

افزایش آبدوستی لایه‌ی نانولیفی الکتروریسی شده پلی لاکتیک گلایکولیک اسید

علی اکبر مرآتی^{۱*}، مسعود لطیفی^۱، فاطمه زمانی^۱، حسین قنبری آلانق^۲ و فاطمه نادی پور^۱

۱ دانشیار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، پژوهشکده مواد و فناوری‌های پیشرفته در نساجی، تهران

۲ دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی

چکیده

در این تحقیق از فناوری پلازما برای بهبود آبدوستی داربست‌های نانولیفی پلی لاکتیک گلایکولیک اسید (PLGA) استفاده شد. علاوه بر استفاده از روش اصلاح پلازما از اصلاح ساختاری نمونه‌ها نیز جهت بهبود آبدوستی این داربست‌ها استفاده گردید. به این ترتیب داربست‌های ساده الکتروریسی شده، از نظر میزان آبدوستی، با دو گروه داربست اصلاح شده فوق تحت مقایسه قرار گرفتند. لیاف در داربست‌های ساده بطور تصادفی و با سرعت پایین جمع کننده در فرایند الکتروریسی تولید شدند و جهت انجام اصلاح ساختاری نمونه‌ها از سرعت بالای جمع کننده استفاده شد. برای تولید محلول الکتروریسی از کلروفورم و مخلوط کلروفورم/دی‌متیل‌فرم آمید استفاده شد. نتایج نشان داد که زاویه تماس آب نمونه‌های اصلاح شده، به دو روش ساختاری و پلازما، کاهش مطلوبی داشته و این نمونه‌ها آبدوستی بهتری در مقایسه با نمونه‌های خام و اصلاح نشده از خود نشان دادند. در مقایسه طیف ATR-FTIR نمونه‌ها مشاهده شد که گروه‌های C=O و C-O در نمونه‌های اصلاح شده با پلازما نسبت به نمونه‌های خام افزایش یافته است. این امر می‌تواند دلیل بهبود آبدوستی داربست باشد. همچنین، افزایش یکنواختی و آرایش یافتگی لیاف در نمونه‌های اصلاح ساختاری شده توسط افزایش سرعت جمع کننده باعث بهبود آبدوستی نانولیف شده است.

تاریخ دریافت:

۹۵/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش:

۹۵/۱۱/۱۰

آبدوستی نانو لیاف، الکتروریسی، پلازما،

پلی لاکتیک گلایکولیک اسید

واژگان کلیدی

۱) مقدمه

برای ایجاد بافت جدید در خارج از بدن، نیاز به یک بستر یا داربست جهت قرار گرفتن سلول‌ها بر آن می‌باشد. برای تولید داربست‌ها در مصارف پزشکی به پلیمرهای زیست‌سازگار و زیست‌تخریب‌پذیر نیاز است. طبق تحقیقات انجام شده پلی لاکتیک‌گلایکولیک اسید یک پلیمر مناسب جهت تولید این داربست‌ها در مهندسی بافت می‌باشد. یکی از خصوصیات لازم برای داشتن یک داربست مناسب آبدوستی است. آبدوستی سطح سبب چسبندگی و رشد بهتر سلول بر روی داربست می‌شود. پلیمرهای طبیعی مانند کلاژن، کیتوسان و غیره دارای آبدوستی مناسبی هستند، اما اغلب پلیمرهای مصنوعی آبدوستی لازم جهت کاربرد در مهندسی بافت را ندارند. پلی لاکتیک‌گلایکولیک اسید یک پلیمر زیست‌سازگار و زیست‌تخریب‌پذیر است که در مهندسی بافت کاربرد فراوان دارد. این پلیمر خواص مکانیکی مناسب جهت فرآیند کشت را دارد. این پلیمر در بدن به اسید لاکتیک و اسید گلایکولیک تجزیه می‌شود که بصورت آب و دی‌اکسید کربن از بدن دفع می‌شود. یکی از مشکلات عمده پلی لاکتیک‌گلایکولیک اسید آبریزی آن است. این امر سبب عدم چسبندگی مناسب سلول به سطح داربست می‌شود [۱]. سازوکارهای مختلفی جهت افزایش آبدوستی لایه‌های نانولیفی نظیر پوشش‌دهی با ذرات آبدوست، مخلوط کردن با سطح فعال‌های غیر یونی آبدوست، ایجاد ناهم‌واری در سطح، افزایش تخلخل لایه، پلازما و غیره وجود دارد که در این تحقیق از روش پلازما استفاده می‌گردد. روش پلازما موجب پاک‌سازی سطح از آلودگی‌های احتمالی و بهبود ترشوندگی و چسبندگی سلول به لیاف می‌شود. اصلاح سطح با استفاده از فرآیند پلازما بطور قابل توجهی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سطح مواد را تغییر می‌دهد. اصلاح پلازما یک روش زیست‌سازگار منحصربه‌فرد و قوی برای بهبود سطح مواد پلیمری بدون تحت تاثیر قرار دادن خواص توده‌ای آن است [۲] که می‌تواند سبب بهبود چسبندگی سطح، افزایش انرژی سطحی یا ترشوندگی، بهبود زیست‌سازگاری، رسوب زدایی از سطح و عامل‌دار کردن سطح شود [۳، ۴]. از آنجائیکه انجام فرآیند پلازما موجب ایجاد گروه‌های آبدوست مانند اکسیژن بر سطح پلیمر می‌شود، این فرآیند سبب افزایش آبدوستی پلیمرها می‌شود [۲]. پلازما بطور کلی به دو دسته تقسیم می‌شود: پلاسمای گرم و پلاسمای سرد. پلاسمای گرم با الکترون‌ها و ذرات سنگین (باردار و بدون بار) در دمای بالا ایجاد می‌شود و برای سطوح حساس به حرارت همچون پلیمرها نمی‌تواند استفاده شود.

