اثر پوشش زیست فعال کازئینات و آلژینات سدیم حاوی عصاره مرزه (*Satureja sahendica* L) بر ماندگاری فیله ماهی قزل آلا رنگین کمان

ساناز امینی[a]، داریوش خادمی شورمستی[*b]، حسین ورشویی[c]

[a] *دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه صنایع غذایی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران*
[b] *دانشیار گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران*
[c] *استادیار گروه شیلات، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵

چکیده

مقدمه: استفاده از زیست‌پلیمرها به‌صورت پوشش‌های فعال جهت جایگزینی بسته‌بندی‌های پلاستیکی مرسوم مواد غذایی مورد توجه مصرف‌کنندگان قرار گرفته است. این مطالعه با هدف تعیین اثر پوشش کامپوزیت فعال بر پایه کازئینات و آلژینات سدیم حاوی عصاره مرزه بر ماندگاری فیله ماهی انجام شد.

مواد و روش‌ها: فیله‌های ماهی قزل‌آلا رنگین کمان به روش غوطه‌وری با محلول‌های پوششی تیمار و به‌مدت ۱۲ روز در دمای یخچال نگهداری شدند. تیمارها شامل فیله‌های فاقد پوشش (شاهد) و دارای پوشش‌های فعال آلژینات سدیم (۳ درصد) یا کازئینات سدیم (۸ درصد)، به تنهایی یا به‌صورت کامپوزیت کازئینات–آلژینات، همگی حاوی عصاره مرزه در غلظت ۱/۵ درصد، در مجموع چهار تیمار، در قالب یک طرح بلوک کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نمونه‌گیری به‌فاصله هر ۳ روز جهت ارزیابی شاخص‌های شیمیایی، میکروبیولوژیکی و اکسیداتیو انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد پوشش کامپوزیت نسبت به هریک از زیست‌پلیمرها به‌تنهایی، عملکرد بهتری داشت. در بین زیست‌پلیمرها، آلژینات سدیم نسبت به کازئینات بستر مناسب‌تری برای حمل عصاره مرزه بود و توانست اثر بخشی ضد میکروبی و ضد اکسیدانی عصاره را در مدت زمان بیشتری حفظ نماید. در پایان دوره‌ی نگهداری، فیله‌های دارای پوشش فعال کامپوزیتی دارای کمترین میانگین باکتری‌های مزوفیل هوازی (۴/۸۰ log CFU/g)، pH (۵/۷۰)، مجموع ترکیبات ازته فرار (۱۵/۲۵ mg/100g)، عدد پراکسید (۴/۳۷ meq/kg)، اندیس اسید تیوباربیتوریک (۰/۷۰ mg MDA/kg) و بالاترین ظرفیت نگهداری آب (۶۲/۵۰ ٪) بودند ($p<0.05$) و حداقل ۳ روز ماندگاری بیشتری نسبت به فیله‌های فاقد پوشش داشتند.

نتیجه‌گیری: با توجه به شاخص‌های مورد ارزیابی، می‌توان از پوشش کامپوزیتی کازئینات – آلژینات سدیم حاوی عصاره مرزه به‌صورت پوشش فعال برای نگهداری فیله ماهی در دمای یخچال استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آلژینات، پوشش فعال، پوشش کامپوزیت، عصاره مرزه، کازئینات

[*] نویسنده مسئول مکاتبات email: Da.khademi@iau.ac.ir

مقدمه

گوشت ماهی منبع عالی پروتئین، اسیدهای چرب امگا ۳، کلسیم، فسفر، آهن، روی، منیزیم، ویتامین A و ید است. با این حال، محصولات ماهی طعم و بوی خاص خود را داشته و بسیار فاسد شدنی هستند و باید در پوشش و محل مناسب برای جابجایی، توزیع و صادرات نگهداری شوند (Laorenza *et al*., 2022; Nowruzi *et al*., 2024).

پلاستیک به‌دلیل ویژگی‌های مطلوب خود ماده اصلی پوشش مواد غذایی هستند، اما، استفاده گسترده از آنها زمینه‌ساز خطر برای ایمنی محیط زیست و سلامت انسان است (Abelti *et al*., 2022). یک گزینه جایگزین، پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر است. آنها برخلاف پلاستیک‌های مصنوعی، تخریب و تجزیه می‌شوند، به خاک باز می‌گردند و حجم زباله‌ها را کاهش می‌دهند. در میان پلیمرهای زیستی، پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها به‌دلیل ویژگی‌های خاص خود برای توسعه پوشش‌ها و فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر و خوراکی بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (Gagaoua *et al*., 2021; Khademi Shurmasti, 2022).

زیست‌پلیمرها اغلب به‌صورت پوشش‌ها و فیلم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، آنها می‌توان به‌عنوان حامل افزودنی‌هایی عمل کنند که علاوه بر کاربرد پوشش عمومی، عملکرد خاصی (مانند ویژگی‌های سدی، خواص ضد میکروبی و ضد اکسیدانی) را اعمال کنند (پوشش فعال). در واقع پوشش فعال یک رویکرد جدید با هدف توسعه مواد پوشش است که حامل عوامل فعال برای بهبود کیفیت و ایمنی مواد غذایی است. ترکیبات طبیعی، مانند اسانس‌ها و عصاره‌ها، اسیدهای فنولیک و سایر متابولیت‌های گیاهی بدین منظور، جایگزین‌های بسیار امیدوارکننده‌ای برای نگهدارنده‌های مصنوعی، که مصرف‌کنندگان تمایلی به استفاده از آنها ندارند، در نظر گرفته می‌شوند. افزودن عوامل فعال به پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی در مقایسه با کاربرد مستقیم آن‌ها در محصولات غذایی به‌دلیل فراهم کردن فرصت آزادسازی تدریجی عوامل و حفظ غلظت بحرانی برای مدت طولانی‌تر مفید است (Gheorghita *et al*., 2020).

جنس مرزه *Satureja* از خانواده نعناعیان است. عمده‌ترین ترکیب‌های شناسایی شده در مرزه (*Satureja sahendica* L.) شامل کارواکرول، تیمول و گاما ترپینن هستند (Abbasi *et al*., 2005). اثر ضد میکروبی مرزه بر روی تعدادی از باکتری‌های بیماری‌زا و مولد فساد در مواد غذایی گزارش شد (Farahani *et al*., 2019). استفاده از ۳ درصد اسانس مرزه جهت پایداری اکسداتیو فیله ماهی قباد نگهداری شده در سردخانه (Eisamaleki *et al*., 2020) و تا ۵ درصد عصاره مرزه بر کاهش اکسیداسیون و بار میکروبی کل گوشت مرغ (Nosratollahi *et al*., 2018) با نتایج مثبتی همراه بود.

کازئینات سدیم ترکیبی است که از طریق رسوب اسیدی کازئین (پروتئین شیر) به‌دست می‌آید. کازئین با دارا بودن خواصی چون زیست تخریب‌پذیری، قابلیت تشکیل میسل، قابلیت امولسیون سازی و توانایی اتصال با یون‌ها و مولکول‌های کوچک، به یک ماده زیستی مطلوب برای تهیه پوشش‌های خوراکی تبدیل شده است (Mihalca *et al*., 2021). با این حال، فیلم‌های پروتئینی دارای تراوایی بالایی در برابر بخار آب بوده و لذا در طول فرآیند خشک‌کردن شکننده هستند. مقاومت محدود پروتئین‌ها در برابر نفوذ بخار آب استفاده از آن را با محدودیت‌هایی مواجه کرده است. پوشش کازئینات سدیم ۸ درصد به تنهایی (Zargar *et al*., 2014) و نیز همراه با اسانس رزماری (Yeganeh *et al*., 2022) و عصاره بذر چای (Tabatabaee *et al*., 2011) در پوشش فعال به‌طور معنی‌داری موجب کاهش فساد اکسیداتیو، شیمیایی و میکروبی گوشت ماهی در مدت نگهداری در یخچال شد. با این حال، مطالعات روی پوشش‌های کازئینات در مقایسه با فیلم‌های مبتنی بر کازئین بسیار محدود است (Gagaoua *et al*., 2021).

