

بررسی تأثیر میدان مغناطیسی بر مورفولوژی نانو الیاف در فرآیند الکتروریسی

خواص؛ مهسا^۱. پیوندی؛ پدram^۲. توانایی؛ محمد علی^۳

^۱دانشگاه یزد، دانشکده مهندسی نساجی، m.khavas0072@yahoo.com

^۲دانشگاه یزد، دانشکده مهندسی نساجی، peivandi @ yazd.ac.ir

^۳دانشگاه یزد، دانشکده مهندسی نساجی، ma.tavanaie @ yazd.ac.ir

*m.khavas۰۰۷۲@yahoo.com

چکیده

الکتروریسی یکی از مهم‌ترین فرایندهای تولید نانو الیاف در سال‌های اخیر است. در این فرایند میدان الکتریکی قوی بین نازل حاوی محلول پلیمری و جمع‌کننده اعمال می‌شود و جت الکتروریسی را تشکیل می‌دهد. جت ایجادشده یک سری ناپایداری‌های خمشی را در فاصله‌ی الکتروریسی تحمل می‌کند و به دلیل حرکت نامنظم جت، نانو الیاف به‌طور تصادفی تشکیل لایه‌ای را بر روی جمع‌کننده می‌دهند که به دلیل سرعت بالای جت، کنترل ناحیه‌ی تجمع مشکل است، اما روش‌های مختلفی برای کنترل جت و ناحیه‌ی تجمع وجود دارد. با استفاده از میدان مغناطیسی خارجی امکان کنترل ناپایداری خمشی وجود دارد.

در این تحقیق با استفاده از قرارگیری آهنربا دائمی در موقعیت‌های مختلف، الکتروریسی نانو الیاف در حضور میدان مغناطیسی صورت پذیرفت. سپس با استفاده از میکروسکوپ الکترونی تصاویری از وب‌های تولیدشده تهیه شد و مورد تجزیه تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد حضور میدان مغناطیسی موجب کاهش ۲۰ تا ۲۸ درصدی قطر نانو الیاف در موقعیت‌های مکانی مختلف شده است که تأثیر چشمگیری در بهبود تولید نانو الیاف و افزایش یافتگی آنها داشته است.

کلیدواژه - الکتروریسی، مورفولوژی، میدان مغناطیسی، نانو الیاف

۱- مقدمه

الکتروریسی در منابع مختلف به‌عنوان روشی که در آن نانو الیاف از مایعات پلیمری با استفاده از میدان الکتریکی تهیه می‌شوند تعریف شده است [۱]. در روش الکتروریسی از یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا جهت تولید بار الکتریکی استفاده می‌شود. با عبور محلول از درون لوله موئینه، در اثر میدان الکتریکی حاصل از منبع تغذیه با ولتاژ بالا مابین نوک لوله موئینه و جمع‌کننده متصل به زمین، سیال باردار شده و از نوک لوله موئینه به سمت جمع‌کننده کشیده می‌شود. محلول با خروج از نازل به‌صورت یک قطره درآمده و به دلیل اعمال اختلاف پتانسیل الکتریکی و افزایش آن تا حد چندین کیلوولت قطره کروی به‌آرامی به یک مخروط تغییر شکل می‌یابد. این مخروط که به اصطلاح مخروط تیلور نامیده می‌شود با افزایش بیشتر ولتاژ به یک جت مایع تبدیل می‌شود و راه خود را به سمت جمع‌آوری‌کننده که در پتانسیل الکتریکی صفر قرار گرفته است ادامه می‌دهد [۲]. در اثر میدان الکتریکی ایجادشده و در نتیجه برهم‌کنش نیروهای مختلف جت پس از پیمودن مسیری کوتاه از حرکت مستقیم خود به‌سوی جمع‌آوری‌کننده منحرف شده و دچار یک ناپایداری خمشی می‌شود. این ناپایداری مسیر حرکت جت را به‌صورت یک

مارپیچ مخروطی که قطر حلقه‌های آن رفته‌رفته افزایش می‌یابد تغییر می‌دهد. آزمایش‌ها نشان داده است که این مسیر مارپیچی در نزدیکی جمع‌آوری‌کننده به یک حرکت تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی تبدیل می‌شود و در نهایت فیبر تولیدشده با موقعیتی نامعلوم بر سطح جمع‌آوری‌کننده می‌نشیند [۳].

