Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Food Processing and Preservation Journal

Print ISSN: 2423-3544
Online ISSN: 2423-3803

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

Application of electrospun fibers based on zein containing Ajowan extract in preservation of turkey fillets

Yasser Shahbazi[1*], Nassim Shavisi[2]

[1, 2] Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, Razi University, Kermanshah, Iran
Email: yasser.shahbazi@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024/02/25
Revised: 2024/03/08
Accepted: 2024/03/10

Keywords:
Electrospun fibers
Zein
Ajowan extract
Turkey fillets

ABSTRACT

Background and objectives: Electrospun fiber mats based on natural polymers that were prepared by electrospinning technique have received growing attention in the field of active packaging because of their high surface area to volume ratio and appropriate mechanical characteristics. Multifunctional polymeric electrospun fibers may be utilized as a promising approach to protect antioxidant/antimicrobial constituents from external effects with possible utilizations in medicine, chemistry, and smart/active food packaging materials. Given that turkey fillets are sensitive to deterioration owing to the environmental and microbial effects during refrigerated storage conditions further investigations regarding improving the shelf-life properties are of unquestionable interest. The aim of the present study was to investigate application of electrospun fibers based on zein containing Ajowan extract in preservation of turkey fillets.

Materials and methods: In the present study, electrospun zein fiber mats containing different concentrations of Ajowan extract (0.75%, 1.5%, and 3%) were prepared using the electrospinning technique which was set up at a flow rate = 0.8 ml/h, voltage = 17 × 10^3 kg m^2/s^3 A, tip-collector distance = 20 cm, and syringe volume = 1 ml. Ajowan plant were procured from a regional market in Kermanshah, Iran. The chemical (pH, total volatile basic nitrogen, and peroxide value) and microbial (total viable count, lactic acid bacteria, coliforms, and yeast/mold) of turkey meat samples during 8 days storage at refrigerator condition were evaluated.

Results: The encapsulation efficiency of Ajowan extract 0.75%, 1.5%, and 3% into the zein fibers were 88.72 ± 0.34%, 89.67 ± 0.21%, and 89.56 ± 0.29%, respectively. Our findings showed that the lowest microbial population and chemical changes were significantly found in turkey fillet samples packaged with zein + extract 3% electrospun fiber mats ($p < 0.05$). In this packaged samples on 8th day, pH, total volatile basic nitrogen, peroxide value, total viable count, lactic acid bacteria, coliforms, and yeast/mold were determined to be 6.52, 20.33 mg N/100 g, 0.49 meq peroxide/kg lipid, 5.41 log CFU/g, 4.72 log CFU/g, 3.83 log CFU/g, and 2.41 log CFU/g, respectively.

Discussion: Findings of this study indicate that the potential application of electrospun zein + Ajowan extract 3% fiber mats for enhancing the shelf-life properties of turkey fillets to 8 days at refrigerator condition with appropriate microbial and chemical properties. To utilize the prepared polymers as active food packaging, further research is required regarding their physical-mechanical, structural, and thermal stability properties.

Cite this article: Shahbazi, Y., Shavisi, N. 2024. Application of electrospun fibers based on zein containing Ajowan extract in preservation of turkey fillets. *Food Processing and Preservation Journal*, 15(4), 45-62.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/FPPJ.2024.22239.1802
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵٤٤-۲٤۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲٤۲۳

کاربرد الیاف الکتروریسی شده بر پایه زئین حاوی عصاره زنیان در نگهداری فیله‌های بوقلمون

یاسر شهبازی*[۱]، نسیم شاویسی[۲]

[۱و۲] گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: yasser.shahbazi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۱۲/۰٦
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۲/۱۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۱۲/۲۰

واژه‌های کلیدی:
الیاف الکتروریسی‌شده
زئین
عصاره زنیان
فیله بوقلمون

چکیده

سابقه و هدف: بسترهای الیافی بر پایه پلیمرهای طبیعی و تهیه‌شده با تکنیک الکتروریسی به دلیل داشتن نسبت سطح به حجم بالا و ویژگی‌های مکانیکی مناسب توجه روزافزونی را در زمینه بسته‌بندی فعال دریافت کرده‌اند. الیاف الکتروریسی‌شده می‌توانند به عنوان یک روش امیدوارکننده به منظور حفاظت ترکیبات ضدمیکروبی/آنتی‌اکسیدان در برابر عوامل خارجی مورد استفاده قرار گیرند، که در این صورت می‌توان از آن‌ها در پزشکی، شیمی و بسته‌بندی فعال و هوشمند استفاده نمود. با توجه به آن که فیله بوقلمون تحت تاثیر فعالیت میکروبی و تغییرات محیطی حین نگهداری در دمای یخچال قرار می‌گیرد، مطالعه بهبود مدت زمان ماندگاری آن اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی کاربرد الیاف الکتروریسی‌شده بر پایه زئین حاوی عصاره زنیان در نگهداری فیله بوقلمون بود.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر، بسترهای الیافی زئین حاوی غلظت‌های مختلف عصاره زنیان (۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ درصد) با استفاده از تکنیک الکتروریسی تحت شرایط تنظیم‌شده ذیل تهیه شدند: نرخ جریان = ۰/۸ ml/h، ولتاژ = ۱۷ × ۱۰^{۳} kg m^{۲}/s^{۳} A و فاصله سرنگ از غلطک جمع‌کننده الیاف = ۲۰ سانتی‌متر. گیاه زنیان از بازار واقع در شهر کرمانشاه خریداری گردید. پارامترهای شیمیایی (pH، میزان بازهای فرار کل و عدد پراکسید) و میکروبی (تعداد باکتری‌های کل، باکتری‌های اسید لاکتیک، کلیفرم‌ها و مخمر/کپک) نمونه‌های فیله بوقلمون در مدت ۸ روز نگهداری در دمای یخچال بررسی گردید.

یافته‌ها: کارایی انکپسوله‌کردن عصاره هیدروالکلی زنیان ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ درصد در الیاف زئین به ترتیب ۰/۳٤ ± ۸۸/۷۲، ۰/۲۱ ± ۸۹/٦۷ و ۰/۲۹ ± ۸۹/۵٦ درصد بود. یافته‌های این مطالعه نشان داد که کمترین جمعیت میکروبی و تغییرات شیمیایی به‌طور معنی‌داری در فیله‌های بوقلمون بسته‌بندی‌شده با الیاف زئین + عصاره زنیان ۳ درصد مشاهده شد (p < ۰/۰۵). در این نمونه‌های بسته‌بندی‌شده در پایان روز ۸ ام، در انتهای مطالعه، میزان pH، بازهای فرار کل، عدد پراکسید، شمارش کلی باکتری‌ها، باکتری‌های مولد اسیدلاکتیک، کلیفرم‌ها و مخمر/کپک به‌ترتیب ٦/۵۲، ۲/۳۳ mg N/100 g، ۰/٤۹ meq peroxide/kg lipid، ۵/٤۱ log CFU/g، log ٤/۷۲ CFU/g، ۳/۸۳ log CFU/g و ۲/٤۱ log CFU/g بود.

نتیجه‌گیری کلی: یافته‌های این مطالعه بیانگر کاربرد بسترهای الیافی زئین + عصاره زنیان ۳ درصد در افزایش مدت زمان ماندگاری فیله بوقلمون به مدت ۸ روز نگهداری در شرایط یخچال با حفظ کیفیت ویژگی‌های میکروبی و شیمیایی محصول بود. به منظور کاربرد پلیمرهای طراحی‌شده به عنوان بسته‌بندی فعال مواد غذایی، تحقیقات بیشتر درباره ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی، ساختاری و پایداری حرارتی آن‌ها ضروری می‌باشد.

استناد: شهبازی، یاسر؛ شاویسی، نسیم. (۱٤۰۲). کاربرد الیاف الکتروریسی شده بر پایه زئین حاوی عصاره زنیان در نگهداری فیله‌های بوقلمون. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۵(٤)، ٦۲-٤۵.

