

## key words

Wound dressing  
Electrospinning  
Polyvinyl alcohol  
Aloe vera  
Antibacterial property

# Design, fabrication and characterization of electrospun wound dressing composed of polyvinyl alcohol/Aloe Vera

Fatemeh Tavakoli Targhi, Hossein Baniasadi\*, Azadeh Hemati

1 Department of Petroleum and Chemical Engineering, Science and  
Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

## Abstract

**Research Subject:** One of the important methods in the treatment of skin wounds is the use of wound dressings. Recently, the use of polymer-based wound dressings has become increasingly common. The use of natural polymers is very important in wound dressings. The aim of the present study is to design and manufacture a polyvinyl alcohol/ aloe vera wound dressing with the capability of healing skin wounds.

**Research Approach:** The electrospinning method was applied to prepare the samples. Aloe vera gel was first extracted, purified, and powdered by freeze-drying. In all samples, the amount of polyvinyl alcohol and aloe vera powder was fixed at 8 wt.%. This value was selected empirically based on the quality of the produced fibers. Different samples including different amounts of polyvinyl alcohol and aloe vera were produced and their properties including morphology, tensile strength, swelling, degradability, and antimicrobial properties were investigated.

**Main Results:** The results showed that the dropless random oriented fibers with uniform diameter were produced. The diameter increased with increasing aloe vera contribution, which was attributed to an increase in viscosity due to the presence of aloe vera. With increasing aloe vera contribution in the samples, tensile strength decreased and the elongation percentage increased. The swelling behavior of the specimens was evaluated by measuring the weight of the specimens in a simulated skin environment and the results showed that the presence of aloe vera increased the hydrophilic properties of the specimens. Antimicrobial activity of the samples against two gram-positive *Staphylococcus aureus* and Gram-negative *Pseudomonas aeruginosa* was investigated using the disk diffusion method and it was found that the presence of Aloe vera in the samples brought antimicrobial activity against *Pseudomonas aeruginosa*. Finally, the findings of this study confirm the feasibility of using polyvinyl alcohol /aloe vera for the production of the electrospun wound dressing.

\*To whom correspondence should be addressed:  
hbaniasadi@srbiau.ac.ir

# پژوهش‌های کاربردی مهندسی شیمی-پلیمر

فصلنامه علمی - پژوهشی بین رشته‌ای  
سال چهارم، شماره ۲، نسخه ۱  
تابستان ۱۳۹۹، صفحه ۹۳-۸۳

## کلمات کلیدی

زخم‌پوش

الکتروریسی

پلی‌وینیل‌الکل

آلئوئورا

ضدمیکروبی

\*عهده دار مکاتبات:

hbaniasadi@srbiau.ac.ir

## طراحی، ساخت و بررسی خواص زخم‌پوش الکتروریسی شده متشکل از پلی‌وینیل‌الکل/آلئوئورا

فاطمه توکلی طرقي<sup>۱</sup>، حسین بنی‌اسدی<sup>۲\*</sup>، آزاده همتی<sup>۳</sup>

- ۱ کارشناسی، دانشکده نفت و مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران-ایران  
۲ استادیار، دانشکده نفت و مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران-ایران  
۳ استادیار، دانشکده نفت و مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران-ایران

## چکیده

**موضوع تحقیق:** یکی از روش‌های مهم در درمان زخم‌های پوستی استفاده از زخم‌پوش است. اخیراً استفاده از زخم‌پوش‌های پایه پلیمری بسیار رواج پیدا کرده است. در این راستا، استفاده از پلیمرهای طبیعی در ساخت زخم‌پوش‌ها اهمیت ویژه‌ای یافته است. هدف از پژوهش حاضر طراحی و ساخت نوعی زخم‌پوش متشکل از پلی‌وینیل‌الکل/آلئوئورا با قابلیت ترمیم زخم‌های پوستی است.

**روش تحقیق:** برای ساخت نمونه‌ها از روش الکتروریسی استفاده شد. ابتدا ژل آلئوئورا استخراج، خالص‌سازی و به روش خشک‌کردن انجمادی به پودر تبدیل شد. در تمامی نمونه‌ها درصد وزنی مجموع پلی‌وینیل‌الکل و پودر آلئوئورا ثابت و معادل ۸٪ وزنی در نظر گرفته شد. این مقدار به صورت تجربی، با سعی و خطا و باتوجه به کیفیت الیاف تولیدی انتخاب شد. نمونه‌هایی شامل مقادیر مختلف از پلی‌وینیل‌الکل و آلئوئورا ساخته شدند و ساختار، استحکام کششی، تورم‌پذیری در محیط آبی، قابلیت تخریب‌پذیری و خاصیت ضدمیکروبی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

**نتایج اصلی:** نتایج نشان داد الیاف با آرایش تصادفی و قطر یکنواخت بدون قطره‌ریزی تولید شدند. قطر الیاف با افزایش سهم آلئوئورا افزایش یافت. این رفتار به افزایش گرانشی محلول در حضور آلئوئورا نسبت داده شد. با افزایش سهم آلئوئورا در نمونه‌ها استحکام کششی کاهش ولی درصد ازدیاد طول افزایش یافت. رفتار تورمی نمونه‌ها با اندازه‌گیری افزایش وزن آن‌ها در محیطی مشابه با pH سطح پوست مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که حضور آلئوئورا خاصیت آب‌دوستی را افزایش می‌دهد. خاصیت ضدمیکروبی نمونه‌ها در مقابل دو باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آئروس و گرم منفی سودوموناس آئروژینوزا با استفاده از روش دیسک انتشار، بررسی و مشخص شد حضور آلئوئورا در نمونه‌ها خاصیت ضدمیکروبی نسبت به سودوموناس آئروژینوزا ایجاد کرده است. در نهایت یافته‌های این پژوهش، ظرفیت استفاده از ترکیب پلی‌وینیل‌الکل/آلئوئورا برای تولید زخم‌پوش الکتروریسی شده را تأیید می‌کند.

## ۱ مقدمه

پوست، لایه حفاظت کننده اعضای بدن در برابر عوامل مختلف خارجی است و هر گونه آسیب وارده به آن از قبیل انواع زخم‌ها، می‌تواند سلامت تمامی بدن را به خطر اندازد. پوست، بزرگ‌ترین و وسیع‌ترین بافت بدن است که عملکردهای مختلفی مانند تنظیم رطوبت و کنترل دمای بدن را برعهده دارد. اخلاص در هر یک از این عوامل، گاهی بدن را با مشکلات جدی روبرو می‌کند. در سال ۱۹۹۴ تعریف علمی برای زخم ارائه شد؛ طبق تعریف ارائه شده هرگونه تغییر در ساختار پوست که مانع از عملکرد طبیعی آن شود زخم نامیده می‌شود. زخم‌ها به دو دسته زخم‌های حاد و زخم‌های مزمن طبقه‌بندی می‌شوند؛ زخم‌های حاد بین ۸ تا ۱۲ هفته زمان برای بهبود نیاز دارد؛ در حالیکه زخم‌های مزمن که عمدتاً به دلیل سرطان، دیابت و یا جراحی ایجاد می‌شوند، بیشتر از ۱۲ هفته زمان برای بهبود نیاز دارند [۱]. لازم به ذکر است که دو مشکل اساسی در درمان زخم‌های مختلف به خصوص زخم‌های ناشی از سوختگی، حضور ترشحات و حمله ریزموجودات در بستر زخم است. با توجه به اهمیت درمان سریع و مناسب زخم‌های ایجاد شده در پوست به خصوص زخم‌های ناشی از سوختگی، زخم‌پوش‌ها از اهمیت بالایی برخوردار شده‌اند. به بیان دیگر، طراحی و ساخت زخم‌پوش‌هایی که در عملکرد پوست تأثیر منفی نگذارند همواره مورد توجه قرار داشته است [۲].