آلژینات‌ها پلی‌ساکاریدهای خطی، آنیونی محلول در آب هستند که معمولاً توسط جنس‌های مختلف جلبک‌های قهوه‌ای و نیز برخی از باکتری‌ها سنتز می‌شوند. مفیدترین خاصیت آن یعنی تشکیل ژل یا پلیمرهای قوی با حلالیت کم، به‌دلیل توانایی آن در واکنش با کاتیون‌های چند ظرفیتی، به‌ویژه با یون‌های کلسیم است. استفاده از پوشش آلژینات در ماهی کیلکا نگهداری شده در سردخانه (Khanedan *et al*., 2011)، پوشش آلژینات فعال حاوی لاکتوپراکسیداز و اسانس آویشن در گوشت ماهی (Barkhori Mehni *et al*., 2019) و پوشش آلژینات

فعال حاوی عصاره مرزه در گوشت مرغ (Khademi Shurmasti *et al.*, 2021) تغییرات نامطلوب شیمیایی، اکسیداتیو و میکروبی را کنترل کرده و ماندگاری را طی نگهداری در یخچال افزایش داد.

در بررسی مقایسه‌ای پوشش فعال بر پایه زیست‌پلیمرهای آلژینات، کازئینات و ژلاتین (همگی ۴ درصد) حاوی اسانس آویشن بر ماندگاری میگو نشان داده شد ترکیب آلژینات سدیم-آویشن برای حفظ کیفیت میگو نسبت به دو پوشش دیگر از قدرت و کارایی بیشتری برخوردار بود (Reyhani Poul and Alishahi, 2021). لذا این مطالعه با هدف بررسی مقایسه‌ای کارایی پوشش فعال بر پایه زیست‌پلیمرهای آلژینات و کازئینات به تنهایی یا به‌صورت کامپوزیت بر اثربخشی عصاره مرزه با ارزیابی نشانگرهای فساد شیمیایی، میکروبی و اکسیداتیو فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان طی نگهداری در دمای یخچال به مدت ۱۲ روز انجام شد.

مواد و روش‌ها

- مواد

آلژینات سدیم با وزن مولکولی متوسط (بهین آزما، ایران)، کازئینات سدیم (سیگما آلدریچ)، کلرید کلسیم (سیگما آلدریچ) و گلیسرول و سایر مواد شیمیایی در درجه آزمایشگاهی (مرک، آلمان) خریداری شد. گیاه مرزه هوا خشک از یک فروشگاه محلی معتبر گیاهان دارویی و ماهی قزل‌آلای رنگین کمان از بازار ماهی‌فروشان ساری و از میان ماهیان زنده با اندازه و وزن تقریبی مشابه (۲۵ ± ۵۰۰ گرم) محصول یک مزرعه پرورشی خریداری و پس از سر زنی و تخلیه امعا و احشا با رعایت شرایط بهداشتی و زنجیره سرد در مدت یک‌ساعت به آزمایشگاه منتقل شد.

- عصاره‌گیری

عصاره‌گیری به روش خیساندن و با استفاده از حلال اتانول انجام شد. بدین‌ترتیب که ابتدا ۲۰۰ گرم از گیاه خشک شده با آسیاب برقی خانگی (مولینکس، فرانسه) پودر شده پس از ۳۰ دقیقه ترکیب با کلروفرم و کلروفیل‌زدایی، به‌میزان ۴ برابر وزن با اتانول ۸۰ درصد ترکیب شد. پس از صاف کردن عصاره با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲، حلال توسط دستگاه روتاری اواپراتور تحت خلأ (Heidolph Laborata 4003، آلمان) تبخیر شد. این عمل تا به‌دست آمدن حدود ۵ درصد مقدار اولیه عصاره تکرار گردید. عصاره تغلیظ شده تا زمان استفاده در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد (Mozdastan *et al.*, 2015).

- ساخت پوشش

با توجه به نتایج مطالعات قبلی محلول آلژینات سدیم و کازئینات سدیم به‌ترتیب در غلظت ۳ و ۸ درصد (وزنی/حجمی) تهیه شدند. محلول‌ها با روش توصیفی Bhatia و همکاران (۲۰۲۲) با اندکی تغییر تهیه شد. به‌طور خلاصه؛ محلول ۸ درصد کازئینات با مخلوط کردن ۸ گرم از آن در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر (۳۰ درجه سلسیوس) ساخته شد. سپس محلول در دمای ۸۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۰ دقیقه روی صفحه داغ حرارت دید. محلول آلژینات سدیم با حل کردن ۳ گرم آلژینات و ۰/۰۲ گرم کلراید کلسیم در آب مقطر و سپس حرارت دادن (در دمای ۸۰ درجه سلسیوس) و هم زدن به‌مدت یک‌ساعت ساخته شد. برای ساخت محلول کامپوزیت، دو محلول فوق با نسبت کازئینات به آلژینات ۱۰ به ۱ به‌مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس مخلوط شدند. گلیسرول به میزان ۲/۵ درصد (وزنی/حجمی) به همه محلول‌ها اضافه شد. پس از سرد شدن هر محلول، عصاره الکلی مرزه به‌میزان ۱/۵ درصد حجمی/حجمی اضافه شد و به‌مدت یک‌ساعت (۳۰۰ دور در دقیقه) هم زده شد تا عصاره به‌طور یکنواخت در ماتریس پوشش‌ها پخش شوند (Bhatia *et al.*, 2022).

از هر ماهی در آزمایشگاه ۲ فیله (۱۲۰±۵ گرم) تهیه شده سپس با آب معمولی شسته و آب‌کشی شدند. فیله‌ها بر حسب تیمارهای آزمایشی به ۴ گروه مساوی تقسیم شدند. پوشش‌دهی (پوشش) به‌روش غوطه‌وری انجام شد. فیله‌های هر تیمار ابتدا به‌مدت ۱ دقیقه در محلول‌های پوششی (آب‌مقطر (شاهد)، محلول‌های کازئینات، آلژینات، و کازئینات - آلژینات، همگی حاوی عصاره مرزه) غوطه‌ور شده و این عمل ۲ بار با فاصله زمانی ۲ دقیقه تکرار شد. سپس نمونه‌ها از محلول خارج و پس از فرآیند آب‌چک، جهت خشک‌شدن پوشش، تحت جریان ملایم هوا روی صفحات مشبک استریل و زیر هود قرار داده شدند. در ادامه نمونه‌ها به یخچال منتقل و در فواصل زمانی معین طی ۱۲ روز از آنها نمونه‌برداری شد (Lu *et al.*, 2009).

- **اندازه‌گیری شاخص‌های فساد میکروبی، شیمیایی و اکسیداتیو**

جهت آزمایش‌های میکروبی مقدار ۱۰ گرم نمونه در ۹۰ میلی‌لیتر سرم فیزیولوژی مخلوط و هموژن گردید. سپس رقت‌های مورد نیاز تهیه گردید. شمارش باکتری‌های مزوفیل هوازی در محیط پلیت کانت آگار در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت با شمارش کلنی‌های موجود انجام شد و نتایج حاصل بر اساس لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی بر گرم (log cfu/g) گزارش گردید. برای تعیین pH، مقدار ۱۰ گرم از هر نمونه با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به‌مدت ۳۰ ثانیه مخلوط شد و مخلوط با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ فیلتر شد. pH محلول فیلتر شده با استفاده از pHمتر دیجیتال (Crison، اسپانیا) اندازه‌گیری شد. (Ojagh *et al*., 2010). به‌منظور اندازه‌گیری مواد ازته فرار (TVN)[1] از دستگاه کلدال (۷۴۰- بخشی، ایران) و روش تیتراسیون استفاده گردید. نتایج بر اساس میزان مواد ازته فرار برحسب میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم فیله محاسبه گردید (Ojagh *et al*., 2010).

