

اثر نانوالیاف زئین حاوی اسانس باریجه بر افزایش زمان ماندگاری میگو (ایتوپنائوس و انامی) در دمای یخچال (4 ± 1 درجه سانتی گراد)

مجتبی حیدری مجد^۱ ID، مهدیه شفقت^۱ ID*، فاطمه غفران مکشوف^۱ ID

۱- مرکز تحقیقات بیماری‌های عفونی و گرمسیری، پژوهشکده علوم سلولی، مولکولی در بیماری‌های عفونی، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران
* نویسنده مسئول (m.shafeghat@zaums.ac.ir)

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۸
تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۲/۰۱/۱۲

واژه‌های کلیدی

اسانس باریجه
بسته‌بندی فعال
زئین
میگو
نانوالیاف

در این پژوهش کارایی نانوالیاف زئین حاوی سه غلظت (۱، ۲ و ۳ درصد، وزنی/وزنی) اسانس باریجه جهت افزایش زمان ماندگاری میگو در دمای یخچال (4 ± 1 درجه سانتی‌گراد) بررسی شد. ابتدا حداقل غلظت مهارکنندگی رشد، حداقل غلظت کشندگی اسانس و میزان هاله‌ بازدارندگی نمونه‌های نانوالیاف حاوی اسانس طی آزمایش انتشار آگار بر علیه باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشریشیاکلی* بررسی شد. همچنین خصوصیات ضد میکروبی، فیزیکوشیمیایی و اکسیداسیونی میگوی پوشش داده‌شده ماندن آفت وزنی، بافت، pH، اندیس پراکسید و اسید تیوباربیوتیک مورد ارزیابی قرار گرفت. حداقل غلظت مهارکنندگی رشد و حداقل غلظت کشندگی اسانس باریجه با ۰/۲ و ۰/۴ و همچنین ۰/۵ و ۱/۲۵ میکرولیتر بر میلی‌لیتر به ترتیب در برابر باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشریشیاکلی* بود. همچنین هاله‌ بازدارندگی رشد پوشش نانوالیاف زئین حاوی ۳ درصد اسانس بر علیه باکتری‌های *اشریشیاکلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* به ترتیب ۱۸۶/۲۲ و ۲۸۰/۳۳ میلی‌متر مربع بود. نانوالیاف حاوی اسانس در دزهای ۲ و ۳ درصد سبب کاهش معنی‌داری ($P < 0.05$) باکتری‌های کل و سرماگرای میگو در مقایسه با نمونه شاهد گردید. نانوالیاف حاوی ۳ درصد اسانس باریجه سبب جلوگیری از آفت وزنی و افزایش pH میگو و حفظ آنها به ترتیب در مقادیر ۵/۰۳ درصد و ۶/۷۵ درصد میگوی پوشش داده‌شده نانوالیاف حاوی ۳ درصد اسانس پس از ۱۵ روز نگهداری در دمای یخچال شد. پوشش دهی همچنین توانست حدود ۵ برابر میزان کاهش سختی بافت را بهبود دهد. پوشش دهی میگو سبب پیشگیری از اکسیداسیون گردید. نتایج کلی نشان داد که نانوالیاف زئین حاوی ۳ درصد اسانس سبب افزایش زمان ماندگاری میگو گردید.



مقدمه

به منظور افزایش زمان ماندگاری محصول غذایی به کار می‌گیرند (Abdolshahi et al., 2022). بسته‌بندی ماندن حفاظی در اطراف محصول است که از ورود پاتوژن‌ها جلوگیری نموده و همچنین به کنترل خروج رطوبت و گازها کمک می‌نماید. در میان بسته‌بندی‌های مختلف، نانوالیاف‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشند (Aghaei et al., 2020). اصطلاح نانوالیاف به لیاف‌هایی با

رشد و فعالیت میکروبی در محصولات غذایی سبب فساد محصول و ایجاد بیماری در مصرف‌کننده می‌گردد. از این رو، کنترل کیفیت مواد غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است، که بتوان محصولی عاری از هرگونه پاتوژن غذایی در اختیار مصرف‌کننده قرار داد (Bahrami et al., 2023). بسته‌بندی مهم‌ترین فرایندی است که امروزه صنعت‌گران امر غذا

غیره اشاره نمود. در این میان، اسانس‌ها به متابولیت‌های روغن‌مانند و آروماتیک استحصال‌شده از گیاهان اطلاق می‌گردد که افزودن مستقیم آنها به محصول غذایی با محدودیت‌هایی مانند تغییر ویژگی‌های ارگانولپتیک محصول و همچنین تجزیه اسانس در تماس با فرایندهای تبخیر، اکسیداسیون و حرارت‌دهی روبرو می‌باشد (Monjazebe Marvdashti *et al.*, 2023). لذا یک روش عمده برای غلبه بر این مشکل استفاده از بسته‌بندی‌های فعال است (Shakouri *et al.*, 2015). گیاه باریجه^۱ به خانواده آمبلی‌فریا^۲ متعلق می‌باشد. اسانس این گیاه دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و ضد دیابت است. خانواده این گیاه دارای ۱۳۰ گونه می‌باشد و بومی دریای مدیترانه و آسیای مرکزی است. باریجه یک نام ایرانی معمول برای صمغ و لاتکس خشک‌شده این گیاه است. اسانس باریجه به‌طور معمول در ایران به‌خاطر خصوصیات درمانی آن مانند درمان گاستروانتریت، حالت تهوع و یبوست معروف است. اسانس باریجه سرشار از ترکیبات فنولی مانند سابینن^۳، آلفا و بتاپینن^۴ می‌باشد (Heydari-*et al.*, 2019). فرآورده‌های دریایی از جمله میگو منبع غنی از پروتئین، اسیدهای چرب چندغیراشباعی (امگا-۳) و مواد معدنی می‌باشند (Sriket *et al.*, 2007). از این رو، در رژیم غذایی انسان از توجه قابل‌ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشند. در این میان، میگوی تازه طی نگهداری در دمای یخچال فسادپذیر است. از جمله مکانیسم‌های فساد می‌توان به اتولیز آنزیمی، رشد میکروبی و اکسیداسیون چربی اشاره نمود که این واکنش‌ها منجر به کاهش کیفیت میگو طی نگهداری و مشکلات اقتصادی می‌گردد (Ghaly *et al.*, 2010). از جمله روش‌های نگهداری میگو در صنعت آبیان می‌توان به سردکردن، انجماد و ایجاد یک لایه آب منجمد روی سطح^۵ میگو اشاره نمود. همچنین امروزه تکنیک‌های جدید مانند اتمسفر اصلاح‌شده، اشعه‌دهی، عصاره‌های طبیعی و یا ترکیب پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی به‌منظور افزایش زمان ماندگاری فرآورده‌های دریایی استفاده شده است (Aşık & Candoğan, 2014). به‌عنوان مثال Bahrami و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر نانوالیاف گلیادین حاوی اسانس آویشن را بر بهبود زمان ماندگاری ماهی دودی بررسی نمودند. نتایج این محققین نشان داد که این نانوالیاف سبب بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی ماهی دودی

قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر اطلاق می‌گردد که به دلیل داشتن یک بُعد خارج از محدوده نانومتری، جزء گروه نانومواد تک‌بُعدی قرار دارند. نانوالیاف‌ها ویژگی‌های منحصر به فردی دارند که سبب می‌شود از سایر ساختارهای یک‌بُعدی متمایز باشند. از جمله این ویژگی‌ها: نسبت سطح به حجم زیاد (این نسبت در رابطه با نانوالیاف حدوداً ۱۰۰۰ برابر الیاف میکرونی می‌باشد)، انعطاف‌پذیری زیاد در عامل‌دار کردن سطوح، ویژگی‌های مکانیکی خوب و استحکام کششی مناسب می‌باشد. نانوالیاف‌ها عمدتاً از پلیمرهای مختلف ساخته می‌شوند. الیاف پلیمری در ابعاد نانومتری سبب شده است تا آنها گزینه مناسبی برای بسیاری از کاربردهای نانویی باشند (Hajjari *et al.*, 2021).

در میان بیوپلیمرهای متعدد، زئین یک پروتئین نامحلول در آب و استخراج‌شده از گیاهان می‌باشد که این پروتئین غنی از اسید آمینه پرولامین است (Heydari-*et al.*, 2023). زئین با توجه به ماهیت آب‌گریز خود دارای توانایی حمل ترکیبات فعال مختلف می‌باشد چراکه این پروتئین امکان رهایش کنترل‌شده این ترکیبات را دارا می‌باشد (Heydari-Majd *et al.*, 2019). زئین مقاومت نسبتاً زیاد نسبت به آنزیم‌های گوارشی دارد که این ویژگی منجر به هضم بسیار کند زئین در معده انسان می‌شود. نانوالیاف و فیلم زئین به‌منظور حمل ترکیبات مختلف مانند اسانس‌های گیاهی (Dias Antunes *et al.*, 2017)، ترکیبات آروما و طعم (Patel *et al.*, 2012) و رهایش کنترل‌شده ترکیبات فعال کاربرد دارد. زئین از لحاظ ماهیت نامحلول می‌باشد و از لحاظ شیمیایی پایدار و همچنین تأییدیه سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) را جهت کاربرد در صنعت غذا و دارو را کسب نموده است. زئین پلیمری غیرسمی و زیست‌تجزیه‌پذیر می‌باشد و قابلیت نانوالیاف به‌وسیله فرایند الکتروریسی را داراست (Heydari-Majd *et al.*, 2019).

