

ساخت و مشخصه یابی زخم پوش نانوالیاف پلی وینیل الکل حاوی عصاره پوست پسته

۱- محمد سبقتی ۲- مهسا جان محمدی ۳- زهرا ناظمی ۴- خاطره کفشدوزان ۵- سید محمد صادق نوربخش

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی - بیومتریال - پردیس علوم و فن اوری های نوین دانشگاه سمنان
- ۲- دانشجوی دکترای مهندسی پزشکی - بیومتریال - پردیس علوم و فن اوری های نوین دانشگاه سمنان
- ۳- استادیار مهندسی پزشکی - پردیس علوم و فن اوری های نوین دانشگاه سمنان
- ۴- استادیار پاتوبیولوژی - دانشکده دامپزشکی - دانشگاه سمنان
- ۵- دانشیار مهندسی پزشکی - دانشکده مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه سمنان

Email: mohamad.sebghati98@gmail.com

Email: mahsa.janmohammadi@yahoo.com

Email: nazemi.z@gmail.com

Email: kafshdouzan@semnan.ac.ir

Email: s_nourbakhsh@semnan.ac.ir

چکیده

در این مطالعه زخم پوش هایی به روش الکتروریسی از پلی وینیل الکل و عصاره پوست پسته ساخته شده و با گلوپتارآلدئید اتصال عرضی شدند. مورفولوژی الیاف با میکروسکوپ الکترونی روبشی و گروه های عاملی الیاف با طیف سنجی فوریه فرو سرخ مشخص شدند. بررسی خواص مکانیکی الیاف با اندازه گیری استحکام کششی الیاف انجام شد. فعالیت آنتی باکتریال الیاف ساخته شده در برابر باکتری های گرم منفی و مثبت نیز مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایش ها نشان دادند افزودن عصاره، با افزایش میانگین قطر الیاف، افزایش خواص مکانیکی و افزایش فعالیت آنتی باکتریال همراه بوده و قابلیت استفاده به عنوان زخم پوش در مهندسی بافت پوست را دارند.

کلمات کلیدی: الکتروریسی، پلی وینیل الکل، عصاره پوست پسته، زخم پوش

۱. مقدمه

پوست لایه ای حفاظت کننده اعضای بدن در برابر عوامل مختلف خارجی است و هرگونه آسیب وارده به آن از قبیل انواع زخم ها می تواند سلامت تمامی اعضای بدن را به خطر اندازد. براساس ماهیت، روند ترمیم زخم به دو گروه زخم های حاد و مزمن تقسیم

می شوند. زخم حاد معمولا سطحی بوده و در مدت ۸ تا ۱۲ هفته کاملا بهبودی می یابد. همچنین زخم های مزمن بیش از ۱۲ هفته دوام دارند. باتوجه به حساسیت درمان سریع زخم های ایجاد شده در بدن به خصوص زخم های ناشی از سوختگی و محافظت از زخم در برابر آلودگی و جفولگیری از عفونت، اهمیت وجود زخم پوش های ضدباکتریایی حاوی عصاره گیاهان مورد توجه محققان و دانشمندان قرار گرفته است [۱،۲] به منظور ترمیم هرچه سریع تر و بهتر زخم، زخم پوش طراحی شده باید از خاصیت آنتی باکتریال، مهاجرت سلولی، تمایز و تکثیر سلولی، حذف مواد زائد و جذب ترشحات از بستر زخم، تحریک رگ زایی، ایجاد محیطی با رطوبت مناسب حمایت کند. زخم پوش حاوی عصاره گیاهان در مقایسه با زخم پوش حاوی داروهای شیمیایی و سنتزی موجب عدم ایجاد سمیت، عدم اختلال و جهش ژنتیکی، جلوگیری از تغییرات کروموزومی، عدم نکروز و تغییر رنگ پوست از خود می شوند. علاوه بر این عصاره گیاهی در زخم پوش ها خاصیت ضدباکتریایی، مهاجرت سلولی، تمایز و تکثیر سلولی و همچنین یکنواختی، ماندگاری و اثرگذاری عصاره را در پی دارد [۳،۴]

