دانشگاه کردستان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

عنوان:
تولید نانو الیاف بسیار موازی با تغییر طول ریسنده در روش جت چرخان

پژوهشگر:

رضا آقامعلی‌پور

استاد راهنما:

دکترمهرداد خامفروش

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی

اسفند ماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب رضا آقامعلی‌پور دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی دانشگاه کردستان، دانشکده مهندسی گروه مهدسی شیمی تعهد می نماییم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

رضا آقامعلی‌پور

۱۳۹۰ / ۱۲ / ۲۳

دانشگاه کردستان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشدمهندسی شیمی

عنوان:

تولید نانو الیاف بسیار موازی با تغییر طول ریسنده در روش جت چرخان

پژوهشگر:

رضا آقامعلی‌پور

درتاریخ۱۳۹۱/۱۲/۲۳ توسط کمیته تخصصی وهیات داوران زیرموردبررسی قرارگرفت وبا نمره.....و درجه..... به تصویب رسید.

هیات داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبه علمی	امضا
۱- استاد راهنما	دکترمهرداد خامفروش	استادیار	
۲- استاد داورخارجی	دکترحمید فرنگیس زاده	استادیار	
۳- استاد داورداخلی	دکتر تیمور امانی	استادیار	

مهروامضا گروه

مهروامضا معاون آموزشی وتحصیلات تکمیلی

تقدیم به:

پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج است و وجودش برایم همه مهر

برادرم که در سخت ترین مراحل زندگی کنارم بوده و وجودش باعث دلگرمیم بوده است

و همه ی کسانی که فروغ نگاهشان و گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه جاودانی زندگی من است.

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش حکیم راستین را که ره توشه ی دانش در کوله بار اشرف آفریدگان خویش نهاد و با کرامت علم السماء، او را شایستگی مقام خلیفه ی الهی ارزانی داشت. سپاس همه ی آنان را که خوشه چین خرمن معرفتشان بوده ام و آموختن را به گونه ای مدیون فضل و کرم آنانم. سپاس ویژه استاد راهنمایم جناب آقای دکتر مهرداد خامفروش که الگوی فروتنی و مهربانی توأم با دانش و آگاهی است و هرگز مرا از خوان بی دریغ اندوخته های خویش محروم نگذاشته و رهین محبت های ایشان بوده و خواهم بود.

همچنین از تمامی دوستان عزیزم که مرا در انجام این پژوهش یاری نمودند و سایر هم کلاسیهایم که افتخار آشنایی با آنها را پیدا کردم کمال تشکر و قدردانی را دارم، از دوستان عزیزم آقایان مهندس حمیدرضا محمدی، ایمان حسن زاده، ابوالحسن محمدی، هادی ایوبی، محمد چرخ آبی، امید پیروزرام ، داوود بیننده، میلاد کوثری، کابنیز ویسی، مهدی قربانی، بهنام حسینیان نژاد، مهدی بدریان و خانم ها سمیه اسمعیل زاده، شیلان الیاسی، هیرو نظری و ماناساکی مهر، که پیوسته کلام گرمشان رو تشکر را هم بود و از راهنمایی و حمایت آنها بهره های فراوان برده ام، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم و برایشان آرزوی توفیق روز افزون دارم.

رضا آقامعلی پور

اسفند ۱۳۹۰

چکیده

الکتروریسی یکی از روش‌های مؤثر در تولید نانو الیاف پلیمری است. در روش مرسوم الکتروریسی الیاف به صورت نامنظم و بی‌آرایش در مقدار کم تولید می‌شوند. نانو الیاف تولید شده با روش متداول کاربردهای محدودی در ساخت غشاءها، پوشش زخم، فیلتراسیون، بیوسنسورها، کاتالیزورها دارد. جهت استفاده از نانو الیاف‌های الکتروریسی شده در کاربردهای منحصر بفرد نظیر تولید عصب مصنوعی، وسایل الکترونیکی بسیار ریز و افزایش استحکام نانو الیافها به الیاف الکتروریسی شده آرایش یافته(موازی) نیاز است. تاکنون روش‌های مختلفی برای تولید نانو الیاف موازی پیشنهاد شده است. تمام روش‌های ارئه شده دارای معایبی هستند. برای مثال نمی‌توان از این روش‌ها نانوالیاف موازی شده با طول‌های بلند را به‌دست آورد. همچنین برای تولید نانو الیاف موازی شده در سطحی گسترده دارای محدودیت می‌باشند. دراین تحقیق برای انجام فرایند الکتروریسی وتولید نانو الیاف با میزان هم ترازی بالا، روش جت چرخان را از طریق انتخاب بهینه طول ریسنده بهبود بخشیده‌ایم. برای این منظور با تغییر طول ریسنده قدرت میدان الکتریکی تغییر می‌کند ومنجر به تولید نانو الیاف با میزان آرایش-یافتگی بالاتر و میزان تولید بیشتر می‌شود. برای تغییر دادن طول ریسنده در شرایط فرآیندی یکسان با عایق کاری ریسنده، اثرات طولی ریسنده را که در میدان الکتریکی قرار می‌گیرد، بررسی نمودیم. همچنین در این کار سایر عوامل تاثیرگذار بر هم ترازی نانو الیاف؛ از قبیل ولتاژ، غلظت پلیمر و قطر جمع‌کننده مورد بررسی قرار گرفت. در بخش اول تحقیق مشاهده گردید که با تغییرطول ریسنده از۳۲ به۰/۲ میلیمتر ، در ولتاژ۲۰کیلوولت، قطرجمع کننده۴۰ سانتیمتروغلظت محلول ۱۷درصدوزنی، میزان موازی‌سازی به طورقابل توجهی افزایش یافت واز ۲۰به ۷۲درصد رسید. دربخش دوم برای بررسی اثر عوامل ولتاژ، قطرجمع‌کننده، غلظت محلول وطول عایق برموازی-سازی، سرعت تولید وقطر نانوالیاف از نرم‌افزارطراحی آزمایشDX-7 استفاده شده‌است. شرایط بهینه ولتاژ، قطرجمع کننده، غلظت محلول وطول عایق برای دستیابی به حداکثر درصد موازی‌سازی به ترتیب، ۲۰کیلوولت، ۴۲/۱۸سانتیمتر، ۱۵/۶۵درصدوزنی و۳سانتیمتر وبرای دست‌یابی به حداکثرسرعت تولید نانوالیاف به ترتیب، ۲۰کیلوولت، ۴۲/۳۷سانتیمتر، ۱۵/۶۲درصدوزنی و۳سانتیمتر می باشد. دراین شرایط بهینه، مقادیرآزمایشگاهی درصدموازی‌سازی وسرعت تولید نانوالیاف الکتروریسی شده به ترتیب، ۷۸/۰۲۳و$\frac{m}{s}$۲۳/۸۵می باشد.