با افزایش آگاهی بشر نسبت به عوارض سوءنگهدارنده‌های شیمیایی بر سلامت انسان، گرایش قوی به کاربرد نگهدارنده‌های طبیعی در فرآوری مواد غذایی ایجاد شده است. از جمله ترکیبات رایج طبیعی استفاده‌شده در بسته‌بندی‌های غذایی می‌توان به عصاره‌های گیاهی (Yong & Liu, 2021)، اسانس‌ها (Niu *et al.*, 2018) و

^۱ α, β -Pinene^۲ Glazing^۱ *Ferula gummosa* Bois^۲ *Umbelliferae*^۳ Sabinene

(استافیلوکوکوس اورئوس و اشریشیاکلی به‌عنوان دو باکتری رایج در فساد و همچنین از دو نوع متفاوت گرم مثبت و منفی) به مدت یک شبانه‌روز تحت دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در محیط‌کشت نوترینت برآث کشت داده شدند و در ادامه جهت تهیه یک سوسپانسیون معادل با 10^8 لگاریتم واحد تشکیل‌دهنده کلنی بر میلی‌لیتر از رقت ۰/۵ مک‌فارلند استفاده گردید. در ادامه، میزان ۹۵ میکرولیتر محیط‌کشت حاوی سوسپانسیون میکروبی و ۱۰۰ میکرولیتر از اسانس باریجه به تمام چاهک‌ها اضافه شد و سپس تمامی میکروپلیت‌ها به مدت یک شبانه‌روز در انکوباتور (XB032، ساخت فرانسه) با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرم‌خانه‌گذاری شدند و در ادامه چاهک‌های فاقد کدورت تحت عنوان MIC گزارش گردید (Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), 2008). همچنین مقدار ۵ میکرولیتر از چاهک‌های فاقد کدورت به محیط‌کشت مولر هینتون آگار انتقال یافت و طی شرایط گرم‌خانه‌گذاری قبلی نگهداری گردید. در انتها، کمترین غلظت با در نظر گرفتن عدم مشاهده رشد، به‌عنوان MBC گزارش گردید (Javidi et al., 2016).

تولید نانوالیاف زئین حاوی اسانس باریجه

فرایند الکترورسی محلول زئین در حضور سه غلظت مختلف اسانس باریجه (۱، ۲ و ۳ درصد، (وزنی/وزنی)) با استفاده از دستگاه الکترورسی (Electroris ES1000 شرکت نانوفن آوران مقیاس، ساخت ایران) مطابق با روش بیان شده در مطالعه قبلی انجام‌شده توسط Heydari-Majd و همکاران (۲۰۱۹) انجام پذیرفت. فاصله سوزن تا صفحه جمع‌کننده، ۱۰ سانتی‌متر و سرعت تزریق ۰/۳ میکرولیتر در ساعت در نظر گرفته شد. فرایند الکترورسی به مدت ۱ ساعت و با اعمال ولتاژ ۲۰ کیلوولت انجام شد.

مطالعه فعالیت ضد میکروبی نانوالیاف

جهت مطالعه ویژگی ضد میکروبی پوشش نانوالیاف از روش انتشار آگار 10^8 میزان هاله عدم رشد تشکیل‌شده بر علیه دو باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و اشریشیاکلی اندازه‌گیری شد. نخست دیسک‌هایی با قطر ۶ میلی‌متر از پوشش نانوالیاف تهیه شد و این دیسک‌ها روی سطح پلیت‌های میکروبی

طی ۱۶ روز نگهداری شد. امروزه مقادیر تولید میگو در ایران حدود ۵۸ هزار تن تخمین زده می‌شود (Sriket et al., 2007). با توجه به تمایل زیاد مصرف‌کنندگان به استفاده از میگوی تازه و عاری از هرگونه پاتوژن‌ها و افزودنی سنتزی، می‌توان از میگو به‌عنوان سیستمی جالب برای ارزیابی نانوالیاف زئین حاوی اسانس باریجه بهره‌جست.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی نانوالیاف زئین حاوی اسانس باریجه در مطالعه قبلی مورد بررسی قرار گرفت (Heydari-Majd, Rezaeinia., 2019). در ادامه هدف از این مطالعه، پوشش‌دهی میگو (لیتوپناتوس وانامی^۱) توسط پوشش نانوالیاف زئین حاوی غلظت‌های مختلف اسانس باریجه (۱، ۲ و ۳ درصد وزنی/وزنی) بود. میگوی پوشش‌داده‌شده به مدت ۱۵ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد داخل یخچال (X274، ساخت کره جنوبی) نگهداری شد و اثر این پوشش بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکوشیمیایی و حسی میگو و به‌طور کلی افزایش زمان ماندگاری میگو بررسی شد.

مواد و روش‌ها

زئین ذرت از شرکت سیگما (St. Louis, Missouri، ساخت آمریکا) خریداری شد. اسانس باریجه از شرکت اکسیر گل سرخ (مشهد، ساخت ایران) خریداری شد. سوبه‌های پاتوژن: اشریشیاکلی^۲ (ATCC 25922) و استافیلوکوکوس اورئوس^۳ (ATCC 25923) از شرکت کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌ها (کرمان، ساخت ایران) خریداری گردید. محیط‌های کشت میکروبی (پلیت کانت آگار استاندارد^۴ (PCA)، مولر هینتون آگار^۵ (MHA)، نوترینت برآث^۶ و محیط‌کشت ام‌آراس^۷ (MRS)، از شرکت مرک آلمان خریداری گردید.

تعیین حداقل غلظت بازدارندگی (MIC^۸) و حداقل غلظت

باکتری‌کشی (MBC^۹) اسانس باریجه

بدین‌منظور نخست، محلولی از اسانس با رقت ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر توسط دی‌متیل‌سولفوکساید تهیه گردید و سپس غلظت‌های مختلف از این محلول به روش رقیق‌سازی محلول‌های اصلی فوق با استفاده از محیط‌کشت مولر هینتون آگار تهیه شد. همچنین باکتری‌های مورد بررسی

⁷ de Man, rogosa, and sharpe

⁸ Minimum inhibitory concentration

⁹ Minimum bactericidal concentration

¹⁰ Agar diffusion method

¹ *Litopenaeus vannamei*

² *Escherichia coli*

³ *Staphylococcus aureus*

⁴ Plate count agar

⁵ Muller-Hinton agar

⁶ Nutrient broth

خصوصیات فیزیکی شیمیایی میگو

اُفت وزنی میگو

بدین منظور از تغییر وزن نمونه‌های میگو بین روز اول و ۱۵ مطابق رابطه (۱) استفاده شد و نتایج برحسب درصد بیان گردید (Faraj Zade et al., 2015).

رابطه (۱)

$$\text{درصد اُفت وزنی} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100$$

در رابطه (۱)، w_1 وزن اولیه میگو و w_2 وزن ثانویه میگو در روز آخر نگهداری (روز ۱۵) می‌باشد.

آنالیز بافت

بدین منظور از دستگاه بافت‌سنج (Texture Pro CT VI.2، Brookfield، ساخت آمریکا) مجهز به یک سلول بارگذاری ۱۰۰ نیوتنی و اتصال یک پروب تیغه‌ای لبه چاقویی (TA7) با ضخامت ۳ میلی‌لیتر استفاده شد. این آزمون بر پایه تغییر شکل نمونه‌ها می‌باشد. نمونه‌های میگو با اندازه مشابه در خط برش به صورت افقی روی پایه ثابت (TA-JTPB) قرار گرفت و نیروی فشاری بین بخش ۳ و ۴ میگو یک تغییر شکل ۲۵ درصدی عمود بر سطح نمونه میگو در سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه اعمال نمود. در نهایت حداکثر مقاومت نمونه‌ها به تغییر شکل به‌عنوان سختی برحسب نیوتن اندازه‌گیری شد (Bourne, 1967).

pH میگو

بدین منظور، ۴ گرم نمونه میگو با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر هم‌وزن شد و در ادامه با استفاده از pH متر (زاگ‌شیمی، ساخت ایران)، pH نمونه میگو در دمای محیطی اندازه‌گیری شد (Faraj Zade et al., 2015).

اندیس پراکسید

اندیس پراکسید طبق روش تیتراسیون یدومتری و با استفاده از استاندارد AOCS (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد. در نهایت نتایج برحسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن فعال در ۱ کیلوگرم چربی میگو بیان شد.

شاخص اسید تیوباربتوریک (TBA^۲)

متداول‌ترین روش اندازه‌گیری مقدار مالون‌آلدئید در میگو، آزمون تیوباربتوریک اسید می‌باشد. اساس این آزمون، اندازه‌گیری مقدار رنگ صورتی تشکیل شده طی واکنش میان مالون‌آلدئید با دو مولکول اسید تیوباربتوریک توسط روش

تهیه شده با استفاده از محیط کشت MHA که از قبل با ۱۰۰ میکرولیتر کشت مایع شبانه معادل با ۱۰^۸ لگاریتم واحد تشکیل‌دهنده کلنی بر میلی‌لیتر از دو باکتری ذکر شده تلقیح شده بود، قرار گرفت. در نهایت مساحت منطقه بازدارندگی (میلی‌مترمربع) محاسبه شد (Bahrami et al., 2022).

تهیه و آماده‌سازی میگو

میگوی تازه به صورت زنده طبق روش نمونه‌گیری تصادفی از یکی از استخرهای پرورش آبزیان از شهر مشهد خریداری شد. میگوها بلافاصله و به سرعت توسط ظروف عایق حاوی یخ (نسبت میگو به یخ، ۱:۲ درصد وزنی/وزنی) به صورت یک‌لایه طی حداکثر زمان ۱ ساعت به آزمایشگاه مواد غذایی منتقل گردید. در ادامه نمونه‌های میگوی سالم در آزمایشگاه انتخاب شد و عملیات سرزنی و پوست‌گیری روی آنها انجام شد.

ترکیب شیمیایی میگو

میزان پروتئین، رطوبت و خاکستر میگو براساس روش استاندارد (AOAC, 2005) (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور بررسی مقدار چربی کل میگو، با استفاده از روش سوکسله و طبق روش Bligh و Dyer (۱۹۵۹) استفاده شد.

پوشش‌دهی میگو توسط نانوالیاف

جهت بررسی عملکرد نانوالیاف زئین حاوی اسانس باریجه بر افزایش زمان ماندگاری میگو، از قراردادن میگو در مرکز نانوالیاف تولیدی (ابعاد تقریبی ۱۰×۲۵ سانتی‌مترمربع) و در ادامه قراردادن آن در دمای یخچال (۱±۴ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۱۵ روز و ارزیابی آنها طی روزهای ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ استفاده شد. تیمارها شامل نمونه میگوی بدون پوشش (شاهد)، نمونه میگوی پوشش‌داده شده در پوشش نانوالیاف زئین بدون اسانس و همچنین سه نمونه میگوی پوشش‌داده شده توسط پوشش نانوالیاف زئین حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد اسانس باریجه بودند.