DOI: 10.22069/FPPJ.2024.22239.1802

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

در کارخانجات مواد غذایی اغلب از پلاستیک برای بسته‌بندی کالاهای مصرفی استفاده می‌شود، که از عمده‌ترین دلایل کاربرد آن می‌توان به قیمت پایین، مقاومت مکانیکی مناسب، تولید آسان و خاصیت آب-گریز آن‌ها اشاره نمود (۱). با افزایش آگاهی عمومی و نگرانی در رابطه با تاثیر مخرب مواد بسته‌بندی مبتنی بر پلاستیک و پلیمرهای سنتزی تجزیه‌ناپذیر بر محیط زیست، توجه و تمایل به استفاده از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر با ماهیت پروتئینی، لیپیدی و پلی‌ساکاریدی افزایش یافته است (۲). تولید پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر با گردش آب، دی‌اکسید کربن، اکسیژن و نیتروژن در زنجیره غذایی می‌تواند راه حل مناسبی برای رفع این نگرانی‌ها باشد (۳). در میان پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر می‌توان به زئین اشاره کرد، که از اندوسپرم دانه ذرت استخراج می‌گردد و حدود ۵۰-٤۵ درصد محتوای پروتئینی ذرت را تشکیل می‌دهد (٤). زئین به‌واسطه عدم جذب آب، غیرسمی بودن، انعطاف‌پذیری، تشکیل فیلم/الیاف آسان، سازگاری با ترکیبات ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدان، مقاومت حرارتی بالا و خواص ممانعت‌کنندگی مناسب در برابر اکسیژن، می‌تواند به‌عنوان یک پلیمر مناسب در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به‌کار برده شود (۵). برخی از مطالعات کاربرد بالقوه پلیمر زئین را در بسته‌بندی مواد غذایی نظیر توت فرنگی (٦)، گوشت خوک (۷)، گوشت گوساله (۸)، فیله شیرماهی (۹) و فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (۱۰) گزارش کرده‌اند.

بسته‌بندی فعال مواد غذایی بر پایه پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر و حاوی ترکیبات نگهدارنده شیمیایی یا طبیعی می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی مواد غذایی فسادپذیر گردد (۱۱). در سال‌های اخیر، به دلیل ماهیت سمی نگهدارنده‌های شیمیایی، استفاده از مواد نگهدارنده طبیعی توسط محققین بهداشت مواد غذایی و مصرف‌کنندگان مورد توجه قرار گرفته است (۱۲). از یافته‌های علمی در حوزه کاربرد اسانس و عصاره‌های گیاهی در تولید پلیمرهای ضدمیکروبی می‌توان به تاثیر اسانس اسطوخودوس (۱۳)، عصاره زرشک سیاه (١٤)، عصاره گل کلم (۱۵)، اسانس گیاه مزرنگوش (١٦) و اسانس پونه کوهی (۱۷) در افزایش مدت زمان ماندگاری مواد غذایی حین نگهداری طولانی‌مدت در دمای یخچال اشاره کرد. گیاه زنیان با نام علمی *Trachyspermum ammi*، گیاه علفی یکساله با گل‌های سفید و دانه‌های کوچک قهوه‌ای، بدون کرک و معطر با ساقه افراشته به ارتفاع ۵۰-۲۰ سانتی‌متر است. میوه زنیان کوچک و تخم‌مرغی شکل است، که اندام دارویی گیاه را تشکیل می‌دهد (۱۸). محل رویش این گیاه معطر در ایران، استان‌های آذربایجان شرقی، اصفهان، یزد، فارس، خراسان و قزوین است (۱۹). از زنیان به‌صورت خوراکی به عنوان ضددرد، ضدآسم، ضدتهوع، خلط‌آور و به صورت موضعی در درمان دردهای روماتیسمی استفاده می‌شود (۲۰). برخی از مطالعات انجام‌گرفته فعالیت ضدمیکروبی اسانس و عصاره دانه زنیان را علیه *اشرشیا کلی*[1] (۲۱)، *سالمونلا تیفی*[2] (۲۲)، *استافیلوکوکوس اورئوس*[3] (۲۳) و *باسیلوس سوبتیلیس*[4] (۲۲) در شرایط آزمایشگاهی گزارش کرده‌اند، که این ویژگی را می‌توان به ترکیبات پلی‌فنولی موجود در گیاه شامل تیمول، سیمن، آلفا-پینن، دی‌پینن، گاما-ترپینن، میرسن و کارواکرول نسبت داد (۱۸، ۱۹، ٢٤).

یکی از مهمترین محدودیت‌های تولید پلیمرهای بسته‌بندی فعال حاوی اسانس و عصاره‌های گیاهی

[1] *Escherichia coli*
[2] *Salmonella* Typhi
[3] *Staphylococcus aureus*
[4] *Bacillus subtilis*

حساسیت این ترکیبات به حرارت و اکسیژن می‌باشد و ممکن است طی فرآیندهای حرارتی معمولی تخریب شوند (۲۵). انتخاب فناوری انکپسوله‌کردن به منظور کاهش از دست‌رفتن فعالیت ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی در طول تشکیل فیلم یا توسعه ساختار بسته‌بندی ضروری است (١٤). الکتروریسی یک روش ساده، انعطاف‌پذیر و کارآمد برای ساخت الیاف با قطر میکرو تا نانو با نسبت سطح به حجم بالا، ساختار بسیار متخلخل و خواص مکانیکی مناسب می‌باشد (٢٦). در سال‌های اخیر، کاربرد موفقیت‌آمیز الیاف الکتروریسی‌شده حاوی ترکیبات ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدان به منظور افزایش مدت زمان ماندگاری میگو (١٤)، گوشت گوسفند (١٣)، گوشت گوساله (٢٧) و گوشت خوک (٢٨) بررسی شده است.

گوشت بوقلمون به دلیل بافت ویژه‌ای که دارد هنگام طبخ حجم خود را از دست نمی‌دهد و به‌دلیل داشتن پروتئین بالا، حداقل چربی اشباع، کمترین سطح کلسترول و فقدان چربی بین‌بافتی در مقایسه با گوشت قرمز از اهمیت بسیاری برخوردار است و منبع خوبی از ویتامین‌ها، املاح و اسیدهای آمینه ضروری به شمار می‌رود (٢٩). به‌طورکلی، به دلیل بالابودن میزان رطوبت و پروتئین، گوشت قرمز و طیور محیط مناسبی را برای رشد عوامل بیماری‌زا و مولد فساد فراهم می‌نماید (١٢). استفاده از مواد بسته‌بندی جدید ضدمیکروبی می‌تواند کیفیت و ماندگاری فیله بوقلمون را حین نگهداری در دمای یخچال بهبود بخشد (١٦، ٣٠). بر اساس مطالعات نویسندگان این پژوهش، تاکنون تحقیقی درباره تولید پلیمر بسته‌بندی فعال بر پایه الیاف زئین حاوی عصاره هیدروالکلی زنیان صورت نگرفته است. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر، مطالعه کاربرد الیاف الکتروریسی‌شده بر پایه زئین حاوی غلظت‌های مختلف عصاره هیدروالکلی زنیان (۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ درصد) به عنوان بسته‌بندی فعال به منظور افزایش مدت زمان ماندگاری فیله بوقلمون حین نگهداری در دمای یخچال (٤ ± ١ °C) به مدت ۸ روز بود.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: در پژوهش تجربی حاضر، دانه گیاه زنیان از بازار محلی واقع در شهر کرمانشاه خریداری گردید. پودر زئین تجاری (CAS = ٦-٦٦-٩٠١٠) از شرکت Sigma-Aldrich، انگلستان خریداری شد. محیط کشت‌های مورد استفاده شامل پلیت کانت آگار[5]، MRS[6] آگار، ویولت رد بایل آگار[7]، ائوزین متیلن بلو آگار[8]، بردپارکر آگار[9] حاوی سوسپانسیون تلوریت پتاسیم-زرده تخم مرغ و دی‌کلران رزبنگال کلرامفنیکل آگار[10] و همچنین سایر محلول‌های شیمیایی به‌کار برده‌شده از شرکت Merck، آلمان تهیه گردید.

تهیه عصاره هیدروالکلی دانه گیاه زنیان: به منظور تهیه عصاره هیدروالکلی، ۵۰ گرم دانه گیاه زنیان خشک با استفاده از آسیاب برقی (Moulinex، فرانسه) کاملاً پودر و سپس با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر:اتانول به نسبت ۵۰:۵۰ مخلوط شد. مخلوط به‌دست آمده به مدت ٢٤ ساعت روی شیکر (Behdad، ایران) در دمای اتاق همزده و سپس به وسیله کاغذ صافی واتمن شماره ٤٢ صاف گردید. عصاره تهیه‌شده به وسیله دستگاه روتاری (Heidolph، آلمان) در دمای ١ ± ٤٤ سانتی‌گراد و ۳۳۳۳/۰۵ پاسکال تغلیظ و پس از نگهداری در آون (Memmert، آلمان) در دمای ۱±٤۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت کاملاً خشک

[5] Plate count agar
[6] de Man, Rogosa and Sharpe (MRS)
[7] Violet red bile agar
[8] Eosin-methylene blue (EMB)
[9] Baird-Parker agar
[10] Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol agar

گردید. عصاره خشک‌شده تا زمان استفاده در دمای یخچال (۱ ± ٤ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شد (١٤).