کلمات کلیدی: الکتروریسی، جت چرخان، پلی اکریونیتریل، موازی سازی نانوالیاف، سرعت تولید نانوالیاف، قطر نانوالیاف

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول(مقدمه)..... ۱

۱- ۱ نانوالیاف..... ۱

۱- ۲ الکتروریسی..... ۳

۱- ۳ هدف تحقیق..... ۴

۱- ۴ چگونگی تنظیم مطالب وروندنگارش پایان نامه..... ۴

فصل دوم(الکتروریسی)..... ۵

۲- ۱ مقدمه الکتروریسندگی..... ۵

۲- ۲ روش‌های تهیه نانوفیبرهای پلیمری..... ۵

۲- ۳ تاریخچه الکتروریسی..... ۶

۲- ۴ اثرعوامل موثربرالکتروریسندگی..... ۱۰

۲- ۴- ۱ گرانروی..... ۱۰

۲- ۴- ۱- ۱ تاثیر گرانروی محلول روی قطرفیبر..... ۱۱

۲- ۴- ۱- ۲تاثیر گرانروی محلول روی مورفولوژی سطح..... ۱۲

۲- ۴- ۲ غلظت محلول..... ۱۳

۲- ۴- ۲- ۱ تاثیر غلظت محلول بر روی قطر فیبر..... ۱۳

۲- ۴- ۲- ۲ تاثیرغلظت محلول روی مورفولوژی فیبرها..... ۱۳

۲- ۴- ۳ کشش سطحی..... ۱۴

۲- ۴- ۴ دمای محلول..... ۱۵

۲-۴- ۵ ثابت دی‌الکتریک و فراریت حلال..... ۱۶

۲-۴-۶ تاثیر حلال بر روی مورفولوژی سطح الیاف..... ۱۶

۲-۴-۷ افزایش نمک و تنظیم هدایت محلول..... ۱۸

۲-۴-۸ رطوبت..... ۱۹

۲-۴-۹ وزن مولکولی پلیمر..... ۲۰

۲-۴-۱۰ ولتاژ بکار رفته..... ۲۱

۲-۴-۱۱ فاصله بین نوک نازل تا هدف (وسیله جمع کننده)..... ۲۴

۲-۴-۱۲ سرعت جریان جت..... ۲۴

۲-۴-۱۳ عوامل موثر در ناپایداری‌ها و بی نظمی‌های خمشی جت..... ۲۵

۲-۵ عامل‌دار کردن نانوفیبرهای الکتروریسیده..... ۲۶

۲-۵-۱ عامل‌دار کردن نانوفیبرهای پلیمری با مواد آلی در روش الکتروریسندگی..... ۲۷

۲-۵-۱-۱نانوفیبرهای پایدار در حلال..... ۲۷

۲-۵-۱-۲ عامل دار کردن نانوفیبرهای الکتروریسیده با مواد معدنی..... ۳۳

۲-۶کاربرد نانوفیبرهای پلیمری در جذب فلزات سنگین..... ۳۶

فصل سوم(ادبیات وپیشینه تحقیق).....۳۸
۳- ۱ مقدمه.....۳۸
۳- ۲ روش‌های موازی سازی نانوالیاف با استفاده ازالکتروریسی.....۴۱
۳- ۲- ۱ میدان الکتریکی دوترازه.....۴۲
۳- ۲ - ۲ جمع‌کننده سیلندری باسرعت چرخش بالا.....۴۳
۳- ۲- ۳ الکترودهای کمکی میدان الکتریکی.....۴۴
۳- ۲- ۴ دیسک نازک بالبه‌های تیز.....۴۶
۳- ۲- ۵ جمع‌کننده قابی.....۴۷
۳- ۲- ۶ الکتروریسی چند میدانی.....۴۹
۳- ۲- ۷ الکتروریسی کنترل شده (کنترل قطر وتعداد الیاف موازی شده).....۵۰
۳- ۲- ۸ الیاف باردار شده.....۵۲
۳- ۲- ۹ جمع‌کننده سیمی زاویه داربایسنده.....۵۳
۳- ۲- ۱۰ روش جت چرخان ساده.....۵۴
۳- ۲- ۱۱ روش جت چرخان اصلاح شده.....۵۵
فصل چهارم(مواد و روشها).....۵۷
۴-۱ مواد.....۵۷
۴-۲ دستگاه الکتروریسی جت چرخان.....۵۸
۴-۳ روش طراحی آماری آزمایش‌ها.....۶۰
۴- ۳- ۱ مراحل استفاده از طراحی آزمایش‌ها.....۶۲
۴- ۳- ۱- ۱ طراحی آزمایش ۶۲
۴- ۳- ۱- ۲ انجام آزمایش‌ها.....۶۲
۴- ۳- ۱- ۳ تحلیل نتایج.....۶۲
۴- ۳- ۱- ۴ اعتبار بخشی به آزمایش‌ها.....۶۲
۴-۳- ۲ روش پاسخ سطح (RSM).....۶۳
۴-۳-۳ CCD ۶۴
۴-۳- ۳- ۱ طراحی آزمایش.....۶۵