از آنجایی که الکتروریسی به‌عنوان بهترین روش تولید نانو الیاف تاکنون شناخته‌شده است، لازم است تولید نانو الیاف با این روش و نیز نحوه آرایش یافتگی آن‌ها در وب ایجادشده به نحوی اصلاح و کنترل گردد در حقیقت، هنوز مشکلاتی در ارتباط با روش الکتروریسی برای تولید نانو الیاف وجود دارد، بدین منظور روش‌های مختلف الکتروریسی جدید برای حل چنین مشکلاتی بکار گرفته شده است. با به دست آوردن وب الکتروریسی شده با آرایش یافتگی کنترل‌شده می‌توان قابلیت کاربرد این نانو الیاف را افزایش داد [۴]. پیچیدگی فرایند الکتروریسی و تعداد زیاد پارامترهایی که بر آن تأثیر می‌گذارند باعث شده تا طرح یک مدل بسط و جامع از الکتروریسی به‌عنوان یک چالش مطرح شود [۵]. یکی از روش‌های اصلاح نانو الیاف اعمال نیروهای الکتریکی و مغناطیسی است. این نیرو به همراه سایر نیروها سبب کاهش ناپایداری‌های رشته پلیمری می‌شود از این نیرو می‌توان فیبرهای حاصل را شکل داده و نانو الیاف کنترل‌شده تر تولید نمود. همچنین می‌توان با اعمال هم‌زمان نیروی مغناطیسی و الکتریکی شکل ریسیده شدن فیبرها را کنترل کرد [۶].

در این تحقیق با توجه به اهمیت مورفولوژی نانو الیاف در فرآیند الکتروریسی به بررسی تأثیر حضور میدان مغناطیسی و موقعیت قرارگیری آن بر مورفولوژی نانو الیاف الکتروریسی شده پرداخته می‌شود.

۲- تجربیات

۲-۱ مواد

در این پژوهش از گرانول پلی آمید ۶ ساخت شرکت الیاف تهران با ویسکوزیته نسبی تقریبی $2/3$ و سایز گرانول 2×2 میلی‌متر به‌عنوان پلیمر استفاده شد. همچنین از اسید فرمیک ۹۹ درصد بانام MERK به‌عنوان حلال در تولید نانو الیاف استفاده شد.

دستگاه الکتروریسی ساخت شرکت ایرانی نانو آزما باقابلیت ریسندگی نانو الیاف دوسویه استفاده شد. دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی^۳ مدل Czech Republic, TESCAN VEGA برای بررسی مورفولوژی نانو الیاف پس از پوشش دهی توسط لایه‌نازکی از طلا مورد استفاده قرار گرفت. برای به دست آوردن قطر نانو الیاف از تصاویر با بزرگنمایی ۱۰,۰۰۰ برابر از لایه نانو الیاف استفاده شد. جهت اعمال میدان مغناطیسی نیز از دو آهنربای دائمی نئودیم به ابعاد $(4 \times 5 \times 5)$ با گرید ۴۲ استفاده شده است.