از سال ۱۹۹۰ با توجه به امکان استفاده از مواد پلیمری در زمینه بهبود زخم، تحول بزرگی در زمینه زخم‌پوش‌ها حاصل شد. زخم‌پوش‌های پلیمری به دلیل شکل‌پذیری بسیار خوب، قابلیت ایجاد ساختارهایی مشابه با زخم‌پوش‌های پارچه‌ای رایج را دارند و می‌توانند شرایط مناسبی برای حفاظت از زخم ایجاد کنند. در این راستا، زیست پلیمرها گزینه‌های بسیار مناسبی هستند؛ آن‌ها را می‌توان به دو دسته طبیعی و تولیدی طبقه‌بندی نمود. از جمله زیست پلیمرهای طبیعی که به میزان قابل توجهی در مهندسی زیست فناوری استفاده شده‌اند می‌توان به کیتوسان، ژلاتین، نشاسته و سلولز اشاره کرد. در مقابل پلی‌وینیل‌الکل، پلی‌کاپرولاکتون و پلی‌لاکتیک اسید از جمله زیست پلیمرهای تولیدی هستند که کاربرد زیادی در مهندسی زیست فناوری پیدا کرده‌اند. از این میان، پلی‌وینیل‌الکل که پلیمری غیرسمی و زیست‌تخریب‌پذیر است به دلیل خواص منحصر به فردی چون شکل‌پذیری بالا، آب‌دوستی و استحکام مکانیکی قابل توجه، همواره مورد توجه قرار گرفته است [۲].

از سوی دیگر، استفاده از پلیمرهایی با منشأ طبیعی

به دلیل زیست‌سازگاری و زیست‌تخریب‌پذیری بسیار مناسب و در پاره‌ای موارد دارا بودن برخی خواص ذاتی ارزشمند مانند خاصیت ضد میکروبی، همواره جزو گزینه‌های مطلوب در مهندسی زیست‌فناوری بوده‌اند. از آن جمله می‌توان به ژل آلژینات اشاره نمود. آلژینات گیاهی بوته‌ای همیشه سبز و متعلق به خانواده لیلیاسه است. عمده‌ترین بخش مورد استفاده این گیاه، ماده ژل مانند چسبناک داخلی آن است که جزو مشتقات آنتراکینونیک به نام آلوس (alocs) محسوب می‌شود. این ماده دارای خواص متعدد از جمله توانایی در درمان جراحات پوستی، قابلیت از بین بردن چروک، قابلیت توقف رشد برخی باکتری‌ها و انگل‌ها، اثر مقاومتی در برابر تکثیر سلول‌های سرطانی و تحریک سامانه ایمنی بدن به دلیل وجود ترکیب‌های آنتراکینون، است. ژل آلژینات طی قرن‌ها برای درمان موضعی زخم‌ها و سوختگی‌ها به کار برده شده است [۳].

تا به امروز پژوهش‌های مختلفی پیرامون استفاده از زیست پلیمرها و یا ترکیب آن‌ها با پلیمرهای دیگر برای تولید زخم‌پوش انجام و گزارش شده است. هرچند اشکال مختلف شامل لیفی شکل، فیلمی شکل و اسفنجی شکل برای تولید زخم‌پوش استفاده شده است، ولی زخم‌پوش‌های لیفی شکل به دلیل ایجاد ساختاری با قابلیت نفوذپذیری بسیار بالای آب و اکسیژن که لازمه زخم‌پوش ایده‌آل است، همواره بیشتر مورد توجه بوده‌اند. در یکی از پژوهش‌های انجام شده تارون (Tarun) و همکاران [۴] نانوالیاف پلی‌وینیل‌الکل/سیدیم آلژینات را با نسبت‌های وزنی مختلف دو پلیمر به روش الکتروریسی تولید کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که برهم‌کنش خوبی بین دو پلیمر به واسطه پیوندهای هیدروژنی ایجاد شده است؛ همچنین نمونه‌ها از ساختار مناسب و استحکام مکانیکی قابل قبول به خصوص در نسبت وزنی ۸۰ به ۲۰ (پلی‌وینیل‌الکل/سیدیم آلژینات) برخوردار بودند. در پژوهش مشابه دیگری، ژنگ (Zheng) و همکاران [۵] نانوالیاف متشکل از پلی‌وینیل‌الکل/کیتوسان را به روش الکتروریسی تولید کردند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی تهیه شده از نمونه‌ها، مشخص کرد که قطر الیاف با افزایش سهم کیتوسان در مخلوط کاهش یافته است. همچنین در مقادیر حجمی بیش از ۳۰٪ کیتوسان، الیاف به سختی می‌توانست شکل بگیرد. کاهش قطر با افزایش مقدار کیتوسان به افزایش چگالی بار و نیروی دافعه بین گروه‌های یونی کیتوسان نسبت داده شد. در پژوهش دیگری [۶]، نانوالیاف پلی‌وینیل‌الکل پوشش داده شده با کیتوسان به عنوان زخم‌پوش تولید شد. در این پژوهش، ابتدا غلظت بهینه پلی‌وینیل‌الکل برای داشتن الیاف با قطر مناسب مشخص شد؛ سپس نانوالیاف تولید شده با استفاده از روش حرارت دهی

