



Synthesis and Characterization of Chitosan/Poly (Vinyl Alcohol) Polymer Nanofibers Containing Chicory Extract by Electrospun Method and Evaluation of Its Antibacterial Properties

Fateme Hedayati Tabari ¹, Habib Hamidinezhad ^{2*}, Mohammad Karimian ³, Ehsan Nazifi ⁴

¹ Ph. D. Student, Department of Solid State Physics, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Mazandaran, Iran

² Associate Professor, Department of Solid State Physics, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Mazandaran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Cell and Molecular Biology, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Mazandaran, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Plant Sciences, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Mazandaran, Iran

*Corresponding Author's Email: h.hamidinezhad@umz.ac.ir (H. Hamidinezhad)

Paper History:

Received: 2022-12-27

Revised in revised form: 2023-01-15

Scientific Accepted: 2023-01-29

Keywords:

Electrospinning,
Nanofibers,
Chitosan,
Chicory,
Antibacterial

Abstract The primary objective of the current research is to produce polymeric nanofibers of chitosan and polyvinyl alcohol containing chicory plant extract and then evaluate their antibacterial effects. As remarked by numerous published articles, the chicory plant proved to be able to modulate the activity and growth of bacteria. For this reason, chicory plant extract was added to the fiber precursor in the amounts of 1, 2, and 3 %. Finally, the morphology and antibacterial properties of the resultant nanofibers were investigated. The results from Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) confirmed the formation of uniform fibers whose diameters decreased from 144 nm to 95 nm with an increase in the amount of the extract in the sample. In addition, Energy Dispersive X-ray (EDX) and X-map analyses confirmed the presence of elements of carbon, oxygen, nitrogen, chlorine, potassium, sodium, and copper in the precursor of the fibers containing the extract and their uniform distribution. In this study, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) helped identify the functional groups and chemical bonds in the synthesized nanofibers. According to the Ultraviolet-Visible thermometry (UV-VIS) results, one emission in the ultraviolet region with the wavelength of 263 nm and two emissions in the ultraviolet and visible regions with the wavelengths of 263 nm and 372 nm were observed in the absorption spectrum of nanofibers without and with the extract, respectively. examination of the antibacterial properties in the present study confirmed that upon increasing the amount of the extract in the sample, the antibacterial effect of the electrospun nanofibers would be intensified in exposure to both *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*.



<https://doi.org/10.30501/jamt.2023.378386.1261>

URL: https://www.jamt.ir/article_166009.html

1. INTRODUCTION

Given the potential role of wound dressings, biocompatible and mostly biodegradable polymer nanofibrous dressings have attracted many researchers' attention with regard to the infection reduction and wound healing process acceleration [1, 2]. In the last decade, such dressings have gained a significant potential to locally transfer the antibiotics and antibacterial agents in the wound region in order to control the probable infections [3]. In this regard, with the unfortunate and destructive evolution of antibiotic-resistant bacteria, replacement of the antibiotic delivery systems with antibacterial nanofiber wound dressings has been widely studied in recent years [4, 5]. Followed by mentioning the nanofiber production methods and confirming the superiority of the electrospinning method in the present research, we took advantage of the mentioned potential of nanofibers and focused on the electrospinning of polymeric nanofibers of polyvinyl alcohol and chitosan 0.5, 1 and 2 %. In the following, the alcoholic extract of chicory root was added to the fiber precursor as an antibacterial agent derived from

nature at different rate of 1, 2, and 3 %. After that, the characteristics and morphology of the resulting nanofibers and their antibacterial properties will be discussed and evaluated in laboratory conditions.

2. MATERIALS AND METHODS

Chitosan solution was prepared by adding 0.2 grams of the aforementioned polymer powder in 10 ml of 2 % acetic acid for 24 hours at room temperature under the rotation of a magnetic stirrer. In addition, polyvinyl alcohol solution was prepared by dissolving 1.5 grams of this polymer powder in 21 ml of deionized water at 80 °C for three hours on a magnetic stirrer. Then, two solutions containing chitosan and polyvinyl alcohol within the ratio range of 20-80 were prepared for 18 hours at room temperature on a magnetic stirrer. Then the chicory plant root extract was added in different amounts of 1, 2, and 3 % to the chitosan/polyvinyl alcohol solution and finally, it was put under a magnetic stirrer for one hour at room temperature. The prepared solutions were electrospun at the voltage of 16 kV, flow rate of 0.1 ml/h, and distance of 12 cm (the distance

Please cite this article as: Hedayati Tabari, F., Hamidinezhad, H., Karimian, M., Nazifi, E., "Synthesis and characterization of chitosan/poly (vinyl alcohol) polymer nanofibers containing chicory extract by electrospun method and evaluation of its antibacterial properties", *Journal of Advanced Materials and Technologies (JAMT)*, Vol. 11, No. 4, (2023), 31-44. (<https://doi.org/10.30501/jamt.2023.378386.1261>).



between the tip of the needle and collecting plate). Then, the resulting fibers were collected from the collecting plate. Finally, the antibacterial properties of the synthetic materials were measured by disk diffusion method.

3. RESULTS AND DISCUSSION

According to Figure 1, FESEM images of nanofibers without and with the extract can be seen as continuous

and regular fibers. PVA/CS, PVA/CS/Ex 1 %, PVA/CS/Ex 2 %, and PVA/CS/Ex 3 % nanofibers have average diameters of 144, 127, 113, and 95 nm, respectively. Therefore, according to the results of the FESEM images, both samples without and with the extract consist of a continuous and almost uniform structure in the form of fibers. The obvious difference between the two samples is the smaller diameter of nanofibers based on the plant extract as an antibacterial agent compared to nanofibers without plant extract.

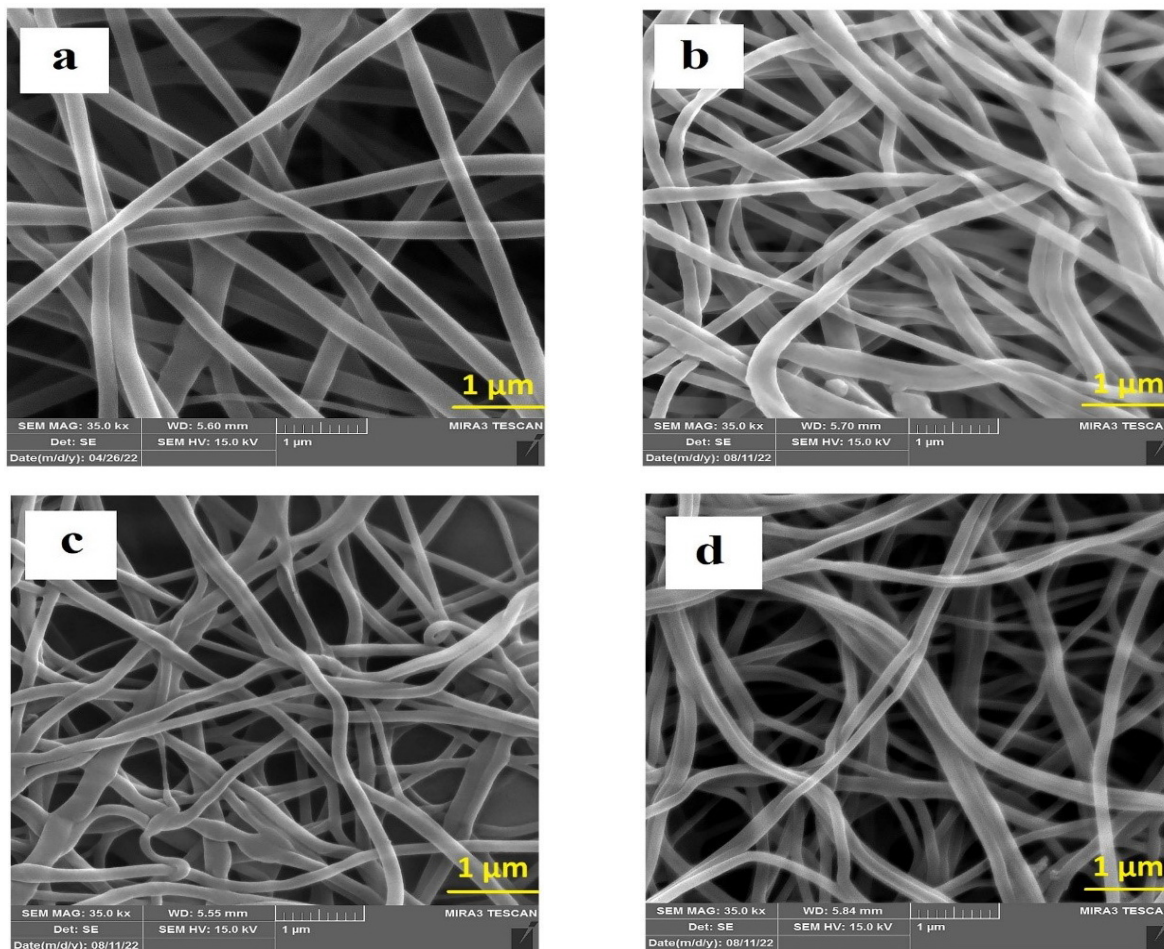


Figure 1. FESEM images of nanofibers, a) PVA/CS, b) PVA/CS/Ex 1 %, c) PVA/CS/Ex 2 % and d) PVA/CS/Ex 3 %

According to Figure 2, the antibacterial properties of the synthesized nanofibers with different amounts of extract at the same concentration of chitosan were evaluated and investigated against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria. Table 1 confirms that

upon increasing the extract amount in the nanofibers, their antibacterial property would also increase. Nanofiber containing PVA/CS/Ex 3% shows the maximum antibacterial effect against two studied bacteria.

