

طراحی و ساخت زخم‌پوش الکترورسی شده بر پایه الیاف پلی‌وینیل‌پیرولیدون اصلاح شده با ترکیب‌های آلونه‌ها برای درمان آگزما پوستی

سیده‌شادی امینی‌دهکردی^۱، نرگس آقامحمدی^۲ و جواد شعبانی‌شایه^{۳*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مرکز تحقیقات پروتئین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲. مربی دانشکده شیمی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. استادیار مرکز تحقیقات پروتئین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

دریافت: خرداد ۱۴۰۲ بازنگری: تیر ۱۴۰۲ پذیرش: تیر ۱۴۰۲

doi 10.30495/JACR.2023.1988101.2129

چکیده

در این پژوهش، یک نوع جدید از زخم‌پوش بر پایه بسیار پلی‌وینیل‌پیرولیدون (PVP) اصلاح شده با ترکیب‌های استخراج شده از آلونه‌ها (Av)، با روش الکترورسی ساخته شد. پس از دستیابی به شرایط بهینه ساخت با روش‌های طراحی آزمایش، این زخم‌پوش با روش‌های مشخصه‌یابی مانند طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه، میکروسکوپ الکترونی روبشی، پراش پرتو ایکس، تجزیه وزن‌سنجی گرمایی، گرماسنجی روبشی تفاضلی و روش‌های مکانیکی سختی‌سنجی بررسی و مطالعه شد. با شرایط بهینه که از طراحی آزمایش به دست آمد، رشته‌های بسیار صاف، بدون گره با قطر الیاف PVP در حدود ۱۰۰ نانومتر، قطر الیاف PVP-Av و الیاف دارای روکش ویژه درمانی (PVP-Av-Film) به ترتیب حدود ۱۰۵ و ۱۲۰ نانومتر شدند که نسبت سطح به حجم مناسبی داشتند. بر پایه نتیجه‌های به دست آمده استفاده از روکش بسیار بر زخم‌پوش نه تنها موجب افزایش مقاومت مکانیکی آن شد بلکه مقدار آب‌دوستی این زخم‌پوش را افزایش داد. افزون‌براین، بررسی‌های زیستی نشان داد که این زخم‌پوش سمیت بسیار کمی برای سلول‌های زیستی دارد و می‌تواند برای درمان آگزما پوستی به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: زخم‌پوش، الکترورسی، آلونه‌ها، پلی‌وینیل‌پیرولیدون، آگزما پوستی.

مقدمه

اثر آسیب‌دیدن پوست، به‌راحتی به بدن حمله می‌کنند و موجب بروز عفونت شدید، جلوگیری از انجام مراحل درمان و حتی بروز عوارض تهدیدکننده زندگی می‌شوند. بدین منظور، تلاش‌های

پوست عضو بسیار مهمی برای حفاظت از اندام‌های داخلی بدن در برابر عامل‌های خارجی است و مانع ایجاد کم‌آبی در بدن می‌شود که باید در برابر آسیب‌ها حفظ شود. میکروپها در

سدیم، آهن، پتاسیم، منگنز، مس، روی، منیزیم، سلنیوم، کروم هستند [۷ و ۸]. ترکیب‌های آلوئه‌ورا در درمان ترک‌های پوستی و خشکی پوست، به‌ویژه آگزما‌ی دور چشم و پوست‌های بسیار حساس کاربرد دارد. این ترکیب‌ها موجب نرم، تازه و درخشان شدن پوست می‌شوند. همچنین، با رساندن اکسیژن بیشتر به سلول، موجب ترمیم بافت و مانع از چروک و پیری پوست می‌شود. لوسیون آلوئه‌ورا نیز به‌عنوان پاک‌کننده برای پوست کاربرد دارد. روش‌های بسیاری برای تثبیت ترکیب‌های دارویی بر بسترهای پادعفونی مورد استفاده در درمان وجود دارد که الکترورسی یکی از آن روش‌ها است [۹]. الکترورسی فرایندی برای تولید انواع نانوالیاف و میکروالیاف از محلول‌های مواد بسیار یا محلول‌های چندسازه‌های است. الکترورسی را ریسندگی الکترواستاتیکی یا برق‌رسی نیز نامیده‌اند. در روش الکترورسی از یک منبع تغذیه ولتاژ بالا برای تولید بار الکتریکی در جریان محلول بسیار استفاده می‌شود. برای تولید نانوالیاف، یکی از الکتروده‌های منبع تغذیه ولتاژ بالا به محلول بسیار و الکتروُد دیگر به زمین یا به جمع‌کننده رسانا متصل می‌شود. با عبور محلول از درون لوله موئینه، در اثر میدان الکتریکی به‌دست‌آمده از منبع تغذیه ولتاژ بالا بین نوک لوله موئینه و جمع‌کننده، سیال باردار و از نوک لوله موئینه به سمت جمع‌کننده کشیده می‌شود. در اثر حرکت سیال، حلال تبخیر و رشته‌هایی با قطر زیر میکرون بر جمع‌کننده تولید می‌شود. عامل‌های بسیاری بر رفتار شیمیایی و فیزیکی الیاف الکترورسی شده اثر می‌گذارد مانند ویژگی‌های ذاتی محلول بسیار، عوامل فرایندی در الکترورسی و تاثیرات محیطی که به‌دست‌آوردن شرایط بهینه در این فرایند را دارای اهمیت بسزایی می‌کند [۱۰، ۱۱]. پلی‌وینیل‌پیرولیدون (PVP)^۲ پودری با شکل ظاهری برفکی روشن، یکی از بهترین سپارهای سنتزی است که قابلیت حل شدن در آب را به مقدار بالاتر از ۴۰

