

## Fabrication of Antibacterial Poly(vinyl alcohol) Microfibers Mat for Wound Dressing Application

Mohammadreza Norouzi, Laleh Ghasemi-Mobarakeh\*, and Mohammad Morshed

Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, P.O. Box: 84156-83111, Isfahan, Iran

Received: 22 February 2015, accepted: 21 October 2015

### ABSTRACT

The bed of an open wound is prone to infection because of good conditions for microorganisms to grow in a moist, warm and nutritious environment. Using an antibacterial wound dressing, the healing of the wound can be accelerated. Antibacterial properties of natural dyes have been studied by researchers in recent years. On the other hand, the efficiency of fine fibers in wound dressing has been demonstrated due to increasing its contact area with the skin and simulation of extracellular matrix. In this study, polyvinyl alcohol (PVA) microfibers were fabricated by electrospinning process and heat treatment was used to increase the stability of microfibers against aqueous solutions. It is notable to say that untreated PVA microfibers dissolve in aqueous solutions easily. XRD spectrum was used for structural characterization of PVA microfibers after heat treatment. The results showed an increase in the crystallinity of the microfibers after heat treatment. Antibacterial properties of some natural dyes (green walnut shells, Punicagranatum, Urticadioica) were investigated by dipping PVA microfibers in the natural dyes solutions extracted by different solvents such as water and ethanol. In the end, the antibacterial property of PVA microfibers dipped in Punicagranatum extract solution for both pathogenic strains of gram-positive (*Staphylococcus aureus*) and gram-negative (*Pseudomonas aeruginosa*) was demonstrated. PVA microfibers dipped in aqueous solution of Punicagranatum showed stronger antibacterial property than those dipped in ethanolic Punicagranatum extract solution. The SEM images indicated that morphology of PVA microfibers preserved after dipping in the natural dyes solution extracted by water and ethanol, confirming stability of PVA microfibers after heat treatment.

#### Keywords:

PVA,  
wound dressing,  
antibacterial,  
microfibers,  
natural dye

(\*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: [laleh.ghasemi@cc.iut.ac.ir](mailto:laleh.ghasemi@cc.iut.ac.ir)

# تولید میکروالیاف پلی وینیل الکل ضدباکتری برای کاربرد در زخم پوش

محمد رضا نوروزی، لاله قاسمی مبارکه\*، محمد مرشد

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۳، پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۲۹

## چکیده

بستر زخم باز به دلیل شرایط مناسب رشد میکروارگانیسم‌ها شامل محیط گرم، مرطوب و مغذی، همواره با خطر ایجاد عفونت مواجه است. استفاده از پوشش مناسب ضدباکتری می‌تواند روند بهبود زخم را تسریع کند. رنگ‌های طبیعی موادی هستند که خواص ضدباکتری آنها در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. الیاف با قطر کم در زخم‌پوش‌ها، به دلیل افزایش سطح تماس باند با پوست و شبیه‌سازی ماتریس خارج سلولی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این پژوهش، میکروالیاف پلی وینیل الکل (PVA) با فرایند الکتروریسی تولید و برای افزایش مقاومت در برابر حل شدن در محیط‌های آبی از عملیات گرمایی روی وب میکروالیاف استفاده شد. تغییرات ساختاری با آزمون XRD مطالعه و مشخص شد، بلورینگی میکروالیاف بر اثر گرمادهی افزایش یافته است. خواص ضدباکتری رنگ‌های طبیعی پوست گردو، گزنه و پوست انار با غوطه‌ورکردن میکروالیاف PVA در محلول رنگ‌های استخراج شده با حلال‌های مختلف (آب و اتانول) بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده خواص ضدباکتری میکروالیاف PVA غوطه‌ور شده در محلول رنگ طبیعی استخراج شده از پوست انار در برابر دو سویه باکتری گرم مثبت (*Staphylococcus aureus*) و گرم منفی (*Pseudomonase aeruginosa*) بود. میکروالیاف PVA غوطه‌ور شده در محلول آبی رنگ طبیعی استخراج شده از پوست انار خواص ضدباکتری بیشتری نسبت به نمونه غوطه‌ور شده در محلول حاوی رنگ طبیعی استخراج شده از پوست انار در حلال اتانول نشان داد. تصاویر SEM به دست آمده نشان داد، شکل‌شناسی میکروالیاف PVA پس از غوطه‌ورشدن در محلول‌های رنگ طبیعی دارای حلال‌های مختلف آب و اتانول کاملاً حفظ شده است و این موضوع حاکی از تثبیت میکروالیاف PVA پس از گرمادهی است.

## واژه‌های کلیدی

پلی وینیل الکل،  
زخم‌پوش،  
ضدباکتری،  
میکروالیاف،  
رنگ طبیعی

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

پیام‌نگار: [laleh.ghasemi@cc.iut.ac.ir](mailto:laleh.ghasemi@cc.iut.ac.ir)

## مقدمه

به دلیل شرایط مناسبی چون رطوبت، مواد غذایی و گرما در بستر زخم، احتمال رشد میکروارگانیسم‌ها و ایجاد عفونت در آن وجود دارد. در صورت عفونی شدن زخم، ترشحاتی روی سطح آن ایجاد می‌شود که روند بهبود آن را کند کرده و زخم را دچار التهاب می‌کند [۱]. همچنین باکتری‌ها با رشد و تکثیر در بستر زخم، ایجاد کولنی کرده و به مناطق عمیق‌تر زخم نفوذ می‌کنند و باعث عفونت داخلی می‌شوند. راهکار مقابله با این مشکلات استفاده از پوشش مناسب ضدباکتری برای سطح زخم است [۲].

در گذشته استفاده از عسل، گیاهان دارویی و چربی‌های حیوانی برای پوشش زخم متداول بوده، اما امروزه با توجه به پیشرفت‌های صنعت پلیمر و ایجاد روش‌های مختلف تولید الیاف، زخم‌پوش‌ها با خواص بهتری تولید شده است [۳]. در طراحی زخم‌پوش، خواصی چون زمان بهبود، خواص مکانیکی و شیمیایی مناسب، فراهم کردن محیط مرطوب برای بهبود زخم و خواص ضدباکتری آن باید در نظر گرفته شود. هدف نهایی بیشترین سرعت بهبود زخم با کمترین جای زخم باقی‌مانده در ترمیم آن است [۳]. علت موفقیت مواد ضدباکتری، قابلیت انتخاب این عوامل در برابر سلول‌های باکتری و جانوری است که این موضوع ناشی از تفاوت‌های ساختاری باکتری‌ها و سلول‌های جانوری است [۴].