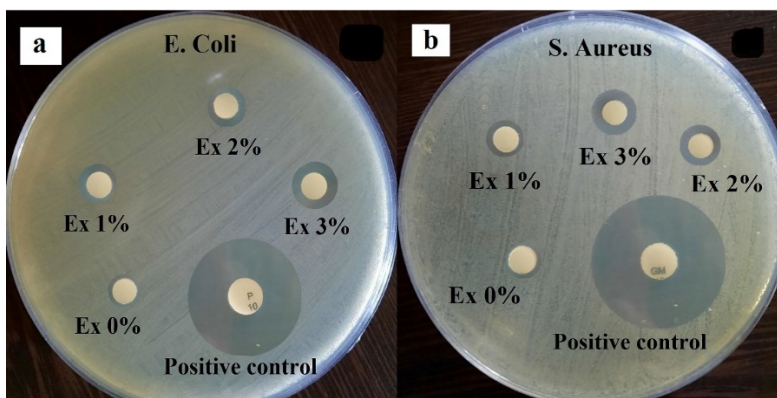


Figure 2. Images of the antibacterial properties of synthesized nanofibers containing 0, 1, 2 and 3 % extracts against two bacteria, a) *Escherichia coli* and b) *Staphylococcus aureus*

Table 1. The effect of the average diameter of the halo of non-growth of nanofibers against two bacteria Escherichia coli and Staphylococcus aureus

Bacteria	The average microbial inhibition halo diameter size (mm)			
	PVA/CS	PVA/CS/Ex 1 %	PVA/CS/Ex 2 %	PVA/CS/Ex 3 %
E. Coli	6.5	8	10	12
S. Aureus	7	9	10.5	13

4. CONCLUSION

According to the results from the FESEM analysis, both continuous and uniform fibers were formed in this study, and the diameter of the fibers decreased from 144 nm to 95 nm with an increase in the extract amount in the sample. Examination of the antibacterial property showed that the antibacterial property of the nanofibers also increased with an increase in the extract amount. In fact, all the synthesized chitosan/polyvinyl alcohol nanofibers with and without extract are more active against the studied gram positive bacteria.

5. ACKNOWLEDGEMENT

We are very grateful to University of Mazandaran for their support in the advancement of this research.

REFERENCES

1. Raziyeveva, K., Kim, Y., Zharkinbekov, Z., Kassymbek., K., Jimi, S., Saparov, A., "Immunology of acute and chronic wound healing", *Biomolecules*, Vol. 11, No. 5, (2021), 700. <https://doi.org/10.3390/biom11050700>
2. Tottoli, E. M., Dorati, R., Genta, I., Chiesa, E., Pisani, S., Conti, B., "Skin wound healing process and new emerging technologies for skin wound care and regeneration", *Pharmaceutics*, Vol. 12, No. 8, (2020), 735. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12080735>
3. Sweeney, I. R., Miraftab, M., Collyer, G., "A critical review of modern and emerging absorbent dressings used to treat exuding wounds", *International Wound Journal*, Vol. 9, No. 6, (2012), 601-612. <https://doi.org/10.1111/j.1742-481X.2011.00923.x>
4. Vijayakumar, V., Samal, S. K., Mohanty, S., Nayak, S. K., "Recent advancements in biopolymer and metal nanoparticle-based materials in diabetic wound healing management", *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 122, No. 1, (2019), 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.120>
5. Lim, C. T., "Nanofiber technology: Current status and emerging developments", *Progress in Polymer Science*, Vol. 70, (2017), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2017.03.002>



مقاله کامل پژوهشی

سنتز و مشخصه‌یابی نانوالیاف پلیمری کیتوزان/پلی‌وینیل‌الکل حاوی عصاره گیاه کاسنی به روش الکتروریسی و ارزیابی خواص ضدباکتریایی آن

فاطمه هدایتی طبری^۱، حبیب حمیدی‌نژاد^{۲*}، محمد کریمیان^۳، احسان نظیفی^۴

^۱دانشجوی دکتری، گروه فیزیک حالت جامد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، مازندران، ایران

^۲دانشیار، گروه فیزیک حالت جامد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، مازندران، ایران

^۳استادیار، گروه زیست‌شناسی سلولی و مولکولی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، مازندران، ایران

^۴استادیار، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، مازندران، ایران

تاریخچه مقاله:

ثبت اولیه: ۱۴۰۱/۱۰/۰۶

دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

پذیرش علمی: ۱۴۰۱/۱۱/۰۹

کلیدواژه‌ها:

الکتروریسی،
نانوالیاف،
کیتوزان،
کاسنی،
ضدباکتریایی

چکیده هدف از پژوهش حاضر ساخت نانوالیاف پلیمری کیتوزان و پلی‌وینیل‌الکل حاوی عصاره گیاه کاسنی به منظور ارزیابی خواص ضدباکتریایی آن است. گیاه کاسنی نیز توانایی خود را در تعدیل فعالیت و رشد باکتری‌ها با ارجاع به مقاله‌های متعدد منتشر شده آشکار می‌سازد. از این رو، عصاره گیاه کاسنی به میزان ۱، ۲ و ۳ درصد به پیش ماده الیاف افزوده شد. در نهایت، ریخت‌شناسی و خاصیت ضدباکتریایی نانوالیاف حاصل بررسی شد. نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FESEM) گویای تشکیل الیاف یکنواخت است که، با افزایش میزان عصاره در نمونه، قطر الیاف از ۱۴۴ نانومتر به ۹۵ نانومتر کاهش می‌یابد. در طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) و آنالیز X-map، عناصر کربن، اکسیژن، نیتروژن، کلر، پتاسیم، سدیم و مس موجود در پیش ماده الیاف حاوی عصاره و توزیع یکنواخت آن‌ها تأیید شدند. در طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR)، گروه‌های عاملی و پیوندهای شیمیایی موجود در نانولیف‌های سنتز شده شناسایی می‌شوند. طبق نتایج مبتنی بر طیف‌سنجی فرابنفش - مرئی (UV-VIS)، یک گسیل در ناحیه فرابنفش با طول موج ۲۶۳ نانومتر و دو گسیل در ناحیه فرابنفش و مرئی با طول موج‌های ۲۷۰ و ۳۷۲ نانومتر در طیف جذبی نانوالیاف به ترتیب فاقد و حاوی عصاره رؤیت شده است. بررسی خواص ضدباکتریایی در پژوهش حاضر مؤید آن است که، با افزایش میزان عصاره در نمونه، خاصیت ضدباکتریایی نانولیف‌های الکتروریسی شده علیه دو باکتری اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس افزایش می‌یابد.



<https://doi.org/10.30501/jamt.2023.378386.1261> URL: https://www.jamt.ir/article_166009.html

۱- مقدمه

عفونت میکروبی، نقش بسزایی در روند ترمیم و بهبود زخم دارد، پانسمان زخم نیز در مدیریت انواع خاصی از زخم‌ها نقش اصلی را ایفا می‌کند. به همین دلیل، امروزه، طراحی و تولید پانسمان‌های ضدباکتریایی کارآمد برای زخم‌ها موضوع بسیاری از تلاش‌های پژوهشی است [۳ و ۴]. با توجه به پیشرفت‌های گسترده در حوزه نانوفناوری و تولید نانو ساختارها، تهیه پانسمان زخم از نانوالیاف مزایای بسیار بیشتری از فرایندهای معمولی

با توجه به گزارش‌ها و بررسی‌های به عمل آمده در دهه گذشته، که حاکی از عوارض مهلک و جان‌سپردن بسیاری از انسان‌ها به دلیل عفونت و مقاومت باکتریایی است، پژوهشگران برای دستیابی به درمانی مؤثر و نیز تولید دارویی با مواد کارآمد به منظور مهار رشد باکتری‌های زخم بسیار تلاش کرده‌اند [۱ و ۲]. از آنجایی که مراقبت فوری از زخم‌ها، به منظور جلوگیری از

*عهده دار مکاتبات: حبیب حمیدی‌نژاد

نشانی: ایران، مازندران، بابلسر، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک حالت جامد، تلفن: ۰۱۱-۳۵۳۰۲۴۸۵، دورنگار: -

پیام‌نگار: h.hamidinezhad@umz.ac.ir

دارد [۵]. به همین دلیل، الکتروریسی^۱، به منزله مقرون به صرفه‌ترین و ساده‌ترین روش برای تهیه الیافی با قطرهایی از چند میکرومتر تا ده‌ها نانومتر، توانسته توجه بیشتر پژوهشگران را به خصوص از دهه گذشته تاکنون به سوی خود جلب کند [۶]. توجه پژوهشگران به این روش به دلیل ویژگی‌های جدید و منحصر به فردی است که با کاهش اندازه به مقیاس نانو همراه است. همچنین، در خصوص الیاف، مزایای بی‌شماری در زمینه‌های زیست‌پزشکی از جمله نسبت بالای سطح به حجم، انعطاف بالا، تخلخل قابل تنظیم، به کارگیری گسترده مواد و عملکرد مکانیکی بهبود یافته (کشش و سختی) دارد [۷ و ۸].

پژوهش حاضر از دو پلیمر کیتوزان^۲ (CS) و پلی‌وینیل‌الکل^۳ (PVA) به منظور سنتز الیاف بهره برده است. کیتوزان به منزله پلیمری طبیعی به دلیل خواص زیست‌سازگاری، ضدباکتریایی، ضدالتهابی، سمیت کم، ضدسرطانی، آنتی‌اکسیدانی و تجزیه زیستی‌اش توجه بسیاری از پژوهشگران را برانگیخته است [۹]. علاوه بر آن، مواد زیستی مبتنی بر کیتوزان، به دلیل خواص ضد میکروبی ذاتی و همچنین توانایی آن در رساندن مؤثر ترکیبات ضد میکروبی خارجی به منطقه آلوده، ابزار مهمی در زمینه‌های پژوهشی به شمار می‌رود. از این رو، کیتوزان، به منزله پانسمان بیولوژیکی، کاربردی گسترده دارد و متعاقباً از کم‌آبی و آلودگی زخم جلوگیری می‌کند و شرایط را بهبود می‌بخشد. علاوه بر آن، قادر است عملکرد سلول‌های التهابی را تعدیل کند [۱۰-۱۲]. البته، عامل فراوانی این پلیمر بعد از سلولز در میزان علاقه پژوهشگران به استفاده از آن بی‌تأثیر نبوده است؛ چراکه منابع گوناگونی از کیتوزان مانند پوست سخت‌پوستان، دیواره سلولی قارچ‌ها و جلبک‌ها، اسکلت بیرونی حشرات و غیره وجود دارند [۱۳]. با وجود ویژگی‌های ارزشمند کیتوزان، الکتروریسی پلیمر مذکور برای پژوهشگران، به دلیل ویسکوزیته بالا و حلالیت کم آن در محلول‌های آبی، مشکلاتی به همراه داشته است [۱۴]. باین‌حال، پژوهشگران، به منظور کاهش ویسکوزیته و کشش سطحی محلول‌های کیتوزان، از حلال‌هایی همچون اسید استیک بهره بردند و توانستند آن را الکتروریسی کنند [۱۵]. پلی‌وینیل‌الکل نیز پلیمری مصنوعی است که از