بسیاری برای توسعه مواد نوین برای حفاظت از پوست آسیب‌دیده در برابر عفونت و کم‌آبی، انجام شده است [۱]. از ویژگی‌های یک زخم‌پوش می‌توان به مواردی مانند داشتن قابلیت جذب ترشح‌های اضافه از روی زخم، حفظ و نگه‌داشتن رطوبت در محل زخم، داشتن قابلیت عبوردهی گاز، عایق گرمایی بودن، غیرسمی بودن، برخورداری از ویژگی پادباکتریایی و جلوگیری از ورود میکروب‌ها به محل زخم و جداسدن آرام بدون آسیب‌رساندن به محل زخم، اشاره کرد [۲]. گستره بیماری‌های پوستی به قدری گسترده است که برای هر عارضه‌ای باید از تجهیزات و درمان‌های متفاوتی استفاده کرد [۳]. آگزما یکی از بیماری‌های پوستی است که طی آن پوست رطوبت خود را از دست می‌دهد و بیماران دچار آگزما دارای پوستی خشک و پیر خواهند بود. برای درمان آگزما باید به پوست با ترکیب‌های متفاوت، رطوبت کافی را رساند. برای این منظور امروزه پزشکان از کرم‌های آب‌رسان استفاده می‌کنند [۴]. اگرچه این داروها در کوتاه مدت می‌توانند این مشکل را برای بیماران حل کنند، ولی داروهای با خاستگاه گیاهی افزون بر نداشتن اثرهای جانبی، ماندگاری بیشتری نیز دارند [۵]. آلوئه‌ورا^۱ گیاهی با برگ‌های ضخیم، گوشتی و دراز است. حاشیه برگ‌های آن کمی خم‌دار و دارای تیغ است. پلی‌ساکاریدها مسئول اکثر فعالیت‌های زیستی گیاه آلوئه‌ورا هستند [۶]. آکمانان و گلوکومانان به‌عنوان دو جز اصلی ترکیب‌های آلوئه‌ورا هستند که موجب سرعت‌بخشی به بازسازی بافت، فعال کردن ماکروفاژها، تحریک سامانه ایمنی بدن، کاهش التهاب و افزایش نفوذ لکوسیت‌ها می‌شوند [۷]. ژل آلوئه‌ورا که از آن پودر آلوئه‌ورا تهیه می‌شود، موجب افزایش مقدار کلاژن زخم، افزایش شاخه‌های عرضی کلاژن و به‌دلیل محیط مرطوب، آسان‌سازی رهایش دارو می‌شود. ترکیب‌های موجود در ژل آلوئه‌ورا، ۹۶ درصد آب و ۴ درصد مواد گوناگونی است که ۷۵ نوع آن شناخته شده‌اند که شامل پاداکسنده‌هایی در قالب ویتامین‌های آ، ب، ث، ای و مواد معدنی شامل کلسیم،

1. Aloe Vera

2. Polyvinylpyrrolidone (PVP)

درصد وزنی دارد. پلی‌وینیل‌پیرولیدون از واکنش استیلن، آمونیاک و فرمالدهید تحت فشار تهیه می‌شود [۱۲]. پلی‌وینیل‌پیرولیدون در لوازم آرایشی، نوشیدنی‌ها و همچنین، به همراه پادزیست‌هایی مانند اکسی‌تتراسایکلین به صورت محلول کاربرد دارد و موجب نفوذ پادزیست به داخل ارگان‌های متفاوت می‌شود و تأثیری بر فعالیت پادزیست نمی‌گذارد [۱۳]. از این رو، پلی‌وینیل‌پیرولیدون می‌تواند به عنوان یک بستر مناسب برای تثبیت ترکیب‌های آلوتی و استفاده شود که نه تنها می‌تواند ویژگی‌های این ترکیب‌ها را حفظ کند، بلکه با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن می‌توان از این ترکیب در فرایند الکترورسی نیز استفاده کرد. در این گزارش یک زخم‌پوش برای درمان اگزما برپایه استفاده از ترکیب‌های آلوتی و تثبیت‌شده بر بستر پلی‌وینیل‌پیرولیدون طراحی و با روش الکترورسی، تولید شده است.

بخش تجربی

همه مواد مورد استفاده خلوص مرتبه تجزیه‌ای داشتند و بدون خلوص سازی دوباره، مورد استفاده قرار گرفتند. پودر پلی‌وینیل‌پیرولیدون و پودر مورد استفاده برای روکش‌های الکترورسی شده از شرکت ره‌آورد تامین خریداری شدند و پودر آلوتی و از شرکت پارس‌افرادارو تهیه شد. بقیه مواد شیمیایی از شرکت مرک خریداری شدند.

برای آماده‌سازی حلال‌ها، از آب مقطر، اتانول ۹۶ درصد و دی‌متیل‌فورمامید به ترتیب با نسبت‌های حجمی ۱، ۴/۵ و ۴/۵ استفاده شد. برای تهیه هر محلول، ۴ میلی‌لیتر حلال با کمک گرمکن همزن‌دار و یک آهنربای کوچک پوشش‌دار در دمای ۵۰ درجه سلسیوس هم‌زده شد تا به خوبی همگن شود. برای تهیه محلول پلی‌وینیل‌پیرولیدون از ۲۴۰ میلی‌گرم پلی‌وینیل‌پیرولیدون استفاده شد.