یکی از عصاره های مورد استفاده، عصاره پوست پسته می باشد. عصاره پوست پسته یک ماده طبیعی است به دلیل خواص منحصر به فرد آن مثل خواص آنتی باکتریالی و مبارزه با عفونت، تسریع در التیام زخم، بهبود در فرآیند لخته شدن خون، زیست سازگاری، ارزان بودن نسبی و فراوانی، یک ماده بسیار مناسب است که در زمینه های مهندسی پزشکی از قبیل ساخت زخم پوش از آن استفاده می شود. دلیل ویژه ای استفاده از عصاره های گیاهی به خصوص عصاره پوست پسته در ترمیم زخم حضور ترکیبات فنولیک نسبتا بالا است که خواص ضد باکتریایی و ضد عفونی دارند [۵].

به منظور افزایش کارایی برای ترمیم و بهبود مناسبت زخم نیاز به یک زخم پوش نانوالیاف الکتروپرسی شده از پلیمری همچون پلی وینیل الکل به همراه ماده ضدباکتریایی می باشد. پلی وینیل الکل یک زیست پلیمر مصنوعی است که در بسیاری از موارد به عنوان یک ماتریس برای الکتروپرسی استفاده می شود که در مقابل پلیمرهای مصنوعی دیگر نظیر پلی یورتان، پلی لاکتیک اسید و نایلون قابلیت انحلال پذیری و جذب رطوبت بهتری را دارا می باشد [۶،۷]. علاوه بر زیست سازگاری، غیرسمی و انحلال پذیری مناسب آن، خواص مکانیکی، شیمیایی و زیستی موجب شده که یک گزینه مناسب برای کاربرد های زیستی با شد [۸] اما عدم خاصیت ضدباکتریایی از معایب آن است که به همین جهت به صورت ترکیب با مواد شیمیایی و سنتزی مانند آنتی بیوتیک ها یا عصاره های طبیعی گیاهان مورد استفاده قرار می گیرند [۹،۱۰] در نتیجه هدف از این پژوهش استفاده از تکنیک الکتروپرسی برای تهیه زخم پوش نانوالیاف پلی وینیل الکل حاوی عصاره پوست پسته می باشد که در فرآیند ترمیم زخم از آن استفاده شود.

۲. مواد و روش ها

عصاره گیری پوست پسته به روش سوکسله از محلول هیدروالکلی انجام شده و پس از خشک شدن برای آزمایش های MIC و MBC و ساخت زخم پوش نگهداری شد. محلول پلی وینیل الکل ۱۰ درصد در آب مقطر تهیه شد و محلول پلیمری حاوی عصاره پوست پسته با نسبت ۹:۱ و ۸:۲ تهیه شد و اجازه داده شد تا محلول یکنواختی حاصل گردد. محلول های آماده شده درون سرنگ های ۵ میلی لیتر قرار داده شدند. پارامترهای دستگاه شامل فاصله نوک سرنگ تا جمع کننده ۱۵ سانتی متر، نرخ تغذیه ۰/۵ میلی لیتر در ساعت، سرعت گردش استوانه جمع کننده ۲۰۰ دور در دقیقه و ولتاژ ورودی ۱۵ کیلوولت انتخاب شد. برای اتصال عرضی نانوالیاف محلول گلو تار آلدهید ۲۵ درصد و هیدروکلریک اسید با نسبت ۳ به ۱ آماده شد. محلول به دست آمده به یک پلیت پلاستیکی واقع در

کف دسیکاتور منتقل و الیاف های مورد نظر درون دسیکاتور قرار گرفتند. سپس به مدت ۲۴ ساعت نمونه ها تحت بخار گلو تار آلدهید قرار گرفتند. برای بررسی مورفولوژی و ریزساختار زخم پوش ها پس از الکتروریسی از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. به این منظور در ابتدا برای افزایش هدایت الکتریکی زخم پوش ها، سطح آن ها با طلا پوشش داده شد و در نهایت در بزرگ نمایی های مختلف تصاویری از نمونه ها تهیه گردید. از نرم افزار ImageJ برای ارزیابی تصاویر SEM استفاده شد و میانگین قطر الیاف توسط آن محاسبه شد. در این مطالعه آنالیز طیف سنجی فرسوخ تبدیل فوریه برای شناسایی گروه های عاملی در زخم پوش ها استفاده شد.