۴- ۴ بررسی ویژگی‌های نانوالیاف الکتروریسی شده.....۶۶
۴- ۵ اندازه‌گیری درصد موازی سازی نانوالیاف.....۶۸
۴- ۶ تعیین سرعت تولید نانوالیاف الکتروریسی شده.....۶۹
۴- ۷ تعیین قطرمتوسط نانوالیاف.....۷۰
فصل پنجم(نتایج وبحث).....۷۱
۵- ۱ نتایج آزمایش‌ها جهت بررسی تاثیرعایق برموازی‌سازی نانوالیاف.....۷۲
۵- ۲ تاثیرقطرجمع‌کننده برموازی‌سازی نانوالیاف.....۸۲
۵- ۳ نتایج بدست آمده از روش طراحی آزمایش‌ها.....۸۵
۵- ۳- ۱ تعیین محدوده متغیرها.....۸۵

۵-۳-۲ طراحی آزمایش با نرم افزار DX7.....۸۶
۵-۴ ارائه‌ی رابطه‌ی ریاضی برای درصد موازی‌سازی نانوالیاف الکتروریسی شده با نرم افزار DX7.....۸۶
۵-۴-۱ تاثیرعوامل موثربرموازی‌سازی نانوالیاف الکتروریسیده شده.....۹۲
۵-۴-۱-۱ تاثیر قطرجمع‌کننده برموازی‌سازی نانوالیاف الکتروریسیده شده.....۹۲
۵-۴-۱-۲ تاثیر ولتاژ برموازی‌سازی نانوالیاف الکتروریسیده شده.....۹۳
۵-۴-۱-۳ تاثیر غلظت محلول برموازی‌سازی نانوالیاف الکتروریسیده شده.....۹۳
۵-۴-۱-۴ تاثیر طول عایق برموازی‌سازی نانوالیاف الکتروریسیده شده.....۹۵
۵-۴-۲ تاثیرهمزمان عوامل موثربرموازی‌سازی نانوالیاف الکتروریسیده شده.....۹۵
۵-۴-۲-۱ تاثیرهمزمان عوامل قطرجمع‌کننده وولتاژ برموازی سازی نانوالیاف الکتروریسیده شده.....۹۵
۵-۴-۲-۲ تاثیرهمزمان عوامل قطرجمع‌کننده وغلظت محلول برموازی‌سازی نانوالیاف.....
الکتروریسیده شده ۹۹
۵-۴-۲-۳ تاثیرهمزمان عوامل قطرجمع‌کننده وطول عایق برموازی‌سازی نانوالیاف.....
الکتروریسیده شده.....۱۰۴
۵-۴-۲-۴ تاثیرهمزمان عوامل ولتاژ وغلظت محلول برموازی‌سازی نانوالیاف الکتروریسیده شده.....۱۰۶
۵-۴-۲-۵ تاثیرهمزمان عوامل ولتاژ وطول عایق برموازی‌سازی نانوالیاف الکتروریسیده شده.....۱۰۷
۵-۴-۲-۶ تاثیرهمزمان عوامل غلظت محلول وطول عایق برموازی‌سازی نانو الیاف.....
الکتروریسی شده.....۱۰۹
۵-۴-۳ شرایط بهینه تعیین درصدموازی‌سازی نانوالیاف الکتروریسی شده.....۱۱۱
۵-۵ ارائه‌ی رابطه‌ی ریاضی برای سرعت موازی‌سازی نانوالیاف.....۱۱۲
۵-۵-۱ تاثیرهمزمان عوامل موثربر سرعت تولید نانوالیاف الکتروریسیده شده.....۱۱۵
۵-۵-۱-۱ تاثیرهمزمان عوامل قطرجمع‌کننده وولتاژ برسرعت تولید نانوالیاف.....
الکتروریسیده شده.....۱۱۵
۵-۵-۱-۲ تاثیرهمزمان عوامل قطرجمع کننده وغلظت محلول برسرعت تولیدنانوالیاف.....
الکتروریسیده شده.....۱۱۷
۵-۵-۱-۳ تاثیرهمزمان عوامل قطرجمع‌کننده و طول عایق برسرعت تولیدنانوالیاف.....
الکتروریسیده شده.....۱۱۹
۵-۵-۱-۴ تاثیرهمزمان عوامل ولتاژو غلظت محلول برسرعت تولیدنانوالیاف.....
الکتروریسیده شده.....۱۲۱
۵-۵-۱-۵ تاثیرهمزمان عوامل ولتاژو طول عایق برسرعت تولیدنانوالیاف الکتروریسیده شده.....۱۲۳
۵-۵-۱-۶ تاثیرهمزمان عوامل غلظت محلول وطول عایق برسرعت تولیدنانوالیاف.....
الکتروریسیده شده.....۱۲۵
۵-۵-۲ شرایط بهینه تعیین سرعت تولید نانوالیاف الکتروریسی شده.....۱۲۶
۵-۶ نتایج آزمایش‌های تعیین قطرنانوالیاف.....۱۲۷