۲θ برای الگوی XRD نمونه‌ها ۱۰ تا ۸۰ درجه بود. برای بررسی گروه‌های عاملی نمونه‌ها، طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) به کار گرفته شد. برای بررسی‌های فیزیکی و پایداری گرمایی نمونه‌ها، تجزیه وزن‌سنجی گرمایی^۲ (TGA)، گرماسنجی روبشی تفاضلی^۳ (DSC) و آزمون کشش به کار گرفته شد. گرماسنجی روبشی تفاضلی بر نمونه‌های پلی‌وینیل‌پیرولیدون، آلوتی و الیاف پلی‌وینیل‌پیرولیدون در گستره دمایی ۲۵ تا ۶۰۰ درجه سلسیوس

1. Central Composite Design (CCD)

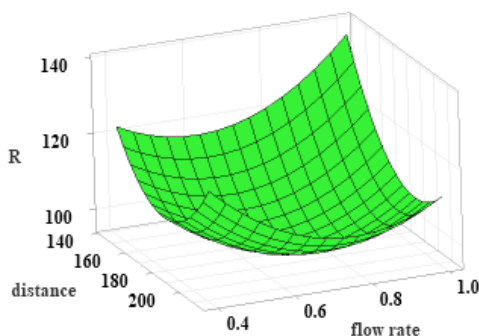
3. Differential thermogravimetry (DTG)

2. Thermal gravimetric analysis (TGA)

آزمون کشش نانوالیاف برپایه استاندارد ASTM D882 انجام که برپایه آن، طول نمونه ۲۰ میلی‌متر، عرض آن ۱۰ میلی‌متر و سرعت کشش ۵ میلی‌متر در دقیقه به کار برده شد. نمودار برپایه تنش-کرنش رسم شد. نمودار افقی بیانگر کرنش (ϵ) و نمودار عمودی بیانگر تنش (σ) بود.

نتیجه‌ها و بحث

شکل‌های ۱ و ۲ نتیجه‌های مربوط به داده‌های طراحی آزمایش برای فرایند الکترورسی را نشان می‌دهند. شکل ۱ نمودار سه بعدی داده‌های مربوط به قطر الیاف الکترورسی شده بر حسب نانومتر را نسبت به تغییرهای دو مولفه سرعت جریان و فاصله نازل از بستر الکترورسی نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌توان مشاهده کرد ضخیم‌ترین الیاف مربوط به کمینه و بیشینه عامل‌ها و نازک‌ترین الیاف حدود مربوط به میانگین عامل‌ها است. در برداشت دقیق‌تر، بهترین حالات (نازک‌ترین الیاف) مرتبط با فاصله بیشتر و سرعت جریان کمتر است. نمودار احتمال بهنجار در شکل ۲ نشان می‌دهد که مقدارهای باقی‌مانده آزمایش‌ها از یک توزیع بهنجار پیروی می‌کنند. بهنجاربودن مقدارهای باقی‌مانده بیانگر طبیعی بودن داده‌های آزمایش برپایه مدل طراحی شده و کفایت آن‌ها هستند.



شکل ۱ اثر متقابل فاصله نازل از بستر الکترورسی و سرعت جریان بر اندازه قطر الیاف PVP

انجام گرفت. سرعت گرمادهی به نمونه ۲۰ درجه سلسیوس بر دقیقه در نظر گرفته شد.

جدول ۱ شرایط در نظر گرفته شده برای الکترورسی

نمونه	عامل		بیشترین	کمترین	$+\alpha$	$-\alpha$
	نام	واحد				
A	فاصله نازل از بستر الکترورسی	میلی‌متر	۲۰۰	۱۶۰	۲۱۴	۱۴۶
B	سرعت جریان	میلی‌لیتر در ساعت	۰٫۹	۰٫۵	۰٫۴	۱٫۰
C	ولتاژ	کیلوولت	۲۱	۱۷	۱۶	۲۲

جدول ۲ شرایط تولید نانوالیاف پلی‌وینیل‌پیرولیدون

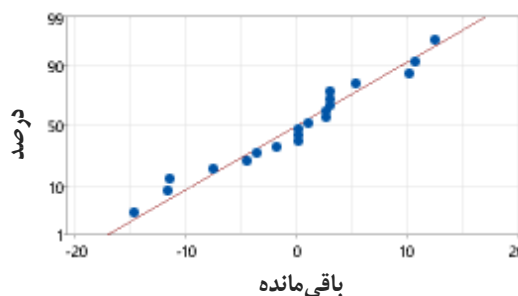
نمونه	فاصله نازل از بستر الکترورسی (میلی‌متر)	سرعت جریان (میلی‌لیتر در ساعت)	ولتاژ (کیلوولت)
A	۲۰۰	۰٫۵	۲۱
B	۱۶۰	۰٫۵	۱۷
C	۲۰۰	۰٫۹	۲۱
D	۱۶۰	۰٫۹	۲۱
E	۱۶۰	۰٫۹	۱۷
F	۱۶۰	۰٫۵	۲۱
G	۲۰۰	۰٫۵	۱۷
H	۲۰۰	۰٫۹	۲۱
I	۱۸۰	۰٫۴	۱۹
J	۱۸۰	۰٫۷	۲۲
K	۱۸۰	۰٫۷	۱۹
L	۱۸۰	۰٫۷	۱۹
M	۱۸۰	۰٫۷	۱۹
N	۱۸۰	۰٫۷	۱۹
O	۱۸۰	۰٫۷	۱۶
P	۱۸۰	۱٫۰	۱۹
Q	۲۱۴	۰٫۷	۱۹
R	۱۴۶	۰٫۷	۱۹