برای سنجش خواص مکانیکی زخم پوش ها، با استفاده از دستگاه کشش- فشار در شرایط محیط و با سرعت کششی ۵ میلی متر بر دقیقه الیاف تحت کشش قرار گرفتند و پس از سه بار تکرار آزمایش نتایج به صورت میانگین اعلام شد و نمودار تنش- کرنش زخم پوش ها تهیه گردید.

به منظور ارزیابی میزان پایداری نانوالیاف پس از قرارگیری بر روی زخم و تماس با مایعات فیزیولوژیکی، در ابتدا الیاف در ابعاد ۳ در ۳ سانتی متری برش خورده و سپس توزین شدند. میزان کاهش وزن آن ها پس از غوطه وری در محلول PBS در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد و pH برابر ۷/۴ به مدت ۱، ۵، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز بررسی شد. در روزهای مورد نظر نانوالیاف از محلول خارج شده و پس از برداشتن آب باقیمانده روی سطح الیاف و خشک شدن کامل در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد آن، مجدداً با ترازو دیجیتال وزن شدند (هر نمونه با سه بار تکرار مورد بررسی قرار گرفت) و میزان تخریب با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\text{Degradation}\% = \frac{w_1 - w_t}{w_t} \times 100 \quad (1)$$

که w_1 : وزن اولیه الیاف خشک و w_t وزن الیاف غوطه ور شده در PBS پس از خشک شدن در روز t هستند

حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC) برای یک ماده شیمیایی، کمترین مقدار از آن ماده است که می تواند به طور قابل مشاهده ای رشد یک باکتری را پس از گذشت یک دوره انکوباسیون مشخص (۱۶ تا ۲۰ ساعت بسته به گونه باکتری) مهار نماید. کشت خالص استافیلوکوکوس کشت داده شد. در هر چاهک پلیت ۹۶ خانه ای، ۱۰۰ میکرولیتر از غلظت های مختلف عصاره ریخته شد. به هر کدام از چاهک ها ۱۰۰ میکرولیتر محیط کشت BHI آگار حاوی 106 ml/CFU باکتری استافیلوکوکوس، اضافه شد. یک چاهک کنترل مثبت و منفی برای هر میکروارگانیسم در نظر گرفته شد که به ترتیب رشد میکروبی کافی در طول دوره انکوباسیون و استریل بودن محیط کشت را نشان دهد. جذب نوری (OD) هر یک از چاهک ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۶۲۰ نانومتر قرائت شد. پلیت به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد انکوبه شد. پس از طی این دوره، یک بار دیگر جذب نوری هر یک از چاهک ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر مورد اندازه گیری قرار گرفت.

حداقل غلظت باکتری کشی (MBC) نیز برای یک ماده شیمیایی، کمترین غلظت از آن ماده است که می تواند پس از گذشت ۲۴ ساعت جمعیت باکتریایی را به میزان ۹/۹ درصد کاهش دهد. برای تعیین MBC عصاره پوست پسته در این مطالعه، مطابق با تعیین

MIC عمل شد با این تفاوت که در آخر OD هر چاهکی که از OD اولیه کمتر بود، غلظت عصاره آن چاهک MBC عصاره پوست پسته است.

