BIRJAND UNIVERSITY OF MEDICAL SCIENCES
Journal of Translational Medical Research
https://journal.bums.ac.ir

Review Article

Extending the shelf life of ground meat using active antimicrobial packaging

Ali Mohammadi [1], Seyed Zia Mohammadi Mobarakeh [1]*, Elham Ansarifar [2]*

[1] Department of Chemistry, Payame Nour University, Tehran, Iran
[2] Department of Food Hygiene and Nutrition, School of Health, Social Determinants of Health Research Center, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

***Corresponding author:** Seyed Zia Mohammadi Mobarakeh, Elham Ansarifar
Seyed Zia Mohammadi Mobarakeh
Tel: +98343322032 E-mail: szmohammadi@yahoo.com;

Elham Ansarifar
Tel: +985632381680 E-mail: ansarifar.elham@bums.ac.ir

ABSTRACT

Background and Aims: The rapid spoilage of minced meat due to lipid oxidation and microbial growth represents a major challenge in the food industry. This study aimed to develop an active packaging system based on electrospun polyvinyl alcohol/chitosan (PVA/CH) nanofibers incorporated with *Tamarix* extract (TREO) to extend the shelf life of minced beef during refrigerated storage (4◦C).

Materials and Methods: PVA/CH nanofibers, with and without 4% TREO, were fabricated via electrospinning and applied as an inner-lid coating of meat packaging. The samples were divided into three groups: control, PVA+CH, and PVA+CH+TREO. Microbial parameters, including total viable count (TVC) and psychrotrophic bacterial count (PTC), as well as physicochemical parameters, including pH, peroxide value (PV), total volatile basic nitrogen (TVB-N), free fatty acids (FFA), and thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS), were evaluated on days 0, 2, 4, 6, 8, and 10.

Results: The control sample spoiled on day 6, exceeding permissible limits for chemical and microbial indicators (TVB−N=26.50 mg N/100g and TVC=8.35 log CFU/g). The application of PVA+CH nanofibers delayed the spoilage process until day 8. However, the extract-loaded treatment (PVA+CH+TREO) exhibited significantly superior performance ($P<0.05$). Owing to the synergistic antimicrobial and antioxidant effects of chitosan and TREO, alongside their controlled release, all quality attributes of the meat, including TVB−N (23.50 mg N/100g), TBARS (1.45 mg MDA/kg), and TVC (7.22 log CFU/g), remained within the acceptable consumption limits until the end of the 10th day.

Conclusion: Electrospun nanofibers incorporating TREO provide an effective matrix for mitigating oxidative and microbial spoilage, demonstrating considerable potential as an active, biodegradable packaging material for extending the shelf life of meat products.

Keywords: Antimicrobial active packaging, Electrospinning, Ground beef, Tamarix essential oil.

Citation: Mohammadi A, Mohammadi Mobarakeh SZ, Ansarifar E. [Extending the shelf life of ground meat using active antimicrobial packaging]. Journal of Translational Medical Research (J Transl Med Res). 2026; 33(3): ?????. [Persian]

DOI http://doi.org/10.61186/JBUMS.33.3??? OPEN ACCESS Crossref

Received: May 16, 2026 **Revised:** August 01, 2026 **Accepted:** September 08, 2026

Copyright © 2025, Journal of Translational Medical Research. This open-access article is available under the Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which allows for the copying and redistribution of the material only for noncommercial purposes, provided that the original work is properly cited.

مقاله اصیل پژوهشی

افزایش زمان ماندگاری گوشت چرخ‌کرده با بسته‌بندی فعال ضدمیکروبی

علی محمدی[۱]، سید ضیاء محمدی مبارکه[۱]*، الهام انصاری‌فر[۲]*

چکیده

زمینه و هدف: فساد سریع گوشت چرخ‌کرده به‌دلیل اکسیداسیون لیپیدها و رشد میکروبی، یکی از چالش‌های اساسی در صنعت غذا است. این پژوهش با هدف توسعه یک سیستم بسته‌بندی فعال بر پایه الیاف الکتروریسی‌شده پلی‌وینیل الکل/کیتوزان (CH/PVA) حاوی عصاره گز (TREO) به منظور افزایش ماندگاری گوشت چرخ‌کرده گاو در شرایط نگهداری در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) انجام شد.

روش تحقیق: الیاف CH+PVA با و بدون عصاره گز به روش الکتروریسی تولید و به عنوان پوشش درب داخلی بسته‌بندی گوشت استفاده شدند. نمونه‌ها در سه گروه شاهد، CH+PVA و CH+PVA+TREO دسته‌بندی شده و ویژگی‌های میکروبی (TVC و PTC) و فیزیکوشیمیایی (pH، PV، TVB-N، FFA و TBARS) آن‌ها در روزهای ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ ارزیابی گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که نمونه شاهد در روز ششم به‌دلیل عبور از حد مجاز شاخص‌های میکروبی و شیمیایی (TVB-N، ۲۶/۵۰ mg N/100g و TVC، ۸/۳۵ log CFU/g) فاسد شد. استفاده از الیاف CH+PVA روند فساد را تا روز هشتم به تأخیر انداخت. با این‌حال، تیمار حاوی عصاره گز (CH+PVA+TREO) به‌طور معناداری (P<۰/۰۵) بهترین عملکرد را نشان داد؛ به‌طوری‌که به‌دلیل اثرات ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی کیتوزان و عصاره گز و همچنین رهایش کنترل‌شده احتمالی آن‌ها، تمامی شاخص‌های کیفی گوشت از جمله TVB-N (۲۳/۵۰ mg N/100g)، TBARS (۱/۴۵ mg MDA/kg) و TVC (log CFU/g ۷/۲۲) تا پایان روز دهم در محدوده مجاز مصرف باقی ماندند.

نتیجه‌گیری: الیاف الکتروریسی‌شده حاوی عصاره گز یک بستر کارآمد برای مهار فساد اکسیداتیو و میکروبی است و پتانسیل بالایی به عنوان بسته‌بندی فعال و زیست‌تخریب‌پذیر برای افزایش عمر ماندگاری فرآورده‌های گوشتی دارد.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی فعال ضدمیکروبی، الکتروریسی، گوشت گاو چرخ‌کرده، اسانس گز

مجله "تحقیقات پزشکی ترجمانی". ۱۴۰۵؛ ۳۳ (۳): در حال انتشار.

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۶ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۷

[۱] گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

[۲] گروه تغذیه و بهداشت مواد غذایی، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

***نویسنده مسئول: سید ضیاء محمدی مبارکه، الهام انصاری‌فر**

سید ضیاء محمدی مبارکه: استان تهران، تهران، دانشگاه پیام نور، گروه شیمی.

تلفن: ۰۳۴۳۳۲۲۰۳۲ پست الکترونیکی: szmohammadi@yahoo

الهام انصاری‌فر: استان خراسان جنوبی، بیرجند، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، گروه تغذیه و بهداشت مواد غذایی.

تلفن: ۰۵۶۳۲۳۸۱۶۸۰ پست الکترونیکی: ansarifar.elham@bums.ac.ir

مقدمه

گوشت یکی از مهم‌ترین منابع پروتئین، سرشار از اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها، مواد معدنی و انرژی بالا است (۱). گوشت و فرآورده‌های گوشتی نسبت به واکنش‌های اکسیداتیو و فساد بسیار حساس هستند. از سوی دیگر، انجام عملیاتی مانند چرخ‌کردن گوشت به‌دلیل افزایش سطح اکسیژن و در نهایت افزایش رشد میکروارگانیسم‌های هوازی، سرعت فساد آن را افزایش می‌دهد (۲). یکی از راه‌های نگهداری گوشت چرخ‌کرده، نگهداری آن در دمای یخچال است. همچنین، امروزه استفاده از افزودنی‌های غذایی مانند اسانس‌های گیاهی و پلیمرهای طبیعی برای افزایش ماندگاری مواد غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۳).

استفاده از اسانس‌ها به عنوان نگهدارنده‌های طبیعی به دلیل خواص ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی آن‌ها در صنایع غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در واقع، این ترکیبات علاوه بر مهار رشد میکروبی، خواص حسی محصولات غذایی را حفظ می‌کنند(۱). گیاه گز با نام علمی Tamarix ramosissima، گیاهی دارویی است که بیشتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌روید (۴). برگ‌های این گیاه حاوی اسیدگالیک و تانن و خود گیاه حاوی زانگین است. از خواص درمانی زانگان می‌توان به تسکین سردرد، درمان اسهال و سوختگی اشاره کرد (۵). خواص ضدمیکروبی این گیاه در مطالعات سایر دانشمندان نیز تأیید شده است (۷، ۶، ۴).

یکی از روش‌های تولید الیاف پلیمری در صنایع غذایی، استفاده از الکتروریسی است. الکتروریسی یک تکنیک مؤثر برای تولید مواد بسته‌بندی فعال است که موادی مانند روغن‌های ضروری گیاهی را در خود جای می‌دهند (۸). مزایای کلیدی الکتروریسی شامل ریزپوشانی مؤثر، مقرون‌به‌صرفه بودن و سازگاری با فشارهای محیطی و دماهای بالا است(۹).

کیتوزان یک پلیمر کاتیونی مشتق شده از کیتین است. این پلیمر زیست تخریب پذیر، دارای سمیت کم، نفوذپذیری عالی در برابر آب و قابلیت تشکیل فیلم عالی است (۱۰). همچنین، کیتوزان به‌دلیل گروه‌های عاملی اکسیژن فراوان، پیوند قوی با مواد برقرار می‌کند و از تغییر شکل نسبی جلوگیری می‌کند (۲). این خواص، کیتوزان را به یک ترکیب ضدمیکروبی بسیار مؤثر و جذاب تبدیل کرده است.