نتیجه‌های بررسی‌ها نشان داد که ولتاژ اعمال شده، بیشترین تاثیر را بر قطر نمونه‌ها در فرایند الکتروریسی اعمال کرده است. مدل فرایند الکتروریسی الیاف PVP از معادله ۱ پیروی می‌کند.

$$R = 1658 + 5.82 A + 2.17 C + 1.01 B - 8.01 BC \quad (1)$$

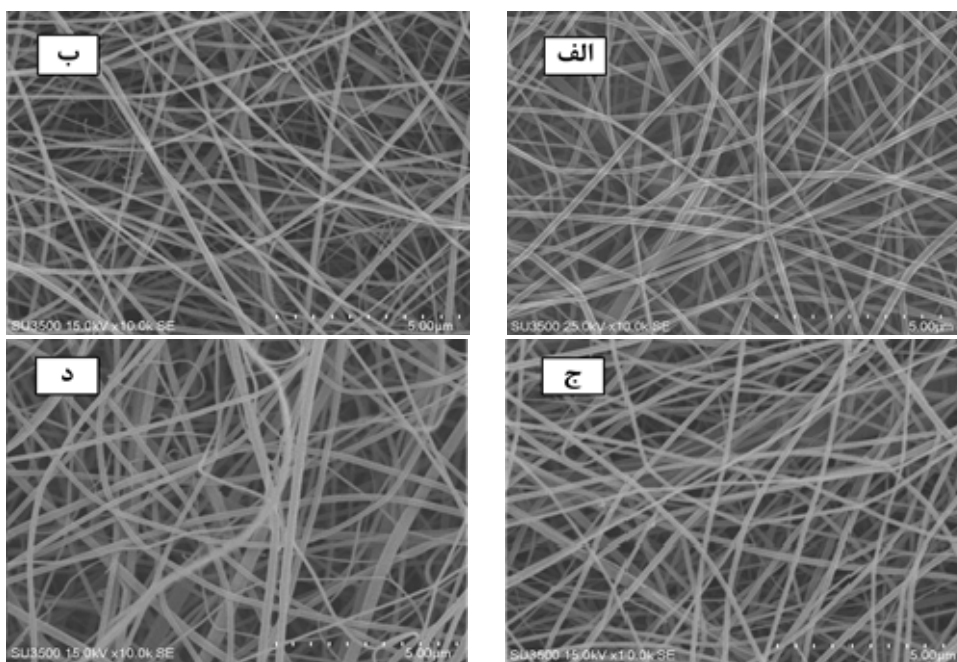
که در این معادله، R قطر الیاف، A فاصله نازل از بستر الکتروریسی، B سرعت جریان و C ولتاژ اعمال شده است.

شکل ۳ تصویرهای میکروسکوپ الکترونی به دست آمده از الکتروریسی نمونه‌های پلی‌وینیل‌پیرولیدون، پلی‌وینیل‌پیرولیدون-آلئوئورا و نمونه‌های الکتروریسی شده پلی‌وینیل‌پیرولیدون-آلئوئورا که با روکش‌های شماره ۱ و ۲ پوشش داده شده‌اند را نشان می‌دهد.

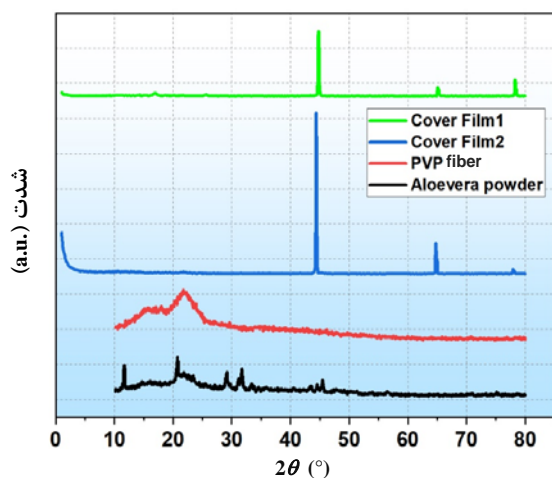


شکل ۲ نمودار احتمال بهنجار

شایان ذکر است که نتیجه‌های به دست آمده از آزمایش‌ها با نرم‌افزار طراحی آزمایش تحلیل شد. مدل ارائه شده با تحلیل‌های آماری مورد تایید قرار گرفت و نقص برازش در مدل طراحی شده بی‌معنی گزارش شد. در نتیجه می‌توان از این داده‌ها برای شرایط بهینه آزمایش استفاده کرد. از سوی دیگر



شکل ۳ تصویرهای میکروسکوپ الکترونی از الیاف پلی‌وینیل‌پیرولیدون (الف)، پلی‌وینیل‌پیرولیدون-آلئوئورا (ب)، ج-پلی‌وینیل‌پیرولیدون-آلئوئورا-روکش ۱ (ج) و پلی‌وینیل‌پیرولیدون-آلئوئورا-روکش ۲ (د)



شکل ۴ الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های پودر آلوتئه ورا، الیاف PVP، روکش ۱ و روکش ۲

طیف‌های فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR)