خصوصیات مهم آن می‌توان به زیست‌سازگاری، آب‌دوستی، غیرسمیت، توانایی نسبتاً بالا در تشکیل الیاف و قابلیت ترکیب با طیف گسترده‌ای از مواد طبیعی اشاره کرد [۱۶]. با وجود این، پلی‌وینیل‌الکل به سختی در محیط‌ها تخریب می‌شود [۱۷]. از طرفی، ترکیب پلیمرها روشی مؤثر و آسان برای بهبود عملکرد مواد پلیمری است. بدین طریق، با ترکیب دو پلیمر کیتوزان و پلی‌وینیل‌الکل، مشکل کیتوزان مبنی بر الکتروریسی ناموفق آن و مشکل پلی‌وینیل‌الکل مبنی بر تخریب پذیری سخت آن بهبود می‌یابد [۱۸]. از این رو، در خصوص نانوالیاف الکتروریسی شده کیتوزان همراه با پلی‌وینیل‌الکل در کاربردهای زیست‌پزشکی، مانند بخیه و پانسمان زخم، بسیار مطالعه و بررسی شده است [۱۹].

امروزه، با وجود مشکلات و عوارض ناخواسته آنتی‌بیوتیک‌های شیمیایی، گیاهان نیز، به منزله منابع ضد میکروبی و آنتی‌بیوتیک‌های طبیعی در جهان، محبوبیت بسیاری دارند. مقاله‌های علمی متعدد منتشر شده در خصوص فعالیت‌های ضد میکروبی گیاهان بر این موضوع تأکید و آن را تأیید می‌کنند. به همین دلیل، طب مدرن بیش از پیش پذیرای استفاده از داروهای ضد میکروبی و سایر داروهای مشتق شده از گیاهان است [۲۰ و ۲۱]. در این میان، گیاه کاسنی از این قاعده مستثنی نیست و تاکنون بررسی‌های متعددی درباره بخش‌های گوناگون این گیاه به منظور کشف قابلیت آن در درمان بسیاری از بیماری‌های عفونی به عمل آمده و همچنین در مقاله‌های علمی به دفعات خاصیت ضد میکروبی آن گزارش شده است [۲۲ و ۲۳]. گیاه کاسنی، با نام علمی *Cichorium intybus L.*، یک گیاه مهم دارویی از خانواده مرکبات^۴ است. این گیاه با گلبرگ‌های آبی کم‌رنگ، لبه‌های تیز و برگ‌های سبز و بلند به ارتفاع ۰/۵ تا ۱/۵ متر و در برخی موارد بیش از ۲ متر به صورت خودرو رشد می‌کند. همچنین، دارای ریشه قوی به طول ۰/۵ تا ۱ متر به رنگ قهوه‌ای و زرد است. این گیاه در مناطق نسبتاً مرطوب در اکثر مناطق آسیا، اروپا، شمال آفریقا و شمال آمریکا می‌روید [۲۴]. بررسی‌ها نشان می‌دهد گیاه کاسنی ضدالتهاب، آنتی‌اکسیدان، آرام‌بخش، کاهش چربی خون، ضد دیابت، ضد سرطان، ضد میکروب و غیره است [۲۵]. همچنین، فعالیت ضدقارچی

پژوهش حاضر از دو پلیمر کیتوزان^۲ (CS) و پلی‌وینیل‌الکل^۳ (PVA) به منظور سنتز الیاف بهره برده است. کیتوزان به منزله پلیمری طبیعی به دلیل خواص زیست‌سازگاری، ضدباکتریایی، ضدالتهابی، سمیت کم، ضدسرطانی، آنتی‌اکسیدانی و تجزیه زیستی‌اش توجه بسیاری از پژوهشگران را برانگیخته است [۹]. علاوه بر آن، مواد زیستی مبتنی بر کیتوزان، به دلیل خواص ضد میکروبی ذاتی و همچنین توانایی آن در رساندن مؤثر ترکیبات ضد میکروبی خارجی به منطقه آلوده، ابزار مهمی در زمینه‌های پژوهشی به شمار می‌رود. از این رو، کیتوزان، به منزله پانسمان بیولوژیکی، کاربردی گسترده دارد و متعاقباً از کم‌آبی و آلودگی زخم جلوگیری می‌کند و شرایط را بهبود می‌بخشد. علاوه بر آن، قادر است عملکرد سلول‌های التهابی را تعدیل کند [۱۰-۱۲]. البته، عامل فراوانی این پلیمر بعد از سلولز در میزان علاقه پژوهشگران به استفاده از آن بی‌تأثیر نبوده است؛ چراکه منابع گوناگونی از کیتوزان مانند پوست سخت‌پوستان، دیواره سلولی قارچ‌ها و جلبک‌ها، اسکلت بیرونی حشرات و غیره وجود دارند [۱۳]. با وجود ویژگی‌های ارزشمند کیتوزان، الکتروریسی پلیمر مذکور برای پژوهشگران، به دلیل ویسکوزیته بالا و حلالیت کم آن در محلول‌های آبی، مشکلاتی به همراه داشته است [۱۴]. باین‌حال، پژوهشگران، به منظور کاهش ویسکوزیته و کشش سطحی محلول‌های کیتوزان، از حلال‌هایی همچون اسید استیک بهره بردند و توانستند آن را الکتروریسی کنند [۱۵]. پلی‌وینیل‌الکل نیز پلیمری مصنوعی است که از

³ Poly (Vinyl Alcohol)⁴ Compositae¹ Electrospinning² Chitosan

رسیده‌اند که قطر الیاف با افزایش محتوای کیتوزان در مخلوط افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، نانوالیاف حاصل در آزمایش‌های کشت سلولی و خواص ضد میکروبی نتایج مثبت و کارآمدی را نشان دادند [۳۱]. در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۲۲، نانوالیاف پلیمری کیتوزان و پلی‌وینیل‌الکل، حاوی ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی عصاره الکلی ریشه گیاه کاسنی، سنتز شد. سپس، ریخت‌شناسی و خاصیت ضدباکتریایی آن مطالعه شد. این پژوهش نسبت بهینه ترکیب پلی‌وینیل‌الکل به کیتوزان را ۸۰ به ۲۰ در نظر گرفت. همچنین، بررسی خاصیت ضدباکتریایی بیانگر آن بود که نانولیف‌های حاوی ۰/۵ درصد عصاره دارای بیشترین خاصیت ضدباکتریایی علیه باکتری اشریشیاکلی است [۳۲].

لذا، با توجه به شیوع گسترده بیماری‌های ناشی از عفونت‌های باکتریایی و مقاومت آنتی‌بیوتیکی، هدف پژوهش حاضر بهره‌گیری از عامل ضدباکتریایی طبیعی و گیاهی به منظور کاهش آهنگ گسترش ناگوار و مخرب باکتری‌های مقاوم است. بدین منظور، در پژوهش حاضر نیز تلاش شده است نانوالیاف پلیمری کیتوزان و پلی‌وینیل‌الکل با امتزاج عصاره الکلی ریشه گیاه کاسنی به‌منزله عامل ضدباکتریایی برای پوشش زخم به روش الکترورسی تولید شود. سپس، ریخت‌شناسی و خصوصیات ضدباکتریایی نانوالیاف حاصل ارزیابی شد. با توجه به مطالب ذکرشده، انتظار می‌رود که ترکیب سه ماده فوق با اثر هم‌افزایی در برابر عفونت‌های میکروبی بتواند مسیر تولید نانو ساختاری مبتنی بر خاصیت ضدباکتریایی مؤثر را هموار سازد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مواد و دستگاه‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر، دو پلیمر کیتوزان با وزن مولکولی متوسط و پلی‌وینیل‌الکل با وزن مولکولی ۴۴ گرم بر مول از شرکت مرک^۲ آلمان تهیه شد. علاوه بر آن، از اسید استیک تولید شرکت دکتر مجلی و اتانول تولید شرکت هامون طب مرکزی استفاده شد. به منظور بررسی و مطالعه خواص ضدباکتریایی نانو ساختارهای سنتز شده، دو محیط کشت نوترینت آگار^۳ و

عصاره ریشه این گیاه نیز قبلاً گزارش شده است [۲۶]. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد ریشه و برگ این گیاه خاصیت ضدباکتریایی قوی دارد [۲۷]. در پژوهشی در سال ۲۰۱۹، فعالیت ضدباکتریایی عصاره متانولی برگ، ساقه و دانه گیاه کاسنی در غلظت‌های مختلف بر روی اغلب باکتری‌های جداشده از عفونت‌های انسانی بررسی شد. طبق نتایج این پژوهش، در عصاره‌های متانولی تمام غلظت‌های ساقه و بذر، هیچ اثر بازدارنده‌ای بر روی تمامی گونه‌های باکتریایی آزمایش‌شده یافت نشد. بیشترین فعالیت ضدباکتریایی با غلظت هزار میلی‌گرم در میلی‌لیتر عصاره متانولی برگ در برابر استافیلوکوکوس اورئوس و سودوموناس آئروژینوزا و کمترین فعالیت بازدارندگی را در این غلظت در برابر اشریشیاکلی نشان داد [۲۸]. طبق مقایسه و بررسی‌هایی که بزرگ^۱ و همکاران در سال ۲۰۲۲ انجام داده‌اند، می‌توان بیشترین فعالیت ضدباکتریایی عصاره گیاه کاسنی را در قطبی‌ترین حلال‌ها (مانند اتانول و متانول) و قطبیت متوسط (مانند اتیل‌استات و کلروفرم) مشاهده کرد. همچنین، میکروارگانسیم‌هایی که بیشترین حساسیت را به عمل گیاه و اجزای شیمیایی آن داشتند باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس، استرپتوکوک موتانس، سودوموناس آئروژینوزا، باسیلوس سوبتیلیس، استرپتوکوک سانگوئینیس و اکتینومیکوز بودند [۲۹].