برای اندازه‌گیری عدد پراکسید[2] (PV) مقدار ۲۰ میلی‌لیتر از چربی استخراجی ماهی به ارلن مایر منتقل و با ۲۵ میلی‌لیتر مخلوط اسیداستیک و کلروفرم مخلوط شد، سپس ۰/۵ سی‌سی یدورپتاسیم اشباع، ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱ میلی‌لیتر محلول نشاسته ۱ درصد اضافه شد. بعد از مخلوط‌شدن، عمل تیتراسون با تیوسولفات سدیم تا بی‌رنگ شدن ادامه یافت و نتایج بر اساس میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم بافت ماهی بیان گردید. مقدار اسید تیوباربیتوریک، TBA،[3] (به‌صورت مالون دی‌آلدئید) به‌روش رنگ‌سنجی تعیین شد. نمونه چرخ شده (۱۰ گرم) با ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۲۰ درصد (وزنی/حجمی) تری کلرواستیک اسید مخلوط و در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۳۰ ثانیه همگن شد. مایع رویی دو بار پس از سانتریفیوژ در ۵۵۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس فیلتر شد. محلول فیلتر شده (۲ میلی‌لیتر) و ۲ میلی‌لیتر TBA (۰/۰۲ مول در لیتر) در یک لوله آزمایش مخلوط شدند و در حمام آب در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۰ دقیقه حرارت داده شدند. سپس محلول به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام یخ خنک شد. جذب نمونه در طول موج ۵۳۲ نانومتر با استفاده از آب به‌عنوان بلانک تعیین شد. نمونه شاهد تهیه و با همان روش تیمار شد (Wang *et al*., 2022). ظرفیت نگهداری آب[4] (WHC) نیز بر مبنای اختلاف وزن نمونه‌ها قبل و بعد از سانتریفیوژ (JTLIANGYOU، چین) نسبت به وزن اولیه و بر حسب درصد تعیین شد (Zhuang *et al*., 2008).

- **تجزیه و تحلیل آماری**

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌ها در تیمارهای آزمایشی شامل فیله‌های فاقد پوشش (شاهد)، دارای عصاره مرزه در پوشش‌های کازئینات سدیم، آلژینات سدیم و کازئینات – آلژینات (در مجموع ۴ تیمار) با ۳ تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۰ به روش آنالیز واریانس دو طرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۵درصد مقایسه شدند.

یافته‌ها

- **تغییرات تعداد باکتری‌های مزوفیل هوازی**

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شد؛ تعداد باکتری کل در طول دوره نگهداری فیله ماهی روند افزایشی داشت. در شروع آزمایش میانگین تعداد باکتری، log CFU/g ۰/۱۵ ± ۲/۵۵ بود که در پایان در فیله‌های فاقد پوشش به‌میزان ۵ سیکل لگاریتمی افزایش و به ۷/۳۳ رسید ($p<0.05$). در حالی‌که در انتهای دوره تعداد باکتری‌ها در فیله‌های پوشش شده به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) کمتر بود (به‌ترتیب log CFU/g ۵/۴۵، ۶/۸۲ و ۴/۸۰ در فیله‌های دارای پوشش آلژینات، کازئینات و کامپوزیت). کمترین تعداد باکتری در روز دوازدهم نگهداری در فیله‌های دارای پوشش فعال بر پایه پوشش کامپوزیتی کازئینات – آلژینات دیده شد ($p<0.05$).

- **تغییرات pH**

روند تغییرات pH که در شکل ۲ آمده نشان می‌دهد که

[1]Total Volatile Nitrogen (TVN) [2] Peroxide Value (PV) [3] Thiobarbituric Acid (TBA)
[4] Water Holding Capacity (WHC)

pH فیله‌ها از میانگین ۵/۴ در آغاز آزمایش با شدت بیشتری در فیله‌های فاقد پوشش و به‌تدریج در فیله‌های پوشش شده با افزایش همراه است و به‌سمت pH با اسیدیته کمتر رفته است. در حالی‌که pH فیله‌های فاقد پوشش در انتهای دوره نگهداری تقریباً به منطقه خنثی (۶/۸۰) رسید، این مقدار در فیله‌های پوشش شده کمتر بود ($p<0.05$) و در فیله‌های با پوشش فعال برپایه آلژینات و کامپوزیت به کمتر از ۶ رسید (به‌ترتیب ۵/۸۵ و ۵/۷۰).

- **تغییرات مجموع ترکیبات ازته فرار**

روند افزایشی تغییرات میانگین مجموع ترکیبات ازته فرار فیله‌های ماهی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی طی دوره نگهداری ۱۲ روزه در یخچال در شکل ۳ آمده است. با گذشت زمان، این روند با شدت بیشتر در فیله‌های فاقد پوشش از ۸/۲۵ mg/100g به ۲۸/۵۰ در پایان دوره نگهداری رسید، در حالی‌که میانگین این نشانگر در فیله‌های پوشش شده به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($p<0.05$). در عین حال، کمترین مقدار در فیله‌های ماهی پوشش شده با پوشش کامپوزیتی (۱۵/۲۵ mg/100) دیده شد و TVN در فیله‌های دارای پوشش آلژینات نیز کمتر از پوشش کازئینات بود (۱۶/۹۰ mg/100g در برابر ۲۰/۵۰).

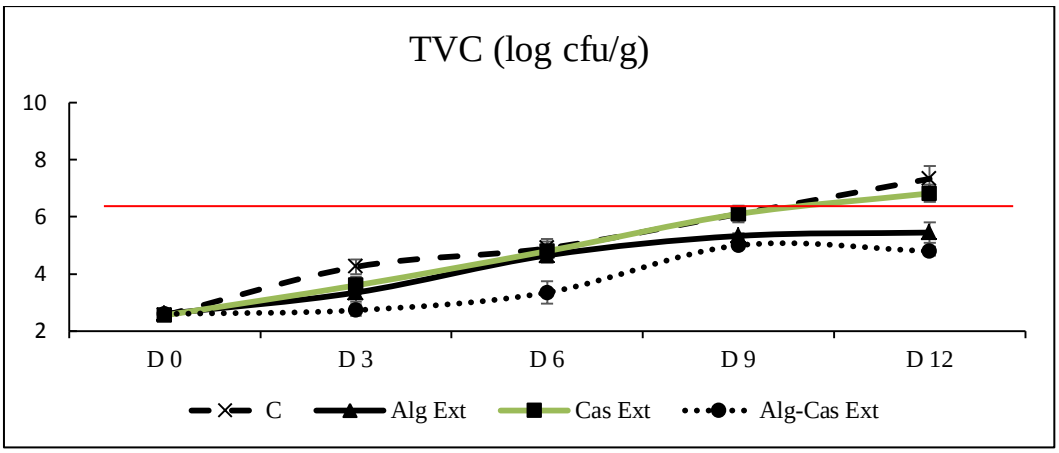

Figure 1- Effect of active packaging on total viable count bacteria (TVC) of fish fillet during storage (log CFU/g)

شکل ۱- تأثیر پوشش فعال بر میانگین تعداد باکتری‌های مزوفیل هوازی فیله ماهی طی دوره نگهداری (log cfu/g)