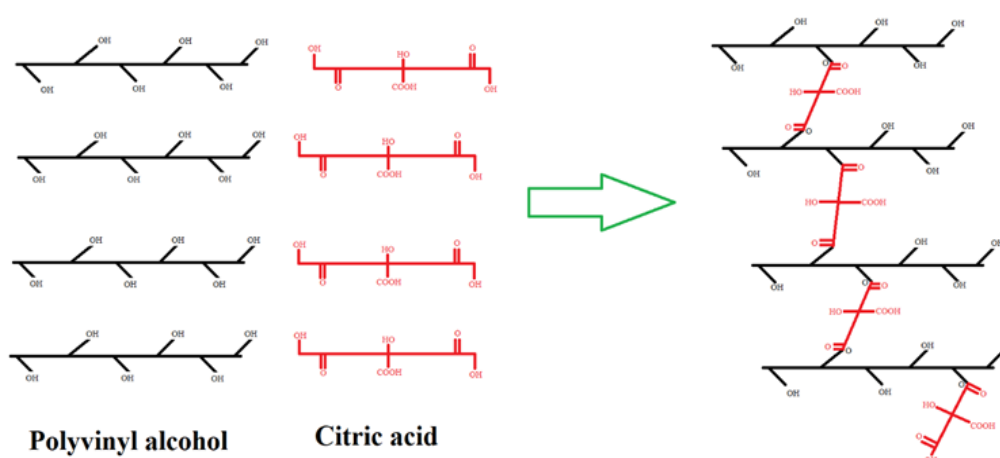
ناخالصی‌های آن جدا شود. در ادامه، به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۷۰۰۰ rpm قرار داده شد تا ناخالصی‌های با ابعاد کوچکتر نیز جدا شوند. ژل خالص حاصل ابتدا در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  - منجمد و سپس توسط دستگاه خشک کن انجمادی در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  - در شرایط خلأ خشک شد. پودر نهایی به دست آمده برای مصارف بعدی درون دسیکاتور نگه داری شد.

## ۲-۲-۲ تهیه محلول پلیمری و الکتروریسی آن

مقدار مشخصی از پلی‌وینیل‌الکل درون آب مقطر در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴ ساعت در شرایط هم‌زدن ملایم، حل شد (محلول نهایی شامل ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰٪ وزنی پلی‌وینیل‌الکل بود). همانطور که بیرک (Birck) و

شبکه‌ای و در ادامه با غوطه‌وری درون محلول کیتوسان پوشش‌دهی شدند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشخص ساخت که نانوالیاف از آرایش و قطر نسبتاً یکسان برخوردار هستند. همچنین نتایج آزمون تورم نشان داد که شبکه‌ای شدن به خوبی انجام شده است؛ به طوری که نمونه‌ها از تورم بالایی در محیط آبی برخوردار بودند.

هدف اصلی از پژوهش حاضر، ساخت نوعی زخم‌پوش متشکل از پلی‌وینیل‌الکل و ژل آلون‌ه‌ورا است. ابتدا ژل آلون‌ه‌ورا از گیاه آن استخراج و خشک شد. سپس مقادیر مختلفی از آن با پلی‌وینیل‌الکل مخلوط و به منظور تولید الیاف استفاده شد. به دلیل ماهیت آب دوستی هر دو جزء، مخلوط بسیار یکنواخت حاصل شد. خواص



شکل ۱ نمایش الگویی اتصال عرضی پلی‌وینیل‌الکل در حضور اسید سیتریک  
Figure 1 Schematic illustration of PVA crosslinking in the present of citric acid

همکاران [۷] نشان دادند، اتصال عرضی پلی‌وینیل‌الکل در حضور اسید سیتریک به واسطه ایجاد پیوند بین گروه‌های هیدروکسیل در پلی‌وینیل‌الکل با گروه‌های کربوکسیل در اسید سیتریک در حضور حرارت یا نور فرابنفش انجام می‌پذیرد. شکل ۱ سازوکار اتصال عرضی پلی‌وینیل‌الکل در حضور اسید سیتریک را به صورت الگویی نمایش داده است. مقدار مشخصی اسید سیتریک (۳٪ وزن پلیمر) به محلول اضافه شد. (این مقدار با مشاهده شدت انحلال‌پذیری نمونه لیف اتصال عرضی شده و نیز pH محلول بافر بعد از قرار گرفتن نمونه لیفی درون آن تعیین شد). محلول به مدت ۱ ساعت هم‌زده شد، سپس به مدت ۲۴ ساعت بدون هم‌زدن نگه‌داری شد تا عاری از هر گونه حباب شود. محلول یکنواخت نهایی برای تولید زخم‌پوش لیفی شکل توسط دستگاه الکتروریسی مورد استفاده قرار گرفت. شرایط الکتروریسی که به صورت سعی و خطا به دست آمد عبارت بود از: ولتاژ ۱۸ kV، نرخ پاشش  $2 \mu\text{l}/\text{min}$  و فاصله نازل تا جمع‌کننده ۲۰ cm. نمونه الکتروریسی شده به مدت ۴ ساعت در معرض نور UV قرار داده شد

فیزیکی، مکانیکی و ضد میکروبی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت تا قابلیت استفاده از این ترکیب برای تولید زخم‌پوش الکتروریسی شده تأیید شود.

## ۲ تجربی

### ۲-۱ مواد

مواد استفاده شده در این پژوهش عبارتند از: پلی‌وینیل‌الکل (مرک، جرم مولکولی  $72000 \text{ g/mol}$ )، اسید سیتریک (مرک) و پودر آلون‌ه‌ورا (روش استخراج ژل و خشک کردن در ادامه توضیح داده شده است)

## ۲-۲ ساخت نمونه‌ها

### ۲-۲-۱ تهیه پودر آلون‌ه‌ورا

برگ تازه آلون‌ه‌ورا تهیه و ژل داخل آن جداسازی شد. سعی شد تا حد امکان به غیر از خود ژل سایر بخش‌های گیاه از دیواره داخلی آن جدا نشود. ژل حاصل توسط مخلوط کن به مدت ۱۵ دقیقه هم‌زده شده تا کاملاً یکنواخت شود. سپس با استفاده از صافی پارچه‌ای مناسب، صاف شد تا برخی از

به منظور بررسی تأثیر میزان آلوه‌ورا بر روی گرانروی محلول پلی‌وینیل‌الکل، گرانروی محلول‌های حاوی مقادیر مختلف از پودر آلوه‌ورا به وسیله دستگاه Brookfield مدل DV-III ULTRA در دمای محیط اندازه‌گیری شد.

#### ۴-۳-۲ آزمون کشش

به منظور بررسی استحکام کششی زخم‌پوش‌ها،

تا فرایند اتصال عرضی تکمیل شود. به طور تجربی مشاهده شد که محلول‌های با غلظت ۵، ۶ و ۷٪ وزنی از PVA به دلیل کم بودن گرانروی، قابل الکتروریسی نیستند. همچنین محلول‌های با غلظت بالای ۹ و ۱۰٪ به دلیل بالا بودن گرانروی با قطره‌ریزی و عدم امکان تولید لیف با کیفیت مناسب مواجه شدند. بنابراین در این پژوهش وزن پلیمر خشک (مجموع PVA و آلوه‌ورا) ۸٪ وزنی در نظر گرفته شد.

