





A Review on the Application of Modified Atmosphere Packaging Integrated with Other Technologies for White and Red Meat Packaging

Parisa Parsa , Naser Sedaghat* 

*Professor, Department of Food Sciences and Technology, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: 13/08/2023, Revised: 12/09/2023, Accepted: 14/10/2023, Published: 20/02/2024)

DOR:20.1001.1.22286675.1402.14.56.5.5

ABSTRACT

White and red meats are susceptible to spoilage and quality degradation because of microbial spoilage, lipid oxidation, and other degrading factors. Modified atmosphere packaging (MAP) can increase the shelf life of white and red meats by replacing the air inside the package with a gas or gas mixture suitable for the product. The gas mixtures typically include nitrogen, carbon dioxide, and oxygen, depending on the meat type. However, MAP with high levels of oxygen causes lipid oxidation and the growth of aerobic microorganisms, which can lead to undesired changes in the meat. MAP with low oxygen levels, on the other hand, alters the meat color and activity of anaerobic microorganisms. Even though MAP with carbon dioxide prevents the growth of microorganisms, the possibility of bacterial growth, specifically spore-producing types, still exists in long-term storage. Therefore, combining MAP with other technologies like oxygen scavengers, carbon dioxide emitters, antimicrobial compounds, edible coatings with antimicrobial properties, or novel technologies such as irradiation, pulsed electric field, high hydrostatic pressure, cold plasma, and ultrasound can enhance its effectiveness. Intelligent systems can also be used to ensure the safety and quality of food products in MAP.

Keywords: Modified Atmosphere Packaging (MAP), Red and White Meats, Novel Technologies, Intelligent Packaging Systems

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

 Authors



* Corresponding Author Email: sedaghat@um.ac.ir

مروری بر کاربرد تلفیقی بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده با سایر فناوری‌ها برای بسته‌بندی گوشت

سفید و قرمز

پریسا پارسا^۱ ID، ناصر صداقت^{۲*} ID

۱- دانشجوی دکتری، ۲- استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

DOR: 20.1001.1.22286675.1402.14.56.5.5

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱

چکیده

انواع گوشت سفید و قرمز در مراحل مختلف زنجیره تولید به شدت مستعد فساد میکروبی، اکسیداسیون چربی و سایر عوامل تضعیف‌کننده کیفیت هستند. بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده از طریق جایگزینی هوای داخل بسته با گاز یا مخلوطی مناسب از گازها (عمدتاً اکسیژن، نیتروژن و دی‌اکسیدکربن) با توجه به نوع محصول، با جلوگیری از رشد عوامل فساد میکروبی و اکسیداتیو، موجب افزایش زمان ماندگاری انواع گوشت سفید و قرمز می‌گردد. اما با وجود اینکه اتمسفر اصلاح شده حاوی مقادیر بالای اکسیژن موجب ایجاد رنگ قرمز مطلوب در گوشت قرمز می‌شود، تغییرات نامطلوبی همچون اکسیداسیون چربی و رشد میکروارگانیسم‌های عامل فساد هوازی را نیز به همراه دارد. از طرف دیگر اتمسفر اصلاح شده حاوی اکسیژن کم، موجب تغییرات رنگ گوشت و فعالیت میکروارگانیسم‌های غیرهوازی می‌گردد. همچنین اگرچه اتمسفر اصلاح شده حاوی گاز دی‌اکسیدکربن از رشد میکروارگانیسم‌ها ممانعت می‌کند، ولی امکان رشد باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی به خصوص انواع تولیدکننده اسپور در طولانی مدت وجود دارد؛ لذا نیاز به استفاده از سایر فناوری‌ها در ترکیب بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده احساس می‌شود. می‌توان از جاذب‌های اکسیژن، ساطع‌کننده‌های گاز دی‌اکسیدکربن، ترکیبات ضد میکروبی، پوشش‌های خوراکی با خاصیت ضد میکروبی یا حامل این ترکیبات و فناوری‌های نوین همچون فرایندهای پرتودهی، میدان الکتریکی پالسی، فشار هیدرواستاتیک بالا، پلاسما سرد و فراصوت برای تکمیل اثربخشی بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده در جهت افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی استفاده نمود. به علاوه با استفاده از سامانه‌های هوشمند می‌توان از ایمنی و کیفیت مواد غذایی در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده، اطمینان حاصل کرد.

کلیدواژه‌ها: بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده، گوشت سفید و قرمز، فناوری‌های نوین، سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند

۱- مقدمه

محصول را در طی زمان نگهداری حفظ کند. در بسته‌بندی MAP، یک اتمسفر خاص با تزریق یک مخلوط گاز اولیه دلخواه به داخل بسته ایجاد می‌شود. تغییر اتمسفر داخل بسته‌بندی می‌تواند بر فلور میکروبی محصول تأثیر بگذارد و منجر به افزایش ماندگاری آن گردد. گازهای رایج مورد استفاده در بسته‌بندی MAP عبارتند از: دی‌اکسیدکربن (برای مهار رشد باکتری‌ها)، اکسیژن (برای جلوگیری از رشد بی‌هوازی و حفظ رنگ گوشت) و نیتروژن (برای جلوگیری از اکسید شدن چربی‌ها و فروپاشی بسته) می‌باشند. این گازها را می‌توان به صورت جداگانه یا ترکیبی به منظور دستیابی به اثر مطلوب به کار برد [۱]. با توجه به نوع محصولی که تحت بسته‌بندی MAP قرار می‌گیرد، باید یک مخلوط گازی مناسب براساس ترکیب شیمیایی و عوامل فساد منحصر به آن محصول، انتخاب شود. گاز دی‌اکسیدکربن به دلیل دارا بودن خواص مهارکنندگی رشد

خصوصیاتی که در تعیین زمان ماندگاری انواع مختلف گوشت حائز اهمیت می‌باشند شامل: ظرفیت نگهداری آب، رنگ، کیفیت میکروبی، پایداری اکسایشی و طعم مطلوب هستند. تغییرات مخرب در طول زمان نگهداری گوشت تحت تأثیر واکنش‌های متابولیکی ناشی از اختلالات بیولوژیکی غشاء و فرآیندهای اکسیداتیو بیوشیمیایی است. تغییر رنگ، ایجاد مزه و بوی نامطلوب، از دست دادن مواد مغذی، تغییرات بافت و پیشرفت عوامل فساد موجب تضعیف کیفیت انواع مختلف گوشت می‌گردند [۱]. بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده^۱ یک روش مؤثر برای نگهداری انواع گوشت سفید و قرمز است که می‌تواند تازگی

^۱ Modified Atmosphere Packaging (MAP)

* رایانامه نویسنده مسئول: sedaghat@um.ac.ir

بنابراین، نیاز به استفاده از ساطع‌کننده‌های گاز دی‌اکسیدکربن، ترکیبات ضد میکروبی، پوشش‌های خوراکی با خاصیت ضد میکروبی یا حامل این ترکیبات و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین همچون فرایندهای پرتودهی، فشار هیدرواستاتیک بالا، پلاسما سرد، فراصوت و قرار گرفتن مواد غذایی تحت میدان الکتریکی پالسی به همراه بسته‌بندی MAP احساس می‌شود.

به‌علاوه، با استفاده از سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند می‌توان برخی از ویژگی‌های مواد غذایی محصور شده در بسته‌بندی یا محیط اطراف مواد غذایی را شناسایی کرد و وضعیت این خصوصیات را به تولیدکننده، فروشنده و مصرف‌کننده اطلاع داد. سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند شامل انواع مختلفی از حسگرها و نشانگرها همچون حسگرهای گازها، حسگرهای زیستی یا نشانگر شاخص‌های یکپارچگی، تازگی، زمان و دما هستند [۷]. بنابراین، در صورت تلفیق این سامانه‌ها با بسته‌بندی MAP، می‌توان اثربخشی و یکپارچگی بسته‌بندی MAP را ارزیابی نمود [۸].

در مقالات پیشین اطلاعاتی در خصوص تأثیر بسته‌بندی MAP بر زمان ماندگاری، pH، رشد میکروبی، غلظت گازها، کیفیت حسی و انواع پلیمرهای مورد استفاده در بسته‌بندی MAP گوشت و فرآورده‌های گوشتی قرمز و سفید آورده شده است [۹-۱۱]. در این مطالعه ابتدا نوع گاز یا ترکیب گازی مورد استفاده در بسته‌بندی MAP با توجه به عوامل فساد در انواع گوشت قرمز و سفید مورد مطالعه قرار می‌گیرد، سپس به بررسی اثر بسته‌بندی MAP به همراه ریباندها یا جاذب‌های اکسیژن^۲، ساطع‌کننده‌های دی‌اکسیدکربن^۳، مواد آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد میکروبی-آنتی‌اکسیدانی، پوشش‌ها یا فیلم‌های خوراکی، فناوری‌های نوین همچون فرایندهای پرتودهی^۴، میدان الکتریکی پالسی^۵، فشار هیدرواستاتیک بالا^۶، پلاسما سرد^۷، فراصوت^۸ و سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند^۹ انواع گوشت قرمز و سفید پرداخته می‌شود.

باکتری‌ها باعث ممانعت یا به تأخیر انداختن رشد باکتری‌های هوازی عامل فاسد مانند سودوموناس^۱ می‌شود. برای MAP گوشت و بیشتر غذاها، غلظت اولیه حدود ۲۰ درصد گاز دی‌اکسیدکربن مورد نیاز است. با این حال گاز دی‌اکسیدکربن رشد همه میکروارگانیسم‌ها را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. به‌عنوان مثال، باکتری‌های /سیدلاکتیک در حضور گاز دی‌اکسید کربن و اکسیژن کم، رشد می‌کنند. گاز اکسیژن برای حفظ رنگ قرمز تازه گوشت استفاده می‌شود. اما، باید توجه داشت که در حالی که اکسیژن این اثر تجاری مطلوب را ارائه می‌دهد، همچنین باعث ایجاد واکنش‌های اکسیداتیو منفی می‌شود که منجر به اکسیداسیون لیپید، پروتئین، رشد میکروارگانیسم‌های هوازی و تخریب ویتامین‌ها می‌گردد [۳] و [۴]. لذا می‌توان بسته‌بندی MAP را همراه با سایر فناوری‌ها به کار برد تا از ایمنی مواد غذایی و قابلیت ردیابی آن‌ها پس از بسته‌بندی اطمینان حاصل شود.

اگرچه بسته‌بندی MAP با تغییر اتمسفر و افزودن دی‌اکسیدکربن یک سامانه کارآمد برای حذف اکسیژن است، ممکن است مقداری از اکسیژن همچنان در اتمسفر بسته‌بندی باقی بماند و یا همانطور که ذکر شد، برای بسته‌بندی موادی مثل گوشت قرمز تازه از بسته‌بندی MAP با اکسیژن بالا استفاده شود. استفاده از ریباندهای اکسیژن به‌عنوان یک سامانه بسته‌بندی فعال برای جایگزینی سامانه MAP سنتی، با جذب اکسیژن باقی‌مانده پس از بسته‌بندی، فضایی بدون اکسیژن را در طول ذخیره‌سازی ارائه می‌کند، بنابراین، از رشد میکروارگانیسم‌های هوازی و ایجاد مزه و بو نامطلوب و تغییر رنگ به دلیل اکسیداسیون لیپیدها و پروتئین‌ها و همچنین از دست دادن اجزای تغذیه‌ای جلوگیری می‌کنند [۵]. همچنین برای جلوگیری از فساد اکسیداتیو می‌توان از آنتی‌اکسیدان‌ها بهره گرفت. آنتی‌اکسیدان‌ها موادی هستند که از ترکیبات مصنوعی یا طبیعی مشتق می‌شوند و به منظور جلوگیری از اکسیداسیون لیپیدها، تأخیر در ایجاد بدطعمی و بهبود ثبات رنگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. عملکرد آنتی‌اکسیدان‌ها می‌تواند به صورت رهاسازی عوامل آنتی‌اکسیدانی به غذا و یا حذف اجزای نامطلوب مانند اکسیژن، ترکیبات رادیکال اکسیداتیو یا یون‌های فلزی از غذا یا فضای بسته باشد [۶]. همچنین امکان رشد برخی از باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی تحت اتمسفرهای مختلف MAP، به‌خصوص در صورت نگهداری طولانی مدت انواع مختلف گوشت وجود دارد.