پلی‌وینیل الکل یک پلیمر مصنوعی، غیرمضر، غیرسرطان‌زا و زیست‌تخریب‌پذیر است. همچنین به دلیل آب‌گریزی بالا، خواص خوب تشکیل فیلم و حلالیت در آب، در صنعت بسته‌بندی به همراه سایر پلیمرهای طبیعی و مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد(۱۱). با این حال، به دلیل اثر ضدمیکروبی ضعیف پلی وینیل الکل، کاربرد گسترده‌تر آن در بسته‌بندی مواد غذایی محدود است. به‌عنوان یک راه حل، PVA با پلیمرهای دیگری مانند کیتوزان ترکیب می‌شود تا قدرت ضدمیکروبی را افزایش داده و فیلمی از هر دو پلیمر تشکیل دهد (۱۲). این پژوهش با هدف طراحی و تولید الیاف ترکیبی پلی‌وینیل الکل/کیتوزان حاوی اسانس گز از طریق فرآیند الکتروریسی و ارزیابی عملکرد آن‌ها در افزایش زمان ماندگاری و حفظ کیفیت گوشت چرخ‌کرده انجام می‌شود. انتظار می‌رود این الیاف با کنترل رهاسازی تدریجی اسانس گز، از رشد میکروارگانیسم‌های فاسدکننده و اکسیداسیون چربی‌ها جلوگیری کرده و در نتیجه کیفیت حسی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی محصول را در طول دوره نگهداری بهبود بخشند.

روش تحقیق

تهیه محلول

محلولی از CH+PVA با حل کردن ۲/۵٪ پلیمر کیتوزان (M.W ۱۹۰,۰۰۰–۳۱۰,۰۰۰ Da، سیگما–آلدریچ) و ۱۰ ٪ پلیمر PVA (Mw ۱۳۰,۰۰۰ Da، سیگما–آلدریچ) در آب مقطر با ۱٪ اسید استیک گلاسیال در دمای ۸ درجه سانتی‌گراد تا همگن شدن تهیه شد. اسانس گز (۴٪ w/v) به محلول CH+PVA اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت مخلوط شد.

الکتروریسی

برای تولید الیاف از یک دستگاه الکتروریسی (مدل ES-1000، شرکت فناوری‌های نانومقیاس، ایران) استفاده شد. محلول پلیمری به یک سرنگ ۵ میلی‌لیتری تزریق شد، سپس ولتاژ دستگاه به

سوزن متصل به سرنگ اعمال شد. در جلوی این سرنگ، یک فویل آلومینیومی روی جمع‌کننده دستگاه قرار داده شد. ولتاژ اعمالی ۱۵ کیلوولت، سرعت تغذیه ۰/۵ میلی‌لیتر و فاصله بین سرنگ و جمع‌کننده ۱۵ سانتی‌متر بود (۱۳).

خصوصیات الیاف الکتروریسی

میکروسکوپ الکترونی روبشی

به‌منظور بررسی ریخت‌شناسی سطحی و تعیین توزیع قطر الیاف الکتروریسی‌شده، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل Leo 1450VPSEM) استفاده گردید. نمونه‌ها پیش از تصویربرداری، به‌منظور افزایش رسانایی الکتریکی، با لایه‌ای نازک از طلا به روش اسپاترینگ پوشش‌دهی شدند. تصویربرداری با ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۰ کیلوولت، فاصله کاری حدود ۱۵ میلی‌متر انجام شد (۱۳).

اندازه‌گیری بارگذاری عصاره و بازده کپسولاسیون

به‌منظور تعیین مقدار عصاره محصورشده در الیاف CH+PVA+TREO، مقدار ۵ میلی‌گرم از نمونه الیاف در ۱ میلی‌لیتر از محلول آبی اتانول ۵۰ درصد (v/v) حل شد و سپس به‌مدت ۱۰ ساعت بر روی شیکر با دور ۱۲۰ دور در دقیقه قرار گرفت تا عصاره به‌طور کامل از ماتریس پلیمری استخراج شود. برای حذف اثر جذب زمینه‌ی پلیمرهای پلی وینیل الکل و کیتوزان، ابتدا دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis با استفاده از محلول حاوی تیمار اول (الیاف بدون عصاره) که تحت همین شرایط استخراج شده بود، به‌عنوان نمونه‌ی شاهد (بلانک) صفر گردید. سپس جذب نوری محلول حاوی تیمار دوم در طول‌موج بیشینه‌ی جذب عصاره قرائت شد. با توجه به اینکه تیمار اول فاقد عصاره است، پارامترهای بارگذاری عصاره (DLC) و بازده کپسولاسیون (EE) صرفاً برای تیمار دوم با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

$$DLC\ (\%) = \frac{W_{encapsulated\ drug}}{W_{fiber}} \times 100$$

$$EE\ (\%) = \frac{W_{encapsulated\ drug}}{W_{initial\ drug}} \times 100$$

آماده‌سازی گوشت چرخ‌کرده و بسته‌بندی فعال

گوشت چرخ‌کرده گاو از یک کشتارگاه محلی واقع در بیرجند خریداری شد. با استفاده از یک طرح فاکتوریل، تأثیر الیاف الکتروریسی CH+PVA، با یا بدون TREO، بر ماندگاری گوشت چرخ‌کرده گاو در طول نگهداری در یخچال ارزیابی شد. گوشت چرخ‌کرده گاو در ظروف پلی‌اتیلنی کاملاً استریل با درب‌های محکم و ایمن (حدود ۱۵۰ گرم در هر بسته) به سه گروه تقسیم شد. گروه کنترل که گوشت چرخ‌کرده در ظرف درب‌دار قرار داده شد. گروه CH+PVAگوشت چرخ‌کرده در یک بسته‌بندی فعال با فیلم الیاف CH+PVAبدون TREO روی درب (قسمت داخلی آن) قرار داده شد. گروه :CH+PVA+TREO که گوشت چرخ‌کرده در یک بسته‌بندی فعال با فیلم الیاف CH+PVA حاوی TREO روی درب (قسمت داخلی آن) قرار داده شد. بسته‌های گوشت چرخ‌کرده در شرایط سرد (دمای ۰/۵±۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۸٪) نگهداری شدند. پارامترهای کیفی و فیزیکوشیمیایی گوشت چرخ‌کرده در روزهای ۰، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ نگهداری با ارزیابی‌های مستقل در سه تکرار (سه بسته مجزا برای هر تیمار در هر روز) ارزیابی شدند.

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی

آنالیز میکروبی

برای ارزیابی تغییرات بار میکروبی کل (TVC) و باکتری‌های سرمادوست (PTC)، ۱۰ گرم از نمونه با ۹۰ میلی‌لیتر آب پپتون همگن شد و رقت‌های اعشاری در محلول آب پپتون ۰/۱ ٪ تهیه و سپس روی محیط کشت آگار کشت داده شد. ارزیابی‌های میکروبی شامل تعیین تعداد کل باکتری‌های زنده و تعداد باکتری‌های سرمادوست در محیط کشت پلیت کانت آگار (PCA) به ترتیب در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ روز بود و در نهایت به صورت Log cfu/g بیان شد (۱۴).

pH

برای این منظور از یک pH متر دیجیتال کالیبره شده استفاده شد. ۵ گرم از نمونه به همراه ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر در ارلن مایر ریخته شد، به مدت چند دقیقه همگن‌سازی شد و در نهایت عدد روی دستگاه خوانده شد (۱۵).

شاخص پراکسید (PV (Peroxide value

۰/۵ میلی‌لیتر محلول اشباع یدید پتاسیم به مخلوطی از چربی استخراج شده از گوشت چرخ شده و ۱۵۰ میلی‌لیتر محلول کلروفرم/اسید استیک (به نسبت ۳:۲) اضافه شد. سپس، پس از افزودن معرف مخلوط همگن شد. در نهایت، تیتراسیون با تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ انجام شد (۱۶).

شاخص نیتروژن بازی فرار کل (Total Volatile Basic Nitrogen (TVB_N

۱۰ گرم گوشت چرخ‌کرده به همراه ۲ گرم اکسید منیزیم و ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در یک بالن کجلدال ریخته و سپس حرارت داده شد. سپس، یک بالن ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۲۵ میلی‌لیتر اسید بوریک ۲٪ و چند قطره معرف متیل رد به انتهای بالن متصل شد. سپس، تقطیر تا زمان ظاهر شدن رنگ زرد ادامه یافت. در نهایت، تیتراسیون با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تا زمان ظاهر شدن مجدد رنگ قرمز ادامه یافت (۱۷).

شاخص اسید چرب آزاد (FFA (Free Fatty Acid

چربی استخراج شده از نمونه گوشت چرخ کرده به همراه ۳۰ میلی‌لیتر الکل خنثی در ارلن مایر ریخته شد و چند قطره معرف فنل فتالئین به مخلوط حاصل اضافه شد. سپس با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱٪، تیتراسیون تا ظهور رنگ صورتی کمرنگ ادامه یافت (۱۸).

شاخص تیوباربیتوریک اسید (Thiobarbituric Acid (TBARS

۵ گرم گوشت با محلول تری‌کلرواستیک اسید (TCA) هموژن و سپس فیلتر شد. ۵ میلی‌لیتر از عصاره با ۵ میلی‌لیتر معرف تیوباربیتوریک اسید (TBA) مخلوط شده و به مدت ۲۰ دقیقه در بن‌ماری جوش حرارت دید. پس از سرد شدن، شدت رنگ صورتی کمپلکس تشکیل‌شده در طول موج ۵۳۲ نانومتر با اسپکتروفوتومتر خوانده شد (۱۸).