تهیه الیاف طراحی‌شده بر پایه زئین حاوی عصاره هیدروالکلی دانه گیاه زنیان: به منظور تهیه محلول الکتروریسی، ۱۵ گرم زئین در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول حاوی اتانول:آب مقطر به نسبت ۸۰:۲۰ مخلوط و به مدت ۳ ساعت در دمای ۱ ± ٤٥ سانتی‌گراد روی هیتراستیرر (IKA، آلمان) همزده شد (۲۵). در مرحله بعد، عصاره هیدروالکلی زنیان ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ درصد به صورت وزنی/حجمی به محلول الکتروریسی زئین اضافه و به مدت ۲ ساعت دیگر همزده شد. ویسکوزیته محلول‌های الکتروریسی تهیه‌شده به وسیله ویسکومتر (Brookfield، آمریکا) در دمای محیط اندازه‌گیری شد. تولید الیاف به وسیله دستگاه الکتروریسی (نانوریس، ایران) با تنظیمات ذیل صورت گرفت: نرخ جریان = ۰/۸ ml/h، ولتاژ = kg A m^2/s^3 ۱۰^3 × ۱۷ و فاصله سرنگ از غلطک جمع‌کننده الیاف دارای فویل آلومینومی = ۲۰ سانتی‌متر (۳۱). به منظور تهیه الیاف الکتروریسی‌شده به شکل دایره و به قطر ۱۰ سانتی‌متر، ۵۰ میلی‌لیتر محلول الکتروریسی گردید (شکل ۱).

کارایی انکپسوله‌کردن عصاره هیدروالکلی زنیان در الیاف زئین: کارایی انکپسوله‌کردن غلظت‌های مختلف عصاره زنیان با حل‌کردن ۰/۱ گرم از هرکدام از الیاف در اتانول ۹٦ درصد و مخلوط‌کردن با دور g × ۳۵۰ به مدت یک شبانه‌روز صورت گرفت. اندازه‌گیری غلظت ترکیبات مذکور اضافه‌شده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (CPS-240A، Shimadzu، ژاپن) در طول موج ۵۵۰ نانومتر با استفاده از فرمول زیر صورت گرفت (۳۲):

$$\text{Encapsulation efficiency (\%)} = \frac{\text{encapsulated extract into the fibers}}{\text{incorporated extract into the electropining soultion}} \times 100$$

Karami و همکاران، (۲۰۲۱) گزارش شده است، تعیین گردید (۳۲):

$$\text{Cumulative release (\%)}: \frac{Mt}{M0} \times 100$$

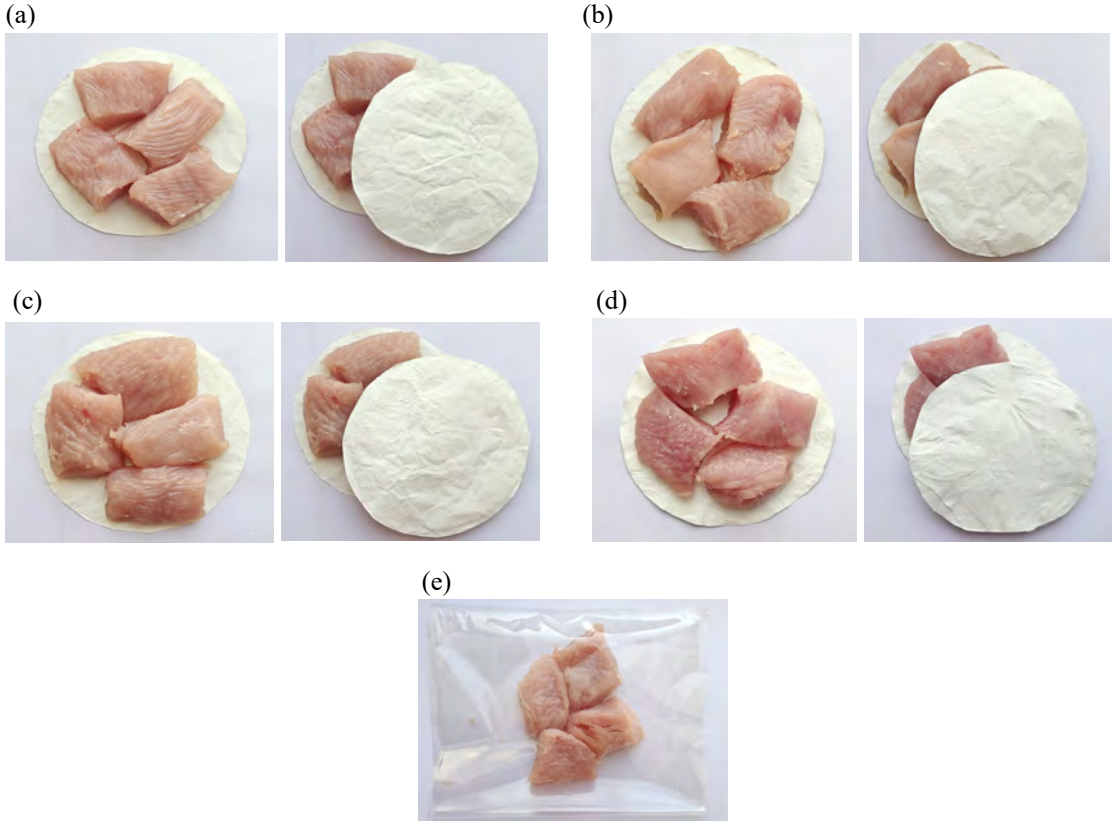
M_t مقدار عصاره رهایش‌یافته در زمان t و M_0 مقدار عصاره انکپسوله‌شده در الیاف می‌باشد.

آنالیز میکروسکوپ الکترونی الیاف الکتروریسی شده: آنالیز میکروسکوپ الکترونی الیاف طراحی‌شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی[11] (TeScan MIRA3، جمهوری چک) تحت ولتاژ ۱۵ × ۱۰^3 kg m^2/s^3 A انجام شد. برای هر نمونه، قطر ۵۰ فیبر به وسیله نرم‌افزار ImageJ بررسی گردید (۳۳).

رهایش عصاره هیدروالکلی زنیان از الیاف الکتروریسی‌شده: اندازه‌گیری میزان رهایش تجمعی عصاره زنیان از الیاف طراحی‌شده با قراردادن ۰/۱ گرم از هرکدام از الیاف در محلول‌های اتانولی ۷۵ و ۱۵ درصد و همزدن به مدت ۳٦ ساعت تحت شرایط تاریکی در دمای ۱ ± ٤ درجه سانتی‌گراد با دور g × ۱۰۰ صورت گرفت. سپس، در زمان‌های مشخص‌شده جذب ۱ میلی‌لیتر از محلول در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت و میزان رهایش طبق فرمول ذیل که در مطالعه

کاربرد الیاف طراحی‌شده بر پایه زئین حاوی عصاره هیدروالکلی دانه گیاه زنیان در بسته‌بندی گوشت بوقلمون: گوشت بوقلمون به میزان لازم از بازار واقع در شهر کرمانشاه خریداری و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد. پس از شستشو و فیله‌کردن بوقلمون، ۱۰۰ گرم نمونه فیله بوقلمون (٤ قطعه ۲۵ گرمی) به وسیله الیاف طراحی‌شده به شکل دایره و با قطر ۱۰ سانتی‌متر بسته‌بندی (شکل ۱) و به مدت ۸ روز در دمای یخچال (۱ ± ٤ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شد (١٤). نمونه‌های گروه کنترل فیله بوقلمون در داخل کیسه‌های پلاستیکی (BagMixer، فرانسه) نگهداری گردید.

[11] Field emission scanning electron microscope (FE-SEM)



شکل ۱. بسته‌بندی فیله‌های بوقلمون در روز صفر نگهداری. (a): الیاف زئین خالص، (b): الیاف زئین + ۰/۷۵درصد عصاره زنیان، (c): الیاف زئین + ۱/۵ درصد عصاره زنیان، (d): الیاف زئین + ۳ درصد عصاره زنیان و (e): گروه کنترل.

Figure 1. Packaging of turkey fillets on day 0 of storage. (a): pure zein fibers, (b): zein + Ajowan extract 0.75% fibers, (c): zein + Ajowan extract 1.5% fibers, (d): zein + Ajowan extract 3% fibers, and (e): control group.

