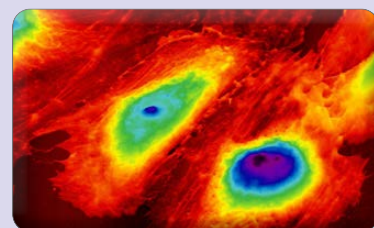


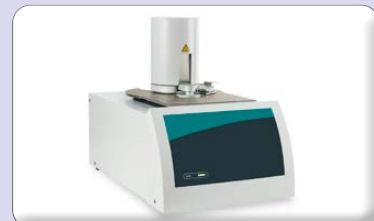
دانش آزمایشگاهی ایران

سال سیزدهم ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۴ ■ شماره پیاپی ۴۹

ISSN 2538-3450



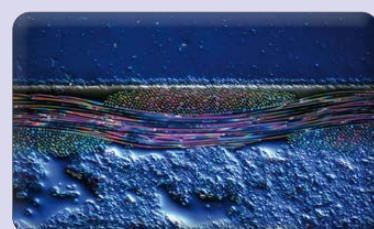
کاربرد میکروسکوپ نیروی اتمی در تحقیقات زیستی؛ با مروری بر کاربرد آن در دندانپزشکی محافظه کارانه و اندودنتیکس



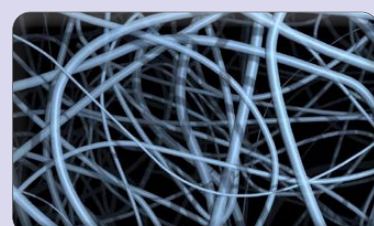
گرماسنجی روبشی تفاضلی - تجزیه گرمایی روش‌هایی برای تشخیص‌یابی بسیار



چگونه انتخاب گرید، کیفیت تصاویر TEM را تعیین می‌کند؟



روش‌های استفاده از رنگ و معرف‌های رنگی در آماده‌سازی نمونه‌های متالوگرافی



تهیه ابرجاذب پلیمری پلی‌اکریلیک اسید/ پلی‌وینیل الکل به روش الکتروریسی بدون نازل و بررسی عوامل موثر دستگاهی بر مورفولوژی آن

کاربردهای میکروسکوپ
الکترونی عبوری به همراه
هوش مصنوعی در حوزه‌های
علمی و صنعتی مختلف

اعتبار ویژه حمایتی شبکه آزمایشگاهی برای شرکت‌های دانش‌بنیان نوپا

پیگیری توسعه شبکه‌سازی آزمایشگاه‌ها در برنامه‌های جمعی

نویسندگان

اسماعیل رنجبری^{*۱}

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

*esmaeil.ranjbari@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶

تهیه ابرجاذب پلیمری پلی اکریلیک اسید/پلی وینیل الکل به روش الکتروریسی بدون نازل و بررسی عوامل موثر دستگاهی بر مورفولوژی آن

واژه‌های کلیدی

ابر جاذب، الکتروریسی بدون نازل، مورفولوژی.

چکیده

در تحقیق حاضر، ساخت نانوالیاف پلی اکریلیک اسید/پلی وینیل الکل با استفاده از روش الکتروریسی بدون نازل مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر عوامل مواد و شرایط فرآیندی بر فرآیند الکتروریسی مطالعه شد. در گام نخست، محلول‌های پلی اکریلیک اسید در غلظت‌های مختلف تهیه و در شرایط فرآیندی مشخص الکتروریسی شدند. براساس مشاهدات عینی و تحلیل مورفولوژی به کمک میکروسکوپ الکترونی، محلول با غلظت ۹ درصد وزنی پلی اکریلیک اسید در آب به‌عنوان ترکیب بهینه انتخاب شد. همچنین، اثر خنثی‌سازی گروه‌های کربوکسیلیک بر فرآیند الکتروریسی و ارتباط آن با ویسکوزیته و هدایت الکتریکی محلول مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خنثی‌سازی ۱۵ درصد از گروه‌های عاملی کربوکسیلیک تأثیر قابل توجهی بر قابلیت ریسندگی محلول دارد. در ادامه، محلول‌های پلی اکریلیک اسید حاوی درصد‌های مختلف پلی وینیل الکل با استفاده از دستگاه الکتروریسی بدون نازل ریسیده شده و مورفولوژی نانوالیاف حاصل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که در شرایط فرآیندی شامل ولتاژ ۳۵ کیلوولت، فاصله جمع‌کننده تا رشته‌ساز برابر با ۱۲/۵ سانتی‌متر و سرعت چرخش رشته‌ساز ۱۵ دور بر دقیقه، محلول پلی اکریلیک اسید/پلی وینیل الکل با نسبت ۱۰/۹۰ (وزنی) کمترین قطر الیاف را با میانگین حدود ۱۰۵ نانومتر تولید کرده است. بر این اساس، این ترکیب به‌عنوان نمونه بهینه انتخاب و تأثیر متغیرهای فرآیندی بر آن به‌طور دقیق‌تری مورد مطالعه قرار گرفت. به‌منظور بررسی اثر متغیرهای فرآیندی شامل ولتاژ اعمالی، فاصله بین رشته‌ساز تا جمع‌کننده و سرعت چرخش رشته‌ساز، هر یک از این عوامل در سه سطح مختلف مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمون‌ها نشان داد که شرایط بهینه برای تولید نانوالیاف با کمترین قطر، شامل ولتاژ ۳۵ کیلوولت، فاصله ۱۰ سانتی‌متر بین رشته‌ساز و جمع‌کننده و سرعت چرخش ۱۵ دور بر دقیقه است. در این شرایط، میانگین قطر الیاف حدود ۱۰۰ نانومتر به‌دست آمد. در ادامه پژوهش، به‌منظور ایجاد اتصالات عرضی و تثبیت ساختار نانوالیاف، مقدار ۲ میلی‌لیتر پلی اتیلن گلایکول ۴۰۰ به محلول الکتروریسی افزوده شد. فرآیند ریسندگی در شرایط بهینه تعیین‌شده انجام گرفت و نانوالیاف حاصل پس از جمع‌آوری، در مایکروویو پخت شدند. برای بررسی رفتار ترمیمی این نانوالیاف، نمونه‌ها در محلول ۹/۰ درصد وزنی کلرید سدیم (آب نمک) و آب مقطر مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میزان تورم نانوالیاف در آب نمک حدود ۱۷۰۰۰ درصد و در آب مقطر حدود ۵۸۰۰۰ درصد بوده است.

هیدروژل‌ها، شبکه پلیمری سه‌بعدی نامحلول در آب هستند که با حفظ ساختار خود در آب متورم می‌شوند و توانایی نگهداری مقدار آب زیادی را دارند. به عبارت دیگر، این مواد، جاذب‌های طبیعی یا مصنوعی آب و محلول‌های آبی هستند که ممکن است در حجم خود شامل بیش از ۹۹ درصد آب باشند. به طور عمومی هیدروژل‌ها را به عنوان پلیمرهایی که توانایی تورم در آب با حفظ کسر مهمی از آب در ساختار خود دارا هستند (بیشتر از ۲۰ درصد از حجم ساختار خود) بدون اینکه خود در آب و یا سیال مورد نظر حل شوند، تعریف می‌کنند. این مواد همواره درجه زیادی از انعطاف‌پذیری را همچون لیاف طبیعی از خود نشان می‌دهند که منجر به ظرفیت آب‌پذیری زیاد آن‌ها می‌شود [۱ تا ۴].

کاربردهای هیدروژل‌ها به سرعت در حال گسترش است، از کاربردهای مهم هیدروژل‌ها می‌توان به استفاده در زمینه‌های، بهداشتی، پزشکی، کشاورزی و باغبانی، داربست رگ‌ها در پزشکی، پوشک بچه و نوار بهداشتی در زمینه‌های بهداشتی اشاره نمود [۵ و ۶].

ابرجاذب‌های پلیمری^۱ مواد جاذبی هستند که در حدود (۱۰۰۰ و حتی بیشتر) برابر وزن خود آب و یا محلول‌های آبی را جذب می‌کنند. بیشتر ابرجاذب‌های پلیمری متعارف در ظاهر به شکل سخت، خشک و پودرهای گرانول هستند که به شدت شبیه به شن‌های سفید و تمیز دریا و یا گرانول‌های شکر هستند. از شکل‌های دیگر این مواد، می‌توان به میکرو کره‌های پودری که دارای رشته‌های نازک هستند، اشاره نمود [۲، ۴ و ۷].

به‌طور عمده، در یک تقسیم‌بندی کلی، ابرجاذب‌های پلیمری به دو دسته زیر طبقه‌بندی شده‌اند [۳ و ۸]:

۱. مصنوعی: ابرجاذب‌های پایه محصولات پتروشیمی؛

۲. طبیعی: ابرجاذب‌های بر پایه پلیمرهای طبیعی (به عنوان مثال، پلی ساکاریدها، پایه پروتئینی).

با این وجود، بسیاری از ابرجاذب‌های موجود از منومرهای آکریلیک اسید^۲ و نمک‌های آن و یا آکريل آمید با استفاده از روش‌های پلیمریزاسیون محلولی^۳ و برگردان تعلیقی^۴ ساخته شده‌اند.

با توجه به موارد بیان شده می‌توان دریافت که استفاده از سامانه‌های ابرجاذب با توجه به اهمیت کاربرد آنها در جنبه‌های گوناگون زندگی و صنعتی به‌صورت روزافزونی در حال گسترش است؛ از این رو، در تحقیقات انجام شده روی این مواد، بهینه‌سازی خواص و برطرف کردن مشکلات و نقایص موجود در این مواد، به عنوان موضوعاتی مهم مطرح و مورد توجه هستند، به همین دلیل، در سال‌های اخیر رویکرد محققان در تهیه و تولید سامانه‌های نوینی از ابرجاذب‌ها بوده و تحقیقاتی در این زمینه انجام گرفته است که می‌توان به ساخت هیدروژل‌ها در مقیاس نانو با استفاده از روش الکتروریسی اشاره نمود [۴، ۸ و ۹]. در الکتروریسی، لیاف با استفاده از نیروی الکترواستاتیک ساخته می‌شوند. لیاف ساخته شده با این روش دارای قطری در مقیاس چند نانومتر تا چند میکرومتر هستند. لیاف الکتروریسی شده به دلیل ویژگی منحصربه‌فرد خود دارای کاربردهای فراوانی از قبیل استفاده در ساخت حسگر، زخم پوشش، دارورسانی، فیلتر، غشاء و غیره هستند. این ویژگی منحصربه‌فرد ناشی از نسبت سطح به حجم بالا، تخلخل قابل تنظیم و ساختار سه‌بعدی به هم پیوسته لیاف است [۱ و ۱۰].

در سال‌های اخیر روش الکتروریسی به‌صورت فعال برای تولید هیدروژل‌ها استفاده شده‌است. در زمینه ساخت نانوالیاف پلی‌اکریلیک اسید به روش الکتروریسی چندین گزارش ارائه شده‌است؛ اما در موارد محدودی از گزارش‌ها فقط در مورد ایجاد پیوندهای عرضی بحث شده‌است. در بیشتر تحقیقات انجام شده به جز در دو مورد، ساخت نانوالیاف با هدف بررسی امکان‌پذیری ساخت و مطالعه مورفولوژی نانوالیاف و با استفاده از فرآیند الکتروریسی سوزنی صورت گرفته است [۱۱ تا ۱۷]. لازم به ذکر است که در نانوالیاف، اگر بین زنجیره‌های پلیمری ابرجاذب اتصال عرضی صورت نگیرد، چنانچه در معرض آب قرار گیرد، به سرعت حل می‌شود. با ایجاد اتصال عرضی، یک ساختار شبکه‌ای از نانوالیاف ایجاد می‌شود. لازم به ذکر است به‌منظور حفظ استحکام و ساختار نانوالیاف زمانی که از آنها به عنوان نانوالیاف هیدروژل استفاده می‌شود باید این لیاف، شبکه‌ای شوند که برای این کار، روش‌های زیر ارائه شده‌است:

• شبکه‌ای کردن شیمیایی مانند گلو تار آلدئید^۵؛

• پرتو الکترون یا تابش گاما؛

• شبکه‌ای کردن فیزیکی مانند عملیات حرارتی.