روش انتشار از دیسک در آگار یک روش معمول مورد استفاده در بسیاری از آزمایشگاه های میکروب شناسی بالینی برای تست حساسیت ضد میکروبی است. در روش انتشار دیسک در آگار، پلیت آگار با مقدار استاندارد از میکروارگانیسم مورد آزمایش تلقیح شد، سپس نمونه مورد نظر بر روی سطح آگار قرار داده و پتری دیش تحت شرایط مناسب انکوبه شد. معمولا عامل ضد میکروبی در آگار پخش شده و مانع جوانه زنی و رشد میکروارگانیسم مورد آزمایش شده و پس از آن قطر ناحیه مهار کننده رشد اندازه گیری می شود

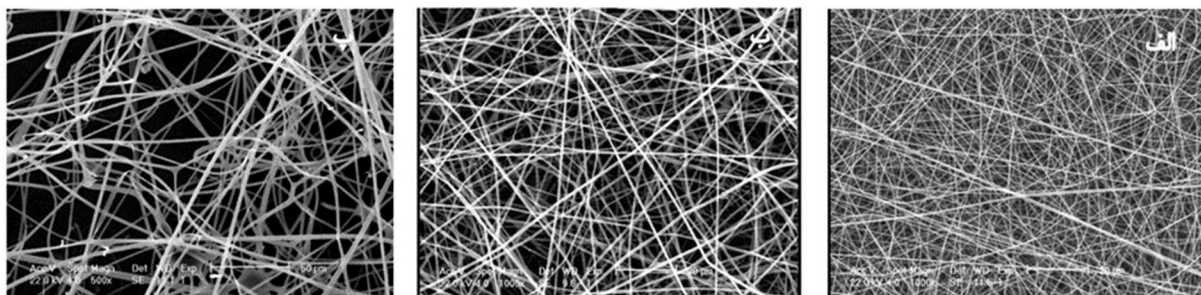
۳. نتایج و بحث

فعالیت ضد میکروبی عصاره پوست پسته با استفاده از باکتری های *E. Coli 35218*، *S. aureus atcc29213*، *S. aureus wound* و *Bacillus P. aeruginosa 27853* مورد بررسی قرار گرفت و نتایج MIC و MBC در جدول ۱ ارائه شد. حساس ترین سویه ها به عصاره پوست پسته، *E. Coli* با MIC و MBC برابر ۱۶ میکروگرم بر میکرولیتر بود و باکتری های *S. aureus* و *S. aureus wound* بیشترین مقاومت را از خود نشان دادند و MIC و MBC برابر ۱۴۰ میکروگرم بر میکرولیتر داشتند. مطالعات نشان داده اند که پسته حاوی مقادیر قابل توجهی ترکیبات فنولیک است [۱۱] و این ترکیبات مسئول فعالیت های ضد باکتریایی در عصاره های گیاهی شناخته شده اند. این ترکیبات از طریق رسوب دادن پروتئین و نشت غشای سلولی میکروارگانیسم سبب لیز سلولی می شوند [۱۲].

جدول ۱ نتایج اثرات آنتی باکتریال عصاره و تعیین حداقل غلظت مهار کننده گی و کشندگی

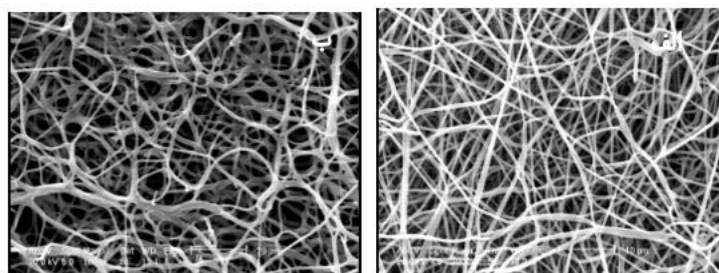
بakteri	نوع باکتری	MIC (میکروگرم/میلی لیتر)	MBC (میکروگرم/میلی لیتر)
E.Coli 35218	گرم منفی	۱۶	۱۶
P.aeruginosa 27853	گرم منفی	۲۰	۲۰
Bacillus	گرم مثبت	۹۵	۹۵
S.aureus atcc29213	گرم مثبت	۱۴۰	۱۴۰
S.aureus wound	گرم مثبت	۱۴۰	۱۴۰

تصویر SEM نانوالیاف PVA و نانوالیاف ۹:۱ (شکل ۱) نمایان گر تشکیل الیافی صاف، یکنواخت و پیوسته، بدون گره و با قطر و قرارگیری منظم و پارگی خیلی کمتر در مقایسه با نانوالیاف ۸:۲ است. همچنین مشاهده می شود ترکیب عصاره گیاهی بر مورفولوژی الیاف در مقایسه با الیاف تولید شده از PVA بدون عصاره، تأثیری نداشت. مورفولوژی نانوالیاف ۸:۲ نامناسب است و می توان نتیجه گرفت با افزایش غلظت عصاره پوست پسته، الیاف به دست آمده فاقد مورفولوژی مناسب هستند.