ویژگی‌های میکروبی شامل شمارش باکتری‌های کل (TVC[12])، باکتری‌های اسیدلاکتیک (LAB[13])، کلیفرم‌ها[14]، *اشرشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و کپک/مخمر به‌ترتیب روی محیط کشت پلیت کانت آگار (۱ ± ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری به مدت ۲٤ ساعت)، MRS آگار (۱ ± ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری به‌مدت ٤۸ ساعت)، ویولت رد بایل آگار (۱ ± ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری به مدت ۲٤ ساعت)، ائوزین متیلن بلو آگار (۱ ± ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری به مدت ۲٤ ساعت)، بردپارکر آگار حاوی سوسپانسیون تلوریت پتاسیم-زرده تخم مرغ (۱ ± ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری به مدت ٤۸ ساعت) و دی‌کلران رزبنگال کلرامفنیکل آگار (۱ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری به مدت ۵ روز) صورت گرفت (۳٤). همچنین، اندازه‌گیری pH، عدد پراکسید (PV[15]) و میزان بازهای فرار کل (TVB-N[16]) نمونه‌ها طبق روش‌های گزارش‌شده در مطالعه Jouki و همکاران، (۲۰۱٤) (۳۵) و Heydarian و همکاران (۲۰۲۳) (۱٤) انجام شد.

آنالیز آماری: آزمایشات این مطالعه با سه بار تکرار انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار

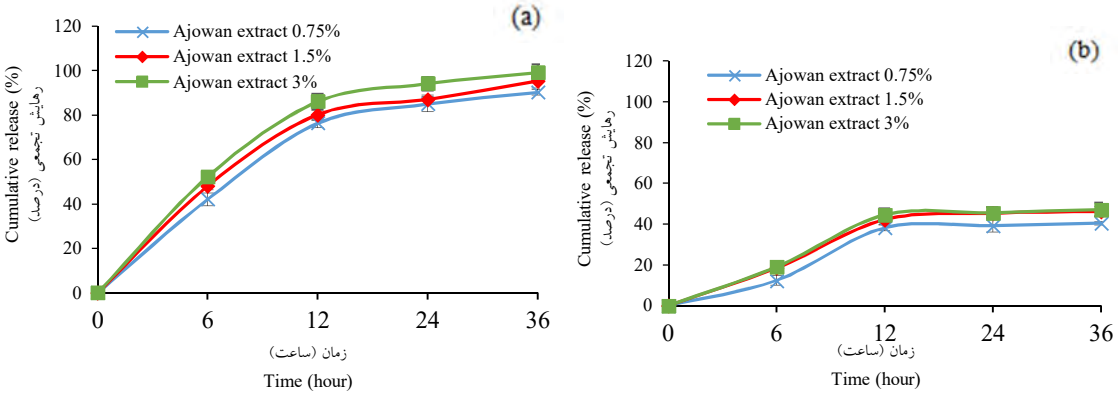
[12] Total viable count (TVC)
[13] Lactic acid bacteria (LAB)
[14] Coliforms
[15] Peroxide value (PV)
[16] Total volatile basic nitrogen (TVB-N)

SPSS نسخه ۲۳ صورت گرفت. ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی با استفاده از Tukey HSD آنالیز گردید. نتایج به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش و مقادیر $p < ۰/۰۵$ به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

کارایی انکپسوله‌کردن عصاره هیدروالکلی زنیان در الیاف زئین: طبق یافته‌های مطالعه حاضر، کارایی انکپسوله‌کردن عصاره هیدروالکلی زنیان با غلظت ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ درصد در الیاف زئین به‌ترتیب ۸۸/۷۲±۰/۳٤ درصد، ۸۹/٦۷±۰/۲۱ درصد و ۸۹/۵٦±۰/۲۹ درصد بود.

رهایش عصاره هیدروالکلی زنیان از الیاف الکتروریسی‌شده: همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، پس از ۱۲ ساعت میزان ٤۲/۱۲-۵۳/۲۵ درصد و ۱۲/۳٤-۱۸/۹۸ درصد عصاره زنیان از الیاف زئین به ترتیب در محلول‌های اتانولی ۷۵ و ۱۵ درصد رهایش یافت. رهایش سریع اولیه می‌تواند به‌دلیل رهایش عصاره انکپسوله‌شده نزدیک به سطح الیاف باشد (۳۲). در مطالعه Li و همکاران، (۲۰۱۸) میزان رهایش اوژنول از نانوالیاف پلی‌کاپرولاکتون-ژلاتین در دمای یخچال پس از ۲٤ ساعت ۲۵ درصد گزارش شده است (۳٦). طبق یافته‌های مطالعه حاضر، پس از ۳٦ ساعت، بیش از ۹۰ درصد عصاره زنیان از الیاف زئین به محلول اتانولی ۷۵ درصد رهایش یافت (شکل ۲) که می‌تواند به حلالیت پلیمر زئین در الکل نسبت داده شود (۳۷، ۳۸). Alinaqi و همکاران، (۲۰۲۱) نیز گزارش کردند میزان رهایش اسانس سیر از نانوذرات زئین پس از ۲٤ ساعت ۱۰۰ درصد می‌باشد (۳۹) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. به‌طورکلی، نفوذ اتانول به داخل ساختار پلیمر زئین موجب تغییر در پیوستگی ساختار الیاف، انبساط و حل‌شدن آن‌ها می‌شود. سپس، پیوندهای مولکولی در ماتریکس زئین تخریب شده، که منجر به رهایش کامل ترکیبات انکپسوله شده از الیاف در محلول اتانولی ۷۵ درصد می‌گردد (٤۰).

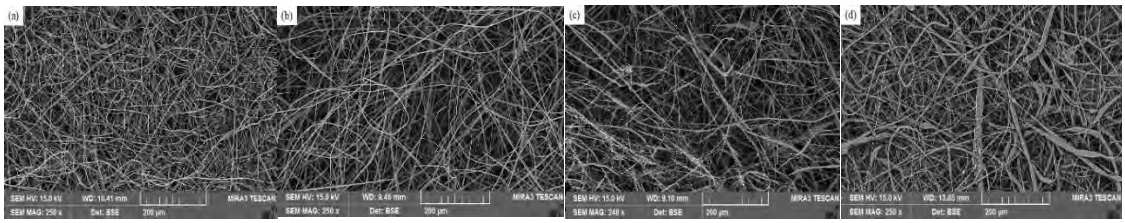


شکل ۲. رهایش غلظت‌های مختلف عصاره زنیان از الیاف زئین در محلول‌های اتانولی ۷۵ درصد (a) و ۱۵ درصد (b).

Figure 2. Release of different concentrations of Ajowan extract from zein fibers into the ethanolic solutions 75% (a) and 15% (b).

آنالیز میکروسکوپ الکترونی الیاف الکتروریسی شده: تصاویر میکروسکوپ الکترونی الیاف زئین حاوی غلظت‌های مختلف عصاره زنیان در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد، الیاف تهیه‌شده دارای سطح صاف، یکنواخت، پیوسته و بدون ایجاد گره بود، که با نتایج مطالعه Altan و