البته باید متذکر شد که این روش‌ها، بیشتر برای ترکیباتی که در ساختار خود گروه کربوکسیل دارند، کاربرد بیشتری دارد [۱۸ و ۱۹].

کیم و همکارانش با استفاده از الکتروریسی سوزنی توانستند پلی‌اکریلیک اسید^۶ را به‌صورت نانوالیاف در بیاورند [۱۲]. البته به دلیل اینکه پلی‌اکریلیک اسید رسانای خوبی نیست، نانوالیاف به‌دست آمده از الکتروریسی این ماده، به تنهایی دارای سطحی پر از گره است. آنها از سدیم کلرید برای رسانایی بیشتر و ایجاد فرآیند تولید آسان‌تر استفاده کردند.

در سال ۲۰۱۴، مینگ و همکاران [۱۴] با هدف توسعه یک مدل مصنوعی برای کاربردهای پزشکی به‌ویژه به‌عنوان لایه سطحی اعصاب، از نانوالیاف پلی‌اکریلیک اسید تولیدشده به روش الکتروروسی استفاده کردند. آن‌ها موفق شدند نانوالیافی با قطر میانگین حدود ۸۲۰ نانومتر تولید کرده و از طریق عملیات حرارتی، الیاف مذکور را در حضور اتیلن گلاکول در معرض فرآیند پخت قرار دهند.

لی و همکارش [۲۰] نانوالیاف پلی‌اکریلیک اسید را از طریق روش الکتروروسی سوزنی از محلولی شامل پلی‌اکریلیک اسید در حلال دی‌متیل فرم‌امید تولید کردند. فرآیند پخت این نانوالیاف با استفاده از بتا-سیکلودکسترین در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه انجام گرفت. نانوالیاف حاصل دارای قطری در بازه ۸۰ تا ۵۰۰ نانومتر بودند. نتایج نشان دادند که رفتار تورمی این نانوالیاف به pH محیط حساس بوده و خواص تورمی آن‌ها بسته به میزان اسیدی یا بازی بودن محلول تغییر می‌کند.

الکتروروسی هیدروژل پلی‌اکریلیک اسید/پلی‌وینیل الکل توسط آردنت و همکاران [۱۶] و زینگ و همکارانش [۱۷] مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج پژوهش‌ها نشان داد که با حرارت‌دهی نانوالیاف تولید شده تا دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد، واکنش استریفیکاسیون^۷ آهسته‌ای بین گروه‌های کربوکسیلیک اسید (در پلی‌اکریلیک اسید) و گروه‌های هیدروکسیل (در پلی‌وینیل الکل) رخ می‌دهد که در نهایت منجر به ایجاد پیوندهای عرضی بین زنجیره‌های پلیمری می‌شود.

در سال ۲۰۱۲، لینکا و همکارش [۲۱] ساخت ورقه‌های نانوالیاف ابرجاذب پلی‌اکریلیک اسید به روش الکتروروسی با استفاده از دستگاه الکتروروسی بدون نازل نانواسپایدر را مورد مطالعه قرار دادند. برای ایجاد پیوندهای عرضی پلی‌اکریلیک اسید از پلی‌اتیلن اکساید^۸ در معرض حرارت استفاده شد. در این تحقیق، سرعت و ظرفیت جذب مطالعه و با پودرهای جاذب تجاری مقایسه شد. نتایج نشان داد که سرعت جذب نمونه‌های نانوالیاف از پودرهای جاذب بسیار بیشتر و ظرفیت جذب آنها اندکی بیش از پودر ابرجاذب تجاری است.

در ثبت اختراع صورت گرفته توسط شرکت بی‌اس‌اف [۱۱] گزارشی از ساخت نانوالیاف پلی‌اکریلیک اسید به روش الکتروروسی بدون نازل که با دستگاه نانواسپایدر ساخته شده، ارائه شده‌است. در این ثبت اختراع نمونه‌های مختلفی از نانوالیاف پلی‌اکریلیک اسید با عملیات حرارتی در دمای ۱۳۰ تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و از عوامل پختی مانند مخلوط ۲-هیدروکسی اتیل ۲-اکرازولیدین و ۱ و ۳ پروپان دی‌ال و همچنین دناکول ای ایکس-۸۱۰ استفاده و پس از انجام عملیات، ظرفیت نگهداری نمونه‌ها در سانتی‌فیوژ^۹ اندازه‌گیری شد.

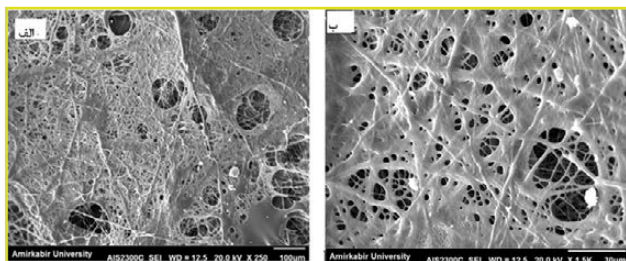
در این تحقیق، تولید هیدروژل پلی‌اکریلیک اسید/پلی‌وینیل الکل با استفاده از روش الکتروروسی بدون سوزن، عوامل موثر بر مورفولوژی آن و ایجاد اتصالات عرضی با استفاده از اشعه مایکروویو مورد بررسی قرار گرفت. برای الکتروروسی محلول پلی‌اکریلیک اسید / پلی‌وینیل الکل، ابتدا الکتروروسی پلی‌اکریلیک اسید به تنهایی مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این کار، محلول (۱۲) درصد وزنی از پلی‌اکریلیک اسید تهیه شد. برای تهیه محلول، پلیمر را در داخل بشر ریخته و بعد از اضافه کردن آب، مخلوط به مدت ۶ ساعت با هم‌زن مکانیکی با سرعت ۵۰۰ rpm در دمای محیط هم‌زده شد تا یکنواخت شود. محلول تهیه شده با شرایط فرآیندی ولتاژ ۳۵ Kv، فاصله جمع‌کننده تا رشته‌ساز ۱۲/۵ cm و سرعت رشته‌ساز ۱۵ rpm با دستگاه الکتروروسی آزمایشگاهی رسیده شد. مشاهدات عینی و نتایج میکروسکوپ الکترونی نشان داد که الکتروروسی پلی‌اکریلیک اسید به تنهایی به دلیل نیاز به یک میدان مغناطیسی بالا برای کشیدن محلول، سخت و در عمل غیر ممکن است. با توجه به اینکه رسانایی و ویسکوزیته از عوامل تاثیرگذار در فرآیند الکتروروسی هستند [۲] در ادامه، محلول (۵۰) درصد وزنی سدیم هیدروکسید در آب به‌عنوان کمک فرآیند مورد استفاده قرار گرفت که باعث افزایش رسانایی، ویسکوزیته و pH محلول شد.

پس از آن محلول‌هایی با درصدهای وزنی ۹ و ۱۱ از پلی‌اکریلیک اسید ساخته شد. برای انجام فرآیند پخت به هر نمونه ۴۰۰ میلی‌لیتری، ۲ میلی‌لیتر پلی‌اتیلن گلیکول اضافه شد. همچنین برای جلوگیری از قطره پراکنی و تشکیل گره و سایر مشکلات فرآیندی به همه محلول‌ها ۲ میلی‌لیتر نمک سدیم کلرید (۰/۱) مولار اضافه شد. همه محلول‌ها با شرایط یکسان و کاملاً مشابه با شرایط فرآیندی قبل رسیده شدند. به نظر می‌رسد علاوه بر افزایش غلظت و ویسکوزیته، اضافه کردن پلی‌وینیل الکل به پلی‌اکریلیک اسید می‌تواند یکی از راه‌حل‌های ساخت نانوالیاف پلی‌اکریلیک اسید با مورفولوژی یکنواخت باشد؛ با توجه به تصاویر و هیستوگرام نمونه‌ها و میانگین قطر الیاف و با لحاظ نمودن نکات ایمنی دستگاه، محلول ۹ درصد وزنی پلی‌اکریلیک اسید برای ادامه مسیر تحقیق انتخاب شد. در گام بعدی تحقیق، به محلول ۹ درصد وزنی به ترتیب ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی مقدار جامد پلیمر با پلی‌وینیل الکل جایگزین شد. بعد از یکنواخت شدن، مخلوط‌های مورد نظر همگی با همان شرایط قبلی رسیده شدند. براساس نتایج حاصل شده، محلول ۹ درصد وزنی با نسبت ۱۰/۹۰، پلی‌اکریلیک اسید / پلی‌وینیل الکل به‌عنوان نمونه بهینه برای بررسی عوامل موثر بر مورفولوژی در ادامه تحقیق انتخاب شد. به‌منظور بررسی عوامل موثر بر مورفولوژی و قطر الیاف، غلظت، ولتاژ، فاصله بین رشته‌ساز و جمع‌کننده و سرعت چرخش رشته‌ساز مورد مطالعه قرار گرفت، در انتها میزان تورم نمونه بهینه و نمونه شاهد در آب مقطر و آب نمک ۰/۹ درصد وزنی مورد بررسی قرار گرفت.

جدول (۳): شرایط الکتروریسی پلی اکریلیک اسید [۱].

۱۲	غلظت محلول (درصد وزنی)
۳۵	ولتاژ (Kv)
۱۲/۵	فاصله جمع کننده (cm)
۱۵	سرعت رشته ساز (rpm)

در محلول های پلی اکریلیک اسید خالص به علت رسانایی بالا و همچنین هم چسبی شدید ناشی از پیوندهای هیدروژنی علاوه بر الیاف، قطرات محلول نیز از سطح درام ریسنده به سمت جمع کننده کشیده می شود، به همین دلیل، سطح جمع کننده با افزایش حلال روبرو شده و خیلی سریع خیس و چسبناک می شود. وجود مقدار زیاد حلال در لایه نانوالیاف، که ناشی از فرآیند قطره ریزی است، در تصاویر میکروسکوپ الکترونی شکل (۱) به وضوح قابل مشاهده است؛ این امر موجب به هم چسبیدن الیاف به یکدیگر و از بین رفتن ساختار لیفی می شود. در نمونه های حاوی پلی اکریلیک اسید خالص، پدیده قطره ریزی بر سطح جمع کننده بالایی دستگاه در حین فرآیند الکتروریسی به وضوح قابل مشاهده بود که به عنوان یکی از نقاط ضعف این فرآیند شناخته می شود. با ادامه ریسنده گی، چسبناکی سطح جمع کننده به طور قابل توجهی افزایش یافته و موجب اختلال در ادامه فرآیند می شود. لازم به ذکر است که از بین رفتن ساختار نانولیفی و به هم چسبیدن الیاف باعث کاهش مساحت سطح و از دست رفتن خواص نانویی محصول می شود. در این تحقیق، برای رفع مشکل قطره ریزی، روش های مختلفی از جمله افزایش غلظت و خنثی سازی با محلول ۵۰ درصد وزنی سدیم هیدروکسید در آب به کار گرفته شد. تمام این روش ها در راستای افزایش رسانایی و ویسکوزیته محلول بود.