تحلیل آماری

طرح پایه آزمایشی، طرح کاملاً تصادفی در نظر گرفته شد. پیش‌از تحلیل پارامتریک، پیش‌فرض نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف مورد سنجش قرار گرفت. سپس، برای بررسی تأثیر فاکتورها، از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شد و در موارد مشاهده اثرات معنی‌دار، مقایسه میانگین‌ها به‌کمک آزمون چنددامنه‌ای توکی در سطح معنی‌داری P<۰/۰۵ انجام شد. کلیه محاسبات آماری نیز با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

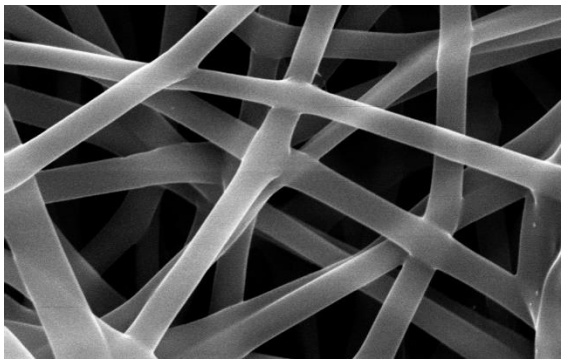
یافته‌ها

خصوصیات الیاف الکتروریسی

شکل ۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ساختار الیاف الکتروریسی‌شده CH+PVA+TREO را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در تصویر مشاهده می‌شود، الیاف دارای مورفولوژی یکنواخت، پیوسته و بدون وجود گره هستند. میانگین قطر الیاف ۱۰۰ ± ۵۵۰ نانومتر برآورد شد. توزیع قطر الیاف نسبتاً یکنواخت بوده و تغییرات شدید در ضخامت الیاف مشاهده نشد. علاوه بر این، سطح الیاف صاف بوده و هیچ‌گونه ترک، شکستگی یا زبری قابل توجهی در سطح آن‌ها دیده نمی‌شود که بیانگر تشکیل پایدار جت الکتروریسی و تبخیر مناسب حلال در طول فرآیند است.

همچنین نتایج نشان داد که بازده کپسوله‌سازی عصاره گز در الیاف الکتروریسی CH+PVA برابر با ۲/۱±۷۶/۳ و ظرفیت

بارگذاری عصاره ۰/۵±۶/۹ بود. این نتایج بیانگر آن است که بخش عمده‌ای از ترکیبات زیست‌فعال عصاره در طی فرآیند الکتروریسی در ماتریس پلیمری محصور شده، هرچند بخشی از عصاره در طول آماده‌سازی محلول یا فرآیند الکتروریسی از دست رفته است.



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه CH+PVA+TREO (بزرگنمایی ۲۵۰۰۰) خصوصیات میکروبی و شیمیایی گوشت چرخ شده

آنالیز میکروبی

نتایج مربوط به تغییرات بار میکروبی کل (TVC) و شمارش باکتری‌های سرمادوست (PTC) نمونه‌های گوشت چرخ‌کرده طی ۱۰ روز نگهداری در دمای یخچال در جدول ۱ گزارش شده است. بار میکروبی اولیه (روز صفر) برای شاخص‌های TVC و PTC در تمامی نمونه‌ها به ترتیب تقریبا برابر با ۴/۲۲ و ۳/۱۱ log CFU/g بود که نشان‌دهنده کیفیت اولیه یکسان و قابل‌قبول گوشت است. با گذشت زمان، روند رشد میکروبی در تمامی تیمارها افزایشی بود. در نمونه شاهد (Control)، سرعت تکثیر باکتری‌ها بسیار بالا بود؛ به‌طوری‌که مقدار TVC در روز ششم به ۸/۳۵ رسید که از حد مجاز مصرف گوشت تازه (حدود ۷ log CFU/g) (۱۴) فراتر رفت. در مقابل، استفاده از تیمار PVA+CH سرعت رشد میکروبی را کاهش داد و رسیدن به حد فساد را تا روز هشتم (log ۷/۵۵ CFU/g) به تأخیر انداخت. بهترین عملکرد در کنترل رشد میکروبی مربوط به تیمار حاوی عصاره گز (PVA+ CH +TREO) بود. در این تیمار، رشد میکروارگانیسم‌ها به شدت سرکوب شد و مقادیر TVC تا روز دهم در محدوده قابل‌قبول (۷/۲۲) باقی ماند. روند مشابهی برای باکتری‌های سرمادوست (PTC) نیز مشاهده شد؛ به‌طوری‌که در روز پایانی (روز دهم)، جمعیت این باکتری‌ها در نمونه شاهد به ۱۴/۳۵ رسید، در حالی‌که این مقدار برای تیمارهای PVA+CH و PVA+CH+TREO به صورت معنی‌داری (P<۰/۰۵) کمتر و به ترتیب برابر با ۹/۹۱ و ۷/۵۵ log CFU/g بود.

pH

روند تغییرات pH در نمونه‌های گوشت چرخ‌کرده طی ۱۰ روز نگهداری در دمای یخچال در تیمارهای مختلف بررسی شد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، مقدار اولیه pH در روز صفر برای تمامی نمونه‌ها در محدوده مطلوب گوشت تازه (حدود ۵/۶۵ تا ۵/۷۰) قرار داشت و تفاوت آماری معناداری میان آن‌ها مشاهده نشد (P>۰/۰۵) با گذشت زمان، روند افزایشی در pH تمامی نمونه‌ها مشاهده شد، اما شیب این افزایش به شدت تحت تأثیر نوع بسته‌بندی قرار داشت. در نمونه شاهد، مقدار pH با شیب تندی افزایش یافت و در پایان روز ششم از مرز فسادپذیری (pH > ۶/۲) عبور کرد و تفاوت معناداری با سایر گروه‌ها نشان داد (P<۰/۰۵). در مقابل، استفاده از الیاف الکتروریسی‌شده روند افزایش pH را به تعویق انداخت. در بسته‌بندی حاوی PVA+CH، مقدار pH تا روز ششم در محدوده قابل قبول حفظ شد اما در روز هشتم افزایش قابل‌توجهی یافت. بهترین عملکرد در کنترل تغییرات pH مربوط به نمونه تیمار شده با الیاف حاوی عصاره گز (PVA+CH+TREO) بود. در این نمونه، به دلیل اثرات مضاعف کیتوزان و عصاره گز، کمترین میزان افزایش pH ثبت شد؛ به‌طوری‌که حتی در روز دهم نگهداری، مقدار pH پایین‌تر از سایر نمونه‌ها بود.

جدول۱- تغییرات باکتری‌های کل و سرماگرا گوشت چرخ‌کرده گاو بسته‌بندی‌شده در بسته‌بندی کنترل، CH+PVA، CH+PVA+TREO طی ۱۰ روز نگهداری در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد.

پارامتر	تیمار/ روز	۰	۲	٤	٦	۸	۱۰
TVC (Log CFU/g)	Control	۴.۲۲±۰.۰۷$^{a}_{A}$	۵.۳۲±۰.۱۲$^{a}_{B}$	۶.۸۴±۰.۱۱$^{a}_{C}$	۸.۳۵±۰.۱۸$^{a}_{D}$	۱۰.۲۲±۰.۱۲$^{a}_{E}$	۱۲.۴۲±۰.۲۱$^{a}_{F}$
	CH+PVA	۴.۱۸±۰.۰۲$^{a}_{A}$	۴.۸۲±۰.۰۵$^{b}_{B}$	۵.۰۴±۰.۰۸$^{b}_{C}$	۶.۱۲±۰.۰۹$^{b}_{D}$	۷.۵۵±۰.۱۴$^{b}_{E}$	۸.۸۴±۰.۱۶$^{b}_{F}$
	CH+PVA+TREO	۴.۲۵±۰.۰۳$^{a}_{A}$	۴.۶۳±۰.۰۴$^{c}_{B}$	۴.۹۴±۰.۱۱$^{c}_{C}$	۵.۸۴±۰.۱۲$^{c}_{D}$	۶.۴۵±۰.۰۸$^{c}_{E}$	۷.۲۲±۰.۰۵$^{c}_{F}$
PTC (Log CFU/g)	Control	۳.۱۱±۰.۰۸$^{a}_{A}$	۵.۲۳±۰.۱۲$^{a}_{B}$	۷.۸۱±۰.۱۵$^{a}_{C}$	۹.۵۴±۰.۱۸$^{a}_{D}$	۱۲.۱۲±۰.۲۱$^{a}_{E}$	۱۴.۳۵±۰.۲۵$^{a}_{F}$
	CH+PVA	۳.۰۲±۰.۰۴ $^{a}_{A}$	۴.۵۱±۰.۰۹$^{b}_{B}$	۵.۸۲±۰.۱۱$^{b}_{C}$	۷.۲۳±۰.۱۴$^{b}_{D}$	۸.۶۴±۰.۱۵$^{b}_{E}$	۹.۹۱±۰.۱۸$^{b}_{F}$
	CH+PVA+TREO	۳.۱۲±۰.۰۶$^{a}_{A}$	۴.۰۲±۰.۰۶$^{c}_{B}$	۴.۹۱±۰.۰۸$^{c}_{C}$	۵.۸۵±۰.۱۲$^{c}_{D}$	۶.۶۲±۰.۱۰$^{c}_{E}$	۷.۵۴±۰.۱۴$^{c}_{F}$

حروف کوچک :(a, b, c) برای مقایسه بین گروه‌های مختلف (تیمارها) در یک زمان مشخص.گروه‌هایی که در یک ستون حرف مشترک ندارند، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند (P<۰/۰۵). حروف بزرگ :(A, B, C, D, E, F) برای مقایسه تأثیر زمان بر روی هر گروه مشخص. مقادیری که در یک سطر حرف مشترک ندارند، نشان‌دهنده تغییرات معنی‌دار در طول زمان هستند (P<۰/۰۵).