شکل ۱. تصویر SEM نانوالیاف. الف. PVA (ب) نانوالیاف ۹:۱ (پ) نانوالیاف ۸:۲

شکل (۲) مربوط به تصاویر SEM نانوالیاف بعد از اتصال عرضی است الیاف مورفولوژی فیبری خود را حفظ کرده و تغییراتی در قطر الیاف مشاهده شد.



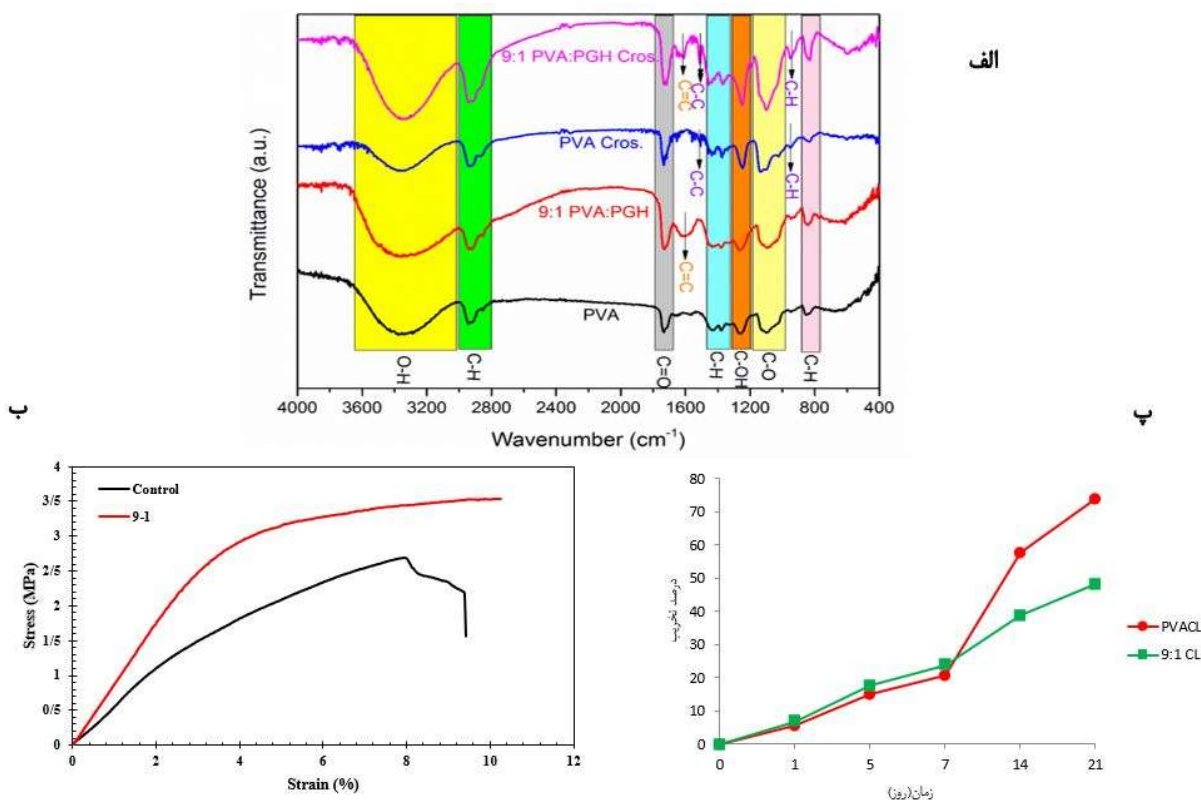
شکل ۲. تصویر SEM نانوالیاف. الف. PVA (ب) نانوالیاف ۹:۱ پس از اتصال عرضی