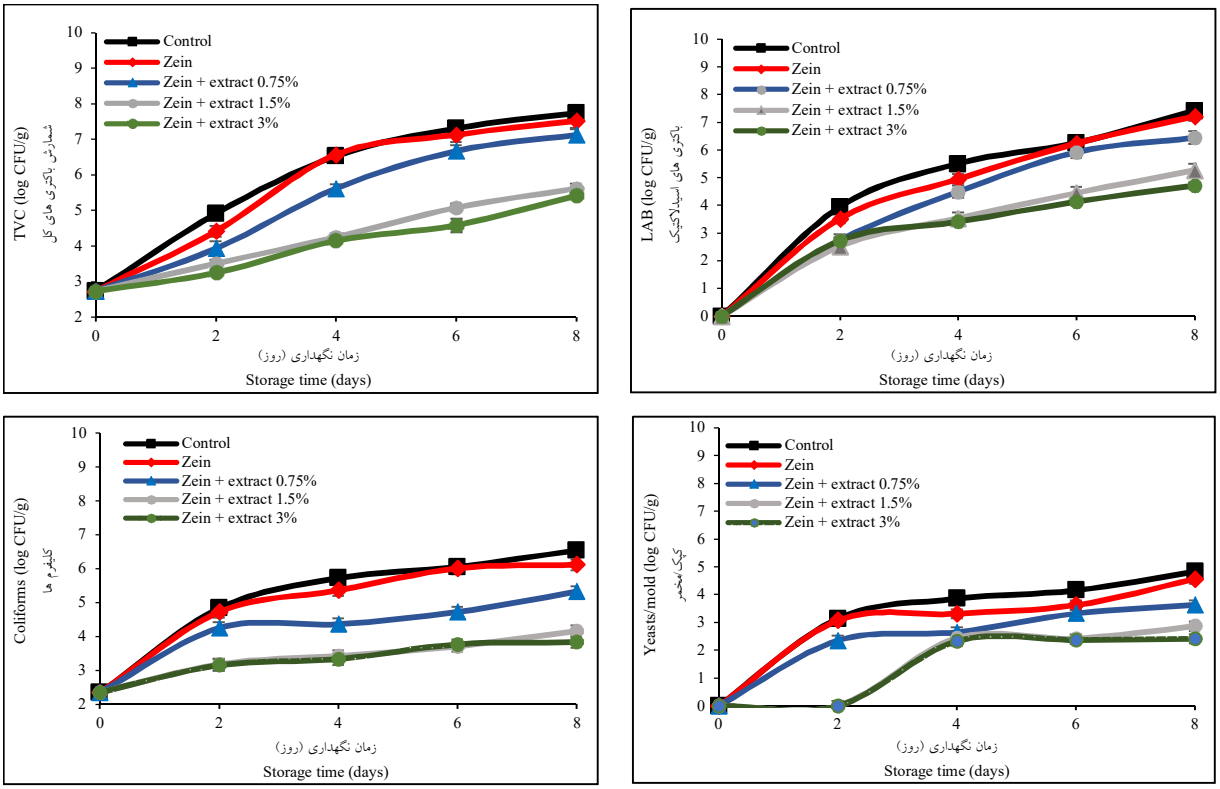
Çayır، (۲۰۲۰) مطابقت دارد (۵). میانگین قطر الیاف زئین خالص، زئین + عصاره زنیان ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ درصد به ترتیب ۵۷/۲٤ ± ٦۸۰/۲۳، ۳۸/۱٤ ± ۷۰٤/۵۰، ۲۰/۵٦ ± ۷٤۲/۵۰ و ۳۸/۵۹ ± ۸۰۱/٦۲ نانومتر اندازه‌گیری شد. افزایش قطر الیاف زئین حاوی عصاره زنیان را می‌توان به تغییر در میزان ویسکوزیته محلول الکتروریسی نسبت داد (۳٦). در مطالعه حاضر، ویسکوزیته محلول‌های الکتروریسی زئین خالص، زئین + عصاره زنیان ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ درصد به ترتیب ۵/٤۵ ± ۳۳۲/۷٦، ۰/۳۹±۲۹۳/۰۸، ۰/۲۵± ۲۷٤/٦۳ و ۰/۲۵۱ ± ۲٤٤ اندازه‌گیری شد. گزارش شده است، افزودن عصاره‌های گیاهی می‌تواند موجب کاهش ویسکوزیته محلول الکتروریسی گردد (۱٤، ۳۲). در واقع، کاهش ویسکوزیته موجب افزایش قطر الیاف به‌دلیل کاهش میزان درهم‌تنیدگی زنجیره‌ها در محلول الکتروریسی و رهایش سریعتر محلول از جت پلیمر می‌گردد (۳۲، ٤۱).



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی الیاف زئین (a)، زئین + عصاره زنیان ۰/۷۵ درصد (b)، زئین + عصاره زنیان ۱/۵ درصد (c) و زئین + عصاره زنیان ۳ درصد (d). بزرگ‌نمایی تصاویر × ۲۵۰ می‌باشد.

Figure 3. Scanning electron microscope images of pure zein (a), zein + Ajowan extract 0.75% (b), zein + Ajowan extract 1.5% (c), and zein + Ajowan extract 3% (d). The magnification of images is × 250.

کاربرد الیاف طراحی‌شده بر پایه زئین حاوی عصاره هیدروالکلی دانه گیاه زنیان در بسته‌بندی گوشت بوقلمون: امروزه اسانس و عصاره‌های گیاهی به دلیل آنکه حاوی ترکیبات ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی مختلف هستند به عنوان نگهدارنده طبیعی در مواد غذایی موردتوجه قرار گرفته‌اند (٤۲). روش‌های مختلفی برای استفاده از اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی در مواد غذایی وجود دارد. به‌طور معمول، افزودن مستقیم روی سطح ماده غذایی و یا اضافه‌کردن به فیلم تحت عنوان فیلم‌های ضدمیکروبی فعال به دلیل رهایش سریع ترکیبات مذکور موجب تاثیر نامطلوب بر خصوصیات بازارپسندی محصول می‌گردد. لذا، استفاده از الیاف الکتروریسی حاوی ترکیبات انکپسوله‌شده می‌تواند روش جایگزین موثر در نظر گرفته شود (۱٤). نتایج جمعیت میکروبی نمونه‌های گوشت بوقلمون بسته‌بندی‌شده با استفاده از الیاف زئین حاوی غلظت‌های مختلف عصاره زنیان در شکل ٤ نشان داده شده است. طبق یافته‌های مطالعه حاضر، در ابتدا TVC، LAB، کلیفرم‌ها، *استافیلوکوکوس اورئوس*، *اشرشیا کلی* و کپک/ مخمر به‌ترتیب ۲/۷٤ log CFU/g، ۲>، ۲/۳۵، ۲ >، ۲ > و ۲ > بود، که نشان‌دهنده تازگی محصول خریداری‌شده در روز صفر مطالعه می‌باشد (٤۳). همچنین، تا پایان مطالعه *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیا کلی* در نمونه‌های گوشت بوقلمون بسته‌بندی‌شده جداسازی نگردید.

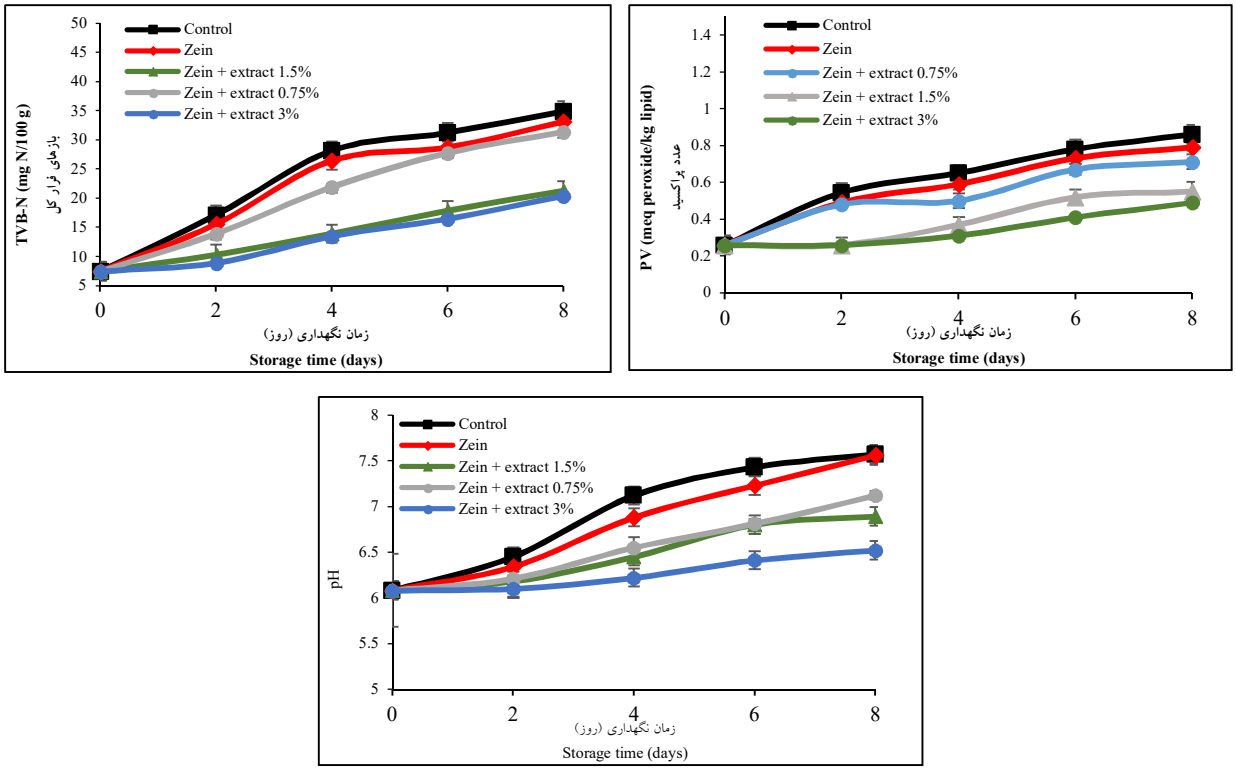


شکل ٤- پارامترهای میکروبی شامل: شمارش باکتری‌های کل (TVC)، باکتری‌های اسیدلاکتیک (LAB)، کلیفرم‌ها و کپک/ مخمر نمونه‌های فیله بوقلمون حین نگهداری در دمای یخچال.

Figure 4. Microbial parameters including: total viable count (TVC), lactic acid bacteria (LAB), coliforms, and yeast/mold of turkey fillet samples during refrigerated storage conditions.

مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۹۷۱٤ (گوشت تازه طیور-ویژگی‌ها)، حد مجاز باکتری‌های کل در گوشت طیور ٦ log CFU/g می‌باشد. بر این اساس، نمونه‌های گوشت بوقلمون گروه کنترل، بسته‌بندی زئین خالص و بسته‌بندی زئین حاوی عصاره زنیان ۰/۷۵درصد در این مطالعه به ترتیب در روزهای ٤، ٤ و ٦ فاسد شدند. در بسته‌بندی زئین خالص، TVC، LAB، کلیفرم‌ها و کپک/مخمر در انتهای مطالعه به‌ترتیب log CFU/g ۷/۵۲، ۷/۲۱، ٦/۱۲ و ٤/٥٦ اندازه‌گیری شد (شکل ٤). کمتربودن غیرمعنی‌دار جمعیت میکروبی در بسته‌بندی زئین خالص در مقایسه با گروه کنترل می‌تواند به دلیل اثر بازدارندگی الیاف الکتروریسی‌شده در نفوذ اکسیژن به داخل بسته‌بندی باشد (۳٤). همچنین، در روز پایان نگهداری (روز ۸ نمونه‌برداری) TVC، LAB، کلیفرم‌ها و کپک/مخمر در بسته‌بندی‌های فعال حاوی عصاره زنیان ۱/٥ و ۳ درصد به ترتیب در محدوده log CFU/g ٥/٦۲-٥/٤۱، ٤/۷۲-٥/۲٦، ٤/۱٦-۳/۸۳ و ۲/۸٦-۲/٤۱ بود. با توجه به نتایج این تحقیق، طی مدت زمان نگهداری فیله‌های بوقلمون تازه، روند رشد باکتری‌ها در تمامی بسته‌بندی‌های مورد بررسی افزایشی بود. همچنین، فیله‌های بوقلمون بسته‌بندی شده با الیاف حاوی عصاره زنیان ۱/٥ و ۳ درصد روند افزایشی کمتری در مقایسه با گروه کنترل داشتند ($p<۰/۰٥$). به‌طورکلی، گزارش شده است که ترکیبات ضدمیکروبی موجود در عصاره به ویژه ترکیبات پلی-فنولی می‌توانند با آسیب به غشای سلولی و افزایش تراوش ترکیبات حیاتی رشد میکروارگانیسم به خارج سلول، تاثیر بر آنزیم‌های میکروبی و اختلال بر تولید

متابولیت‌های حیاتی، موجب مرگ سلول باکتری می‌شوند (٤۲). برخی از مطالعات کاربرد اسانس و عصاره‌های گیاهی را در افزایش مدت زمان ماندگاری مواد غذایی فسادپذیر مورد بررسی قرار داده‌اند. Raeisi و همکاران، (۲۰۱٦) گزارش کردند عصاره زنیان ۳ درصد به‌صورت قابل‌توجهی رشد میکروارگانیسم‌های مولد فساد شامل باکتری‌های سایکروتروف و *سودوموناس* را در فیله ماهی به مدت ۱۵ روز نگهداری در دمای یخچال به تاخیر انداخت (٤٤). Fayazi و همکاران، (۲۰۲۱) نیز نشان دادند فیلم زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه کربوکسی متیل سلولز حاوی اسانس زنیان ۱ درصد دارای تاثیر معنی‌دار در کاهش تعداد باکتری‌های سایکروتروف، *اشرشیا کلی* و کلیفرم‌های گوشت بوقلمون به ترتیب به میزان ۱ log CFU/g، ۲/۵ و ۳ در مقایسه با گروه کنترل می‌باشد (٤۵).

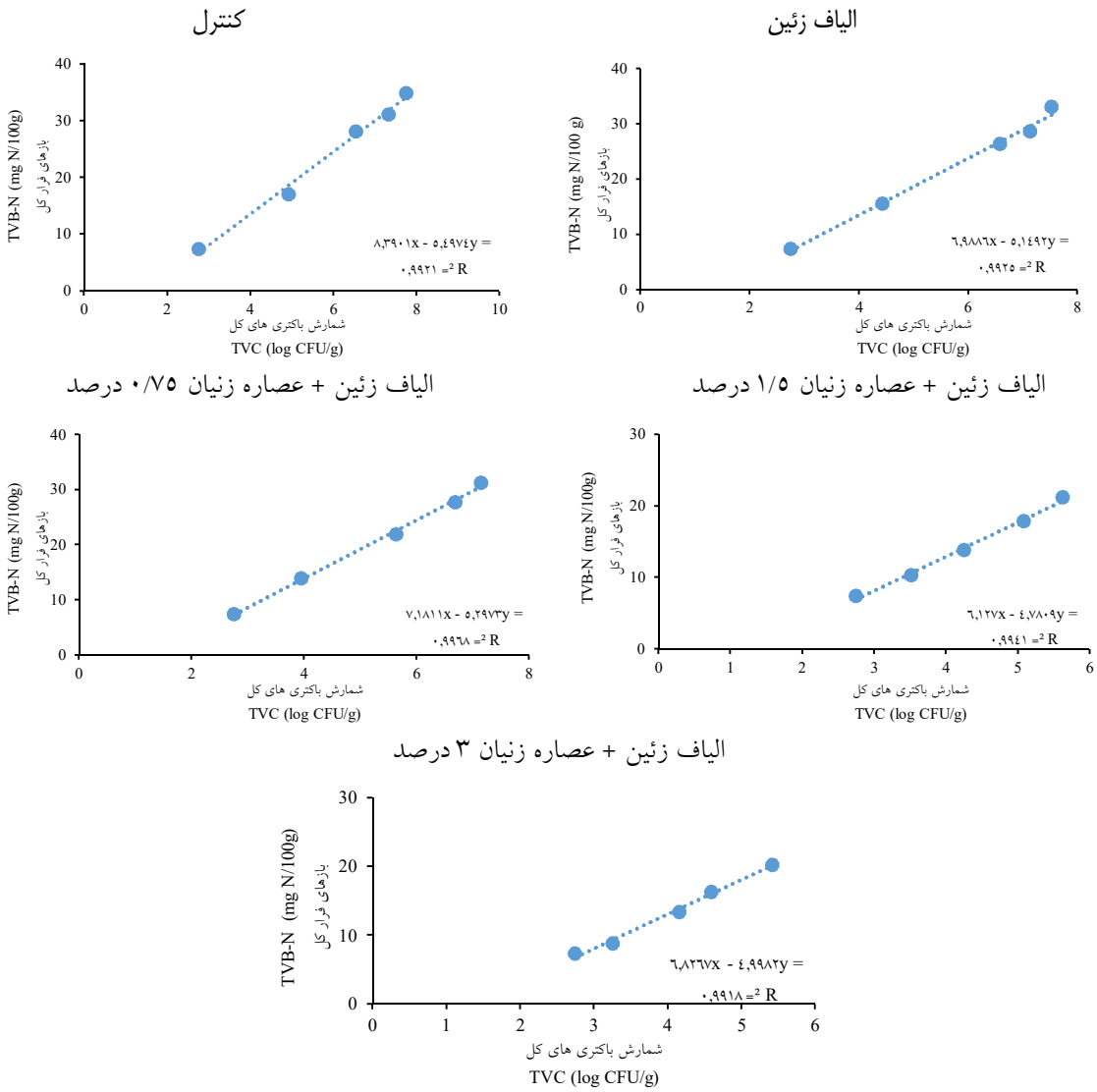


شکل ۵- پارامترهای شیمیایی شامل بازهای فرار کل (TVB-N)، عدد پراکسید (PV) و pH نمونه‌های فیله بوقلمون حین نگهداری در دمای یخچال.

Figure 5. Chemical parameters including: total volatile basic nitrogen (TVB-N), peroxide value (PV), and pH, of turkey fillet samples during storage in refrigerator condition.

مواد ازته فرار یکی از شاخص‌های کیفیت فرآورده‌های شیلاتی، طیور و گوشت قرمز هستند که برای ارزیابی فساد باکتریایی محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص TVB-N معمولاً شامل تری‌متیل آمین، دی‌متیل آمین و آمونیاک است که بر اثر فساد باکتریایی تولید می‌شود و در صورتی که به بالاتر از ۲۵ mg N/100 برسد، نشان‌دهنده فساد شیمیایی محصول نگهداری شده می‌باشد (۲۸، ٤٦). عدد پراکسید نیز به عنوان شاخص اکسیداسیون چربی به‌کار برده می‌شود. اکسیداسیون چربی یکی از اصلی‌ترین دلایل فساد ماهی و فرآورده‌های دریایی، گوشت طیور و قرمز در نظر گرفته می‌شود، که منجر به کاهش ارزش غذایی محصول می‌گردد. در اثر اکسیداسیون چربی، هیدروپراکسیدها تولید می‌گردند

که به هنگام واکنش با سایر ترکیبات موجود در ماده غذایی باعث از بین‌رفتن رنگ و تولید بوی نامطلوب می‌شوند (۱٦، ٤۷، ٤۸). در مطالعه حاضر (شکل ۵)، میزان اولیه pH، TVB-N و PV نمونه‌های گوشت بوقلمون به ترتیب ٦/۰۸، ۷/٤۲ mg N/100 g و meq peroxide/kg lipid ۰/۲٦ اندازه‌گیری شد. در طول مطالعه در هر ۵ بسته‌بندی در طول زمان روند افزایشی مشاهده گردید و همواره کمترین میزان pH، TVB-N و PV مربوط به فیله‌های بوقلمون بسته‌بندی‌شده با الیاف حاوی عصاره زنیان ۱/۵ و ۳ درصد بود.