ارزیابی کیفیت میکروبی میگو

شمارش باکتری‌های کل و سرماگرا^۱ طبق روش Heydari-Majd و همکاران (۲۰۱۹) بررسی گردید و نتایج برحسب لگاریتم تعداد میکرووب در ۱ گرم (لگاریتم واحد تشکیل‌دهنده کلنی بر گرم) بیان گردید.

² Thiobarbituric acid

¹ Psychrotrophic bacterial count

۱/۲۵ میکرولیتر بر میلی‌لیتر) مقاومت بیشتر در مقابل اثرات ضد میکروبی اسانس باریجه نشان دادند. بنابراین باکتری گرم منفی /شریشیاکلی مقاومت بیشتری نسبت به باکتری گرم مثبت /استافیلوکوکوس اورئوس به اثرات میکروبیکی اسانس باریجه دارد. در مطالعه‌ای مشابه مقدار MIC اندازه‌گیری شده برای اسانس باریجه در برابر باکتری‌های /استافیلوکوکوس اورئوس و /شریشیاکلی به ترتیب ۰/۲۵ و ۳/۱۲۵ میکرولیتر بر میلی‌لیتر گزارش شد (Abedi et al., 2009). بررسی پژوهش‌ها حاکی از آن است که وجود یک دیواره اضافی در اطراف غشای لیپوپلی ساکرایدی باکتری‌های گرم منفی سبب می‌شود که آنها مقاومت بیشتری در برابر ترکیبات ضد میکروبی طبیعی از خود نشان دهند (Oulkheir et al., 2017). در مطالعه‌ای مشابه Javidi و همکاران (۲۰۱۶) ضمن بررسی فعالیت ضد میکروبی فیلم اسید پلی‌لاکتیک حاوی اسانس پونه کوهی گزارش نمودند که باکتری‌های گرم منفی /شریشیاکلی دارای مقادیر MIC و MBC بزرگ‌تری نسبت به دیگر باکتری‌های مورد مطالعه داشت. همچنین بررسی ترکیبات اسانس باریجه در مطالعه قبل نشان داد که خصوصیات میکروبیکی اسانس باریجه به وجود ترکیبات ضد میکروبی موجود در آن مانند آلفا، بتا-پینین و میرسن^۲ مربوط می‌شود (Heydari-Majd et al., 2019).

جدول ۱- مقادیر MIC و MBC اسانس باریجه بر باکتری‌های مورد مطالعه

MBC	MIC	میکروارگانیزم
(میکرولیتر/میلی‌لیتر)	(میکرولیتر/میلی‌لیتر)	استافیلوکوکوس اورئوس
۰/۴	۰/۲	شریشیاکلی
۱/۲۵	۰/۵	

فعالیت ضد میکروبی نانوالیاف زئین

فعالیت میکروبیکی نانوالیاف زئین حاوی غلظت‌های مختلف اسانس باریجه (۱، ۲ و ۳ درصد، وزنی/وزنی) در برابر دو باکتری /شریشیاکلی و /استافیلوکوکوس اورئوس در جدول (۲) گزارش شده است. مطابق نتایج حاصله، نانوالیاف زئین به تنهایی هیچ‌گونه فعالیت (عدم ایجاد هاله رشد) میکروبیکی در برابر دو باکتری مورد مطالعه به نمایش نگذاشت.

اسپکتروسکوپی است (Heydari-Majd et al., 2019). بدین منظور، نخست ۶ گرم نمونه میگو با ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد، سپس ۱ میلی‌لیتر از مخلوط به دست آمده با ۲ میلی‌لیتر از محلول اسید تیوباریتوریک (TBA) /اسید تری‌کلرواستیک (TCA^۱)، (۱۵ TBA) میلی‌مولار و TCA ۱۵ درصد) به طور کامل هموزن شد. مخلوط فوق سپس به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب داغ (BM22، ساخت ایران)، (۹۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) تا زمان تشکیل رنگ صورتی قرار گرفت. مجدد به مدت زمان ۱۰ دقیقه دیگر در آب سرد قرار گرفت و سپس به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ (Hettich، ساخت آلمان) شد. بعد از طی این مراحل، جذب محلول در طول موج ۵۳۱ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (Jenway، ساخت انگلستان) قرائت گردید.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی میگوها با استفاده از یک گروه ارزیاب ۹ نفره آموزش دیده (۵ نفر خانم و ۴ نفر اقا در رنج سنی ۳۰ تا ۴۰ سال) به روش امتیازدهی، (جهت بررسی رنگ، بو، بافت و پذیرش کلی) طی ۱۵ روز نگهداری در یخچال انجام شد. درجه بندی نمونه‌ها این گونه بود که برای نمونه بسیار خوب امتیاز ۱، خوب ۲، متوسط ۳، نسبتاً بد ۴ و بد ۵ ثبت گردید. همچنین حد قابل قبول نمونه‌ها، امتیاز ۳ در نظر گرفته شد (Ojagh et al., 2012).

طرح آماری

بدین منظور از تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) و نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۸ در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۵ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گرفت. همچنین تمامی آزمون‌ها در سه تکرار انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

تعیین MIC و MBC اسانس باریجه

مقادیر MIC و MBC اسانس باریجه بر علیه ۲ باکتری /شریشیاکلی و /استافیلوکوکوس اورئوس، در جدول (۱) ارائه شده است. مطابق نتایج جدول (۱)، باکتری /استافیلوکوکوس اورئوس (MIC، ۰/۲ میکرولیتر بر میلی‌لیتر و MBC، ۰/۴ میکرولیتر بر میلی‌لیتر) حساسیت بیشتر و باکتری /شریشیاکلی (MIC، ۰/۵ میکرولیتر بر میلی‌لیتر و MBC،

² Myrcene

¹ Trichloroacetic acid

جدول ۲- فعالیت ضد میکروبی نانوالیاف زئین حاوی اسانس باریجه

هاله بازدارندگی (میلی متر مربع)		نانوالیاف
استافیلوکوکوس اورئوس	اشریشیاکلی	کنترل
ND ^d	ND ^c	زئین-۱ درصد اسانس باریجه
۷۳/۲۲±۹/۸ ^c	ND ^c	زئین-۲ درصد اسانس باریجه
۱۶۲/۳۳±۱۱/۲ ^b	۸۱/۱۲±۱۲/۱۱ ^b	زئین-۳ درصد اسانس باریجه
۲۸۰/۳۳±۷/۳۳ ^a	۱۸۶/۲۲±۱۳/۳۳ ^a	

ND: شناسایی نشد، مقادیر ذکر شده برای هاله بازدارندگی به صورت میانگین و انحراف استاندارد از سه تکرار می‌باشد. حروف متفاوت در یک ستون حاکی از تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) بین میانگین‌ها می‌باشد.

باکتری و خروج یون‌ها و محتوای داخل سلولی آن می‌باشد (Heydari-Majd *et al.*, 2019).

ترکیب شیمیایی میگو

مقادیر پروتئین، رطوبت، چربی و خاکستر نمونه میگو به ترتیب ۲۰/۱۰±۰/۲۰، ۷۵/۱۱±۰/۱۵، ۰/۹۵±۰/۱۰ و ۲/۱۰±۰/۱۰ درصد به دست آمد. معمولاً ترکیب شیمیایی میگو تحت تأثیر فاکتورهای مختلف از قبیل اندازه، گونه، جنس، تغذیه حیوان، مرحله رشد و فصل می‌باشد و تغییر در هر یک از این فاکتورها سبب ایجاد تغییر در خصوصیات حسی و زمان ماندگاری میگو می‌گردد (Faraj Zade *et al.*, 2015).

ارزیابی میکروبی میگوی پوشش داده شده

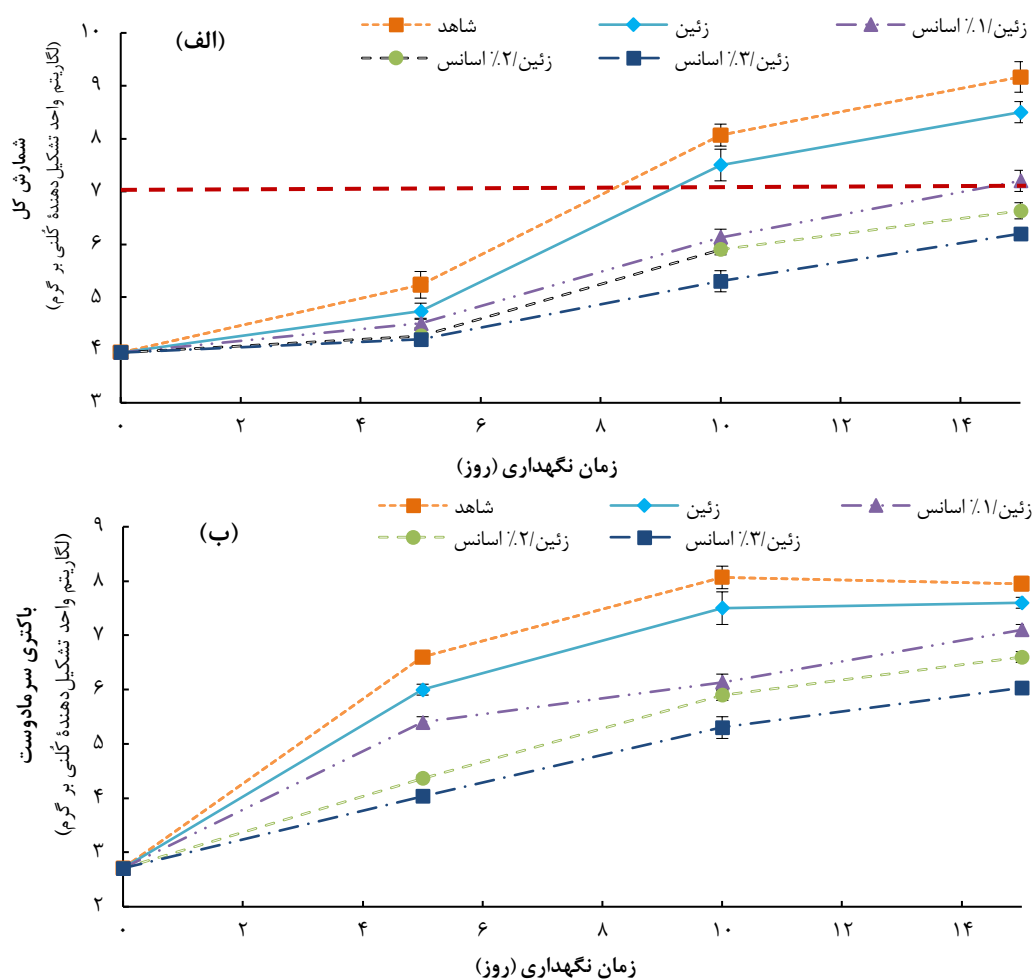
مقدار شمارش باکتری کل میگو در روز اول (روز صفر) برابر ۳/۹۵ لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی بر گرم بود که دلالت بر کیفیت خوب میگوی خریداری شده داشت. همچنین مقدار اولیه باکتری کل برابر با ۲/۷۶ لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی بر گرم برای میگو در روز اول در مطالعه Faraj Zade و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده شد. طبق ICMSF (۱۹۸۶)، حد قابل قبول باکتری کل برای میگو ۷ لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی بر گرم می‌باشد. مطابق نتایج شکل (۱-الف)، مقادیر باکتری کل فقط در نمونه‌های شاهد و نمونه پوشش داده شده توسط پوشش نانوالیاف زئین بدون اسانس پس از ۱۰ روز نگهداری در یخچال از حد قابل قبول عبور کرد و به ترتیب به ۸/۰۶ و ۷/۵۰ لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی بر گرم رسید و به تدریج تا ۹/۱۶ و ۸/۵۰ لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی بر گرم در انتهای دوره نگهداری افزایش یافت. مقادیر باکتری کل تمام نمونه‌های پوشش داده شده با پوشش نانوالیاف حاوی ۲ و ۳