شکل (۱): تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه پلی اکریلیک اسید الکتروریسی شده از محلول ۱۲ درصد وزنی. (الف): بزرگنمایی ۲۵۰، (ب): بزرگنمایی ۱۵۰۰ [۱].

تأثیر افزایش غلظت پلی اکریلیک اسید در بازه ۶ تا ۱۶ درصد وزنی در آب مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار، محلول هایی با غلظت های ۶، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ درصد وزنی از نمونه پلی اکریلیک اسید در حلال آب تهیه و با شرایط ذکر شده در جدول (۳) مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت پلی اکریلیک اسید در محلول، از ۶ درصد وزنی به حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد وزنی، فرآیند

بخش عملی تحقیق (نتایج تجربی)

• مواد و دستگاه

مشخصات مواد استفاده شده در این تحقیق در جدول (۱) ذکر شده است:

جدول (۱): بخش های تنظیمی دستگاه.

ردیف	نام ماده	شرکت تولید کننده	چگالی در 25°C (g/cm^3)	جرم مولکولی (g/mol)
۱	پلی اکریلیک اسید	سیماب رزین	۱/۱۳	۱۲۶۰۰۰
۲	پلی وینیل الکل	مرک	۱/۲-۱/۳	۷۲۰۰۰
۳	پلی اتیلن گلیکول	کیمیگران امروز	۱/۱۲۳	۴۰۰
۴	سدیم کلرید	مرک	۲/۱۷	۵۸/۴۴

دستگاه های استفاده شده در این تحقیق، در جدول (۲) آمده است:

جدول (۲): تجهیزات کاربردی [۱].

ردیف	نام دستگاه
۱	سنجشگر پی اچ
۲	رسانی متر
۳	ویسکومتر
۴	میکروسکوپ الکترونی
۳	ماکروویو
۴	الکتروریسی بدون نازل

نتایج و بحث

• بخش اول: تهیه و بررسی مورفولوژی نانوالیاف

◀ الکتروریسی پلی اکریلیک اسید

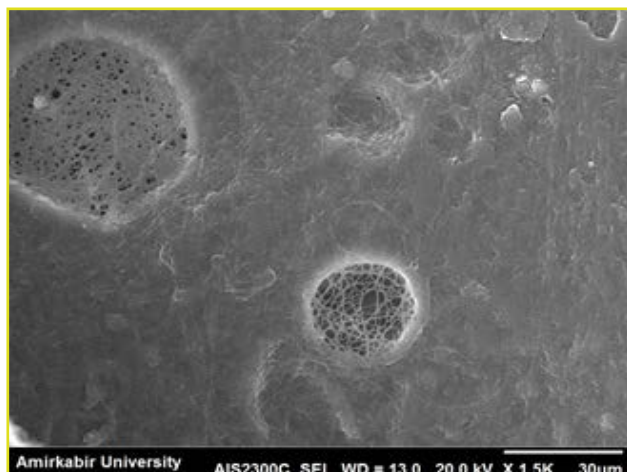
به منظور بررسی الکتروریسی، ابتدا محلولی با غلظت ۱۲ درصد وزنی پلی اکریلیک اسید در آب تهیه شد و فرآیند الکتروریسی مطابق شرایط ذکر شده در جدول (۳) انجام شد.

گرفت. در گام بعدی، به منظور بررسی تأثیر خنثی سازی بر فرآیند الکتروریسی پلی اکریلیک اسید، به ترتیب ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد از گروه های کربوکسیلیک محلول ۹ درصد وزنی پلی اکریلیک اسید، با محلول ۵۰ درصد وزنی سدیم هیدروکسید خنثی سازی شدند. شرایط آزمایش ها در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): شرایط آزمون های بررسی تأثیر خنثی سازی بر الکتروریسی [۱].

غلظت محلول (درصد وزنی)	۹	۹	۹
خنثی سازی (COOH%)	۲۰	۱۵	۱۰
ولتاژ (Kv)	۳۵	۳۵	۳۵
فاصله جمع کننده (cm)	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۲/۵
سرعت رشته ساز (rpm)	۱۵	۱۵	۱۵

مطالعات مورفولوژیکی نشان داد، در نمونه ای که با ۱۰ درصد خنثی سازی پلی اکریلیک اسید تهیه شده بود، فرآیند الکتروریسی انجام نشده است. همان طور که از تصویر میکروسکوپ الکترونی شکل (۲) مشاهده می شود، یک لایه نازک از پلی اکریلیک اسید ایجاد شده که اصلاً ساختار لیفی ندارد. از میان نمونه های تهیه شده، نمونه های ترکیبی با درصد خنثی سازی ۱۵ درصد و تا حدی نمونه با ۲۰ درصد خنثی سازی، قابلیت انجام فرآیند الکتروریسی را داشتند. با توجه به شرایط مطلوب ریسندگی نمونه ۱۵ درصد، تمرکز بیشتری بر این نمونه صورت گرفت. همچنین مشاهده شد که افزودن ۲ میلی لیتر محلول نمک با غلظت ۰/۲ مولار، کیفیت الکتروریسی را به طور قابل توجهی بهبود می بخشد و نتایج قابل قبولی به دست آمد. در شکل (۳) شکل گیری ساختار نانولیفی این نمونه ها به خوبی مشاهده می شود.



شکل (۲): تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه پلی اکریلیک اسید با خنثی سازی ۱۰ درصدی الکتروریسی شده از محلول ۹ درصد وزنی در بزرگنمایی ۱۵۰۰ برابر [۱].

الکتروریسی بهبود یافت؛ با این حال، پدیده قطره ریزی همچنان مشاهده می شد. در غلظت ۱۲ درصد وزنی، اگرچه میزان قطره ریزی به طور قابل توجهی کاهش یافت، اما به دلیل افزایش چسبندگی و خواص الاستیکی محلول، تشکیل رشته های ضخیم و پیوسته بین نازل ریسنده و جمع کننده رخ داد. این امر، موجب ایجاد پل های لیفی شد که برقراری قوس الکتریکی میان الکترودها و در نهایت، آسیب به دستگاه را در پی داشت. شایان ذکر است که شدت این پدیده در غلظت های بالاتر به مراتب افزایش یافت؛ به گونه ای که به دلیل تشکیل شدیدتر پل های لیفی و همچنین افزایش قابل توجه ویسکوزیته، امکان الکتروریسی محلول های با غلظت بیش از ۱۴ درصد وزنی فراهم نشد. با افزایش غلظت، اگرچه از مقدار قطره ریزی اندکی کاسته شد اما به دلیل افزایش ویسکوزیته، فشار زیادی به موتور دستگاه وارد می شد که این موضوع حتی منجر به سوختن موتور درام ریسنده دستگاه و ایجاد وقفه در کار شد. برای بررسی بیشتر، از محلول های ساخته شده آزمون های رسانایی، ویسکومتری و PH گرفته شد. نتایج این آزمون ها در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴): تأثیر غلظت پلی اکریلیک اسید بر رسانایی، ویسکوزیته و pH [۱].

غلظت محلول (درصد وزنی)	۶	۹	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶
رسانایی محلول (ms/cm)	۱/۷	۱/۹۲	۲	۲/۲۲	۲/۴۵	۲/۶۷
ویسکوزیته محلول (mPa.S)	۳۵	۱۱۰	۲۳۰	۵۵۰	۱۳۰۰	۲۲۰۰
pH محلول	۱/۸۵	۱/۷۸	۱/۷۷	۱/۷۴	۱/۷۰	۱/۶۵

براساس نتایج حاصل از اندازه گیری pH و رسانایی، می توان نتیجه گرفت که با افزایش غلظت پلی اکریلیک اسید، مقدار pH کاهش و رسانایی محلول افزایش می یابد. این رفتار را می توان به ماهیت آنیونی و خاصیت پلی الکترولیتی پلی اکریلیک اسید نسبت داد که منجر به افزایش یون های آزاد در محلول و در نتیجه افزایش رسانایی می شود. به عبارت دیگر، گروه های عاملی کربوکسیلیک اسید (COOH-) موجود در زنجیره های جانبی پلی اکریلیک اسید با از دست دادن پروتون (H^+)، به گروه های کربوکسیلات (COO^-) تبدیل می شوند و در نتیجه، بار منفی ایجاد می کنند. حضور این گروه های اسیدی در زنجیره اصلی پلیمر و افزایش غلظت پلی اکریلیک اسید در محلول، منجر به آزادسازی بیشتر یون های H^+ و در نهایت، کاهش pH محلول می شود. با توجه به نتایج نامطلوب ناشی از افزایش غلظت، بهبود فرآیند ریسندگی از طریق خنثی سازی گروه های کربوکسیل پلی اکریلیک اسید مورد بررسی قرار

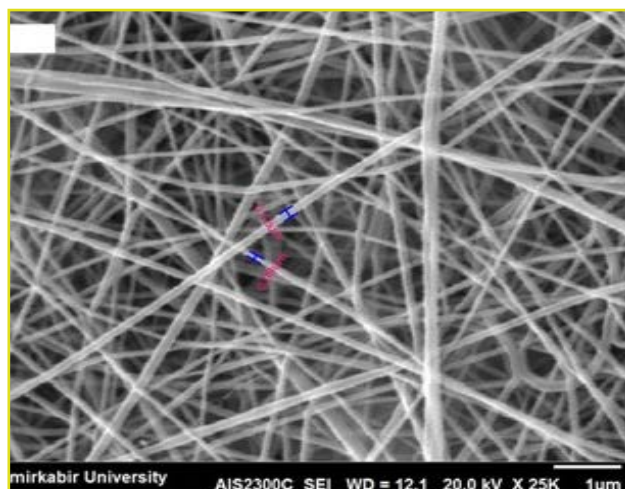
در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول (۷): شرایط آزمون‌های بررسی تعیین غلظت بهینه پلی‌اکریلیک اسید خنثی شده [۱].

۱۱	۹	۷	غلظت محلول (درصد وزنی)
۳۵	۳۵	۳۵	خنثی‌سازی (COOH%)
۱۲/۵	۱۲/۵	۱۲/۵	ولتاژ (Kv)
۱۵	۱۵	۱۵	فاصله جمع‌کننده (cm)
۱۵	۱۵	۱۵	سرعت رشته‌ساز (rpm)

پس از آماده‌سازی محلول‌های همگن با شرایط نشان داده شده در جدول (۷)، ریسندگی صورت گرفت و لایه تشکیل شده از الیاف روی صفحه جمع‌کننده پس از خشک شدن با کمک میکروسکوپ الکترونی مورد مطالعه قرار داده شد.

با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی شکل (۴) و نمودار توزیع اندازه ذرات که در شکل (۵) نشان داده شده است، با افزایش غلظت پلی‌اکریلیک اسید در محلول، قطر الیاف افزایش یافته است. غلظت محلول پلیمری یکی از عوامل بسیار تاثیرگذار بر قطر و مورفولوژی الیاف است به طوری که با افزایش غلظت، قطر الیاف افزایش می‌یابد. در حقیقت با افزایش غلظت محلول، دانسیته گره‌خوردگی‌های فیزیکی در زنجیرهای پلیمری افزایش می‌یابد و ویژگی ویسکوالاستیک محلول تحت تاثیر قرار می‌گیرد. گره‌خوردگی‌های فیزیکی زنجیرهای پلیمری در محلول و افزایش این گره‌خوردگی‌ها با افزایش غلظت، منجر به افزایش ویسکوزیته محلول می‌شود. این امر، باعث افزایش مقاومت محلول در برابر نیروی کشش ناشی از بارهای موجود در داخل جریان می‌شود.