مواد ضدباکتری با سازوکارهای متفاوتی مانند جلوگیری از متابولیسم سلول، جلوگیری از ساخت دیواره سلولی، اثر بر غشای پلازما، قطع سنتز پروتئین و جلوگیری از بازنویسی نوکلئیک اسید عمل می‌کنند و باعث نابودی باکتری هدف خود می‌شوند [۴]. امروزه، خاصیت ضدباکتری مواد مختلف از قبیل نمک‌های آمونیوم چهارظرفیتی و نانوذرات اکسیدهای فلزی مانند نانوذرات نقره بررسی شده است، اما استفاده از این مواد به دلیل مسائل زیست‌محیطی و نیر زیست‌ناسازگاری کافی با مشکلاتی مواجه است [۵-۱۴]. Korbekandi و همکاران در مطالعه‌ای گزارش کردند، نانوذرات نقره قابلیت عبور از غشاهای زیستی و نفوذ درون ظریف‌ترین مویرگ‌های بدن را دارند. همچنین مطالعات داخل بطن و آزمایشگاهی این پژوهشگران نشان داد، نانوذرات نقره مشکلاتی از قبیل انحراف کروموزوم‌ها، آسیب به DNA، آسیب‌زدن به سامانه ایمنی بدن، تجمع در کبد و طحال و اثر بد روی گلبول‌های قرمز را ایجاد می‌کند [۱۵].

به‌تازگی خواص ضدباکتری رنگ‌های طبیعی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۱۶-۲۲]. استخراج رنگ‌های طبیعی از گیاهان به عهد باستان برمی‌گردد، ولی مطالعه خواص آنها در آزمایشگاه از سال ۱۹۰۰ میلادی شروع شده است [۱۶]. رنگ‌های

طبیعی موادی بی‌خطر، غیرسمی و غیرسرطان‌زا هستند و به دلیل عدم ایجاد حساسیت ویژه برای انسان در صنایع مختلفی چون مواد غذایی و آرایشی بهداشتی مورد توجه قرار گرفته‌اند. افزون بر خواص رنگرزی این نوع رنگ‌ها، برخی از آنها اهمیت پزشکی و دارویی دارند و برخی نیز دارای خواص ضدباکتری شایان توجهی هستند [۱۶، ۱۷]. Balakumar و همکاران در پژوهشی نشان دادند، پارچه‌های پنبه‌ای رنگ شده با رنگ استخراج شده از پوست انار، خواص ضدباکتری مناسبی در برابر باکتری‌های منتخب دارد [۲۰].

امروزه استفاده از الیاف ظریف در زخم‌پوش‌ها به دلیل نسبت سطح به حجم و تخلخل زیاد آنها مورد توجه قرار گرفته است [۸-۵]. به وسیله الیاف ظریف می‌توان ساختاری مناسب برای شبیه‌سازی ماتریس خارج سلولی تهیه کرد که روند بهبود زخم را سرعت می‌بخشد [۱]. الکترورسی روشی ساده، سریع و اقتصادی برای تولید الیاف با قطر میکرو تا نانومتر، به شکل آرایش‌یافته و آرایش‌نیافته از محلول و مذاب پلیمرهای طبیعی و مصنوعی است [۲۳، ۳]. الیاف تولید شده به این روش در زمینه‌های مختلف پزشکی از قبیل زخم‌پوش‌ها، داربست‌های دارای ساختار سه‌بعدی برای کاربرد در مهندسی بافت و سامانه‌های ره‌ایش دارو استفاده می‌شوند [۲۵-۲۳].

پلی‌وینیل‌الکل (PVA) پلیمری آبدوست، غیرسمی، زیست‌سازگار، زیست‌تخریب‌پذیر و فرایندپذیر با قابلیت تولید فیلم و خواص مکانیکی مناسب است. در پژوهش‌های پیشین، الیاف PVA به روش الکترورسی تولید و در کاربردهای مختلفی از قبیل زخم‌پوش و سامانه‌های ره‌ایش دارو استفاده شدند [۲۸-۲۶]. PVA به‌سرعت در آب و به‌آرامی در اتانول حل می‌شود و در سایر حلال‌های آلی انحلال‌ناپذیر است [۲۹]. انحلال‌پذیری زیاد PVA در آب موجب ایجاد برخی محدودیت‌ها در کاربرد این پلیمر می‌شود [۳۰]. راهکار کار مقابله با این مشکل استفاده از روش‌های ایجاد پیوند عرضی میان زنجیرهای پلیمری یا استفاده از روش تثبیت گرمایی است که باعث کاهش قابل توجه انحلال‌پذیری این پلیمر در آب می‌شود [۳۱، ۳۰، ۲۷، ۸].

با توجه به اهمیت زخم‌پوش‌های ضدباکتری از یک سو و مورد توجه قرارگرفتن الیاف ظریف برای کاربرد در زخم‌پوش‌ها از سوی دیگر، هدف از انجام این پژوهش ساخت و بهبود خواص وب میکروالیاف PVA و بررسی خواص ضدباکتری وب میکروالیاف PVA غوطه‌ور شده در محلول رنگ‌های طبیعی استخراج شده از پوست انار، پوست گردو و گزنه، با هدف تولید زخم‌پوش ضد میکروب است.

## تجربی

## مواد

در این پژوهش، از PVA با وزن مولکولی  $72000 \text{ g/mol}$  و اتانول خریداری شده از شرکت Merck آلمان، رنگ‌های طبیعی پوست انار، پوست گردو و گزنه تهیه شده از مزارع ایران و سویه‌های استاندارد باکتری‌های *Staphylococcus aureuse* (ATCC-25923) و *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC-27853) برای آزمون ضدباکتری استفاده شد.

## دستگاه‌ها

## الکترورسی PVA

برای انجام الکترورسی ابتدا محلول PVA در دو حلال اتانول و آب به نسبت ۳۰ به ۷۰ و با غلظت ۸٪ تهیه شده سپس با استفاده از دستگاه الکترورسی مونتاژ شده در دانشگاه صنعتی اصفهان، محلول حاصل در ولتاژ  $14 \text{ kV}$ ، سرعت تغذیه  $0.26 \text{ mL/h}$  و فاصله سوزن تا جمع‌کننده  $15 \text{ cm}$  ریسیده شد و وب میکروالیاف به دست آمد.

## عملیات گرمایی روی وب

برای افزایش مقاومت PVA در برابر حل شدن درون محیط‌های آبی، بخشی از وب تهیه شده با استفاده از گرم‌خانه مدل SHFD 55 AL محصول شرکت شیماز ایران در دمای  $155^\circ\text{C}$  به مدت  $3 \text{ min}$  گرما داده شد.