² O₂ absorbers or scavengers

³ CO₂ emitters

⁴ Irradiation

⁵ Pulsed electric field (PEF)

⁶ High hydrostatic pressure (HPP)

⁷ Cold plasma (CP)

⁸ Ultrasound

⁹ Intelligent packaging systems

¹ Pseudomonas

۲- بسته‌بندی MAP گوشت قرمز و سفید

نوع و درصد گازهای تشکیل‌دهنده بسته‌بندی MAP با توجه به ترکیب شیمیایی، میکروارگانیسم‌های غالب، سایر عوامل فساد و... در انواع گوشت متفاوت است. در ادامه در خصوص بسته‌بندی MAP انواع گوشت قرمز و سفید بحث خواهد شد.

۲-۱- بسته‌بندی MAP گوشت قرمز

عمدتاً از اکسیژن برای کنترل رنگ گوشت قرمز تازه در بسته بندی MAP استفاده می‌شود، زیرا رنگ گوشت تازه معیار مهمی برای انتخاب محصول توسط مصرف کنندگان است. اتمسفر مورد استفاده برای بسته‌بندی MAP گوشت قرمز تازه به دو نوع عمده طبقه می‌شود: اتمسفر با سطح اکسیژن بالا که از ۸۰ درصد اکسیژن و ۲۰ درصد دی‌اکسیدکربن تشکیل است و اتمسفر با سطح پایین اکسیژن که شامل ۳۰ تا ۶۵ درصد دی‌اکسید کربن در نسبت تعادلی با نیتروژن می‌باشد، غلظت اکسیژن در محدوده ۰/۵ تا ۱ درصد، باعث تشکیل غیرقابل برگشت مت-میوگلوبین می‌شود، بنابراین، اکسیژن یا باید در سطوح بالا تأمین یا حذف شود. اتمسفر طیور و ماهی به این روش طبقه‌بندی نمی‌شوند، زیرا غلظت کمتری از میوگلوبین در گوشت آن‌ها وجود دارد و رنگ معیار انتخاب اولیه مصرف کنندگان برای چنین محصولاتی نیست [۴]. بسته‌بندی MAP با اکسیژن بالا برای گوشت قرمز تازه دارای مزیت حفظ رنگ قرمز گوشت و افزایش ماندگاری آن به دلیل افزودن دی‌اکسیدکربن است. باین‌حال، اگر گوشت طولانی مدت نگهداری شود، امکان تشکیل مت - میوگلوبین قهوه‌ای رنگ، اکسیداسیون چربی و رشد باکتری‌های هوازی وجود دارد. ماندگاری گوشت قرمز تازه در بسته‌بندی MAP با اکسیژن بالا، ۱۰ تا ۱۴ روز برای گوشت چرخ‌کرده گاو و ۱۲ تا ۱۶ روز برای تکه‌های کامل ماهیچه در دمای یخچال است. اما بسته‌بندی MAP با اکسیژن کم، ماندگاری بیشتری به مدت ۲۵ تا ۳۵ روز دارد، اما به دلیل غلظت کم اکسیژن در خرده‌فروشی به رنگ قرمز روشن به‌نظر نمی‌رسد [۱۲] و [۱۳].

رشد باکتری‌های گرم منفی مانند سویه‌های سودوموناس، آئروموناس^۱، کمپیلوباکتر^۲، انتروباکتریاسه^۳ و سالمونلا^۴ که مسئول فساد گوشت قرمز تازه و بیماری‌های ناشی از هستند، با استفاده از دی‌اکسیدکربن متوقف می‌شود. مکانیسم عملکرد

دی‌اکسیدکربن عبارت‌اند از: ۱- نفوذ به دیواره‌های سلولی میکروبی و در نتیجه تأثیر بر متابولیسم سلولی باکتری‌ها. ۲- کاهش سریع pH در سلول‌های میکروبی و در نتیجه اثر بر فعالیت متابولیکی آن‌ها. ۳- تغییر فعالیت آنزیمی در سلول‌های میکروبی. دی‌اکسیدکربن در مواد غذایی با رطوبت و چربی بالا، مانند گوشت بسیار محلول است و با کاهش دما حلالیت آن افزایش می‌یابد. معمولاً نیتروژن به اتمسفر اضافه می‌شود تا از فروپاشی بسته‌بندی جلوگیری گردد. همچنین غلظت بالای دی‌اکسیدکربن می‌تواند pH را به دلیل تشکیل اسیدکربنیک در هنگام حل شدن دی‌اکسیدکربن در رطوبت موجود در گوشت کاهش دهد. کاهش pH ماهیچه می‌تواند منجر به رسوب پروتئین‌های سارکوپلاسمی و در نتیجه ایجاد رنگ خاکستری در رنگ گوشت تازه و افزایش چکه شود که در نهایت بر بافت و طعم گوشت هنگام پخت تأثیر می‌گذارد [۱۴].

۲-۲- بسته‌بندی MAP طیور

در بیشتر موارد، بسته‌بندی MAP طیور با استفاده از گاز دی‌اکسیدکربن در سطوح بالا صورت می‌گیرد، تا سویه‌های سالمونلا و انتروباکتریاسه مانند *اشریشیا کلی*^۵ را مهار کنند. همچنین کمپیلوباکتر *جوجونی*^۶ که یکی از پنج عامل اصلی بیماری‌های ناشی از غذا است، می‌تواند در محصولات طیور وجود داشته باشد [۴].

۲-۳- بسته‌بندی MAP ماهی

بسته‌بندی MAP برای ماهی تازه به دلیل مزایای سلامتی بخش مصرف ماهی به همراه پتانسیل آن برای ایجاد بازاری متنوع‌تر با انواع ماهی‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

میکروارگانیسم‌های اصلی فساد در ماهی‌های تازه آب‌های معتدل شامل: سویه‌های سودوموناس، موراکسلا^۷، استوباکتر^۸، *شوانلا پوترفاسینس*^۹، *ویبریو پاراهمولیتیکوس*^{۱۰}، *فلاوووباکتریوم*^{۱۱} و *آئروموناس* هستند.

میکرو فلور موجود در ماهی‌های مناطق گرمسیری دریایی نیز به‌طور عمده مشتمل بر: سویه‌های *استافیلوکوکوس*^{۱۲}،

^۵ Escherichia coli

^۶ Campylobacter jejuni

^۷ Moraxella

^۸ Acetobacter

^۹ Shewanella putrefaciens

^{۱۰} Vibrio parahaemolyticus

^{۱۱} Flavobacterium

^{۱۲} Staphylococcus

^۱ Aeromonas

^۲ Campylobacter

^۳ Enterobacteriaceae

^۴ Salmonella

۳-۱- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با رباینده‌ها و جاذب‌های اکسیژن

سامانه‌های بسته‌بندی فعال در دو دهه گذشته محبوبیت زیادی برای حفظ کیفیت محصول در طول زمان نگهداری به دست آورده‌اند. یکی از رویکردهای بسته‌بندی فعال که برای سامانه‌های گوشت قابل‌استفاده است، استفاده از مواد جاذب اکسیژن در کیسه‌های کوچکی که در بسته‌بندی قرار می‌گیرند یا فیلم‌های بسته‌بندی که با مواد جذب‌کننده اکسیژن ترکیب شده‌اند [۱۸] و [۱۹]. اکسیژن داخل بسته بندی محصولات غذایی باعث تسریع در فساد میکروبیولوژیکی و شیمیایی می‌شود. حتی اگر یک فیلم بسته بندی با نفوذپذیری اکسیژن بسیار کم در بسته‌بندی MAP مواد غذایی استفاده شود، اکسیژن باقیمانده نمی‌تواند به طور کامل از فضای بسته بندی حذف شود. به همین دلیل، با استفاده از رباینده‌ها و جاذب‌های اکسیژن در سامانه بسته‌بندی در ترکیب با MAP می‌توان تخریب میکروبیولوژیکی و شیمیایی را کاهش داد، در نتیجه زمان ماندگاری محصول را افزایش می‌یابد [۲۰] و [۲۱].

بررسی محققان در خصوص اثر بسته‌بندی MAP (۷۰ درصد دی‌اکسیدکربن و ۳۰ درصد نیتروژن) و ۳ نوع رباینده اکسیژن بر پایه آهن با ظرفیت جذب متفاوت بر تغییرات میکروبی و اکسیداسیون گوشت ران مرغ در طی ۱۹ روز نگهداری در دمای یخچال، حاکی از اثر بسته‌بندی MAP در کاهش رشد میکروبی، به تأخیرافتادن اکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها و ۹ روز افزایش زمان ماندگاری محصول، بدون مشاهده اثر محسوس رباینده‌های اکسیژن بود [۲۲]. در مطالعه‌ای دیگر اثر رباینده اکسیژن بر پایه آهن، پوشش ضد میکروبی کیتوزان در ترکیب با بسته‌بندی MAP (۷۰ درصد دی‌اکسید کربن و ۳۰ درصد نیتروژن) بر ویژگی‌های میکروبی و پایداری رنگ سوسیس تکه شده در مدت زمان سه ماه نگهداری در دمای یخچال بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده همزمان از رباینده اکسیژن و پوشش خوراکی، باعث حفظ بهتر رنگ گردید و همچنین پوشش کیتوزان به تنهایی موجب پایداری میکروبی بیشتر سوسیس در بسته‌بندی MAP شد [۲۳].

۳-۲- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با ساطع‌کننده‌های دی‌اکسیدکربن

برای حفظ بهتر کیفیت میکروبی محصول در بسته‌بندی MAP به حجم بالایی از گاز دی‌اکسیدکربن نسبت به حجم محصول نیاز

میکروکوکوس^۱، باسیلوس^۲، کلستریدیوم^۳، بروکوتریکس ترموسپاکتا^۴ و استریپتوکوکوس^۵ هستند [۱۵]. یکی از بزرگترین نگرانی‌ها کلستریدیوم بوتولینوم^۶ نوع E است که یک باکتری غیرپروتئولیتیک است و می‌تواند بدون ایجاد بو و لجن، باعث فساد شود. مخلوط گازها و کنترل دقیق دما به منظور تهیه بسته‌بندی MAP ایمن و با کیفیت برای ماهی ضروری هستند. ماندگاری ماهی در دمای یخچال می‌تواند ۱۰ تا ۱۴ روز باشد، اما اگر در دمای ۰٫۹ تا ۲ درجه سانتیگراد نگهداری شود، می‌تواند بین ۱۸ تا ۲۰ روز باشد. مخلوط‌های گازی برای بسته‌بندی MAP ماهی‌های غیر چرب معمولاً ۳۰ درصد اکسیژن، ۴۰ درصد دی‌اکسید کربن و ۳۰ درصد نیتروژن و برای ماهی دودی و چرب ۴۰ درصد دی‌اکسید کربن و ۶۰ درصد نیتروژن هستند [۱۶].