۲-۲ روش کار

ابتدا محلول‌های پلیمری با غلظت ۲۰ درصد وزنی - حجمی با افزودن مقدار لازم از گرانول به ۱۰ میلی‌لیتر حلال و قرار دادن آن‌ها بر روی همزن مغناطیسی برای مدت یک ساعت در دمای محیط تهیه شد تا محلول همگنی حاصل گردد. جهت تولید نانو الیاف از دستگاه الکتروریسی با سرعت چرخش ۴۰۰ دور بر دقیقه و نرخ تغذیه $0/1$ میلی‌لیتر استفاده شد. فرآیند الکتروریسی در دما و رطوبت محیط انجام شد. جهت انجام فرآیند الکتروریسی از یک سرنگ پلاستیکی با حجم ۵ سی‌سی با گیج ۱۸ استفاده شد. سرنگ آماده‌شده درون پمپ دستگاه قرار گرفت. روی سطح جمع‌کننده ورقه نازک آلومینیومی قرار داده و نانو الیاف تولیدی بر روی آن جمع‌آوری گردید. در این بررسی فاصله تعیین‌شده بین نازل و جمع‌کننده ۷ سانتی‌متر و ولتاژ

دستگاه ۲۰ کیلوولت تنظیم شد. آهنربا در سه موقعیت مکانی مختلف جهت بررسی تأثیر آن بر روی مورفولوژی نانو الیاف حاصل از پلی امید ۶ قرار گرفت.

جهت تعیین قطر هر نمونه از ۲ تصویر به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی استفاده و در مجموع میانگین ۴۰ قطر اندازه گیری شد. پس از اندازه گیری قطر ۴۰ لیف مختلف میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات قطر ها نیز محاسبه شد.

۳-نتایج و بحث

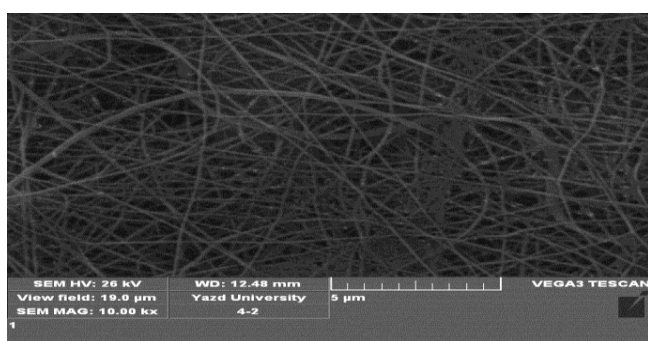
در این بخش به ارائه نتایج در خصوص حضور و عدم حضور میدان مغناطیسی و همچنین تأثیر موقعیت های مکانی مختلف قرار گیری آهنربا پرداخته شده است.

۳-۱- تأثیر حضور و عدم حضور میدان مغناطیسی

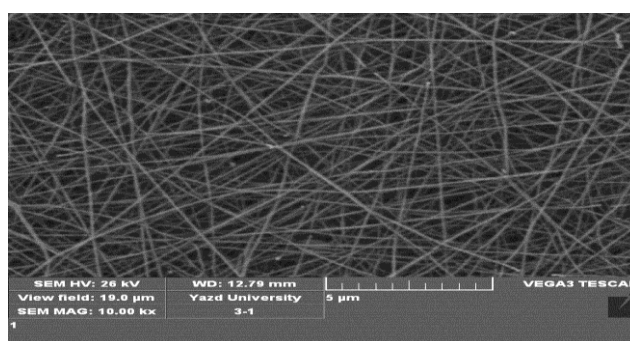
در جدول یک تحلیل آماری این تأثیر حضور و عدم حضور میدان مغناطیسی آورده شده است.

جدول ۱- تحلیل آماری حضور و عدم حضور میدان مغناطیسی

ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین (nm)	فرآیند
۱۰,۲۵	۱۶,۷۲	۱۶۱,۹۶	عدم حضور میدان مغناطیسی
۶,۵۴	۸,۴	۱۲۹,۴۹	حضور میدان مغناطیسی



ب



الف

شکل ۱: تصاویر SEM نانو الیاف الف (الکتروریسی در حضور میدان مغناطیسی ب) الکتروریسی بدون حضور میدان مغناطیسی