شکل ۵ طیف‌های FTIR نمونه‌های الکتروروسی شده را نشان می‌دهد. برای مقایسه کامل نمونه‌ها، پودر آلوتئه ورا نیز با روش FTIR بررسی شد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، نوارهای مشاهده در طیف‌ها شامل، ارتعاش‌های کششی OH مربوط به گروه عاملی هیدروکسیل با عدد موج 3300 cm^{-1} ، ارتعاش‌های کششی CH به دلیل حضور گروه‌های عاملی CH و CH_2 با عدد موج 2900 cm^{-1} ، ارتعاش‌های کششی C=O با عدد موج 1820 cm^{-1} ، ارتعاش کششی C-H مربوط به گروه‌های عاملی آمیدی با عدد موج 1640 cm^{-1} ، ارتعاش‌های کششی N-H مربوط به گروه عاملی آمید با عدد موج 1400 cm^{-1} ، ارتعاش خمشی CH با عدد موج 1300 cm^{-1} و در نهایت عدد موج 1160 cm^{-1} مربوط به C-O است [۱۷]. در طیف FTIR پودر آلوتئه ورا و الیاف پلی‌وینیل‌پیرولیدون و آلوتئه ورا پیک‌ها کمی شدیدتر مشاهده می‌شوند که این پیک‌ها در نمونه‌های پوشش داده شده با روکش ۱ و روکش ۲ شدت کمتری دارند. دلیل این پدیده می‌تواند به پوشش سطح

با داده‌های به‌دست‌آمده از تحلیل آماری شرایط بهینه برای فرایند الکتروروسی به‌کارگرفته شد تا الیافی بدون گره و با کمترین قطر رشته‌ها به‌دست آید. ضخامت الیاف الف، ب، ج، د به ترتیب ۹۵، ۱۰۵، ۱۳۰ و ۱۲۰ نانومتر است. لازم به ذکر است که مقایسه ضخامت الیاف با چشم غیرمسلح امکان‌پذیر نیست. اگرچه ضخامت الیاف پلی‌وینیل‌پیرولیدون-آلوتئه ورا-روکش ۲ نسبت به حالت الیاف پلی‌وینیل‌پیرولیدون-آلوتئه ورا-روکش ۱ کمتر است، ولی توزیع قطر و پیچ‌وتاب الیاف بسیار بیشتر است. بنابراین، برداشت می‌شود الیاف پلی‌وینیل‌پیرولیدون-آلوتئه ورا-روکش ۲ برای استفاده به‌عنوان زخم‌پوش مناسب نیست.

الگوهای پراش پرتو ایکس (XRD)

شکل ۴، نشان‌دهنده الگوهای XRD نمونه‌های الکتروروسی شده در شرایط بهینه است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود الگوی XRD پودر Av قله‌هایی در زوایای ۱۲، ۲۱، ۲۸، ۳۲، ۴۵ دارد که با نمونه گزارش شده همخوانی دارد [۱۴]. الیاف PVP دو هاله گسترده را در ۱۲ و ۴۵ نشان می‌دهد. قابل ذکر است پودر PVP و الیاف PVP الگو XRD مشابهی دارند [۱۵]. در حین فرایند الکتروروسی، حلال به سرعت تبخیر می‌شود و محلول بسیار در مدت بسیار کوتاهی از راه محیط ولتاژ بالا حرکت می‌کند و بدین دلیل وقتی برای تبلور وجود ندارد. از این‌رو، الگوی XRD برای نمونه PVP قله تیز و متمایزی ندارد. در الگوهای نمونه‌های روکش ۱ (PVP-) (Av-Film1) و روکش ۲ (PVP-Av-Film2) در زوایای ۴۵، ۶۵ و ۷۸، قله‌های تیزی دیده می‌شود که قله ۴۵ از همه شدیدتر است. کمی تفاوت با روکش ۱ دارد، آن هم به دلیل این است که مواد یکسان ولی مقادیر کمی متفاوت هستند. قله‌های مربوط به زوایای ۴۵ و ۶۵ به ترتیب مربوط به تالک و تیتان است [۱۶].

قوی می‌شود. آنالیز DSC پودر آلوئه‌ورا مشابه الیاف PVP است، ولی پودر آلوئه‌ورا پایداری گرمایی بیشتری دارد.

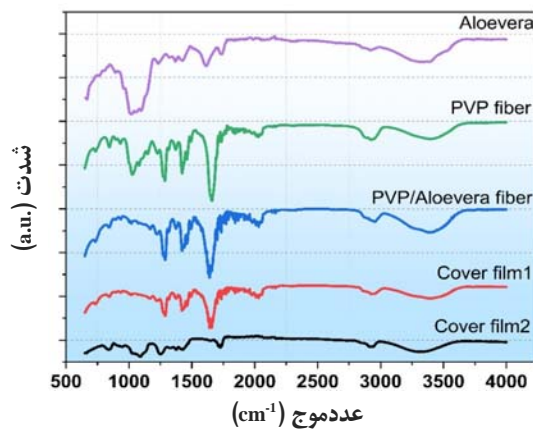
نمودار DSC هر ۲ نمونه روکش، دمای انتقال شیشه‌ای ۱۵۰ درجه سلسیوس، دمای ذوب ۳۵۰ درجه سلسیوس و دمای تخریب ۴۸۰ درجه سلسیوس دارند. فقط نمونه روکش ۲ قله‌های تیزتری دارد و در برابر گرما پایداری کمتری از خود نشان داده است [۱۶ و ۱۹].

تحلیل نتیجه‌های TGA

شکل ۷، نشان‌دهنده نمودارهای TGA نمونه‌های تهیه شده است. با توجه به رفتار متفاوت نمونه‌های دارای روکش، نتیجه‌های TGA برای این نمونه‌ها جداگانه نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، پودر PVP در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس شروع به تجزیه شدن می‌کند و این فرایند در دمای ۴۸۰ درجه سلسیوس به صورت کامل انجام می‌شود. کاهش جرم ماده سریع بوده که بیانگر متلاشی شدن نمونه است (کاهش وزنی ۸۰ درصد) و سپس، دوباره در حالتی پایدار قرار می‌گیرد.