شکل ٦- نتایج همبستگی بین میزان بازهای فرار کل (TVB-N) و شمارش باکتری‌های کل (TVC) نمونه‌های فیله بوقلمون حین نگهداری در دمای یخچال.

Figure 6. Correlation results between total volatile basic nitrogen (TVB-N) and total viable count (TVC) of turkey fillet samples during storage in refrigerator condition.

اختلاف آماری معنی‌دار بین دو بسته‌بندی فوق‌الذکر با نمونه‌های گروه کنترل در طول مطالعه مشاهده گردید (p <۰/۰۵). طبق حد قابل قبول mg N/100 TVB-N=۲۵، نمونه‌های فیله بوقلمون گروه کنترل، زئین خالص و زئین حاوی ۰/۷۵ درصد عصاره زنیان به‌ترتیب در روزهای ٤، ٤ و ٦ فاسد شدند، که با نتایج

میکروبی همخوانی داشت. نتایج همبستگی TVB-N و TVC بسته‌بندی‌های فوق‌الذکر به‌ترتیب دارای R^2 برابر با ۰/۹۹۲۱، ۰/۹۹۲۵ و ۰/۹۹٦۸ بود (شکل ٦). میزان نهایی pH، TVB-N و PV در فیله‌های بوقلمون بسته‌بندی‌شده با الیاف حاوی عصاره زنیان ۱/۵ و ۳ درصد در محدوده ٦/۸۹-٦/۵۲، mg N/100 g ۲۰/۳۳-۲۱/۲۳ و meq peroxide/kg lipid ۰/۵۵- ۰/٤۹ قرار داشت، در حالی‌که در گروه کنترل به‌ترتیب ۷/۵۷، mg N/100 g ۳٤/۸۸ و meq peroxide/kg lipid ۰/۸٦ اندازه‌گیری شد (شکل ۵). این موضوع نشان می‌دهد که الیاف زئین حاوی عصاره زنیان تا حدود زیادی قادر به جلوگیری از ایجاد و توسعه ترکیبات آمینی و نیتروژن‌دار عامل فساد در نمونه‌های فیله بوقلمون بسته‌بندی شده است. Karimnezhad و همکاران، (۲۰۱۹) نتایج مشابهی را درباره تاثیر در مورد فاکتورهای pH، TVB-N و PV به‌دست آوردند و نشان دادند که این پارامترها در نمونه‌های مرغ تیمارشده با فیلم خوراکی کیتوزان حاوی اسانس زنیان نسبت به گروه کنترل پایین‌تر بوده است. همچنین، گزارش کردند با استفاده از این روش می‌توان مدت زمان ماندگاری محصول را تا ۱۲ روز افزایش داد (٤۹).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر بیانگر کارایی انکپسوله‌کردن مناسب عصاره هیدروالکلی زنیان در الیاف زئین به روش الکتروریسی می‌باشد. نتایج میکروسکوپ الکترونی نشان داد الیاف تهیه‌شده دارای سطح صاف، یکنواخت، پیوسته و بدون ایجاد گره بودند. همچنین، طبق یافته‌های این مطالعه، بسته‌بندی فعال بر پایه الیاف زئین حاوی غلظت‌های مختلف عصاره دانه گیاه زنیان می‌تواند به صورت موثری رشد میکروارگانیسم-های مولد فساد و پارامترهای شیمیایی را در فیله بوقلمون حین نگهداری در دمای یخچال به مدت ۸-٦ روز کنترل نمایند. در بین پلیمرهای طراحی‌شده الیاف زئین حاوی عصاره زنیان ۳ درصد بهترین اثرات را در رابطه با کنترل پارامترهای میکروبی و شیمیایی فیله بوقلمون داشت. با این حال، پیشنهاد می‌گردد تاثیر الیاف طراحی‌شده بر رشد و بقاء عوامل بیماری‌زای رایج منتقله از مواد غذایی حین نگهداری فیله بوقلمون در دمای یخچال مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، بررسی پارامترهای فیزیکی-مکانیکی، گرماسنجی و ساختاری الیاف طراحی‌شده در مطالعات بعدی پیشنهاد می‌گردد.

References

1. Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., & Coma, V. (2018). Active packaging applications for food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 165-199.
2. Tajeddin, B., & Arabkhedri, M. (2020). Polymers and food packaging. In *Polymer science and innovative applications*. 525-543.
3. Heidari, M., Khomeiri, M., Yousefi, H., Rafieian, M., & Kashiri, M. (2021). Chitin nanofiber-based nanocomposites containing biodegradable polymers for food packaging applications. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, *16*(3), 237-246.
4. Bayer, I. S. (2021). Zein in food packaging. *Sustainable Food Packaging Technology*, 199-224.
5. Altan, A., & Çayır, Ö. (2020). Encapsulation of carvacrol into ultrafine fibrous zein films via electrospinning for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, *26*, 100581.
6. Ansarifar, E., & Moradinezhad, F. (2021). Preservation of strawberry fruit quality via the use of active packaging with encapsulated thyme essential oil in zein nanofiber film. *International Journal of Food Science & Technology, 56*(9), 4239-4247.

7. Kong, J., Ge, X., Sun, Y., Mao, M., Yu, H., Chu, R., & Wang, Y. (2023). Multi-functional pH-sensitive active and intelligent packaging based on highly cross-linked zein for the monitoring of pork freshness. *Food Chemistry*, *404*, 134754.
8. Xavier, L. O., Sganzerla, W. G., Rosa, G. B., da Rosa, C. G., Agostinetto, L., de Lima Veeck, A. P., & Nunes, M. R. (2021). Chitosan packaging functionalized with *Cinnamodendron dinisii* essential oil loaded zein: A proposal for meat conservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, *169*, 183-193.
9. Xin, S., Xiao, L., Dong, X., Li, X., Wang, Y., Hu, X., & Zhu, B. (2020). Preparation of chitosan/curcumin nanoparticles based zein and potato starch composite films *for Schizothorax prenati* fillet preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, *164*, 211-221.
10. Mayeli, M., Mehdizadeh, T., Tajik, H., Esmaeli, F., & Langroodi, A. M. (2019). Combined impacts of zein coating enriched with methanolic and ethanolic extracts of sour orange peel and vacuum packing on the shelf life of refrigerated rainbow trout. *Flavour and Fragrance Journal*, *34*(6), 460-470.
11. Pereira de Abreu, D. A., Cruz, J. M., & Paseiro Losada, P. (2012). Active and intelligent packaging for the food industry. *Food Reviews International*, *28*(2), 146-187.
12. Blacha, I., Krischek, C., & Klein, G. (2014). Influence of modified atmosphere packaging on meat quality parameters of turkey breast muscles. *Journal of Food Protection*, *77*(1), 127-132.
13. Doğan, C., Doğan, N., Gungor, M., Eticha, A. K., & Akgul, Y. (2022). Novel active food packaging based on centrifugally spun nanofibers containing lavender essential oil: Rapid fabrication, characterization, and application to preserve of minced lamb meat. *Food Packaging and Shelf Life*, *34*, 100942.
14. Heydarian, A., & Shavisi, N. (2023). Multifunctional food packaging materials: Electrospun mats based on gelatin-xanthan gum containing chitin nanofibers and black barberry anthocyanins for freshness monitoring and enhancing the shelf-life quality of Pacific white shrimps. *Food Packaging and Shelf Life*, *40*, 101219.
15. Huang, H. L., Tsai, I. L., Lin, C., Hang, Y. H., Ho, Y. C., Tsai, M. L., & Mi, F. L. (2023). Intelligent films of marine polysaccharides and purple cauliflower extract for food packaging and spoilage monitoring. *Carbohydrate Polymers*, *299*, 120133.
16. Mojaddar Langroodi, A., Nematollahi, A., & Sayadi, M. (2021). Chitosan coating incorporated with grape seed extract and *Origanum vulgare* essential oil: An active packaging for turkey meat preservation. *Journal of Food Measurement and Characterization, 15,* 2790-2804.
17. Khanjari, A., Karabagias, I. K., & Kontominas, M. G. (2013). Combined effect of N, O-carboxymethyl chitosan and oregano essential oil to extend shelf life and control *Listeria monocytogenes* in raw chicken meat fillets. *LWT-Food Science and Technology*, *53*(1), 94-99.
18. Haghiroalsadat, F., Azhdari, M., Oroojalian, F., Omidi, M., & Azimzadeh, M. (2015). The chemical assessment of seed essence of three native medicinal plants of Yazd province (*Bunium premium*, *Cuminum cyminum*, *Trachyspermum copticum*) and the comparison of their antioxidant properties. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, 22*(6), 1592-1603.
19. Panj, M., Ghajarbeygi, P., Mahmoudi, R., & Shahsavari, S. (2018). Effect of whey protein concentrate edible coating and *Trachyspermum copticum* essential oil on the microbial, physicochemical and organoleptic characteristics of fresh strawberries during storage. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*, *23*(4), 53-67.
20. Soltani Howyzeh, M., Sadat Noori, S. A., Shariati J, V., & Niazian, M. (2018). Essential oil chemotype of Iranian Ajowan (*Trachyspermum ammi* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants, 21*(1), 273-276.