۳-۴- بسته‌بندی MAP میگو

میگو منبعی غنی از اسیدهای آمینه، پپتیدها، پروتئین و سایر مواد بیوشیمیایی مفید است. با این حال، میگو محصولی بسیار فسادپذیر است و ماندگاری آن در یخچال به دلیل ترکیب بیولوژیکی آن محدود است. علت اصلی زوال میگو، فعالیت میکروارگانیسم‌های عامل فساد در غذاهای دریایی، وجود اسیدهای چرب ضروری، ویتامین‌های محلول در چربی و پروتئین‌ها، تولید آمین‌های بیوژنیک و تشکیل بوی نامطلوب است. بسته‌بندی MAP تحت اتمسفر دی‌اکسیدکربن معمولاً تأثیر به‌سزایی در افزایش زمان ماندگاری میگو دارد [۱۷].

۳- استفاده از بسته‌بندی MAP به همراه سایر فناوری‌ها

در ادامه مطالبی در خصوص استفاده از بسته‌بندی MAP به همراه رباینده‌ها یا جاذب‌های اکسیژن، ساطع‌کننده‌های دی‌اکسیدکربن، عوامل ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، آنتی‌اکسیدانی - ضد میکروبی، پوشش‌های خوراکی، فناوری‌های نوین همچون فرایندهای پرتودهی، میدان‌های الکتریکی پالسی، فشار هیدرواستاتیک بالا، پلاسما سرد، فراصوت و همچنین بسته‌بندی هوشمند ارائه می‌گردد.

¹ Micrococcus

² Bacillus

³ Clostridium

⁴ Brochotrix thermospecta

⁵ Streptococcus

ماندگاری ماهی با اضافه کردن پد ساطع کننده گاز کربن دی اکسید از ۹ روز به ۱۳ روز افزایش یافت [۲۹].

۳-۳- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با مواد ضد میکروبی

نگرانی‌هایی در مورد اثربخشی MAP بر باکتری‌های تولیدکننده اسپور به صورت هوازی و بی‌هوازی مانند *باسیلوس سرئوس*^۱ و *کلوستریدیوم بوتولینوم* در غذاهای نگهداری شده در دمای یخچال با در مدت زمان طولانی وجود دارد، به ویژه زمانی که دمای محیط نگهداری مواد غذایی دچار نوسانات گردد. *کلوستریدیوم بوتولینوم* نوع غیر پروتئولیتیک به دلیل توانایی تولید نوروکسین در طول نگهداری تحت بسته بندی MAP با اکسیژن کم، یک تهدید بزرگی در غذاهای سرد است [۳۰] و [۳۱]. همچنین باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری مانند *لیستریا مونوسایتوژنز*^۲، *یرسینیا اینترکولیتیکا*^۳ و برخی مزوفیل‌ها مانند *سوبه‌های سالمونلا* و سایر میکروب‌های عامل فساد ممکن است در صورت ایجاد تغییرات در دمای انبار یا استفاده مواد بسته‌بندی نامناسب در مواد غذایی همچون انواع گوشت رشد کنند [۳۲] و [۳۳]. بنابراین، فناوری MAP می‌تواند با سایر فرآوری‌ها همچون افزودن مواد ضد میکروبی ترکیب شود تا از ایمنی مواد غذایی اطمینان حاصل شود. انواع مختلفی از عوامل ضد میکروبی از جمله اتانول، دی‌اکسید کربن، یون‌های نقره، دی‌اکسید کلر، آنتی‌بیوتیک‌ها، باکتریوسین‌ها، اسیدهای آلی، اسانس‌ها و ادویه‌ها به منظور مهار رشد میکروارگانیسم‌ها در مواد غذایی بررسی شده‌اند [۳۴] و [۳۵].

در مطالعه‌ای اثر تیمارهای نایسین و اتیلن‌دی‌آمین تتراسیتیک‌اسید^۴ در مقادیر مختلف بر ماندگاری گوشت مرغ تازه ذخیره شده در بسته بندی MAP (۶۵ درصد دی‌اکسید کربن، ۳۰ درصد نیتروژن و ۵ درصد اکسیژن) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد ارزیابی شد. تیمار نایسین و ترکیب مقادیر مختلف نایسین و EDTA جمعیت باکتری‌های مزوفیل، *سودوموناس*، باکتری‌های *اسید لاکتیک* و *اتروباکتریاسه* را تحت تاثیر قرار داد. همچنین تیمارهای ترکیبی ضد میکروبی نایسین و EDTA تأثیر قابل

است، اما بسته‌بندی MAP، گنجایش کافی برای چنین حجمی از گاز را ندارد. در عین حال غلظت اولیه گاز دی‌اکسید کربن در داخل بسته‌بندی به واسطه انحلال جزئی در محصول و نفوذپذیری فیلم بسته‌بندی ثابت نیست و کاهش می‌یابد. لذا برای غلبه بر این مشکل، می‌توان از ساشه‌های ساطع کننده گاز دی‌اکسید کربن در بسته‌بندی MAP استفاده کرد. ساطع کننده‌های دی‌اکسید کربن با مصرف گاز اکسیژن در سرفضای بسته‌بندی، گاز کربن دی اکسید تولید می‌کنند و بدون نیاز به غلظت اولیه بالای دی اکسید کربن، موجب افزایش غلظت این گاز در بسته بندی و عدم تغییر شکل بسته‌بندی در طی زمان نگهداری می‌گردند [۲۶]–[۲۴]. به علاوه هنگامی که ساشه‌های ساطع کننده گاز دی‌اکسید کربن در تماس با آب نشت یافته از ماتریکس مواد غذایی قرار می‌گیرند، همزمان به عنوان جاذب رطوبت نیز عمل می‌کنند و موجب کاهش از دست رفتن مایعات ماده غذایی می‌شوند [۲۷].

مطالعه‌ای با هدف بررسی زمان ماندگاری فیله مرغ در بسته‌بندی MAP با غلظت‌های مختلف گاز کربن دی‌اکسید به همراه یا بدون ساطع کننده گاز کربن دی اکسید در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد. بررسی‌ها نشان داد که مهار رشد میکروبی متناسب با غلظت گاز کربن دی اکسید است. ذخیره سازی فیله مرغ در اتمسفر حاوی ۱۰۰ درصد کربن دی اکسید، همراه با و یا بدون ساشه ساطع کننده کربن دی اکسید، باعث افزایش زمان ماندگاری میکروبیولوژیکی به مدت ۷ روز در مقایسه با اتمسفر حاوی ۶۰ درصد کربن دی اکسید شد. در حین نگهداری در اتمسفر کربن دی اکسید خالص، دی اکسید کربن در گوشت حل شد و باعث افت چکه و همچنین متلاشی شدن بسته ها گردید. نتایج نشان دادن که از استفاده از ساشه‌های ساطع کننده کربن دی اکسید در بسته‌ها، به طور قابل توجهی افت چکه را کاهش داد. به علاوه، افزودن ساشه‌های ساطع کننده دی‌اکسید کربن به راحتی در خطوط بسته‌بندی صنعتی بدون کاهش راندمان تولید قابل اجرا است [۲۸]. در مطالعه‌ای دیگر رشد باکتری‌ها، متابولیت‌های میکروبی و کیفیت حسی ماهی کاد، طی ۱۵ روز نگهداری در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد، تحت بسته‌بندی MAP (۶۰ درصد کربن دی اکسید و ۴۰ درصد نیتروژن) و پد ساطع کننده گاز کربن دی اکسید و یا پد جاذب مایعات مورد مطالعه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که کیفیت حسی و میکروبی ماهی‌های کاد با افزودن ساطع کننده گاز کربن دی‌اکسید در MAP بهتر حفظ می‌شود. همچنین زمان

^۱ *Bacillus cereus*

^۲ *Listeria monocytogenes*

^۳ *Yersinia enterocolitica*

^۴ Ethylene diamine tetra acetate (EDTA)

روز افزایش داد. علاوه بر این، استفاده از این مخلوط موجب کنترل رشد لیستریا/اینوکوا در طی زمان نگهداری گردید. این مطالعه نشان داد که استفاده از هر سه نوع ماده پیشنهادی ضد میکروبی همراه با MAP یک روش مناسب برای افزایش زمان ماندگاری همبرگرهای ماهی در یخچال است [۳۸].

۳-۴- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با مواد آنتی‌اکسیدانی

علی‌رغم مزایای بسته‌بندی MAP با سطوح بالای اکسیژن مانند حفظ رنگ قرمز روشن (اکسی میوگلوبین) در گوشت، اکسیژن اضافی اکسیداسیون لیپید را تسریع می‌کند و در نهایت باعث ایجاد ناخواسته رنگ قرمز تیره و طعم نامطلوب می‌شود [۳۹]. همچنین استفاده از رنگ‌ها و آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی به دلیل اثرات منفی آن‌ها بر سلامت انسان کاهش یافته است و در مقابل به کاربردن عصاره‌های گیاهی به دست آمده از منابع طبیعی در سال‌های اخیر رواج یافته است. عصاره‌های گیاهی سرشار از آنتوسیانین‌ها و مواد فنلی هستند و به‌عنوان بهترین مواد طبیعی شناخته می‌شوند که از اکسیداسیون در بسیاری از غذاها جلوگیری می‌کنند و باعث تشکیل رنگ قرمز روشن می‌شوند [۴۰] و [۴۱].

در مطالعه‌ای گوشت چرخ کرده حاوی عصاره آبی فاقد چربی هویج سیاه (درمقادیر ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ پی‌پی‌ام) و بسته بندی شده در MAP با سطح اکسیژن بالا (۸۰ درصد اکسیژن و ۲۰ درصد دی‌اکسید کربن) از نظر اکسیداسیون لیپید، تشکیل مت-میوگلوبین، رنگ، pH و شمارش میکروبی در طول نگهداری در دمای $4 \pm 0/5$ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ روز مورد ارزیابی قرار گرفت. با افزایش سطح عصاره آبی فاقد چربی هویج سیاه، مقادیر pH، اکسیداسیون لیپید، مت-میوگلوبین و تعداد میکروبی کاهش یافت. بیشترین قرمزی رنگ و کمترین رشد میکروبی در حین نگهداری در تیمار حاوی ۳۰۰ پی‌پی‌ام عصاره آبی بدون چربی هویج سیاه مشاهده گردید. نتایج نشان داد که می‌توان زمان ماندگاری گوشت چرخ کرده را با استفاده از بسته بندی MAP با اکسیژن بالا و افزودن ۳۰۰ پی‌پی‌ام عصاره آبی بدون چربی هویج سیاه، به مدت ۳ روز افزایش داد [۴۱]. در مطالعه‌ای دیگر اثر عصاره دانه میوه‌های گریپ فروت، انگور و انار و عصاره پوست انار در ترکیب با بسته‌بندی MAP در دو اتمسفر مختلف (۴۰ درصد کربن دی‌اکسید و ۶۰ درصد نیتروژن، ۳۰ درصد کربن دی‌اکسید، ۱۰ درصد اکسیژن و ۶۰ درصد نیتروژن) بر افزایش زمان ماندگاری میگو در طی زمان ۲۴ روز نگهداری سرد، بررسی گردید. نتایج نشان داد که استفاده از دو تیمار

توجهی بر تشکیل آمین‌های فرار، نیتروژن تری متیل آمین^۱ و نیتروژن بازی کل فرار^۲ در گوشت مرغ داشتند. استفاده از MAP در ترکیب با تیمارهای ضد میکروبی نیاسین-EDTA منجر به بهبود خصوصیات ارگانولپتیکی گوشت مرغ تازه و یخچالی گردید. مرغ تحت تیمارهای مقادیر متوسط و بالا دو ترکیب ضد میکروبی بهتر نگهداری شد و خصوصیات حسی (به‌ویژه از نظر بو) قابل قبولی پس از گذشت ۲۴ روز از زمان نگهداری، داشت [۳۶]. در بررسی دیگر اثر ترکیبی اسید لاکتیک و سوربات پتاسیم بر رشد باکتری لیستریا مونوسیتوژنز در پای مرغ بسته‌بندی شده در MAP (۸۰ درصد دی‌اکسید کربن و ۲۰ درصد نیتروژن) و نگهداری در دمای ۴ درجه سانتیگراد ارزیابی شد. حداکثر نرخ رشد باکتری‌های سایکروتروف و مزوفیل در نمونه‌های بسته بندی شده در MAP و تیمار شده با مقادیر مختلف اسید لاکتیک و سوربات پتاسیم در مقایسه با نمونه شاهد، کمتر بود. تیمار ترکیبی بسته‌بندی MAP و غوطه‌وری پای مرغ در ۳/۵۷ درصد اسید لاکتیک و سوربات باعث کاهش قابل توجه باکتری لیستریا مونوسیتوژنز در مقایسه با نمونه شاهد گردید. پاهای مرغ بسته بندی شده در MAP زمان ماندگاری طولانی‌تری داشتند، اما این اتمسفر قادر به کاهش باکتری لیستریا مونوسیتوژنز نبودند، بنابراین، نیاز به اقدامات پیشگیرانه برای کنترل این پاتوژن ضروری است [۳۷].