جدول ۱ شرایط تولید نمونه‌ها

Table 1 Sample Production Conditions

| Sample code | PVA content in 100 ml solution (g) | Aloe vera content in 100 ml solution (g) |
|-------------|------------------------------------|------------------------------------------|
| PVA_ALO_0   | 8                                  | 0                                        |
| PVA_ALO_0.5 | 7.5                                | 0.5                                      |
| PVA_ALO_1   | 7                                  | 1                                        |
| PVA_ALO_1.5 | 6.5                                | 1.5                                      |
| PVA_ALO_2   | 6                                  | 2                                        |

نمونه‌هایی با ابعاد ۷ cm × ۱ cm برش داده و آزمون کشش با سرعت ۱ mm/min و نیروی ۵ N به وسیله دستگاه Instron بر روی آن‌ها انجام شد. میزان نیروی اعمالی بر حسب تغییر طول توسط کامپیوتر ثبت شد. با تقسیم نیرو بر سطح مقطع مقدار تنش (Pa) و با تقسیم میزان تغییر طول بر طول اولیه (فاصله بین دو فک، ۳۰ mm) میزان کرنش (%) محاسبه شد.

#### ۵-۳-۲ آزمون تورم

رفتار تورمی زخم‌پوش‌ها یکی از ویژگی‌های مهم در طراحی زخم‌پوش مناسب است. به منظور بررسی رفتار تورمی نمونه‌ها، تغییرات وزن نمونه در معرض آب قرار گرفته شده طی زمان بررسی شد. به منظور شبیه‌سازی محیط آزمایشگاهی، با پوست ابتدا محلول بافر با pH معادل ۷/۳ تهیه شد. سپس با اضافه کردن اندکی اسید pH محلول به ۵/۵ کاهش داده شد که مشابه pH سطح زخم باشد. اسفنج کاملاً استریلی درون محلول بافر غوطه‌ور شد. سپس اسفنج بیرون آورده و مدت زمانی صرف شد تا آب اضافی آن خارج شود. در این شرایط اسفنج توزین شد ( $m_s$ ). یک قطعه از نمونه زخم‌پوش، توزین ( $m_0$ ) و بر روی اسفنج قرار داده شد. در مدت زمان‌های مختلف نمونه از روی اسفنج برداشته و توزین شد ( $m_t$ ). شایان گفتن است که در هر مرحله اسفنج نیز توزین شد تا در صورت کاهش وزن آن نسبت به وزن اولیه ( $m_s$ ) با اضافه کردن محلول اسیدی کاهش وزن جبران شود. درصد تورم با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. بعد از گذشت مدت زمانی از انجام آزمون، نمونه شروع به کاهش وزن کرد که نشان دهنده آغاز فرایند تخریب نمونه است. توزین نمونه تا

برای تولید زخم‌پوش متشکل از هر دو جزء (پلی‌وینیل‌الکل و آلوه‌ورا)، ابتدا مقدار مشخصی پودر آلوه‌ورا درون آب حل شد (جدول ۱). سپس پلی‌وینیل‌الکل و اسید سیتریک (پودر) به آن اضافه شد. سامانه به مدت زمان ۲۴ ساعت در دمای محیط هم زده شد تا محلول یکنواخت حاصل شود. شایان گفتن است که برای جلوگیری از کلوخه شدن پلی‌وینیل‌الکل، این ماده به طور تدریجی و طی مدت زمان یک ساعت به سامانه در حال هم خوردن اضافه شد. شرایط الکتروریسی و تکمیل فرایند اتصال عرضی نمونه‌ها، مانند روش گزارش شده در مورد نمونه لیفی خالص (پلی‌وینیل‌الکل) بود.

#### ۳-۲ آزمون‌ها

##### ۱-۳-۲ میکروسکوپ الکترونی پویشی، SEM

به منظور بررسی ساختار زخم‌پوش‌های تولید شده و تأثیر افزودن مقادیر مختلف آلوه‌ورا بر ساختار الیاف (قطر و نحوه آرایش)، از نمونه‌ها تصاویر SEM به وسیله دستگاه مدل FEI ESEM QUANTA 200 با ولتاژ ۲۵ kV تهیه شد.

##### ۲-۳-۲ طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ، FTIR

به منظور بررسی ساختار شیمیایی نمونه‌ها از پودر پلی‌وینیل‌الکل، پودر آلوه‌ورا و زخم‌پوش حاوی اسیدسیتریک قبل و بعد از ایجاد اتصال عرضی توسط نور UV، طیف FTIR توسط دستگاه Nexus ۸۷۰ در محدوده عدد موج  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  تهیه شد.

##### ۳-۳-۲ تعیین گرانروی

زمانی که کاملاً تخریب شود ادامه یافت.

$$S(\%) = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

### ۳-۲-۶ آزمون ضد میکروبی

خاصیت ضدباکتریایی نمونه‌های تولید شده نسبت به دو باکتری گرم منفی سودوموناس آئروژینوزا و باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آرتوس که در اکثر زخم‌ها وجود دارند با استفاده از روش دیسک انتشار، ارزیابی شد. به این منظور ابتدا پلیت استریل توسط محیط کشت مولر هینتون اگر پوشش داده شد. باکتری‌ها به اندازه ۵۰ لاند درون محیط کشت پخش شدند. محیط کشت حاوی باکتری به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷°C آنکوبه شد تا باکتری‌ها تمام سطح ظرف را پوشش دهند. با استفاده از پانچ دایره‌ای شکل از زخم‌پوش‌ها نمونه تهیه شد. نمونه‌های پانچ شده با استفاده از اتانول ۷۰٪ استریل، سپس درون پلیت حاوی میکروب قرار داده شدند. پلیت حاوی میکروب و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت آنکوبه شدند. قطر هاله احتمالی تشکیل شده پیرامون نمونه به عنوان معیاری از خاصیت ضد میکروبی گزارش شد. زخم‌پوش بدون آلئوئه‌ورا به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد.

### ۳ نتایج و بحث

#### ۳-۱ بررسی ریزساختار نانو الیاف تولید شده

به منظور بررسی ریزساختار و قطر الیاف تولید شده از سطح نمونه‌ها تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی تهیه شد. همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود الیاف در نمونه PVA\_ALO\_0 (شکل 2a) بدون وجود قطره، به صورت بی‌نظم، با قطر و فضای خالی یکنواخت تولید شده‌اند. میانگین قطر الیاف تولید شده حدود ۲۰۰ nm است. در تصویر مربوط به نمونه PVA\_ALO\_0.5 (شکل 2b) نیز الیاف بدون وجود قطره، به صورت بی‌نظم، با قطر و فضای خالی یکنواخت تولید شده‌اند؛ با این تفاوت که میانگین قطر الیاف تولید شده به حدود ۲۲۰ nm افزایش یافته است. به عبارت دیگر حضور پودر آلئوئه‌ورا منجر به افزایش قطر نمونه‌ها شده است. نتایج آزمون ویسکومتری نشان داد که با افزودن آلئوئه‌ورا به محلول پلی‌وینیل‌الکل گرانیروی محلول افزایش یافته است (از ۴۷۱/۱ cp در نمونه بدون آلئوئه‌ورا به ۵۹۷/۵ cp در نمونه حاوی ۰/۵ گرم آلئوئه‌ورا و به ترتیب ۶۵۸/۷، ۸۰۱/۱ و ۱۰۰۹ cp در نمونه‌های PVA\_ALO\_1، PVA\_ALO\_1.5 و PVA\_ALO\_2). افزایش گرانیروی باعث افزایش استحکام مایع خروجی از نازل و در نتیجه آن کشش‌پذیری مایع و در نهایت افزایش قطر الیاف می‌شود. این نوع ریزساختار و الگوی افزایش قطر الیاف در تمامی نمونه‌ها به جز نمونه PVA\_ALO\_2 قابل مشاهده است. در این نمونه