آلوئه‌ورا در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس شروع به تجزیه شدن می‌کند و این فرایند در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس با کاهش وزنی ۴۰ درصد به پایان می‌رسد. الیاف PVP در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس تخریب می‌شود. تجزیه این نمونه در ۴۰۰ درجه سلسیوس صورت گرفته است و به‌طور کامل در ۴۹۰ درجه سلسیوس کامل می‌شود. البته نکته قابل توجه این است که کاهش وزن ناچیز بوده است. نتیجه‌های بررسی‌ها بیان می‌کند که نمونه‌های الیاف PVP، آلوئه‌ورا و پودر PVP به ترتیب باقی‌مانده نمونه بیشتر و پایداری ماده بهتری را در اثر افزایش دما نشان دادند و هر ۳ در یک مرحله تجزیه دمایی داشته‌اند. افزون‌براین، هر دو نمونه روکش شماره ۱ و ۲ در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس شروع به تجزیه شدن می‌کنند و به صورت توده در می‌آیند. این فرایند در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس به صورت کامل انجام می‌شود و در پایان نمودار افقی می‌شود.

نمونه‌های الکترورسی‌شده مربوط باشد که این پدیده برای نمونه روکش ۲ بیشتر مشاهده می‌شود [۱۸].



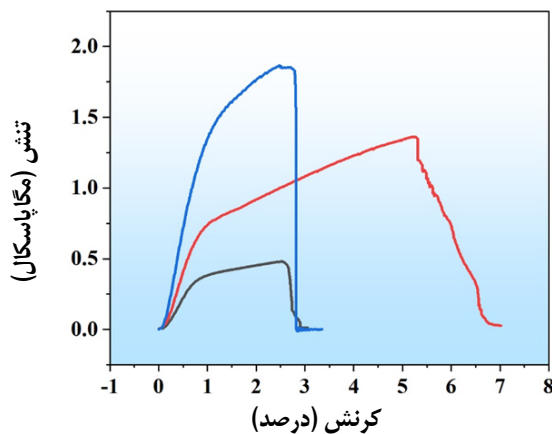
شکل ۵ طیف‌های FTIR نمونه‌های پودر آلوئه‌ورا و الیاف الکترورسی‌شده متفاوت

تجزیه‌های گرمایی DSC-TGA

شکل ۶، نشان‌دهنده نمودارهای DSC مربوط به نمونه‌های تهیه شده است. همان‌طور که در نمودارهای DSC نمونه پودر PVP مشاهده می‌شود، به دلیل حذف رطوبت مولکول‌های آب بر اثر گرمادهی نمونه‌ها، آب‌زدایی در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس اتفاق افتاده است. انتقال شیشه‌ای (T_g) حدود ۱۶۰ درجه سلسیوس، نقطه ذوب (T_m) ۲۵۰ درجه سلسیوس و آخرین قله تخریب شدید که از سوختن کربن تجزیه شده از PVP به دست آمده است، ۵۰۰ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. تفسیر نمودار الیاف PVP شبیه پودر PVP است با این تفاوت که تخریب گرمایی در پودر PVP یک قله تیز گرماده است ولی تخریب گرمایی در الیاف PVP موجب گسترش قله شده و در گستره دمایی ۳۵۰ تا ۴۵۰ درجه سلسیوس صورت گرفته است. تحلیل نمودار پودر و الیاف PVP نشان می‌دهد، الیاف PVP در ترکیب‌ها منجر به جهت‌گیری دوباره مولکولی در روکش‌های نانوالیاف و نیروی بین‌مولکولی

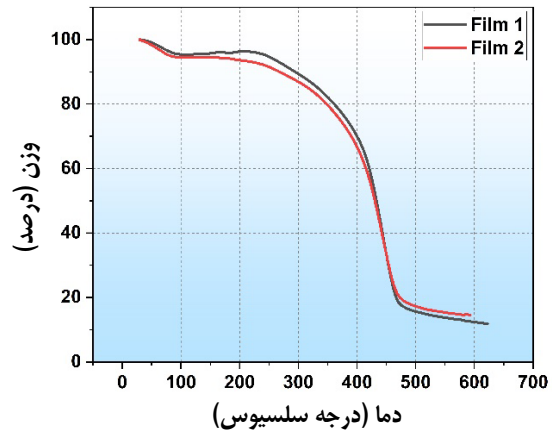
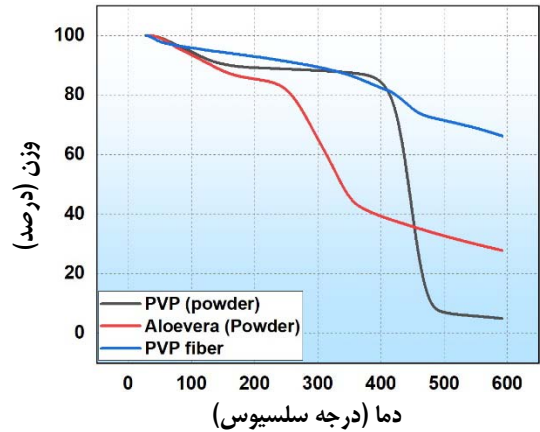
مکانیکی متداول در صنعت بسیار است که برپایه آن می‌توان رفتار یک فراورده بسیار تحت نیرو تنش را بررسی کرد. نمونه مهندسی مطلوب افزون‌بر مقاومت بالا در برابر تغییرشکل، انرژی بالایی برای شکست از محیط کسب می‌کند. شکل ۸، نمودارهای میکروتنسایل برای نمونه‌های PVP، PVP-Av و نمونه دارای روکش ۱ را نشان می‌دهد. نمونه روکش ۲ دارای استحکام مکانیکی بسیار پایین بوده و بدین منظور نتیجه‌های این آزمون برای نمونه روکش‌دار شماره ۲ ارائه نشده است.