در تحقیقی اثر ترکیبی مخلوط‌های متفاوتی از کیتوزان، نایسین و لاکتات سدیم در pH=۵/۵، بسته‌بندی با سامانه MAP و نگهداری در دمای یخچال بر کیفیت برگر ماهی مورد مطالعه قرار گرفت. کیفیت برگر ماهی از طریق پارامترهای میکروبیولوژیکی (میزان باکتری‌های مزوفیل، اسیدلاکتیک و پروتئولیتیک)، فیزیکوشیمیایی (pH، TVB-N و TMA-N) و حسی (بو) در طول ۳۰ روز در دمای ۴ درجه سانتیگراد ارزیابی شد. همچنین میزان رشد باکتری لیستریا/اینوکوا^۳ نیز بررسی گردید. نگهداری برگرها در اتمسفر یخچال موجب حفظ کیفیت آن‌ها تا بیش از ۵ روز نشد. استفاده از بسته‌بندی MAP به‌تنهایی توانست کیفیت برگرهای ماهی را افزایش دهد، اما قادر به کنترل رشد لیستریا/اینوکوا نبود. در میان ترکیبات مختلف ضد میکروبی آزمایش شده، ترکیب حاوی کیتوزان، نایسین و لاکتات سدیم کیفیت میکروبیولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و حسی برگرها را تا ۳۰

¹ Trimethylamine nitrogen (TMA-N)

² Total volatile basic nitrogen (TVB-N)

³ Listeria innocua

شمارش کل میکروارگانیسم‌های زنده^۲، TVB-N و K-value محدود بود. پس از ۱۲ روز نگهداری، نمونه‌های تیمار شده با ترکیب خیساندن و بسته‌بندی MAP نه تنها دارای رنگ سفیدتری بودند، بلکه TVC، K-value و TVB-N کمتری داشتند. پروفایل‌های سدیم‌دودسیل سولفات-الکتروفورز با پلی‌اکریل‌آمید^۳، پروتئین‌های سارکوپلاسمی، میوفیبریلار و تجزیه‌وتحلیل بافت‌شناسی نیز نشان داد که عضله میگو تحت تیمار ترکیبی با MAP احتمال تخریب کمتری دارد. همچنین تیمار ترکیبی با MAP می‌تواند مقدار هر افزودنی از فرمول نگهدارنده ترکیبی را با پتانسیل جلوگیری از زوال کیفیت میگوی سفید اقیانوس آرام به‌طور مؤثر کاهش دهد [۴۳].

اثر اسانس آویشن و پونه کوهی و همچنین بسته‌بندی MAP در افزایش ماندگاری گوشت بره تازه ذخیره شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بررسی شد. از آویشن و پونه کوهی در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۳ درصد وزنی بر حجم و از دو تیمار MAP با درصد گازهای متفاوت شامل MAP1 (۶۰ درصد کربن‌دی‌اکسید و ۴۰ درصد نیتروژن) و MAP2 (۸۰ درصد کربن‌دی‌اکسید و ۲۰ درصد نیتروژن) استفاده شد. از بین دو اسانس، آویشن و در مقایسه دو اتمسفر بسته‌بندی، MAP2 نسبت به MAP1 برای نگهداری گوشت بره مؤثرتر بود؛ بنابراین، اثر ترکیبی آویشن (۰/۱ درصد) و MAP2 بر افزایش ماندگاری گوشت بره طی یک دوره نگهداری ۲۵ روزه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که جمعیت میکروبی در طی ۹ روز ذخیره‌سازی کاهش یافت و بارزترین اثر با ترکیب MAP2 و آویشن (۰/۱ درصد) به دست آمد. پارامترهای رنگ L^* و b^* با زمان ذخیره‌سازی افزایش یافت، درحالی‌که پارامتر a^* بدون تأثیر باقی ماند. بر اساس تجزیه‌وتحلیل حسی (بو) و همچنین بر اساس داده‌های میکروبیولوژیکی، ماندگاری گوشت بره برای نمونه‌های بسته‌بندی شده در هوا ۷ روز، برای نمونه‌های حاوی ۰/۱ درصد آویشن، ۹ تا ۱۰ روز و برای نمونه‌های بسته‌بندی شده MAP حاوی ۰/۱ درصد آویشن ۲۱ تا ۲۲ روز بود [۴۴].

۳-۶- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با

پوشش یا فیلم خوراکی

علاقه مصرف‌کنندگان به مواد غذایی سالم منجر به تولید محصولات گوشتی حفاظت شده با مواد طبیعی شده است. در این

عصاره دانه انگور و عصاره پوست انار در ترکیب با اتمسفر ۴۰ درصد دی‌اکسید کربن و ۶۰ درصد نیتروژن موجب افزایش زمان ماندگاری سرد میگو از ۴ روز به ۲۴ روز گردید [۴۱].

۳-۵- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با مواد

ضدمیکروبی - آنتی‌اکسیدانی

اکسیداسیون چربی‌ها همراه با رشد میکروبی از جمله عوامل اصلی فساد انواع مختلفی از غذاها مانند مغزها، ماهی، گوشت، پودر شیر کامل، سس و روغن هستند. اکسیداسیون چربی‌ها موجب تضعیف کیفیت حسی و تغذیه‌ای غذاها می‌شود و حتی ممکن است منجر به تشکیل آلدئیدهای سمی شود. عواملی مانند اکسیداسیون چربی و رشد باکتری‌های هوازی در بسته‌بندی MAP با اکسیژن بالا و یا فساد میکروبی در نتیجه فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی در بسته‌بندی MAP، نیاز به استفاده از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی را به همراه بسته‌بندی MAP ضروری می‌سازد.

مطالعاتی در خصوص اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی اسانس پونه کوهی (۰/۲ درصد وزنی بر وزن) یا اسیدلاکتیک (۱/۲۵ درصد وزنی بر وزن) همراه با بسته‌بندی نفوذپذیر به اکسیژن و MAP بر کیفیت گوشت مرغ انجام شد. نتایج حاکی از این بود که تیمار اسیدلاکتیک در هر دو شرایط بسته‌بندی pH پایین‌تری همراه با مقادیر روشنایی رنگ بالاتر در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. در نمونه‌های تیمار شده با اسیدلاکتیک تحت بسته‌بندی MAP، شمارش کشت هوازی در روزهای ۱، ۸ و ۱۲ نگهداری کمتر بود. علاوه بر این، اسیدلاکتیک بهترین تیمار برای حفظ بو و مزه گوشت مرغ بود. در نتیجه، تیمار اسیدلاکتیک تحت بسته‌بندی MAP می‌تواند خواص نگهداری گوشت مرغ را بدون تأثیر بر ویژگی‌های حسی آن در طول نگهداری در یخچال حفظ کند [۴۲]. اثرات کوئرستین، سینامیک اسید و ۴-هگزیل رزورسینول بر تغییرات کیفی میگوی سفید اقیانوس آرام^۱ در طول نگهداری سرد به مدت ۱۲ روز بررسی شد. میگوهای تازه در یک فرمول نگهدارنده مبتنی بر کوئرستین حاوی ۰/۰۵ گرم در لیتر کوئرستین، ۰/۰۲۵ گرم در لیتر اسید سینامیک و ۰/۰۲۵ گرم در لیتر ۴-هگزیل رزورسینول غوطه‌ور شدند، سپس در دمای ۴ درجه سانتیگراد در اتمسفر هوا یا در MAP بسته‌بندی گردیدند. مواد نگهدارنده تا حدی از ملانوز و تخریب پروتئین میگو جلوگیری کردند، اما اثر بازدارندگی آنها بر

^۲Total viable count (TVC)

^۳Sodium dodecyl sulfate–polyacrylamide gel-electrophoresis (SDS-PAGE)

^۱Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

رومی اثر هم‌افزایی مشاهده گردید. خواص شیمیایی TVB-N، مواد واکنش دهنده تیوباربتوریک اسید^۱، اندیس پراکسید^۲ و pH به طور قابل توجهی در تمام گوشت‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه های شاهد کمتر بود. با این حال، مقادیر PV و TBARS در گوشت تیمار شده با بسته بندی MAP بالاتر بود. همچنین خصوصیات ارگانولپتیکی نمونه های تیمار شده با پوشش زئین حاوی ۳ درصد عصاره زنجبیل و اسانس بادیان رومی تا آخرین روز آزمایش قابل قبول بود. یافته‌ها حاکی از پتانسیل پوشش خوراکی زئین همراه با عصاره زنجبیل و اسانس بادیان رومی را در کاهش زوال گوشت گاو تازه و بهبود زمان ماندگاری آن در شرایط MAP را نشان می‌دهد [۴۸].

مطالعه‌ای با هدف حفظ کیفیت میکروبی سینه مرغ در طول ۱۵ روز زمان نگهداری با استفاده از پوشش آلژینات سدیم همراه با مواد ضد میکروبی طبیعی شامل اسانس لیمو و میخک (به صورت جداگانه و ترکیبی) و بسته بندی در MAP (۶۵ درصد کربن دی اکسید، ۳۵ درصد نیتروژن و ۵ درصد اکسیژن) و در اتمسفر محیط انجام شد. پس از ۱۵ روز نگهداری مشخص شد که پوشش با آلژینات سدیم حاوی ۰/۵ درصد اسانس لیمو و اسانس میخک در بسته‌بندی MAP مؤثرترین ترکیب در کاهش باکتری‌های مزوفیل هواز، سودوموناس، باکتری‌های سایکروتروف، *انتروباکتریاسه*، کپک و مخمر است. نتایج نشان داد که تیمار پوشش با آلژینات سدیم در ترکیب با ۰/۵ درصد اسانس لیمو و اسانس میخک پس از ۱۵ روز کمترین pH و TBARS را داشت. همچنین تیمار ذکر شده و تیمار پوشش با آلژینات سدیم در ترکیب با ۰/۵ درصد اسانس لیمو کمترین TVN را پس از ۱۵ روز نشان دادند. اما آنالیز حسی تفاوت معنی داری را بین نمونه های پوشش داده شده و بدون پوشش نشان نداد. در نتیجه، استفاده از MAP با اسانس منجر به افزایش اثر ضد باکتریایی اسانس‌ها در برابر باکتری های گرم مثبت و گرم منفی آزمایش شده و نقش مهمی در افزایش ماندگاری سینه مرغ دارد [۴۹]. مطالعه‌ی دیگری به منظور تعیین اثرات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی پوشش کیتوزان در ترکیب با عصاره زرشک و اسانس نعنا در ماندگاری گوشت سینه بوقلمون بسته‌بندی شده در MAP (۸۰ درصد کربن دی اکسید کربن و ۲۰ درصد نیتروژن) در دمای یخچال انجام شد. نتایج نشان داد که تعداد میکروبی و سطح اکسیداسیون لیپید، در نمونه‌های سینه بوقلمون تیمار شده با پوشش کیتوزان در ترکیب با ۲ و ۴ درصد عصاره زرشک و اسانس نعنا در طول ۲۵ روز نگهداری به طور قابل

راستا، می‌توان از پوشش‌ها یا فیلم‌های خوراکی با منشأ پروتئینی، کربوهیدراتی و یا لیپیدی استفاده نمود. این پوشش‌ها یا به نوبه خود دارای خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی هستند و یا می‌توانند به‌عنوان حامل ترکیبات ضد میکروبی و یا آنتی‌اکسیدانی، به‌منظور حفظ غلظت بالای مواد نگهدارنده در سطح مواد غذایی عمل کنند. در سال‌های اخیر، استفاده از مواد ضد میکروبی طبیعی مانند عصاره‌های گیاهی، روغن‌ها و مشتقات آن‌ها با پوشش‌های خوراکی یا ترکیب آن‌ها در مواد و فیلم‌های بسته‌بندی، ماندگاری مواد غذایی فاسدشدنی مانند انواع گوشت را افزایش یافته است [۴۶]، [۴۵]، [۲۳]. لذا می‌توان از ترکیب فناوری پوشش‌ها یا فیلم‌های خوراکی با بسته‌بندی MAP به‌منظور جلوگیری فساد میکروبی و شیمیایی و افزایش زمان ماندگاری انواع مختلف گوشت بهره برد.