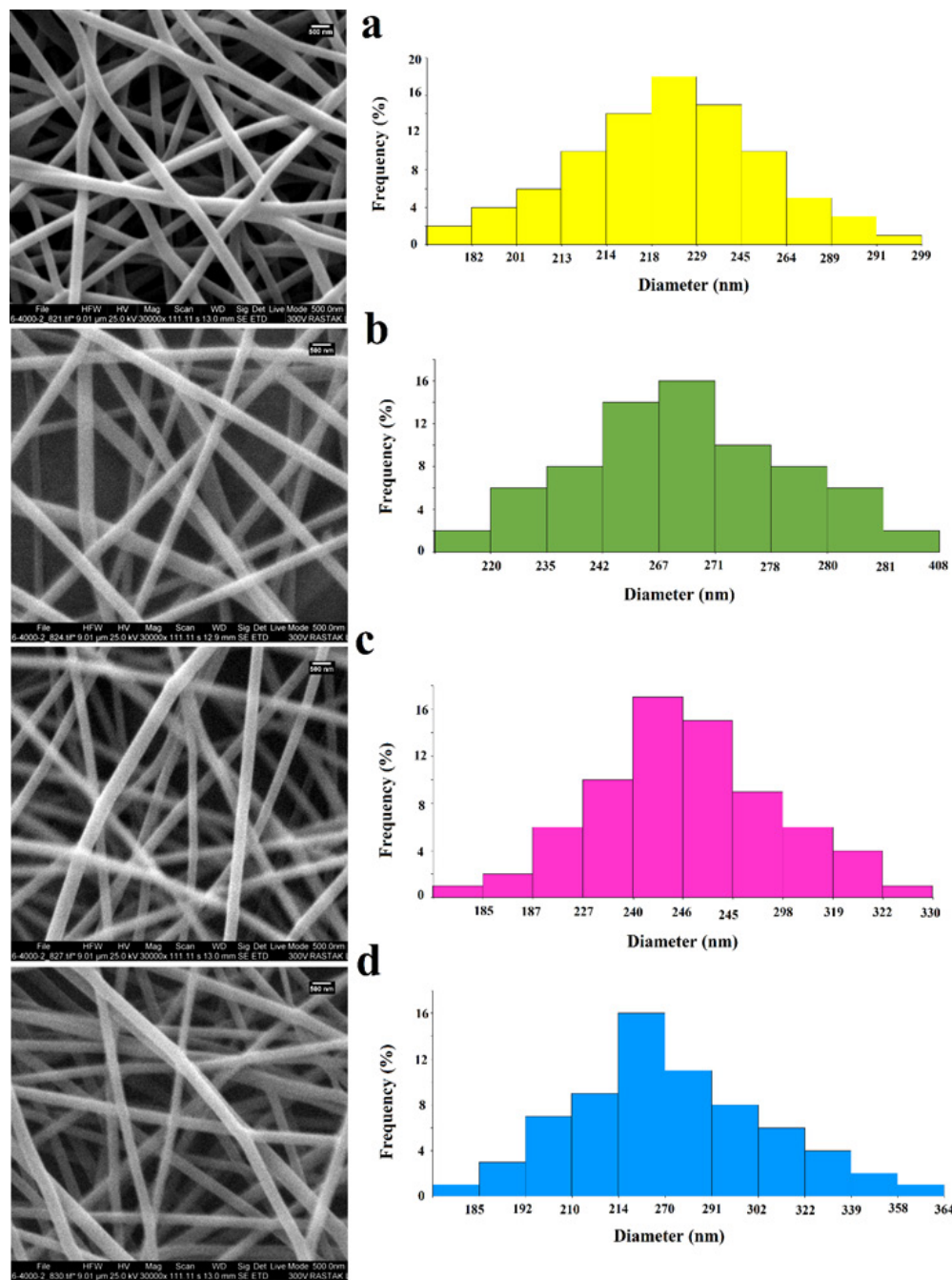
همان‌طور که در شکل ۳ به خوبی قابل مشاهده است کیفیت الیاف بسیار نامناسب همراه با تشکیل قطرات فراوان است. بنابراین از این نمونه برای انجام آزمایش‌های بعدی صرف نظر شد.

#### ۳-۲ آزمون مقاومت مکانیکی

نمودار تنش-کرنش به دست آمده از آزمون کشش در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه خالص کمترین درصد ازدیاد طول و بیشترین میزان استحکام کششی را دارد؛ به طوری که درصد ازدیاد طول این نمونه ۱۴/۴۲٪ و استحکام کششی آن ۲/۱۴ MPa است. در نمونه PVA\_ALO\_0.5 استحکام کششی به ۱/۹۵ MPa کاهش یافته است در حالی که درصد ازدیاد طول به ۱۷/۰۱٪ افزایش یافته است. این روند در تمامی نمونه‌ها قابل مشاهده است. به نظر می‌رسد حضور آلئوئه‌ورا منجر به کاهش استحکام کششی نمونه‌ها و در عین حال افزایش کشش‌پذیری آن‌ها شده است. این رفتار را می‌توان به تغییرات قطر نمونه‌ها در حضور آلئوئه‌ورا نسبت داد. همان‌طور که در بخش قبل گزارش شد حضور آلئوئه‌ورا منجر به افزایش گرانیروی محلول و در نتیجه آن افزایش قطر نمونه‌ها شد. هنگامی که قطر الیاف کمتر است ساختارهای لایه‌ای و ليفی بهتر می‌توانند خود را در امتداد محور الیاف قرار دهند؛ این امر تأثیر مثبتی بر استحکام کششی نمونه می‌گذارد [۸]. با توجه به اثر مثبت آلئوئه‌ورا بر بهبود زخم، نمونه حاوی حداکثر مقدار ممکن از این ماده برای ساخت زخم‌پوش مطلوب خواهد بود. بنابراین نمونه PVA\_ALO\_1.5 که حاوی بیشترین مقدار ممکن از آلئوئه‌ورا است برای بررسی بیشتر انتخاب شد.