پلاسمای سرد ترکیب اتم‌ها و مولکول‌های باردار و بدون بار و الکترون‌ها با دمای نسبتاً پایین است. از آنجائیکه یون‌ها و ذرات خنثی سرد باقی می‌مانند، پلاسمای سرد هیچگونه آسیب حرارتی به مواد وارد نمی‌کند. این خصوصیت امکان استفاده از پلاسمای سرد را برای مواد حساس به حرارت مانند پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر فراهم می‌کند [۵]. زمانی که یک پلیمر تحت پلاسمای سرد اکسیژن، هوا، نیتروژن یا آمونیاک قرار می‌گیرد، این گروه‌ها بر سطح پلیمر ایجاد می‌شوند. این ذرات آبدوست به دلیل واکنش ذرات فعال شیمیایی تولید شده به وسیله تخلیه‌ی بار گاز پلازما با گروه‌های مختلف مولکول‌های پلیمر تشکیل می‌شود. در واقع با عمل پلاسمای سرد، آلودگی‌های آلی موجود در روی سطح نمونه که دارای پیوندهای هیدروکربنی ضعیفی هستند از بین رفته و پس از آن گروه‌های فعال روی سطح پلیمر نشست و با اکسیژن واکنش داده و گروه‌های کربونیل، کربوکسیل و هیدروکسیل روی سطح ایجاد می‌کنند. در این میان نانوالیاف بدلیل آنکه سطح مخصوص‌شان بیشتر است نسبت به اصلاح سطحی پلازما حساس‌ترند [۶].

در گذشته بیشتر از پلاسمای اکسیژن خالص جهت اصلاح سطحی کولپلیمر پلی لاکتیک‌گلایکولیک اسید استفاده می‌شد. تحقیقات گذشته بر روی پلی لاکتیک اسید نشان می‌دهد که پلاسمای اکسیژن تاثیر تخریب سطحی بیشتری نسبت به پلاسمای نیتروژن داشته و میزان تخریب سطحی با افزایش قدرت پلازما افزایش می‌یابد. همچنین، تابش پلازما بر افزایش آبدوستی سطح پلی لاکتیک اسید موثر است [۶].

وان و همکارانش در سال ۲۰۰۴ تاثیر پلاسمای اکسیژن را بر روی فیلم پلی لاکتیک‌گلایکولیک اسید بررسی کردند. در این تحقیق نمونه‌هایی که به مدت ۲ و ۱۰ دقیقه اصلاح شدند کاهش زاویه تماس را نشان دادند. دلیل این موضوع افزایش گروه‌های C-O بر روی سطح نمونه بود [۷]. در کار دیگری توسط هانگ و همکارانش، نانوالیاف PVDF با پلاسمای آرگون عمل شده و مشاهدات نمونه عمل شده با پلازما نشان داد که آبدوستی نمونه افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است [۸].

روش‌های مختلفی برای تولید داربست‌های نانولیفی وجود دارد که الکتروریسی به دلیل سادگی نسبی، انطباق پذیری با کاربردهای گوناگون، توانایی تولید لیاف در ابعاد نانو متری، قابل کنترل بودن،

نمونه بر روی کریستال ZnSe قرار داده می‌شود، اشعه مادون قرمز، پس از عبور از کریستال، به نمونه برخورد می‌کند. متناسب با طول موج‌های جذب شده گروه‌های سطحی نمونه تعیین می‌گردد. این روش سریعترین روش برای تشخیص گروه‌های موجود بر سطح ساختار پلیمری می‌باشد. قله‌های ایجاد شده در طیف بیانگر گروه‌های موجود در سطح پلیمر است. با مقایسه طیف حاصله برای نانوالیاف پلی‌لاکتیک‌گلایکولیک اسید قبل و بعد از اصلاح با پلازما تغییرات در گروه‌های سطحی الیاف بررسی گردید. زاویه تماس قطره آب با سطح وب نانوالیاف برای تمام نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای این کار از دوربین DinoCapture ۲۰۰ plus استفاده شد. قطره به حجم ۵ میکرولیتر بر روی نمونه قرار داده شده و با استفاده از دوربین تصویر قرارگیری آن بر روی نمونه‌ها گرفته شد. سپس با استفاده از تصویر قطره و نرم افزار DinoCapture ۲۰۰ زاویه تماس نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