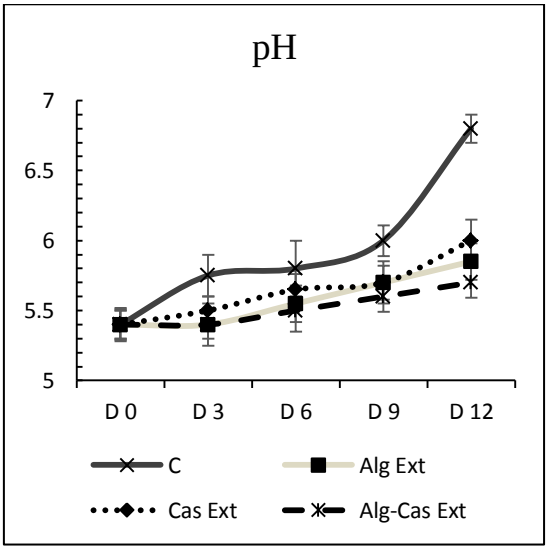

Figure 2- Effect of active packaging on pH of fish fillet during storage

شکل ۲- تأثیر پوشش فعال بر میانگین pH فیله ماهی طی دوره نگهداری

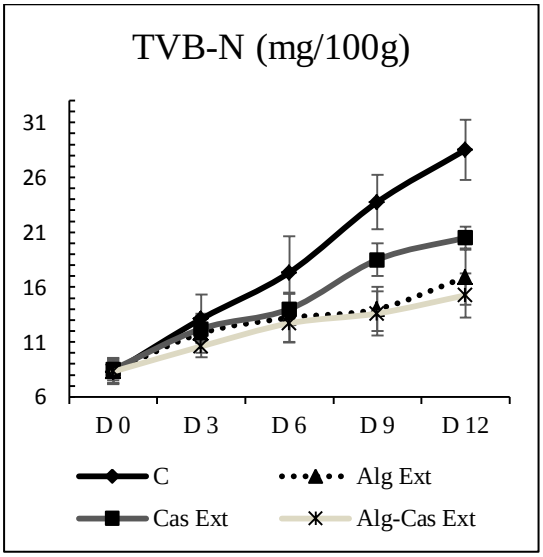

Figure 3- Effect of active packaging on total volatile nitrogen (TVB-N) of fish fillet during storage (mg/100g)

شکل ۳- تأثیر پوشش فعال بر میانگین مجموع ترکیبات ازته فرار فیله ماهی طی دوره نگهداری (mg/100g)

- تغییرات عدد پراکسید

میانگین تغییرات عدد پراکسید (PV) فیله‌های فاقد پوشش و دارای انواع پوشش فعال در شکل ۴ آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود، تا روز نهم نگهداری میانگین عددی این نشانگر با یک روند افزایشی بیشتری به‌خصوص در فیله‌های فاقد پوشش همراه بود و در ۳ روز پایانی دوره نگهداری از شدت آن به‌طور معنی‌داری کاسته شد. عدد پراکسید در فیله‌های فاقد پوشش از میانگین ۰/۶۵۵ meq/kg در روز اول به ۷/۹۰ در روز نهم ($p<0.05$) و ۸/۲۵ در پایان دوره نگهداری رسید. در ۳ روز پایانی دوره نگهداری میانگین PV در فیله‌های دارای پوشش فعال تغییر معنی‌داری نداشت. مقدار PV در فیله‌های پوشش شده کامپوزیتی (۴/۳۷ meq/kg) کمترین مقدار را داشت ($p<0.05$).

- تغییرات اندیس اسید تیوباربیتوریک

با توجه به شکل ۵، روند تغییرات افزایشی میانگین اندیس اسید تیوباربیتوریک (TBA) تا روز نهم نگهداری در تمامی فیله‌ها به کندی و در ۳ روز پایانی با شدت بیشتری همراه بوده است ($p<0.05$). در روز ششم تفاوت آماری معنی‌داری در میانگین TBA فیله‌های فاقد پوشش و دارای پوشش فعال بر پایه کازئینات یا آلژینات دیده نشد. در روز نهم نیز تفاوتی در میانگین TBA فیله‌های پوشش فعال بر پایه کازئینات یا آلژینات دیده نشد. در عین حال در هر بازه زمانی ذکر شده، فیله‌های دارای پوشش کامپوزیت به‌طور معنی‌داری محتوای TBA کمتری داشتند ($p<0.05$). در پایان دوره نگهداری، فیله‌های دارای پوشش کامپوزیتی کمترین (۰/۷۰ mg MDA/kg) میانگین TBA را داشته و در بین دو پوشش پوشش فعال، محتوای TBA فیله‌های دارای پوشش آلژینات، کمتر از پوشش کازئینات بود (mg ۰/۹۰ MDA/kg در برابر ۱/۱۵).

- تغییرات ظرفیت نگهداری آب

میانگین ظرفیت ابقای آب در فیله‌های ماهی فاقد پوشش و دارای پوشش فعال طی دوره نگهداری در شرایط سرد در شکل ۶ امده است. میانگین ظرفیت نگهداری آب (WHC) فیله‌ها در شروع آزمایش ۱/۳۵ ± ۷۰/۵۵ درصد بود که با گذشت زمان نگهداری با یک روند کاهشی معنی‌داری همراه بود. در روز ششم نگهداری تفاوت آماری معنی‌داری بین فیله‌های پوشش شده وجود نداشت، اما، از روز نهم تا پایان دوره بیشترین WHC در فیله‌های دارای پوشش کامپوزیت و کمترین مقدار در فیله‌های فاقد پوشش دیده شد ($p<0.05$). در بازه زمانی مورد اشاره، WHC در فیله پوشش شده با پوشش آلژیناتی بالاتر از پوشش کازئیناتی بود ($p<0.05$). در پایان دوره نگهداری، بیشترین و کمترین WHC به‌ترتیب در فیله‌های دارای پوشش کامپوزیت (۶۲/۵۰ درصد) و فیله‌های فاقد پوشش (۴۶/۷۰ درصد) دیده شد ($p<0.05$).

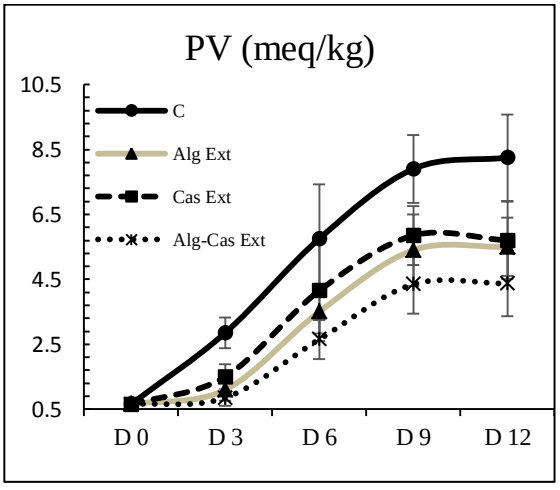

Figure 4- Effect of active packaging on peroxide value (PV) of fish fillet during storage (meq/kg)

شکل ٤- تأثیر پوشش فعال بر میانگین عدد پراکسید فرار فیله ماهی طی دوره نگهداری (meq/kg)

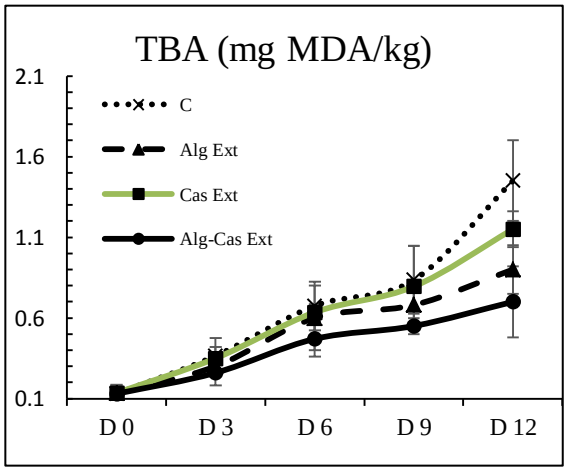

Figure 5- Effect of active packaging on thiobarbituric acid (TBA) of fish fillet during storage (mg MDA/kg)