الحاق اسانس باریجه به نانوالیاف زئین از طریق نفوذ اسانس باریجه از طریق ژل آگار و تشکیل هاله بازدارندگی در حوالی دیسک‌های نانوالیاف سبب ایجاد فعالیت میکروب‌کشی قابل ملاحظه‌ای گردید. این فعالیت به گونه‌ای بود که اگرچه هیچ‌گونه هاله بازدارندگی حوالی نانوالیاف زئین حاوی ۱ درصد اسانس باریجه روی باکتری اشریشیاکلی مشاهده نشد، ولی افزایش غلظت اسانس باریجه تا ۳ درصد، هاله عدم رشد قابل توجهی ($P < 0.05$) در برابر هر دو باکتری مورد مطالعه مشاهده شد. نتایج فعالیت ضد میکروبی نانوالیاف از طریق بررسی هاله عدم رشد، نتایج مشابهی را با نتایج آزمون MIC و MBC نشان داده است، به گونه‌ای که اندازه هاله بازدارندگی اسانس باریجه بر باکتری اشریشیاکلی (گرم منفی) بسیار کوچک‌تر از هاله تشکیل شده در برابر استافیلوکوکوس اورئوس (گرم مثبت) بود. مثلاً غلظت ۳ درصد اسانس باریجه، سبب تشکیل هاله بازدارندگی به ترتیب ۱۸۶ و ۲۸۰ میلی متر مربع در برابر باکتری‌های اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس شد. همان‌طور که قبلاً بیان شد غشای اضافی خارجی در اطراف دیواره سلولی باکتری‌های گرم منفی، سبب ممانعت از رهائش ترکیبات آب‌گریزی از عرض غشای لیپوساکاریدی باکتری تا حد زیادی می‌شود (Salarbashi *et al.*, 2020). در مطالعه مشابه Ghasemlou و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند که فیلم ناشاسته حاوی اسانس نعناع و آویشن دارای هاله بازدارندگی بزرگ‌تر در پیرامون باکتری‌های گرم مثبت نسبت به باکتری‌های گرم منفی بودند. ویژگی میکروب‌کشی اسانس باریجه به علت وجود ترکیبات ضد میکروبی موجود در اسانس باریجه از قبیل آلفا، بتا-پینن و میرسن است. مکانیسم‌های فعالیت ضد میکروبی اسانس بیشتر به دلیل غیرفعال‌سازی در مسیر سنتز آنزیم‌های تنفسی در میتوکندری، اختلال در نفوذپذیری غشای سلولی

باکتری‌های گرم منفی به‌عنوان گروه اصلی از باکتری‌های دخیل در فساد میگو در دمای یخچال در نظر گرفته شدند. گزارش شده است که اسانس‌ها می‌توانند اثر ضد میکروبی روی این باکتری‌ها داشته باشند. ترکیبات فنولیک موجود در اسانس مانند آلفا، بتا-پینن و میرسن به‌عنوان اجزای اصلی مسئول ویژگی‌های ضدباکتریایی در نظر گرفته می‌شوند. این ترکیبات می‌توانند به غشای باکتری آسیب رسانند و منجر به آزادسازی لیپوپلی‌ساکارید و ATP از باکتری‌ها شوند (Gram & Huss, 1996). در تحقیقی مشابه Bahrami و همکاران (۲۰۲۲) گزارش نمودند که پوشش دهی ماهی دودی سالمون توسط نانوالیاف گلیادین حاوی اسانس آویشن شیرازی سبب کاهش سه برابری در جمعیت میکروبی ماهی گردید.

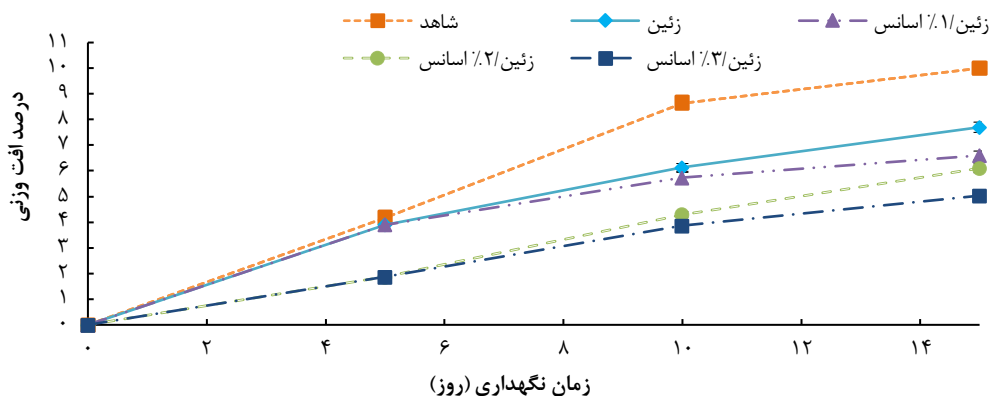
درصد اسانس باریجه تا روز ۱۵ نگهداری در محدوده قابل قبول بود. مشاهده رشد میکروبی مشابهی برای فیله‌های قزل‌آلای رنگین‌کمان^۱ که در موسیلاژ دانه به حاوی اسانس پونه کوهی و آویشن پوشش داده شده بود، گزارش شد که در آن جمعیت میکروبی طی ۱۸ روز نگهداری، زیر حد میکروبی باقی‌ماند (Jouki et al., 2014).

مقادیر باکتری‌های سرماگرای میگوی پوشش داده شده طی ۱۵ روز نگهداری در شکل (۱-ب)، نشان داده شده است. مقدار اولیه باکتری‌های سرماگرای نمونه‌های میگو حدود ۲/۷۱ لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی بر گرم بود که در نمونه شاهد بعد از ۱۵ روز نگهداری به ۷/۹۵ لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی بر گرم رسید. کاهش معنی‌دار در شمارش باکتری‌های سرماگرا همانند شمارش باکتری‌های کل در پی پوشش دهی نمونه‌های میگو مشاهده گردید.



شکل ۱- مقادیر لگاریتمی الف) باکتری‌های کل و ب) سرماگرای میگو طی ۱۵ روز نگهداری، (خطوط نقطه‌چین افقی محدودیت وضع شده برای باکتری کل می‌باشد).

¹ *Oncorhynchus mykiss*



شکل ۲- درصد افت وزنی نمونه‌های میگو طی نگهداری در دمای یخچال (۱±۴ درجه سانتی‌گراد)

افت وزنی میگو

یکی از خصوصیات کیفی قابل‌ملاحظه میگو؛ افت وزنی آن می‌باشد که پیامدهای اقتصادی مهمی را در پی دارد. افت وزنی بیشتر به دلیل دناوره شدن میوزین ماهیچه است که این امر سبب کاهش ظرفیت نگهداری آب پروتئین می‌گردد، چراکه میوفیبریل‌های ماهیچه نقش کنترلی در توزیع آب درون گوشت دارند و سبب افت کمتر آب متصل می‌گردند (Faraj Zade et al., 2015). از تأثیرات منفی افت وزنی (در پی ازدست‌دادن آب) می‌توان به افزایش مکانیسم‌های هیدرولیتیک و اکسیداسیون اشاره نمود که این فرایندها به سهولت با توسعه فعالیت باکتری‌ها شدیدتر می‌شوند و در نهایت سبب کاهش زمان ماندگاری میگو می‌گردند (Faraj Zade et al., 2015).

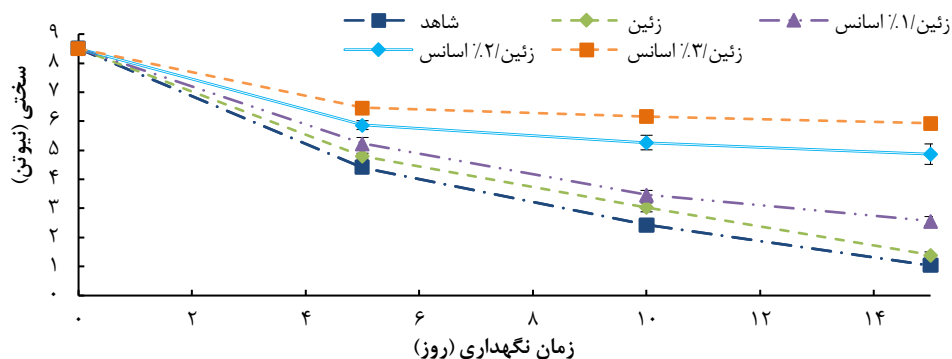
نتایج افت وزنی میگوی بسته‌بندی‌شده در شکل (۲) نمایش داده شده است. نتایج نشان داد که میگوها نیز مانند سایر محصولات دریایی طی زمان و طول نگهداری در شرایط سرد، دچار افت وزنی شده‌اند. این میزان افت وزنی برای تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها بیشتر بود. به طوری که این تیمار در انتهای دوره نگهداری، به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) افت وزنی بیشتری را داشت (۱۰ درصد). کمترین افت وزنی در همین روز (انتهای دوره نگهداری) مربوط به تیمار پوشش نانوالیاف زئین حاوی ۳ درصد اسانس باریجه با مقدار ۵/۰۳ درصد بود. همچنین نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) میان مقادیر کاهش وزن بین تیمار پوشش نانوالیاف زئین حاوی ۱ درصد اسانس با تیمارهای پوشش نانوالیاف حاوی ۲ و ۳ درصد اسانس وجود دارد.