به‌منظور سنتز نانولیف‌ها، در پژوهشی، مجموعه‌ای از محلول‌های پلیمری پلی‌وینیل‌الکل و کیتوزان با نسبت‌های مختلف وزنی الکترورسی شد. در نهایت، ریخت‌شناسی نانوالیاف حاصل تحت تأثیر نسبت وزنی محلول‌های پلیمری قرار گرفت. در واقع، هنگام افزایش محتوای کیتوزان در محلول، الیاف به‌سختی تشکیل شدند و، هنگامی که بیش از ۵۰ درصد محلول را کیتوزان تشکیل داد، الیافی حاصل نشد. این نتیجه به‌خوبی یادآور مشکل الکترورسی کیتوزان خواهد بود. همچنین، این پژوهش، به‌منظور یافتن الیافی یکنواخت و بدون دانه‌های پلیمری، نسبت بهینه پلی‌وینیل‌الکل به کیتوزان را ۸۰ به ۲۰ تعیین کرده است [۳۰]. در مطالعه‌ای دیگر، نانوالیاف کیتوزان و پلی‌وینیل‌الکل در غلظت‌ها و نسبت‌های مختلفی سنتز شدند. با بررسی ریخت‌شناسی نانولیف‌های سنتز شده، به این نتیجه

³ Nutrient Agar

¹ Bezerra et al.

² Merck

در دمای اتاق تحت چرخش همزن مغناطیسی تهیه شد. همچنین، محلول پلی‌وینیل‌الکل، با انحلال ۱/۵ گرم پودر این پلیمر در ۲۱ میلی‌لیتر آب مقطر، در دمای ۸۰ درجه سلسیوس، به مدت ۳ ساعت، بر روی همزن مغناطیسی تهیه شد. در ادامه، دو محلول کیتوزان و پلی‌وینیل‌الکل، با نسبت به ترتیب ۲۰ به ۸۰، به مدت ۱۸ ساعت، تحت دمای اتاق، بر روی همزن مغناطیسی تهیه شد. سپس، عصاره ریشه گیاه کاسنی در مقادیر مختلف ۱، ۲ و ۳ درصد حجمی به محلول کیتوزان/پلی‌وینیل‌الکل افزوده شد و در نهایت به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق تحت همزن مغناطیسی قرار گرفت.

۲-۴- فرایند الکترورسی

به منظور دستیابی به هدف این پژوهش، نخستین گام بعد از تهیه محلول‌های الکترورسی، به‌کارگیری دستگاه الکترورسی، چینش اجزا و بررسی عوامل مؤثر در آن به‌منظور تهیه نانوالیاف با خصوصیات مطلوب و دلخواه است. فرایند الکترورسی شامل کشیدگی محلول پلیمری منتقل شده به سرنگ به‌سوی صفحه جمع‌کننده به‌دلیل اعمال اختلاف پتانسیل میان نوک سوزن و صفحه جمع‌کننده است. لذا، به‌منظور برپایی این دستگاه به تجهیزاتی همچون منبع تغذیه، پمپ تزریق، صفحه جمع‌کننده و سرنگ نیاز است. پژوهش حاضر کوشیده است، با در نظر گرفتن پارامترهای الکترورسی، تولید الیافی هموار و یکنواخت را میسر سازد. بدین‌منظور، این دستگاه با بهره‌گیری از سرنگ ۵ میلی‌لیتری، ولتاژ ۱۶ کیلوولت، نرخ تغذیه ۰/۱ میلی‌لیتر بر ساعت و تنظیم فاصله نوک سوزن تا صفحه جمع‌کننده، به‌اندازه ۱۲ سانتی‌متر، ریسندگی الیاف را آغاز کرد. در انتها، الیاف سنتز شده روی صفحه جمع‌کننده جمع‌آوری شدند.

۲-۵- آماده‌سازی و کشت باکتریایی

در این پژوهش، میزان خاصیت ضدباکتریایی نانولیف‌های الکترورسی شده حاوی عصاره ریشه گیاه کاسنی به میزان ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد، به‌منظور عقیم‌سازی و بازدارندگی رشد دو باکتری

نوترینت برات^۱ از شرکت ایبرسکو، دو باکتری اش‌ریشیاکلی^۲ (E. Coli; ATCC 25922) و استافیلوکوکوس اورئوس^۳ (S. Aureus; ATCC 25923) از شرکت دارواش و دو دیسک آنتی‌بیوگرام پنی‌سیلین و جنتاماسین به‌منظور کنترل مثبت از شرکت پادتن طب خریداری شدند. همچنین، ریشه گیاه کاسنی نیز تهیه شد. دستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر برای مشخصه‌یابی شامل میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان^۴ (TESCAN MIRA III, Czech Republic) (FESEM)، طیف‌سنج پراش انرژی پرتو ایکس^۵ (EDX)، آنالیز X-Map، طیف‌سنج تبدیل فوری مادون قرمز^۶ (FT-IR) (Thermo AVATAR, U.S.A) و طیف‌سنج فرابنفش - مرئی^۷ (UV-Vis) (Mecasys optizen POP) هستند. لوازم آزمایشگاهی مورد استفاده شامل دستگاه الکترورسی، دستگاه روتاری تحت خلأ، ترازوی دیجیتالی، همزن مغناطیسی، اتوکلاو، هود میکروبی، انکوباتور و سمپلر است.

۲-۲- تهیه عصاره گیاهی

به‌منظور تهیه عصاره^۸ (Ex) الکی ریشه گیاه کاسنی، ابتدا ریشه خشک گیاه کاسنی آسیاب شد و سپس ظرف حاوی ۵۰ گرم پودر ریشه گیاه و ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد، به مدت ۲۴ ساعت، بر روی دستگاه همزن قرار گرفت. پس از طی ۲۴ ساعت، به‌منظور صاف کردن و جدا کردن ذرات جامد از عصاره، محتویات ظرف از دو لایه کاغذ صافی عبور داده و سپس سانتریفیوژ شدند. در ادامه، دستگاه روتاری تحت خلأ در دمای ۴۰ درجه سلسیوس، به‌منظور جداسازی حلال از عصاره و تغلیظ‌سازی آن، به کار گرفته شد. بدین‌گونه، عصاره اتانولی ریشه گیاه کاسنی در پژوهش حاضر تهیه شد. در نهایت، عصاره در یخچال و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد.

۲-۳- تهیه محلول‌های الکترورسی

محلول کیتوزان ۲ درصد با افزودن ۰/۲ گرم پودر پلیمر مذکور در ۱۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۲ درصد به مدت ۲۴ ساعت

^۶ X-Ray Map

^۷ Fourier-Transform Infrared Spectroscopy

^۸ Ultraviolet-Visible Spectrophotometry

^۹ Extract

^۱ Nutrient Broth

^۲ Escherichia coli

^۳ Staphylococcus aureus

^۴ Field Emission Scanning Electron Microscope

^۵ Energy Dispersive X-Ray

نمودارهای توزیع قطر، FTIR و UV-Vis از نرم‌افزار Origin استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج مطالعات میکروسکوپی