## آزمون پراش پرتو X

برای مقایسه تغییرات ایجاد شده در اثر عملیات گرمایی بر وب میکروالیاف، روی دو نمونه PVA معمولی (N-PVA) و در عملیات گرمایی قرار گرفته (HT-PVA)، آزمون پراش پرتو X (XRD) با دستگاه پراش پرتو X مدل X port محصول شرکت Philips هلند انجام شد.

## محاسبه تغییرات تبلور

تغییرات تبلور ایجاد شده بر اثر عملیات گرمایی روی وب میکروالیاف با استفاده از نرم افزار X'PertHighScore محاسبه و نتایج گزارش شد.

## تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)

شکل‌شناسی میکروالیاف مختلف مطابق جدول ۱، با میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) مدل XL 30، محصول شرکت Philips هلند مطالعه شد.

## اندازه‌گیری قطر میکروالیاف

قطر میکروالیاف مختلف با تصاویر میکروسکوپ الکترونی و نرم‌افزار Image J اندازه‌گیری شد. برای هر نمونه قطر  $20$  لیف اندازه‌گیری و نتایج به شکل انحراف استاندارد  $\pm$  میانگین گزارش شد.

## استخراج رنگینه‌ها و تهیه محلول رنگینه‌ها

استخراج رنگینه‌ها در این طرح با دستگاه سوکسله و حلال اتانول انجام گرفت [۲۲]. وزن برابر از هر سه رنگینه پوست انار، پوست گردو و گزنه و حجم برابر از حلال اتانول برای هر سه رنگینه درون سوکسله قرار داده شد (شکل ۱). استخراج در دمای جوش اتانول ( $78^\circ\text{C}$ ) به مدت  $45 \text{ min}$  انجام گرفت. محلول‌های به دست آمده برای هر سه رنگینه به دو حجم مساوی در دو ظرف جداگانه تقسیم شد. برای هر رنگینه درب یک ظرف باز گذاشته شد تا حلال اتانول کامل تبخیر شود. به مقدار حجم اتانول تبخیر شده، حلال آب به ظرف اضافه شد و در ظرف دیگر محلول رنگ طبیعی در اتانول دست نخورده باقی ماند. بدین ترتیب از هر یک از سه رنگینه دو محلول با غلظت‌های برابر در دو محیط اتانول و آب تهیه شد (شکل ۲).

## غوطه‌وری نمونه‌های میکروالیاف در محلول‌های رنگی

۹ نمونه وب میکروالیاف با ابعاد  $1/5 \times 5 \text{ cm}^2$  از نمونه‌های N-PVA و

جدول ۱- نمونه‌های تهیه شده برای تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی پویشی.

نمونه	عملیات انجام شده
N-PVA	-
HT-PVA	در عملیات گرمایی قرار گرفته شده
HT/W-PVA	در عملیات گرمایی قرار گرفته و غوطه‌ور شده در آب به مدت $45 \text{ min}$
N/E-PVA	معمولی غوطه‌ور شده درون اتانول به مدت $45 \text{ min}$
HT/E-PVA	در عملیات گرمایی قرار گرفته و غوطه‌ور شده در اتانول به مدت $45 \text{ min}$

جدول ۲- نمونه‌های تهیه شده در مرحله غوطه‌وری وب میکروالیاف در محلول رنگینه‌های مختلف.

ردیف	نمونه	رنگ	حلال
۱	HT-PVA	انار	آب
۲	HT-PVA	انار	اتانول
۳	N-PVA	انار	اتانول
۴	HT-PVA	گردو	آب
۵	HT-PVA	گردو	اتانول
۶	N-PVA	گردو	اتانول
۷	HT-PVA	گزنه	آب
۸	HT-PVA	گزنه	اتانول
۹	N-PVA	گزنه	اتانول

*Staphylococcus aureus* با استاندارد ATCC-25923 و *Pseudomonas aeruginosa* با استاندارد ATCC-27853 به شکل کشت ۱۸ ساعته تهیه و سپس چند کولنی از سویه‌های منتخب به لوله حاوی نرمال سالین استاندارد تلقیح شد تا کدورتی معادل ۰/۵ مک فارلند معادل  $1-2 \times 10^8$  cfu/mL به دست آید. سپس، از تلقیح به دست آمده روی محیط کشت مولار هیتون آگار مایه‌کوبی شد و نمونه‌هایی که به شکل دیسک‌های با قطر ۶ mm تهیه شده بودند، روی سطح آگار قرار داده شدند. پس از قراردادن محیط‌های کشت درون آنکوباتور به مدت ۲۴ h، هاله عدم رشد برای نمونه‌های مختلف با خط‌کش اندازه‌گیری شد.

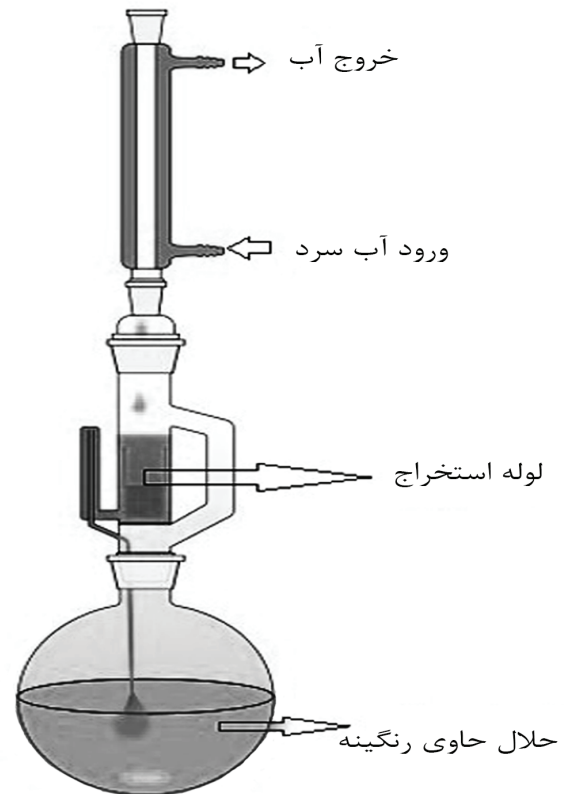
### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری با آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام و داده‌ها به شکل انحراف استاندارد  $\pm$  میانگین گزارش شد.