شکل ٥- تأثیر پوشش فعال بر میانگین اندیس اسید تیوباربیتوریک فیله ماهی طی دوره نگهداری (mg MDA/kg)

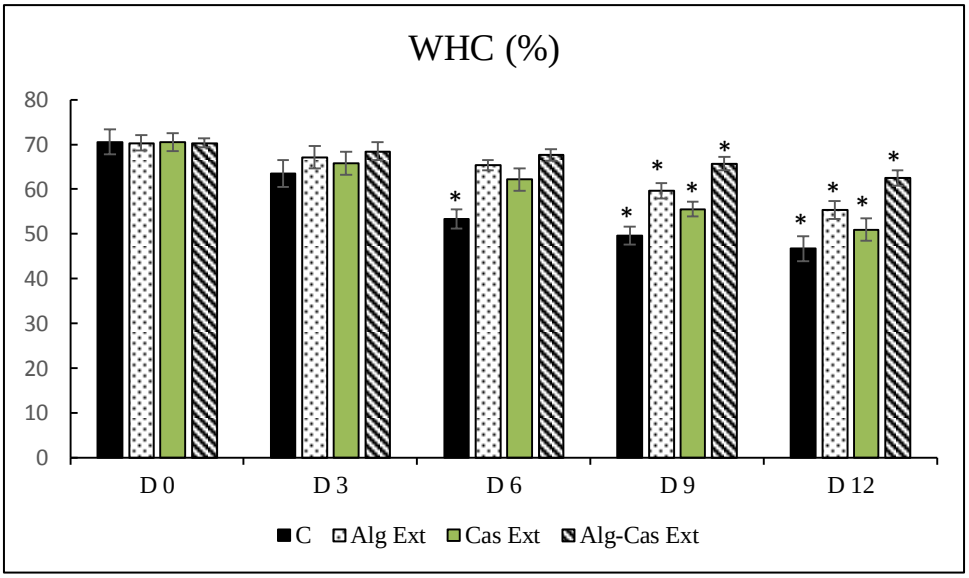

Figure 6- Effect of active packaging on water holding capacity (WHC) of fish fillet during storage (%)

شکل ٦- تأثیر پوشش فعال بر میانگین ظرفیت نگهداری آب فیله ماهی طی دوره نگهداری (٪)

بحث

فساد ماهی ترکیبی از فرآیندهای مختلف مانند اتولیز آنزیمی، اکسیداسیون و رشد میکروبی است. فساد ماهی ناشی از تخریب پروتئین، تجزیه نوکلئوتید، تجمع ترکیبات ازته و اکسیداسیون لیپید و پروتئین، منجر به تغییر در بو، طعم و بافت می‌شوند (Sheng and Wang, 2021).

یک شاخص تقریبی کیفیت میکروبیولوژیکی گوشت در یخچال، تعداد کل باکتری‌هاست. با توجه به حداکثر حد مجاز TVC در محصولات دریایی (۷/۰۰ log CFU/g) مشاهده می‌شود که در پایان دوره نگهداری همه‌ی فیله‌های پوشش شده در محدوده مجاز TVC قرار داشته و از این نظر توانستند ماندگاری گوشت را حداقل به‌مدت ۳ روز افزیش دهند. پوشش‌های کازئینات یا آلژینات سدیم فاقد خاصیت ضد میکروبی ذاتی هستند، لذا خواص ضد میکروبی فیله‌های بسته‌بنده شده را می‌توان به اثر ضد میکروبی عصاره مرزه و البته اثرات غیر مستقیم ویژگی‌های مکانیکی و سدی مواد پوشش و اثر هم‌افزایی ماده پوشش و عصاره نسبت داد. کارواکرول و تیمول موجود در عصاره مرزه ترکیبات ضد باکتریایی قابل توجهی محسوب می‌شوند و اثرات ضد باکتریایی مرزه بر شماری از میکروارگانیسم‌ها گزارش شده است (Farhani *et al*., 2019; Nosratollahi *et al*., 2018; Eisamaleki *et al*., 2020). آنها قادرند از طریق تعامل با پروتئین‌های غشایی با زنجیره‌های اسیدهای چرب لیپیدهای دولایه همسو شده و با ایجاد کانال در سراسر غشاء منجر به افزایش سیالیت غشاء و تغییر نیروی محرک پروتون و نفوذپذیری سلول شوند. آنها همچنین قادر به تخریب غشاء خارجی باکتری‌های گرم منفی و تداخل با سامانه‌های تولید انرژی سلولی هستند (Nezhadasad Aghbash *et al*., 2020). ترکیبات فنولی می‌توانند با آنزیم‌های باکتریایی تعامل داشته باشند و باعث ایجاد ضایعاتی شوند که منجر به از دست دادن زنده مانی سلول می‌شود. اثربخشی بالای فیلم‌های کیتوزان-ژلاتین حاوی ترکیبات فنولی در به تأخیر انداختن و مهار رشد میکروارگانیسم‌های هوازی گزارش شد، این ترکیبات به‌عنوان یک مانع اکسیژن در اطراف ماهی عمل کرده و علاوه بر این، دسترسی باکتری‌ها به مواد مغذی و فلزات ضروری را مسدود می‌کنند. (Kakaei, and Shahbazi, 2016).

سه نوع اصلی مکانیسم و سیستم‌های پوشش فعال مواد غذایی عبارتند از: (۱) کنترل گاز، از جمله حذف‌کننده‌های اکسیژن و انتشار دهنده دی‌اکسید کربن، (۲) کنترل رطوبت و (۳) ضد میکروبی و/ یا ضد اکسیدان‌ها، که مواد فعالی هستند و در مواد پوشش گنجانده می‌شوند. کاهش، مهار یا به تأخیر انداختن رشد میکروبی و واکنش‌های آنزیمی/ اکسیداتیو غذا، هدف اولیه و مشترک هر سه روش است. به‌طور خلاصه، زداینده‌های اکسیژن از اکسیداسیون لیپیدها و سایر ترکیبات حساس و در نتیجه، طعم و بوی بد جلوگیری می‌کنند. در حالی‌که

انتشار دهنده‌های دی‌اکسید کربن رشد میکروبی را کند یا مهار می‌کنند. جاذب‌های اکسیژن غلظت آن را در پوشش به کمتر از ۰/۰۱ درصد کاهش می‌دهد که به معنی ممانعت از رشد میکروارگانیسم‌های مزوفیل و سرماگرای هوازی و *سودوموناس*‌ها است چراکه آنها ذاتاً هوازی هستند. ضمن اینکه رشد باکتری‌های گرم منفی در گوشت ماهی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، مقادیر تشکیل باز فرار (بسیار وابسته به بار میکروبی) به تعویق می‌افتد و یک اثر بازدارنده مشابه برای اکسیداسیون لیپید مشاهده می‌شود (Amaral *et al*., 2021). لذا بسیاری از نتایج مطلوب در جلوگیری، مهار یا کند کردن فرآیند فساد میکروبی، شیمیایی و اکسیداتیو فیله‌های ماهی در این تحقیق که از طریق پوشش کامپوزیت فعال حاوی عصاره مرزه به‌دست آمد و در ادامه درباره‌ی آنها بحث خواهد شد را می‌توان با این ویژگی‌ها توجیه کرد.