جدول۲- تغییرات خصوصیات شیمیایی گوشت چرخ‌کرده گاو بسته‌بندی‌شده در بسته‌بندی کنترل، CH+PVA، CH+PVA+ TREO طی ۱۰ روز نگهداری در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد.

پارامتر	تیمار/ روز	۰	۲	٤	٦	۸	۱۰
pH	Control	۵.۵۲±۰.۰۴$^{a}_{A}$	۵.۶۵±۰.۰۵$^{a}_{A}$	۵.۸۸±۰.۰۳$^{a}_{AB}$	۶.۱۵±۰.۰۶$^{a}_{B}$	۶.۴۲±۰.۰۵$^{a}_{BC}$	۶.۷۵±۰.۰۴$^{a}_{C}$
	CH+PVA	۵.۵۴±۰.۰۲$^{a}_{A}$	۵.۵۸±۰.۰۳$^{b}_{A}$	۵.۶۹±۰.۰۵$^{b}_{AB}$	۵.۸۵±۰.۰۴$^{b}_{B}$	۶.۱۲±۰.۰۶$^{b}_{BC}$	۶.۳۸±۰.۰۵$^{b}_{C}$
	CH+PVA+TREO	۵.۵۲±۰.۰۳$^{a}_{A}$	۵.۵۵±۰.۰۲$^{b}_{A}$	۵.۶۰±۰.۰۴$^{c}_{AB}$	۵.۶۸±۰.۰۳$^{c}_{B}$	۵.۸۲±۰.۰۵$^{c}_{BC}$	۵.۹۵±۰.۰۴$^{c}_{C}$
PV (meq/kg)	Control	۰.۱۸±۰.۰۸$^{a}_{A}$	۰.۳۸±۰.۰۲$^{a}_{B}$	۰.۸۵±۰.۰۵$^{a}_{C}$	۱.۲۵±۰.۰۵$^{a}_{D}$	۱.۸۸±۰.۰۴$^{a}_{E}$	۲.۷۶±۰.۰۶$^{a}_{F}$
	CH+PVA	۰.۱۶±۰.۰۴$^{a}_{A}$	۰.۳۱±۰.۰۱$^{b}_{B}$	۰.۶۵±۰.۰۱$^{b}_{C}$	۰.۹۸±۰.۰۳$^{b}_{D}$	۱.۴۵±۰.۰۵$^{b}_{E}$	۲.۰۵±۰.۰۴$^{b}_{F}$
	CH+PVA+TREO	۰.۱۸±۰.۰۱$^{a}_{A}$	۰.۲۶±۰.۰۲$^{c}_{B}$	۰.۵۱±۰.۰۲$^{c}_{C}$	۰.۷۵±۰.۰۲$^{c}_{D}$	۱.۰۵±۰.۰۴$^{c}_{E}$	۱.۵۴±۰.۰۴$^{c}_{F}$
TVB-N (mg N/100g)	Control	۸.۵۲±۰.۳۰$^{a}_{A}$	۱۲.۴۵±۰.۵۵$^{a}_{B}$	۱۸.۲۰±۰.۶۰$^{a}_{C}$	۲۶.۵۰±۰.۸۵$^{a}_{D}$	۳۴.۲۰±۱.۱۰$^{a}_{E}$	۴۲.۱۰±۱.۲۰$^{a}_{F}$
	CH+PVA	۸.۵۰±۰.۴۰$^{a}_{A}$	۱۰.۲۰±۰.۴۵$^{b}_{B}$	۱۴.۵۰±۰.۵۰$^{b}_{C}$	۱۹.۸۰±۰.۶۵$^{b}_{D}$	۲۵.۴۰±۰.۷۰$^{b}_{E}$	۳۰.۵۰±۰.۲۰$^{b}_{F}$
	CH+PVA+TREO	۸.۵۴±۰.۳۵$^{a}_{A}$	۹.۵۵±۰.۳۵$^{c}_{B}$	۱۲.۱۰±۰.۴۰$^{c}_{C}$	۱۵.۴۰±۰.۵۵$^{c}_{D}$	۱۹.۲۰±۰.۴۵$^{c}_{E}$	۲۳.۲۰±۰.۶۰$^{c}_{F}$
FFA (%)	Control	۰.۵۵±۰.۰۵$^{a}_{A}$	۰.۹۵±۰.۰۸$^{a}_{B}$	۱.۴۵±۰.۱۰$^{a}_{C}$	۲.۱۰±۰.۱۵$^{a}_{D}$	۲.۸۵±۰.۱۸$^{a}_{E}$	۳.۶۰±۰.۲۰$^{a}_{F}$
	CH+PVA	۰.۵۴±۰.۰۵ $^{a}_{A}$	۰.۷۵±۰.۰۶$^{b}_{B}$	۱.۰۵±۰.۰۸$^{b}_{C}$	۱.۴۰±۰.۱۰$^{b}_{D}$	۱.۸۵±۰.۱۲$^{b}_{E}$	۲.۳۰±۰.۱۵$^{b}_{F}$
	CH+PVA+TREO	۰.۵۳±۰.۰۶$^{a}_{A}$	۰.۶۲±۰.۰۴$^{c}_{B}$	۰.۸۵±۰.۰۶$^{c}_{C}$	۱.۱۵±۰.۰۸$^{c}_{D}$	۱.۴۵±۰.۰۹$^{c}_{E}$	۱.۷۵±۰.۱۰$^{c}_{F}$
TBARS (mg MDA/ kg)	Control	۰.۲۰±۰.۰۲$^{a}_{A}$	۰.۶۵±۰.۰۵$^{a}_{B}$	۱.۱۵±۰.۰۸$^{a}_{C}$	۱.۹۰±۰.۱۲$^{a}_{D}$	۲.۷۵±۰.۱۵$^{a}_{E}$	۳.۵۰±۰.۱۸$^{a}_{F}$
	CH+PVA	۰.۱۸±۰.۰۲$^{a}_{A}$	۰.۴۵±۰.۰۳$^{b}_{B}$	۰.۸۰±۰.۰۶$^{b}_{C}$	۱.۲۵±۰.۰۸$^{b}_{D}$	۱.۸۵±۰.۱۰$^{b}_{E}$	۲.۴۰±۰.۱۵$^{b}_{F}$
	CH+PVA+TREO	۰.۲۰±۰.۰۳$^{a}_{A}$	۰.۳۲±۰.۰۲$^{c}_{B}$	۰.۵۵±۰.۰۴$^{c}_{C}$	۰.۸۰±۰.۰۶$^{c}_{D}$	۱.۱۰±۰.۰۸$^{c}_{E}$	۱.۴۵±۰.۱۰$^{c}_{F}$

حروف کوچک :(a, b, c) برای مقایسه بین گروه‌های مختلف (تیمارها) در یک زمان مشخص.گروه‌هایی که در یک ستون حرف مشترک ندارند، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند . (P<۰/۰۵). حروف بزرگ :(A, B, C, D, E, F) برای مقایسه تأثیر زمان بر روی هر گروه مشخص. مقادیری که در یک سطر حرف مشترک ندارند، نشان‌دهنده تغییرات معنی‌دار در طول زمان هستند (P<۰/۰۵).

شاخص پراکسید PV

میزان PV گوشت چرخ‌کرده در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در جدول (۲) نشان داده شده است. میزان پراکسید در تمام نمونه‌ها در طول دوره نگهداری به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. میزان PV اولیه نمونه‌ها به‌طور متوسط ۰/۱۸ میلی‌اکی والان اکسیژن فعال به ازای هر کیلوگرم چربی (meq/kg fat) بود. با این حال، PV به‌طور پیوسته افزایش یافت و تا روز ۱۰ به ترتیب برای تیمارهای کنترل، CH+PVA و CH+PVA+TREO به ۲/۷۶، ۲/۰۵ و ۱/۵۴ رسید. ارزیابی مقادیر شاخص پراکسید (PV) به عنوان نشانگر اکسیداسیون اولیه لیپیدها در نمونه‌های گوشت چرخ‌کرده طی ۱۰ روز نگهداری در دمای یخچال انجام شد. در روز صفر (آغاز دوره)، میزان PV در تمامی نمونه‌ها در سطح پایینی قرار داشت و هیچ‌گونه تفاوت آماری معناداری بین گروه‌های مختلف مشاهده نشد (P>۰/۰۵). طی دوره نگهداری ۱۰ روزه، روند افزایشی در میزان پراکسید تمامی نمونه‌ها ثبت گردید که نشان‌دهنده پیشرفت واکنش‌های اکسیداتیو است. با این حال، سرعت این افزایش به‌طور چشمگیری تحت تأثیر نوع تیمار قرار داشت. نمونه شاهد بالاترین سرعت اکسیداسیون را تجربه کرد؛ به طوری که در روز دهم به بالاترین میزان خود یعنی meq/kg ۲/۷۵ رسید. استفاده از الیاف الکتروریسی‌شده (CH+PVA) توانست به‌طور معناداری (P<۰/۰۵) روند تولید پراکسیدها را نسبت به نمونه شاهد کندتر کند (رسیدن به meq/kg ۲/۰۵ در روز دهم). با این وجود، موفق‌ترین عملکرد در مهار اکسیداسیون اولیه چربی‌ها متعلق به نمونه (CH+PVA+TREO) بود. در این گروه، میزان پراکسید در تمام روزهای ارزیابی به‌طور معناداری پایین‌تر از دو گروه دیگر بود (P<۰/۰۵) و در پایان دوره نگهداری، مقدار آن تنها به meq/kg ۱/۵۵ رسید که نشان‌دهنده اثربخشی بالای عصاره گز در به تعویق انداختن فساد شیمیایی گوشت است.