#### ۳-۳ آزمون تورم

رفتار تورمی زخم‌پوش PVA\_ALO\_0 و PVA\_ALO\_1.5 در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر دو نمونه به سرعت متورم شده و آب زیادی جذب می‌کنند. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه میزان جذب آب در نمونه خالص حدود ۳۵٪ و در نمونه حاوی آلئوئه‌ورا حدود ۸۰٪ است. به نظر می‌رسد ساختار ژله‌ای آلئوئه‌ورا اجازه جذب آب بیشتر را فراهم ساخته است. نکته دیگر از شکل به خوبی قابل مشاهده است، ثابت باقی ماندن وزن هر دو نمونه بعد از گذشت ۳۰ دقیقه از شروع آزمون است. این ثبات وزن در نمونه خالص حدود ۳۰ دقیقه و در نمونه حاوی آلئوئه‌ورا حدود ۶۰ دقیقه است. به عبارت دیگر نمونه‌ها به سرعت بعد از گذشت ۳۰ دقیقه به حداکثر میزان جذب خود رسیده‌اند و بعد از آن تمایلی به جذب بیشتر آب نشان نمی‌دهند. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است با ادامه آزمون تورم، روند کاهش وزن نمونه‌ها شروع شده است. این کاهش وزن نشان دهنده آغاز



شکل ۲ تصاویر SEM و توزیع قطر الیاف در زخم‌پوش‌های تولید شده: a) PVA\_ALO\_0، b) PVA\_ALO\_0.5، c) PVA\_ALO\_1، و d) PVA\_ALO\_1.5

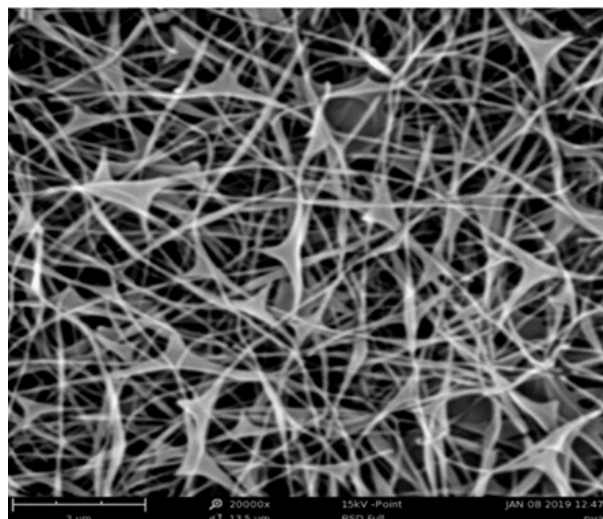
Figure 2 SEM images and fibers diameter distribution of the produced PVA/aloe Vera wound dressing: a) PVA\_ALO\_0, b) PVA\_ALO\_0.5, c) PVA\_ALO\_1, and d) PVA\_ALO\_1.5

$\text{cm}^{-1}$ ،  $2850/22 \text{ cm}^{-1}$ ،  $2919/96 \text{ cm}^{-1}$ ،  $3442/86 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1651/02 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1669/48 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1739/07 \text{ cm}^{-1}$ ،  $2272/88 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1262/36 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1463/57 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1542/18 \text{ cm}^{-1}$ ،  $460/04 \text{ cm}^{-1}$ ،  $652/17 \text{ cm}^{-1}$ ،  $851/38 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1077/00$  اوج نشان داده است که متناظر با مقادیر گزارش شده توسط سایر پژوهشگران است [۹]. همچنین اوج‌های به‌دست‌آمده برای پودر آلوه‌ورا عبارتند از: اوج پهن در طول موج  $3434 \text{ cm}^{-1}$  مربوط گروه هیدروکسیل (OH)

تخریب زخم‌پوش است. روند کاهش وزن تا زمان تخریب کامل برای نمونه خالص ۲۰ ساعت و برای نمونه دارای آلوه‌ورا حدود ۱۷ ساعت است.

#### ۳-۴ طیف سنجی فروسرخ

تصاویر FTIR تهیه شده از پودر پلی‌وینیل‌الکل و آلوه‌ورا در شکل ۷ نشان داده شده است. پلی‌وینیل‌الکل در اعداد موج  $3753/57 \text{ cm}^{-1}$ ،  $3854/05 \text{ cm}^{-1}$ ،  $4331/46 \text{ cm}^{-1}$



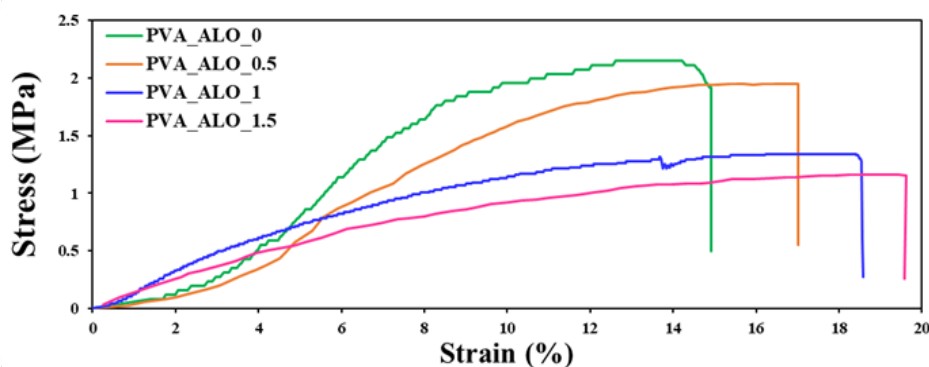
شکل ۳ تصاویر SEM و توزیع قطر الیاف در زخم‌پوش تولید شده PVA\_ALO\_2  
Figure 3 SEM images and fibers' diameter distribution of the prepared PVA/aloe Vera wound dressing PVA\_ALO\_2

### ۳-۵ آزمون ضدمیکروبی

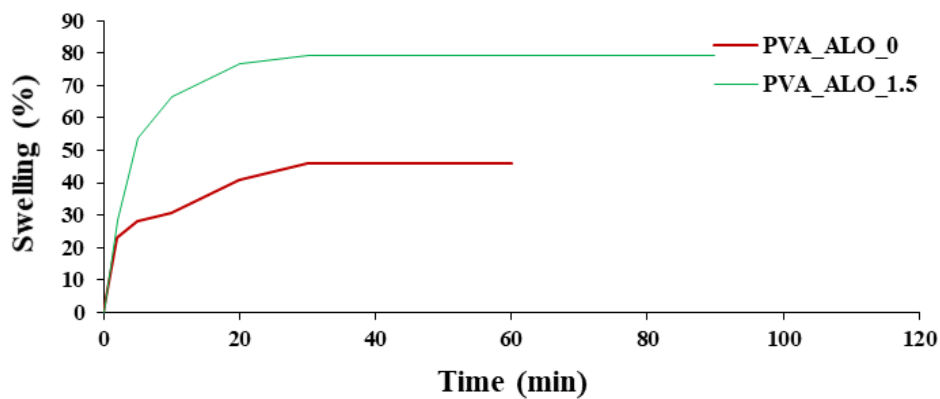
نتیجه آزمون ضدمیکروبی در مقابل دو باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آرئوس و گرم منفی سودوموناس اثر وینوزا برای نمونه‌های ساخته شده با مقادیر مختلف از آلوه‌ورا در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مورد تمام نمونه‌های قرار داده شده در محیط کشت باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس آرئوس هیچ‌گونه هاله‌ای تشکیل نشده است که نشان می‌دهد نمونه‌ها مقاومتی در مقابل این نوع باکتری ندارند. اما در مورد نمونه‌های حاوی آلوه‌ورا که در محیط کشت باکتری گرم منفی سودومونوسان اثر وینوزا قرار گرفته‌اند به وضوح هاله تشکیل شده است. به عبارت دیگر حضور آلوه‌ورا در این نمونه‌ها باعث ایجاد خاصیت ضدمیکروبی شده است که می‌تواند مشخصه قابل توجه در بهبود زخم باشد.