۵-۷ ارائه‌ی رابطه‌ی ریاضی برای قطر نانوالیاف الکتروریسی شده با نرم افزار DX7.....۱۲۹
۵- ۷- ۱ تاثیرهمزمان عوامل موثربرقطرنانوالیاف الکتروریسیده شده.....۱۳۳
۵- ۷- ۱- ۱ تاثیرهمزمان‌قطرجمع کننده وولتاژ برقطرنانوالیاف الکتروریسیده شده.....۱۳۳
۵- ۷- ۱- ۲ تاثیرهمزمان عوامل قطرجمع کننده وغلظت محلول برقطرنانوالیاف.....
الکتروریسیده شده.....۱۳۵
۵- ۷- ۱- ۳ تاثیرهمزمان عوامل قطرجمع کننده وطول عایق قطرنانوالیاف نانوالیاف.....
الکتروریسیده شده.....۱۳۸
۵- ۷- ۱- ۴ تاثیرهمزمان عوامل ولتاژ وغلظت محلول برقطرنانوالیاف الکتروریسیده شده.....۱۴۰
۵- ۷- ۱- ۵ تاثیرهمزمان عوامل ولتاژو طول عایق برقطرنانوالیاف الکتروریسیده شده.....۱۴۴
۵- ۷- ۱- ۶ تاثیرهمزمان عوامل غلظت محلول وطول عایق برقطرنانوالیاف الکتروریسی شده.....۱۴۶
فصل ششم(نتیجه گیری نهایی وپیشنهادات).....۱۴۹
۶- ۱ پیشنهادها.....۱۵۲
منابع.....۱۵۳

فصل اول

مقدمه

مواد ساخته شده از نانوالیاف، به دلیل داشتن تخلخل[1] و سطح مقطع بالا، درسال های اخیر بطور قابل ملاحظه ای موردتوجه قرارگرفته ونتاج امیدوار کننده ای از آنها مشاهده شده است[۱]. الکتروریسی یک تکنیک ریسندگی است، که بطورمنحصربه فردازنیروهای الکترواستاتیکی برای تولید الیاف ظریف از محلولهای پلیمری یا مذاب آنها استفاده کرده و الیافی با قطر کم(درمحدوده میکرون تا نانو)وسطح ویژه بالا را تولید می کند.

۱- ۱ نانوالیاف

واژه نانوالیاف از دو کلمه "نانو[2]" و" الیاف[3]" تشکیل شده است. واژه"Fiber" یا "Fibre" برگرفته از کلمه لاتین "Fibra"است و به معنای یک ساختار باریک و رشته مانند می‌باشد. صرفنظر از معنی لغوی، واژه الیاف در حوزه های مختلف می‌تواند معانی گوناگونی داشته باشد. از دید گیاه شناسان، الیاف سلولهایی با دیواره ضخیم و ممتدهستند که باعث استحکام و حفاظت بافت گیاه می‌شوند. متخصصین پزشکی، الیاف را

[1]Porosite
[2] Nano
[3] Fiber

موادی با طول بلند و ساختمانی رشته‌ای نظیر الیاف ماهیچه ها و الیاف اعصاب می‌دانند. در نساجی، الیاف به رشته های بلند طبیعی یا مصنوعی مانند کتان یا نایلون اطلاق می‌شود که قابلیت ریسندگی داشته باشند و بتوان آنها را به نخ تبدیل نمود. منشأ واژه نانو از لغت یونانی "Nannas"می‌باشد که به معنی "پیرمرد کوچک" است. در تعریف مدرن، نانو به مقادیر کمّی با مقیاس یک بیلیونیم از واحد مبنا اتلاق شده است و هر نانومتر معادل $۱۰^{-۹}$ مترمی‌باشد[۲].