میانگین قطر الیاف برای نمونه PVA ۹:۱ به ترتیب برابر با 61 ± 482 نانومتر و 189 ± 549 نانومتر بوده است و افزایش قطر الیاف با افزودن عصاره مشاهده شد. پس از فرآیند اتصال عرضی مقادیر متوسط اندازه قطر الیاف برای دو نمونه PVA ۹:۱ و ۹:۱ به ترتیب برابر با 192 ± 788 نانومتر و 293 ± 1151 نانومتر محاسبه شده است که افزایش قابل توجه و معناداری نسبت به نمونه های قبل از اتصال عرضی داشته است.

به منظور بررسی پیوندهای شیمیایی و گروه های عاملی موجود در زخم پوش از آزمون FTIR استفاده شده است (شکل ۳ الف). پیکی که در طول موج بین 3000 cm^{-1} تا 3800 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی پیوندهای O-H قرار دارد. همچنین پیک هایی که مربوط به ارتعاش کششی نامتقارن و متقارن پیوندهای C-H در گروه های آلکیل هستند. پیک هایی که مربوط به ارتعاش کششی پیوندهای C=O، ارتعاشات کششی پیوندهای C=C در حلقه های آروماتیک، ارتعاش خمشی پیوندهای C-H، ارتعاش کششی پیوندهای C-O در ساختار گروه های عاملی C-O-C و C-OH و ارتعاش خمشی پیوندهای C-H متصل به حلقه های آروماتیک موجود در ساختار عصاره هستند. مطابق شکل، پیک واقع شده در عدد موج 848 cm^{-1} مربوط به ارتعاش پیوندهای C-H موجود در ساختار PVA می باشد. پیک های جذبی واقع شده در طول موج های حدود 1093 cm^{-1} و 1255 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی پیوندهای C-O و C-OH موجود در ساختار PVA است و نوار جذبی قابل مشاهده در طول موج های حدود 1382 cm^{-1} و 1413 cm^{-1} نیز مربوط به ارتعاشات خمشی پیوندهای C-H موجود در ساختار شیمیایی این ماده می باشد. پیک جذبی موجود در طول موج حدود 1730 cm^{-1}

مربوط به ارتعاشات پیوند C=O موجود در ساختار استات باقی مانده از مواد اولیه تشکیل دهنده (PVA پلی وینیل استات) می باشد. پیک های جذبی ضعیف موجود در عدد موج های 2820 تا 2924 cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی متقارن و نامتقارن پیوندهای C-H آلیفاتیکی در ساختار پلی وینیل الکل می باشد. همچنین پیک جذبی پهن موجود در عدد موج 3346 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات پیوندهای O-H موجود در گروه های هیدروکسیلی ساختار PVA می باشد [۱۳، ۱۴]. همچنین مطابق این شکل مشخص است که در نمونه های حاوی عصاره پوست پسته یک پیک جدید در عدد موج حدود 1590 cm^{-1} قابل مشاهده است که مربوط به ارتعاش کششی پیوندهای C=C در حلقه های آروماتیک موجود در این عصاره است [۱۵] بنابراین از پدیدار شدن این پیک می توان به وجود ترکیبات موجود در عصاره در ساختار کامپوزیت پی برد.

یک ماده پانسمان بهینه باید انعطاف پذیر، الاستیک و از نظر مکانیکی قوی باشد تا از تخریب بافت زخمی جلوگیری کند. مطابق شکل ۳ (ب)، مشاهده می شود که نمودار تنش- کرنش مربوط به نمونه ۹:۱ به مقدار قابل توجهی در مقادیر بالاتری از نمونه کنترل قرار دارد که اثر مثبت بر روی خواص مکانیکی نمونه را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که افزودن عصاره پوست پسته به زخم پوش، خواص مکانیکی زخم پوش را بهبود داده و باعث افزایش مقادیر حاصل از آزمون کشش شده است.