(۳) نتایج و بحث

در این تحقیق داربست نانولیفی پلی‌لاکتیک‌گلیکولیک اسید به روش الکتروریسی تولید شده و تحت فرایند پلازما قرار گرفتند. همچنین با افزایش سرعت برداشت در فرایند الکتروریسی، ساختار آرایش‌یافته نانوالیاف در لایه ایجاد گردید. داربست‌های نانولیفی الکتروریسی شده در سه گروه داربست ساده، داربست اصلاح پلازما شده و داربست اصلاح ساختاری شده مورد آزمایش و مقایسه قرار می‌گیرند. جهت یافتن شرایط بهینه الکتروریسی، نانو الیاف با شرایط مختلف تولید شده و توزیع قطری آنها مورد بررسی قرار گرفت تا شرایط بهینه بدست آید. عوامل بررسی شده بر الکتروریسی شامل نوع حلال، نرخ تغذیه و فاصله ریسندگی می‌باشند. توزیع قطری الیاف همراه با شرایط الکتروریسی در جدول ۱ نشان داده شده‌است. با توجه به میانگین قطر الیاف نشان داده شده در جدول ۱، نرخ تغذیه ۰٫۲۵ میلی‌لیتر بر ساعت و فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متر شرایط بهینه جهت تولید نانوالیاف می‌باشد. داربست‌ها در دو گروه داربست‌های ساده و داربست‌های اصلاح ساختاری شده تولید شدند. این دو گروه داربست با شرایط الکتروریسی گفته شده و با سرعت جمع‌کننده‌ی بترتیب ۰٫۲ و ۲٫۴ متر بر ثانیه (m/s) تولید شدند. با افزایش سرعت جمع‌کننده قطر الیاف کاهش یافته‌است. نمونه‌های شمار ۱ و ۷ دو نمونه‌ای هستند که فقط سرعت جمع‌کننده در فرایند الکتروریسی آنها متفاوت است. همانگونه که جدول ۱ نشان می‌دهد، افزایش سرعت جمع‌کنندگی سبب کاهش قطر الیاف گردیده‌است.

تکرارپذیری، مقرون به صرفه بودن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۹ و ۱۰]. جهت بررسی آبدوستی سطح داربست‌های نانولیفی، زاویه تماس نمونه‌ها مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. در این تحقیق سعی بر آن است تا با ارائه سازوکاری جهت افزایش آبدوستی سطح داربست‌های نانولیفی الکتروریسی شده پلی‌لاکتیک‌گلایکولیک اسید، با استفاده از روش پلازما، امکان بهبود رشد و تکثیر سلول بر روی داربست الکتروریسی شده از این پلیمر فراهم گردد.

(۲) تجربیات

جهت الکتروریسی لایه نانو الیاف از کلروفرم و دی‌متیل‌فرم‌آمید از شرکت مرک و پلی‌لاکتیک‌گلایکولیک اسید از شرکت سیگما استفاده گردید. با توجه به تحقیقات قبلی [۱] انجام شده محلول ۳٪ جرمی-حجمی پلی‌لاکتیک‌گلایکولیک اسید (۸۰/۲۰) با وزن مولکولی ۸۰۰۰۰ جهت الکتروریسی انتخاب شد. محلول‌های حاصله در ولتاژ ۲۰ کیلوولت و سرعت جمع‌کننده ۰٫۲ متر بر ثانیه با نرخ تغذیه ۰٫۲۵ و ۰٫۵ میلی‌لیتر بر ساعت و فاصله الکتروریسی ۱۰ و ۱۵ سانتیمتر الکتروریسی شدند و پس از مقایسه محدوده قطری حاصل شده، بهترین نمونه‌ها جهت عملیات فرایند پلازما انتخاب شدند. برای تصویربرداری از نانوالیاف از میکروسکوپ الکترونی Philips XL۳۰ استفاده گردید. نمونه‌های نانوالیاف تولید شده به مدت ۱۲۰ ثانیه تحت جریان ۱۰ میلی‌آمپر با پلازما پوشش داده شده و تصویر میکروسکوپ الکترونی آنها تحت ولتاژ ۱۵ کیلوولت تهیه شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار "measurement" قطر نانو الیاف از روی تصاویر اندازه‌گیری شد. پس از بررسی داده‌های بدست آمده، نمونه‌های مناسب و یکنواخت با قطر متفاوت انتخاب شدند تا در فرایند الکتروریسی مجدد تحت سرعت‌های مختلف جمع‌کننده الکتروریسی شوند. از دستگاه پلازما از نوع DC پالسی شرکت پلازما فن امین استفاده شد. برای بررسی تاثیر گازهای مختلف بر روی نمونه‌ها، فرایند پلازما با گازهای آرگون، اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن انجام شد. زاویه تماس نمونه‌ها با استفاده از تمامی گازها کاهش مطلوبی داشت. با توجه به مقالات بررسی شده، نیتروژن و هیدروژن سبب ایجاد گروه‌هایی با ترکیبات خود گاز بر روی نمونه می‌شوند. طبق تحقیقات قبلی گازهای اکسیژن و آرگون برای بهبود آبدوستی مناسب بودند. از آنجاییکه امکان تخریب سطحی پلیمر با گاز اکسیژن بیشتر بوده و امکان کنترل دما با دستگاه پلازمای کاربردی در این تحقیق وجود ندارد، گاز آرگون برای فرایند پلازما انتخاب شد. برای شناسایی گروه‌های سطحی نانوالیاف از دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز (ATR-FTIR) مدل USA ۶۷۰ Termo Nicolet Nexus استفاده گردید.