در مطالعه‌ای خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی پوشش خوراکی کیتوزان حاوی اسانس آویشن شیرازی و عصاره هیدروالکلی سماق بر کیفیت استیک گوشت گاو بسته‌بندی شده با MAP در دمای یخچال بررسی گردید. نتایج حاصل نشان داد که ترکیب کیتوزان، عصاره سماق و اسانس آویشن شیرازی در شرایط بسته‌بندی MAP اثر ضد میکروبی قوی بر میکروارگانیسم‌های مورد بررسی (TVC، باکتری‌های *سودوموناس*، *اسیدلاکتیک*، *انتروباکتریاسه* و کپک - مخمر) داشته و موجب افزایش ماندگاری گوشت استیک شد. همچنین نمونه‌های تیمار شده، دارای ویژگی‌های حسی مطلوبی از جمله مزه، رنگ، بو، بافت و مطلوبیت کلی بودند. به‌علاوه، این مطالعه نشان داد که به‌کاربردن ترکیبی از اسانس آویشن شیرازی و سماق نسبت به استفاده تنهایی از آن‌ها اثرات بازدارندگی قوی‌تری بر اکسیداسیون لیپید در گوشت دارد و MAP در غلظت بالای اکسیژن اثر بیشتری بر اکسیداسیون لیپیدی داشت. براین اساس پوشش کیتوزان حاوی ۴ درصد اسانس آویشن شیرازی و عصاره هیدروالکلی سماق بهترین اثر مهارکنندگی را بر روی جمعیت میکروبی و اکسیداسیون لیپید در گوشت ارائه کرد [۴۷]. مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر پوشش زئین ذرت آغشته به عصاره زنجبیل و اسانس بادیان رومی بر ویژگی‌های میکروبی، شیمیایی و حسی نمونه‌های گوشت گاو بسته‌بندی شده در MAP انجام گردید. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که تیمار گوشت با پوشش زئین حاوی ۳ درصد عصاره زنجبیل و اسانس بادیان رومی، منجر به بیشترین میزان کاهش در تعداد باکتری‌های مزوفیل، اسید لاکتیک، *انتروباکتریاسه*، *سودوموناس* و کپک - مخمر در مقایسه با نمونه شاهد شد. علاوه بر این، فعالیت ضد میکروبی عصاره زنجبیل با بالا بردن غلظت آن افزایش یافته و در ترکیب آن با اسانس بادیان

¹ Thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS)

² Peroxide value (PV)

و زمان ماندگاری را افزایش داد. همچنین استفاده از تابش پرتو الکترونی در ترکیب با MAP موجب کاهش مقادیر آمین‌های بیوژنیک، TVB-N و اکسیداسیون لیپید و به‌دست‌آمدن امتیاز حسی بالاتر را در طول ذخیره‌سازی سرد، در مقایسه با نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده با MAP و e-beam به‌صورت جداگانه گردید. این تحقیق نشان داد که ترکیب تابش e-beam و MAP یک استراتژی امیدوارکننده برای افزایش ایمنی میکروبی و افزایش زمان ماندگاری اردک است [53]. تأثیر پرتو فرابنفش با طول موج پایین^۲، بسته بندی MAP (۸۰ درصد کربن دی اکسید و ۲۰ درصد نیتروژن) و ترکیب آنها بر کیفیت فیله قزل آلائی رنگین کمان طی یک دوره ۲۲ روزه مورد بررسی قرار گرفت. بسته بندی MAP نرخ رشد باکتری‌های مزوفیل و سایکروتروف و تعداد کل باکتری‌های مزوفیل را کاهش داد. همچنین MAP + UV-C موجب کاهش تعداد کل باکتری‌های مزوفیل و سایکروتروف گردید. مقادیر pH در تمام شرایط بسته بندی به جز در مورد بسته بندی هوای کاهش یافت. در نمونه‌های بسته بندی شده با MAP و UV-C + MAP مقادیر TMA-N، TVB-N و آمونیاک به آرامی افزایش یافت. تولید پوترسین^۳، کاداورین^۴، آمونیاک کل و TVB-N تحت بسته بندی MAP کاهش پیدا کرد، در حالی که UV-C + MAP تولید کل TVB-N و کاداورین را در کل زمان ذخیره سازی کاهش داد. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که MAP رشد میکروبی و تغییرات شیمیایی را به تعویق می‌اندازد [۵۴].

۳-۷-۲- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با PEF

در سال‌های اخیر فراوری غیرحرارتی مواد غذایی با استفاده از PEF جهت حفظ خواص بیوشیمیایی، تغذیه‌ای و حسی مواد غذایی اهمیت پیدا کرده است [۵۵]. فناوری PEF اثر ضد میکروبی خود را از طریق کاهش بار میکروبی اولیه به واسطه تخریب غشای سلولی، نشت محتوای سلول و در نهایت مهار میکروب‌های بیماری‌زا و عامل فساد اعمال می‌کند. به‌علاوه این فناوری به طور بالقوه جهت به تأخیر انداختن تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی در غذاها با غیرفعال سازی آنزیم‌ها کاربرد دارد که این اثر احتمالاً به‌واسطه تغییر ساختاری یا دناتوره شدن آنزیم‌ها است [۵۶]. لذا می‌توان با استفاده از این فناوری در ترکیب با

توجهی کاهش یافته است. به‌علاوه، ویژگی‌های بافتی، بو، مزه، رنگ و قابلیت پذیرش کلی در نمونه‌های بوقلمون تیمار شده، درآزمون ارزیابی حسی از نظر ارزیابان بسیار قابل قبول بود. با توجه به این نتایج، روش پوشش کیتوزان ترکیب شده با عصاره زرشک و اسانس نعنا می‌تواند یک رویکرد تقویت‌کننده برای افزایش زمان ماندگاری گوشت بوقلمون در بسته‌بندی اتمسفر MAP باشد [۵۰].

۳-۷-۱- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با فناوری‌های نوین

در این بخش اثر فناوری‌های نوین همچون فرایندهای پرتودهی، میدان الکتریکی پالسی، فشار هیدرواستاتیک بالا، پلاسما سرد و امواج فراصوت بررسی خواهد شد.

۳-۷-۱-۱- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب پرتودهی

پرتودهی از روش‌های موثر برای از بین بردن باکتری‌های بیماری‌زا است. نتایج تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که پرتودهی موجب غیرفعال شدن باکتری‌های بیماری‌زا همچون *شرشیا کلی*، *سالمونلا* و *لیستریا مونوسیتوژنز* در محیط‌های مختلف گردیده است با این حال، پرتودهی باعث اکسیداسیون لیپید و تغییرات رنگ در محصولات گوشتی می‌شود که منجر به محدود شدن سطح دوز قابل استفاده برای غیرفعال‌سازی میکروبی می‌گردد. پرتودهی به طور قابل توجهی TBARS را افزایش و رنگ را در محصولات گوشتی مختلف تحت شرایط بسته بندی و نگهداری مختلف تغییر داده است [۵۲]، [۵۱]. با افزایش دی اکسید کربن و کاهش سطح اکسیژن در بسته‌بندی MAP می‌توان زمان ماندگاری محصولات غذایی را از طریق مهار رشد میکروبی و تخریب اکسیداتیو، افزایش داد. بنابراین، اگر بسته‌بندی MAP با تیمار پرتودهی ترکیب شود، می‌تواند به طور قابل توجهی از کاهش کیفیت احتمالی فرآورده‌های گوشتی در اثر پرتودهی جلوگیری کند [۲].

اثرات ترکیبی تابش پرتو الکترونی^۱ و بسته‌بندی MAP بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی و کیفی اردک، تحت تیمارهای مختلف ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تابش الکترونی با دوز ۴ کیلوگرم تحت اتمسفر ۶۰ درصد کربن‌دی‌اکسید و ۴۰ درصد نیتروژن به طور قابل توجهی میکروب‌های عامل فساد را مهار کرده

² Short-wave ultraviolet (UV-C) radiation

³ Putrescine

⁴ Cadaverine

¹ E-beam irradiation

یکسان از گازهای دی‌اکسیدکربن و نیتروژن) یا اتمسفر هوا در مدت‌زمان ۲۲ روز نگهداری در دمای یخچال بررسی شد. نتایج حاکی از این بود که تیمار با HPP فناوری کارآمدی جهت افزایش ماندگاری میکروبیولوژیکی سوسیس‌های خام مرغ است و می‌تواند تعداد باکتری‌های مزوفیل‌هوازی و /سیدلاکتیک را کاهش دهد و در طی ۲۲ روز نگهداری در دمای یخچال تثبیت کند. باین‌حال، بسته‌بندی MAP تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر افزایش کیفیت میکروبی نمونه تیمار شده با فشار بالا نداشت. اما، بسته‌بندی MAP با محدود کردن اکسیداسیون لیپید که تحت فرایند HPP و بسته‌بندی در اتمسفر هوا افزایش یافت، موجب بهبود کیفیت ارگانولپتیک سوسیس‌های مرغ تیمار شده با HPP گردید [۵۹]. اثر هم‌افزایی ترکیب HPP (فشار ۳۵۰ مگاپاسکال در مدت زمان ۱۰ دقیقه در دمای اتاق) و بسته‌بندی MAP حاوی ۱۰۰ درصد گاز کربن دی‌اکسید کربن بر علیه *لوکونوستوک کارنوسوم*^۲، *بروکوتریکس ترموسفاکتا*، *سالمونلا انتریتیدیس*^۳، *کمپیلو باکتر جوجونی* و *لیستریا اینوکوا* در سوسیس‌های مرغ با نمونه‌های تیمار نشده با HPP و بسته بندی شده در اتمسفر هوا بررسی شد. نتایج حاکی از اثر هم‌افزایی ترکیب این دو فناوری نگهدارنده در برابر همه میکروارگانیسم‌های مورد مطالعه بود، به جز *سالمونلا انتریتیدیس* که مقاومت بیشتری در اتمسفر کربن دی‌اکسید نشان می‌دهد و *کمپیلو باکتر جوجونی* که به ویژه به فشارهای بالا حساس است. به نظر می‌رسد آسیب سلولی ناشی از فشار بالا، نفوذ دی‌اکسید کربن به سلول‌های میکروارگانیسم‌ها را تسهیل می‌کند و بر متابولیسم و در نتیجه رشد آن‌ها تأثیر می‌گذارد. به علاوه، با استفاده از اتمسفر کربن دی‌اکسید در ترکیب با تیمار HHP، فشارهای بسیار کمتری برای غیرفعال سازی باکتریایی مورد نیاز است که موجب کاهش هزینه‌های استفاده از این فناوری می‌گردد [۶۰].