برپایه نمودارهای به‌دست آمده، دو نانوالیاف PVP و روکش، استحکام نقاط کششی بیشینه و شکست یکسانی دارند، به‌عبارت دیگر زمانی که بیشینه کشش را تجربه می‌کنند همان زمان می‌شکنند. درصد ازدیاد طول نهایی الیاف PVP برابر با ۷ درصد بوده، درحالی‌که درصد ازدیاد طول الیاف PVP-Av و الیاف روکش‌دار ۳ درصد است. مقدار استحکام تنش کششی برای الیاف PVP برابر با ۱٫۳ مگاپاسکال، برای الیاف PVP-Av برابر با ۰٫۵ مگاپاسکال و برای الیاف روکش ۱ برابر با ۱٫۷ مگاپاسکال است. از آن‌جا که استحکام نهایی آن نیز بیشتر از الیاف‌های ذکر شده است، برداشت می‌شود که روکش ۱ از دید مکانیکی نمونه مرغوب‌تری است.



شکل ۸ نمودارهای میکروتنسایل برای نمونه‌های الیاف PVP-Av (مشکی)، الیاف PVP (سرخ) و الیاف PVP-Av-Film1 (آبی)

نتیجه‌ها نشان می‌دهد که کاهش وزنی هر ۲ نمودار ۷۵ درصد و تجزیه نمونه‌ها در یک مرحله انجام شده است و تفاوت معناداری در ۲ نمودار مشاهده نمی‌شود.



شکل ۷ نمودارهای TGA برای نمونه‌های پودر PVP، پودر Av و الیاف PVP (بالا) و برای نمونه‌های روکش ۱ و روکش ۲ (پایین)

نمودار آزمون تنش-کشش

استحکام مکانیکی داربست‌های مورد استفاده، به جنس بافتی که قرار است برای ترمیم آن به‌کار رود، بستگی دارد. پوست توان کشسانی بالایی دارد. پانسمان جایگزین، باید ویژگی‌های مکانیکی نزدیک به پوست داشته باشد و در اثر حرکت دچار پارگی نشود. آزمون تنش-کرنش، از آزمون‌های

بهترین حالت در شرایط فاصله زیاد و سرعت جریان کم رخ داد. شرایط بهینه برای الکترورسی، فاصله ۲۰ نانومتر، سرعت جریان ۰.۷ ml/hour و ولتاژ ۲۰ kV به دست آمد. دیگر بررسی‌های فیزیکی و شیمیایی نشان داد که این الیاف می‌توانند به عنوان یک زخم‌پوش مناسب در درمان زخم‌های پوستی به کار گرفته شود. روش‌های بررسی دمایی نشان داد که این نوع از زخم‌پوش‌ها می‌توانند پایداری مناسبی در شرایط دمایی از خود نشان دهند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ویژگی‌های یک زخم‌پوش بر مبنای الیاف الکترورسی شده پلی‌وینیل‌پیرولیدون که با ترکیب‌های استخراج شده از آلوئه‌ورا اصلاح شده بود، بررسی شد. روش الکترورسی به عنوان یک روش ارزان قیمت می‌تواند زخم‌پوش‌های متفاوت را در ابعاد صنعتی و نیم‌صنعتی تولید کند که در فرایند تولید زخم‌پوش بسیار اهمیت دارد. برای بررسی شرایط بهینه الکترورسی که با نرم‌افزارهای آماری انجام شد،