جدول ۱) میانگین قطری نانو الیاف

شماره نمونه	حلال	نرخ تغذیه (ml/h)	فاصله ریسندگی (cm)	سرعت جمع کننده (m/s)	میانگین قطری الیاف (nm)
۱	کلروفرم ۱۰۰٪	۰٫۲۵	۱۰	۰٫۲	۱۳۵۲±۳۰۰
۲	کلروفرم ۱۰۰٪	۰٫۵	۱۰	۰٫۲	۱۳۲۴±۲۲۷
۳	کلروفرم ۱۰۰٪	۰٫۵	۱۵	۰٫۲	۱۳۳۸±۳۵۶
۴	کلروفرم ۸۰٪-دی متیل فرم آمید ۲۰٪	۰٫۲۵	۱۰	۰٫۲	۴۷۸±۱۴۶
۵	کلروفرم ۸۰٪-دی متیل فرم آمید ۲۰٪	۰٫۵	۱۰	۰٫۲	۱۰۰۶±۲۰۸
۶	کلروفرم ۸۰٪-دی متیل فرم آمید ۲۰٪	۰٫۵	۱۵	۰٫۲	۳۸۰±۶۳
۷	کلروفرم ۱۰۰٪	۰٫۲۵	۱۰	۲٫۴	۸۷۰±۲۹۰
۸	کلروفرم ۸۰٪-دی متیل فرم آمید ۲۰٪	۰٫۲۵	۱۰	۲٫۴	۳۶۷±۹۸

نمونه شماره ۸ نیز مشابه نمونه شماره ۴ است که با سرعت بالای جمع کننده تولید شده و کاهش قطر الیاف را نشان می‌دهد. همچنین افزایش سرعت جمع کننده باعث ایجاد آرایش یافتگی منظم در الیاف می‌گردد (جدول ۲). در جدول ۲ توزیع قطری و تصاویر میکروسکوپ الکترونی نانوالیاف تولید شده نشان داده شده است. همانطور که در جداول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود قطر الیاف تولید شده با استفاده از حلال کلروفرم-دی‌متیل فرم‌امید کمتر از نمونه دیگر می‌باشد. علت این امر می‌تواند تفاوت در ثابت دی‌الکتریک دو حلال باشد. ثابت دی‌الکتریک کلروفرم ۴٫۸ و دی‌متیل فرم‌امید ۳۶٫۷۱ است. با افزایش ثابت دی‌الکتریک حلال، ناپایداری خمشی جت الکتروریسی نیز افزایش می‌یابد که منجر به افزایش محدوده شکل‌گیری الیاف و همچنین کاهش قطر الیاف بر اثر طولانی شدن مسیر جت می‌شود [۱۱].