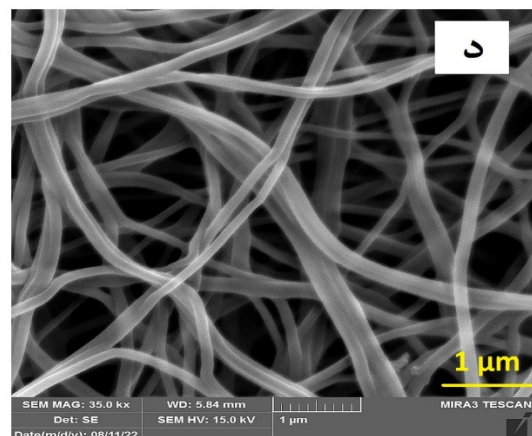
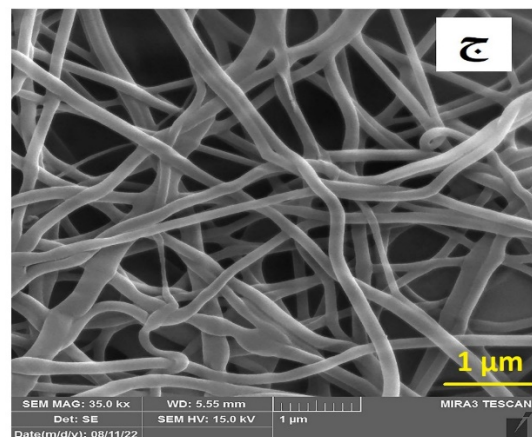
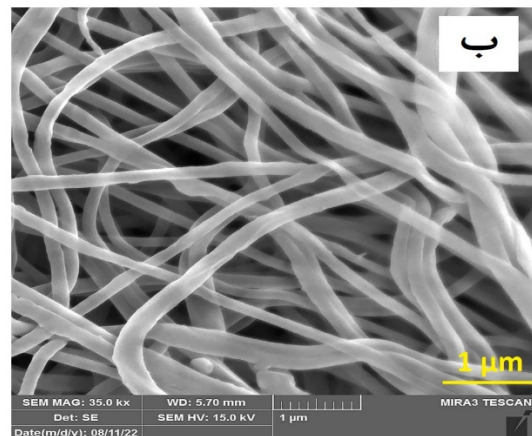
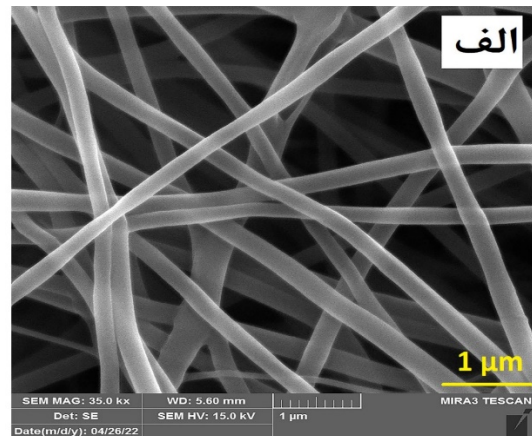
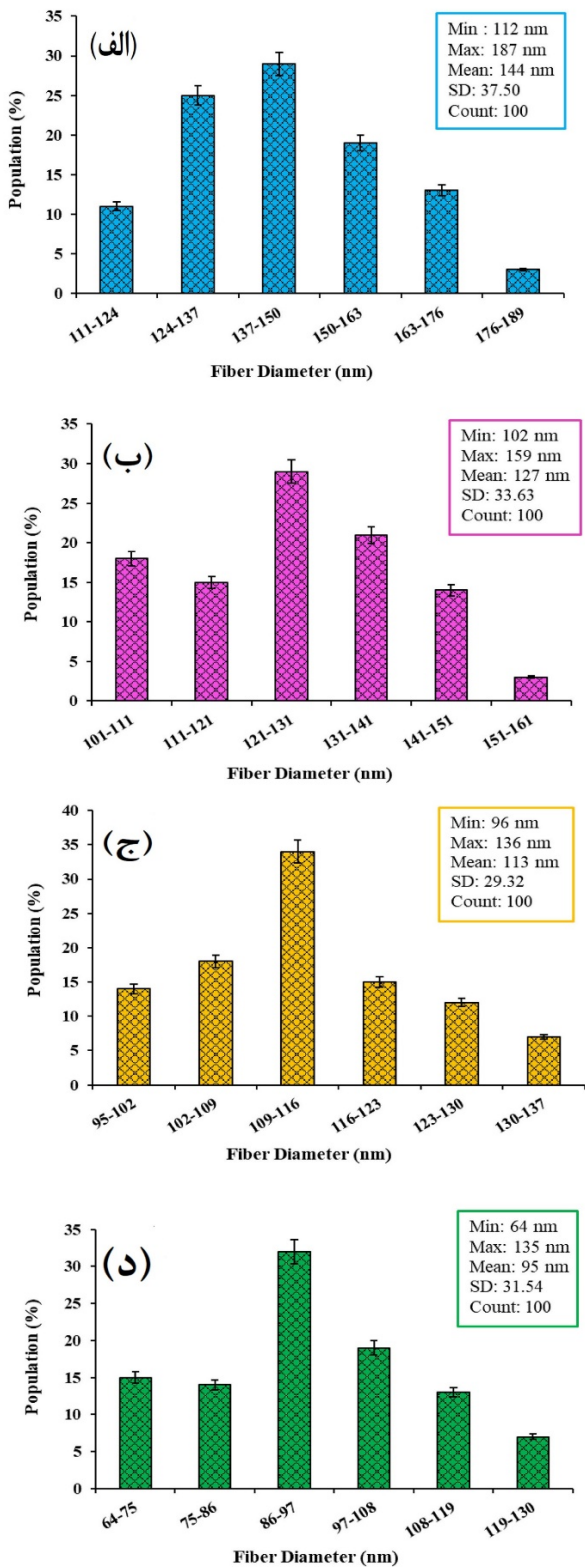
در پژوهش حاضر، از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FESEM) به‌منزله ابزاری توانمند در حیطه مطالعه و ارزیابی ریخت‌شناسی و ویژگی‌های نانوالیاف حاصل استفاده شد. با بهره‌گیری از آنالیز فوق، اطلاعات مفیدی درخصوص شکل و ساختار نانوالیاف در دسترس پژوهشگران قرار می‌گیرد. با توجه به شکل ۱-الف، تصویر FESEM نانوالیاف فاقد عصاره به‌صورت لیف‌هایی پیوسته و منظم قابل‌رؤیت است. همچنین، تصاویر FESEM مربوط به نانوالیاف حاوی عصاره گیاه، که به محلول پلیمری کیتوزان و پلی‌وینیل‌الکل افزوده شده‌اند، به‌منظور بررسی و مقایسه با نانوالیاف فاقد عصاره در شکل مذکور، قابل‌مشاهده است. علاوه بر آن، در شکل ۲، نمودارهای توزیع قطر نانولیف‌های سنتز شده نمایان است. طبق مطالعه و بررسی نمودارهای توزیع قطر، نانوالیاف PVA/CS/Ex 1 %، PVA/CS/Ex 2 % و PVA/CS/Ex 3 % به‌ترتیب دارای قطر میانگین ۱۴۴، ۱۲۷، ۱۱۳ و ۹۵ نانومتر هستند. با ارزیابی تصاویر حاضر و مطالعه نمودارهای ذیل، تشکیل نانوالیافی پیوسته و تقریباً یکنواخت اما همراه با کاهش قطر در مقایسه با نانوالیاف فاقد عصاره مشهود است. نتیجه حاصل را می‌توان با کاهش ویسکوزیته محلول و افزایش میزان عصاره توجیه کرد؛ چراکه، با کاهش ویسکوزیته محلول، لیاف ظریف‌تری حاصل می‌شود [۳۳]. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از تصاویر FESEM، هر دو نمونه حاوی و فاقد عصاره از ساختاری پیوسته و تقریباً یکنواخت به‌صورت لیف تشکیل شده‌اند. تفاوت بارز میان دو نمونه قطر کمتر نانوالیاف حاوی عصاره گیاه، به‌منزله عامل ضدباکتریایی، از نانوالیاف فاقد عصاره گیاه است.

در شکل ۲، نمودارهای توزیع قطر نانولیف‌های سنتز شده قابل‌رؤیت هستند. طبق شکل مذکور، کمترین و بیشترین قطر، میانگین قطر و همچنین میزان انحراف استاندارد برای نانولیف‌های حاوی عصاره به میزان ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد نمایان است.

بیماری‌زای اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس، به روش انتشار دیسک ارزیابی شد. بدین‌منظور، ابتدا دو محیط کشت نوترینت آگار و نوترینت برات مطابق با پروتکل‌های شرکت سازنده تهیه شدند. پس از آن، محیط کشت نوترینت آگار به پلیت‌های استریل منتقل شد و فرصت خنک‌شدن داده شد تا به شکل جامد درآید. در ادامه، پس از کشت باکتری‌ها و تهیه سوسپانسیون‌های دو باکتری مذکور در محیط کشت نوترینت برات، سوآپ استریل به سوسپانسیون‌های حاصل آغشته شد و سپس باکتری‌ها به‌صورت کاملاً یکنواخت بر روی محیط آگار در پلیت‌ها تلقیح شدند. پس از آن، نانولیف‌های الکترونیسی شده به‌صورت دایره‌هایی با قطر یکسان بر روی سطح محیط آگار آغشته به سوسپانسیون باکتری قرار گرفتند. همچنین، دیسک‌های آنتی‌بیوگرام جنتامایسین و پنی‌سیلین به‌منظور کنترل مثبت به کار گرفته شدند. سپس، پلیت‌های حاصل به‌مدت ۱۸ تا ۲۴ ساعت تحت دمای ۳۷ درجه سلسیوس انکوبه شدند و درنهایت قطر هاله عدم‌رشد باکتری اطراف نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

۲-۶- روش انجام آنالیزها

برای انجام دادن آنالیز FESEM، ابتدا به‌منظور جلوگیری از تجمع الکترونی، لایه‌نشانی بسیار نازکی از طلا بر روی سطح نانولیف‌ها به روش کندوپاش انجام شد. پس از مرحله لایه‌نشانی، نمونه برای تصویربرداری به داخل محفظه میکروسکوپ منتقل شد. همچنین، از آنالیزهای EDX و X-map، به‌منزله تجهیزات جانبی در میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان به‌ترتیب به‌منظور شناسایی، تعیین درصد عناصر موجود در نمونه و مطالعه نحوه توزیع و پراکندگی عناصر موجود استفاده شد. قطر نانوالیاف نیز توسط نرم‌افزار موجود در سامانه FESEM اندازه‌گیری شد. همچنین، نمودارهای EDX و نقشه‌های توزیع قطر X-map توسط نرم‌افزار موجود در سامانه به دست آمد. به‌منظور انجام دادن آنالیز FTIR، مقدار بسیار کمی از نانولیف‌های سنتز شده با KBr بسیار خالص، در یک هاون، پودر و یکنواخت شد. سپس، قرص نازکی از آن تحت فشار بسیار بالا میان دو قطعه فلزی صیقلی تهیه شد. درنهایت، قرص تهیه شده برای آنالیز در طیف‌سنج قرار داده شد. به‌منظور انجام دادن آنالیز UV-Vis، ابتدا محلولی از نمونه‌ها در آب دیونیزه تهیه و سپس به طیف‌سنج منتقل شد. برای رسم



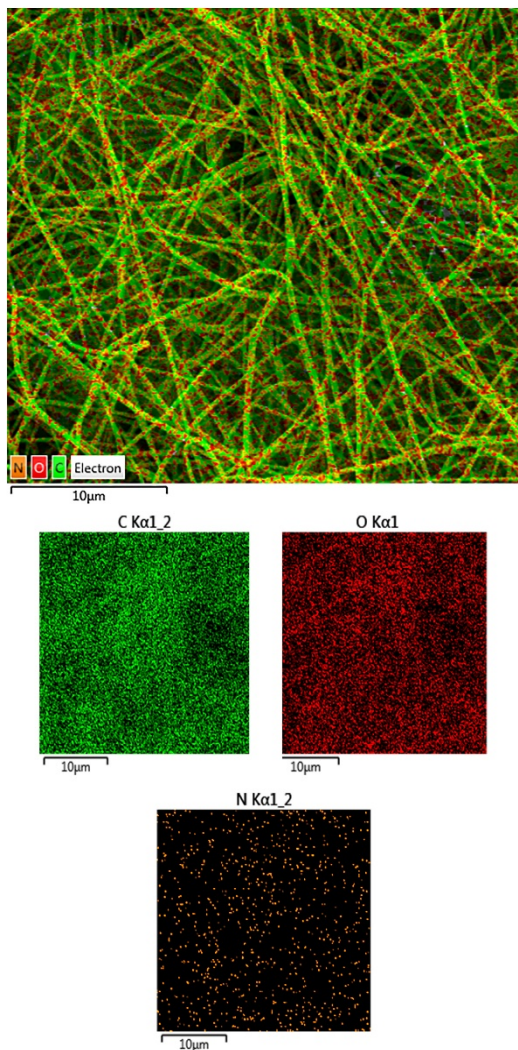
شکل ۱. تصاویر FESEM نانوالیاف الف) PVA/CS (ب)