### نتایج و بحث

#### آزمون XRD

شکل ۳ الگوی به دست آمده از آزمون XRD را برای دو نمونه HT-PVA و N-PVA نشان می‌دهد. طبق نمودار به دست آمده برای هر دو نمونه یک پیک پهن در  $2\theta$  برابر  $20^\circ$  وجود دارد. برای نمونه HT-PVA شدت پیک بیشتر از نمونه N-PVA است که نشان‌دهنده

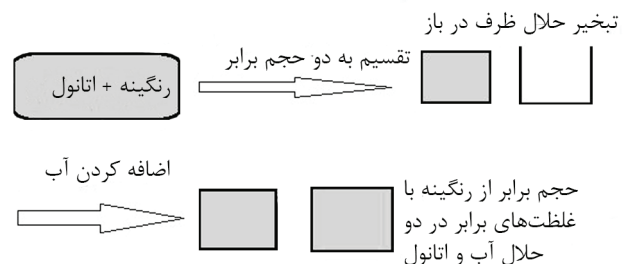


شکل ۱- نمای دستگاه سوکسله استفاده شده برای استخراج رنگینه‌ها.

HT-PVA تهیه شد. عملیات غوطه‌وری نمونه‌ها در محلول‌های رنگی به مدت ۴۵ min در دمای محیط ( $25^\circ\text{C}$ ) برای تمام نمونه‌ها طبق جدول ۲ انجام شد.

#### بررسی خواص ضدباکتری نمونه‌های مختلف وب میکروالیاف

برای بررسی خواص ضدباکتری وب‌های میکروالیاف غوطه‌ور شده در محلول رنگ‌های طبیعی، آزمون ضدباکتری روی نمونه‌های جدول ۲، به همراه نمونه N-PVA و HT-PVA، به روش نفوذ دیسک طبق استاندارد AATCC 100-199 انجام شد. ابتدا سویه‌های استاندارد



شکل ۲- مراحل تهیه محلول رنگینه در دو حلال اتانول و آب پس از استخراج.

میکروالیاف HT-PVA در دمای  $155^{\circ}\text{C}$  و به مدت 3 min نسبت به میکروالیاف N-PVA تغییری نکرده است (شکل ۴-الف و ب). اگرچه اندازه‌گیری قطر نشان‌دهنده کاهش قطر میکروالیاف HT-PVA ( $0.31 \pm 0.11 \mu\text{m}$ ) در مقایسه با قطر میکروالیاف N-PVA ( $0.26 \pm 0.37 \mu\text{m}$ ) است، اما تحلیل‌های آماری نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن این کاهش قطر است ( $P > 0.05$ ). Kang و همکاران نیز نشان دادند، شکل‌شناسی و میانگین قطر نانوالیاف PVA پس از انجام عملیات گرمایی در دمای  $110^{\circ}\text{C}$ – $190^{\circ}\text{C}$  به مدت 10 min تغییر خاصی نکرده است [30].

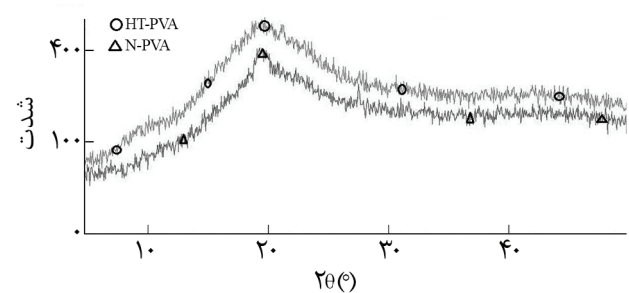
همچنین، نتایج حاصل از تصاویر به‌دست آمده از SEM نشان می‌دهد، شکل‌شناسی و قطر میکروالیاف N-PVA قرار داده شده در حمام حاوی اتانول به مدت 45 min در دمای محیط نسبت به میکروالیاف N-PVA تغییری نکرده است (شکل ۴-ج و جدول ۳) که دلیل این موضوع انحلال‌پذیری بسیار کم PVA در اتانول است [29]، در حالی که قراردادن وب میکروالیاف N-PVA در حمام حاوی آب در دمای محیط در مدت زمان بسیار کوتاه باعث حل شدن سریع آن در آب می‌شود. انجام عملیات گرمایی روی وب میکروالیاف PVA باعث افزایش مقاومت آن در برابر حل شدن در آب شد، به طوری که شکل‌شناسی نمونه HT-PVA پس از قرارگرفتن در حمام آب در دمای محیط به مدت 45 min، تغییرات بسیار کمی نسبت به شکل‌شناسی میکروالیاف N-PVA نشان می‌دهد (شکل ۴-د). نتایج اندازه‌گیری قطر نشان‌دهنده کاهش قطر میکروالیاف HT-PVA ( $0.44 \pm 0.26 \mu\text{m}$ )، پس از قرارگرفتن در حمام آب به مدت 45 min در دمای محیط نسبت به قطر میکروالیاف N-PVA ( $0.26 \pm 0.37 \mu\text{m}$ ) است. اگرچه تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد، این کاهش قطر نظر آماری معنی‌دار نیست ( $P > 0.05$ ) اما دلیل کاهش جزئی قطر را می‌توان به حل شدن اندک PVA در آب نسبت داد. این در حالی است که قراردادن وب میکروالیاف HT-PVA در حمام حاوی اتانول در دمای محیط به مدت 45 min در عین حفظ شکل‌شناسی وب میکروالیاف (شکل ۴-ه) موجب افزایش معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) قطر میکروالیاف PVA ( $0.54 \pm 0.33 \mu\text{m}$ ) می‌شود که می‌توان آن را به نفوذ حلال به داخل میکروالیاف و تورم میکروالیاف نسبت داد. همچنین قطر الیاف ظریف در اثر غوطه‌ور شدن در محلول‌های مختلف در مطالعات مختلف گذشته نیز عنوان شده است [38–42]. همچنین Tang و همکاران در مطالعات خود روی نانوالیاف PVA در تحلیل تصاویر SEM به‌دست آمده از نانوالیاف قرار گرفته در محیط آبی عنوان کردند، نانوالیاف متورم شده و قطر آنها افزایش یافت [43]. به‌طور کلی، نتایج حاصل از مطالعه شکل‌شناسی میکروالیاف

افزایش بلورینگی با انجام عملیات گرمایی روی وب میکروالیاف است. درصد تغییرات تبلور بر اثر عملیات گرمایی روی وب میکروالیاف PVA تهیه شده در این پژوهش، با نرم‌افزار X'PertHighScore، 23٪ محاسبه شد.

نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج پژوهش‌های انجام شده پیشین توسط Kang و همکاران مطابقت دارد. این پژوهشگران نیز در بررسی الگوهای XRD به‌دست آمده از نمونه‌های وب نانوالیاف PVA نشان دادند، بلورینگی نمونه وب نانوالیاف PVA تحت گرما قرار گرفته نسبت به نمونه عمل‌آوری نشده افزایش یافته و با افزایش دمای گرمای اعمال شده از  $110^{\circ}\text{C}$  به  $190^{\circ}\text{C}$ ، بلورینگی به مقدار بیشتری افزایش می‌یابد. همچنین این پژوهشگران عنوان کردند، تا دمای  $150^{\circ}\text{C}$  هیچ کاهش انحلال‌پذیری در PVA مشاهده نمی‌شود و در دمای بیش از  $155^{\circ}\text{C}$  کاهش انحلال‌پذیری پدیدار می‌شود. آنها دلیل این موضوع را عدم تغییر ساختار PVA در دمای کمتر از  $150^{\circ}\text{C}$  بیان کردند [30]. Hong و همکاران نیز در مطالعه‌ای به منظور تهیه وب نانوالیاف PVA، از عملیات گرمایی با شرایط  $155^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 min استفاده و گزارش کردند، وب نانوالیاف تهیه شده پس از عملیات گرمایی در آب نامحلول می‌شود [32].

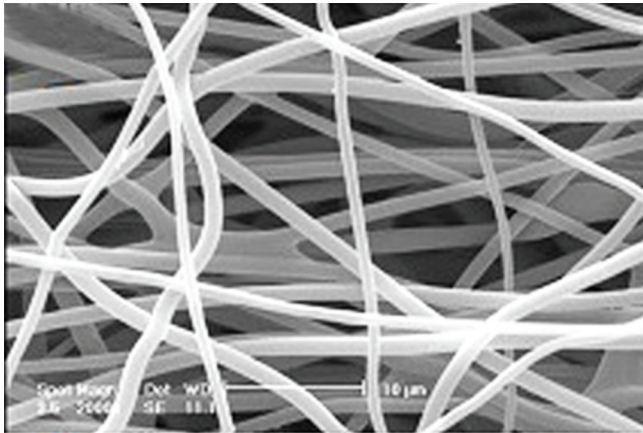
### بررسی شکل‌شناسی نمونه‌ها با تصاویر SEM

در فرایند الکترورسی استفاده از حلال با تنش سطحی کمتر باعث بهبود عملیات الکترورسی و تهیه الیاف صاف و بدون بید می‌شود [36–33]. Abdelmegeid و همکاران در مطالعه‌ای که با هدف تولید نانوالیاف با سطح صاف PVA انجام شد، از حلال آب و اتانول برای تهیه محلول استفاده کردند [37]. در این مطالعه، برای کاهش تنش سطحی محلول تهیه شده برای الکترورسی و بهبود فرایند الکترورسی از ترکیب آب و اتانول به نسبت 70 به 30 به‌عنوان حلال استفاده شد. شکل 4 و جدول 3 به ترتیب تصاویر و میانگین قطر میکروالیاف مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل 4 مشاهده می‌شود، شکل‌شناسی

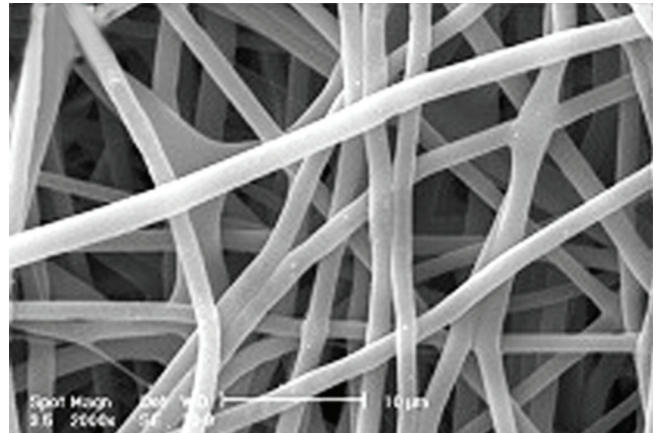


شکل ۳- الگوی XRD برای دو نمونه HT-PVA و N-PVA.

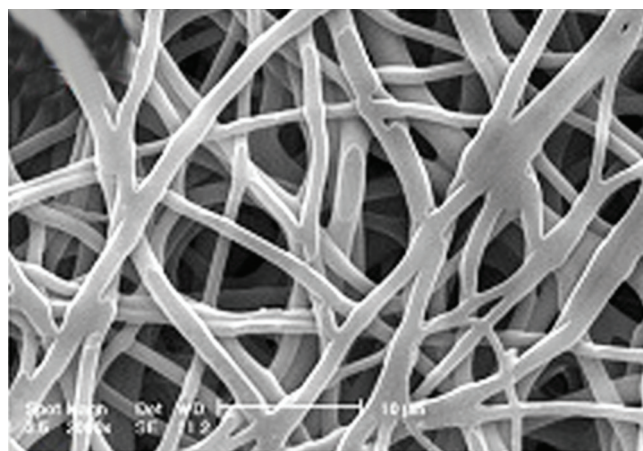




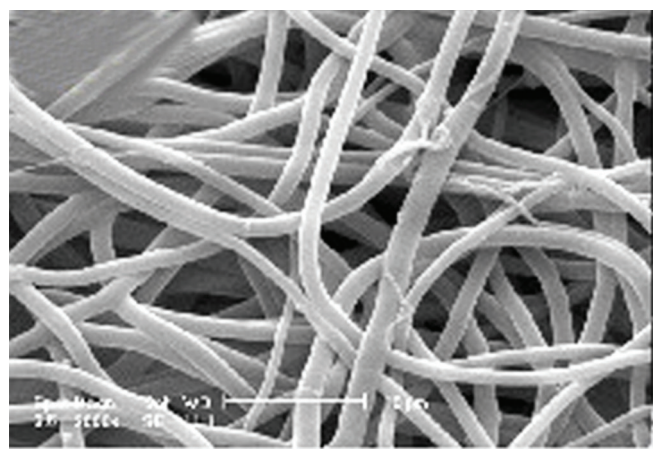
(ب)



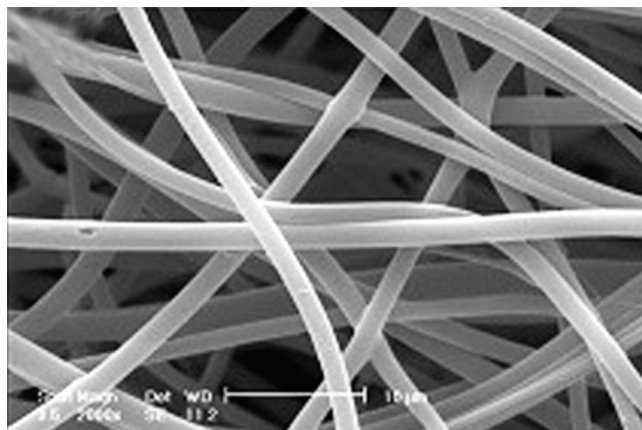
(الف)



(د)



(ج)



(ه)

شکل ۴- تصاویر به‌دست آمده برای وب میکروالیاف PVA مختلف مطابق با جدول ۱: (الف) نمونه N-PVA، (ب) نمونه HT-PVA، (ج) نمونه N/E-PVA، (د) نمونه HT/W-PVA و (ه) نمونه HT/E-PVA (بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰).