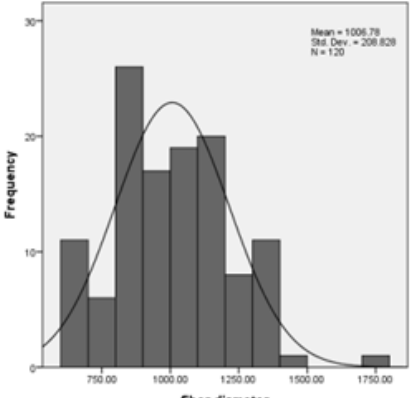
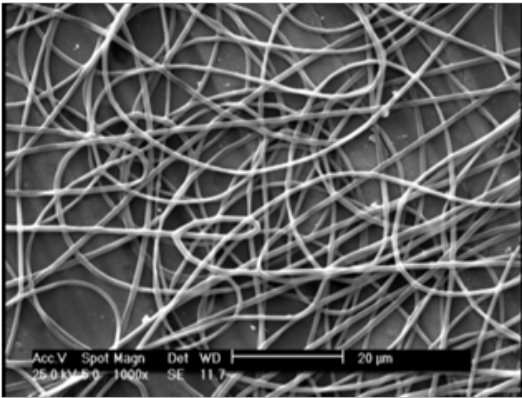
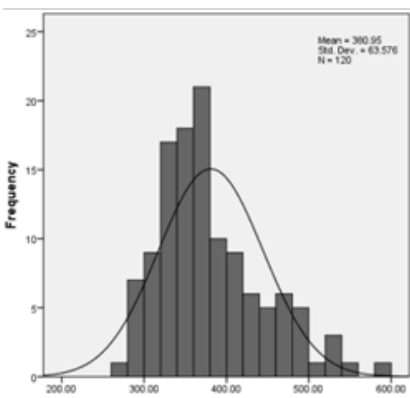
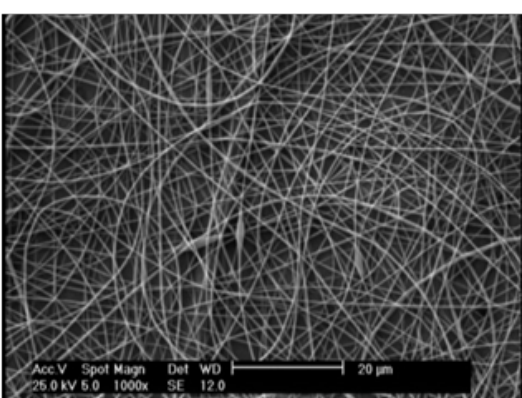
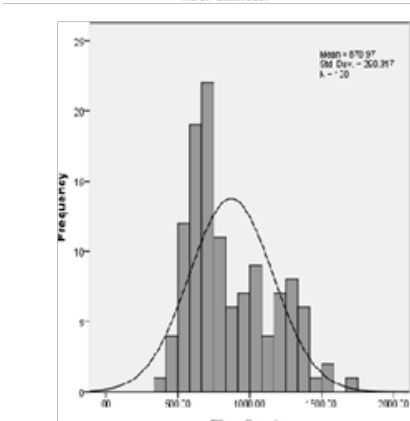
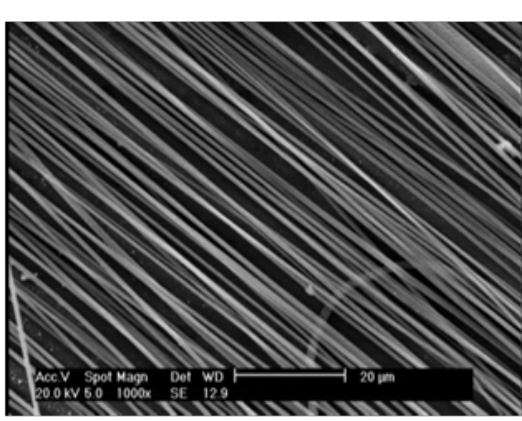
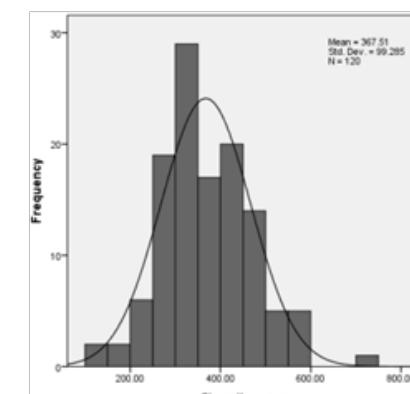
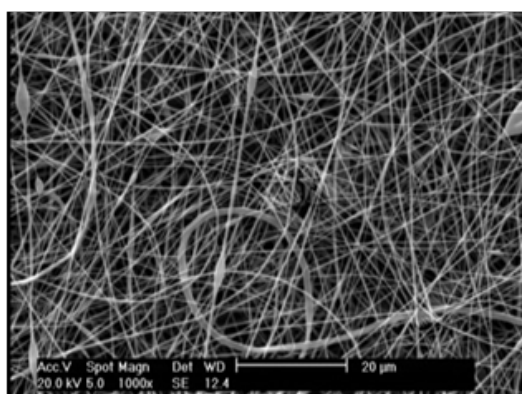
با مقایسه طیف ATR-FTIR حاصله از نانوالیاف پلی‌لاکتیک‌گلیکولیک اسید قبل از اصلاح و پس از فرایند پلازما تغییرات نمونه‌ها و گروه‌های عاملی تشکیل شده بر سطح الیاف مشخص شد. برای بررسی تغییرات فیزیکی سطحی ایجاد شده بر سطح الیاف در طی فرایند پلازما تصاویر میکروسکوپ الکترونی الیاف تهیه شد (شکل ۱). همانطور که تصاویر میکروسکوپ الکترونی نانوالیاف در شکل ۱ نشان می‌دهد اصلاح سطحی الیاف با استفاده از فرایند پلازما تغییری در ظاهر الیاف ایجاد نمی‌کند. طیف ATR-FTIR برای نانو الیاف پلی‌لاکتیک‌گلیکولیک اسید قبل و بعد از فرایند پلازما برای مدت ۲ دقیقه توسط آرگون فعال در شکل ۲ نشان داده شده است. ابتدا طیف‌ها نسبت به طول موج

