیاف) است.

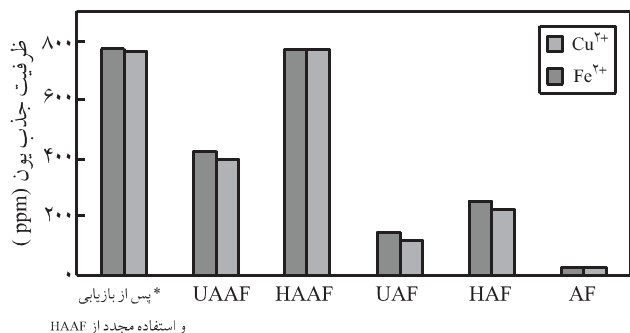
در زیر فرمول پیشنهادی برای واکنش هیدروکسیل آمین با گروه نیتریل داده شده است [۱۰، ۶].



طیفهای FTIR لیف آکریلیک اولیه (AF)، نمونه‌های لیفی عمل شده با هیدرازین (HAF) و عمل شده با هیدرازین و هیدروکسیل آمین (HAHF) در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۲ (ب) پیک جذبی در $3300 - 3600 \text{ cm}^{-1}$ به طول موجهای کوتاه‌تر $3400 - 3600 \text{ cm}^{-1}$ جابه‌جا شده و شدت پیک نیز افزایش یافته است که این موضوع را می‌توان به ارتعاش کششی گروه NH مربوط دانست. پیک جذبی پهن در ناحیه $1652 - 1630 \text{ cm}^{-1}$ احتمالاً به دلیل ارتعاش کششی گروه $\text{C}=\text{N}$ بوده، پیک پهن در 1560 cm^{-1} را می‌توان به همپوشانی ارتعاش کششی C-N با ارتعاش خمشی N-H نسبت داد [۱۰، ۱۵]. همچنین، مشاهده می‌شود که



شکل ۲ طیف FTIR آکریلیک: (الف) قبل از عمل آوری، (ب) لیف عمل شده با هیدرازین و (ج) لیف عمل شده با هیدرازین و هیدروکسیل آمین هیدروکلرید.

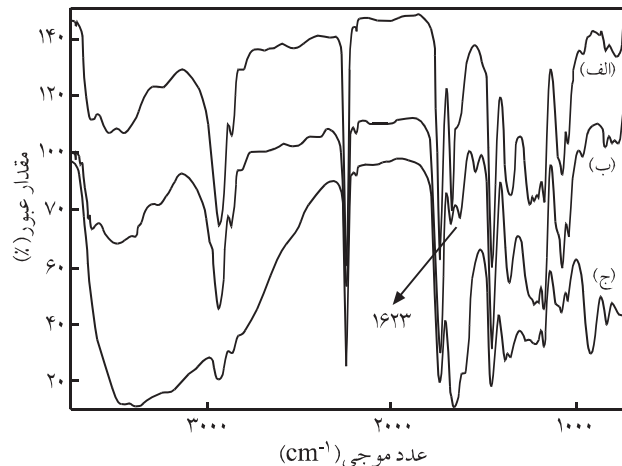


شکل ۴ مقدار جذب یونهای فلزی مس و آهن از محلولهای نمکی آنها. * مقادیر بدست آمده پس از بازیابی لیف با محلول نیتریک اسید و استفاده مجدد از الیاف است.

۴ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می شود جذب یون در نمونه هایی که گروههای عاملی بیشتری روی آنها ایجاد شده بیشتر است. بنابر نتایج آزمایشهای انجام شده، در مقایسه بین HAAF و UAAF، نمونه HAAF جذب یون به مراتب بیشتری دارد. همچنین، با مقایسه نمونه هایی که با هیدرازین و اوره عمل شده اند، نمونه HAF جذب یون بیشتری دارد که نشان دهنده مؤثرتر بودن و جاذب تر بودن گروههای عاملی ایجاد شده در نمونه عمل شده با هیدرازین در مقایسه با نمونه عمل شده با اوره، در شرایط آزمایش است. همچنین، مقدار جذب یون در نمونه های HAAF و UAAF (که به ترتیب نمونه های عمل شده با هیدرازین و نیز اوره به علاوه هیدروکسیل آمین است) در مقایسه با نمونه هایی که تنها با هیدرازین و اوره عمل شده اند به مراتب بیشتر است که این امر می تواند به دلیل افزایش تعداد و تقویت کنندگی متقابل گروههای ایجاد شده مؤثر در ساختار الیاف باشد. در این حالت نیز مشاهده می شود که نمونه های عمل شده با هیدرازین (HAAF)، جذب یون بیشتری نسبت به نمونه های عمل شده با اوره (UAAF)

جدول ۱ بررسی قابلیت حل شدن نمونه های الیاف آکریلیک در حلال DMF.

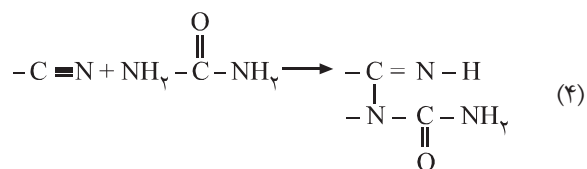
نمونه مورد آزمایش	قابلیت حل شدن در DMF
AF	+
AAF	+
HAF	-
HAAF	-
UAF	+
UAAF	+



شکل ۳ طیف FTIR الیاف آکریلیک: (الف) قبل از عمل آوری، (ب) لیف عمل شده با اوره و (ج) لیف عمل شده با اوره و هیدروکسیل آمین هیدروکلرید.

در 1623 cm^{-1} ظاهر می شود که می توان آن را به ارتعاش کششی پیوند C=O در اوره نسبت داد.