#### آزمون ضدباکتری

جدول ۴ نتایج آزمون ضدباکتری انجام شده روی نمونه وب‌های میکروالیاف PVA مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده

نشان‌دهنده افزایش پایداری و ثبات وب میکروالیاف PVA پس از انجام عملیات گرمایی است که علت این موضوع افزایش بلورینگی وب میکروالیاف PVA پس از انجام این عملیات است.

به‌کارگیری باکتری‌های مختلف باشد. این پژوهشگران از دو سویه باکتری گرم منفی *Salmonella* و *Escherichia coil* استفاده کردند. همچنین میرجلیلی و همکاران نشان دادند، پارچه‌های پلی‌آمیدی رنگ‌رزی شده با رنگ استخراج شده از پوست گردو در مجاورت دندان‌های مختلف و استیک اسید، دارای خواص ضدباکتری مناسبی روی سویه‌های باکتری منتخب گرم مثبت *Staphylococcus aureus* و گرم منفی *Escherichia coil* است [۲۲]. عملکرد مختلف رنگ‌های گزنه و پوست گردو بر کالاهای با جنس‌های متفاوت می‌تواند به دلیل تفاوت جنس کالا، به‌کارگیری سایر مواد از قبیل دندان‌ها به همراه رنگ یا انتخاب سویه‌های متفاوت از سویه‌های باکتری استفاده شده در انجام این پژوهش باشد.

با توجه به اطلاعات موجود در جدول ۴ مشخص است، نمونه‌های غوطه‌ور شده در حمام حاوی رنگینه استخراج شده از پوست انار، روی دو باکتری گرم مثبت (*Staphylococcus aureus*) و گرم منفی (*Pseudomonas aeruginosa*) مؤثر بوده و هاله عدم رشد در این نمونه‌ها مشاهده می‌شود. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، نمونه‌های نام‌برده در مواجهه با باکتری گرم منفی هاله عدم رشد بیشتری نسبت به باکتری گرم مثبت دارند. این موضوع نشان از حساسیت بیشتر *Pseudomonas aeruginosa* (باکتری گرم منفی) در مقایسه با *Staphylococcus aureus* (باکتری گرم مثبت) نسبت به نمونه‌های غوطه‌ور شده در محلول پوست انار دارد. همان‌طور که نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد، از بین سه نمونه‌ای که باکتری‌ها نسبت به آنها حساسیت

جدول ۳- میانگین قطر  $\pm$  انحراف معیار میکروالیاف PVA‌های مختلف.

شماره	نمونه	میانگین قطری ( $\mu\text{m}$ )
۱	N-PVA	$1/37 \pm 0/26$
۲	HT-PVA	$1/11 \pm 0/31$
۳	HT/W-PVA	$1/26 \pm 0/44$
۴	N/E-PVA	$1/34 \pm 0/34$
۵	HT/E-PVA	$1/54 \pm 0/33$

می‌شود، نمونه‌های N-PVA و HT-PVA هاله عدم رشدی روی باکتری‌ها نداشتند و این نشان از نبود خاصیت ضدباکتری وب میکروالیاف PVA در دو حالت معمولی و عملیات گرمایی قرار گرفته شده، روی سویه‌های باکتری‌های مدنظر دارد. ۹ نمونه دیگر به ترتیب در حمام‌های حاوی محلول رنگ‌های طبیعی استخراج شده از پوست انار، پوست گردو و گزنه غوطه‌ور شدند. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، نمونه‌های عمل‌آوری شده با محلول رنگ‌های استخراج شده از پوست گردو و گزنه، اثر ویژه‌ای روی هیچ کدام از دو باکتری ندارند. بنابراین دو رنگ مزبور خاصیت ضدباکتری خاصی روی نمونه وب میکروالیاف PVA ایجاد نکرده است. این در حالی است که پژوهش‌های پیشین انجام شده توسط حاج احمدی و همکاران نشان داد، کالای پشمی رنگ‌رزی شده با گزنه خواص ضدباکتری خوبی دارد [۱۸]. علت تفاوت نتایج می‌تواند ناشی از

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون ضدباکتری.

شماره	نمونه	رنگینه	هاله عدم رشد S* (mm)	هاله عدم رشد P** (mm)
۱	N-PVA	-	۰	۰
۲	HT-PVA	-	۰	۰
۳	HT/W-PVA	انار	۶	۱۱
۴	HT/E-PVA	انار	۲	۵
۵	N/E-PVA	انار	۳	۷
۶	HT/W-PVA	گردو	۰	۰
۷	HT/E-PVA	گردو	۰	۰
۸	N/E-PVA	گردو	۰	۰
۹	HT/W-PVA	گزنه	۰	۰
۱۰	HT/E-PVA	گزنه	۰	۰
۱۱	N/E-PVA	گزنه	۰	۰

\* *Staphylococcus aureus*, \*\* *Pseudomonas aeruginosa*



عملیات گرمایی قرار گرفته بلورینگی بیشتری نسبت به میکروالیاف PVA معمولی دارد. همچنین تصویربرداری SEM از نمونه‌ها نشان داد، شکل‌شناسی میکروالیاف PVA بر اثر قرارگرفتن در عملیات گرمایی تغییر خاصی نمی‌کند و تغییر قطر نیز از نظر آماری معنی‌دار نیست. برای ایجاد خواص ضدباکتری روی وب میکروالیاف PVA تولید شده، از رنگ‌های طبیعی استفاده شد. بدین منظور سه رنگ طبیعی پوست انار، پوست گردو و گزنه با دستگاه سوکسله و حلال اتانول استخراج و حلال نیمی از حجم هر رنگینه استخراج شده از اتانول به آب تغییر داده شد. سپس، نمونه‌های معمولی و در عملیات گرمایی قرار گرفته شده در محلول‌های آماده شده غوطه‌ور و آزمون ضدباکتری برای همه نمونه‌ها انجام شد. نتایج آزمون ضد باکتری نشان داد، همه نمونه‌های غوطه‌ور شده در محیط‌های حاوی رنگینه استخراج شده از پوست انار روی دو سویه گرم مثبت (*Staphylococcus aureus*) و گرم منفی (*Pseudomonas aeruginosa*) دارای هاله عدم رشد هستند و نمونه HT-PVA غوطه‌ور شده در محیط حاوی حلال آب بیشترین هاله عدم رشد را روی دو باکتری نشان داد. همچنین، نتایج حاصل از آزمون ضدباکتری مشخص کرد، نمونه‌های غوطه‌ور شده در محیط‌های حاوی رنگینه‌های استخراج شده از پوست گردو و گزنه، هاله عدم رشدی روی دو باکتری نداشته و بنابراین خواص ضدباکتری خاصی نشان ندادند. تصاویر SEM نشان داد، همه نمونه‌ها در اثر غوطه‌ور شدن در محیط‌های متفاوت، شکل‌شناسی مناسب خود را حفظ کرده‌اند.