21. Huang, W., Wang, J. Q., Song, H. Y., Zhang, Q., & Liu, G. F. (2017). Chemical analysis and *in vitro* antimicrobial effects and mechanism of action of *Trachyspermum copticum* essential oil against *Escherichia coli*. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, *10*(7), 663-669.
22. Mobaiyen, H., Nasarollah Pour, M., & Elmi, F. (2015). Phytochemical composition and antibacterial activity of *Trachyspermum copticum* L. essential oil, East Azerbaijan, Iran. *Journal of Medical Microbiology and Infectious Diseases*, *3*(3), 71-74.
23. Paul, S., Dubey, R. C., Maheswari, D. K., & Kang, S. C. (2011). *Trachyspermum ammi* (L.) fruit essential oil influencing on membrane permeability and surface characteristics in inhibiting food-borne pathogens. *Food Control, 22*(5), 725-731.
24. Heidari Soureshjani, M., Khomeiri, M., Maghsoudlou, Y., Yousefi, H., Rafieian, M., Kashiri, M., (2018). The combined effect of *Carum copticum* (Ajwain) and *Foeniculum vulgare* (fennel) essential oils on *Escherichia coli* and *Clostridium sporogenes* using checkerboard assay. *Applied Microbiology In Food Industries, 4*(2), 44-56.
25. Karim, M., Fathi, M., & Soleimanian-Zad, S. (2021). Nanoencapsulation of cinnamic aldehyde using zein nanofibers by novel needle-less electrospinning: Production, characterization and their application to reduce nitrite in sausages. *Journal of Food Engineering*, *288*, 110140.
26. Zhang, C., Li, Y., Wang, P., & Zhang, H. (2020). Electrospinning of nanofibers: Potentials and perspectives for active food packaging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(2), 479-502.
27. Yilmaz, M. T., Hassanein, W. S., Alkabaa, A. S., & Ceylan, Z. (2022). Electrospun eugenol-loaded gelatin nanofibers as bioactive packaging materials to preserve quality characteristics of beef. *Food Packaging and Shelf Life*, *34*, 100968.
28. Zhang, J., Zhang, J., Huang, X., Shi, J., Muhammad, A., Zhai, X., & Zou, X. (2023). Study on cinnamon essential oil release performance based on pH-triggered dynamic mechanism of active packaging for meat preservation. *Food Chemistry*, *400*, 134030.
29. Beigmohammadi, F., Naseri, H. R., Mohammadi, R., & Sadeghi, E. (2021). Production of edible film based on chitosan-gelatin, containing *Ferulago angulate* essential oil and evaluation of optical, sensory features and shelf life of packaged Turkey meat in it. *Journal of Food Research*, (4), 169-179.
30. Contini, C., Álvarez, R., O'sullivan, M., Dowling, D. P., Gargan, S. Ó., & Monahan, F. J. (2014). Effect of an active packaging with citrus extract on lipid oxidation and sensory quality of cooked turkey meat. *Meat Science*, *96*(3), 1171-1176.
31. Li, M., Yu, H., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2021). Fabrication of eugenol loaded gelatin nanofibers by electrospinning technique as active packaging material. *LWT, 139,* 110800.
32. Karami, N., Kamkar, A., Shahbazi, Y., & Misaghi, A. (2021). Electrospinning of double-layer chitosan-flaxseed mucilage nanofibers for sustained release of *Ziziphora clinopodioides* essential oil and sesame oil. *LWT*, *140*, 110812.
33. Hosseini, F., Miri, M. A., Najafi, M., Soleimanifard, S., & Aran, M. (2021). Encapsulation of rosemary essential oil in zein by electrospinning technique. *Journal of Food Science*, *86*(9), 4070-4086.
34. Khanjari, A., Esmaeili, H., & Hamedi, M. (2023). Shelf life extension of minced squab using poly-lactic acid films containing *Cinnamomum verum* essential oil. *International Journal of Food Microbiology, 385,* 109982.
35. Jouki, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., Koocheki, A., & Khazaei, N. (2014). Effect of quince seed mucilage edible films incorporated with oregano or thyme essential oil on shelf life extension of refrigerated rainbow trout fillets. *International Journal of Food Microbiology, 174*, 88-97.
36. Li, M., Yu, H., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2021). Fabrication of eugenol loaded gelatin nanofibers by electrospinning technique as active packaging material. *LWT, 139*, 110800.

37. Shen, C., Cao, Y., Rao, J., Zou, Y., Zhang, H., Wu, D., & Chen, K. (2021). Application of solution blow spinning to rapidly fabricate natamycin-loaded gelatin/zein/polyurethane antimicrobial nanofibers for food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, *29*, 100721.
38. Kashiri, M., Cerisuelo, J. P., Domínguez, I., López-Carballo, G., Muriel-Gallet, V., Gavara, R., & Hernández-Muñoz, P. (2017). Zein films and coatings as carriers and release systems of *Zataria multiflora* Boiss. essential oil for antimicrobial food packaging. *Food Hydrocolloids, 70,* 260-268.
39. Alinaqi, Z., Khezri, A., & Rezaeinia, H. (2021). Sustained release modeling of clove essential oil from the structure of starch-based bio-nanocomposite film reinforced by electrosprayed zein nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, *173*, 193-202.
40. Lian, H., Shi, J., Zhang, X., Peng, Y., 2020. Effect of the added polysaccharide on the release of thyme essential oil and structure properties of chitosan based film. *Food Packaging and Shelf Life 23,* 100467.
41. Surendhiran, D., Li, C., Cui, H., & Lin, L. (2020). Fabrication of high stability active nanofibers encapsulated with pomegranate peel extract using chitosan/PEO for meat preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, *23*, 100439.
42. Tajkarimi, M. M., Ibrahim, S. A., & Cliver, D. O. (2010). Antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food control*, *21*(9), 1199-1218.
43. Jay, M. (2005). *Songs of experience: Modern American and European variations on a universal theme*. University of California Press.
44. Raeisi, S., Sharifi-Rad, M., Quek, S. Y., Shabanpour, B., & Sharifi-Rad, J. (2016). Evaluation of antioxidant and antimicrobial effects of shallot (*Allium ascalonicum* L.) fruit and ajwain (*Trachyspermum ammi* (L.) Sprague) seed extracts in semi-fried coated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets for shelf-life extension. *LWT-Food Science and Technology*, *65*, 112-121.
45. Fayazi, A., Hashemiravan, M., Jannatyha, N., & Moslehishad, M. (2021). Physical, mechanical and microbial properties of carboxymethyl cellulose (CMC) bioactive film containing *Trachyspermum Ammi*, *Myrtus communis* essential oils and the effects on shelf life of turkey meat. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, *18*(111), 233-250.
46. Muppalla, S. R., Kanatt, S. R., Chawla, S. P., & Sharma, A. (2014). Carboxymethyl cellulose–polyvinyl alcohol films with clove oil for active packaging of ground chicken meat. *Food Packaging and Shelf Life*, *2*(2), 51-58.
47. Kim, J. H., Hong, W. S., & Oh, S. W. (2018). Effect of layer-by-layer antimicrobial edible coating of alginate and chitosan with grapefruit seed extract for shelf-life extension of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) stored at 4 C. *International Journal of Biological Macromolecules*, *120*, 1468-1473.
48. Huang, J., Chen, M., Zhou, Y., Li, Y., & Hu, Y. (2020). Functional characteristics improvement by structural modification of hydroxypropyl methylcellulose modified polyvinyl alcohol films incorporating roselle anthocyanins for shrimp freshness monitoring. *International journal of biological macromolecules, 162,* 1250-1261.
49. Karimnezhad, F., Razavilar, V., Anvar, S. A. A., & Eskandari, S. (2019). Evaluation of the effects of oral film of chitosan containing the Ajowan essential oil on some chemical characteristics of chicken meat. *Journal of Food Technology and Nutrition*, *16*(4), 91-100.