و اوج‌های ۲۹۲۸، ۱۶۲۱، ۱۴۳۳، ۱۰۸۰ و  $603\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به پیوندهای C-H، C=O، COO، و C-O-C [۱۰].

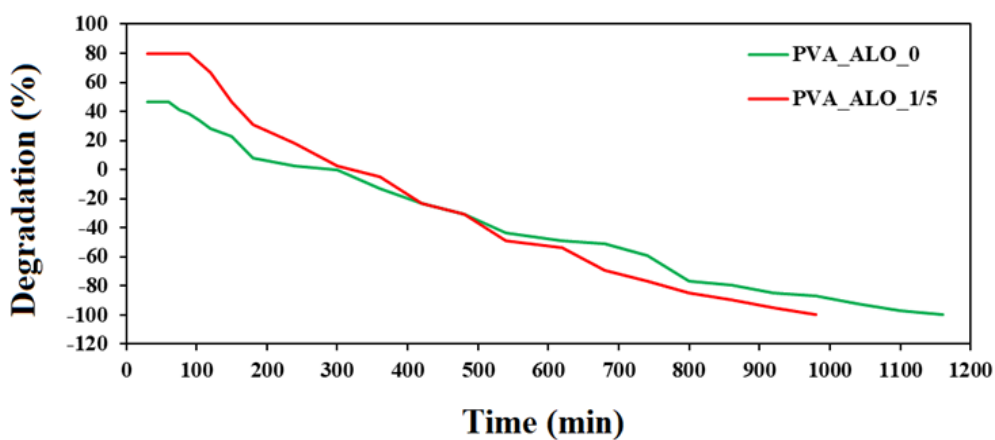
نمودار FTIR تهیه شده از زخم‌پوش PVA\_ALO\_1.5 قبل و بعد از قرار گرفتن در معرض نور UV در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تمامی پیک‌های مربوط به پودر پلی‌وینیل‌الکل و آلوه‌ورا با اندکی جابه‌جایی در طیف زخم‌پوش قابل مشاهده است که می‌تواند تأییدی بر حضور این دو جز در زخم‌پوش نهایی باشد. از سوی دیگر موقعیت پیک‌ها در هر دو نمونه قبل و بعد از پخت با UV مشابه یکدیگر هستند با این تفاوت که در نمونه در معرض نور UV قرار گرفته شده یک پیک اضافه در  $1616\text{ cm}^{-1}$  مشاهده می‌شود. این پیک، پیک مشخصه اسید سیتریک است که نشان می‌دهد واکنش اتصال عرضی در اثر نور UV انجام شده است.



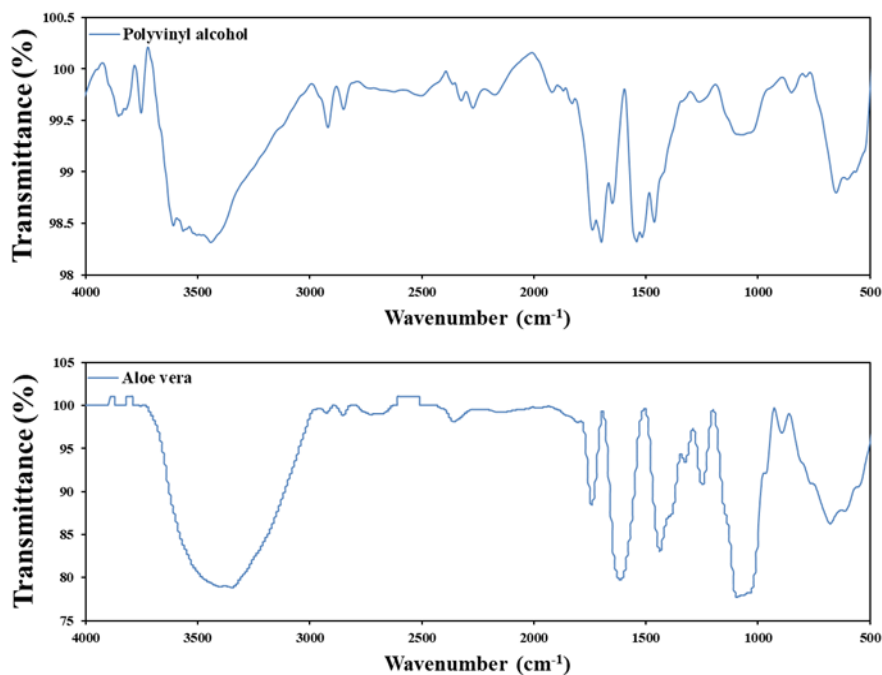
شکل ۴ نمودار تنش-کرنش برای زخم‌پوش‌های تولید شده با مقادیر مختلف از آلوه‌ورا  
Figure 4 Stress-strain diagram for the wounds produced with different amounts of aloe vera



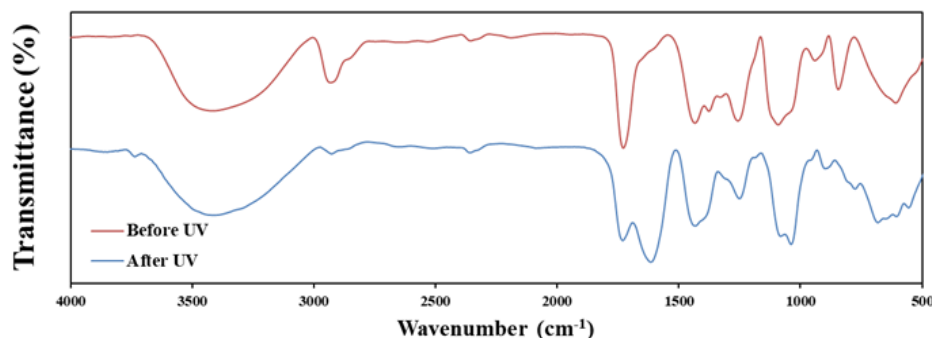
شکل ۵ درصد تورم نمونه‌های تولید شده  
Figure 5 Swelling percentage of the prepared samples