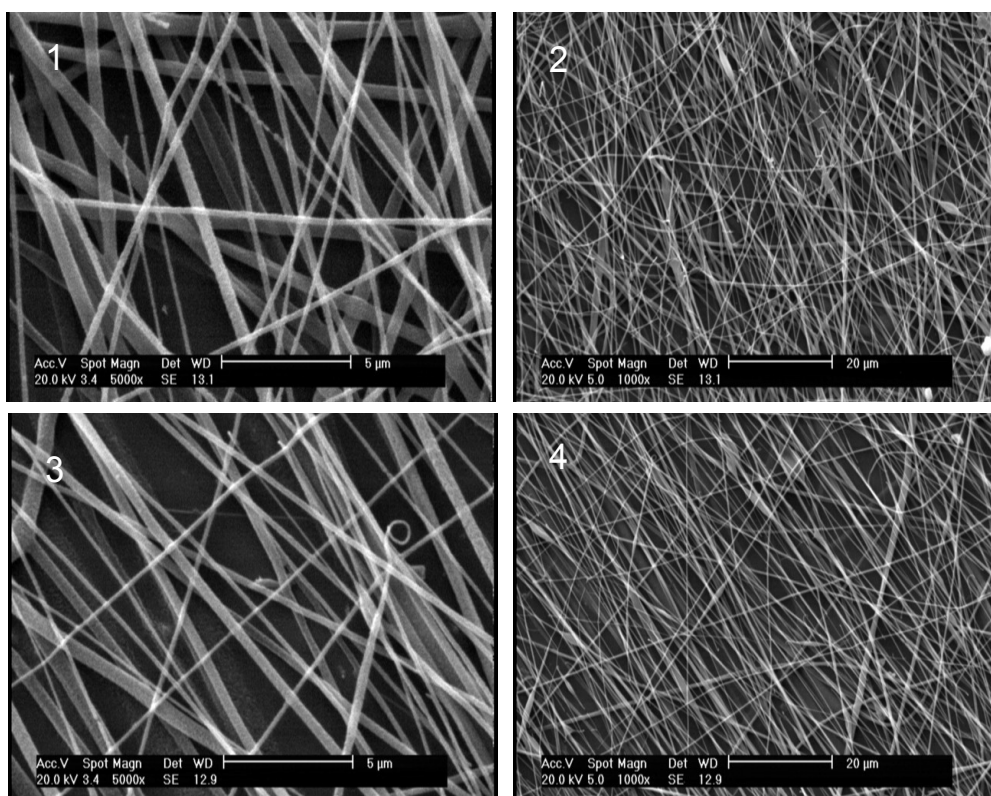
۱۴۵۰ که قله مرجع پلی‌لاکتیک‌گلیکولیک اسید است نرمالیزه شده است [۱۱]. با توجه به طیف ATR-FTIR گروه‌های اصلی ساختار پلی‌لاکتیک‌گلیکولیک اسید شناسایی شد. پیوند C=O کششی کربونیل که در محدوده طول موج ۱۸۲۰-۱۶۶۰ با یک پیک قوی مشخص می‌شود [۱۱]. در این جا در طول موج ۱۷۵۶ دیده می‌شود. پیوند C-O کششی استری در محدوده طول موج ۱۳۰۰-۱۰۰۰ چند قله قوی ایجاد می‌کند که در این طیف در طول موج‌های ۱۰۹۰ و ۱۱۳۰ و ۱۱۸۴ نمایان شده است [۱۲]. همچنین قله‌های ۱۴۵۲ و ۱۳۸۲ به ترتیب بیانگر گروه‌های CH_2 و CH_3 می‌باشد. همچنین با مقایسه طیف نمونه خام پلی‌لاکتیک‌گلیکولیک اسید و طیف نمونه اصلاح شده با پلازما در شکل ۲ مشاهده می‌شود که شدت قله پیوندهای C=O و C-O، در نمونه اصلاح شده با پلاسمای آرگون افزایش قابل توجهی داشته است. برای بررسی میزان آبدوستی نمونه‌ها بروش اندازه‌گیری زاویه تماس، نمونه‌های آماده شده به دو دسته نمونه ساده یا معمولی "R" و نمونه اصلاح ساختاری شده یا آرایش یافته "A" تقسیم شدند. بخشی از نمونه‌ها که فقط با حلال کلروفرم تولید شدند با حرف "C" و بخش دیگری از نمونه‌ها که از ترکیب کلروفرم و دی‌متیل فرم‌امید در محلول آنها استفاده گردید با حرف "D" نمایش داده شدند. نمونه‌های معمولی DR و CR با استفاده از فناوری پلازما اصلاح شدند و به ترتیب با CP و DP نمایش داده شدند. نمونه‌های آرایش یافته CA و DA بدون اصلاح با پلازما نگه داشته شدند (جدول ۳).

جدول ۲) تصاویر میکروسکوپ الکترونی-نمودار توزیع قطری

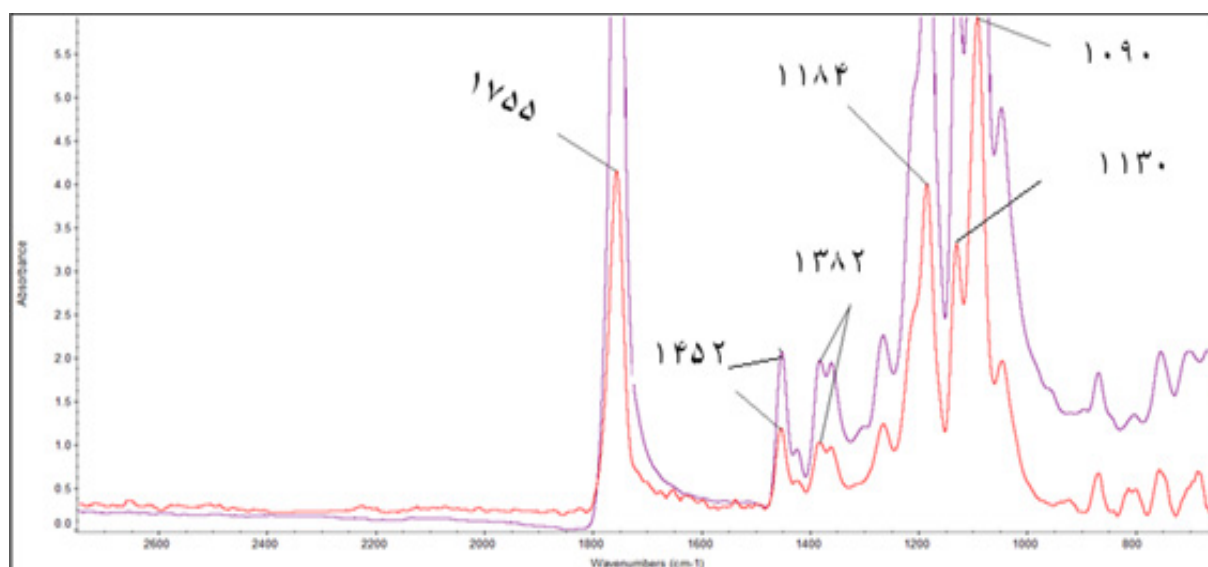
نمودار توزیع قطری	تصویر میکروسکوپ الکترونی	شماره نمونه
<p>Mean = 1352.17 Std. Dev. = 300.768 N = 120</p>	<p>Acc.V Spot Magn Det WD 25.0 kV 5.0 1000x SE 11.7</p>	۱
<p>Mean = 1324.08 Std. Dev. = 227.277 N = 120</p>	<p>Acc.V Spot Magn Det WD 25.0 kV 5.0 1000x SE 11.9</p>	۲
<p>Mean = 1338.96 Std. Dev. = 356.305 N = 120</p>	<p>Acc.V Spot Magn Det WD 25.0 kV 5.0 1000x SE 11.9</p>	۳
<p>Mean = 478.25 Std. Dev. = 148.268 N = 120</p>	<p>Acc.V Spot Magn Det WD 25.0 kV 5.0 1000x SE 11.9</p>	۴