ج) PVA/CS/Ex 1 %، د) PVA/CS/Ex 2 % و ۳) PVA/CS/Ex 3 %

شکل ۲. نمودار توزیع قطر نانوالیاف الف) PVA/CS (ب)

۱) PVA/CS/Ex 1 %، ج) PVA/CS/Ex 2 % و د) PVA/CS/Ex 3 %

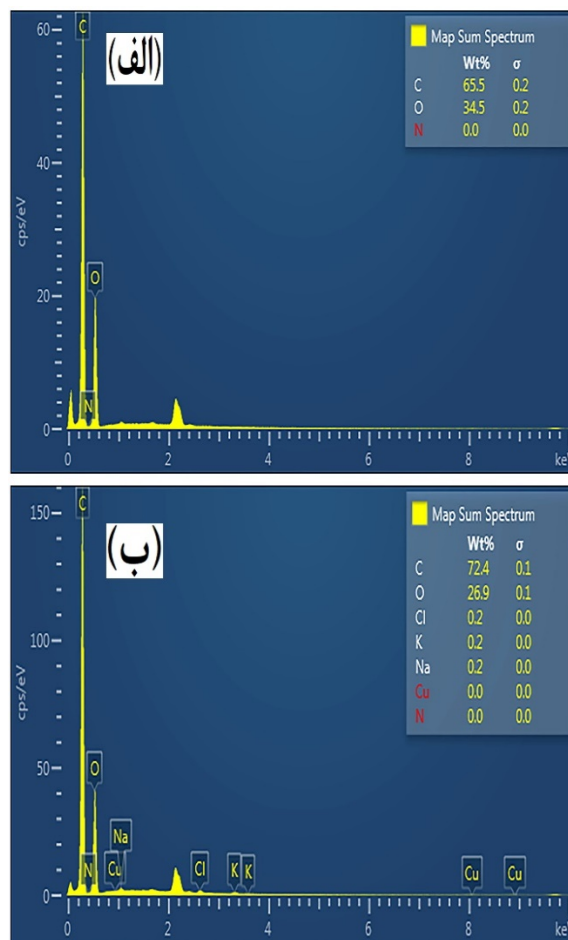
نانولیاف‌های سنتز شده با بهره‌گیری از طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX)، به منظور شناسایی و تعیین میزان عناصر موجود، بررسی و از نظر عناصرشان ارزیابی شدند. مطابق نتایج حاصل از آنالیز نام‌برده برای نمونه فاقد عصاره PVA/CS



شکل ۴. تصاویر X-map نانوالیاف PVA/CS حاوی عناصر کربن (سبز)، اکسیژن (قرمز) و نیتروژن (نارنجی)

۳-۲- نتایج حاصل از طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز از طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FT-IR) به‌منظور شناسایی و تعیین نوع پیوندهای موجود در عصاره خالص و نانولیف‌های حاوی و فاقد عصاره سنتز شده بهره برده شد. نتایج حاصل را در شکل ۶ می‌توان مشاهده کرد. با توجه به شکل مذکور، عصاره خالص دارای دو پیک در 3493 cm^{-1} و 2926 cm^{-1} است که به‌ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی O-H و C-H است. دو پیک در نواحی 1703 cm^{-1} و 1384 cm^{-1} نیز به‌ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی C=O و C-H₃ به چشم می‌خورد. علاوه بر آن، پیک آشکار محدوده 1044 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی C-O است. همچنین، پیک ناحیه 876 cm^{-1} مربوط به گروه C-C است [۳۶ و ۳۷]. در طیف FT-IR نانوالیاف PVA/CS، پیک بزرگی در ناحیه

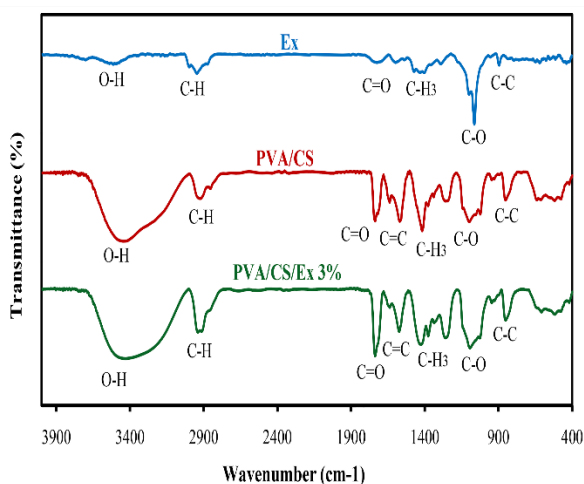
در شکل ۳-الف، حضور پیک‌های مرتبط به عناصر کربن، اکسیژن و نیتروژن رؤیت شد. همچنین، طبق شکل ۳-ب، در طیف‌های EDX، برای نمونه حاوی عصاره 3% PVA/CS/Ex، حضور پیک‌های مرتبط به عناصر کربن، اکسیژن، نیتروژن، کلر، پتاسیم، سدیم و مس مشهود است. بلندترین پیک متناسب به عنصر کربن حاکی از این است که حضور این عنصر بیشتر از سایر عناصر در نمونه‌هاست. نتایج مبتنی بر این آنالیز به‌خوبی می‌تواند صحت پژوهش حاضر درخصوص استفاده از مواد حاوی عناصر فوق به‌منظور سنتز الیاف را اثبات کند [۳۴ و ۳۵].



شکل ۳. طیف EDX حاصل از نانوالیاف الف) PVA/CS و ب) PVA/CS/Ex 3%

همچنین علاوه بر مشخص کردن میزان عناصر به‌کاررفته در نمونه، با بهره‌مندی از آنالیز X-map، نحوه پراکندگی و توزیع عناصر نام‌برده در نانولیف‌های الکترورسی شده بررسی شدند. مطابق شکل‌های ۴ و ۵، نتایج حاصل از این آنالیز، برای نمونه‌های حاوی PVA/CS و 3% PVA/CS/Ex، پراکندگی و توزیع نسبتاً منظم و یکنواختی از عناصر را به نمایش گذاشته‌اند.

طیف FT-IR. مربوط به نانوالیاف حاوی عصاره گیاهی، حاکی از تغییر ناچیزی در عدد موج و شدت پیک‌ها در مقایسه با طیف FT-IR نانولیف‌های فاقد عصاره است. نتایج حاصل از مطالعه طیف‌سنجی مذکور با تعیین نوع پیوندها مؤید آن است که حضور عصاره گیاهی در بستر پلیمری کیتوزان و پلی‌وینیل‌الکل به تغییری در پیک‌های مشخص دو پلیمر از جمله حذف یا حضور پیک جدید منجر نشده است. این پدیده گویای عدم شکل‌گیری واکنش بین پلیمر و عصاره گیاهی و همچنین عدم شکل‌گیری ترکیب جدید است.

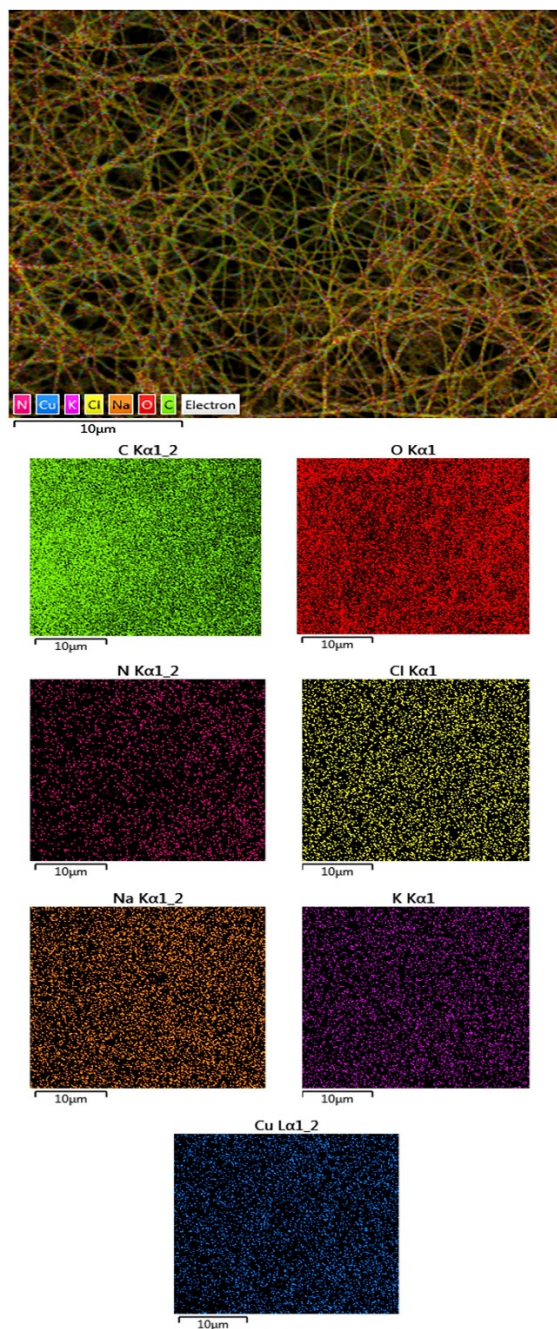


شکل ۶. طیف FT-IR مربوط به عصاره خالص، نانوالیاف PVA/CS و نانوالیاف PVA/CS/Ex 3 %

۳-۳- نتایج حاصل از طیف‌سنجی فرابنفش - مرئی

طیف‌های فرابنفش - مرئی را که به منظور ارزیابی خواص نوری عصاره و نانوالیاف الکترورسی شده به کار گرفته شدند می‌توان در شکل‌های ذیل مشاهده کرد. در شکل ۷-الف، دو گسیل در ناحیه فرابنفش و مرئی در طیف جذبی عصاره در طول موج‌های ۲۷۹ و ۳۱۶ نانومتر مشاهده می‌شوند. همچنین، در شکل ۷-ب، نانوالیاف فاقد عصاره PVA/CS حاوی گسیلی در محدوده فرابنفش با طول موج ۲۶۳ نانومتر، نانوالیاف PVA/CS/Ex 1 % دارای دو گسیل در ناحیه فرابنفش و مرئی با طول موج‌های ۲۷۰ و ۳۷۲ نانومتر، نانوالیاف PVA/CS/Ex 2 % دارای دو گسیل در ناحیه فرابنفش و مرئی با طول موج‌های ۲۷۲ و ۳۷۱ نانومتر و نانوالیاف PVA/CS/Ex 3 % نیز دارای دو گسیل در ناحیه فرابنفش و مرئی با طول موج‌های ۲۷۴ و ۳۷۰ مشاهده می‌شوند. بنابراین، طبق گزارش‌های حاصل از مطالعه نمودارهای