مطابق نتایج شکل (۲)، نانوالیاف خالص زئین سبب کاهش معنی‌دار ($P < 0.05$) در کنترل افت وزنی طی دوره

نگهداری شد. در مقایسه با عمده پلیمرها، نانوالیاف زئین به دلیل ماهیت آب‌گریز خود و تشکیل یک لایه نیمه‌تراوا و صاف روی سطح میگوها، انتقال آب را در ماهیچه میگو کاهش داد. همچنین در میگوهای بسته‌بندی‌شده با نانوالیاف حاوی اسانس، میگوهای تیمارهای پوشش داده‌شده با پوشش نانوالیاف حاوی ۲ و ۳ درصد اسانس باریجه به ترتیب کمترین کاهش وزن را نسبت به سایر نمونه‌ها در روز ۱۵ نگهداری نشان دادند. لذا نقش اسانس باریجه در کاهش وزن نباید نادیده گرفت. با توجه به مطالعه‌های انجام‌شده، وجود ترکیبات آب‌گریز (مانند اسانس‌های گیاهی) در فرمولاسیون فیلم‌ها و نانوالیاف‌ها سبب بهبود ویژگی بازدارندگی در برابر بخار آب و رطوبت می‌گردد (Heydari-Majd et al., 2022).

آنالیز بافت میگو

بافت میگو یکی از مهم‌ترین خصوصیات کیفی آن می‌باشد که تأثیر مهمی در قابلیت پذیرش توسط مصرف‌کننده و ارزش تجاری میگو را دارد. بافت فراورده‌های دریایی به‌ویژه میگو ارتباط مستقیمی با دانسیته فیبرهای ماهیچه میگو دارد. آنالیز بافت میگو در شکل (۳) نشان داده شده است. سختی بافت در روز اول برای تمام نمونه‌های میگو ۸/۵ نیوتن بود که طی نگهداری در یخچال برای تمام نمونه‌ها کاهش یافت. مقدار سختی اولیه ۷/۳۴ نیوتن برای بافت میگو در مطالعه Faraj Zade و همکاران (۲۰۱۵) در ابتدای زمان نگهداری مشاهده شد. کاهش سختی بافت طی نگهداری می‌تواند به دلیل تخریب پروتئین‌های ماهیچه در پی فعالیت آنزیم‌های اتولیتیک و فعالیت میکروارگانیزم‌های هوازی در سطح ماهیچه باشد (Sriket et al., 2007).



شکل ۳- سختی نمونه‌های میگو طی ۱۵ روز نگهداری در دمای یخچال (4 ± 1 درجه سانتی‌گراد)

(۲۰۱۲) طی پوشش‌دهی ماهی سردین توسط پوشش کیتوزان مشاهده شد.

pH میگو

در تمامی محصولات دریایی از pH به‌عنوان شاخصی برای تشخیص فساد شیمیایی استفاده می‌شود که این فساد معمولاً با آفت کیفیتی محصول مرتبط می‌باشد. تأثیر پوشش‌دهی میگو با نانوالیاف زئین حاوی اسانس باریجه بر روند تغییرات pH در جدول (۳) نشان داده شده است. pH اولیه (روز صفر) میگو حدود $6/30$ بود. به‌طورمشابه، pH اولیه $6/32$ برای میگو در مطالعه Faraj Zade و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. مطابق نتایج جدول (۳)، مقادیر pH طی نگهداری در یخچال در تمامی نمونه‌ها به‌جز غلظت‌های ۲ و ۳ درصد اسانس باریجه که قادر به حفظ pH محصول بدون تغییر معنی‌دار بودند ($P < 0/05$)، افزایش یافت ($P < 0/05$). مقدار pH در نمونه شاهد پس از ۱۵ روز نگهداری به حدود $7/5$ رسید. این افزایش pH می‌تواند به‌دلیل تخریب و تجمع ترکیبات نیتروژنی در پی فعالیت آنزیمی و میکروبی طی فرایند فساد باشد و شدت آن به توانایی بافری گوشت وابسته است (Aghaei et al., 2020).

مطابق نتایج شکل (۳)، میگوهای پوشش‌داده‌شده با نانوالیاف زئین بافت بهتری نسبت به نمونه شاهد نشان دادند. به‌گونه‌ای که سختی بافت میگوی پوشش‌داده‌شده در نانوالیاف حاوی ۳ درصد اسانس باریجه در روز نگهداری، $5/9$ نیوتن بود درحالی‌که میزان آن برای نمونه شاهد در روز ۱۵ نگهداری $1/03$ نیوتن مشاهده شد. همچنین افزایش غلظت اسانس باریجه در ساختار نانوالیاف سبب بهبودی بافت میگو گردید. بهبود بافت میگو در اثر پوشش‌دهی را می‌توان به مهار آنزیم‌های اتولیز و ممانعت از رشد میکروارگانیسم‌های مزوفیل هوازی توسط اسانس باریجه نسبت داد که سبب جلوگیری از تغییرات بافتی در پروتئین‌های ماهیچه‌ای میگو می‌شود (Ghaly et al., 2010). همچنین کمترین بار میکروبی در نمونه‌های پوشش‌داده‌شده با غلظت ۳ درصد اسانس باریجه این تطابق را تأیید می‌نماید. ازسوی‌دیگر تأثیر ممانعتی در برابر نفوذ بخار آب توسط نانوالیاف زئین از طریق حفظ رطوبت درون ماهیچه میگو سبب حفظ سفتی بافت ماهیچه و به‌تأخیرانداختن تغییرات بافتی میگو می‌گردد. نتایج مشابهی در پیشگیری از تخریب بافت در مطالعه Zhou و همکاران (۲۰۱۱) طی پوشش‌دهی ماهی پافر^۱ توسط پوشش کیتوزانی و همچنین در مطالعه Mohan و همکاران

جدول ۳- مقادیر pH میگوهای پوشش‌داده‌شده توسط نانوالیاف‌های زئین حاوی اسانس باریجه

نانوالیاف	روز (صفر)	روز (۵)	روز (۱۰)	روز (۱۵)
شاهد	$6/30 \pm 0/09^a$	$6/83 \pm 0/09^a$	$7/08 \pm 0/11^a$	$7/50 \pm 0/09^a$
زئین	$6/30 \pm 0/09^a$	$6/80 \pm 0/04^{ab}$	$7/00 \pm 0/06^{ab}$	$7/20 \pm 0/02^b$
زئین-۱ درصد اسانس باریجه	$6/30 \pm 0/09^a$	$6/52 \pm 0/05^c$	$6/83 \pm 0/03^c$	$7/00 \pm 0/03^c$
زئین-۲ درصد اسانس باریجه	$6/30 \pm 0/09^a$	$6/45 \pm 0/09^{cd}$	$6/71 \pm 0/02^d$	$6/80 \pm 0/06^{de}$
زئین-۳ درصد اسانس باریجه	$6/30 \pm 0/09^a$	$6/41 \pm 0/02^e$	$6/60 \pm 0/02^e$	$6/75 \pm 0/07^e$

داده‌ها میانگین ۳ تکرار می‌باشد. حروف متفاوت در یک ستون حاکی از اختلاف معنی‌داری ($P < 0/05$) بین میانگین‌ها می‌باشد.

¹ Puffer fish

اثر اسانس بر جلوگیری از اکسیداسیون است. کاهش میزان اندیس پراکسید در تمامی نمونه‌ها از روز ۱۰ تا ۱۵ نگهداری را می‌توان به تجزیه هیدروپراکسید به محصولات ثانویه اکسیداسیون نسبت داد. همچنین کاهش اندیس پراکسید را می‌توان به نقش نانوالیاف به‌عنوان یک پوشش محافظ و ایجاد مانع بین سطح میگو و محیط اطراف جهت ممانعت از نفوذ اکسیژن به درون بافت میگو و همچنین خاصیت آنتی‌اکسیدانی اسانس باریجه نسبت داد. در تحقیقی مشابه Faraj Zade و همکاران (۲۰۱۵) گزارش نمودند که پوشش‌دهی میگو توسط پوشش‌های خوراکی کیتوزان و ژلاتین سبب کاهش فرایند اکسیداسیون این محصول گردید.

شاخص اسید تیوباربیتوریک

شاخص اسید تیوباربیتوریک یک روش پرکاربرد برای ارزیابی اکسیداسیون چربی‌ها، به‌ویژه مالون‌دی‌آلدئید^۱ است که ارتباط نزدیکی با کیفیت حسی (طعم، بو و بافت) گوشت دارد (Khanjari et al., 2023). این شاخص همچنین نشان‌دهنده غلظت محصولات ثانویه اکسیداسیون نیز می‌باشد. مطابق با شکل (۴) مقدار این شاخص در روز نخست ۰/۰۴ میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدئید در کیلوگرم نمونه میگو بود که این مقدار در رنج نرمال گزارش شد و نشانگر کیفیت اولیه خوب نمونه‌های میگو می‌باشد. مقدار مالون‌دی‌آلدئید نمونه‌های کنترل و پوشش‌داده‌شده به‌طور چشمگیری طی زمان افزایش یافت اما این مقادیر برای نمونه‌های پوشش‌داده‌شده با نانوالیاف زئین حاوی غلظت‌های ۲ و ۳ درصد اسانس به‌طور معنی‌داری ($P < 0/05$) پایین‌تر از سایر نمونه‌ها بود. Heydari-Majd و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که مقادیر مالون‌دی‌آلدئید در واقع کیفیت تازگی غذاهای دریایی را نشان نمی‌دهد، زیرا مالون‌دی‌آلدئید می‌تواند با اجزای دیگر فرآورده مانند اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، نوکلئوتیدها و سایر آلدئیدها که محصول نهایی اکسیداسیون لیپید هستند، برهم‌کنش دهد. این امر ممکن است کاهش مقادیر مالون‌دی‌آلدئید نمونه‌های میگوی پوشش‌داده‌شده در نانوالیاف زئین پس از نگهداری ۱۰ روزه در یخچال را توضیح دهد.