## مراجع

1. Unnithan A.R., Barakat N.A.M., Pichiah P.B.T., Gnanasekaran G., Nirmala R., Cha Y.S., Jung C.H., Newehy M.E., and Kim H.Y., Wound-dressing Materials with Antibacterial Activity from Electrospun Polyurethane–Dextran Nanofiber Mats Containing Ciprofloxacin HCl, *Carbohydr. Polym.*, **90**, 1786-1793, 2012.
2. Unnithan A.R., Unnithan G., Sathishkumar Y., Lee Y.S., and Kim C.S., Electrospun Antibacterial Polyurethane–Cellulose Acetate Zeincomposite Mats for Wound Dressing, *Carbohydr. Polym.*, **102**, 884-892, 2014.
3. Zahedi P., Zahedi I., Siadat S.O.R., Jafari S.H., and Supaphol P., A Review on Wound Dressings with an Emphasis on Electrospun nanofibrous Polymeric Bandages, *Polym. Adv. Technol.*, **21**, 77-95, 2010.
4. Boa A.N., *Antibacterial and Antifungal Drugs*, University of Hull, England, 5-24, 2001.
5. Calamak S., Erdogdu C., Ozalp M., and Ulubayram K., Silk Fibroin Based Antibacterial Bionanotextiles as Wound Dressing Materials, *Mater. Sci. Eng.*, **43**, 11-20, 2014.
6. Shalumon K.T., Anulekha K.H., Nair S.V., Chennazhi K.P., and Jayakumar R., Sodium Alginate/Poly(vinyl alcohol)/NanoZnO Composite Nanofibers for Antibacterial Wound Dressings, *Int. J. Biol. Macromol.*, **49**, 247-254, 2011.
7. Xu F., Weng B., Gilkerson R., Materon L.A., and Lozano K., Development of Tannic Acid/Chitosan/Pullulan Composite Nanofibers from Aqueous Solution for Potential Application as Wound Dressing, *Carbohydr. Polym.*, **115**, 16-24, 2015.

نشان داده‌اند، نمونه غوطه‌ور شده در محیط آبی محلول‌های رنگی نسبت به دو نمونه غوطه‌ور شده در محیط رنگ حاوی حلال اتانول، دارای هاله عدم رشد بیشتری است که دلیل این موضوع می‌تواند به دلیل تمایل بیشتر رنگینه به وب میکروالیاف PVA در حلال آب و جذب بیشتر رنگینه به وب میکروالیاف در حلال آب، نسبت به حلال اتانول باشد.

هاله عدم رشد کمتر نمونه‌های HT-PVA نسبت به نمونه‌های N-PVA را می‌توان به افزایش بلورینگی در نمونه HT-PVA در اثر عملیات گرمایی و در نتیجه کاهش نفوذ رنگینه از محیط حلال به نمونه نسبت داد.

به‌طور کلی، نتایج حاصل از آزمون ضدباکتری نشان داد، وب میکروالیاف PVA در عملیات گرمایی قرار گرفته و غوطه‌ور شده در محلول آبی پوست انار بهترین خاصیت ضدباکتری را دارد.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، میکروالیاف PVA با فرایند الکترورسی تولید و برای افزایش مقاومت وب میکروالیاف PVA تولید شده در برابر حل شدن در محیط‌های آبی، از عملیات گرمایی استفاده شد. میکروالیاف تولید شده در اثر گرما ۱۵۵°C به مدت ۳ min در گرم‌خانه قرار گرفت و برای بررسی اثر عملیات گرمایی انجام شده بر ساختار میکروالیاف، آزمون XRD انجام شد. نتایج آزمون نشان داد، میکروالیاف در