مقدار pH می‌تواند به‌عنوان شاخصی از تازگی ماهی در نظر گرفته شود. در طول نگهداری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گوشت، از جمله pH، ممکن است تغییر کند. افزایش سطح pH گوشت در طول نگهداری، همان‌طور که در تحقیق حاضر نیز دیده شد، ممکن است ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌هایی باشد که در گوشت رشد می‌کنند و می‌توانند آنزیم‌هایی تولید کنند که فرآیند دی‌آمیناسیون اسیدهای آمینه را کاتالیز می‌کنند، در نتیجه باعث تشکیل بازهای نیتروژنی و آمونیاک می‌شود. با توجه به همبستگی بالای بین pH و تعداد باکتری کل می‌توان تغییرات pH فیله‌ها در گروه‌های مختلف را به اثر ضد میکروبی پوشش فعال نسبت داد که پیشتر در این باره توضیح داده شد (Augustynska-Prejsnar *et al*., 2023).

یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین نشانگرهای تعیین کیفیت گوشت که عموماً با فعالیت و فساد میکروبی محصول نیز در ارتباط تنگاتنگی است، TVB-N است. در واقع TVB-N یک اصطلاح عمومی است که شامل متیل آمین (ناشی از فساد باکتریایی)، دی‌متیل آمین (ناشی از فعالیت آنزیم‌های اتولایتیک) و آمونیاک (ناشی از آمین‌زدای اسیدهای آمینه و نوکلئوتیدها) و نیز سایر ترکیبات ازته فرار می‌باشد (Erikson *et al*., 2011). پایین‌تر بودن محتوای TVB-N در فیله‌های پوشش شده با پوشش فعال کامپوزیتی در این تحقیق را می‌توان به ظرفیت ضد میکروبی این پوشش‌های فعال (به‌ویژه حضور ترکیبات فنولی عصاره مرزه) نسبت داد که با جلوگیری از روند افزایشی بار میکروبی، از تخریب پروتئین‌ها و متعاقباً افزایش مقدار TVB-N جلوگیری کرد. از طرفی، مقادیر pH در طول روزهای ذخیره‌سازی به‌سمت مقدار خنثی نزدیک شد، pH بالا منجر به شکسته شدن مقدار زیادتری از پروتئین و در نهایت TVN بالاتر فیله‌های فاقد پوشش شد (Awad Allah *et al*., 2020). در تحقیقات قبلی گزارش شد که استفاده از ۱/۵ درصد عصاره مرزه در پوشش آلژینات سدیم توانست موجب کاهش TVB-N، PV و TBA گوشت مرغ شود. ضمن اینکه پوشش فعال کامپوزیت صمغ گوار – کربوکسی‌متیل سلولز حاوی عصاره مرزه (Khademi Shurmasti *et al*., 2021) و پوشش کامپوزیت کیتوزان – ژلاتین عصاره هسته انگور و اسانس کاکوتی (Kakaei, and Shahbazi, 2016) نسبت به هر یک از این پوشش‌های فعال به‌تنهایی، در بهبود نشانگرهای فساد میکروبی و اکسیداتیو مؤثرتر بود. به استناد دستورالعمل اجرایی کنترل و نظارت بهداشتی فرآورده‌های خام دامی سازمان دامپزشکی کشور حداکثر میزان مجاز TVB-N در آبزیان ۳۰ میلی‌گرم ازت در هر ۱۰۰ گرم است. با این حال، برخی از مطالعات بسته به گونه ماهی سطوح پایین‌تری را نشان می‌دهند (Amaral *et al*., 2021). با در نظر داشتن این حد مجاز، با وجود اختلاف زیاد این نشانگر در فیله‌های فاقد پوشش و پوشش شده، اما، تمامی فیله‌ها تا پایان دوره نگهداری در محدوده‌ی مجاز قرار داشتند.

تخریب لیپیدها اغلب علت اصلی کوتاه شدن عمر مفید ماهی است که نتیجه‌ی اکسیداسیون (PV و TBA) و هیدرولیز آنزیمی (FFA) اسیدهای چرب است. هیدروپراکسیدها محصولات اولیه اکسیداسیون لیپید هستند. فنولها و فلاونوئیدهای گیاهی با فرونشانی رادیکال‌های پروکسی و احیاء یا شلاته کردن آهن در آنزیم لیپوکسیژناز از شروع واکنش پراکسیداسیون لیپید ممانعت می‌کنند. گزارش شد که قدرت رادیکال‌زدایی فنول‌های اسانس مرزه به‌مراتب بیشتر از ضداکسیدان‌های سنتزی بود (Dadashpour *et al*., 2013). پوشش‌های خوراکی به‌عنوان عامل کارآمدی در جلوگیری از نفوذ اکسیژن شناخته شده‌اند. آنها به‌عنوان یک مانع بین فیله و محیط

اطراف عمل می‌کنند و نفوذ اکسیژن محیط از طریق سطح به درون فیله را کاهش می‌دهند. خاصیت سدی در برابر اکسیژن پوشش‌های خوراکی باید به اندازه‌ای باشد که برای محافظت از غذا در برابر واکنش‌های نامطلوب مناسب باشد. این ویژگی در لفاف‌های بر پایه کازئین اغلب در حد مطلوبی نیست، با این حال، گزارش شد که ترکیب آن با آلژینات و متابولیت گیاهی توانست بر این مشکل غلبه نماید (Bhatia *et al*., 2022). در نتایج تحقیق حاضر نیز نسبت به هریک از پوشش‌های فعال کازئینات و یا آلژینات سدیم، کارایی پوشش‌های کامپوزیتی کازئینات–آلژینات در نشانگرهای مورد ارزیابی بالاتر بود. کاهش نرخ افزایشی PV در ۳ روز پایانی را می‌توان با تبدیل هیدروپراکسیدها به محصولات ثانویه اکسیداسیون (آلدئیدها و کتون‌ها) مرتبط دانست.

با توجه به اکسیداسیون لیپید، مقدار TBA، محتوای مالون‌دی‌آلدئید (MDA) را که از واکنش با هیدروپراکسیدها تشکیل می‌شود، اندازه‌گیری می‌کند. حد مجاز این نشانگر بین ۲ تا ۴ میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدئید در کیلوگرم متغیر است، اما این مقدار ممکن است میزان واقعی اکسیداسیون لیپید را منعکس نکند زیرا MDA می‌تواند با سایر اجزا تعامل داشته باشد (Amaral *et al*., 2021). با در نظر گرفتن حد پایین مجاز این نشانگر نیز مشاهده می‌شود تمامی فیله‌ها در محدوده‌ی مجاز قرار داشتند. با توجه به تبدیل هیدروپراکسیدها به محصولات ثانویه اکسیداسیون لیپیدها، نرخ رشد TBA در ۳ روز پایانی دوره نگهداری شدت بیشتری داشت. ظرفیت بالای هیدروژن دهندگی، جذب رادیکال‌های آزاد و فعالیت ضداکسیدانی قابل ملاحظه مونوترپن‌های تیمول، کارواکرول، گاماترپینن، پاراسیمن و آلفاترپینن موجود در مرزه اثبات شده است. این ترکیبات واجد فعالیت ضداکسیدانی در عصاره مرزه با احیای محصولات اکسیداسیون از ادامه روند اکسیداسیون و افزایش TBA جلوگیری می‌نمایند (Bektas and Mustafa, 2015).