جدول ۲) تصاویر میکروسکوپ الکترونی-نمودار توزیع قطری

نمودار توزیع قطری	تصویر میکروسکوپ الکترونی	شماره نمونه
		۵
		۶
		۷
		۸



شکل (۱) تصاویر میکروسکوپ الکترونی، (۱) الیاف اصلاح نشده با بزرگنمایی $\times 5000$ ، (۲) الیاف اصلاح نشده با بزرگنمایی $\times 1000$ ، (۳) الیاف اصلاح شده با پلاسما با بزرگنمایی $\times 5000$ ، (۴) الیاف اصلاح شده با پلاسما با بزرگنمایی $\times 1000$



شکل (۲) طیف مادون قرمز. طیف قرمز: نمونه اصلاح نشده، طیف بنفش: نمونه اصلاح شده با استفاده از پلاسما آرگون

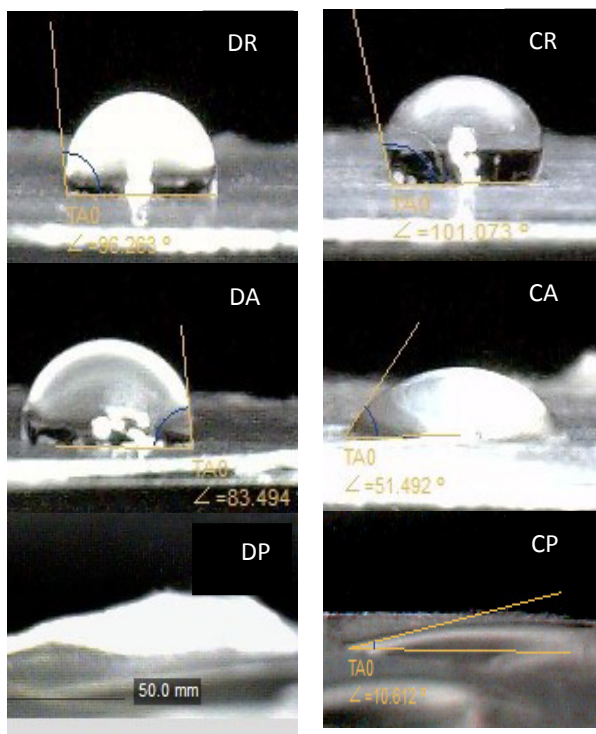
جدول ۳) شرایط نهایی تولید نمونه‌های نانوالیاف الکتروریسی شده

نام اختصاری نمونه	حجم کلروفورم (cc)	حجم دی‌متیل‌فرمامید (cc)	جرم پلیمر (g)	فاصله ریسندگی (cm)	نرخ تغذیه (ml/h)	ولتاژ اعمالی (kv)	سرعت جمع‌کننده (m/s)	فرایند پلازما
CR	۱	۰	۰,۰۳	۱۰	۰,۲۵	۲۰	۰,۲	خیر
CA	۱	۰	۰,۰۳	۱۰	۰,۲۵	۲۰	۲,۴	خیر
DR	۰,۸	۰,۲	۰,۰۳	۱۰	۰,۲۵	۲۰	۰,۲	خیر
DA	۰,۸	۰,۲	۰,۰۳	۱۰	۰,۲۵	۲۰	۲,۴	خیر
CP	۱	۰	۰,۰۳	۱۰	۰,۲۵	۲۰	۰,۲	بلی
DP	۰,۸	۰,۲	۰,۰۳	۱۰	۰,۲۵	۲۰	۰,۲	بلی

نتایج اندازه‌گیری زاویه تماس نمونه‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود زاویه تماس در نمونه‌های اصلاح شده با پلازما CP و DP کاهش چشمگیری داشته است. این اتفاق می‌تواند بدلیل گروه‌های آبدوست ایجاد شده در اثر پلازما باشد. نمونه‌های CA و DA از جهت آماری زاویه تماس کمتری نسبت به نمونه‌های CR و DR دارند. با افزایش سرعت جمع‌کننده در فرآیند الکتروریسی، آرایش الیاف افزایش می‌یابد. افزایش آرایش یافتگی الیاف سبب کاهش زاویه تماس نمونه‌ها می‌شود [۱]. شکل ۳ تصاویر زاویه تماس نمونه‌های نانوالیاف الکتروریسی شده را نشان می‌دهد.