ترکیبات فنولی موجود در اسانس باریجه می‌توانند با یون‌های فلزات واسطه که در اکسیداسیون چربی‌ها دخیل هستند، متصل گردند و در نتیجه از شروع واکنش‌های

pH تمامی میگوهای پوشش‌داده‌شده با نانوالیاف نسبت به نمونه شاهد کمتر بود ولی به‌جز غلظت‌های ۲ و ۳ درصد اسانس باریجه، سایر تیمارها در روز ۱۵ از مرز ۷ عبور نمودند. غلظت‌های مختلف اسانس باریجه با ترکیبات ضد میکروبی قوی مانند آلفا و بتا-پینن و میرسن (Heydari-Majd et al., 2019) رشد میکروارگانیسم‌ها را کاهش می‌دهد و در نتیجه از تولید متابولیت‌های اسیدی ناشی از رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری می‌نماید. نتایج مشابه تحقیق حاضر در مطالعه انجام‌گرفته روی نگهداری میگو با فیلم‌های کیتوزان/ژلاتین مشاهده گردید (Faraj Zade et al., 2015).

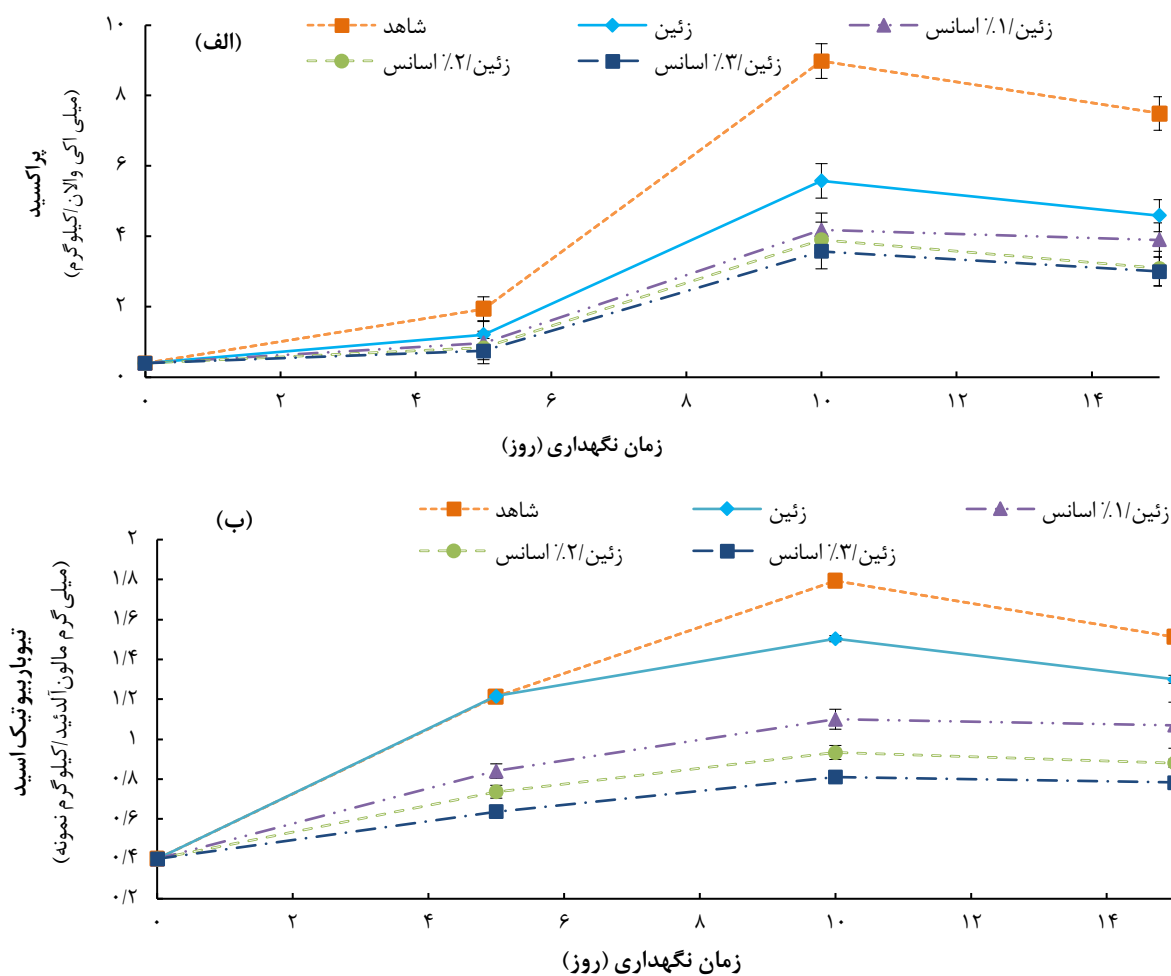
اندیس پراکسید

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های فساد فرآورده‌های دریایی اندیس پراکسید می‌باشد که ارتباط مستقیم با اکسیداسیون چربی‌ها دارد و بیانگر میزان اولیه محصولات اکسیداسیون است. اندیس پراکسید طی نگهداری فرآورده‌های دریایی افزایش می‌یابد. این افزایش بیشتر به‌علت اکسیداسیون اسیدهای چرب چندغیراشباع بافت فرآورده در پی صدمات واردشده به بافت طی فرآوری و نگهداری می‌باشد. آنزیم‌های لیپاز و فسفولیپاز تولیدشده توسط میکروارگانیسم‌های سرماگرا مانند سودوموناس‌ها سبب تشکیل اسیدهای چرب آزاد و همچنین رادیکال‌های آزاد می‌گردد که در واکنش با اکسیژن تولید هیدروپراکسید یا پراکسید ناپایدار می‌کند (Wang et al., 2023). پراکسیدها ترکیباتی بدون طعم و بو می‌باشند و معمولاً توسط مصرف‌کنندگان تشخیص داده نمی‌شوند، اما با تولید ترکیب‌های ثانویه از قبیل آلدئیدها و کتون‌ها سبب ایجاد بو و طعم نامطلوب می‌گردد. عمدتاً عدد مقدار قابل قبول پراکسید برای فرآورده‌های دریایی و به‌ویژه میگو عدد ۵ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم چربی می‌باشد (FAO, 1995). مطابق نتایج شکل (۴)، علی‌رغم اینکه اندیس پراکسید تا روز ۱۰ طی نگهداری در دمای یخچال افزایش یافت ولی این مقادیر کمتر از مقدار ۱۰ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم چربی بود که این امر دلالت بر کیفیت اولیه خوب نمونه‌های میگو می‌نماید. بیشترین اندیس پراکسید در روز ۱۵ نگهداری، مربوط به نمونه شاهد و کمترین مقدار مربوط به نمونه پوشش‌داده‌شده در نانوالیاف حاوی ۲ و ۳ درصد اسانس باریجه می‌باشد که این امر دلالت بر معنی‌دار بودن ($P < 0/05$) نقش پوشش‌دهی و

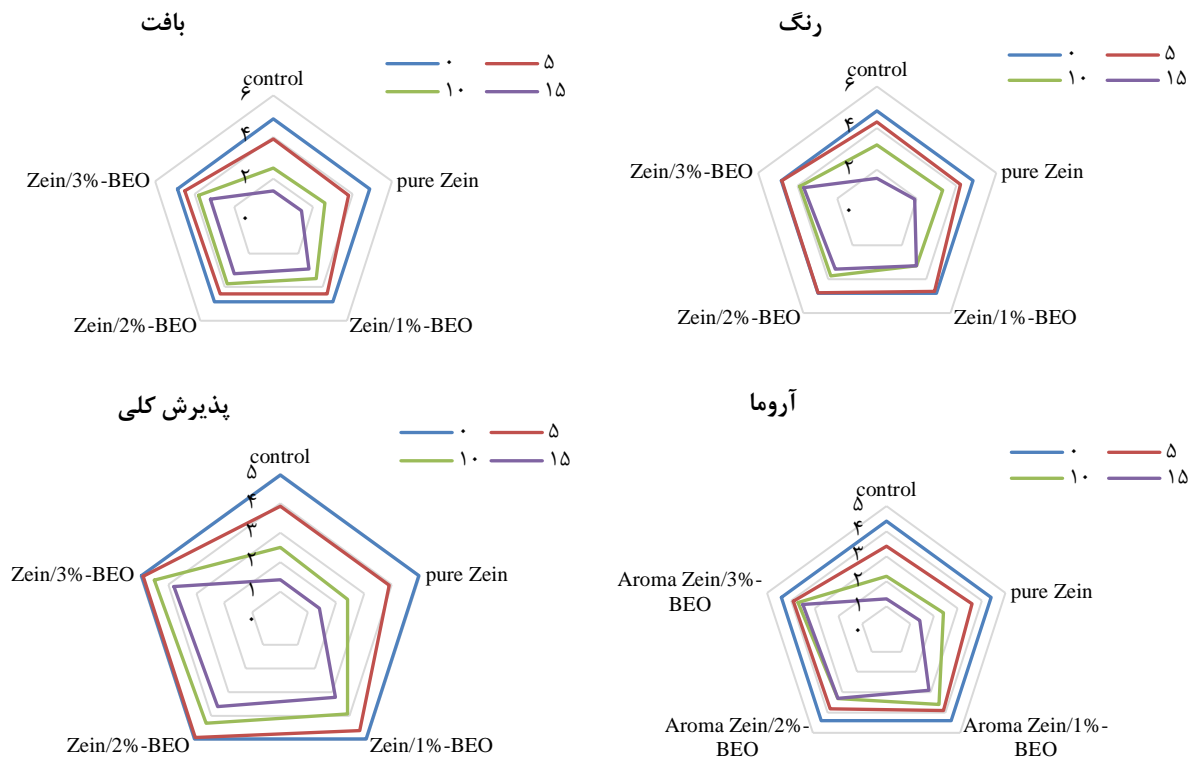
¹ Malondialdehyde

همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که مقدار شاخص اسید تیوباریتوریک، نمایش واقعی از کیفیت تازگی فراورده‌های دریایی را منعکس نمی‌کند زیرا ترکیبات ایجاد شده در این شاخص می‌تواند با دیگر ترکیبات مانند آمینواسیدها، پروتئین‌ها، نوکلئوتیدها و دیگر آلدئیدها (که محصولات نهایی اکسیداسیون لیپیدها هستند) واکنش نشان دهد. این موضوع می‌تواند شرح‌دهنده دلیل کم بودن مقادیر این شاخص در نمونه شاهد و نمونه پوشش داده شده در پوشش نانوالیاف حاوی ۱ درصد اسانس باریجه بعد از ۱۵ روز نگهداری باشد. کاهش عدد اسید تیوباریتوریک را همچنین می‌توان به تشکیل لایه مقاوم در برابر اکسیژن بر سطح میگو نسبت داد. نانوالیاف زئین با تشکیل لایه‌ای بر سطح میگو به عنوان سد بین بافت میگو و هوای اطراف آن عمل نموده و سرعت انتشار اکسیژن از محیط اطراف به میگو را کاهش می‌دهد (Heydari-Majd et al., 2019).