ظرفیت نگهداری آب (WHC)، توانایی پروتئین ماهیچه برای جلوگیری از آزاد شدن آب از ساختار سه بعدی خود در برابر نیروهای خارجی، خاصیتی است که به‌طور قابل توجهی به ارزیابی کیفیت گوشت کمک می‌کند. همچنین بالاتر بودن مقدار WHC نمایانگر ظاهری بهتر و آبدار بودن و بهبود بافت گوشت است. WHC می‌توانند بر کل زنجیره ارزش، از ماهی کامل گرفته تا فیله شده تا فرآوری و ذخیره‌سازی، تأثیر بگذارند. یک چالش رایج برای صنعت ماهی در حفظ کیفیت غذا، به‌دست آوردن WHC خوب، به عبارت دیگر، مقدار زیادی آب بی‌حرکت در ماهیچه است (Chan *et al*., 2022).

اکسندگی چربی‌ها و پروتئین‌ها و تمام عواملی که وضعیت پروتئین‌های میوفیبریلی را تغییر می‌دهد، در میزان از دست رفتن رطوبت گوشت مؤثر است. میزان غیرطبیعی‌شدن پروتئین نیز عامل مهمی در میزان خروج آب و کاهش ظرفیت نگهداری آب بشمار می‌آید (Leygonie *et al*., 2012). لذا کنترل واکنش‌های اکسندگی در گوشت سبب حفظ فضای ذخیره‌ی آب بین میوفیبریل‌ها و افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شوند. بدین‌ترتیب با توجه به آثار ضد میکروبی و ضد اکسیدانی پوشش‌های فعال که با ارزیابی نشانگرهای مرتبط در این آزمایش و تحقیقات مشابه به اثبات رسید، واکنش‌های نامطلوب منجر به اکسیداسیون چربی و غیر طبیعی شدن پروتئین‌ها حفظ و کنترل شده، بالاتر بودن میانگین ظرفیت نگهداری آب در فیله‌های پوشش شده قابل انتظار بود. نقش حفاظتی و سدی زیست‌پلیمر آلژینات در برابر رطوبت و گازها از یک‌سو و نیز اثر هم‌افزایی آن با کازئینات سدیم در پوشش کامپوزیتی و نیز عصاره مرزه از سوی دیگر موجب شد فیله‌های با پوشش فعال کامپوزیتی بتوانند ظرفیت نگهداری آب خود را مدت بیشتری حفظ نمایند.

نتیجه‌گیری

ترکیبات زیست‌فعال موجود در عصاره مرزه ضمن بهبود خاصیت آب‌گریزی کامپوزیت کازئینات–آلژینات، همچنین موجب بهبود خواص ضد میکروبی و ضد اکسیدانی پوشش کامپوزیتی شد. رهایش کنترل شده و مستمر عامل فعال در پوشش آلژینات نسبت به پوشش کازئینات موجب کارایی بهتری شد. در عین حال ترکیب دو زیست‌پلیمر همراه با عصاره مرزه در قالب پوشش کامپوزیتی فعال با نتایج مثبت و امیدوارکننده‌ای در نشانگرهای مورد ارزیابی همراه بود و توانست نرخ فرآیندهای فساد میکروبی، شیمیایی و اکسیداتیو فیله ماهی طی دوره نگهداری در شرایط سرد را متوقف یا کند نماید. لذا در پاسخ به تقاضاهای فزاینده

مصرف‌کنندگان به استفاده از محصولات زیست تخریب‌پذیر و ایمن برای محصولات و فرآورده‌های گوشتی، بکارگیری این پوشش کامپوزیت فعال توصیه می‌شود.

منابع

Abbasi, Kh., Sefidkon, F. & Yamini, Y. (2005). Comparison of essential oil content and composition of two Satureja species (*S. hortensis L, and S. rechingeri Jamzad*) by hydro distillation and supercritical fluid extraction (SFE). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 21 (3), 307-318 [In Persian].

Abelti, A.L., Teka, T.A., Forsido, S.F., Tamiru, M., Bultosa, G., Alkhtib, A. & Burton, E. (2022). Bio-based smart materials for fish product packaging: a review. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 857-871. https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2066121

Amaral, R.A., Pinto, C.A., Lima, V., Tavares, J., Martins, A. P., Fidalgo, L.G., Silva, A.M., Gil, M.M., Teixeira, P., Barbosa, J., et al. (2021). Chemical-based methodologies approaches to extend the shelf life of fresh fish, a review. *Foods*, 10, 2300. https://doi.org/10.3390/foods10102300

Augustynska-Prejsnar, A., Hanus, P., Ormian, M., Kacániova, M., Sokołowicz, Z. & Topczewska, J. (2023). The effect of temperature and storage duration on the quality and attributes of the breast meat of hens after their laying periods. *Foods*, 12, 4340. https://doi.org/10.3390/foods12234340

Awad Allah, E.M., Saad, S.M., Hassan, M.A. & Hassan, H.F.M. (2020). Chemical studies on shelf life time of chilled chicken meat. *Benha Veterinary Medical Journal*, 39, 173-176.

Barkhori Mehni, S., Khanzadi, S., Hashemi, M. & Azizzadeh, M. (2019). The effect of sodium alginate coating incorporated with Lactoperoxidase system and Zataria multiflora boiss essential oil on shelf life extension of rainbow trout fillets during refrigeration. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 38 (1), 163-172.

Bektas, T. & Mustafa, C. (2015). A pharmacological and phytochemical overview on *Satureja*. *Pharmaceutical Biology*, 54(3), 375-412.

Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Al-Azri, M.S., Ullah, S., Bekhit, A.E., Pratap-Singh, A., Chatli, M.K., Anwer, M.K. & Aldawsari, M.F. (2022). Preparation and physiochemical characterization of bitter orange oil loaded sodium alginate and casein based edible films. *Polymers*, 14, 3855. https://doi.org/10.3390/polym14183855

Chan, S. Sh., Roth, B., Jessen, F., Nordeng Jakobsen, A. & Lerfall, J. (2022). Water holding properties of Atlantic salmon. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21, 477-498. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12871

Dadashpour, M., Rasooli, I., Sefidkon, F., Zaad Hosseingholi, E. & Darvish Alipour Astaneh, Sh. (2013). Antimicrobial, antioxidative, superoxide anion radical scavenging and anti tyrosinase properties of *Satureja sahendica* Bornm and *Satureja hortensis* L. essential oils. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28(4), 616-627.
http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2914

Eisamaleki, Z., Muraki, N., Khoshkho, Zh. & Moeini, S. (2020). The effect of *Satureja hortensis* essential oil on the shelf life of Scomberomorus guttatus fillets in cold storage. *Journal of Animal Environment*, 12 (1), 181-190.
https://doi.org/10.22034/AEJ.2020.105136 [In Persian].

Erikson, U., Misimi, E. & Gallart-Jornet, L. (2011). Super chilling of rested Atlantic salmon: different chilling strategies and effects on fish and fillet quality. *Food Chemistry*, 127, 1427–1437.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.036

Farahani, M., Shahidi, F. & Tabatabaei yazdi, F. (2019). Evaluation of antimicrobial activities of Satureja hortensis L. essential oil against some food born pathogenic and spoilage microorganism. *Journal of Food Science and Technology*, 15 (85), 393-405 [In Persian].

Gagaoua, M., Bhattacharya, T., Lamri, M., Oz, F., Dib, A.L., Oz, E., Uysal-Unalan, I. & Tomasevic, I. (2021). Green coating polymers in meat preservation. *Coatings*, 11, 1379. https://doi.org/10.3390/coatings11111379

Gheorghita (Puscaselu), R., Gutt, Gh. & Amariei, S. (2020). The use of edible films based on sodium alginate in meat product packaging: An eco-friendly alternative to

conventional plastic materials. *Coatings*, 10, 166. https://doi.org/10.3390/coatings10020166

Kakaei, S. & Shahbazi, Y. (2016). Effect of chitosan-gelatin film incorporated with ethanolic red grape seed extract and *Ziziphora Clinopodioides* essential oil on survival of *Listeria Monocytogenes* and chemical, microbial and sensory properties of minced trout fillet. LWT- Food Science and Technology, 72, 432–438. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.021

Khademi Shurmasti, D. (2022). Cellulose derivatives as edible film and coating; Characteristics and effect on the quality and shelf life of animal, poultry and aquatic products. *Journal of Food Science and Technology*, 18(121), 349-364. https://doi.org/10.52547/fsct.18.121.28 [In Persian].