جدول ۴) نتایج زاویه تماس نانو الیاف الکتروریسی شده

شماره نمونه	نام نمونه	زاویه تماس
۱	CR	107 ± 5
۲	CA	53 ± 2
۳	CP	10 ± 1
۴	DR	94 ± 3
۵	DA	83 ± 2
۶	DP	12 ± 3



شکل ۳) تصاویر زاویه تماس نانوالیاف الکتروریسی شده

۴) نتیجه گیری

ابتدا نانو الیاف پلی لاکتیک گلیکولیک اسید، با استفاده از کلروفرم خالص و مخلوط کلروفرم-دی متیل فرم امید بعنوان حلال، با دو سرعت متفاوت جمع کننده الکتروریسی شدند. با اندازه گیری زاویه تماس نمونه‌های تولید شده با سرعت بالای جمع کننده، مشاهده شد که تولید الیاف با سرعت بالای جمع کننده سبب کاهش زاویه تماس می‌شود. این امر می‌تواند به دلیل آرایش یافتگی بیشتر الیاف در سرعت بالای جمع کننده باشد. نمونه‌های حاصل از الکتروریسی پلیمر در سرعت جمع کننده پایین، با استفاده از فناوری پلاسما اصلاح شدند. زاویه تماس نمونه‌های اصلاح شده با پلاسما نیز کاهش چشمگیری داشت که با توجه به طیف ATR-FTIR نمونه‌ها می‌تواند بدلیل افزایش گروه‌های C=O، C-O بر سطح الیاف باشد. بنابر این می‌توان نتیجه گرفت که فرایند پلاسما و اصلاح ساختاری و یا فیزیکی داربست از طریق افزایش سرعت جمع کننده می‌تواند باعث افزایش آبدوستی داربست‌های نانولیفی پلی لاکتیک گلیکولیک اسید گردند.

۵) مراجع

[۱] زمانی، ف.، «مهندسی مشخصه‌های ساختمانی داربست نانو الیاف PLGA جهت کشت سلول عصبی»، رساله‌ی دکتری، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۱.

[2] Ryu, G. H., Yang, W. S., Roh, H. W., Lee, I. S., Kim, J. K., Lee, D. H., Park, B. J., Lee, M. S. and Park, J. C., «Plasma surface modification of poly (d,l-lactic-co-glycolic acid) (65/35) film for tissue engineering», *Surface & Coatings Technology* 193 60–64, 2005.

[۳] قاسمی مبارکه، ل.، «ساخت داربست‌های نانوالیاف جهت مهندسی بافت سلول‌های عصبی»، رساله‌ی دکتری، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۸.

[4] Solouk, A., Brian, G. C., Mirzadeh, H. and Seifalian, M. A., «Application of Plasma Surface Modification Techniques to Improve Hemocompatibility of Vascular Grafts: A Review», Published online in Wiley Online Library, 58(5), 311-327, 2011.

[۵] خوشدل، ن.، «نیترژن-کربن دهی پلاسمایی توسط توری فعال»، سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن متالوژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۵.

[6] Morent, R., Nathalie, D. G., Tim, D., Peter, D. and Christophe, L., "Plasma Surface Modification of Biodegradable Polymers: A Review", *Plasma Process. Polym*, 2011, 8, 171–190.

[7] Wan, Y and Qu, X., "Characterization of Surface Property of Poly(lactide-co-glycolide) after Oxygen Plasma Treatment", *Biomaterials*, 2004, 25, 4777–4783.

[8] Huang, F. L., Wang, Q. Q., Wei, Q. F, Gao, W. D., Shou, H. Y. and Jiang, S. D., "Dynamic wettability and contact angles of poly(vinylidene fluoride)nanofiber membranes grafted with acrylic acid", DOI:10.3144/expresspolymlett.,69, 2010.

[9] Desai, T. A., "Micro and Nanoscale Structures for Tissue Engineering Constructs", *Medical Engineering & physics*, Vol. 22, pp. 595-606, 2000.

[10] Sill, T. J. and Recum, H. A. V., "Electrospinning: Applications in Drug Delivery and Tissue Engineering", *Biomaterials*, Vol. 29(13), 1989-2006, 2008.

[11] Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W. E., Lim, T. C. and Ma, Z., «An Introduction to Electrospinning and Nanofibers», World scientific publishing Singapore, 2005.

[۱۲] دونالد، پ.، گری، ل.، جورج، ک. و برهمن، م.، «نگرشی بر طیف سنجی»، انتشارات علمی و فنی، تهران، ویرایش اول، ۱۳۷۲.