شکل (۳): تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه الکترورسی شده از محلول ۹ درصد وزنی پلی‌اکریلیک اسید با درصد خنثی‌سازی ۱۵ در بزرگنمایی‌های ۲۵۰۰۰ برابر [۱].

برای بررسی بهتر، در این مراحل نیز از محلول‌های ساخته شده آزمون‌های رسانایی، ویسکومتری و pH گرفته شد. نتایج این آزمون‌ها در جدول (۶) نشان داده شده است:

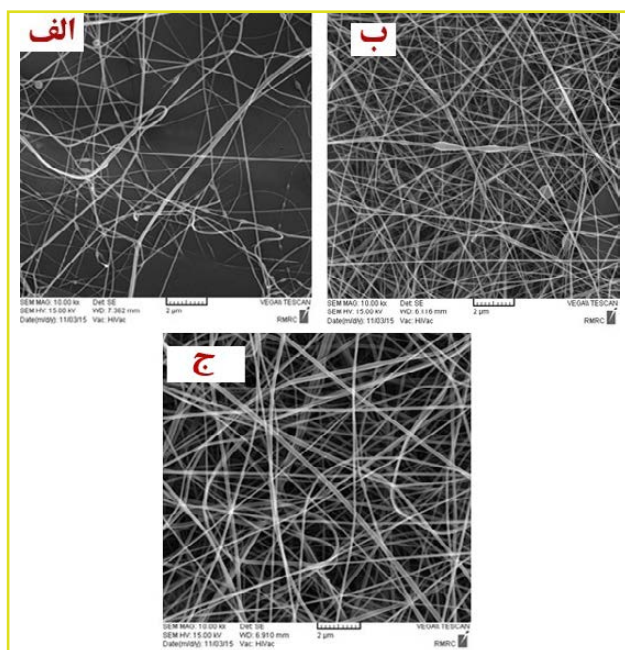
جدول (۶): تاثیر خنثی‌سازی پلی‌اکریلیک اسید بر رسانایی، ویسکوزیته و pH [۱].

۹	۹	۹	غلظت محلول (درصد وزنی)
۲۰	۱۵	۱۰	خنثی‌سازی (COOH%)
۱۴/۹	۱۰/۵۳	۶/۲	رسانایی محلول (ms/cm)
۴۶۰	۳۶۴	۲۸۰	ویسکوزیته محلول (mPa.S)
۵/۱	۳/۹۱	۲/۷	pH محلول

یکی از عوامل مؤثر بر مورفولوژی الیاف حاصل، ویسکوزیته محلول پلیمری است که به میزان درگیری فیزیکی زنجیرهای پلیمری در داخل محلول بستگی دارد. در طول فرآیند الکترورسی، میزان درگیری زنجیرهای پلیمری، تعیین‌کننده پایداری جریان است؛ به گونه‌ای که کاهش این درگیری می‌تواند منجر به پارگی جریان و تشکیل قطرات کوچک شود و در مقابل، درگیری بیش از حد ممکن است باعث ایجاد الیاف همراه با مهره‌های غیریکنواخت شود. با توجه به ارتباط بین وجود مهره و قطره پرانی با ویسکوزیته و همچنین نتایج به‌دست آمده برای رسانایی و ویسکوزیته محلول‌ها در جدول (۶) می‌توان از بین رفتن مهره‌ها و قطع شدن قطره پرانی را ناشی از افزایش ویسکوزیته به دلیل خنثی‌سازی گروه‌های کربوکسیل پلی‌اکریلیک اسید دانست.

◀ تعیین غلظت بهینه پلی‌اکریلیک اسید خنثی شده

پس از انجام آزمایش‌های اولیه، محدوده مناسب غلظت پلی‌اکریلیک اسید خنثی‌شده در آب بین ۷ تا ۱۱ درصد وزنی تعیین شد. بر این اساس، آزمایش‌ها در سه غلظت مختلف و با ثابت نگه داشتن سایر عوامل انجام شد. شرایط این آزمایش‌ها



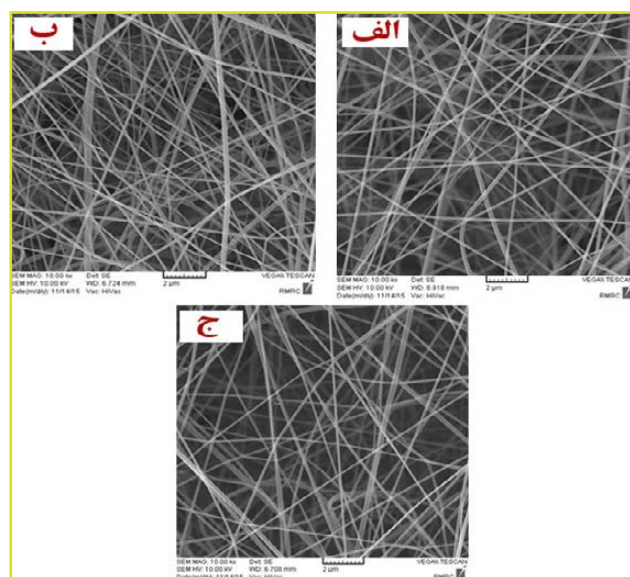
شکل (۴): تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه الکترورسی شده از محلول ۷ درصد وزنی پلی‌اکریلیک اسید با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰. (الف): محلول ۷ درصد وزنی، (ب): محلول ۹ درصد وزنی و (ج): محلول ۱۱ درصد وزنی [۱].

بررسی تأثیر غلظت پلی وینیل الکل بر مورفولوژی نانوالیاف پلی اکریلیک اسید، پس از انجام آزمایش‌های اولیه، محدوده مناسب غلظت بین ۵ تا ۱۵ درصد وزنی پلی وینیل الکل در آب تعیین و آزمایش‌ها در سه غلظت مختلف و با ثابت نگه داشتن سایر عوامل انجام شد. شرایط این آزمایش‌ها در جدول (۹) نشان داده شده‌است.

جدول (۹): شرایط آزمون‌های بررسی تعیین غلظت بهینه پلی وینیل الکل.

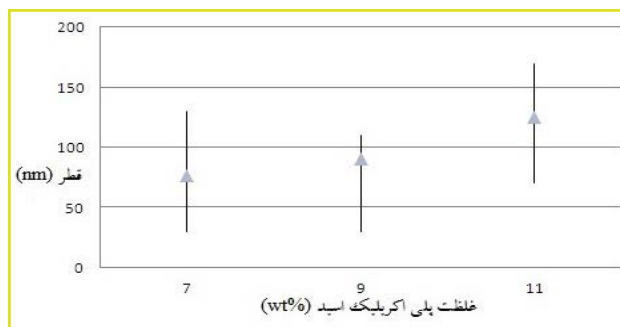
غلظت پلیمر در محلول (درصد وزنی)	۹	۹	۹
درصد وزنی پلی اکریلیک اسید (wt%)	۸۵	۹۰	۹۵
درصد وزنی پلی وینیل الکل (wt%)	۱۵	۱۰	۵
ولتاژ (Kv)	۳۵	۳۵	۳۵
فاصله جمع کننده (cm)	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۲/۵
سرعت رشته ساز (rpm)	۱۵	۱۵	۱۵

پس از آماده‌سازی محلول‌های همگن با شرایط نشان داده شده در جدول (۹)، الکتروریسی انجام شد و در شکل (۶)، تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نانوالیاف ساخته شده از این نمونه‌ها آورده شده‌است:



شکل (۶): تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه الکتروریسی شده از محلول پلی اکریلیک اسید/ پلی وینیل الکل با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰. (الف): با نسبت ۵/۹۵، (ب): با نسبت ۱۰/۹۰ و (ج): با نسبت ۱۵/۸۵.

براساس تصاویر میکروسکوپ الکترونی در شکل (۶) و نمودار توزیع اندازه ذرات در شکل (۷)، افزایش غلظت پلی وینیل الکل در محلول منجر به افزایش قطر و یکنواختی بیشتر الیاف



شکل (۵): تأثیر افزایش غلظت محلول بر قطر الیاف [۱].

نمونه با غلظت ۷ درصد وزنی دارای نواقصی نظیر مهره‌ها و نیم‌کره‌های توخالی و گره‌خوردگی الیاف به یکدیگر بود که این مشکلات ناشی از قطره‌ریزی در حین فرآیند و غلظت پایین محلول با درگیری کم زنجیره‌های پلیمری است. این نواقص در نمونه ۹ درصد وزنی به‌طور قابل توجهی کاهش یافته و در نمونه ۱۱ درصد وزنی عملاً حذف شده‌اند که می‌تواند ناشی از افزایش گره‌خوردگی زنجیره‌های پلیمری و کاهش تحرک‌پذیری آنها باشد. همچنین، با افزایش غلظت، الیاف یکنواخت‌تر و ظرفیت‌تری حاصل شده‌است.

برای بررسی بیشتر و انتخاب نمونه بهینه از محلول‌های ساخته شده، آزمون‌های رسانایی، ویسکومتری و PH گرفته شد. نتایج این آزمون‌ها در جدول (۸) نشان داده شده‌است:

جدول (۸): تأثیر غلظت پلی اکریلیک اسید خنثی شده بر رسانایی، ویسکوزیته و pH [۱].

غلظت محلول (درصد وزنی)	۷	۹	۱۱
رسانایی محلول (ms/cm)	۹/۳۱	۱۰/۵۳	۱۱/۹۷
ویسکوزیته محلول (mPa.S)	۱۶۲	۳۶۴	۷۵۰
pH محلول	۳/۸۴	۳/۹۱	۳/۹۷

همان‌طور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت محلول، ویسکوزیته افزایش می‌یابد. با افزایش ویسکوزیته به دلیل افزایش غلظت و تشدید آن در اثر تبخیر حلال طی فرآیند ریسندگی، کشیده شدن الیاف کاهش یافته و متوقف می‌شود که در نتیجه آن، قطر الیاف افزایش می‌یابد. با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی، ظرافت و یکنواختی نانوالیاف، قطر الیاف، نتایج آزمون‌های انجام شده و ایمنی دستگاه، محلول ۹ درصد وزنی به‌عنوان نمونه بهینه برای ادامه تحقیقات انتخاب شد.

تأثیر افزایش پلی وینیل الکل بر مورفولوژی نانوالیاف

در ادامه تحقیق، برای تولید نانوالیاف پلی اکریلیک اسید/ پلی وینیل الکل، نیاز به افزودن پلی وینیل الکل به محلول بهینه انتخاب‌شده در مرحله قبل احساس شد. به‌منظور

باشد. کاهش قطر الیاف در غلظت ۱۰ درصد وزنی پلی‌وینیل الکل را می‌توان به کاهش ویسکوزیته نسبت داد، اما این روند در غلظت ۱۵ درصد وزنی پلی‌وینیل الکل مشاهده نشد. علت این امر، کاهش نسبت پلی‌اکریلیک اسید در محلول است، چرا که نانوالیاف پلی‌اکریلیک اسید نسبت به پلی‌وینیل الکل دارای قطر کمتری هستند. به‌طور کلی، افزایش ویسکوزیته ناشی از حضور پلی‌وینیل الکل در محلول باعث تولید نانوالیافی یکنواخت و بدون نقص شده‌است.

با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی، ظرافت و یکنواختی نانوالیاف، قطر الیاف، نتایج آزمون‌های انجام شده و ایمنی دستگاه، محلول با نسبت وزنی ۱۰/۹۰ پلی‌اکریلیک اسید/پلی‌وینیل الکل به‌عنوان نمونه بهینه برای بررسی سایر عوامل مؤثر بر مورفولوژی انتخاب شد.