زنجیره‌ای رادیکال که مسئول تولید گونه‌های متفاوت رادیکالی اکسیژن مختلف هستند، جلوگیری نمایند. طبق گزارش Sallam (۲۰۰۷)، هرچند مقدار ۵ میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدئید در کیلوگرم سبب می‌گردد فراورده دریایی بوی نامطبوع ضعیفی داشته باشد، اما حداکثر حد مجاز برای سطح مالون‌دی‌آلدئید در فراورده دریایی ۸ میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدئید در کیلوگرم است که بر کیفیت گوشت تأثیر منفی نمی‌گذارد. در این مطالعه، مقدار نهایی مالون‌دی‌آلدئید در تمام نمونه‌ها کمتر از این حد بود که نشان‌دهنده درجه کم اکسیداسیون چربی در میگو است. در مطالعه حاضر، شرایط نگهداری میگو مانند نگهداری در یخچال تاریک و محافظت شده از نور به احتمال زیاد سبب تأخیر در اکسیداسیون چربی حتی در نمونه شاهد و نمونه پوشش داده شده با پوشش نانوالیاف زئین حاوی ۱ درصد اسانس باریجه شده است. همچنین Heydari-Majd و



شکل ۴- الف) شاخص پراکسید و ب) تیوباریتوریک اسید نمونه‌های میگو طی ۱۵ روز نگهداری در یخچال (±۱ درجه سانتی‌گراد)



شکل ۵- ارزیابی حسی (رنگ، بافت، آروما و پذیرش کلی) در حین نگهداری میگوی پوشش داده شده با پوشش نانوالیاف

قابل توجهی کاهش یافت. در روز ۱۵ نگهداری، نمونه شاهد و میگوی تیمار شده با نانوالیاف خالص زئین از نظر میکروبیولوژیکی قابل قبول واقع نشد. فرایند اکسیداسیون چربی و رشد میکروبی باعث شد، میگوی نمونه شاهد، شواهد ایجاد فساد را به صورت بوی بد، لزجی و تغییر رنگ پس از روز ۱۰ نگهداری نشان دهد. نانوالیاف حاوی ۲ و ۳ درصد اسانس باریجه، ویژگی‌های محصول مانند رنگ، عطر و طعم و پذیرش کلی را حتی در روز ۱۵ نگهداری در یخچال حفظ کرد. علاوه بر این، اعضای پانل هیچ طعم بدی را در میگوهای پوشش داده شده در پی تیمار با اسانس باریجه درک نکردند. نتایج حسی این مطالعه نیز با نتایج گزارش شده توسط Ojagh و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد، که هیچ تغییر محسوسی در کیفیت کلی ماهی قزل‌آلای پوشش داده شده طی ۱۶ روز را مشاهده نکردند.

نتیجه‌گیری

باتوجه به فساد سریع فرآورده‌های دریایی به دلیل رطوبت و چربی زیاد، در این مطالعه، تأثیر نانوالیاف زئین حاوی سه غلظت اسانس باریجه بر زمان ماندگاری میگو طی نگهداری در یخچال مورد مطالعه قرار گرفت. اسانس باریجه دارای اثرات حداقل غلظت باکتری‌کشی مشخص بر دو باکتری

ارزیابی حسی میگو

خصوصیات حسی عامل اصلی پذیرش یا رد بسیاری از محصولات و جلب رضایت از طرف مصرف کننده می‌باشد. با وجود اینکه فساد میکروبی، طی نگهداری سرد، به طور چشمگیری کاهش می‌یابد، ولی آفت کیفی میگو مانند بافت، عطر و طعم و رنگ به طور پیوسته طی نگهداری رخ می‌دهد، مثلاً، تغییرات بافتی ناشی از تخریب پروتئین‌ها ناشی از اکسیداسیون، فعالیت آنزیمی و میکروبی و همچنین آفت وزنی که طی نگهداری در شرایط یخچال به طور پیوسته رخ می‌دهد (Ojagh et al., 2012). رنگ میگو بیشتر ناشی از کاروتنوئید آستازانتین می‌باشد که سبب ایجاد رنگ قرمز می‌گردد. طی نگهداری در یخچال، از شدت رنگ قرمز کم کم کاسته شده و به تدریج رنگ زرد غالب می‌شود. معمولاً این تغییر رنگ توسط فتواکسیداسیون آستازانتین ایجاد می‌گردد (Christophersen et al., 1991). همچنین عطر و طعم نامطلوب بیشتر در پی اکسیداسیون چربی ایجاد می‌شود که در نهایت بوی آن طی فرایند پوست‌گیری استشمام می‌شود. ویژگی‌های حسی میگو طی ۱۵ روز نگهداری در دمای یخچال در شکل (۵) نشان داده شده است. ظاهر و کیفیت میگوی تازه (عطر و طعم و رنگ) طی نگهداری به دلیل فعالیت میکروبی آنزیمی به میزان

دریایی سریع‌الفساد را جهت افزایش زمان ماندگاری آنها دارد.

تشکر و قدردانی

لازم است که از معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی زاهدان (پروژه شماره ۱۴۰۱.۳۳۷، کد اخلاق IR.ZAUMS.REC. جهت تأمین اعتبار مالی بخش آزمایشگاهی مطالعه، تشکر و قدردانی نمایم.

مشارکت نویسندگان

مجتبی حیدری‌مجد: جمع‌آوری داده، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، نوشتن پیش‌نویس مقاله، آنالیز داده‌ها، ارائه ایده پژوهشی و طراحی مطالعه؛ مهدیه شفقت: تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، بازبینی و اصلاح مقاله؛ فاطمه غفران مکشوف: نظارت بر مطالعه، تأیید نسخه نهایی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس بود و همچنین توانست هاله بازدارندگی مشخصی در زمان الحاق به نانوالیاف زئین در برابر دو باکتری ذکرشده را از خود نشان دهد. هرچند نانوالیاف زئین به تنهایی خصوصیات میکروبی را نشان نداد. الحاق اسانس باریجه در غلظت‌های مختلف و به‌ویژه در غلظت ۲ و ۳ درصد از طریق جلوگیری از آفت وزنی و سختی بافت، افزایش pH میگو و همچنین کمتر شدن میزان باکتری کل و سرماگرا سبب افزایش زمان ماندگاری میگو تا ۱۵ روز در دمای یخچال گردید. همچنین پوشش نانوالیاف حاوی اسانس باریجه سبب پیشگیری از اکسیداسیون چربی موجود در میگو شد که این امر از طریق کاهش اندیس پراکسید و اسید تیوباربیوتیک نمونه میگوی پوشش‌داده‌شده در مقایسه با نمونه شاهد قابل‌توجه بود. ارزیابان حسی نیز هیچ‌گونه بدطعمی و آفت کیفیت را در میگوی پوشش‌داده‌شده در نانوالیاف حاوی ۲ و ۳ درصد اسانس باریجه مشاهده نمودند. لذا می‌توان عنوان نمود که نانوالیاف زئین حاوی ۲ و ۳ درصد اسانس باریجه قابلیت تولید یک بسته‌بندی فعال در پوشش‌دهی فرآورده‌های

منابع

- Abdolshahi, A., Heydari Majd, M., Abdollahi, M., Fatemizadeh, S., & Monjazeab Marvdashti, L. (2022). Edible Film Based on *Lallemantia peltata* L. Seed Gum: Development and Characterization. *Journal of Chemical Health Risks*, 12(1), 47-61. <https://doi.org/10.22034/jchr.2020.1896596.1118>
- Abedi, D., Jalali, M., & Sadeghi, N. (2009). Composition and antimicrobial activity of oleogumresin of *Ferula gumosa* Bioss. essential oil using Alamar Blue™ [*Ferula gumosa*; Antimicrobial activity; Essential oil]. 2009, 5. <http://rps.mui.ac.ir/index.php/jrps/article/view/40>
- Aghaei, Z., Ghorani, B., Emadzadeh, B., Kadkhodae, R., & Tucker, N. (2020). Protein-based halochromic electrospun nanosensor for monitoring trout fish freshness. *Food Control*, 111, 107065. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107065>
- AOAC. (2005). Official method of Analysis. Method 935.14 and 992.24., 18th Edition, . In: Association of Officiating Analytical Chemists, Washington DC. ,
- AOCS. (1990). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society, 4th Edition. In: American Oil Chemists Society, Champaign. II.
- Aşık, E., & Candoğan, K. (2014). Effects of Chitosan Coatings Incorporated with Garlic Oil on Quality Characteristics of Shrimp. *Journal of Food Quality*, 37(4), 237-246. <https://doi.org/10.1111/jfq.12088>
- Bahrami, Z., Pedram-Nia, A., Saeidi-Asl, M., Armin, M., & Heydari-Majd, M. (2023). Bioactive gliadin electrospinning loaded with *Zataria multiflora* Boiss essential oil: Improves antimicrobial activity and release modeling behavior. *Food Science & Nutrition*, 11(1), 307-319. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3062>
- Bahrami, Z., Pedram Nia, A., Saeidi-Asl, M., Armin, M., & Heydari-Majd, M. (2022). Evaluation of Antimicrobial Properties of Gliadin Nanofibers Containing *Zataria multiflora* Boiss Essential Oil and its Effect on Shelf-life Extension of Smoked Salmon Fish Fillet. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 11(2), 141-154. <https://doi.org/10.22101/jrifst.2022.326416.1321> (in Persian)

- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol*, 37(8), 911-917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- BOURNE, M. C. (1967). Deformation Testing of Foods. *Journal of Food Science*, 32(5), 601-605. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1967.tb00843.x>
- Christophersen, A. G., Jun, H., Jørgensen, K., & Skibsted, L. H. (1991). Photobleaching of astaxanthin and canthaxanthin. Quantum-yields dependence of solvent, temperature, and wavelength of irradiation in relation to packaging and storage of carotenoid pigmented salmonoids. *Z Lebensm Unters Forsch*, 192(5), 433-439. <https://doi.org/10.1007/bf01193143>
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2008). *Antimicrobial disk and dilution susceptibility tests for bacteria isolated from animals; Approved Standard-third edition. CLSI document M31-A3 (ISBN 1-56238-659-X). Clinical and Laboratory Standards Institute, 940 West Valley Road, Suite 1400, Wayne, Pennsylvania 19087-1898 USA.* <https://www.dbt.univr.it/documenti/OccorrenzaIns/matdid/matdid485539.pdf>
- Dias Antunes, M., da Silva Dannenberg, G., Fiorentini, Â. M., Pinto, V. Z., Lim, L.-T., da Rosa Zavareze, E., & Dias, A. R. G. (2017). Antimicrobial electrospun ultrafine fibers from zein containing eucalyptus essential oil/cyclodextrin inclusion complex. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 874-882. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.095>
- FAO. (1995). *The state of world fisheries and aquaculture, FAO Fisheries Technical Paper No. 348.* Food and Agriculture Organization of the United National .
- Faraj Zade, F., Motamed zadegan, A., Shahidi, S. A., & Hamze, S. (2015). Optimization of chitosan and / or gelatin edible coatings to improve quality of refrigerated shrimp. *Journal of food science and technology(Iran)*, 13(53), 79-91. <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-4032-en.html> (in Persian)
- Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., & Brooks, M. S. (2010). Fish Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: Review. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7), 859-877. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2010.859.877>
- Ghasemlou, M., Aliheidari, N., Fahmi, R., Shojaee-Aliabadi, S., Keshavarz, B., Cran, M. J., & Khaksar, R. (2013). Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 1117-1126. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.026>
- Gram, L., & Huss, H. H. (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 121-137. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)01134-8](https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)01134-8)
- Hajjari, M. M., Golmakani, M.-T., & Sharif, N. (2021). Fabrication and characterization of cuminaldehyde-loaded electrospun gliadin fiber mats. *LWT*, 145, 111373. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111373>
- Heydari-Majd, M., Ghanbarzadeh, B., Shahidi-Noghabi, M., Abdolshahi, A., Dahmardeh, S., & Malek Mohammadi, M. (2022). Poly(lactic acid)-based bionanocomposites: effects of ZnO nanoparticles and essential oils on physicochemical properties. *Polymer Bulletin*, 79(1), 97-119. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03490-z>
- Heydari-Majd, M., Ghanbarzadeh, B., Shahidi-Noghabi, M., Najafi, M. A., & Hosseini, M. (2019). A new active nanocomposite film based on PLA/ZnO nanoparticle/essential oils for the preservation of refrigerated Otolithes ruber filets. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.12.002>
- Heydari-Majd, M., Rezaeinia, H., Shadan, M. R., Ghorani, B., & Tucker, N. (2019). Enrichment of zein nanofibre assemblies for therapeutic delivery of Barije (*Ferula gummosa* Boiss) essential oil. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 54, 101290. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101290>
- Heydari-Majd, M., Shadan, M. R., Rezaeinia, H., Ghorani, B., Bameri, F., Sarabandi, K., & Khoshabi, F. (2023). Electrospun plant protein-based nanofibers loaded with sakacin as a promising bacteriocin source for active packaging against *Listeria monocytogenes* in quail breast. *Int J Food Microbiol*, 391-393, 110143. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110143>
- ICMSF. (1986). *International commission on microbiological specifications for foods (ICMSF). Microorganisms in Foods: Sampling for Microbiological Analysis, Principles and Specific Applications.* . Blackwell Scientific Publications, Toronto, Canada: University of Toronto Press 181-196 .

- Javidi, Z., Hosseini, S. F., & Rezaei, M. (2016). Development of flexible bactericidal films based on poly(lactic acid) and essential oil and its effectiveness to reduce microbial growth of refrigerated rainbow trout. *LWT - Food Science and Technology*, 72, 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.052>
- 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. *Int J Food Microbiol*, 174, 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.01.001>
- Khanjari, A., Esmaeili, H., & Hamed, 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109982>
- Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., Lalitha, K. V., & Srinivasa Gopal, T. K. (2012). Effect of chitosan edible coating on the quality of double filleted Indian oil sardine (*Sardinella longiceps*) during chilled storage. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.05.005>
- Monjazeb Marvdashti, L., Arab, S., Bahraminasab, M., Roustaei, M., Souri, S., Heydari Majd, M., & Abdolshahi, A. (2023). Smirnovia Iranica Whole Herb Extract: Antioxidant, Radical Scavenging, Anti-microbial and Anti-Cancer Effects. *Journal of Chemical Health Risks*, 13(2), 391-400. <https://doi.org/10.22034/jchr.2022.1943420.1443>
- Niu, B., Yan, Z., Shao, P., Kang, J., & Chen, H. (2018). Encapsulation of Cinnamon Essential Oil for Active Food Packaging Film with Synergistic Antimicrobial Activity. *Nanomaterials*, 8(8), 598. <https://www.mdpi.com/2079-4991/8/8/598>
- Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2012). Effect of antimicrobial coating on shelf-life extension of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of food science and technology(Iran)*, 9(34), 13-23. <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-6776-en.html> (in Persian)
- Oulkheir, S., Aghrouch, M., El Mourabit, F., Dalha, F., Graich, H., Amouch, F., . . . Chadli, S. (2017). Antibacterial activity of essential oils extracts from cinnamon, thyme, clove and geranium against a gram negative and gram positive pathogenic bacteria. *Journal of diseases and medicinal plants*, 3(2-1), 1-5. <https://doi.org/10.11648/j.jdmp.s.2017030201.11>
- Patel, A. R., Heussen, P. C., Hazekamp, J., Drost, E., & Velikov, K. P. (2012). Quercetin loaded biopolymeric colloidal particles prepared by simultaneous precipitation of quercetin with hydrophobic protein in aqueous medium. *Food Chem*, 133(2), 423-429. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.054>
- Salarbashi, D., Tafaghodi, M., & Heydari-Majd, M. (2020). Fabrication of curcumin-loaded soluble soy bean polysaccharide/TiO2 bio-nanocomposite for improved antimicrobial activity. *Nanomedicine Journal*, 7(4), 291-298. <https://doi.org/10.22038/nmj.2020.07.00005>
- Sallam, K. I. (2007). Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. *Food Control*, 18(5), 566-575. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.02.002>
- Shakouri, S., Ziaolhagh, H. R., Sharifi-Rad, J., Heydari-Majd, M., Tajali, R., Nezarat, S., & Teixeira da Silva, J. A. (2015). The effect of packaging material and storage period on microwave-dried potato (*Solanum tuberosum* L.) cubes. *J Food Sci Technol*, 52(6), 3899-3910. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1464-x>
- Sriket, P., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Kijroongrojana, K. (2007). Comparative studies on chemical composition and thermal properties of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) meats. *Food Chemistry*, 103(4), 1199-1207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.039>
- Wang, S., Liu, Z., Zhao, M., Gao, C., Wang, J., Li, C., . . . Zhou, D. (2023). Chitosan-wampee seed essential oil composite film combined with cold plasma for refrigerated storage with modified atmosphere packaging: A promising technology for quality preservation of golden pompano fillets. *International Journal of Biological Macromolecules*, 224, 1266-1275. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.212>
- Yong, H., & Liu, J. (2021). Active packaging films and edible coatings based on polyphenol-rich propolis extract: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 20(2), 2106-2145. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12697>
- Zhou, R., Liu, Y., Xie, J., & Wang, X. (2011). Effects of combined treatment of electrolysed water and chitosan on the quality attributes and myofibril degradation in farmed obscure puffer fish (*Takifugu obscurus*) during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 129(4), 1660-1666. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.028>

Effect of Zein Nanofiber Containing Barije Essential Oil on Increasing the Storage Time of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) at Refrigerated Temperature (4 ± 1 °C)

Mojtaba Heydari-Maj¹, Mahdiah Shafaghat^{1*}, Fatemeh Ghofran-Makshouf¹

1- Infectious Diseases and Tropical Medicine Research Center, Research Institute of Cellular and Molecular Science in Infection Disease, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran

* Corresponding author (m.shafaghat@zaums.ac.ir)

Abstract

In this research, the effectiveness of zein nanofibers containing three concentrations (1, 2, and 3%, w/w) of barije essential oil was investigated to increase the shelf life of shrimp at refrigerated temperature (4 ± 1 °C). Firstly, the minimum growth inhibitory concentration, minimum lethal concentration of *Barija essential oil* and the amount of inhibitory halo of nanofiber samples containing essential oil during agar diffusion test against bacteria *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* were investigated. Also, the antimicrobial, physicochemical and oxidation properties of coated shrimp such as weight loss, texture, pH, peroxide and thiobarbitic acid were evaluated. The MIC and the MBC of barije essential oil were 0.2, 0.4 and 0.5, and 1.25 $\mu\text{L}/\text{mL}$ against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* bacteria, respectively. Also, the inhibition zone of the nanofiber coating containing 3% essential oil against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria were 186.22 and 280.33 mm^2 , respectively. Nanofibers containing 2 and 3% of barije essential oil caused a significant decrease ($P<0.05$) in the count of total and psychrotrophic bacteria in shrimp compared to the control. Nanofibers containing 3% barije essential oil prevented weight loss and increased pH of shrimp and preserved them in the values of 5.03 and 6.75% respectively in coated shrimp samples after 15 days of refrigerated storage. Coating was also able to improved about 5 times the reduction of tissue hardness. The coating of shrimp prevented oxidation. The overall results showed that zein nanofibers containing 3% essential oil increased the shelf life of shrimp.

Keywords: Active packaging, Barije essential oil, Nanofibers, Shrimp, Zein