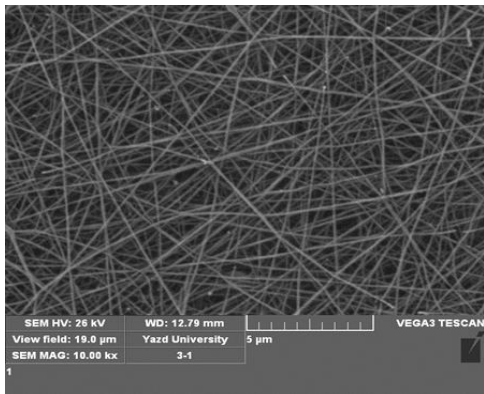
داده های جدول ۱ نشان می دهد قطر نانو الیاف در حضور میدان مغناطیسی کاهش ۲۰ درصدی داشته است. حضور میدان مغناطیسی باعث تقویت قدرت الیاف می شود و الیاف توانایی لازم جهت کشش را به دست می آورند به همین علت نانو الیافی ارایش یافته با یکنواختی بیشتر به وجود می آیند.

۳-۲- تأثیر تغییر موقعیت های مکانی آهنربا

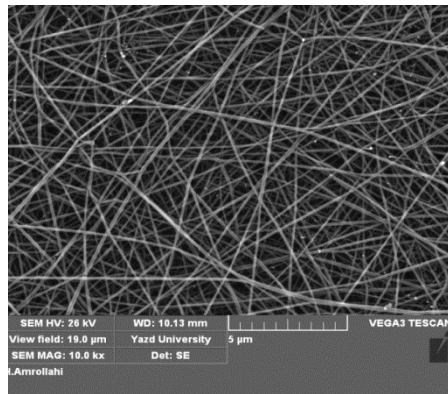
در این بخش به بررسی تأثیر موقعیت های مختلف قرار گیری آهنربا در دستگاه الکتروریسی پرداخته شده است. جهت بررسی این تأثیر آهنربا در سه حالت مختلف در دستگاه الکتروریسی قرار گرفت.

جدول ۲. تحلیل آماری موقعیت های مکانی مختلف آهنربا

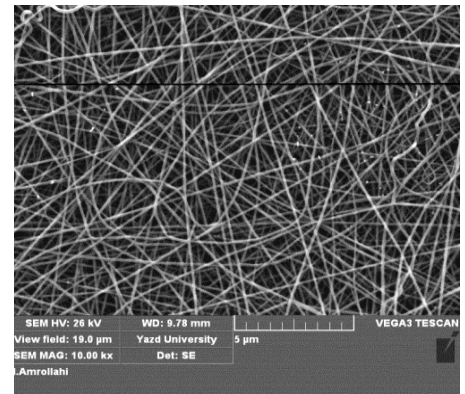
ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین (nm)	فرآیند
۶,۵۴	۸,۴	۱۲۹,۴۹	آهنربا زیر صفحه جمع کننده
۷,۱۳	۸,۵۸	۱۲۰,۱۷	آهنربا زیر نازل
۶,۵۲	۶,۹۱	۱۱۶,۳۳	دو آهنربا دو طرف صفحه جمع کننده



الف



ب



ج

شکل ۲: تصاویر SEM (الف) آهنربا زیر صفحه جمع کننده (ب) آهنربا زیر نازل (ج) دو آهنربا دو طرف صفحه جمع کننده

نتایج نشان می دهد وجود دو آهنربا در دو طرف صفحه جمع کننده باعث تقویت بیشتر میدان مغناطیسی شده است و شاهد الیاف ارایش یافته با یکنواختی بیشتر هستیم همچنین قطر نانوالیاف در این موقعیت کاهش ۲۸ درصدی داشته است. در شکل ۳ نمایی شماتیک از فرایند الکتروریسی در حضور دو آهنربا آورده شده است. با بررسی دو موقعیت مکانی دیگر نتایج نشان می دهد زمانی که آهنربا در زیر سوزن قرار دارد شاهد نانو الیافی با قطر کمتر هستیم زیرا در زمان خروج محلول از نازل میدان قوی تری در اطراف آن وجود دارد و الیاف با قدرت بیشتری کشیده می شوند.