به طور کلی نانوالیاف ها از خواص بی نظیری همچون ظرافت بالا (قطر کم)، نسبت سطح به حجم بسیار زیاد، قابلیت تشکیل لایه‌ای متخلخل با منافذ کوچک و انعطاف پذیری برخوردار هستند. این خواص منحصر به فرد، کاربردهای متنوع و فراوانی را برای آنها رقم زده است [۳و۴] که ازآن جمله می‌توان به کاربرد آنها در ساخت غشاء[۵و۶]، مهندسی بافت[۷و۸]، حسگرها[۹و۱۰]، سیستم های رهایش دارو[۱۱] و پوشش زخم[۱۲] اشاره نمود. نانوالیاف به سبب استحکام بیشتر نسبت به همتاهای بزرگ تر و همچنین نسبت سطح ویژه بزرگتر (خصوصیتی که نانوذرات را برای کاتالیز ارزشمند می‌سازد) قابل استفاده به صورت بستر واکنش نیز می‌باشند. نسبت سطح ویژه برای الیاف نانو نسبت به الیاف میکرو می‌تواند بیش از هزار برابر باشد و لایه‌ای که توسط نانوالیاف تولید می‌شود دارای خواص متمایز نسبت به سایر بافت‌های بدون ساختاراست زیرا با کمترین جرم بیشترین میزان لایه و سطح تولید می‌گردد. به‌طوری که تنها با یک گرم پلیمر می‌توان ۳۲۰۰۰ کیلومتر الیاف ۱۰۰ نانومتری تولید نمود[۱۳].

روش های مختلفی برای تولید نانوالیاف وجود دارد؛ این روش ها عبارتند از: روش کشش[1]، جداسازی فازی[2]، تولید در قالب[3]، خوداتصالی[4] (خودآرایی ماکرومولکول‌ها) و الکتروریسی. نتایج تحقیقات انجام شده توسط محققین فعال در حوزه تولید نانوالیاف، حاکی از برتری فرایند الکتروریسی نسبت به سایر روش ها می‌باشد. فرآیند الکتروریسی از لحاظ سرعت تولید، تنوع، پیوستگی، سادگی، هزینه و تجاری‌سازی نسبت به سایر روش ها کاملاً برتری دارد[۳و۴].

تاکنون بیش از صدها نوع پلیمر، کوپلیمر و مواد کامپوزیتی توسط فرایند الکتروریسی با موفقیت به نانوالیاف تبدیل شده‌است[۱۴]. در فرایند الکتروریسی امکان اضافه کردن بسیاری از مواد به محلول

[1] Drawing
[2] Phase Separation
[3] Template Synthesis
[4] Self- Assembly

الکتروریسی نیز وجود دارد بنابراین می‌توان انواع نانوالیاف عامل‌دار را جهت کاربردهای ویژه با این روش تولید نمود[۱۵]. با استفاده از روش الکتروریسی بستری برای افزایش استحکام مکانیکی غشای لایه نازک مرکب تهیه می‌شود.

۱- ۲ الکتروریسی

الکتروریسی یک روش قدیمی است که اولین بار توسط رایلت[1] درسال۱۹۸۷ موردتوجه قرارگرفت. زلنی[2][۱۶] به طور مفصل برروی الکتروریسی به مطالعه پرداخت. تیلور[3][۱۷] روی حرکت الکتریکی جت کارکرد که پایه واساس الکتروریسی می باشد. الکتروریسی، ریسندگی بوسیله ی نیروهای الکترو استاتیک می باشد و درسال های اخیر(حدودازسال ۱۹۹۴) مورد توجه قرارگرفته است. البته سرچشمه ی این تکنیک به ۶۰ سال پیش برمی گردد. الکتروریسی یک تکنیک ریسندگی است، که بطورمنحصربه فردازنیروهای الکترواستاتیکی برای تولید الیاف ظریف از محلولهای پلیمری یا مذاب آنها استفاده کرده و الیافی با قطر کم(درمحدوده میکرون تا نانو)وسطح مقطعی بالا را تولید می کند.

برای الکتروریسی یک ولتاژDC دربازه چندین کیلوولت لازم است. دردستگاه الکتروریسی متداول قطب مثبت منبع تغذیه ولتاژبالا به ریسنده وقطب منفی آن به جمع کننده وصل می شود. مبنای اصلی این تکنیک براساس دافعه ی متقابل بارهای شارژ شده ی محلول پلیمری است، که در نتیجه ی غلبه ی نیروهای الکترواستاتیکی بر نیروهای کشش سطحی این فرآیندصورت می گیرد[۱۸]. بین قطره ی پلیمری که از لوله ی مویین پایین می آید وسطح جمع کننده یک اختلاف پتانسیل الکتریکی برقرار می شود، وزمانیکه نیروهای الکترواستاتیکی برنیروهای کشش سطحی غلبه می کند، قطره خمیده شده وبصورت مخروط مرسوم به مخروط تیلور در می آید، ومحلول شارژشده ازانتهای لوله ی مویین بصورت شلاقی خارج شده وبه سمت جمع کننده حرکت می کند[۱۹]. به علت نیروهای دافعه بین سطح شارژشده ، جت بصورت ناپایدار ومارپیچی خارج می شود[۲۰و۲۱].درامتداد نیروهای الکتریکی جت هزاران بار کشیده شده وباریک میشود. سرانجام حلال تبخیرشده واگربصورت مذاب باشد متبلورمی شود ونانوالیافی طویل بر روی سطح مورد نظرجمع می‌شود[۱۹]. به علت حرکات مارپیچی الیاف جمع آوری شده دارای شکل بی نظم بوده ومیزان تولید نانوالیاف کم می باشد.