◀ تاثیر ولتاژ بر مورفولوژی نانوالیاف

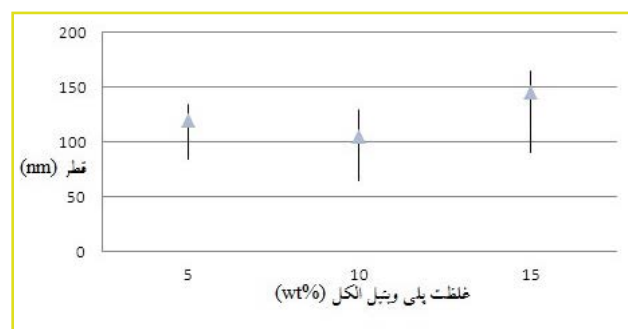
پس از بررسی تأثیر غلظت، به‌منظور مطالعه اثر ولتاژ بر مورفولوژی الیاف، آزمایش‌هایی با سه ولتاژ مختلف و با ثابت نگه داشتن سایر عوامل فرآیند انجام شد. شرایط این آزمایش‌ها در جدول (۱۱) ارائه شده‌است. دامنه ولتاژ انتخاب‌شده بین ۳۰ تا ۴۰ کیلوولت در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب این بازه آن است که در ولتاژهای پایین‌تر، به‌دلیل تضعیف میدان الکتریکی و کاهش چگالی بار سطحی، امکان شکل‌گیری جت و کشش آن کاهش می‌یابد و در نتیجه، پدیده قطره‌پراکنی به‌طور مکرر مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، افزایش بیش از حد ولتاژ می‌تواند منجر به ایجاد جرقه و آسیب به تجهیزات شود. همچنین مشاهده شد که در ولتاژهای بالا، به‌دلیل افزایش شدت میدان الکتریکی ناشی از تراکم بارهای همنام، بخش قابل توجهی از الیاف باردار تولیدشده از محور اصلی پاشش منحرف شده و به اطراف پراکنده می‌شوند و در فضا به حرکت درمی‌آیند.

جدول (۱۱): شرایط آزمون بررسی تاثیر ولتاژ بر مورفولوژی الیاف.

ولتاژ (Kv)	۳۰	۳۵	۴۰
غلظت محلول (درصد وزنی)	۹	۹	۹
فاصله جمع‌کننده (cm)	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۲/۵
سرعت رشته‌ساز (rpm)	۱۵	۱۵	۱۵

همان‌طور که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی شکل (۸) و نمودار توزیع قطر الیاف شکل (۹) مشاهده می‌شود، با افزایش ولتاژ اعمالی در شرایط یکسان، ابتدا کاهش در قطر الیاف رخ می‌دهد؛ اما با ادامه افزایش ولتاژ، قطر الیاف دوباره اندکی افزایش می‌یابد.

شده‌است. همچنین، مشاهدات عینی نشان داد که افزایش پلی‌وینیل الکل فرآیند الکتروریسی را تسهیل کرده و قطره‌ریزی را از بین می‌برد؛ این موضوع با عدم مشاهده مهره‌ها، حباب‌ها و نیم‌کره‌های توخالی در تصاویر میکروسکوپ الکترونی تأیید می‌شود. نمونه با نسبت وزنی ۱۰/۹۰ پلی‌اکریلیک اسید/پلی‌وینیل الکل نیز دارای قطر الیاف کمتری بود. در این مرحله، برای تعیین غلظت بهینه پلی‌وینیل الکل، آزمون‌های رسانایی، ویسکومتری و pH بر محلول‌های الکتروریسی شده انجام شد که نتایج آن‌ها در جدول (۱۰) ارائه شده‌است.



شکل (۷): تاثیر افزایش غلظت پلی‌وینیل الکل در محلول بر قطر الیاف.

جدول (۱۰): تاثیر غلظت پلی‌وینیل الکل محلول بر رسانایی، ویسکوزیته و pH.

غلظت پلیمر در محلول (درصد وزنی)	۹	۹	۹
درصد وزنی پلی‌اکریلیک اسید (wt%)	۸۵	۹۰	۹۵
درصد وزنی پلی‌وینیل الکل (wt%)	۱۵	۱۰	۵
رسانایی محلول (ms/cm)	۹/۲	۹/۷۵	۱۰/۱
ویسکوزیته محلول (mPa.S)	۸۵۵	۸۹۵	۹۱۵
pH محلول	۴/۲۵	۴/۱۵	۴/۰۶

با توجه به جدول (۱۰)، به دلیل حضور گروه عاملی هیدروکسیل (OH^-) در زنجیره اصلی پلی‌وینیل الکل، افزایش غلظت پلی‌وینیل الکل در محلول منجر به افزایش جزئی pH می‌شود. همچنین، همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش درصد وزنی پلی‌وینیل الکل باعث کاهش رسانایی محلول شده که این موضوع، ناشی از کاهش گروه‌های کربوکسیلیک اسید (COOH^-) و افزایش گروه‌های هیدروکسیل (OH^-) در ترکیب محلول است.

افزودن پلی‌وینیل الکل به محلول منجر به افزایش قابل توجه ویسکوزیته شد؛ با این حال، با افزایش درصد وزنی پلی‌وینیل الکل، این روند افزایش ویسکوزیته کاهش یافت که می‌تواند ناشی از کاهش سهم پلی‌اکریلیک اسید در کل محلول

الکتریکی بر سطح محلول افزایش می‌یابد و در نتیجه، نیروی دافعه کولمبی ناشی از بارهای همنام تقویت می‌شود. این امر موجب ایجاد میدان الکتریکی قوی‌تری می‌شود که در پی آن، نیروی کششی وارد بر جت افزایش یافته و در نتیجه، قطر الیاف کاهش می‌یابد. با این حال، در صورت افزایش بیش از حد ولتاژ، توزیع میدان الکتریکی در طول سطح رشته‌ساز تغییر می‌کند؛ به گونه‌ای که شدت میدان در ناحیه میانی رشته‌ساز کاهش یافته و در مقابل، در دو انتهای آن به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این توزیع ناهمگون می‌تواند موجب بی‌ثباتی در مسیر جت و پراکندگی الیاف شود و در برخی موارد، از کاهش بیشتر قطر الیاف جلوگیری نماید. این پدیده را می‌توان چنین تبیین کرد که با افزایش بیش‌تر ولتاژ، چگالی بارهای الکتریکی افزایش یافته و در نتیجه، جت با سرعت بیشتری به سمت جمع‌کننده حرکت می‌کند. در این شرایط، به دلیل کاهش زمان پرواز جت، فرصت کافی برای کشیده شدن الیاف فراهم نمی‌شود و در نتیجه، قطر نهایی الیاف افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، کاهش زمان پرواز می‌تواند منجر به باقی ماندن بخشی از حلال در ساختار الیاف شود؛ در نتیجه، الیاف مرطوب به‌صورت فشرده روی یکدیگر انباشته می‌شوند که این نیز می‌تواند موجب افزایش قطر الیاف شود. این نتایج با یافته‌های وانگ [۲۲] و [۲۳] در زمینه الکتروریسی پلی وینیل الکل سازگار است.

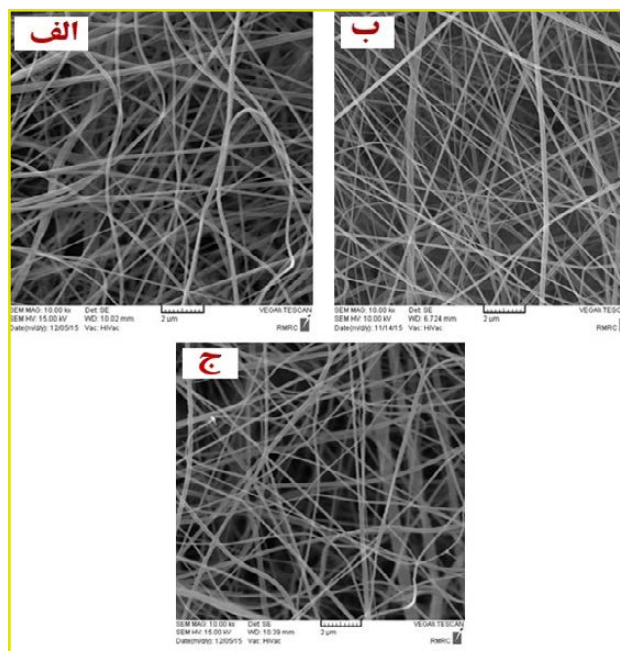
◀ تاثیر سرعت چرخش رشته‌ساز بر مورفولوژی نانوالیاف

پس از بررسی روند تغییرات مورفولوژی و قطر الیاف در اثر تغییر غلظت و ولتاژ، به‌منظور تعیین سرعت چرخش بهینه برای رشته‌ساز، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها طراحی و اجرا شد. در این آزمایش‌ها، سرعت چرخش در سه سطح مختلف در بازه ۱۰ تا ۲۰ دور بر دقیقه (rpm) تنظیم شد. در این مرحله نیز، سایر شرایط فرآیندی ثابت نگه داشته شد تا اثر خالص عامل سرعت چرخش مورد بررسی قرار گیرد. شرایط دقیق این آزمایش‌ها در جدول (۱۲) ارائه شده‌است.

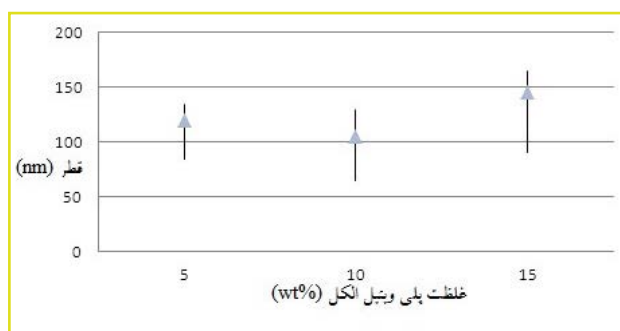
جدول (۱۲): شرایط آزمون‌های بررسی تاثیر سرعت چرخش رشته‌ساز بر مورفولوژی الیاف.

سرعت رشته‌ساز (rpm)	۱۰	۱۵	۲۰
غلظت محلول (درصد وزنی)	۹	۹	۹
فاصله جمع‌کننده (cm)	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۲/۵
ولتاژ (Kv)	۳۵	۳۵	۳۵

به دلیل محدودیت‌های موجود در تنظیم سرعت چرخش رشته‌ساز، بازه سرعت بین ۱۰ تا ۲۰ دور بر دقیقه (rpm) انتخاب شد؛ به‌طوری‌که ۱۰ rpm به‌عنوان حداقل مقدار و ۲۰ rpm به‌عنوان بیشینه مقدار در نظر گرفته شد. در سرعت‌های کمتر از ۱۰ rpm، به دلیل ویسکوزیته بالای محلول پلیمری، رشته‌ساز قادر به چرخش مناسب نبوده و فرآیند به‌طور کامل

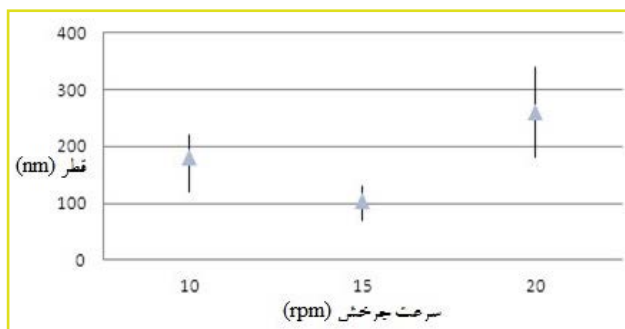


شکل (۸): تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه الکتروریسی شده از محلول پلی اکریلیک اسید / پلی وینیل الکل با نسبت ۱۰/۹۰ و بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ (الف)؛ ولتاژ ۳۰ Kv (ب)؛ ولتاژ ۳۵ Kv (ج)؛ ولتاژ ۴۰ Kv.