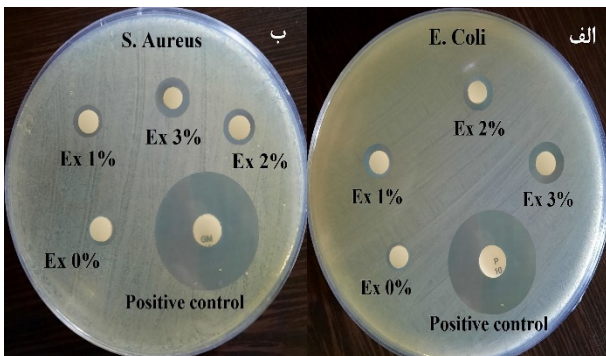
3447 cm^{-1} به چشم می‌خورد که مربوط به ارتعاشات کششی O-H است. دو پیک در نواحی 2923 cm^{-1} و 1736 cm^{-1} به ترتیب به دلیل برقراری پیوندهای کششی نامتقارن C-H و C=O است. همچنین، دو پیک در نواحی 1637 cm^{-1} و 1417 cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی و خمشی C=C و C-H₃ است. در انتها، دو پیک در نواحی 1098 cm^{-1} و 851 cm^{-1} به ترتیب مربوط به پیوندهای C-O و C-C ملاحظه می‌شود. [۳۸ و ۳۹].



شکل ۵. تصاویر X-map نانوالیاف PVA/CS/Ex 3 % حاوی عناصر کربن (سبز)، اکسیژن (قرمز) و نیتروژن (صورتی)، کلر (زرد)، سدیم (نارنجی)، پتاسیم (بنفش) و مس (آبی)

۳-۴- نتایج تست ضدباکتریایی

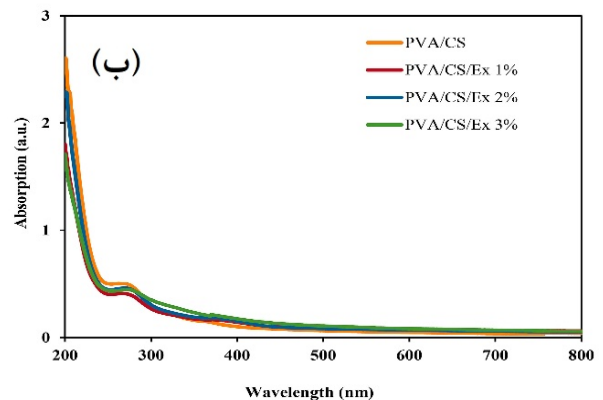
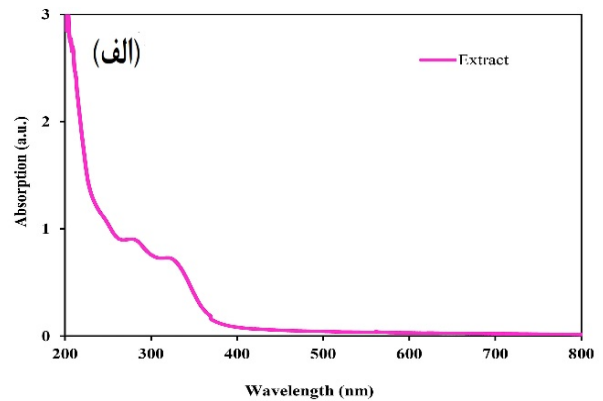
با توجه به روش ارائه‌شده، خاصیت ضدباکتریایی نانولیف‌های سنتز شده با میزان عصاره متفاوت در غلظت یکسان کیتوزان، علیه دو باکتری اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس مطابق شکل ۸ ارزیابی و بررسی شدند. جدول ۱ بیانگر آن است که، علاوه بر اثر ضدباکتریایی نانولیف فاقد عصاره (به دلیل حضور کیتوزان در نمونه)، با افزایش میزان عصاره در نانولیف، خاصیت ضدباکتریایی آن نیز افزایش می‌یابد. نانولیف حاوی ۳٪ PVA/CS/Ex دارای بیشترین اثر ضدباکتریایی علیه باکتری استافیلوکوکوس اورئوس با قطر ۱۳ میلی‌متر است. همچنین، بررسی‌های انجام‌شده مؤید آن است که تأثیر نانولیف‌ها در برابر باکتری گرم منفی اشریشیاکلی کمتر از باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس مورد مطالعه است.



شکل ۸. تصاویر سنجش خاصیت ضدباکتریایی نانولیف‌های

سنتز شده حاوی عصاره به میزان ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد علیه دو باکتری (الف) اشریشیاکلی و (ب) استافیلوکوکوس اورئوس

فوق، می‌توان این چنین اظهار داشت که، با افزودن عصاره به نانولیف PVA/CS، گسیلی در ناحیه مرئی ظاهر می‌شود و هرچه میزان عصاره افزایش یابد، ادغام دو پیک عصاره و نانولیف فاقد عصاره در ناحیه فرابنفش، جابه‌جایی و نزدیکی پیک‌ها به پیک‌های طیف جذبی عصاره نیز بیشتر می‌شود.



شکل ۷. طیف فرابنفش - مرئی مربوط به (الف) عصاره خالص و (ب) نانولیف‌های سنتز شده

جدول ۱. اثر میانگین قطر هاله عدم رشد نانولیف‌ها علیه دو باکتری اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس

میانگین قطر هاله عدم رشد (میلی‌متر)				باکتری
PVA/CS/Ex 3 %	PVA/CS/Ex 2 %	PVA/CS/Ex 1 %	PVA/CS	
۱۲	۱۰	۸	۶/۵	اشریشیاکلی
۱۳	۱۰/۵	۹	۷	استافیلوکوکوس اورئوس

کیتوزان پرداخته شد. علاوه بر آن، فعالیت ضدباکتریایی عصاره ریشه گیاه کاسنی بسیار بحث‌برانگیز است و بسیاری از مطالعات به نتایج متناقضی دست یافته‌اند. در پژوهش حاضر، برای مطالعه بیشتر خاصیت ضدباکتریایی ریشه گیاه کاسنی، از آن به منزله عامل ضدباکتریایی طبیعی بهره برده شده است. بنابراین، عصاره الکلی ریشه گیاه کاسنی به میزان ۱، ۲، و ۳ درصد حجمی به

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به شیوع بیماری‌های ناشی از عفونت‌های باکتریایی، افزایش غیرمنتظره نرخ مقاومت میکروبی و همچنین نقش و اهمیت پانسمان زخم، در پژوهش حاضر، برای ادغام خواص فیزیکی ساختار نانولیف، خواص شیمیایی و ضدباکتریایی گیاهان، به ساخت نانولیف پلی‌وینیل‌الکل و