[1] Rayleight
[2] Zeleny
[3] Teylor

دراین پروژه برای انجام فرآیند الکتروریسی وتولید نانو الیاف با میزان هم ترازی بالا قصد داریم روش جت چرخان را از طریق انتخاب بهینه طول ریسنده بهبود ببخشیم. برای این منظور با تغییر طول ریسنده قدرت میدان الکتریکی تغییر می کند و این امر منجر به تولید نانو الیاف با میزان آرایش یافتگی بالاتر و میزان تولید بیشتر می شود. برای تغییر دادن طول ریسنده در شرایط فرآیندی یکسان می توان با عایق کاری ریسنده، اثرات طولی ریسنده را که در میدان الکتریکی قرار می گیرد بررسی نمود. همچنین در این پروژه سایرعوامل تاثیرگذاربرهم ترازی نانو الیاف؛ از قبیل ولتاژ، غلظت پلیمر و قطر جمع کننده مورد بررسی گرفت.

۱- ۳ هدف تحقیق

اهداف تحقیق

۱- بررسی عوامل موثراز قبیل ولتاژ،قطرجمع کننده، غلظت محلول پلیمری،ارتفاع جمع کننده برفرآیندالکتروریسی

۲- تولید نانو الیاف پلیمری با استفاده از روش الکتروریسی

۳- تلاش برای موازی سازی هر چه بیشتر نانوالیاف به دست آمده

۴- اندازه گیری سرعت تولید نانو الیاف

۵- بررسی اثرعوامل، برقطرنانوالیاف الکتروریسی شده

۱- ٤ چگونگی تنظیم مطالب وروندنگارش پایان نامه

مطالب ارائه شده در فصل های بعدی به شرح ذیل می‌باشد: در فصل دوم مروری برالکتروریسی وتاثیر عوامل مختلف برفرآیند الکتروریسی وچندنمونه ازکاربردهای نانوالیاف الکتروریسی شده موردبررسی قرارگرفته است. درفصل سوم پیشینه وادبیات تحقیق درزمینه روش‌های مختلف موازی سازی نانوالیاف با تکنیک الکتروریسی به تفصیل بحث شده است. در فصل چهارم مواد مورد استفاده، شرایط و نحوه انجام آزمایشات برای تعیین میزان موازی سازی نانوالیاف وسرعت تولیدنانوالیاف الکتروریسی شده بیان می‌گردد. در فصل پنجم نتایج حاصل ازانجام آزمایشات ارائه خواهند شد. در فصل ششم نتیجه‌گیری نهایی از تحقیق انجام شده وپیشنهادهای ممکن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل دوم

الکتروریسی

۲-۱ مقدمه الکتروریسندگی

زمانی که قطر مواد فیبری پلیمری از میکرومتر به زیر میکرون یا نانومتر کاهش پیدا می‌کند، خصوصیات قابل توجهی ایجاد می‌کند که مهمترین آن، افزایش قابل توجه در سطح ویژه فیبرهای پلیمری می‌باشد، به طوری که سطح ویژه یک نانوفیبر درحدود ۱۰۰۰ مرتبه می‌تواند بزرگتر از یک میکروفیبر باشد. این ویژگی برجسته، نانوفیبرهای پلیمری را قادر می‌سازد که برای کاربردهای گوناگون از جمله جذب مواد سنگین و اکتیو، پتانسیل بالایی داشته باشند.

۲-۲ روش های تهیه نانوفیبرهای پلیمری

برای تهیه نانوالیاف‌های پلیمری در سال‌های اخیر، روش‌های گوناگونی به‌کار گرفته شده است که در زیر به چند مورد از آن به طور خلاصه اشاره می‌شود.

الف) روش کشش[1] : این روش شبیه ریسندگی خشک در صنعت الیاف است که می تواند، نانوفیبرهای منفرد طویل بسازند، در این روش فقط مواد الاستیک، تحت تغییر شکل قوی با قدرت چسبندگی بالا قرار می‌گیرند و تحت فشار در طول کشش، به نانوفیبر تبدیل می‌شوند[۲۲].

ب) روش سنتز قالب[2] : در این روش از یک غشاء با منافذ نانومتری به عنوان قالب برای تهیه نانوفیبرهای جامد به شکل یک فیبریل یا لوله استفاده می‌شود. این روش نیز قادر به تولید نانوفیبر پیوسته یک به یک نیست[۲۳].

ج) روش جدایی فاز[3]: این روش شامل انحلال، ژله‌ای شدن، استخراج از طریق بکار بردن یک حلال متفاوت، منجمد کردن و خشک کردن می باشد که در نتیجه آن، اسفنج با منافذ نانو به دست می‌آید. در این فرایند برای تبدیل پلیمر جامد به اسفنج با منافذ نانو، مدت زمان زیادی نیاز است[۲۴].

د) روش خودتجمعی[4] : یک فرایند منفردی است که در آن ذرات به الگوهای از پیش تعیین شده در می‌آیند، در این روش نیز برای تهیه نانوفیبرهای پلیمری مدت زمان زیادی نیاز است[۲۵].

ه) روش الکتروریسندگی : روش الکتروریسندگی تنها روشی است که منجر به تولید نانوفیبرهای پیوسته جدا ازهم، از پلیمرها و کامپوزیت های مختلف می شود. با توسعه این روش، همچنین امکان ساخت نانوفیبرهای سرامیکی یا هیبریدی از جنس سرامیک و پلیمر وجود دارد[۲۶].