شکل (۹): تاثیر افزایش ولتاژ بر قطر الیاف.

به‌منظور تحلیل نتایج ذکر شده، ابتدا تاثیر افزایش ولتاژ بر میدان الکتریکی در رشته‌ساز استوانه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این نوع رشته‌ساز، میدان الکتریکی قوی در سطح استوانه شکل می‌گیرد، به‌طوری‌که شدت میدان در دو انتهای استوانه به مراتب بیشتر از ناحیه میانی آن است. با افزایش ولتاژ اعمالی، شدت میدان به‌طور عمده در نواحی انتهایی استوانه افزایش می‌یابد، در حالی که میدان الکتریکی در بخش میانی نسبت به تغییرات ولتاژ، نوسانات کمتری را تجربه می‌کند. میدان الکتریکی با شدت بالا در نواحی انتهایی ایجاد می‌شود، در حالی که ناحیه میانی استوانه سهم کمتری از سطح فعال الکتریکی را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین، از سطح رشته‌ساز تا جمع‌کننده، میدان الکتریکی ایجاد شده در انتهای استوانه به سرعت کاهش یافته و سپس به وضعیت پایداری می‌رسد. در مقابل، میدان الکتریکی در مسیر میانی استوانه تا جمع‌کننده، با شیب ملایم‌تری کنترل و تعدیل می‌شود [۲۲] و [۲۳]. با توجه به مطالب بیان شده و مشاهدات تجربی، ولتاژ اعمالی تأثیرات متفاوتی بر قطر الیاف دارد. با افزایش ولتاژ، تعداد بارهای



شکل (۱۱): تاثیر افزایش سرعت چرخش رشته‌ساز بر قطر الیاف.

همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، قطر الیاف در سرعت‌های مختلف چرخش رشته‌ساز دارای پراکندگی متفاوتی است. این تفاوت در توزیع قطر الیاف در دبی‌های مختلف را می‌توان ناشی از تعامل بین نیروهای کشش ناشی از میدان الکتریکی، نیروهای برشی موجود روی سطح رشته‌ساز، نیروهای کشش سطحی سیال و خواص ویسکوالاستیک محلول دانست. با افزایش سرعت چرخش رشته‌ساز، پرتاب قطرات به بیرون افزایش می‌یابد، در حالی که کاهش سرعت، باعث قطع شدن فرآیند تولید پیوسته الیاف می‌شود که از دیدگاه فرآیندی نامطلوب است. بنابراین، براساس داده‌های به‌دست آمده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی و مشاهدات تجربی، سرعت‌های چرخش متوسط به‌عنوان گزینه‌ای مناسب‌تر برای حفظ تعادل بین کیفیت و پیوستگی تولید الیاف شناسایی شدند.

◀ تاثیر فاصله رشته‌ساز تا جمع‌کننده بر مورفولوژی نانوالیاف

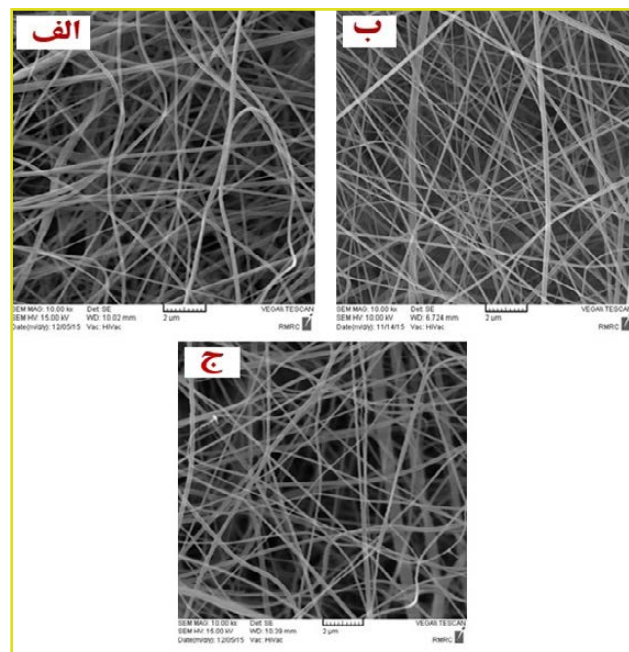
عوامل مطرح‌شده مانند ولتاژ، غلظت محلول و سرعت چرخش رشته‌ساز تأثیر بیشتری بر قطر الیاف دارند تا بر یکنواختی آنها، در حالی که فاصله بین رشته‌ساز و جمع‌کننده تأثیر قابل توجهی بر قطر الیاف ندارد و به‌صورت عمده بر یکنواختی الیاف پایه مؤثر است. در صورتی که این فاصله کمتر از حد مشخصی باشد، به‌دلیل تقویت بیش از حد میدان الکتریکی، جرقه‌هایی بین سطح رشته‌ساز و جمع‌کننده ایجاد می‌شود. از طرف دیگر، افزایش زیاد این فاصله موجب تضعیف شدید میدان الکتریکی شده و در نتیجه فرآیند ریسندگی کند یا متوقف می‌شود.

با توجه به مشاهدات تجربی پیشین، محدوده فاصله بین جمع‌کننده و رشته‌ساز در بازه ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر تعیین شد. در این مرحله نیز آزمایش‌ها با ثابت نگه داشتن سایر عوامل فرآیندی انجام شد. شرایط دقیق این آزمایش‌ها در جدول (۱۳) ارائه شده است.

جدول (۱۳): شرایط آزمون‌های بررسی تاثیر فاصله بر مورفولوژی الیاف.

فاصله جمع‌کننده (cm)	۱۰	۱۲/۵	۱۵
غلظت محلول (wt%)	۹	۹	۹
ولتاژ (Kv)	۳۵	۳۵	۳۵
سرعت رشته‌ساز (rpm)	۱۵	۱۵	۱۵

متوقف می‌شود. از سوی دیگر، افزایش سرعت چرخش به بیش از ۲۰ rpm، منجر به پرتاب محلول پلیمری به خارج از محدوده رشته‌ساز و همچنین موجب خیس شدن سطح لایه بی‌بافت شد، که تأثیر منفی بر کیفیت الیاف تولیدی داشت. همان‌طور که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی شکل (۱۰) و نمودار توزیع قطر الیاف شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت چرخش رشته‌ساز، قطر الیاف در ابتدا کاهش یافته و سپس با افزایش بیشتر سرعت، دوباره افزایش می‌یابد. در فرآیند الکتروریسی بدون نازل، سرعت چرخش رشته‌ساز نقش مهمی در میزان و یکنواختی توزیع محلول روی سطح آن ایفا می‌کند. در سرعت‌های پایین، به‌دلیل پوشش غیریکنواخت محلول پلیمری بر سطح رشته‌ساز، تشکیل جت‌های پایدار و پیوسته مختل می‌شود و در نتیجه الیاف با یکنواختی و کیفیت پایین‌تری تولید می‌شود. در مقابل، در سرعت‌های بالاتر، سطح رشته‌ساز به‌طور یکنواخت با یک لایه نازک از محلول پوشش داده می‌شود که این امر منجر به تشکیل پیوسته و منظم جت‌ها یا فیلامنت‌ها می‌شود و کیفیت الیاف بهبود می‌یابد. با این حال، افزایش بیش از حد سرعت چرخش رشته‌ساز به دلیل نیروی گریز از مرکز، منجر به پرتاب محلول به بیرون می‌شود. این امر باعث پراکندگی قطرات ریسیده‌نشده از سطح رشته‌ساز به سمت جمع‌کننده شده و در نتیجه قطر الیاف افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی با مشاهدات تجربی پیشین به‌طور کامل هم‌راستا است. همچنین، اثر سرعت چرخش رشته‌ساز بر تغییرات قطر الیاف نسبت به سایر عوامل اهمیت کمتری دارد، اما یکنواختی محصول به‌طور قابل توجهی با دبی محلول کنترل می‌شود.



شکل (۱۰): تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه الکتروریسی شده از محلول پلی‌اکریلیک اسید/ پلی‌وینیل‌الکل با نسبت ۱۰/۹۰ و بزرگنمایی ۱۰۰۰۰. (الف): سرعت چرخش ۱۰ rpm، (ب): A سرعت چرخش ۱۵ rpm و (ج): سرعت چرخش ۲۰ rpm.

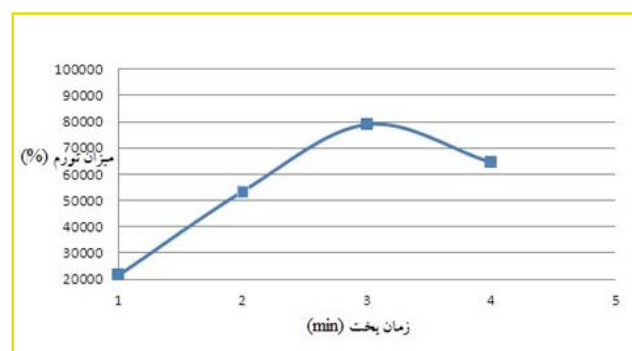
است؛ به طوری که با افزایش تعداد اتصالات عرضی، میزان تورم به طور چشمگیری کاهش می یابد. در فرآیند ساخت هیدروژل ها، لازم است اتصالات عرضی به گونه ای کنترل شوند که کاهش قابل توجهی در تورم ایجاد نشود و در عین حال، ساختار شبکه ای حفظ شده و پلیمر در آب حل نشود. بنابراین، دستیابی به شرایط بهینه پخت برای ساخت هیدروژل ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

به منظور بررسی رفتار تورمی نانوالیاف پلی اکریلیک اسید/ پلی وینیل الکل، تعیین مقدار بهینه عامل پخت ضروری بود. براساس مطالعات پیشین، مقدار ۲ میلی لیتر پلی اتیلن گلیکول ۴۰۰ به عنوان مقدار بهینه عامل پخت انتخاب شد. برای تعیین زمان پخت بهینه، پس از انجام آزمایش های اولیه، بازه زمانی مناسب برای قرار دادن نانوالیاف در مایکروویو بین ۱ تا ۴ دقیقه تعیین شد. در این بازه، آزمایش ها در چهار زمان مختلف انجام گرفت و شرایط دقیق این آزمایش ها در جدول (۱۴) ارائه شده است.

جدول (۱۴): شرایط آزمون های بررسی تعیین زمان پخت بهینه [۱].