- inflammatory activities", *International Journal of Polymer Science*, Vol. 2018, (2018), 1708172. <https://doi.org/10.1155/2018/1708172>
10. Matica, M. A., Aachmann, F. L., Tøndervik, A., Sletta, H., Ostafe, V., "Chitosan as a wound dressing starting material: Antimicrobial properties and mode of action", *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 20, No. 23, (2019), 5889. <https://doi.org/10.3390/ijms20235889>
 11. Ardila, N., Daigle, F., Heuzy, M. C., Aji, A., "Antibacterial activity of neat chitosan powder and flakes", *Molecules*, Vol. 22, No. 1, (2017), 100. <https://doi.org/10.3390/molecules22010100>
 12. Cui, C., Sun, S., Wu, S., Chen, S., Ma, J., Zhou, F., "Electrospun chitosan nanofibers for wound healing application", *Engineered Regeneration*, Vol. 2, (2021), 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2021.08.001>
 13. Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G., Crini, G., "Fundamentals and applications of chitosan", *Sustainable Agriculture Reviews*, Vol. 35, (2019), 49-123. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16538-3_2
 14. Jin, E., Wu, M., Wang, S., Qiao, Z., Li, M., Linghu, W., "Preparation and application performance of graft-quaternization double modified chitosan electrospun antibacterial nanofibers", *Materials Today Communications*, Vol. 31, (2022), 103712. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103712>
 15. Elsabee, M. Z., Naguib, H. F., Morsi, R. E., "Chitosan based nanofibers, review", *Materials Science and Engineering*, Vol. 32, No. 7, (2012), 1711-1726. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2012.05.009>
 16. Tang, X., Alavi, S., "Recent advances in starch, polyvinyl alcohol based polymer blends, nanocomposites and their biodegradability", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 85, No. 1, (2011), 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.01.030>
 17. Zhang, D., Zhou, W., Wei, B., Wang, X., Tang, R., Nie, J., Wang, J., "Carboxyl-modified poly (vinyl alcohol)-crosslinked chitosan hydrogel films for potential wound dressing", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 125, No. 10, (2015), 189-199. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.034>
 18. Jia, Y. T., Gong, J., Gu, X. H., Kim, H. Y., Dong, J., Shen, X. Y., "Fabrication and characterization of poly (vinyl alcohol)/chitosan blend nanofibers produced by electrospinning method", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 67, No. 3, (2007), 403-409. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.010>
 19. Rafique, A., Zia, K. M., Zuber, M., Tabasum, Sh., Rehman, S., "Chitosan functionalized poly (vinyl alcohol) for prospects biomedical and industrial applications: A review", *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 87, (2016), 141-154. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.02.035>
 20. Kaur, R., Kanotra, M., Sood, A., Abdellatif, A. A. H., Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Aleya, L., Vargas-De-La-Cruz, C., Behl, T., "Emergence of nutriments as a nascent complementary therapy against antimicrobial resistance", *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 29, No. 33, (2022), 49568-49582. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20775-0>
 21. Ahmed, W., Azmant, R., Chendouh-Brahmi, N., Ahmed, R., Naz, S., Qayyum, A., Askary, A. E., Gharib, A. F., Alrehaili, A. A., Ali, N., "Natural and commercial antibiotic comparison with drugs modeling cell integrity cell stability of bio-kinetics changes under morphological topographies", *Saudi Journal of Biological Sciences*, Vol. 29, No. 8, (2022), 103351. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103351>
 22. Mohamed, A. E., Shetta, A., Kegere, J., Mamdouh, W., "Antibacterial and antioxidant properties of Cichorium intybus extract embedded in chitosan nanocomposite nanofibers", *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 215, (2022), 387-397. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.088>
 23. Gharari, Z., Hanachi, P., Sadeghinia, H., Walker, T. R., "Cichorium intybus bio-callus synthesized silver nanoparticles: A promising antioxidant, antibacterial and anticancer compound", *International Journal of Pharmaceutics*, Vol. 625, (2022), 122062. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2022.122062>
 24. Wang, Q., Cui, J., "Perspectives and utilization technologies of chicory (Cichorium intybus L.): A review" *African Journal of Biotechnology*, Vol. 10, No. 11, (2011), 1966-1977. <https://doi.org/10.5897/AJB10.587>
 25. Perovića, J., Šaponjaca, V. T., Kojićb, J., Kruljb, J., Morenoc, D. A., Viguerac, C. G., Solarovb, M. B., Ilićb, N., "Chicory
- پیش‌ماده الیاف افزوده شد. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز FESEM، الیاف پیوسته و یکنواختی تشکیل شده که، با افزایش میزان عصاره در نمونه، قطر الیاف از ۱۴۴ نانومتر به ۹۵ نانومتر کاهش می‌یابد. همچنین، دو آنالیز EDX و X-map حضور و پراکندگی یکنواخت عناصر پیش‌ماده الیاف حاوی و فاقد عصاره را تأیید کرده‌اند. بررسی خاصیت ضدباکتریایی نشان داد که، با افزایش میزان عصاره، خاصیت ضدباکتریایی نانولیف‌ها نیز افزایش می‌یابد. در این پژوهش، نانولیف ۳٪ PVA/CS/Ex، با میانگین قطر هاله عدم‌رشد ۱۲ و ۱۳ میلی‌متر به ترتیب علیه دو باکتری اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس، دارای بیشترین خاصیت ضدباکتریایی علیه دو باکتری مذکور است. در واقع، تمام نانولیف‌های سنتز شده کیتوزان/پلی‌وینیل‌الکل حاوی و فاقد عصاره عملکرد بیشتری از باکتری گرم مثبت مورد مطالعه دارند.
- ### ۵- سپاسگزاری
- از دانشگاه مازندران برای حمایت از پژوهش حاضر و کمک به پیشبرد آن بسیار سپاسگزاریم.
- ### مراجع
1. Raziyeveva, K., Kim, Y., Zharkinbekov, Z., Kassymbek., K., Jimi, S., Saporov, A., "Immunology of acute and chronic wound healing", *Biomolecules*, Vol. 11, No. 5, (2021), 700. <https://doi.org/10.3390/biom11050700>
 2. Tottoli, E. M., Dorati, R., Genta, I., Chiesa, E., Pisani, S., Conti, B., "Skin wound healing process and new emerging technologies for skin wound care and regeneration", *Pharmaceutics*, Vol. 12, No. 8, (2020), 735. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12080735>
 3. Sweeney, I. R., Mirafitab, M., Collyer, G., "A critical review of modern and emerging absorbent dressings used to treat exuding wounds", *International Wound Journal*, Vol. 9, No. 6, (2012), 601-612. <https://doi.org/10.1111/j.1742-481X.2011.00923.x>
 4. Vijayakumar, V., Samal, S. K., Mohanty, S., Nayak, S. K., "Recent advancements in biopolymer and metal nanoparticle-based materials in diabetic wound healing management", *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 122, No. 1, (2019), 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.120>
 5. Lim, C. T., "Nanofiber technology: Current status and emerging developments", *Progress in Polymer Science*, Vol. 70, (2017), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2017.03.002>
 6. Liu, X., Xu, H., Zhang, M., Yu, D. G., "Electrospun medicated nanofibers for wound healing", *Membranes*, Vol. 11, No. 10, (2021), 770. <https://doi.org/10.3390/membranes11100770>
 7. Nersisyan, H. H., Lee, J. H., Ding, J. R., Kim, K. S., Manukyan, K. V., Mukasyan, A. S., "Combustion synthesis of zero-, one-, two- and three-dimensional nanostructures: current trends and future perspectives", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 63, (2017), 79-118. <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2017.07.002>
 8. Rasouli, R., Barhoum, A., Bechelany, M., Dufresne, A., "Nanofibers for biomedical and healthcare applications", *Macromolecular Bioscience*, Vol. 19, No. 2, (2019), 1800256. <https://doi.org/10.1002/mabi.201800256>
 9. Kim, S., "Competitive biological activities of chitosan and its derivatives: Antimicrobial, antioxidant, anticancer, and anti-

- International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 215, (2022), 387-397. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.088>
33. Neo, Y. P., Ray, S., Easteal, A. J., Nikolaidis, M. G., Quek, S. Y., "Influence of solution and processing parameters towards the fabrication of electrospun zein fibers with sub-micron diameter", *Journal of Food Engineering*, Vol. 109, No. 4, (2012), 645-651. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.11.032>
 34. Haq, A. U., Abrar, M., Iqbal, T., Khan, M. N., Shafique, M., "Qualitative and quantitative discrimination of major elements in chitosan (natural polymer) using laser induced breakdown spectroscopy", *Optics & Laser Technology*, Vol. 154, (2022), 108222. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108222>
 35. Zarroug, Y., Abdelkarim, A., Dorra, S. T., Hamdaoui, G., Felah, M. E. L., Hassouna, M., "Biochemical characterization of tunisian Cichorium intybus L. roots and optimization of ultrasonic inulin extraction", *Mediterranean Journal of Chemistry*, Vol. 6, No. 1, (2016), 674-685. <http://dx.doi.org/10.13171/mjc61/01611042220-zarroug>
 36. El-Kholy, W. M., Aamer, R. A., Ali, A. N. A., "Utilization of inulin extracted from chicory (Cichorium intybus L.) roots to improve the properties of low-fat synbiotic yoghurt", *Annals of Agricultural Sciences*, Vol. 65, No. 1, (2020), 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.02.002>
 37. Meng, X., Lv, H., Ding, X., Jian, T., Feng, X., Ren, B., Chen, J., "Sesquiterpene lactones with anti-inflammatory and cytotoxic activities from the roots of Cichorium intybus", *Phytochemistry*, Vol. 203, (2022), 113377. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113377>
 38. Wu, J. Y., Ooi, C. W., Song, C. P., Wang, C. Y., Liu, B. L., Lin, G. Y., Chiu, C. Y., Chang, Y. K., "Antibacterial efficacy of quaternized chitosan/poly (vinyl alcohol) nanofiber membrane crosslinked with blocked diisocyanate", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 262, (2021), 117910. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117910>
 39. Wu, J. Y., Wang, C. Y., Chen, K. H., Lai, Y. R., Chiu, C. Y., Lee, H. C., Chang, Y. K., "Electrospinning of quaternized chitosan-poly (vinyl alcohol) composite nanofiber membrane: processing optimization and antibacterial efficacy", *Membranes*, Vol. 12, No. 3, (2022), 332. <https://doi.org/10.3390/membranes12030332>
 - (Cichorium intybus L.) as a food ingredient—nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review", *Food Chemistry*, Vol. 336, (2021), 127676. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127676>
 26. Häkkinen, S. T., Soković, M., Nohynek, L., Ćirić, A., Ivanov, M., Stojković, D., Tsitko, I., Matos, M., Baixinho, J. P., Ivasiv, V., Fernández, N., Santos, C. N. D., Caldentey, K. M. O., "Chicory extracts and sesquiterpene lactones show potent activity against bacterial and fungal pathogens", *Pharmaceuticals*, Vol. 14, No. 9, (2021), 941. <https://doi.org/10.3390/ph14090941>
 27. Khalaf, H. A., El-Saadani, R. M., El-Desouky, A. I., Abdeldaiem, M. H., Elmehy, M. E., "Antioxidant and antimicrobial activity of gamma-irradiated chicory (Cichorium intybus L.) leaves and roots", *Food Measurement and Characterization*, Vol. 12, (2018), 1843-1851. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9798-0>
 28. Abdullah, B. H., Al-Saedi, F., Salman, A. E., "Effects of Cichorium intybus methanolic extracts on some clinical bacterial isolates", *Indian Journal of Public Health Research & Development*, Vol. 10, No. 2, (2019), 829-833. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.00398.X>
 29. Bezerra, M. S., Zeferino, K. S., Menezes, L. D., Bezerra, A. S., Lopes, L. Q. S., Marquezan, F. K., Marquezan, P. K., "Antimicrobial and antibiofilm activities of Cichorium intybus: A review", *Research, Society and Development*, Vol. 11, No. 2, (2022), e10911225384. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25384>
 30. Jammongkan, T., Wattanakornsiri, A., Pansila, P. P., Migliaresi, C., Kaewpirom, S., "Effect of poly (vinyl alcohol)/chitosan ratio on electrospun-nanofiber morphologies", *Advanced Materials Research*, Vol. 463, (2012), 734-738. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.734>
 31. Bahrami, S. H., Nouri, M., "Chitosan-poly (vinyl alcohol) blend nanofibers: Morphology, biological and antimicrobial properties", *e-Polymers*, Vol. 9, No. 1, (2009), 133. <https://doi.org/10.1515/epoly.2009.9.1.1580>
 32. Mohamed, A. E., Shetta, A., Kegere, J., Mamdouh, W., "Antibacterial and antioxidant properties of Cichorium intybus extract embedded in chitosan nanocomposite nanofibers",