در ذیل فرمول پیشنهادی برای واکنش الیاف آکریلیک با اوره داده شده است:



بررسی قابلیت حل شدن الیاف مورد استفاده

برای بررسی قابلیت حل شدن نمونه های مورد آزمایش و نیز بررسی ایجاد پیوند عرضی در الیاف آکریلیک عمل شده با مواد مختلف، نمونه های لیفی عمل شده با هیدرازین، عمل شده با هیدرازین و هیدروکسیل آمین، عمل شده با اوره و عمل شده با اوره و هیدروکسیل آمین هیدروکلرید در حلال دی متیل فرمامید قرار گرفته اند. نتایج آزمایشها نشان می دهد نمونه هایی که با هیدرازین واکنش نداده اند در حلال دی متیل فرمامید (DMF) حل می شوند، اما نمونه هایی که با هیدرازین واکنش داده و پیوند عرضی ایجاد کرده اند در حلال حل نمی شود. همچنین، در واکنش لیف با هیدروکسیل آمین، اوره و نیز تلفیق دو ماده، الیاف بدست آمده در این حلال حل می گردند. جدول ۱ نتایج حاصل از بررسی حلالیت نمونه های مورد آزمایش را در حلال DMF نشان می دهد.

ظرفیت جذب یون

مقدار جذب یونهای فلزی مس و آهن از محلولهای نمکی آنها در شکل

یونی نسبت به الیاف اصلاح شده با اوره افزایش چشمگیری دارد. همچنین، گروه آمیدوکسیم ایجاد شده در ساختار الیاف گروه عاملی بسیار مؤثر و مناسبی در جذب یونهای نظیر مس و آهن است. این پلیمر لیفی جدید در حالت کلی با توجه به وجود عاملهای جدید، قابلیت جذب انواع ترکیبات یونی نظیر ترکیبات یونی فلزی و رنگها را دارد که در مطالعات آینده به تفصیل بیان خواهد شد.

قدردانی

این طرح با حمایت سازمان گسترش و نوسازی ایران انجام شده است. بدین وسیله مؤلفان از این سازمان که آنها را در انجام طرح یاری کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مراجع

1. *Handbook of Fiber Science and Technology*, Lewin M. and Pearce E.M. (Eds.), Marcel Dekker, New York, **4**, 340-341, 1985.
2. Ishtchenko V.V., Vitkovskaya R.F. and Huddersman K.D., Investigation of the Mechanical and Physico-chemical Properties of a Modified PAN Fibrous Catalyst, *Appl. Catal., A:General*, **242**, 221-231, 2003.
3. Liberti L. and Millar J.R., *Fundamentals and Application of Ion Exchange*, Boston, 6-9, 1985
4. Rether A. and Schuster M., Selective Separation and Recovery of Heavy Metal Ions Using Water-soluble N-benzoylthiourea Modified PAMAM Polymers, *React. Funct. Polym.*, **57**, 13-21, 2003.
5. Pesavento M., Biesuz R., Alberti G. and Driva F., Evaluation of the Sorption of Metal Ions on a Complexing Resin from Different Solutions Based on the Gibbs-Donnan Model, *React. Funct. Polym.*, **46**, 233-246, 2001.
6. Lin W., Lu Y. and Zeng H., Studies of Preparation, Structure, and Properties of an Acrylic Chelating Fiber Containing Amidoxime Groups, *J. Appl. Polym. Sci.*, **47**, 45-52, 1993.
7. Zhang A., Asakura T. and Uchiyama G., The Adsorption Mechanism of Uranium (VI) from Seawater on a Macroporous Fibrous Polymeric Adsorbent Containing Amidoxime Chelating Functional Group, *React. Funct. Polym.*, **57**, 67-76, 2003.
8. Zhang B.W., Fischer K., Bieniek D. and Kettrup A., Synthesis of Carboxyl Group Containing Hydrazine-modified Polyacrylonitrile Fibers and Application for the Removal of Heavy Metals, *React. Funct. Polym.*, **24**, 49-58, 1994.
9. Soldatov V.S., Shunkevich A.A. and Sergeev G.I., Synthesis, Structure and Properties of New Fibrous Ion Exchangers, *React. Funct. Polym.*, **7**, 159-172, 1988.
10. Liu R.X., Zhang B.W. and Tang H.X., Synthesis and Characterization of Poly(acrylamino-phosphonic-carboxyl-hydrazide) Chelating Fibre, *React. Funct. Polym.*, **39**, 71-81, 1999.
11. Ruixia L., Jinlong G. and Hongxiao T., Adsorption of Fluoride, Phosphate, and Arsenate Ions on a New Type of Ion Exchange Fiber, *J. Colloid and Interface Sci.*, **248**, 268-274, 2002.
12. Borrell P., Harrison P.D. and Marriott J.C., Cationic Fibers Suitable for Ion-exchange Materials and their Production, *Eur. Pat. Appl.*, EP 0 194, 766, A1, 1986.
13. Shunkevich A.A. and Fiban Co., *Private Conversation*, Russia, October, 2003.
14. Zargar M., *Studies on Ion-Exchange Fibers Made from Acrylics*, MSc Thesis, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, July, 2004.
15. Socrates G., *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts*, 3rd ed., John Wiley and Sons., Chichester, Chap. 2 and 3, 2001.

نتیجه‌گیری

آزمایشهای انجام شده، جذب یون را در الیاف مورد بررسی تأیید می‌کند. بنظر می‌رسد با توجه به نتایج، می‌توان از این الیاف اصلاح شده بخوبی برای حذف یونهای فلزی نظیر مس و آهن استفاده کرد. در الیاف اصلاح شده با هیدرازین در شرایط بهینه، خواص جذب