8. Abdelgawad A.M., Hudson S.M., and Rojas O.J., Antimicrobial Wound Dressing Nanofiber Mats from Multicomponent (Chitosan/Silver-NPs/Polyvinyl Alcohol) Systems, *Carbohydr. Polym.*, **100**, 166-178, 2014.
9. Said J., Dodoo C.C., Walker M., Parsons D., and Stapleton P., An In Vitro Test of the Efficacy of Silver-containing Wound Dressings Against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* in Simulated Wound Fluid, *Int. J. Pharm.*, **462**, 123-128, 2014.
10. Mirjalili M. and Abbasipour M., Comparison Between Antibacterial Activity of some Natural Dyes and Silver Nanoparticles, *J. Nanostruct. Chem.*, **3**, 37-40, 2013.
11. Rigo C., Ferroni L., Tocco I., Roman M., Munivrana I., Gardin C., Cairns W.R.L., Vindigni V., Azzena B., Barbante C., and Zavan B., Active Silver Nanoparticles for Wound Healing, *Int. J. Mol. Sci.*, **14**, 4817-4840, 2013.
12. Shinde V.V., Jadhav P.R., and Patil P.S., Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles Impregnated Wound Dressing, *AIP Conf. Proc.*, **1536**, 1197-1198, 2013.
13. Uttayarat P., Jetawattana S., Suwanmala P., Eamsiri J., Tangthong T., and Pongpat S., Antimicrobial Electrospun Silk Fibroin Mats with Silver Nanoparticles for Wound Dressing Application, *Fiber. Polym.*, **13**, 999-1006, 2012.
14. Tran Q.H., Nguyen V.Q., and Le A.T., Silver Nanoparticles: Synthesis, Properties, Toxicology, Applications and Perspectives, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, **4**, 42-63, 2013.
15. Korbekandi H. and Iravani S., *Silver Nanoparticles*, InTech, Croatia, 4-35, 2012.
16. Chengaiah B., Rao K.M., Kumar K.M., Alagusundaram M., and Chetty C.M., Medicinal Importance of Natural Dyes a Review, *Int. J. Pharm. Tech. Res.*, **2**, 144-154, 2010.
17. Dorman H.J.D. and Deans S.G., Antimicrobial Agents from Plants: Antibacterial Activity of Plant Volatile Oil, *J. Appl. Microbiol.*, **88**, 308-316, 2000.
18. Hajahmadi S., Fadaei M., and Aghasafari S., Antimicrobial Finishing of Wool Fibers Treated with Natural Dyes Rhus Coriariya and Urtica Dioica, *8<sup>th</sup> Natl. Conf. Text. Eng.*, 2012.
19. Ghaheh F.S., Mortazavi S.M., Alihosseini F., Fassihi A., Nateri A.S., and Abedi D., Assessment of Antibacterial Activity of Wool Fabrics Dyed with Natural Dyes, *J. Clean. Prod.*, **72**, 139-145, 2014.
20. Balakumar C., Kalaivani J., and Sivakumar R., Dyeability and Antibacterial Properties of Cotton Fabrics Finished with Punica Granatum Extract, *J. Text. Appl. Tech. Mang.*, **7**, 1-12, 2011.
21. Mari S.R., Ranjit A.J.A., and Kalirajan K., Anti-microbial Activity of Turmeric Natural Dye Against Different Bacterial Strains, *J. Appl. Pharm. Sci.*, **6**, 210-212, 2012.
22. Mirjalili M. and Karimi L., Extraction and Characterization of Natural Dye from Green Walnut Shells and Its Use in Dyeing Polyamide: Focus on Antibacterial Properties, *J. Chem.*, **2013**, 1-10, 2013.
23. Xiao H.Q. and Shan Y.W., Filtration Properties of Electrospinning Nanofibers, *J. Appl. Polym. Sci.*, **102**, 1285-1290, 2006.
24. Sun K. and Li Z.H., Preparations, Properties and Applications of Chitosan Based Nanofibers Fabricated by Electrospinning, *Expr. Polym. Lett.*, **5**, 342-361, 2011.
25. Chellamani K.P., Sundaramoorthy P., and Sureshram T., Characterisation of Polyvinyl Alcohol (PVA)/Silver Nitrate Nanomembranes for Their Suitability in Wound Dressing Applications, *Int. J. Emrg. Adv. Eng.*, **2**, 176-185, 2012.
26. Maribel I.B., Steven P.W., Zvi S., and Barbara D.B., A Review of Polyvinyl Alcohol and It's Uses in Cartilage and Orthopedic Applications, *J. Biomed. Mater. Res.*, **3**, 11-17, 2012.
27. Syang P.R. and Cheng C.H., Electrospinning PVA Solution-Rheology and Morphology Analyses, *J. Fiber. Polym.*, **13**, 44-50, 2011.
28. Tarun K. and Gobi N., Calcium Alginate/PVA Blended Nanofiber Matrix for Wound Dressing, *Indian J. Fiber. Text.*, **37**, 127-132, 2012.
29. Edwin M., John R., and Yhors C., A Review of Polyvinyl Alcohol Derivatives: Promising Materials Materials for Pharmaceutical and Biomedical Applications, *Afr. J. Pharm. Pharmacol.*, **8**, 674-684, 2014.
30. Kang Y.O., Yoon I.S., Lee S.Y., Kim D.D., Lee S.J., Park W.H., and Hudson S.M., Chitosan-Coated Poly(vinyl alcohol) Nanofibers for Wound Dressings, *J. Biomed. Mater. Res.*, **17**, 43-52, 2009.
31. Chellamani K.P., Sundaramoorthy P., and Suresham T., Wound Dressing Made out of Polyvinyl Alcohol/Chitosan Nanomembranes, *J. Acad. Indus. Res.*, **1**, 342-347, 2012.
32. Hong K.H., Park J.L., Sul I.H., Youk J.H., and Kang T.J., Preparation of Antimicrobial Poly(vinyl alcohol) Nanofibers Containing Silver Nanoparticles, *J. Polymer. Sci.*, **44**, 2006.
33. Fong H., Chun I., and Reneker D.H., Beaded Nanofibers Formed during Electrospinning, *Polymer*, **40**, 4585-4592, 1999.
34. Li Z. and Wang C., *One-Dimensional Nanostructures*, Chapt. 3,

- Springer Briefs in Materials, 2013.
35. Fridrikh S.V., Yu J.H., Brenner M.P., and Rutledge G.C., Controlling the Fiber Diameter during Electrospinning, The American Physical Society, *Phys. Rev. Lett.*, **90**, 2003.
36. Thompson C.J., Chase G.G., Yarin A.L., and Reneker D.H., Effects of Parameters on Nanofiber Diameter Determined from Electrospinning Model, *Polymer*, **48**, 6913-6922, 2007.
37. Abdelmegeid M.A., Soliman M.Y., and Klinger A., Electrospun Nanofibers with Rough Surface, *J. Genet. Eng. Biotech.*, **8**, 29-32, 2010.
38. Hsin Y.L., Yu J.K., Shih H.C., and Tsung S.N., Characterization of Electrospun Nanofiber Matrices Made of Collagen Blends as Potential Skin Substitutes, *Biomed. Mater.*, **8**, 1-10, 2013.
39. Farah H.Z., Fathima S.J.H., Mohammad S.B.A.R., and Mashitah M.U., In Vitro Degradation Study of Novel HEC/PVA/Collagen Nanofibrous Scaffold for Skin Tissue Engineering Applications, *Polym. Degrad. Stabil.*, **110**, 473-481, 2014.
40. Qin L., Xianliu W., Xiangxin L., Huihua Y., Hongbin T., Biyun L., and Yanzhong Z., Genipin-crosslinked Electrospun Chitosan Nanofibers: Determination of Crosslinking Conditions and Evaluation of Cytocompatibility, *Carbohydr. Polym.*, **130**, 166-174, 2015.
41. Kai D., Prabhakaran M.P., Stahl B., Eblenkamp M., Wintermantel E., and Ramakrishna S., Mechanical Properties and *In Vitro* Behavior of Nanofiber-hydrogel Composites for Tissue Engineering Nanotechnology, *Nanotechnology*, **23**, 1-10, 2012.
42. Ishii D., Ying T.H., Mahara A., Murakami S., Yamaoka T., Lee W.K., and Iwata T., In Vivo Tissue Response and Degradation Behavior of PLLA and Stereocomplexed PLA Nanofibers, *Biomacromolecules*, **10**, 237-242, 2009.
43. Tang C., Saquing C.D., Harding J.R., and Khan S.A., In Situ Cross-Linking of Electrospun Poly(vinyl alcohol) Nanofibers, *Macromolecules*, **43**, 630-637, 2010.