شکل ۳. الف) طیف-های FT-IR. ب) نمودار تنش-کرنش نمونه ۹:۱ و نمونه کنترل. ج) تخریب-پذیری نانوالیاف

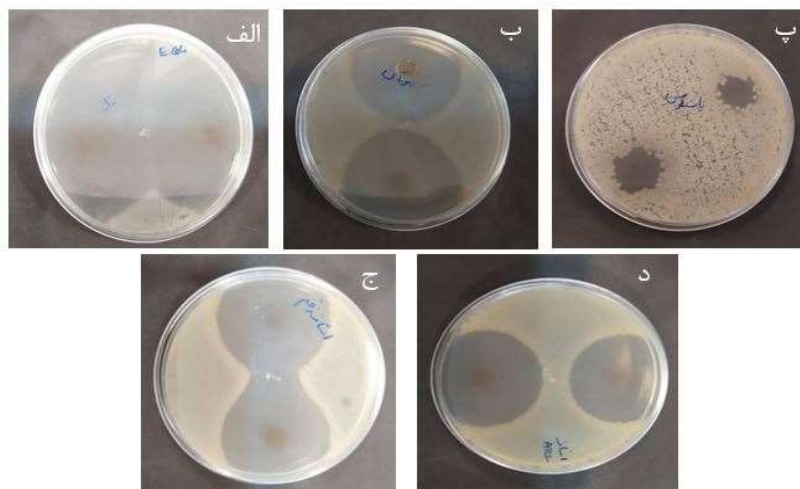
شکل ۳ (ج) منحنی تخریب مربوط به نانوالیاف PVA اتصال عرضی شده و نانوالیاف ۹:۱ اتصال عرضی شده را نشان می دهد. همان گونه که در نتایج مشاهده می شود برای همه نانوالیاف، درصد کاهش وزن در طول زمان افزایش یافته است. نرخ تخریب الیاف حاوی عصاره با شیب ملایمی افزایش پیدا می کند اما از روز هفتم تخریب الیاف PVA به صورت چشم گیری بیشتر بوده است به گونه ای که در روز ۲۱ تخریب نانوالیاف کنترل ۷۳/۹۷ درصد و نانوالیاف حاوی عصاره ۴۸/۳۰ گزارش شد. براین اساس به دلیل تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین PVA و عصاره یک شبکه مقاوم تر نسبت به PVA خالص در برابر تخریب به وجود آمده است و از روز هفتم به بعد با توجه به گذشت زمان و افزایش نفوذ آب به درون زنجیره پلیمری نانوالیاف PVA و از هم پاشیدگی آن، این مسئله آشکار شده است

شکل ۴ و جدول ۳ مربوط به بررسی خاصیت آنتی باکتریال الیاف ۹:۱ پس از اتصال عرضی هستند و اثر ضد میکروبی الیاف ۹:۱ علیه باکتری های مختلف با روش انتشار دیسکی (قطر هاله به سانتی متر) را نشان می -دهد.

جدول ۳-۴ اثر ضد میکروبی الیاف ۹:۱ علیه باکتری های مختلف با روش انتشار دیسکی

باکتری	قطر هاله عدم رشد (cm)
<i>E.Coli 35218</i>	۶
<i>P.Aeruginosa 27853</i>	۴/۲
<i>Bacillus</i>	۱/۷
<i>S.Aureus Atcc 29213</i>	۳/۸
<i>S.Aureus wound</i>	۴

بیشترین قطر هاله عدم رشد مربوط به محیط کشت باکتری اشیریشیا کلی و با قطر ۶ سانتی متر و کمترین مربوط به محیط کشت باکتری باسیلوس با قطر ۱/۷ سانتی متر است.



شکل ۴ مقایسه اثر ضد میکروبی الیاف ۹:۱ علیه باکتری های مختلف با روش انتشار دیسکی. الف) *E.Coli* 35218 ب) *P.Aeruginosa* 27853 ج) *Bacillus* *S.Aureus* wound د) *S.Aureus* Atcc 29213

۴. نتیجه گیری

بر اساس نتایج آزمون های خواص مکانیکی و تست های آنتی باکتریال می توان نتیجه گرفت که این زخم پوش نانوالیاف حاوی عصاره پوست پست خواص مکانیکی مطلوبی داشته و با دارا بودن خواص آنتی باکتریال می تواند گزینه مناسبی برای درمان های ناشی از سوختگی ها و زخم های مزمن باشد.