شکل ۳: نمایی شماتیک فرایند الکتروریسی در حضور دو آهنربا

جهت بررسی آماری قطر نانوالیاف از تحلیل آنالیز واریانس یکطرفه استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل در جدول ۳ بین فرآیندهای مختلف تفاوت معنا داری وجود دارد و توزیع داده ها نرمال است.

P	F	انحراف استاندارد	میانگین (nm)	فرآیند
---	---	------------------	--------------	--------

بدون آهنربا	۱۶۳,۰۳	۱۶,۶۲	۴۴۰/۶۶۵ $p < ۰/۰۰۱$	جدول
آهنربا زیر صفحه جمع کننده	۱۲۹,۴۹	۸,۴۸		
آهنربا زیر نازل	۱۲۰,۱۷	۸,۵۸		
دو آهنربا دو طرف صفحه جمع کننده	۱۱۶,۳۳	۷,۹۱		

۳. تحلیل آنالیز واریانس یکطرفه نانو الیاف

۴- نتیجه گیری

جت الکتروریسی در مسیر خود با ناپایداری خمشی مواجه است که برای بهبود فرآیند الکتروریسی بایستی بتوان به نحوی بر این ناپایداری غلبه نمود. در این راستا مطالعات و تحقیقات مختلفی در سال های اخیر صورت گرفته در این پژوهش نیز با بررسی موقعیت های قرارگیری مختلف آهنربا در دستگاه الکتروریسی قطر و مورفولوژی نانو الیاف بررسی شد نتایج نشان می دهد که حضور میدان مغناطیسی باعث کاهش ۲۰ تا ۲۸ درصدی قطر نانو الیاف می شود که بهترین حالت جهت کنترل ناپایداری نانو الیاف استفاده از دو آهنربا در اطراف صفحه جمع کننده است که بیشترین کاهش قطر و یکنواختی را در این موقعیت شاهد هستیم.

۵- مراجع

- [۱] Y. Kadomae, M. Amagasa, M. Sugimoto, T. Taniguchi, and K. Koyama, "Effect of electric current on beads formation in electrospinning of poly(Vinyl Alcohol)," *Int. Polym. Process.*, vol. ۲۳, no. ۴, pp. ۳۷۷-۳۸۴, ۲۰۰۸.
- [۲] N. Bhardwaj and S. C. Kundu, "Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique," *Biotechnol. Adv.*, vol. ۲۸, no. ۳, pp. ۳۲۵-۳۴۷, ۲۰۱۰.
- [۳] D. Li and Y. Xia, "Electrospinning of nanofibers: reinventing the wheel," *Adv. Mater.*, vol. ۱۶, no. ۱۴, pp. ۱۱۵۱-۱۱۷۰, ۲۰۰۴.
- [۴] Z.-F. Ren, B.-Z. Liu, G.-Q. Liu, Y.-X. Kang, H.-Y. Fan, and H.-M. Li, "Effect of magnetic force on stability of the electrospinning process," *J. Text. Inst.*, vol. ۱۰۱, no. ۶, pp. ۵۷۱-۵۷۴, ۲۰۱۰.
- [۵] Y. M. Shin, M. M. Hohman, M. P. Brenner, and G. C. Rutledge, "Electrospinning: A whipping fluid jet generates submicron polymer fibers," *Appl. Phys. Lett.*, vol. ۷۸, no. ۸, p. ۱۱۴۹, ۲۰۰۱.

[1] Hui Wu, Rui Zhang, Xinxin Liu, and Dandan Lin, and W. Pan*, “Electrospinning of Fe, Co, and Ni nanofibers: Synthesis, Assembly, and Magnetic Properties,” *Chem. Mater.*, 19 (14), pp 3006–3011, 2007.