شاخص مجموع بازهای نیتروژنی فرار TVB_N

شاخص مجموع بازهای نیتروژنی فرار (TVB-N) به عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده فساد پروتئینی و تازگی گوشت مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۲). در روز صفر، میزان TVB-N در تمامی تیمارها یکسان و برابر با ۸/۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم گوشت بود که نشان‌دهنده کیفیت اولیه مطلوب و یکسان گوشت تازه برای تمام گروه‌ها است و تفاوت آماری معناداری بین آن‌ها مشاهده نشد (P>۰/۰۵). طی ۱۰ روز نگهداری در دمای یخچال، روند افزایشی پیوسته‌ای در مقادیر TVB-N برای تمام نمونه‌ها ثبت شد؛ با این وجود، شیب این افزایش به شدت تحت تأثیر نوع تیمار اعمال‌شده بود. نمونه شاهد (Control) با بیشترین سرعت تغییرات روبرو شد؛ به‌طوری که در روز ششم میزان TVB-N آن به ۲۶/۵۰ mg N/100g رسید که از حد مجاز پذیرش برای گوشت تازه (معمولاً حدود ۲۵ میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم) عبور کرد. این روند افزایشی در نمونه شاهد تا روز دهم ادامه یافت و به حداکثر مقدار ۴۲/۱۰ mg N/100g رسید. استفاده از تیمار فاقد عصاره (CH+PVA) در بسته‌بندی گوشت چرخ‌شده توانست به‌طور معناداری (P<۰/۰۵) سرعت تولید بازهای نیتروژنی را در مقایسه با نمونه شاهد کاهش دهد. در این تیمار، عبور از مرز فساد (حدود ۲۵ میلی‌گرم) (۱۷) تا روز هشتم (۲۵/۴۰ mg N/100g) به تعویق افتاد. بیشترین اثربخشی در مهار تولید TVB-N مربوط به نمونه تیمار شده با الیاف حاوی عصاره گز (CH+PVA+TREO) بود. در تمامی روزهای ارزیابی، این گروه به‌طور معناداری (P<۰/۰۵) کمترین میزان TVB-N را در مقایسه با سایر گروه‌ها نشان داد. قابل توجه است که استفاده از این الیاف الکتروریسی فعال توانست میزان TVB-N را تا پایان روز دهم نگهداری در سطح mg ۲۳/۲۰ N/100g حفظ کند که همچنان پایین‌تر از حد مجاز فساد ارزیابی می‌شود. این نتیجه نشان‌دهنده افزایش چشمگیر ماندگاری گوشت به واسطه حضور عصاره گز در ساختار الیاف الکتروریسی است.

شاخص اسیدهای چرب آزاد FFA

شاخص اسیدهای چرب آزاد (FFA) به‌عنوان معیاری برای ارزیابی میزان هیدرولیز چربی‌ها (تندشدگی هیدرولیتیک) در نمونه‌های گوشت چرخ‌کرده طی ۱۰ روز نگهداری در دمای یخچال

مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). در روز صفر، میزان FFA در تمامی تیمارها یکسان و برابر با ۰/۵۵ درصد اسید اولئیک بود و هیچ‌گونه تفاوت آماری معناداری (P>۰/۰۵) بین گروه‌ها مشاهده نشد که نشان‌دهنده شرایط اولیه یکسان و کیفیت مطلوب چربی در تمام نمونه‌ها است. با گذشت زمان، روند افزایشی در مقادیر FFA برای تمامی تیمارها مشاهده شد؛ با این‌حال، شیب این افزایش به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر نوع پوشش قرار داشت. نمونه شاهد (Control) سریع‌ترین روند افزایش هیدرولیز چربی را تجربه کرد، به‌طوری‌که در روز ششم به مقدار ۲/۱۰ درصد رسید و در پایان دوره نگهداری (روز دهم) بالاترین میزان FFA یعنی ۳/۶۰ درصد را ثبت نمود. استفاده از الیاف فاقد عصاره (CH+PVA) توانست به‌طور معناداری (P<۰/۰۵) از سرعت تولید اسیدهای چرب آزاد در مقایسه با نمونه شاهد بکاهد. در این گروه، میزان FFA در روز دهم به ۲/۳۰ درصد رسید که تفاوت فاحشی با گروه کنترل داشت. با این وجود، مؤثرترین تیمار در مهار هیدرولیز چربی‌ها، گروه پوشش‌داده‌شده با الیاف حاوی عصاره گز (CH+PVA+TREO) بود. از روز سوم تا پایان دوره، این تیمار به طور پیوسته و معناداری (P<۰/۰۵) کمترین میزان FFA را در مقایسه با سایر گروه‌ها نشان داد. در پایان روز دهم، مقدار FFA در این گروه تنها ۱/۷۵ درصد بود که نشان‌دهنده مهار قدرتمند آنزیم‌های لیپولیتیک و حفظ کیفیت چربی گوشت به واسطه حضور عصاره گز در ساختار الیاف الکتروریسی است.

شاخص تیوباربیتوریک اسید TBARS

شاخص TBARS برای ارزیابی میزان اکسیداسیون ثانویه لیپیدها (تولید مالون‌دی‌آلدئید) در نمونه‌های گوشت چرخ‌کرده طی دوره نگهداری اندازه‌گیری شد (جدول ۲). در روز صفر، میزان TBARS در تمامی نمونه‌ها یکسان و برابر با ۰/۲۰ میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدئید بر کیلوگرم گوشت بود که نشان‌دهنده کیفیت اولیه مشابه و عدم وجود تفاوت آماری معنادار (P>۰/۰۵) بین تیمارها در آغاز دوره است. طی ۱۰ روز نگهداری در یخچال، میزان TBARS در تمامی گروه‌ها روند افزایشی نشان داد که بیانگر پیشرفت فرآیند اکسیداسیون چربی‌هاست. با این حال، شیب این افزایش در نمونه شاهد (Control) بسیار تندتر از سایر گروه‌ها بود؛ به‌طوری‌که در روز ششم به ۱/۹۰ رسید و در روز دهم بالاترین مقدار اکسیداسیون معادل ۳/۵۰ میلی‌گرم MDA بر کیلوگرم را ثبت کرد. استفاده از الیاف الکتروریسی (CH+PVA) توانست به‌طور معناداری (P<۰/۰۵) سرعت پیشرفت اکسیداسیون را کاهش دهد. مقادیر TBARS در این گروه از روز دوم تا پایان دوره همواره پایین‌تر از نمونه شاهد بود و در روز دهم به ۲/۴۰ رسید. تیمار حاوی عصاره (CH+PVA+TREO) موفق‌ترین عملکرد را در مهار اکسیداسیون لیپیدها به نمایش گذاشت. در روز دهم، میزان TBARS در این تیمار تنها ۱/۴۵ میلی‌گرم MDA بر کیلوگرم بود که بیش از ۵۰ درصد کاهش را نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد که پایداری اکسیداتیو گوشت را اثبات می‌کند.

بحث

خصوصیات الیاف الکتروریسی

بررسی تصاویر SEM نشان داد که الیاف الکتروریسی نمونه CH+PVA+TREO دارای مورفولوژی یکنواخت، پیوسته و فاقد گره بودند که بیانگر پایداری فرآیند الکتروریسی و سازگاری مناسب بین پلیمرها و عصاره گز است. نتایج این پژوهش با مطالعه نصیری و همکاران (۲۰۲۵) همخوانی دارد. آن‌ها در الیاف الکتروریسی CH+PVA حاوی اسانس درمنه، مورفولوژی صاف، یکنواخت و بدون گره را گزارش کردند (۱۳). اگرچه قطر الیاف در مطالعه حاضر بیشتر بود که احتمالاً به‌دلیل تفاوت در ماهیت عصاره گز، افزایش ویسکوزیته محلول و برهم‌کنش‌های هیدروژنی بیشتر بین ترکیبات فنولی عصاره و ماتریس پلیمری است. همچنین، Liu و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش کردند که تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین کیتوزان و ترکیبات فعال موجب بهبود مورفولوژی و تشکیل الیاف یکنواخت می‌شود که این موضوع با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (۹).

میزان بازده کپسوله‌سازی عصاره گز بیانگر توان مناسب ماتریس CH+PVA در به دام انداختن بخش قابل توجهی از

ترکیبات فعال عصاره است. وجود گروه‌های هیدروکسیل در پلی‌وینیل الکل و گروه‌های آمین و هیدروکسیل در کیتوزان امکان ایجاد پیوندهای هیدروژنی با ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی موجود در عصاره گز را فراهم می‌کند و در نتیجه موجب افزایش پایداری عصاره در داخل شبکه الیافی می‌شود (۹). با این وجود، دستیابی به بازده کپسوله‌سازی کمتر از ۱۰۰ درصد قابل انتظار است، زیرا بخشی از ترکیبات محلول ممکن است در حین آماده‌سازی محلول، فرآیند الکتروریسی یا مراحل خشک شدن و استخراج از سیستم خارج شوند (۸).

مقدار ظرفیت بارگذاری به‌دست‌آمده نیز نشان می‌دهد که عصاره با غلظتی مناسب در ماتریس پلیمری توزیع شده است، بدون آنکه موجب تغییر نامطلوب در مورفولوژی الیاف شود. گزارش شده است که افزایش بیش از حد مقدار عصاره‌های گیاهی معمولاً موجب افزایش هدایت الکتریکی محلول، کاهش ویسکوزیته مؤثر یا ایجاد ناپایداری در جت الکتروریسی شده و در نهایت به تشکیل الیاف غیریکنواخت یا ساختارهای گره مانند منجر می‌شود (۸).