Khademi Shurmasti, D., Yamini, F. & Badakhshan, N. (2021). Effect of Satureja hortensis extract and polysaccharide-based active bio-composite coating on broiler fillet shelf life during refrigerated storage (4±1oC). *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 18 (115), 271-281. https://doi.org/10.29252/fsct.18.06.22 [In Persian].

Khanedan, A., Motallebi, A. & Khanipour, A. (2011). Effects of edible film of sodium alginate on quality changes of dressed kilka in frozen storage, *Journal of Iranian Fisheries*, 20 (1), 23-30. https://doi.org/10.22092/ISFJ.2017.109972 [In Persian].

Laorenza, Y., Chonhenchob, V., Bumbudsanpharoke, N., Jittanit, W., Sae-tan, S., Rachtanapun, C., Chanput, W.P., Charoensiddhi, S., Srisa, A., Promhuad, K., et al. (2022). Polymeric packaging applications for seafood products: packaging- Deterioration relevance, Technology and Trends. *Polymers*, 14, 3706. https://doi.org/10.3390/polym14183706

Leygonie, C., Britz, T.J. & Hoffman, C. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Journal of Meat Science*, 91, 93-98. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.013

Lu, F., Liu, D., Ye, X., Wei, Y. & Liu, F. (2009). Alginate–calcium coating incorporating nisin and EDTA maintains the quality of fresh northern snakehead (*Channa argus*) fillets stored at 4 °C. *Journal of Science Food Agriculture*, 89, 848-54.

Mihalca, V., Kerezsi, A.D., Weber, A., Gruber-Traub, C., Schmucker, J., Vodnar, D.C., Dulf, F.V., et al. (2021). Protein-based films and coatings for food industry applications. *Polymers*, 13(5): 769. https://doi.org/10.3390/polym13050769

Mozdastan, S., Ebrahimzadeh, M.A. & Khalili, M. (2015). Comparing the impact of different extraction methods on antioxidant activities of myrtle (Myrtus communis L). *Journal of Mazandaran University of MedicalSciences*, 25(127), 10-24.

Nezhadasad Aghbash, B., Pouresmaeil, M., Dehghan, GH., Sabzi Nojadeh, M., Mobaiyen, H. &Maggi, P. (2020). Chemical composition, antibacterial and radical scavenging activity of essential oils from *Satureja macrantha* at different growth stages. *Foods*, 9, 494. https://doi.org/10.3390/foods9040494

Nosratollahi, K., Barzegar, H., Jooyandeh, H. & Ghorbani, M.R. (2018). Effect of savory (*Satureja hortensis*) extract on the quality and shelf-life of raw chicken meat stored at refrigerator. *Journal of Food Science and Technology*, 15 (82), 167-176 [In Persian].

Nowruzi, B., Ahmadi, M., Bouaïcha, N., Khajerahimi, A.E. & Anva, S.A.A. (2024). Studying the impact of phycoerythrin on antioxidant and antimicrobial activity of the fresh rainbow trout fillets. *Scientific Reports*, 14, 2470. https://doi.org/10.1038/s41598-024-52985-6

Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H. & Hosseini, S.M.H. (2010). Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry*, 120, 193-8. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.006

Reyhani Poul, S. & Alishahi, A. (2021). Comparison of the effect of sodium alginate, sodium caseinate and gelatin coatings in combination with thyme essential oil on shrimp shelf life. *Food Processing and Preservation Journal*, 13 (1), 15-30. https://doi.org/10.22069/EJFPP.2020.17070.1563 [In Persian].

Sheng, L. & Wang, L. (2021). The microbial safety of fish and fish products: Recent advances in understanding its significance contamination sources, and control strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20, 738-786. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12671

Tabatabaee, H., Mostaghim, T. & Rahman, A. (2019). Shelf-life increase of trout fish fillets wrapped with sodium caseinate film incorporated with tea seed extract. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 11 (2), 15-28 [In Persian].

Wang, B., Yang, H., Yang, C., Lu, F., Wang, X. & Liu, D. (2022). Prediction of total volatile basic nitrogen (TVB-N) and 2-thiobarbituric acid (TBA) of smoked chicken thighs using computer vision during storage at 4 °C. *Computers and Electronics in Agriculture*, 199, 107170. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107170

Yeganeh, S. & Zargar, M. (2022). Evaluation of antimicrobial and antioxidant effect of sodium caseinate edible coating enriched with rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) on the quality and shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during refrigerated storage. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 18 (120), 39-50. https://doi.org/10.52547/fsct.18.120.4 [In Persian].

Zargar, M., Yeganeh, S., Razavi, S.H. & Ojagh, S.M. (2014). Effects of sodium caseinate edible coating on quality of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) during storage in refrigerator temperature. *Journal of Food Science and Technology*, 11 (44), 71-81 [In Persian].

Zhuang, H., Savage, E.M., Smith, D.P. & Berrang, M.E. (2008). Effect of dry-air chilling on warner-bratzler shear force and water-holding capacity of broiler breast meat deboned four hours postmortem. *Journal of Food Poultry Science*, 7 (8), 743-748. https://doi.org/10.3382/ps.2008-00325

The Effect of Caseinate and Sodium Alginate Bioactive Coating Incorporating Savory Extract (*Satureja sahendica* L) on Shelf Life of Rainbow Trout Fillet

S. Amini [a], D. Khademi Shurmasti [b*], H. Varshoei [c]

[a] M. Sc Graduated Student of the Department of Food Science, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.

[b] Associate Professor of the Department of Agriculture, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.

[c] Assistant Professor of the Department of Fisheries, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.

Received: 15 August 2024 Accepted: 25 November 2024

Abstract

Introduction: Using bio-polymers as active coatings to replace conventional plastic food packaging has been considered. This study was conducted to investigate the effect of sodium caseinate- and/or alginate-based active composite coating containing savory extract on the shelf life of fish fillets.

Materials and Methods: Rainbow trout fillets were treated with coating solutions by immersion method and store at refrigerated temperature for 12 days. The treatments include uncoated fillets (control), and sodium alginate (3%)- or sodium caseinate (8%)-based active coating, single or as a caseinate-alginate composite, all containing a savory extract at a concentration of 1.5%, totally in 4 treatments, were analyzed in the form of a randomized complete block design. Samples were evaluated every three days concerned with chemical, microbiological and oxidative markers.

Results: The results showed that the composite packaging performed better than each of the single biopolymers. Sodium alginate, among the biopolymers, was more suitable substrate than caseinate to the inclusion of the savory extract and more elonged the antimicrobial and antioxidant effect of the extract. At the end of the storage, the fillets coated with the composite active package had the lowest mean of TVC (4.80 log CFU/g), pH (5.70), TVB-N (25 mg/100g 15.), PV (4.37 meq/kg), TBA (0.70 mg MDA/kg) and the highest WHC (62.50%) ($p<0.05$), and as compared to the fillets without coating, they had at least three days longer shelf life.

Conclusion: The results indicated that sodium caseinate-alginate composite coating incorporated with savory extract can be used as active packaging to store fish fillets at refrigerator temperature.

Keywords: *Alginate, Active Packaging, Composite Coating, Caseinate, Satureja sahendica*.

* Corresponding Author: Da.khademi@iau.ac.ir