در تحقیقی دیگر تأثیر فراوری HPP و بسته‌بندی MAP بر گوشت گاو تیره، سفت و خشک^۴ بررسی گردید. برای بهینه‌سازی تیمار HPP، استیک‌های گوشت گاو (تعداد = ۱۸۰) ابتدا در فشارهای مختلف (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ مگاپاسکال) فراوری شدند. مشخص شد که فشار ۴۰۰ مگاپاسکال رنگ و ماندگاری گوشت گاو DFD را بهبود می‌بخشد. سپس تیمار HPP بهینه شده (۴۰۰ مگاپاسکال) همراه با ۳ فرمول MAP (۴۰، ۶۰،

بسته‌بندی MAP زمان ماندگاری فرآورده‌های گوشتی را بهبود بخشید.

در مطالعه‌ای میگوهای سفید اقیانوس آرام تحت اثر میدان الکتریکی پالسی قرار گرفتند و متعاقباً در محلول ۱ درصد عصاره برگ چاموانگ^۱ خیسانده شده و سپس تحت بسته‌بندی MAP با اتمسفرهای مختلف شامل گازهای آرگون، نیتروژن و دی‌اکسیدکربن، بسته‌بندی شدند. در نمونه‌های تحت تیمار PEF همراه با خیساندن در محلول ۱ درصد عصاره برگ چاموانگ در بسته‌بندی MAP با اتمسفر کربن‌دی‌اکسید در مقایسه با سایر تیمارها کمترین میزان کربونیل، بازهای فرار کل، اندیس PV و TBARS مشاهده شد. به‌علاوه، تحت این تیمار، تعداد باکتری‌های سایکروفیل، انتروباکتریاسه، سودوموناس و باکتری‌های /سیدلاکتیک کمتر از نمونه‌های دیگر بود. از اکسیداسیون اسیدهای چرب نیز در PEF- CLE-CO نسبت به نمونه‌های شاهد و سایر نمونه‌های تیمار شده جلوگیری شد. در نتیجه تیمار PEF همراه با خیساندن در محلول ۱ درصد عصاره برگ چاموانگ، پیش از بسته‌بندی MAP به‌ویژه تحت اتمسفر کربن‌دی‌اکسید کارایی بالایی در افزایش ماندگاری میگوهای سفید اقیانوس آرام در دمای یخچال داشت [۵۷].

۳-۷-۳- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با فناوری HPP

فناوری HPP یکی از فناوری‌های جایگزین برای فرایندهای حرارتی است که جهت حفظ کیفیت ارگانولپتیکی و تغذیه‌ای مواد غذایی و برای پاسخگویی به تقاضای مصرف‌کننده برای مصرف مواد غذایی تازه به کار می‌رود. تیمار با HPP در فرآورده‌های گوشتی همچون گوشت‌های پخته شده، تخمیر شده و... شامل اعمال فشار ۳۰۰ تا ۶۰۰ مگاپاسکال به‌منظور غیرفعال کردن پاتوژن‌های موجود در غذا و میکروارگانیسم‌های عامل فساد است [۵۸]. بنابراین، می‌تواند به‌عنوان فناوری مکمل، به‌همراه بسته‌بندی MAP در فرآورده‌های گوشتی به‌کار برده شود.

در مطالعه‌ای ماندگاری سوسیس‌های مرغ خام تیمار شده با HPP (فشار ۵۰۰ مگاپاسکال، در مدت‌زمان ۵ دقیقه و دمای حداکثر درجه سانتیگراد) با در نظر گرفتن جنبه‌های پایداری میکروبی و اکسیداتیو (TBARS) در بسته‌بندی MAP (درصد

^۲ *Leuconostoc carnosum*

^۳ *Salmonella enteritidis*

^۴ Dark, firm and dry (DFD)

^۱ Leaf extract of chamuang (CLE)

محققان صنایع غذایی را به خود جلب کرده است، زیرا امکان تشکیل پلاسمای سرد در بسته‌بندی MAP وجود دارد [۶۷].

اثر پلاسمای سرد تخلیه سد دی الکتریک در بسته‌بندی^۱ بر کیفیت برش‌های ماهی خاردار آسیایی بسته‌بندی شده تحت گازهای مختلف شامل گازهای آرگون و اکسیژن (به ترتیب ۱۰ و ۹۰ درصد) و یا مخلوط گازهای کربن دی اکسید، آرگون و اکسیژن (به ترتیب ۶۰، ۳۰ و ۱۰ درصد) در طول نگهداری در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی گراد در طی ۱۸ روز مورد مطالعه قرار گرفت و با نمونه شاهد و نمونه تیمار نشده با CP مقایسه شد. نتایج حاکی از این بود که در ماهی‌های خاردار تیمار شده با IB-DBD-CP، صرف نظر از ترکیب گاز، بار میکروبی به طور قابل توجهی کمتر از گروه‌های بدون تیمار و شاهد بود. به علاوه، زمان ماندگاری ماهی‌های خاردار پس از بسته بندی تحت دو نوع بسته بندی MAP، بدون تیمار IB-DBD-CP ۹ تا ۱۲ روز افزایش یافت، در حالی که زمان ماندگاری نمونه شاهد ۶ روز بود. با این حال، زمان ماندگاری ماهی خاردار تیمار شده با IB-DBD-CP و تحت MAP به ۱۲ تا ۱۵ روز رسید. همچنین در طول ذخیره سازی، محتوای تری متیل آمین^۲ و محتوای پایه نیترژن فرار کل^۳ در ماهی‌های خاردار تیمار شده با IB-DBD-CP، به ویژه آن‌هایی که تحت بسته بندی MAP با ترکیب گازهای کربن دی اکسید، آرگون و اکسیژن قرار داشتند، به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر نمونه های تیمار نشده با IB-DBD-CP و شاهد بود. بنابراین، تیمار IB-DBD-CP تحت MAP با نسبت بالای گاز کربن دی اکسید همراه با آرگون و اکسیژن روش بالقوه‌ای برای افزایش زمان ماندگاری ماهی خاردار برای بیش از ۱۵ روز در دمای ۴ درجه سانتی گراد بود [۶۸]. مطالعه‌ای دیگر به منظور ارزیابی اثر تیمار CP در زمان‌های متفاوت (۰، ۳، ۶، ۹ دقیقه) همراه با MAP مبتنی بر گاز آرگون بر زمان ماندگاری میکروبیولوژیکی و ویژگی های کیفی کوفته های گوشت انجام شد. نتایج نشان داد که تیمارهای بسته‌بندی MAP به همراه CP در مدت زمان ۶ و ۹ دقیقه به ترتیب می‌توانند تعداد اولیه میکروارگانیسم‌ها را به میزان ۱/۰۲ و ۱/۱۹ سیکل لگاریتمی در گرم در کوفته‌ها کاهش دهند، همچنین زمان ماندگاری آن‌ها به مدت ۱۴ روز افزایش یافت. در مقایسه با گروه شاهد، فراوانی نسبی انتروباکتریاسه و اسینتوباکتر به ترتیب از ۱۹/۰۴ درصد به ۱۲/۵۴ درصد و ۳۰/۸۸ درصد تا ۲/۲۵ درصد در تیمار بسته‌بندی MAP همراه با پلاسمای سرد به مدت ۶ دقیقه، کاهش یافت. در مجموع نتایج مبتنی بر این مطلب بود که MAP مبتنی بر گاز

یا ۸۰ درصد اکسیژن)، برای تعیین تأثیر همزمان دو فناوری بر استیک‌های گوشت گاو DFD اعمال شد. نتایج نشان داد که با اعمال همزمان دو فناوری رنگ گوشت گاو DFD به طور قابل توجهی بهبود یافت و ویژگی تردی بافت گوشت نیز حفظ شد. مشخص شد که تیمارهای ترکیبی HPP و MAP از رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری می‌کنند و ماندگاری گوشت گاو DFD را تا ۱۴ روز افزایش می‌دهند. با این حال، با افزایش غلظت اکسیژن در MAP، اکسیداسیون لیپید در گوشت گاو DFD افزایش یافت. در عمل، تیمار HPP (۴۰۰ مگاپاسکال) و بسته‌بندی MAP (۶۰ درصد اکسیژن، ۲۰ درصد نیترژن و ۲۰ درصد دی اکسید کربن) به عنوان فناوری مناسب برای حفظ کیفیت بهتر و افزایش زمان ماندگاری گوشت گاو DFD توصیه می‌شود [۶۱].

۳-۷-۴- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با فناوری CP

پلازما یک گاز یونیزه است که از طریق تحریک یک نوع یا ترکیبی از گازها به وسیله میدان الکتریکی با قدرت بالا به دست می‌آید. گونه‌های شیمیایی موجود در گاز یونیزه شامل رادیکال‌ها، یون‌های منفی و مثبت، کوانتوم‌های تابش الکترومغناطیسی (یعنی نور مرئی و فرابنفش)، مولکول‌ها و الکترون‌های خنثی و برانگیخته می‌باشند [۶۲]. گونه‌های شیمیایی تولید شده در پلازما به گاز مورد استفاده بستگی دارد، به عنوان مثال، گونه های فعال نیترژن و اکسیژن یعنی پراکسید، اکسیژن منفرد، ازن و اشکال مختلف اکسید نیترژن هنگام استفاده از هوای مرطوب برای پلازما تولید می‌شوند [۶۳]. گونه‌های فوق دارای خواص مهار باکتریایی عالی هستند، که این امر پلازما را به یک فناوری ضد عفونی سطحی امیدوارکننده تبدیل کرده است. اخیراً پلازما برای افزایش ماندگاری در ماهی [۶۵]، [۶۴] و گوشت [۶۳] استفاده شده است. فناوری MAP توانایی محدودی برای مهار میکروارگانیسم‌های گوشت و فرآورده های گوشتی دارد. بنابراین، در سال‌های اخیر محققان به استفاده از MAP در ترکیب سایر فناوری‌ها در صنعت گوشت تمایل پیدا کرده‌اند [۶۶]. CP یک فناوری نوظهور، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست با کاربردهای بالقوه در صنایع غذایی و فرآوری، از جمله آلودگی زدایی میکروبی، غیرفعال سازی آنزیمی، افزایش ماندگاری و اصلاح فیزیکی شیمیایی است. در میان روش‌های مختلف مورد استفاده برای تولید CP، تخلیه سد دی الکتریک اتمسفر توجه

¹ In-Bag Dielectric Barrier Discharge Cold Plasma (IB-DBD-CP)

² Trimethylamine (TMA)

³ Total volatile nitrogen (TVN)

نیتروژن) مهار کرد. به علاوه، تیمار ترکیبی فراصوت و MAP در حفظ ثبات فیزیکیوشیمیایی و افزایش ماندگاری اردک‌های آغشته به سس به مدت بیش از ۲۸ روز، مؤثرتر بود [۷۴]. در مطالعه‌ای دیگر اثر تیمار فراصوت قبل از بسته‌بندی MAP بر ویژگی‌های فیزیکی، میکروبی و حسی گوشت گاو نگهداری شده در یخچال ۴ درجه سانتی‌گراد و طی زمان ۲۲ روز نگهداری مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که هر دو فرآیند می‌توانند رشد میکروبی را به تأخیر بیندازند یا شمارش نهایی میکروارگانیسم‌های فاسد را در مقایسه با نمونه شاهد متوقف کنند. همچنین نمونه تیمار شده با فناوری فراصوت همراه با بسته‌بندی MAP بالاترین پذیرش حسی را توسط ارزیابان در طول زمان نگهداری نشان داد [۷۵].