زمان قرارگیری در مایکروویو (min)	۱	۲	۳	۴
دمای داخل مایکروویو (C°)	۴۵	۶۲	۷۵	۸۸

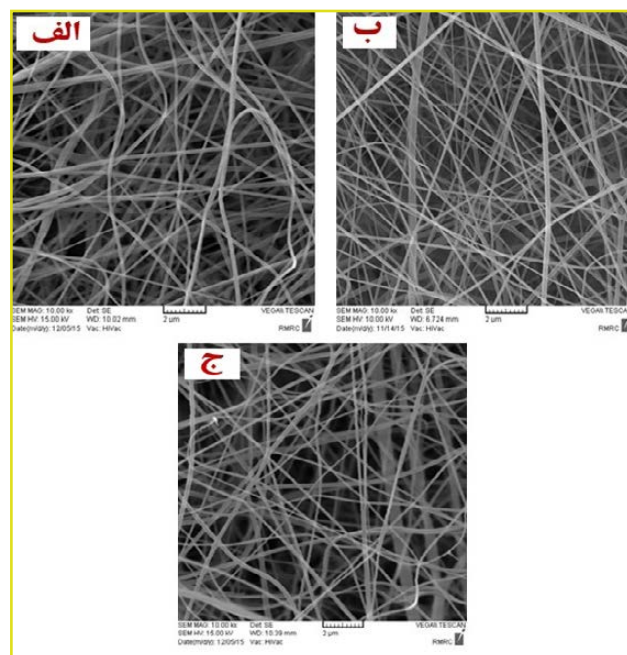
پس از آماده سازی نمونه ها، فرآیند پخت نانوالیاف پلی اکریلیک اسید مطابق با شرایط ارائه شده در جدول (۱۴) انجام گرفت. در ادامه، به منظور ارزیابی رفتار تورمی، میزان تورم هر نمونه پس از قرارگیری به مدت ۳۰ دقیقه در آب مقطر اندازه گیری شد. نتایج حاصل از این آزمایش در شکل (۱۴) ارائه شده است.



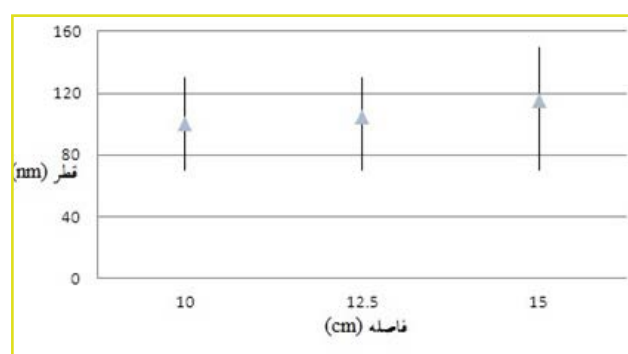
شکل (۱۴): نمودار تورم نانوالیاف پلی اکریلیک اسید در زمان های مختلف پخت [۱].

با توجه به داده های ارائه شده در شکل (۱۴)، نمونه ای که به مدت ۳ دقیقه پخت شده است، بیشترین میزان جذب آب را طی مدت ۳۰ دقیقه نشان داده و به عنوان زمان پخت بهینه برای نانوالیاف انتخاب شد. همان طور که پیش تر اشاره شد، میزان جذب آب در یک ماده ابرجاذب

همان طور که پیش تر اشاره شد و از تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل (۱۲)) و نمودار توزیع قطر الیاف (شکل (۱۳)) مشاهده می شود، تغییرات فاصله بین جمع کننده و رشته ساز تنها تأثیر بسیار کمی بر قطر متوسط الیاف دارد و به طور عمده، نقش مهم تری در بهبود یکنواختی و پایداری جریان جت ایفا می کند.



شکل (۱۲): تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه الکتروریسی شده از محلول پلی اکریلیک اسید/ پلی وینیل الکل با نسبت ۱۰/۹۰ با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰. (الف): فاصله ۱۰ cm رشته ساز تا جمع کننده، (ب): فاصله ۱۲/۵ cm رشته ساز تا جمع کننده و (ج): فاصله ۱۵ cm رشته ساز تا جمع کننده.



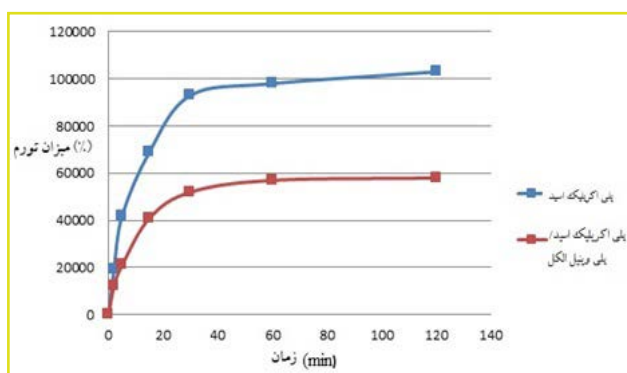
شکل (۱۳): تأثیر افزایش فاصله رشته ساز تا جمع کننده بر قطر الیاف.

• بخش دوم: بررسی رفتار تورمی نانوالیاف پلی اکریلیک اسید/ پلی وینیل الکل

◀ تعیین میزان بهینه عامل و زمان پخت

همان طور که پیش تر بیان شد، هیدروژل ها ساختارهای سه بعدی شبکه ای هستند که در تماس با آب متورم می شوند. میزان تورم این مواد به شدت وابسته به تعداد اتصالات عرضی

گروه‌های فعال آب‌دوست نظیر گروه‌های کربوکسیلیک اسید در پلی‌اکریلیک اسید کاسته می‌شود و در نتیجه، ظرفیت هیدراسیون و جذب آب کاهش می‌یابد. علاوه بر این، گروه‌های هیدروکسیل موجود در ساختار پلی‌وینیل الکل می‌توانند به‌عنوان عامل پخت با پلی‌اکریلیک اسید وارد واکنش شوند. این فرآیند حتی در دمای محیط و به مرور زمان رخ داده و منجر به افزایش میزان اتصالات عرضی در شبکه پلیمری می‌شود؛ عاملی که موجب کاهش بیشتر تورم در نمونه‌های ترکیبی خواهد شد.



شکل (۱۵): نمودار مقایسه تورم نسبت به زمان در آب مقطر برای نمونه نانوالیاف پلی‌اکریلیک اسید و پلی‌اکریلیک اسید/پلی‌وینیل الکل.

بررسی سرعت و میزان جذب تعادلی نانوالیاف هیدروژل در آب نمک

به‌منظور بررسی ظرفیت جذب در محیط نمکی، دو نمونه نانوالیاف تهیه‌شده از محلول‌های حاوی ۹ درصد وزنی پلی‌اکریلیک اسید و ترکیب پلی‌اکریلیک اسید/پلی‌وینیل الکل با نسبت وزنی ۱۰/۹۰ مورد مطالعه قرار گرفتند. برای این منظور، محلولی با غلظت ۰/۹ درصد وزنی سدیم کلرید (NaCl) در آب تهیه شد و سپس نمونه‌ها مطابق روش بیان‌شده در بخش پیشین، در این محلول در بازه زمانی ۲ تا ۱۲۰ دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از آن، میزان تورم نمونه‌ها در زمان‌های مشخص اندازه‌گیری شد تا عملکرد جذب آنها در شرایط مشابه محیط فیزیولوژیکی مورد ارزیابی قرار گیرد.

روند تغییرات میزان تورم نمونه‌ها نسبت به زمان در شکل (۱۶) ارائه شده‌است. در این نمودار، رفتار تورمی دو نمونه نانوالیاف شامل پلی‌اکریلیک اسید خالص و ترکیب پلی‌اکریلیک اسید/پلی‌وینیل الکل در محلول آب نمک با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه حاوی پلی‌وینیل الکل تورم کمتری نسبت به نمونه خالص پلی‌اکریلیک اسید نشان داده است. این کاهش در میزان جذب، می‌تواند ناشی از کاهش تراکم گروه‌های آب‌دوست و افزایش اتصالات عرضی در اثر حضور گروه‌های هیدروکسیل پلی‌وینیل الکل باشد که در واکنش با پلی‌اکریلیک اسید نقش عامل پخت را ایفا می‌کنند.

رابطه‌ای معکوس با درصد اتصالات عرضی دارد؛ به‌طوری‌که با کاهش اتصالات عرضی، میزان جذب افزایش می‌یابد. با این حال، در صورتی که درصد اتصالات عرضی بیش از حد کاهش یابد، ممکن است بخشی از پلیمر در آب حل شده و در نتیجه، تورم کاهش یابد. کاهش اتصالات عرضی در نمونه‌های پلی‌اکریلیک اسید می‌تواند به دلایلی از جمله ناکافی بودن مقدار عامل پخت، نامناسب بودن سیستم حرارت‌دهی، کوتاه بودن زمان پخت یا پایین بودن دمای فرآیند پخت رخ دهد.

بررسی سرعت و میزان جذب تعادلی نانوالیاف هیدروژل در آب مقطر

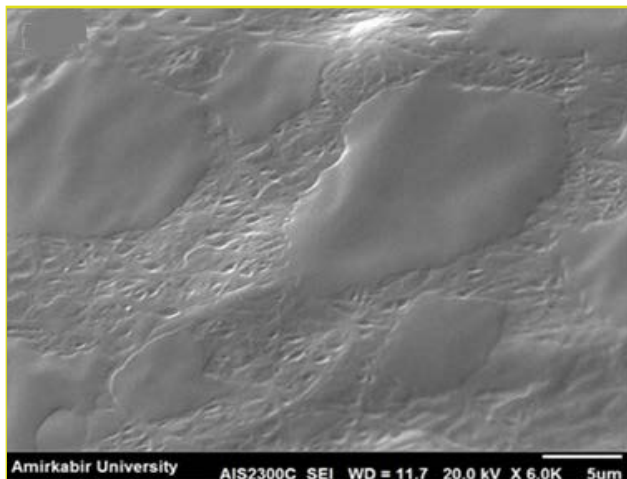
برای انجام آزمون غوطه‌وری در آب مقطر، دو نمونه نانوالیاف تهیه شده از محلول‌های حاوی ۹ درصد وزنی پلی‌اکریلیک اسید و ترکیب پلی‌اکریلیک اسید/پلی‌وینیل الکل با نسبت وزنی ۱۰/۹۰ مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور ارزیابی ظرفیت جذب آب نمونه‌ها، پس از انجام آزمایش‌های اولیه، محدوده زمانی مناسب برای آزمون در بازه ۲ تا ۱۲۰ دقیقه تعیین شد. در ادامه، آزمون‌ها در شش بازه زمانی مختلف و با ثابت نگه داشتن سایر شرایط فرآیندی انجام گرفتند.

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، به‌منظور بررسی رفتار تورمی لایه نانوالیاف، نمونه‌های تهیه‌شده از فرآیند الکتروریسی، پس از پخت با استفاده از مایکروویو، در آب مقطر با دمای ثابت غوطه‌ور شدند. در زمان‌های تعیین‌شده، نمونه‌ها از ظرف حاوی آب خارج و به مدت ۵ دقیقه به حالت آویزان قرار داده شدند تا آب اضافی آنها تخلیه شود. سپس نمونه‌ها با استفاده از ترازوی چهار رقم اعشار توزین شدند. میزان تورم براساس اختلاف وزن نمونه خشک و نمونه متورم‌شده محاسبه شد. روند تغییرات تورم نمونه‌ها در طول زمان در شکل (۱۵) نمایش داده شده‌است.