۵. مراجع

1. R. Sindhu, M. Chitkara and G. Kaur, "Skin penetration enhancer's in transdermal drug delivery systems," *Research J Pharma Tech*, vol. 10(6), pp. 1809-15, 2017.
2. N. Varshney, A. Kumar Sahi, S. Poddar and S. Kumar Mahto, "Soy protein isolate supplemented silk fibroin nanofibers for skin tissue regeneration: Fabrication and characterization," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 160, pp. 112-127, 2020.
3. M. Heidari, M. S. HajirBahrami, M. Ranjbar-Mohammadi and B. Milan, "Smart electrospun nanofibers containing PCL/gelatin/graphene oxide for application in nerve tissue engineering," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 103, pp. 218-230, 2019.
4. M. Ranjbar-Mohammadia and S. Bahramib, "Electrospun curcumin loaded poly(-caprolactone)/gum tragacanthnanofibers for biomedical application," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 7, pp. 23-38, 2017.

5. P. Sarkhail, L. Navidpour, M. Rahimifar, N. MohammadHosseini and E. Souri, "Bioassay-guided fractionation and identification of wound healing active compound from *Pistacia vera* L. hull extract," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 248, 2020.
6. E. Yang, X. Qin and S. Wang, "Electrospun Crosslinked Polyvinyl Alcohol Membrane," *Materials Letters*, vol. 62, p. 3555–3557, 2018.
7. J. Quiróa, B. João, B. Karina, P. Rodea and R. Roberto, "Antimicrobial electrospun silver-, copper- and zinc-doped dopedpolyvinylpyrrolidone nanofiber," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 299, pp. 298-305, 2015.
8. I. R. Amany and E. A. Amr, "A novel *Lawsonia inermis* (Henna)/(hydroxyethylcellulose/ polyvinylpyrrolidone) wound dressing hydrogel: radiation synthesis, characterization and biological evaluation," *Polymer Bulletin*, vol. 5, pp. 98-111, 2018.
9. J. Igwegbe, S. Ighalo, S. Ghosh, V. Ahmadi and A. Ugonabo, "Pistachio (*Pistacia vera*) waste as adsorbent for wastewater treatment: a review," *Biomass Conversion and Biorefinery*, pp. 1-19, 2021.
10. H. Al-Karagoly, S. Al-Musawi, G. Sulaiman, Y. Dewir and M. Alwahibi, "Development of *Inula graveolens* (L.) Plant Extract Electrospun/Polycaprolactone Nanofibers: A Novel Material for Biomedical Application," *Appl. Sci.*, vol. 11, 2021.
11. N. Benhammou, F. Atik Bekkara and P. Kadifkova, "Antioxidant and antimicrobial activities of the *Pistacia lentiscus* and *Pistacia atlantica* extracts," *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, vol. 2, pp. 22-28, 2018.
12. H. Li, L. Wenting, S. Wen and Y. Qin, "Electrospun polyvinyl alcohol film containing pomegranate peel extract and sodium dehydroacetate for use as food packaging," *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 22, 2019.
13. B. Chaudhuri, B. Mondal, S. Ray and C. Sarkar, "A novel biocompatible conducting polyvinyl alcohol(PVA)-polyvinylpyrrolidone (PVP)-hydroxyapatite (HAP) compositescaffolds for probable biological application," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 143, pp. 71-80, 2016.
14. Z. Khiya and Y. Oualcadi, "Evaluation antioxidant and antibacterial activities of silver nanoparticles synthesized by aqueous extract of *Pistacia atlantica*," *Research on Chemical Intermediates*, vol. 47, 2021.
15. D. Kasai, R. Chougale, S. Masti, R. Chalannavar and B. Ravindr, "Influence of *Syzygium cumini* leaves extract on morphological, thermal, mechanical, and antimicrobial properties of PVA and PVA/chitosan blend films," *J. APPL. POLYM. SCI*, vol. 33, 2018.