۳-۸- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با بسته‌بندی هوشمند

بسته‌بندی هوشمند به بسته‌بندی اطلاق می‌شود که شامل یک شناساگر در داخل یا خارج بسته است که اطلاعاتی در مورد کیفیت ماده غذایی ارائه می‌دهد. با به کار بردن سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند در بسته‌بندی انواع مختلف گوشت می‌توان از میزان فساد محصول، وجود نوسانات دما در حین تحویل، تازگی محصول، وجود گازهای مختلف و غیره مطلع شد. سامانه‌های هوشمند مختلفی در بازار موجود است که مناسب برای استفاده در بسته‌بندی گوشت هستند [۲۷] و [۲۹]. سامانه‌های بسته‌بندی شامل انواع مختلفی از حسگرهای شیمیایی و الکترونیکی برای نشان دادن تغییرات دما، تازگی یا تغییر رنگ سنسور و ... هستند. این بسته‌بندی‌ها می‌توانند شامل برچسب شناسایی از طریق امواج رادیویی^۲ یا کدهای کیوآر^۳ (رمزپنه پاسخ سریع) برای تعامل با تلفن‌های هوشمند یا اسکنرها باشند. سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند اتمسفر داخل بسته را تغییر یا تعدیل نمی‌کنند، اما نوسانات پارامترهای مختلف از جمله دما، میزان گازها، ایجاد طعم‌های نامطلوب و سایر پارامترهایی که برای کنترل کیفیت گوشت ضروری هستند را نشان می‌دهند [۷۷]، [۷۶]. نمونه‌ای از نشانگرهای تازگی توسط شرکت Insignia Technologies توسعه یافته است. این برچسب حسگر در بسته‌بندی MAP با چسباندن روی سطح داخلی فیلم درپوش قابل استفاده است. پس از تزریق گاز دی‌اکسید کربن در طی

آرگون ترکیب شده با CP به مدت ۶ دقیقه برای نگهداری کوفته‌ها مناسب‌تر است [۶۹].

۳-۷-۵- استفاده از بسته‌بندی MAP در ترکیب با فناوری فراصوت

فراصوت به عنوان امواج صوتی با فرکانس بالاتر از آستانه شنوایی انسان (< ۱۶-۲۰ کیلوهرتز) تعریف می‌شود. این فناوری را می‌توان به دو نوع فراصوت با شدت پایین و بالا طبقه‌بندی کرد. فراصوت با شدت پایین با فرکانس‌های بالای ۱۰۰ کیلوهرتز و شدت‌های کمتر از ۱ وات بر سانتی‌متر مربع مشخص می‌شود، در حالی که فراصوت با شدت بالا با فرکانس‌های بین ۲۰ تا ۵۰۰ کیلوهرتز و شدت‌های بالاتر در ۱ وات بر سانتی‌متر مربع معین می‌گردد. استفاده از فراصوت با شدت بالا امواج صوتی تولید می‌کند که باعث فشردگی ذرات در محیط و تشکیل حباب می‌شود. دما و فشار در داخل حباب‌ها افزایش می‌یابد تا زمانی که منفجر شوند و باعث ایجاد حفره در اثر امواج صوتی (کاویتاسیون آکوستیک) گردند [۷۰]. در دهه گذشته، اثرات فراصوت با شدت بالا به‌تنهایی یا در ترکیب با سایر روش‌های فرآوری بر کیفیت گوشت به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است [۷۱]. از امواج فراصوت به جهت بهبود خواص عملکردی پروتئین‌ها، زمان ماندگاری، تردی بافت، انتقال جرم، انجماد، خروج از انجماد، پختن و غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها در فرآورده‌های گوشتی استفاده شده است [۷۲]. با این حال، اثرات فراصوت با شدت بالا ممکن است همیشه موجب بهبود کیفیت فرآورده‌های گوشتی نگردد. برخی مطالعات به اثرات منفی این امواج بر ظرفیت نگهداری آب، اکسیداسیون و ویژگی آبدار بودن بافت فرآورده‌های گوشتی اشاره می‌کنند [۷۳]. لذا لزوم استفاده از فرآیندهای مکمل همچون بسته‌بندی MAP در ترکیب با فرآوری فراصوت احساس می‌گردد.

در تحقیقی اثر مشترک بسته‌بندی MAP و فناوری فراصوت بر نگهداری سرد اردک آغشته به سس در دمای ۴ درجه سانتیگراد بررسی شد. نتایج نشان داد که سرعت رشد TVC و زوال پارامترهای فیزیکیوشیمیایی (TVB-N و pH، TBARS) در گوشت اردک آغشته به سس را به ترتیب می‌توان با استفاده از تیمار امواج فراصوت (۲۸ کیلوهرتز، ۴۵۰ وات، ۳۰ دقیقه) بسته‌بندی MAP (۳۰ درصد دی‌اکسید کربن و ۷۰ درصد

^۲ Radio frequency identification tag (RFID-Tag)

^۳ Quick response code (QR-Code)

^۱ Acoustic cavitation

می‌شود. این ماده فرار حاوی نیتروژن است که محتوای آن با کاهش تازگی ماهی به تدریج، افزایش می‌یابد [۸۰]. یکی از انواع نشانگرهای تازگی، نشانگرهایی هستند که می‌توانند تازگی غذا را از طریق تغییرات رنگ تشخیص دهند و از مزیت‌هایی همچون دقت و تجسم بالایی برخوردار هستند. همچنین استفاده از رنگدانه‌های طبیعی به عنوان جوهر قابل چاپ در این نشانگرها دارای مزایای بسیاری از جمله غیرسمی و بی‌ضرر بودن برای سلامت مصرف‌کنندگان است. علاوه بر این بهره‌گیری از چاپ روی صفحه برای دستیابی به تولید انبوه سنسورهای کاغذی، هزینه کمتر، کارایی بالاتر و مراحل ساده‌تری نسبت به سایر روش‌های پیچیده دارد [۸۱].

در مطالعه‌ای برای نظارت بر تازگی ماهی کپور از یک نشانگر تازگی رنگ سنجی^۵ در بسته‌بندی MAP در دمای یخچال و اتاق استفاده شد. جوهر قابل چاپ بر اساس رنگدانه کلم بنفش طبیعی، کربوکسی‌متیل سلولوز و گلیسرین تهیه و سپس با استفاده از روش چاپ صفحه روی کاغذ چاپ شد و در بسته‌بندی MAP اعمال شد. پاسخ رنگ برچسب شناساگر تازگی با آستانه فساد TVB-N و TMA در نمونه ماهی سازگار بود. سطح pH نسبتاً پایین نشان‌دهنده وضعیت تازه ماهی کپور در ابتدای دوره نگهداری بود، سپس pH ماهی کپور نگهداری شده در دمای اتاق و یخچال به تدریج به ترتیب پس از ۱۹ ساعت و ۳ روز به ۷ افزایش یافت، که نشان می‌دهد ماهی به مرحله زوال رسیده است. زیرا در مطالعات پیشین [۸۲] گزارش شده است که مقدار pH تقریباً ۷ شروع زوال ماهی را نشان می‌دهد و افزایش مقدار pH به دلیل تجمع TMA و سایر گونه‌های TVB-N ناشی از فعالیت میکروبی است. در عین حال، رنگ سنسورهای کاغذی نیز با افزایش pH به طور قابل توجهی تغییر کرد. بنابراین، برچسب شناساگر کاغذی می‌تواند به عنوان یک نشانگر ساده و کاربردی برای پایش تازگی ماهی کپور مورد استفاده قرار گیرد [۸۱].

در مطالعه‌ای دیگر از یک نشانگر pH مبتنی بر سنجش رنگ پیرانوفلاویوم^۶ با فرمول بهبودیافته، به عنوان یک برچسب هوشمند برای نظارت بر تازگی ماهی و گوشت استفاده شد. pH نشانگر در محلول‌هایی در مقادیر مختلف pH (۴ تا ۸) ارزیابی شد. ثبات نوری و مهاجرت رنگدانه در نشانگر در شرایط کنترل شده (دمای ۳ درجه سانتی‌گراد و بسته‌بندی MAP) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بالابردن غلظت رنگدانه، کارایی رنگ‌سنجی از نظر بصری را افزایش داد. با توجه به مهاجرت رنگدانه و پایداری نور، استفاده از این نوع برچسب در

فرآیند بسته‌بندی MAP، برچسب زرد رنگ می‌شود و اگر غلظت گاز دی‌اکسید کربن در طول زمان کاهش یابد، برچسب رنگ خود را تغییر می‌دهد. نشانگر SensorQ نیز در قالب یک برچسب، پیشرفت فساد گوشت را با تغییر رنگ آن از زرد نارنجی به سبز نشان می‌دهد. شرکت Impak نیز شناساگر Tell-Tab را توسعه داده است که می‌توان آن را درون بسته‌های MAP یا خلاء اضافه کرد و با تغییر رنگ دایره‌های موجود روی شناساگر از صورتی به آبی، کوچکترین تغییرات در غلظت اکسیژن را تا ۰/۱ درصد مشاهده کرد [۷۸].

فساد میکروبی گوشت با انتشار ترکیبات آلی فرار^۱ همراه است که بسیاری از آن‌ها دارای بوی نامطلوب هستند. این ترکیبات موجب ایجاد بوی تند، ترش و گوگردی در گوشت فاسد می‌گردند. مشخص کردن فساد گوشت بر اساس نشانگرهای فرار باتوجه به توسعه شاخص‌های تازگی غذا^۲ برای حفظ کیفیت غذا و کاهش ضایعات مواد غذایی از موضوعات مورد توجه صنایع غذایی است. روش‌های تحلیلی مرسوم برای تشخیص VOCs که در طول فساد مواد غذایی ایجاد می‌شوند، شامل نمونه‌برداری‌های متناوب است که فقط اطلاعات محدودی در مورد سینتیک تولید و انتشار آن‌ها ارائه می‌دهند. طیف‌سنجی جرمی واکنش انتقال پروتون^۳ یک روش آنلاین است که تشخیص VOCs را در زمان واقعی امکان‌پذیر می‌سازد، در نتیجه امکان پیگیری انتشار ترکیبات آلی آزاد فرار با وضوح زمانی بالا را ارائه می‌دهد. محققان از یک روش تحلیلی با استفاده از PTR-MS به منظور تشخیص مداوم VOCs از فیله‌های سینه مرغ ذخیره شده در بسته‌بندی MAP (۳۰ درصد اکسیژن و ۷۰ درصد کربن‌دی‌اکسید) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ هفته استفاده کردند. VOCs شناسایی شده به وسیله PTR-MS، بسته به میزان فساد، دینامیک زمانی متفاوتی از تولید و انتشار را نشان دادند. این مقاله توسعه یک مجموعه تحلیلی را برای تشخیص به صورت لحظه‌ای نشانگرهای فساد فرار با استفاده از PTR-M توصیف کرد [۷۹].