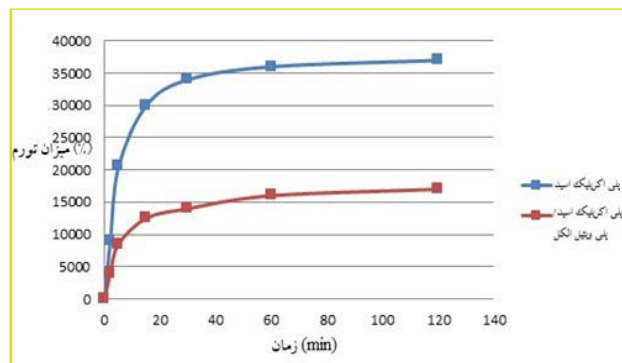
همان‌طور که در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود، میزان تورم نمونه‌های نانولیفی به نسبت بالا است که این امر به سطح ویژه بالای نانوالیاف نسبت داده می‌شود. همچنین در این نمودار، رفتار تورمی دو نمونه شامل پلی‌اکریلیک اسید خالص و ترکیب پلی‌اکریلیک اسید/پلی‌وینیل الکل با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که نمونه حاوی پلی‌اکریلیک اسید خالص، میزان تورم بالاتری نسبت به نمونه ترکیبی دارد. این اختلاف می‌تواند ناشی از کاهش دانسیته گروه‌های آب‌دوست در نمونه ترکیبی یا افزایش اتصالات عرضی میان زنجیره‌ها در حضور پلی‌وینیل الکل باشد.

افزودن پلی‌وینیل الکل اگرچه منجر به بهبود فرآیند الکتروریسی و یکنواخت‌تر شدن تولید نانوالیاف شد، اما در آزمون‌های تورمی، عملکرد نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار داده و موجب کاهش درصد تورم شد. کاهش رفتار تورمی در نمونه‌های حاوی پلی‌وینیل الکل کاملاً طبیعی به نظر می‌رسد، چرا که با افزودن پلی‌وینیل الکل، از تعداد

تماس نزدیک‌تری بین نانوالیاف ایجاد می‌شود. در مرحله خشک‌سازی، نیروهای بین مولکولی و چسبندگی سطحی میان الیاف موجب پایداری این آرایش جدید شده و مانع از جدایش مجدد آن‌ها از یکدیگر می‌شود.



شکل (۱۷): تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه پلی اکریلیک اسید پس از خشک نمودن نمونه متورم شده در بزرگنمایی ۶۰۰۰ برابر [۱۱].



شکل (۱۶): نمودار مقایسه تورم نسبت به زمان در آب نمک برای نمونه نانوالیاف پلی اکریلیک اسید و پلی اکریلیک اسید/پلی وینیل الکل.

در شکل (۱۷)، تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به نمونه‌های متورم و خشک‌شده نانوالیاف پلی اکریلیک اسید ارائه شده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نانوالیاف پس از تورم به یکدیگر چسبیده و ساختاری یکنواخت به‌صورت یک لایه یا فیلم نازک تشکیل داده‌اند. این پدیده کاملاً قابل پیش‌بینی است، زیرا در طی فرآیند تورم، زنجیره‌های پلیمری امکان نفوذ در یکدیگر را پیدا کرده و

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در جوامع علمی، محدوده نانو به قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر اطلاق می‌شود، دستیابی به الیافی با قطر متوسط در این محدوده، به‌عنوان اولویته اساسی مطرح بود. برای رسیدن به این هدف، عوامل متعددی شامل عوامل مربوط به محلول، دستگاه و شرایط محیطی مورد بررسی قرار گرفتند و تولید الیاف از طریق روش الکتروریسی بدون نازل انجام شد. نتایج حاصل از تحلیل‌های مورفولوژیکی و نمودار توزیع قطر الیاف نشان داد که تغییر فاصله بین رشته‌ساز و جمع‌کننده تأثیری معنادار بر قطر الیاف ندارد و بیشتر بر یکنواختی آنها مؤثر است. همچنین، در بررسی سرعت و میزان جذب تعادلی نانوالیاف مشخص شد که نمونه‌های پلی اکریلیک اسید/پلی وینیل الکل به دلیل سطح ویژه بالاتر، توانایی جذب آب بسیار بالایی از خود نشان می‌دهند.

پی‌نوشت

1. Super Absorbent Polymer (SAP)
2. Acrylic Acid
3. Solution Polymerization
4. Suspension Polymerization
5. Glutaraldehyde
6. Poly Acrylic Acid (PAA)
7. Esterification
8. Polyethylene Oxide
9. Centrifuge Retention Capacity (CRC)

- [1] E. Ranjbari, S. Bazgir, MMA. Shirazi, Polym. Testing. 2020, 84, 106403 Needleless electrospinning of poly (acrylic acid) superabsorbent: Fabrication, characterization and swelling behavior.
- [2] EM. Ahmed. 6 (2015) 105-121. J. Adv. Res. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review.
- [3] RM Seyedlar, M Imani, M Atai, A Nodehi - 2018 - sid.ir .Temperature-Responsive Hydrogels: Materials, Mechanisms and Biological Applications.
- [4] FL. Buchholz, AT. Graham. 1998, Wiley-VCH, New York, Book: Ch 1-7. Modern Superabsorbent Polymer Technology.
- [5] S. Choi, HR. Kim, HS. Kim. Polymer International, - Wiley Online Library. 2019. Fabrication of superabsorbent nanofibers based on sodium polyacrylate/poly (vinyl alcohol) and their water absorption characteristics .
- [6] S. Sharma, A. Dua, A. Malik. European polymer journal. 2014 – Elsevier. Polyaspartic acid based superabsorbent polymers.
- [7] A. Mignon, N. De Belie, P. Dubruel. European Polymer . 2019 – Elsevier. Superabsorbent polymers: A review on the characteristics and applications of synthetic, polysaccharide-based, semi-synthetic and 'smart' derivatives.
- [8] J. Zohuriaan-Mehr Mohammad, K. Kourosh Iranian Polymer Journal 17 (6), 2008, 451-477. Superabsorbent Polymer Materials: A Review.
- [9] K. Kabiri, H. Omidian, M.J. Zohurian-Mehr, S. Doroudiani. Polymer Coposites 32 (2011) 277-289. Superabsorbent hydrogel composites and nanocomposites: A review.
- [10] A Sadeghzadeh, S Bazgir, MMA Shirazi. Separation and Purification Technology. 2020, 116498 Fabrication and characterization of a novel hydrophobic polystyrene membrane using electroblowing technique for desalination by direct contact membrane distillation.
- [11] Zhang et al. (2013), 2013/0146810. US patent. Process for producing water absorbing polymer fibers.
- [12] B. Kim et al. Materials Letters. 2005, 59 829–832 . Poly (acrylic acid) nanofibers by electrospinning.
- [13] M. Laura, D. Hansen, J. Smith, H. Reneker, K. Woraphon. Journal of Applied Polymer Science. 2005, Vol. 95, 427–434. Water Absorption and Mechanical Properties of Electrospun Structured Hydrogels.
- [14] M. Linghui, K. Wimonwan, K-hasuwan. Prae-ravee, H. Shannon, S. Pitt, W. Gary E. Polym Int. 201564, 42–48. Electrospun crosslinked poly(acrylic acid) fiber constructs: towards a synthetic model of the cortical layer of nerve.
- [15] AA. Ali. J. of material processing technology. 2008199, 193-198. New generation of super absorber nano-fibrous hybrid fabric by electro-spinning.
- [16] K.-F. Arndt, A. Richter, S. Ludwig, J. Zimmermann, J. Kressler, D. Kuckling, H.-J. Adler. Acta Polym. 1999, 50, 383 – 390. Poly (vinyl alcohol)/poly (acrylic acid) hydrogels: FT-IR spectroscopic characterization of crosslinking reaction and work at transition point.
- [17] Z. Jun, H. Haoqing, H. Wendorff, G. Andreas. e-Polymers. 2004, no. 078. Electrospun poly (vinyl alcohol)/poly(acrylic acid) fibres with excellent water-stability.
- [18] W.E. Hennink, C.F. van Nostrum. Advanced Drug Delivery Reviews . 2012, 64 (2012) 223–236. Novel crosslinking methods to design hydrogels.
- [19] VD. Athawale, V. Lele. Starch/Stärke. 2001, 3, 7-13. Recent trends in hydrogels based on starch-graft-acrylic acid: A review.
- [20] L. Lei, H. You-Lo. Polymer. 2005, 46 5133–5139. Ultra-fine polyelectrolyte fibers from electrospinning of poly (acrylic acid).
- [21] M. Lenka, L. Daniela. Advanced materials research. 2012, 354-355, 210-215. . Nanofiber Sheets with Superabsorbent Properties.
- [22] L. Tong, W. Xungai. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300. 2013, Version Data: 20131021. Needleless Electrospinning of Nanofibers.
- [23] L. Tong. No.65, Yan An Road (West), Shanghai, China. Publisher InTech. ch 1-2. 2011, ISBN 978-953-307-420-7. Nanofibers - Production, Properties and Functional Applications.

Author

Esmail Ranjbari*

* esmaeil.ranjbari@srbiau.ac.ir

1. Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Preparation of Polyacrylic acid/Polyvinyl alcohol Polymer Superabsorbent Using Needleless Electrospraying and Investigation of Effective Device Parameters on Its Morphology

Abstract

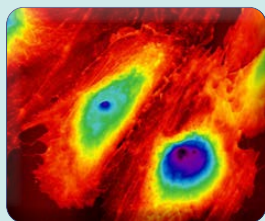
In the present study, a survey on the electrospraying and producing PAA/PVA nanofibers, using needleless electrospraying was carried out and the effect of different material and processing variables were examined. In order to do this, first, PAA solutions with different concentrations were prepared and the electrospraying with certain processing conditions was tested. According to the results obtained and the examination of the morphology using SEM, the solution of PAA with concentration of 9% was chosen. The effect of neutralizing the carboxylic groups on electrospraying and its relation with viscosity and solution conductivity were studied. The results showed that neutralizing 15% of functional groups has enormous effect on spinning the fiber. Then the solutions of PAA/PVA with different percentage of PVA were spun by needleless electrospraying apparatus and their morphology were investigated. Results showed that solution of PAA/PVA (90:10) had the least fiber diameter equal to 105 nm in the process conditions as follow: the voltage of 35 Kv, the collecting distance to spinneret equal to 12.5 cm and the spinneret rotating speed of 15 rpm. This solution was chosen for further investigation of the process variables' effects. To understand the effect of process variables like voltage changes, collecting distance to spinneret and spinneret rotating speed, they were tested in three levels. According to the results, voltage of 35 Kv, the collecting distance to spinneret equal to 10 cm and the spinneret rotating speed of 10 rpm are the optimum condition which gives the fibers with the diameter of 100 nm. In the next step, the fibers were spun after the addition of PEG400 (2ml) in the optimum condition, the fibers were cured in the microwave and their swelling behaviour was investigated in the 0.9 w% saline solution and distilled water. The fibers swell 17000% and 58000% in the saline solution and distilled water, respectively.

Keywords

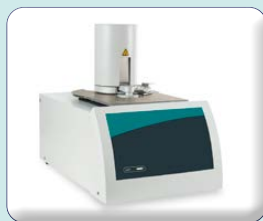
Superabsorbent; Needleless Electrospraying; Morphology.



Investigation of Key Factors Affecting DLS Results and Error Reduction Strategies



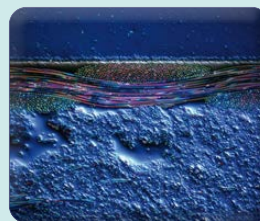
Application of atomic force microscopy in biological research; with a review of its application in conservative dentistry and endodontics.



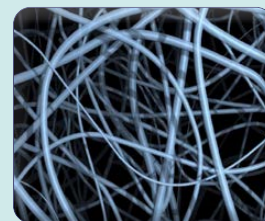
Differential Scanning Calorimetry- Thermal Fractionation Techniques for Polymer Characterization



How Grid Selection Determines the Quality of TEM Images



Investigating the effect of color and color reagents in metallography



Preparation of Polyacrylic acid/ Polyvinyl alcohol Polymer Superabsorbent Using Needleless Electrospinning and Investigation of Effective Device Parameters on Its Morphology