خصوصیات میکروبی و شیمیایی گوشت چرخ شده

آنالیز میکروبی

افزایش تعداد کل میکروارگانیسم‌های زنده در طول دوره نگهداری، پدیده‌ای طبیعی در گوشت و فرآورده‌های گوشتی محسوب می‌شود که ناشی از فراهم بودن شرایط مناسب رشد میکروبی مانند رطوبت بالا، فعالیت آبی مناسب و وجود مواد مغذی فراوان است (۱۳). در نمونه شاهد، نبود هرگونه عامل ضدمیکروبی موجب رشد سریع میکروارگانیسم‌ها و افزایش شدید TVC و PTC شد. نتایج این مطالعه نشان داد که قرار دادن الیاف الکتروریسی‌شده بر پایه پلی‌وینیل الکل/کیتوزان (PVA/CH) در بسته‌بندی گوشت چرخ‌شده، می‌تواند بار میکروبی را به‌طور مؤثری کاهش دهد، اما افزودن عصاره گز (TREO) این اثر بازدارندگی را به شکل چشمگیری تقویت می‌کند. کاهش رشد میکروبی در تیمار PVA+CH در مقایسه با نمونه شاهد را می‌توان به خواص ضدمیکروبی ذاتی کیتوزان نسبت داد. گروه‌های آمین دارای بار مثبت در ساختار کیتوزان می‌توانند با غشای سلولی باکتری‌ها (که دارای بار منفی است) برهم‌کنش داده و با تغییر نفوذپذیری غشا، منجر به نشت ترکیبات داخل سلولی و در نهایت مرگ باکتری شوند (۱۲ و ۱۶). دلیل اصلی عملکرد برتر تیمار PVA+CH+TREO، حضور ترکیبات زیست‌فعال (به‌ویژه ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی) در عصاره گز است. ترکیبات فنولی می‌توانند با نفوذ به لایه لیپیدی غشای سلولی میکروارگانیسم‌ها، عملکرد آنزیم‌های حیاتی را مختل کرده و سنتز پروتئین و اسیدهای نوکلئیک را مهار کنند (۶ و ۷). علاوه بر این، ساختار الیاف تولید شده به روش الکتروریسی، به‌دلیل داشتن نسبت سطح به حجم بسیار بالا، به عنوان یک حامل عالی عمل کرده و امکان رهایش تدریجی و کنترل‌شده عصاره TREO را در سطح گوشت فراهم می‌کند. این رهایش پیوسته باعث می‌شود که غلظت موثر ترکیب ضدمیکروبی در طول ۱۰ روز نگهداری حفظ شود (۹ و ۱۰). نتایج این پژوهش با یافته‌های مطالعات پیشین همخوانی دارد. در مطالعه‌ای توسط Pilmal و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شد که استفاده از پوشش کیتوزان حاوی اسانس‌های گیاهی موجب کاهش معنی‌دار بار میکروبی در گوشت نگهداری‌شده در یخچال شد (۲۰). همچنین، ولی پور و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که فیلم‌های فعال حاوی اسانس‌های گیاهی توانستند رشد میکروارگانیسم‌های فاسدکننده گوشت را به‌طور مؤثری مهار کنند. نتایج پژوهش حاضر نیز تأیید می‌کند که ترکیب کیتوزان و اسانس گز در ساختار الیاف می‌تواند یک سامانه بسته‌بندی فعال مؤثر برای افزایش ماندگاری گوشت چرخ‌کرده باشد (۲۳).

pH

افزایش pH یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی فساد شیمیایی و میکروبی گوشت در طول دوره نگهداری است. روند افزایشی pH که در تمامی نمونه‌ها در این مطالعه مشاهده شد، عمدتاً ناشی از فعالیت آنزیم‌های درون‌زاد گوشت و همچنین آنزیم‌های پروتئولیتیک میکروارگانیسم‌های عامل فساد است. تجزیه پروتئین‌ها توسط این آنزیم‌ها منجر به تولید و تجمع ترکیبات بازی فرار مانند آمونیاک، تری‌متیل‌آمین و سایر بیوژنیک آمین‌ها می‌شود

که مستقیماً pH محیط را بالا می‌برند (۱۷). عملکرد بهتر تیمار PVA+CH در مقایسه با نمونه شاهد را می‌توان به خواص ضدمیکروبی کیتوزان مرتبط دانست. همان‌طور که Venkatachalam و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود روی بسته‌بندی‌های فعال بر پایه کیتوزان گزارش دادند، کیتوزان با مهار رشد باکتری‌های عامل فساد (به ویژه سودوموناس‌ها که تولیدکننده قوی ترکیبات آمونیاکی هستند)، تجزیه پروتئین‌ها را کاهش داده و در نتیجه از قلیایی شدن سریع بافت گوشت جلوگیری می‌کند (۱۰). با این‌حال، ثبات بالای pH در نمونه PVA+CH+TREO تا روز دهم، نشان‌دهنده نقش کلیدی عصاره گز در مهار تغییرات شیمیایی است. ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی موجود در این عصاره نه تنها فعالیت باکتریایی را به شدت سرکوب می‌کنند، بلکه می‌توانند مستقیماً به آنزیم‌های پروتئاز متصل شده و فعالیت آن‌ها را غیرفعال کنند (۵ و ۶). پزشک و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی اثر فیلم‌های حاوی عصاره‌های گیاهی روی گوشت نشان دادند که ترکیبات فنلی با ایجاد باندهای هیدروژنی با پروتئین‌های باکتریایی و آنزیم‌های تجزیه‌کننده، مانع از تولید بازهای فرار نیتروژنی شده و در نتیجه pH محیط را تثبیت می‌کنند (۱۴).

PV

شاخص پراکسید (PV) ابزاری کلیدی برای اندازه‌گیری هیدروپراکسیدها است که محصولات اولیه اکسیداسیون لیپیدها محسوب می‌شوند. گوشت چرخ‌کرده به‌دلیل خرد شدن بافت، تخریب غشاهای سلولی و قرارگیری بیشتر چربی‌ها در معرض اکسیژن و کاتالیزورهای درون‌زاد (مانند آهن هم و میوگلوبین)، به شدت مستعد اکسیداسیون لیپیدی است (۲). افزایش سریع PV در نمونه شاهد، ناشی از واکنش مداوم رادیکال‌های آزاد با اسیدهای چرب غیراشباع در حضور اکسیژن است که به سرعت کیفیت حسی و ارزش تغذیه‌ای گوشت را کاهش می‌دهد (۲۵). کاهش سرعت تولید پراکسید در نمونه CH+PVA نسبت به شاهد، نشان‌دهنده خواص آنتی‌اکسیدانی ذاتی کیتوزان و همچنین نقش بازدارندگی فیزیکی الیاف است. کیتوزان با دارا بودن گروه‌های آمینه آزاد، قادر است یون‌های فلزی (به ویژه آهن آزاد شده از رنگدانه‌های گوشت) را که آغازگر واکنش‌های اکسیداتیو هستند، به دام بیندازد و از پیشرفت واکنش جلوگیری کند. همچنین شبکه پلیمری الیاف الکتروریسی به عنوان یک سد فیزیکی باعث جذب رطوبت داخل بسته‌بندی می‌شود (۲ و ۲۱). تأخیر قابل‌توجه و مهار اکسیداسیون در نمونه حاوی عصاره (CH+PVA+TREO)، نقش تعیین‌کننده ترکیبات زیست‌فعال عصاره گز را اثبات می‌کند. عصاره‌های گیاهی غنی از ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی هستند. این ترکیبات به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های اولیه عمل کرده و با اهدای اتم هیدروژن به رادیکال‌های آزاد لیپیدی، واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداسیون را متوقف می‌کنند و از تشکیل هیدروپراکسیدها جلوگیری می‌نمایند (۵ و ۶). علاوه بر این، ساختار الیاف تولید شده به روش الکتروریسی در تیمار CH+PVA+TREO، به دلیل نسبت سطح به حجم بسیار بالا، امکان رهایش تدریجی و کنترل‌شده ترکیبات فنلی عصاره را به سطح گوشت فراهم می‌آورد (۸ و ۱۱) نتایج مطالعه Shirvash و همکاران (۲۰۲۴) نیز همسو با این یافته‌ها نشان داد که کپسولاسیون عصاره‌های گیاهی در نانوکپسول های کیتوزان، پایداری آنتی‌اکسیدان‌ها را افزایش داده و با حفظ غلظت مؤثر آن‌ها در سطح گوشت، اکسیداسیون چربی‌ها را در طولانی‌مدت به شدت سرکوب می‌کند (۱۷). ترکیب اثرات شلاته‌کنندگی کیتوزان و خنثی‌کنندگی رادیکال‌های آزاد توسط عصاره گز، یک اثر مضاعف قدرتمند در کنترل شاخص PV ایجاد کرده است.

TVB_N

شاخص TVB-N نمایانگر میزان ترکیبات نیتروژنی بازی مانند آمونیاک، دی‌متیل‌آمین و تری‌متیل‌آمین است که در نتیجه فعالیت آنزیم‌های درون‌زاد گوشت و همچنین فعالیت‌های پروتئولیتیک میکروارگانیسم‌های عامل فساد تولید می‌شوند (۲۶). افزایش سریع و عبور از حد مجاز این شاخص در نمونه شاهد در روز ششم، با رشد لگاریتمی جمعیت میکروبی و تجزیه سریع پروتئین‌های گوشت تطابق کامل دارد (۹). کاهش سرعت تولید TVB-N در تیمار CH+PVA ناشی از خواص ضدمیکروبی ذاتی پلیمر کیتوزان است.