۲-۳ تاریخچه الکتروریسی

هر چند که عبارت الکتروریسندگی از ریسندگی الکتروستاتیکی مشتق شده و در سال ۱۹۹۴ برای اولین بار بکار برده شده است، اساس این روش به سال ۱۹۳۴ بر می‌گردد، زمانی که فرماهالس[1]، یک سری از

[1] Drawing
[2] Template synthesis
[3] Phase separation
[4] Self assembly

اختراعات را در سال های بین ۱۹۳۴ تا ۱۹۴۴ به نام خود ثبت کرد که در آن آزمایش‌ها، تهیه رشته‌های پلیمری را با به کارگیری نیروی الکتروستاتیکی توضیح می‌داد [۲۶-۲۸]. در روش اول یک محلول پلیمری مثل استات سلولز به میدان الکتریکی وارد شده و رشته های پلیمری از محلول بین دو الکترود با بارهای مخالف تشکیل می‌شدند، به طوری که یکی از الکترودها در داخل محلول پلیمری و الکترود دیگر در سمت جمع کننده قرار می‌گرفت، زمانی که از یک فلز با سوراخ کوچک، محلول خارج می‌شد، حلال این محلول باردار تبخیر شده و در نتیجه به سمت الکترود مخالف کشیده می‌شد و بر روی جمع کننده قرار می‌گرفت. مقدار اختلاف پتانسیل به ویژگی‌های محلول پلیمری از جمله وزن مولکولی و ویسکوزیته آن وابسته بود، همچنین فاصله بین دو الکترود هم مهم بوده، به طوری که اگر این فاصله از حد لازم کوتاهتر باشد، الیاف به دلیل ناقص شدن تبخیر حلال، بر روی هم می چسبند.

در سال ۱۹۵۲، نئوبر[۲] و ونگات[۳] توانستند قطرات هم شکل باردار شده در حدود ۰/۱ میکرومتر را تولید کنند[۲۹]. در سال ۱۹۵۵ دروزین[۴] توزیع شدن یک سری از مایعات به صورت قطرات معلق در هوا را تحت پتانسل‌های بالا مورد بررسی قرار داد[۳۰]. در سال ۱۹۶۶ سیمونز دستگاهی برای تولید منسوجات نابافته در اندازه‌های فوق‌العاده نازک را با به کارگیری ریسندگی الکتریکی به نام خود ثبت کرده است[۳۱].

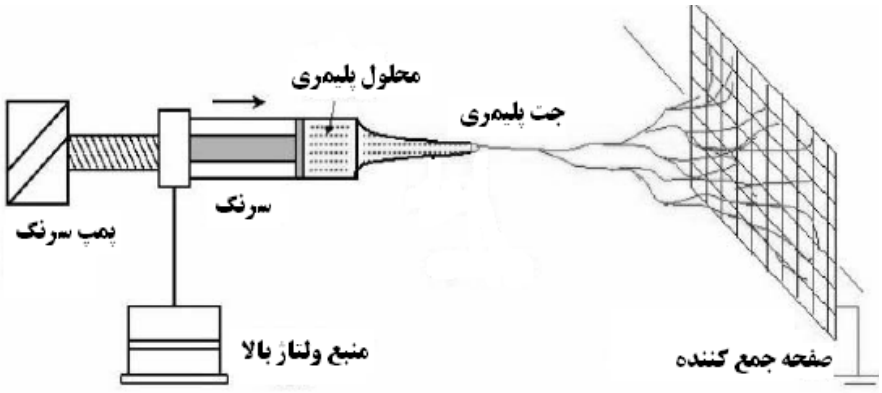
در سال ۱۹۷۱، بومگارتن[۵]، دستگاهی را برای الیاف آکریلی الکتروریسیده به قطر ۱/۱- ۰/۵ میکرون را ابداع کرد[۳۲] در آزمایش او، یک قطره از طریق یک لوله موئین خارج می‌شد و اندازه این قطره با تنظیم سرعت تغذیه به یک پمپ، ثابت نگه داشته می‌شد و یک جریان DC با ولتاژ بالا به لوله متصل شده و در نهایت الیافت روی پرده فلزی جمع آوری می‌شد.

از سال ۱۹۸۰ تا اکنون، روش الکتروریسندگی به روش بومگارتن بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است که با استفاده ازاین روش، الیاف بسیار ریز از پلیمرهای مختلف با ابعاد زیرمیکرون یا نانومتر را به آسانی می‌توان تولید کرد.