مراجع

- [1] Kirsner RS, Eaglstein WH. The Wound healing process. *Dermatologic Clinics*. 1993 ;11(4):629-40. doi: [org/10.1016/S0733-8635\(18\)30216-X](https://doi.org/10.1016/S0733-8635(18)30216-X)
- [2] Sweeney IR, Miraftab M, Collyer G. A critical review of modern and emerging absorbent dressings used to treat exuding wounds. *Int Wound J*. 2012;9(6):601-12. doi: [org/10.1111/j.1742-481X.2011.00923.x](https://doi.org/10.1111/j.1742-481X.2011.00923.x)
- [3] Bowler PG, Duerden BI, Armstrong DG. Wound Microbiology and Associated Approaches to Wound Management. *Clinical Microbiology Reviews*. 2001;14(2):244-69. doi: [10.1128/cmr.14.2.244-269.2001](https://doi.org/10.1128/cmr.14.2.244-269.2001)
- [4] Myers MB, Cherry G, Heimbürger S, Hay M, Haydel H, Cooley L. The effect of edema and external pressure on wound healing. *Arch Surg*. 1967;94(2):218-22. doi: [10.1001/archsurg.1967.01330080056016](https://doi.org/10.1001/archsurg.1967.01330080056016)
- [5] Homans J. Minor causalgia following injuries and wounds. *Ann Surg*. 1941;113(6):932-41. doi: [10.1097/0000658-194106000-00006](https://doi.org/10.1097/0000658-194106000-00006)
- [6] Klein AD, Penneys NS. Aloe vera. *J Am Acad Dermatol*. 1988;18(4 Pt 1):714-20. doi: [10.1016/s0190-9622\(88\)70095-x](https://doi.org/10.1016/s0190-9622(88)70095-x)
- [7] Surjushe A, Vasani R, Saple DG. Aloe vera: a short review. *Indian J Dermatol*. 2008 ;53(4):163-6. doi: [10.4103/0019-5154.44785](https://doi.org/10.4103/0019-5154.44785)
- [8] Vázquez B, Avila G, Segura D, Escalante B. Antiinflammatory activity of extracts from Aloe vera gel. *J Ethnopharmacol*. 1996 ;55(1):69-75. doi: [10.1016/s0378-8741\(96\)01476-6](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(96)01476-6)
- [9] Arbab S, Ullah H, Weiwei W, Wei X, Ahmad SU, Wu L, Zhang J. Comparative study of antimicrobial action of aloe vera and antibiotics against different bacterial isolates from skin infection. *Vet Med Sci*. 2021;7(5):2061-7. doi: [10.1002/vms3.488](https://doi.org/10.1002/vms3.488)
- [10] Kim JI, Pant HR, Sim HJ, Lee KM, Kim CS. Electrospun propolis/polyurethane composite nanofibers for biomedical applications. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2014;44:52-7. doi: [10.1016/j.msec.2014.07.062](https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.07.062)
- [11] Teo WE, Ramakrishna S. A review on electrospinning design and nanofiber assemblies. *Nanotechnology*. 2006;17(14):17 R89. doi: [10.1088/0957-4484/17/14/R01](https://doi.org/10.1088/0957-4484/17/14/R01)
- [12] Koczur KM, Mourdikoudis S, Polavarapu L, Skrabalak SE. Polyvinylpyrrolidone (PVP) in nanoparticle synthesis. *Dalton Transactions*. 2015;44(41):17883-905. doi: [10.1039/C5DT02964C](https://doi.org/10.1039/C5DT02964C)
- [13] Ignatova M, Manolova N, Rashkov I. Novel antibacterial fibers of quaternized chitosan and poly(vinyl pyrrolidone) prepared by electrospinning. *European Polymer Journal*. 2007;43(4):1112-22. doi: [org/10.1016/j.eurpolymj.2007.01.012](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2007.01.012)
- [14] Manju BG, Raji P. Synthesis and magnetic properties of nano-sized $\text{Cu}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ via citrate and aloe vera: A comparative study.

- Ceramics International. 2018;44(7):7329-33. doi: [org/10.1016/j.ceramint.2018.01.201](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.01.201)
- [15] Walbrück K, Kuellmer F, Witzleben S, Guenther K. Synthesis and Characterization of PVP-Stabilized Palladium Nanoparticles by XRD, SAXS, SP-ICP-MS, and SEM. Journal of Nanomaterials. 2019;2019:4758108. doi: [10.1155/2019/4758108](https://doi.org/10.1155/2019/4758108)
- [16] Pawar HV, Tetteh J, Boateng JS. Preparation, optimisation and characterisation of novel wound healing film dressings loaded with streptomycin and diclofenac. Colloids Surf B Biointerfaces. 2013;102:102-10. doi: [10.1016/j.colsurfb.2012.08.014](https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.08.014)
- [17] Chaudhary A, Kumar N, Kumar R, Salar RK. Antimicrobial activity of zinc oxide nanoparticles synthesized from Aloe vera peel extract. SN Applied Sciences. 2018;1(1):136. doi: [10.1007/s42452-018-0144-2](https://doi.org/10.1007/s42452-018-0144-2)
- [18] Üstündağ Okur N, Hökenek N, Okur ME, Ayla Ş, Yoltaş A, Siafaka PI, Cevher E. An alternative approach to wound healing field; new composite films from natural polymers for mupirocin dermal delivery. Saudi Pharm J. 2019;27(5):738-52. doi: [10.1016/j.jsps.2019.04.010](https://doi.org/10.1016/j.jsps.2019.04.010)
- [19] Ivanov IT, Tsokeva Z. Effect of chirality on PVP/drug interaction within binary physical mixtures of ibuprofen, ketoprofen, and naproxen: A DSC study. Chirality. 2009;21(8):719-27. doi: [10.1002/chir.20671](https://doi.org/10.1002/chir.20671)

Design and manufacture of electrospun wound dressing based on polyvinylpyrrolidone fibers modified with aloe vera compounds for the treatment of skin edema

S.Sh. Amini Dehkordi¹, N. Aghamohamadi², J. Shabani Shayeh^{3,*}

1. M.Sc. Student of Protein Research Center, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2. Instructor of School of Chemistry, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. Assistant Prof. of Protein Research Center, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract: In this research, a new type of wound dressing based on polyvinyl pyrrolidone polymer (PVP) modified by extracted compounds from aloe vera (Av) was prepared by electrospinning method. After achieving optimal preparation conditions using experimental design method, the prepared material was characterized using infrared Fourier transform spectroscopy, scanning electron microscopy, X-ray diffraction, differential scanning calorimetry analysis, and thermogravimetric analysis. The results of the studies showed that by using the optimal conditions, smooth filament of PVP without node with the diameter of about 100 nm can be achieved. PVP-Av and PVP-Av-Film fiber diameter as well as fibers with a special therapeutic coating were about 105 and 120 nm, respectively with a suitable surface to volume ratio. The results of the investigations showed that the use of polymer coating on the wound dressing not only increase its mechanical resistance, but also increase the hydrophilicity of this wound dressing. In addition, the results of biological investigations showed that this wound dressing has very little toxicity for biological cells and can be used to treat skin edema.

Keywords: Wound dressing, Electrospinning, Aloe vera, Polyvinylpyrrolidone, Skin inflammation