کیتوزان با دارا بودن بار مثبت در گروه‌های آمینه خود، با بارهای منفی غشای سلولی باکتری‌ها وارد تعامل شده و با تغییر نفوذپذیری غشا و نشت محتویات درون‌سلولی، باعث مرگ میکروارگانیسم‌ها می‌شود. این امر به نوبه خود منجر به کاهش ترشح آنزیم‌های پروتئاز میکروبی و در نتیجه کاهش تولید ترکیبات نیتروژنی فرار می‌گردد (۱۲ و ۱۶). حفظ شاخص TVB-N در محدوده مجاز (کمتر از ۲۵ میلی‌گرم) تا روز دهم در نمونه CH+PVA+TREO، نشان‌دهنده اثر بهبود دهنده عملکرد بین کیتوزان و عصاره گز است. عصاره‌های گیاهی غنی از ترکیبات فنلی، با اختلال در سیستم آنزیمی میکروارگانیسم‌ها و تخریب دیواره سلولی آن‌ها، مانع از تکثیر باکتری‌های عامل فساد پروتئینی می‌شوند (۶ و ۴). از سوی دیگر، ساختار متخلخل و نسبت سطح به حجم بالای الیاف الکتروریسی‌شده، بستری ایده‌آل برای محبوس‌سازی و رهایش کنترل‌شده این ترکیبات فعال زیستی فراهم می‌کند (۸). مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که استفاده از الیاف حاوی عصاره‌های گیاهی می‌تواند از طریق مهار رشد میکروبی، به‌طور مؤثری از تجزیه اسیدهای آمینه و تولید آمین‌های بیوژنیک و آمونیاک جلوگیری کند. نتایج این مطالعه همسو با یافته‌های Liu و همکاران (۲۰۲۱) است که نشان دادند بسته‌بندی‌های فعال مبتنی بر الیاف الکتروریسی‌شده حاوی اسانس‌های گیاهی، با رهایش تدریجی ترکیبات ضدمیکروبی به سطح گوشت، مانع از افزایش TVB-N شده و عمر ماندگاری محصولات گوشتی را به شکل معناداری افزایش می‌دهند (۹). در مطالعه‌ای مشابه، یعقوبی و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر پوشش کیتوزان با اسانس درمنه را بر روی گوشت مرغ تازه در طول نگهداری در یخچال بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که پوشش اسانس درمنه با کیتوزان، افزایش تولید بازهای نیتروژنی را به تأخیر می‌اندازد (۲۷).

FFA

شاخص FFA نشان‌دهنده میزان تجزیه تری‌گلیسریدها و فسفولیپیدهای گوشت به اسیدهای چرب آزاد است. این فرآیند که به عنوان تندشدگی هیدرولیتیک شناخته می‌شود، عمدتاً در اثر فعالیت آنزیم‌های لیپاز و فسفولیپاز درون‌زاد (بومی گوشت) و همچنین آنزیم‌های لیپولیتیک ترشح‌شده توسط میکروارگانیسم‌های عامل فساد رخ می‌دهد (۲۸). افزایش شدید مقدار FFA در نمونه شاهد ناشی از رشد بی‌رویه باکتری‌ها طی دوره نگهداری و در نتیجه ترشح مقادیر بالای آنزیم‌های لیپاز میکروبی به موازات فعالیت آنزیم‌های خود گوشت است (۲۱). کاهش سرعت تولید اسیدهای چرب آزاد در نمونه‌های تیمار شده با پوشش CH+PVA در درجه اول به خواص ضدمیکروبی کیتوزان نسبت داده می‌شود. کیتوزان با مهار رشد باکتری‌های عامل فساد، بار میکروبی محصول را کاهش داده و در نتیجه از ترشح آنزیم‌های لیپاز میکروبی جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، ساختار الیاف ممکن است با ایجاد یک سد فیزیکی، تحرک آنزیم‌ها و دسترسی آن‌ها به سوبسترای چربی را تا حدی محدود سازد (۱۲ و ۱۵). پایین‌ترین میزان FFA در تیمار CH+PVA+TREO نشان‌دهنده یک اثر بهبود دهنده عملکرد بین کیتوزان و عصاره گز است. عصاره‌های گیاهی غنی از ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها، علاوه بر دارا بودن خواص ضدمیکروبی قوی که ترشح لیپاز میکروبی را متوقف می‌کند، می‌توانند مستقیماً با اتصال به جایگاه فعال آنزیم‌های لیپاز، فعالیت کاتالیزوری آن‌ها را مهار کنند (۴). همچنین، کپسوله‌کردن عصاره گز در شبکه الیاف الکتروریسی‌شده احتمالاً باعث رهایش کنترل‌شده و تدریجی ترکیبات فنلی به سطح گوشت می‌شود که این امر اثربخشی مهار لیپاز را در کل دوره ۱۰ روزه تضمین می‌کند (۹). این نتایج با یافته‌های مطالعات پیشین همخوانی دارد. Khare و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که استفاده از پوشش کیتوزان غنی‌شده با روغن دارچین، افزایش FFA را در نمونه های مرغ نگهداری‌شده در یخچال کاهش می‌دهد. در واقع، CH با مهار فعالیت آنزیم‌های میکروبی، فرآیندهای اکسیداسیون لیپید را کاهش می‌دهد (۲۹).

شاخص TBARS

شاخص TBARS بیانگر میزان مالون‌دی‌آلدئید (MDA) است که به عنوان یکی از محصولات ثانویه و پایدار ناشی از تجزیه هیدروپراکسیدها در طی فرآیند اکسیداسیون لیپیدها (تندشدگی

اکسیداتیو) تولید می‌شود (۲۸). افزایش سریع TBARS در نمونه شاهد به دلیل مجاورت چربی‌های گوشت با اکسیژن، حضور یون‌های فلزی کاتالیزور (مانند آهن موجود در میوگلوبین) و عدم حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است (۱۶ و ۱۷). کاهش میزان TBARS در نمونه‌های پوشش‌داده‌شده با CH+PVA را می‌توان به خواص کیتوزان نسبت داد. کیتوزان دارای گروه‌های آمین و هیدروکسیل است که می‌توانند با یون‌های فلزی آزاد (پرواکسیدان‌ها) واکنش تشکیل داده و از کاتالیز شدن واکنش‌های زنجیره‌ای تولید رادیکال آزاد جلوگیری کنند (۲۴ و ۲۷). قدرتمندترین اثر آنتی‌اکسیدانی در گروه CH+PVA+TREO مشاهده شد که ناشی از حضور عصاره گز در ساختار الیاف است. عصاره‌های گیاهی سرشار از ترکیبات پلی‌فنلی و فلاونوئیدها هستند. این ترکیبات به عنوان دهنده اتم هیدروژن عمل کرده و با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد لیپیدی، واکنش‌های زنجیره‌ای اتواکسیداسیون را در مراحل اولیه متوقف می‌کنند (۳). علاوه‌بر این، تکنیک الکتروریسی با ایجاد شبکه‌ای با نسبت سطح به حجم بالا، امکان محبوس‌سازی کارآمد ترکیبات فنلی حساس به نور و اکسیژن را فراهم کرده و با رهایش آن‌ها به سطح گوشت، محافظت اکسیداتیو طولانی‌مدتی را طی ۱۰ روز تضمین می‌کند (۱۱ و ۹). این نتایج در توافق کامل با مطالعات محققین دیگر است. Liu و همکاران (۲۰۲۱) و Shokri Tometri همکاران (۲۰۲۲) نیز اثبات کردند که استفاده از پوشش‌های نانوکامپوزیتی حاوی عصاره‌های غنی از پلی‌فنل، به دلیل ترکیب اثرات ممانعت‌کنندگی فیزیکی پلیمر و فعالیت به‌دام‌اندازی رادیکال‌های آزاد توسط عصاره، به شدت تولید مالون‌دی‌آلدئید را در محصولات گوشتی به تأخیر می‌اندازد (۱۹).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از فناوری الکتروریسی برای تولید الیاف پلی‌وینیل الکل/کیتوزان حاوی عصاره گیاه گز، یک راهکار نوین و بسیار کارآمد برای تولید بسته‌بندی‌های فعال مواد غذایی است. ارزیابی‌های جامع میکروبی و فیزیکوشیمیایی طی ۱۰ روز نگهداری گوشت چرخ‌کرده در یخچال ثابت کرد که درحالی‌که نمونه‌های بدون پوشش در روز ششم به‌طور کامل دچار فساد میکروبی و اکسیداتیو شدند، پوشش‌دهی با الیاف حاوی عصاره گز توانست عمر ماندگاری گوشت را تا روز ۱۰ افزایش دهد. اثربخشی چشمگیر تیمار CH+PVA+TREO ناشی از اثر بین خواص شلاته‌کنندگی و ضدمیکروبی ذاتی کیتوزان و قدرت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد و فعالیت‌های آنزیمی (لیپاز و پروتئاز) توسط ترکیبات فنولی موجود در عصاره گز است. علاوه بر این، ساختار متخلخل و نسبت سطح به حجم بالای الیاف، به عنوان یک حامل ایده‌آل عمل کرده و احتمالا با فراهم آوردن امکان رهایش ترکیبات زیست‌فعال، پایداری شیمیایی و میکروبی محصول را تضمین نمود. در نهایت، این سیستم بسته‌بندی فعال می‌تواند به عنوان یک پتانسیل استفاده به عنوان جایگزین طبیعی و دوست‌دار محیط‌زیست به جای نگهدارنده‌های شیمیایی در صنعت گوشت و فرآورده‌های گوشتی مورد توجه قرار گیرد. توسعه صنعتی این فیلم‌های الکتروریسی شده، می‌تواند گام مهمی در جهت کاهش ضایعات مواد غذایی و ارتقای سلامت مصرف‌کنندگان باشد..