---

[1] Formhalas
[2] Neubaur
[3] Vonnegut
[4] Drozine
[5] Baumgarten

در شکل (۲-۱) شماتیکی کلی از فرآیند الکتروریسی نشان داده شده است. دستگاه الکتروریسندگی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارتند از : سیستم تامین کننده اختلاف پتانسیل با جریان DC در حد چند کیلوولت، یک لوله موئینه که معمولاً نقش نازل را بر عهده دارد و یک صفحه جمع کننده یا کلکتور که به زمین وصل می‌شود. در این دستگاه، نازل از طریق یک رابط که معمولا شلنگی از جنس سیلیکون می‌باشد، به یک سرنگ که محلول پلیمری را به داخل نازل هدایت می‌کند، متصل می‌شود که با استفاده از یک پمپ سرنگ، این جریان پلیمری می‌تواند با سرعت قابل کنترل تزریق شود. نازل همچنین به وسیله یک سیم مسی به قطب مثبت منبع ولتاژ بالا نصب می‌شود. نازل می‌تواند به صورت عمودی، افقی و یا زاویه‌دار در مقابل جمع‌کننده که معمولا یک صفحه آلومینیومی است، قرار گیرد. در طول فرایند الکتروریسی، بسته به شرایط، یک اختلاف ولتاژ بالا در حد چندکیلو ولت به قطره محلول پلیمری، انتهای نازل اعمال می‌شود، موقعی که ولتاژ از یک آستانه بالا می‌رود، نیروی الکتریکی بر کشش سطحی محلول پلیمری فائق آمده و یک جت پلیمری پایدار به شکل قیف به نام قیف تیلور از انتهای نازل به طرف جمع کننده پرتاب می‌شود. حلال در طول مهاجرت جت بین نازل و جمع کننده تبخیر شده، الیاف ریز پلیمری یا کامپوزیتی با قطر زیر میکرون و یا نانومتر در سطح جمع کننده، جمع می‌شود.

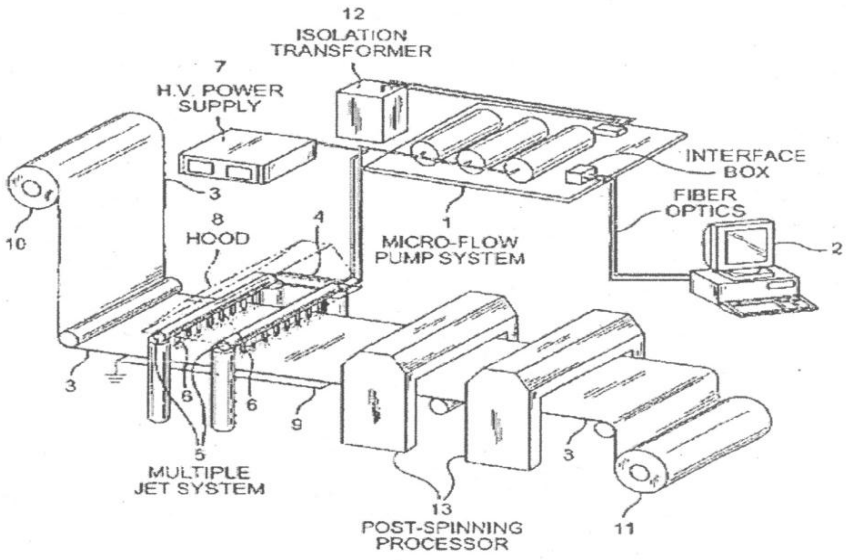


شکل ۲-۱ شماتیکی از فرایند الکتروریسی

روش الکتروریسندگی در سال های اخیر مسیر صنعتی شدن را طی نموده است. شمای کلی آن که توسط بنجامین چو[1] در سال ۲۰۰۴ ثبت اختراع شده است درشکل۲- ۲ نمایش داده شده است[۳۳]. مطابق شکل (۲-۲) سیستم پمپ (شماره۱) به کامپیوتر (۲) متصل می شود تا سرعت جریان پلیمری را کنترل کند. سرعت

[1] Benjamin chu

جریان محلول، با توجه به سرعت غشاء یا فیلتر (۳) خصوصیات فیزیکی غشاء نظیر ضخامت، قطر نانوفیبر، اندازه منافذ و دانسیته غشاء را تغییر خواهد داد. سیستم پمپ (۱) جریان را به سیستم چندتایی (۴) شامل ریس کننده های (۶) پمپ می‌کند. شکل هندسی ریس‌کننده ها طوری است که جت به آسانی در هر کدام از آنها تشکیل و بدون مداخله در همدیگر انتقال می‌یابد. هود شماره (۸) در قسمت بالایی سیستم چندتایی (۴) قرار می‌گیرد تا حلال را با توجه به سرعت تبخیر آن، خارج کند. صفحه (۹) زیر سیستم چندتایی قرار می‌گیرد و یک میدان الکتریکی بین (۶) و (۹) برقرار می‌شود. میدان الکتریکی باعث می‌شود تا جت های ریز از ریس-کننده خارج و بسوی (۹) اسپری شوند و الیاف های به قطر زیر میکرون یا نانومتر تولید کنند. یک غشاء نگهدارنده (۳) بین چرخ های (۱۰) و (۱۱) حرکت می‌کند تا الیاف تشکیل شده را جمع آوری نماید. سیستم کنترل کننده پمپ به طور الکتریکی از زمین جدا و با انتقال‌دهنده[1] (۱۲) تقویت می‌شود. از این سیستم برای تهیه غشاهای تجاری استفاده می‌شود.



شکل ۲-۲ دستگاه الکتروریسندگی بکار برده شده توسط بنجامین چو[۳۳]

تولید نانوفیبرهای پلیمری به روش الکتروریسندگی نه تنها از دیدگاه نساجی اهمیت روزافزون پیدا کرده است، بلکه به دلیل قابلیت بالای آنها از جمله سطح ویژه بسیار زیاد این نانوفیبرها درکاربردهای ویژه مانند

[1] Transformer