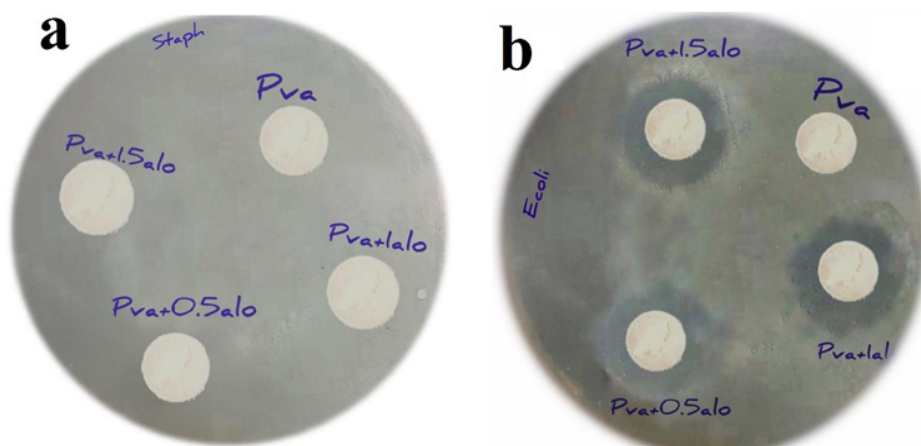
شکل ۶ روند تخریب نمونه‌های تولید شده  
Figure 6 Degradation behavior of the prepared samples



شکل ۷ نمودار FTIR مربوط به پلی‌وینیل‌الکل و پودر آلوئه‌ورا  
Figure 7 FTIR curves of polyvinyl alcohol and aloe Vera powder



شکل ۸ نمودار FTIR مربوط به زخم‌پوش متشکل از PVA/آلوئه‌ورا قبل و بعد از قرار گرفتن در معرض نور UV  
Figure 8 FTIR curve of the PVA/aloe vera wound dressing before and after exposure to UV light



شکل ۹ آزمون ضد میکروبی در مقابل: (a) استافیلوکوکوس آرنئوس و (b) سودوموناس اثر وینوز  
Figure 9 Antibacterial test against: a) staphylococcus aureus and b) pseudomonas aeruginosa

در نتیجه آن افزایش سرعت تخریب نمونه‌ها شد؛ به طوری که در نمونه خالص مدت زمان تخریب کامل ۲۰ ساعت ولی در نمونه PVA\_ALO\_1.5 این زمان ۱۷ ساعت بود. در نهایت نتایج آزمون ضد میکروبی مشخص ساخت که حضور آلوئه‌ورا خاصیت ضد میکروبی در مقابل باکتری گرم منفی سودوموناس به ارمغان آورده است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند گامی مقدماتی برای استفاده از ترکیب پلی‌وینیل‌الکل / آلوئه‌ورا در زمینه‌های مختلف مهندسی زیست دارویی از جمله تولید زخم‌پوش باشد.

#### ۴ نتیجه‌گیری

هدف از پانسمان زخم، فراهم کردن محیط مرطوب و جلوگیری از عفونت تا زمان بهبود آن است. در سالیان اخیر توجه ویژه‌ای به زخم‌پوش‌های بافته شده نانولیفی شده است. در این پژوهش ساخت و بررسی خواص نوعی زخم‌پوش الکتروریسی شده متشکل از پلی‌وینیل‌الکل و ژل آلوئه‌ورا گزارش شد. ژل آلوئه‌ورا از گیاه، استخراج، خالص سازی و با استفاده از روش خشک کن انجمادی به پودر تبدیل شد. سپس زخم‌پوش لیفی شکل با نسبت‌های مختلف از دو جزء پلی‌وینیل‌الکل و آلوئه‌ورا به روش الکتروریسی تولید شد. در تمام نمونه‌ها درصد پلیمر خشک ۸٪ در نظر گرفته شد. خواص نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که حضور آلوئه‌ورا گرانیروی محلول الکتروریسی را افزایش می‌دهد به طوری که نمونه با مقدار بالای آلوئه‌ورا (PVA\_ALO\_2) با قطره ریزی فراوان مواجه شد. همچنین این افزایش گرانیروی منجر به افزایش قطر لیاف و در نتیجه آن کاهش استحکام کششی نمونه‌ها شد. به علاوه مشاهده شد که حضور آلوئه‌ورا باعث افزایش قابلیت جذب آب در نمونه‌ها و

## مراجع

- [1] Zahedi P., Rezaeian I., Ranaei Siadat S.O., Jafari S.H. and Supaphol P., A Review on Wound Dressings with an Emphasis on Electrospun Nanofibrous Polymeric Bandages, *Polymers for Advanced Technologies*, 21.2, 77-95, 2010.
- [2] Kim H.Y., Kim H.N., Lee S.J., Song J.E., Kwon S.Y., Chung J.W., Lee D. and Khang G., Effect of Pore Sizes of PLGA Scaffolds on Mechanical Properties and Cell Behavior for Nucleus Pulposus Regeneration In Vivo, *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 11, 1-8, 2014.
- [3] Khoshgozaran Abrasa S., Azizi M.H., Hamidyan Z. and Bagheripoor Fallah N., Mechanical, Physicochemical and Color Properties of Chitosan Based-Films as a Function of Aloe Vera Gel Incorporation, *Carbohydrate Polymers*, 87, 3, 2058-2062, 2012.
- [4] Tarun K. and Gobi N., Calcium Alginate/PVA Blended Nanofiber Matrix for Wound Dressing, *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 37, 127-132, 2012.
- [5] Cay A., Miraftab M. and Kumbasar E.P.A., Characterization and Swelling Performance of Physically Stabilized Electrospun Poly (vinyl alcohol)/Chitosan Nanofibers, *European Polymer Journal*, 61, 253-262, 2014.
- [6] Zheng H., Du Y., Yu J., Huang R. and Zhang L., Preparation and characterization of chitosan/poly (vinyl alcohol) blend fibers, *Applied Polymer Science*, 13, 2558-2565, 2001.
- [7] Birck C., Degoutin S., Tabary N., Miri V. and Bacquet M., New Crosslinked Cast Films Based on Poly(vinyl alcohol): Preparation and Physico-chemical Properties, *eXPRESS Polymer Letters* 8, 941-952, 2014.
- [8] Doustgani A., Optimization of Mechanical and Structural Properties of PVA Nanofibers, *Journal of Industrial Textiles*, 46, 901, 2015.
- [9] Alhosseini S.N., Moztaezadeh F., Mozafari M., Asgari S., Dodel M., Samadikuchaksaraei A., Kargozar S. and Jalali N., Synthesis and Characterization of Electrospun Polyvinyl Alcohol Nanofibrous Scaffolds Modified by Blending with Chitosan for Neural Tissue Engineering, *International Journal of Nanomedicine*, 7, 25-34, 2012.
- [10] Ray A. and Aswatha S.M., An Analysis of the Influence of Growth Periods on Physical Appearance and Acemannan and Elemental Distribution of Aloe vera L. gel, *Acta Biomaterialia*, 54, 2-7, 2013.