تقدیر و تشکّر

از همکاری مسئولین دانشگاه پیام‌نور قدردانی می‌گردد.

ملاحظات اخلاقی

مطالعه حاضر از پایان‌نامه با عنوان "تولید بسته‌بندی ضدمیکروبی حاصل از نانوالیاف پلی وینیل الکل و کیتوزان و انکپسوله کردن اسانس گیاه گز در آن به وسیله الکتروریسی و ارزیابی فیلم حاصل بر افزایش زمان ماندگاری گوشت چرخ‌شده" مصوب در دانشگاه پیام نور انجام شد.

حمایت مالی

مطالعه حاضر با حمایت دانشگاه پیام‌نور انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

علی محمدی: انجام آزمایشات، جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها،

نگارش مقاله

سید ضیاء محمدی مبارکه: نظارت بر روند مطالعه، نگارش و ویرایش مطالعه

الهام انصاری‌فر: نظارت بر روند مطالعه، نگارش و ویرایش مطالعه

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Fattahian A, Fazlara A, Maktabi S, Pourmahdi broojeni M, Bavarsad N. The effects of edible chitosan coating containing Cuminum cyminum essential oil on the shelf-life of meat in modified atmosphere packaging. Journal of food science and technology (Iran). 2020;17(104):79–91. DOI: 10.52547/fsct.17.104.79
2. Khan I, Tango CN, Oh D-H. Development and evaluation of chitosan and its derivative for the shelf life extension of beef meat under refrigeration storage. International Journal of food science and Technology. 2017;52(5):1111–21. DOI: 10.1111/ijfs.13379
3. Karabagias I, Badeka A, Kontominas M. Shelf life extension of lamb meat using thyme or oregano essential oils and modified atmosphere packaging.Meat Sci. 2011;88(1):109–16. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.12.010
4. Rahman M, Haque E, Hasanuzzaman M, Shahid I. Antinociceptive, antiinflammatory and antibacterial properties of Tamarix indica roots. Int J Pharmacol. 2011;7(4):527–31. DOI: 10.3923/ijp.2011.527.531
5. Mohsenipour Z, Hassanshahian M. Inhibitory effects of Tamarix hispida extracts on planktonic form and biofilm formation of six pathogenic bacteria. Journal of Microbial Biology. 2015;4(13):43–56. [Persian] URL: https://bjm.ui.ac.ir/article_19565.html?lang=en
6. Boulaaba M, Snoussi M, Saada M, Mkadmini K, Smaoui A, Abdelly C, et al. Antimicrobial activities and phytochemical analysis of Tamarix gallica extracts. Ind Crops Prod. 2015; 76: 1114-22. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.08.020.
7. Lefahal M, Benahmed M, Louaar S, Zallagui A, Duddeck H, Akkal S. Antimicrobial activity of Tamarix gallica L. extracts and isolated flavonoids. Advances in Natural and Applied Sciences. 2010:289–93. URL: http://www.aensiweb.com/old/anas/2010/289-292.pdf
8. Cheng C, Min T, Luo Y, Zhang Y, Yue J. Electrospun polyvinyl alcohol/chitosan nanofibers incorporated with 1,8-cineole/cyclodextrin inclusion complexes: Characterization, release kinetics and application in strawberry preservation. Food Chem. 2023; 418: 135652. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.135652
9. Liu Y, Wang D, Sun Z, Liu F, Du L, Wang D. Preparation and characterization of gelatin/chitosan/3-phenylacetic acid food-packaging nanofiber antibacterial films by electrospinning. Int J Biol Macromol. 2021;169:161–70. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.12.046
10. Venkatachalam K, Lekjing S. A chitosan-based edible film with clove essential oil and nisin for improving the quality and shelf life of pork patties in cold storage. RSC Adv. 2020;10(30):17777–86. DOI: 10.1039/d0ra02986f
11. Han C, Wang J, Li Y, Lu F, Cui Y. Antimicrobial-coated polypropylene films with polyvinyl alcohol in packaging of fresh beef. Meat Sci. 2014 Feb;96(2 Pt A):901-7. DOI: 10.1016/j.meatsci.2013.09.003.
12. Tripathi S, Mehrotra GK, Dutta PK. Physicochemical and bioactivity of cross-linked chitosan–PVA film for food packaging applications. Int J Biol Macromol. 2009;45(4):372–6. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2009.07.006
13. Nasiri A, Zeinali T, Ansarifar E. Electrospun Polyvinyl Alcohol/Chitosan Nanofibers Film Loaded With Artemisia Essential Oil: A Strategy for Extending Shelf Life and Enhancing Quality of Minced Beef. Food Sci Nutr. 2025 Dec 12;13(12):e71330. DOI: 10.1002/fsn3.71330.
14. Pezeshk S, Rezaei M, Hosseini H. Antibacterial and antioxidant activities of shallot extract (Allium ascalonicum) on rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) during chilled. Iranian J Nutr Sci Food Technol. 2011;6(2):0. [Persian]. URL: http://nsft.sbmu.ac.ir/article-1-503-en.html

15. Fatehi F, Khalili Sadrabad E, Feilizadeh M, Derakhshan Z, Heidari Kochaki S, Hekmatimoghaddam S, et al. Designing the pH-sensitive indicator based on starch nanoparticle with bromocresol green for monitoring meat spoilage. Int J Environ Health Res. 2025; 35(5):1204-12. DOI: 10.1080/09603123.2024.2383427

16. Ahmadi A, Alishahi A. Investigating the substitution of sodium acetate with different chitosans in (Huso huso) fillet during storage in refrigerator (4±1 0C). Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics. 2018;6(4):1–11. DOI: 10.22069/japu.2018.13433.1383

17. Shirvash M, Najafi A. Investigating the effect of nano-encapsulated peppermint essential oil on shelf life of rainbow trout fish burger during storage. Journal of food science and technology (Iran). 2024;21(152):94–106. [Persian]. DOI: 10.22034/FSCT.21.152.94

18. Pezeshky A, Mehrvand A, Khakbaz Heshmati M, Emamikhah F. The effect of the use of natural antioxidants (thyme and ginger oleoresin) on the physical, chemical and sensory properties of sesame oil. *Food Research Journal*, 2025; 35(4): 25-37. DOI: 10.22034/fr.2025.53919.1850

19. Shokri Tometri S, Ahmady M, Ariaii P, Soltani M. Effect of Nano-Liposome and Free Extract of Bay Leaf on The Shelf Life of Minced Beef during Refrigerated Storage. J Innov Food Sci Technol. 2022;14(54):33–49. DOI: 10.30495/jfst.2021.684156 URL: https://sanad.iau.ir/Journal/jfst/Article/1004632

20. Pilmal M, Alizadeh Doughikollaee E, Yousef Elahi M. Effect of Edible Chitosan Coating Containing Cinnamon Essential Oil on the Shelf Life of Silver Carp Fish Finger during Refrigerated Storage. Journal of Fisheries. 2018;71(3):294–305. DOI: 10.22059/jfisheries.2019.267297.1053 URL: https://jfisheries.ut.ac.ir/article_71767.html?lang=en

21. Bagheri R, Aryaee P. The Effect of Chitosan along with Basil Seed Gum and Nettle Essential Oil on the Microbial, Chemical, and Sensory Properties of Hamburger. Food Engineering Research. 2022;21(1):75–92. [Persian]. DOI: 10.22092/fooder.2022.357112.1322

22. Karimi M, Khodanazary A, Hosseini SM. The effect of film and coating of chitosan with vacuum packaging on quality characteristics of Spangled emperor (Lethrinus nebulousus) fillets stored at 4 ºC. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 2019;15(5):597–611. [Persian] DOI: 10.22067/ifstrj.v15i4.76581

23. Valipour Kootenaie F, Ariaii P, Khademi Shurmasti D, Nemati M. Effect of chitosan edible coating enriched with eucalyptus essential oil and α-tocopherol on silver carp fillets quality during refrigerated storage. Journal of food safety. 2017;37(1):e12295. DOI: 10.1111/jfs.12295

24. Alboghbeish H, Khodanazary A. Comparative effects of chitosan and nanochitosan coatings enriched with green tea)Camellia sinensis L.(extract on quality of Costal trevally fish (Carangoides coeruleopinnatus) during refrigerated storage. Iranian Scientific Fisheries Journal. 2018;26(5):95–109. DOI: 10.22092/isfj.2017.115005

25. Sallam KI. Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. Food Control. 2007;18(5):566–75. DOI: 10.1016/j.foodcont.2006.02.002

26. El-Shamery GE-DM. Studies on contamination and quality of fresh fish meats during storage. Egypt Acad J Biol Sci G Microbiol. 2010;2(2):65–74. DOI:10.21608/eajbsg.2010.16710

27. Yaghoubi M, Ayaseh A, Alirezalu K, Nemati Z, Pateiro M, Lorenzo JM. Effect of chitosan coating incorporated with Artemisia fragrans essential oil on fresh chicken meat during refrigerated storage. Polymers. 2021;13(5):716. DOI: 10.3390/polym13050716

28. Naghdi S, Rezaei M, Bahramifar N. Evaluation Quality oxidation Minced of Common Kilka (Clupeonella cultriventris caspia) in Cold Storage Conditions by Sensor Bromophenol Blue Base on Chitosan Film. Journal of Fisheries Science and Technology. 2018;7(4):243–8. URL: https://jfst.modares.ac.ir/article_21300.html?lang=en

29. Khare AK, Abraham RJ, Rao VA, Babu RN, Ruban W. Effect of chitosan coating enriched with cinnamon oil (Cinnamomum zeylanicum) on storage stability of refrigerated chicken meat nuggets. Journal of Animal Research. 2016;6(2):181–94. DOI:10.5958/2277-940X.2015.00160.6