در طول ذخیره‌سازی ماهی، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌های ماهی تجزیه می‌شوند و ترکیبات نیتروژنی فرار (آمونیاک و آمین‌ها) را تولید می‌کنند. دی‌متیل‌آمین^۴ با کاهش باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری در حضور TMA در ماهی تولید

¹ Volatile organic compounds (VOCs)

² Food freshness indicators (FFIs)

³ Proton-transfer-reaction mass spectrometry (PTR-MS)

⁴ Dimethylamine (DMA)

⁵ Colorimetric freshness indicator

⁶ Pyranoflavylum

- characteristics," *Meat Sci.*, vol. 95, no. 4, pp. 828–836, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.044>.
- [2] D. Narasimha Rao and N. M. Sachindra, "Modified atmosphere and vacuum packaging of meat and poultry products," *Food Rev. Int.*, vol. 18, no. 4, pp. 263–293, 2002, doi: [10.1081/FRI-120016206](https://doi.org/10.1081/FRI-120016206).
- [3] A. Vermeulen, P. Ragaert, A. Rajkovic, S. Samapundo, F. Lopez-Galvez, and F. Devlieghere, "New research on modified-atmosphere packaging and pathogen behaviour," in *Advances in microbial food safety*, Elsevier, pp. 340–354, 2013, doi: <https://doi.org/10.1533/9780857098740.4.340>.
- [4] K. Cooksey, *Modified Atmosphere Packaging of Meat, Poultry and Fish*. Elsevier Ltd, 2013. doi: [10.1016/B978-0-12-394601-0.00019-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00019-9).
- [5] S. Limbo and A. M. Khaneghah, "Active packaging of foods and its combination with electron beam processing," in *Electron beam pasteurization and complementary food processing technologies*, Elsevier, pp. 195–217, 2015, doi: [10.1533/9781782421085.2.195](https://doi.org/10.1533/9781782421085.2.195).
- [6] K. W. McMillin, "Advancements in meat packaging," *Meat Sci.*, vol. 132, no. April, pp. 153–162, 2017, doi: [10.1016/j.meatsci.2017.04.015](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.015).
- [7] J. P. Kerry, M. N. O'grady, and S. A. Hogan, "Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review," *Meat Sci.*, vol. 74, no. 1, pp. 113–130, 2006.
- [8] T. Hutton, *Food packaging: An introduction*. Campden & Chorleywood Food Research Association Group, 2003.
- [9] G. Kandeepan and A. Tahseen, "Modified Atmosphere Packaging (MAP) of Meat and Meat Products: A Review," *J. Packag. Technol. Res.*, vol. 6, no. 3, pp. 137–148, 2022, doi: [10.1007/s41783-022-00139-2](https://doi.org/10.1007/s41783-022-00139-2).
- [10] K. W. McMillin, "Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat," *Meat Sci.*, vol. 80, no. 1, pp. 43–65, 2008, doi: [10.1016/j.meatsci.2008.05.028](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.028).
- [11] V. Behshad and N. Sedaghat, "Application of Modified Atmosphere Packaging of Poultry: a Review", *Scientific Journal of Packaging science and art*, vol 11, no 42, pp 20-27, 2020, (in Persian), doi: [10.1007/978-3-319-11422-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-11422-3).
- [12] J. N. Belcher, "Industrial packaging developments for the global meat market," *Meat Sci.*, vol. 74, no. 1, pp. 143–148, 2006, doi: [10.1016/j.meatsci.2006.04.031](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.031).
- [13] D. Cornforth and M. Hunt, "Low-oxygen packaging of fresh meat with carbon monoxide," *AMSA white Pap. Ser.*, vol. 2, no. 10, pp. 1–12, 2008.
- [14] R. J. Delmore, "Beef shelf-life," *Cattlemen's Beef Board Natl. Cattlemen's Beef Assoc.*, 2009.
- [15] P. Masniyom, "Deterioration and shelf-life extension of fish and fishery products by modified atmosphere packaging," *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 2, 2011.
- [16] G. L. Robertson, *Food packaging and shelf life: a practical guide*. CRC Press, 2009.
- [17] M. Mastromatteo, A. Danza, A. Conte, G. Muratore, and M. A. Del Nobile, "Shelf life of ready to use peeled shrimps as affected by thymol essential oil and modified atmosphere packaging," *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 144, no. 2, pp. 250–256, 2010, doi: [10.1016/j.ijfoodmicro.2010.10.002](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.10.002).
- [18] K. Brandon, M. Beggan, P. Allen, and F. Butler, "The performance of several oxygen scavengers in varying oxygen environments at refrigerated temperatures: implications for low-oxygen modified atmosphere packaging of meat," *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 44, no. 1, pp. 188–196, 2009, doi: [10.1111/j.1365-2621.2008.01727.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01727.x).
- [19] M. C. Cruz-Romero, T. Murphy, M. Morris, E. Cummins, and J. P. Kerry, "Antimicrobial activity of chitosan, organic acids and nano-sized solubilisates for potential use in smart antimicrobially-active packaging for potential food applications," *Food Control*, vol. 34, no. 2, pp. 393–397,

بسته‌بندی گوشت و ماهی تازه مناسب بود. بهترین عملکرد برای پایش تازگی نمونه‌های ماهی مشاهده شد. این شاخص کارایی بالایی را در تشخیص فساد ماهی خالی اقیانوس اطلس^۱ داد. پس از ۵ روز نگهداری، پارامترهای تازگی از حد تعیین شده توسط مقررات اتحادیه اروپا فراتر رفت که نشان می‌دهد ماهی برای مصرف مناسب نیست. به طور همزمان، رنگ برچسب از زرد شروع به بنفش شدن کرد که شروع فرایند فساد را نشان می‌دهد [۸۳].

۴- نتیجه‌گیری

بسته‌بندی MAP یکی از نوآورانه‌ترین حوزه‌های بسته‌بندی مواد غذایی است که فرصت‌ها و چالش‌هایی را برای پژوهشگران و تولیدکنندگان فراهم می‌آورد. بسته‌بندی MAP یک روش مؤثر برای حفظ مواد مغذی و خصوصیات ارگانولپتیکی (مانند بو، رنگ، بافت) در انواع گوشت‌های قرمز و سفید است و در عین حال ایمنی و ماندگاری محصول را افزایش می‌دهد. اما ممکن است توانایی کافی جهت مهار برخی میکروارگانیسم‌ها به خصوص باکتری‌های عامل فساد هوازی و بی‌هوازی مولد اسپور در هنگام نگهداری طولانی مدت را نداشته باشد. علاوه بر این امکان فساد اکسیداتیو و تغییرات در طعم و رنگ در MAP با اکسیژن بالا و افت چکه در محصول و فروپاشی در بسته‌بندی در صورت استفاده از دی‌اکسیدکربن وجود دارد. لذا به منظور افزایش اثربخشی بسته‌بندی MAP می‌توان از سایر فناوری‌ها در ترکیب با آن بهره برد. ترکیب رباینده‌ها یا جاذب‌های اکسیژن، ساطع‌کننده‌های دی‌اکسیدکربن، عوامل ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی - ضد میکروبی، پوشش‌های خوراکی، فناوری‌های نوین همچون فرایندهای پرتودهی، فشار هیدرواستاتیک بالا، پلاسما سرد، فراصوت یا اعمال میدان‌های الکتریکی در بسته‌بندی MAP با کنترل رشد میکروارگانیسم‌ها، فسادهای اکسیداتیو و زوال در مواد غذایی می‌تواند تأثیر زیادی بر افزایش ماندگاری و ایمنی آن‌ها داشته باشد. همچنین بسته‌بندی هوشمند با بهره‌گیری از حسگرها و شناساگرهای مختلف می‌تواند اطلاعات مفیدی در رابطه با ایمنی و کیفیت مواد غذایی بسته‌بندی شده در MAP ارائه دهد.

۵- مراجع

- [1] S. T. Joo, G. D. Kim, Y. H. Hwang, and Y. C. Ryu, "Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber

¹ Atlantic horse mackerel fish

- atmosphere packaging,” *Food Microbiol.*, vol. 21, no. 6, pp. 667–673, doi:10.1016/j.fm.2004.03.003
- [34] P. Suppakul, J. Miltz, K. Sonneveld, and S. W. Bigger, “Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications,” *J. Food Sci.*, vol. 68, no. 2, pp. 408–420, 2003, doi:10.1111/j.1365-2621.2003.tb05687.x
- [35] I. S. Arvanitoyannis and A. C. Stratakos, “Application of modified atmosphere packaging and active/smart technologies to red meat and poultry: a review,” *Food Bioprocess Technol.*, vol. 5, pp. 1423–1446, 2012, doi: 10.1007/s11947-012-0803-z.
- [36] T. Economou, N. Pournis, A. Ntzimani, and I. N. Savvaidis, “Nisin-EDTA treatments and modified atmosphere packaging to increase fresh chicken meat shelf-life,” *Food Chem.*, vol. 114, no. 4, pp. 1470–1476, 2009, doi: 10.1016/j.foodchem.2008.11.036.
- [37] E. González-Fandos, A. Martínez-Laorden, and I. Perez-Arnedo, “Efficacy of combinations of lactic acid and potassium sorbate against *Listeria monocytogenes* in chicken stored under modified atmospheres,” *Food Microbiol.*, vol. 93, no. July 2020, 2021, doi: 10.1016/j.fm.2020.103596.
- [38] L. I. Schelegueda, S. B. Delcarlo, M. F. Gliemmo, and C. A. Campos, “Effect of antimicrobial mixtures and modified atmosphere packaging on the quality of Argentine hake (*Merluccius hubbsi*) burgers,” *Lwt*, vol. 68, pp. 258–264, 2016, doi: 10.1016/j.lwt.2015.12.012.
- [39] M. İ. Aksu, E. Erdemir, F. Oz, E. Turan, and M. Gürses, “Effects of cemen paste with lyophilized red cabbage water extract on the quality characteristics of beef pastirma during processing and storage,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 44, no. 11, p. e14897, Nov. 2020, doi: 10.1111/jfpp.14897.
- [40] R. Prommachart, T. S. Belem, S. Uriyapongson, P. Rayas-Duarte, J. Uriyapongson, and R. Ramanathan, “The effect of black rice water extract on surface color, lipid oxidation, microbial growth, and antioxidant activity of beef patties during chilled storage,” *Meat Sci.*, vol. 164, p. 108091, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108091.
- [41] L. Udayasoorian, M. Peter, S. K. I. C., and S. Muthusamy, “Comparative evaluation on shelf life extension of MAP packed *Litopenaeus vannamei* shrimp treated with natural extracts,” *Lwt*, vol. 77, pp. 217–224, 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2016.11.046.
- [42] M. H. Jaspal et al., “Effect of oregano essential oil or lactic acid treatments combined with air and modified atmosphere packaging on the quality and storage properties of chicken breast meat,” *Lwt*, vol. 146, no. July 2020, p. 111459, 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2021.111459.
- [43] Y. F. Qian, J. Xie, S. P. Yang, S. Huang, W. H. Wu, and L. Li, “Inhibitory effect of a quercetin-based soaking formulation and modified atmospheric packaging (MAP) on muscle degradation of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*),” *Lwt*, vol. 63, no. 2, pp. 1339–1346, 2015, doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.077.
- [44] I. Karabagias, A. Badeka, and M. G. Kontominas, “Shelf life extension of lamb meat using thyme or oregano essential oils and modified atmosphere packaging,” *Meat Sci.*, vol. 88, no. 1, pp. 109–116, 2011, doi: 10.1016/j.meatsci.2010.12.010.
- [45] T. Bourtoom, “Edible films and coatings: characteristics and properties,” *Int. food Res. J.*, vol. 15, no. 3, pp. 237–248, 2008.
- [46] E. S. Abdou, G. F. Galhoum, and E. N. Mohamed, “Curcumin loaded nanoemulsions/pectin coatings for refrigerated chicken fillets,” *Food Hydrocoll.*, vol. 83, pp. 445–453, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.05.026.
- [47] A. Mojaddar Langroodi, H. Tajik, T. Mehdizadeh, M. Moradi, E. Moghaddas Kia, and A. Mahmoudian, “Effects of sumac extract dipping and chitosan coating enriched with *Zataria multiflora* Boiss oil on the shelf-life of meat in modified atmosphere packaging,” *Food Microbiol.*, vol. 21, no. 6, pp. 667–673, doi: 10.1016/j.foodcont.2013.04.042.
- [20] D. A. Pereira de Abreu, J. M. Cruz, and P. Paseiro Losada, “Active and intelligent packaging for the food industry,” *Food Rev. Int.*, vol. 28, no. 2, pp. 146–187, 2012, doi: https://doi.org/10.1080/87559129.2011.595022.
- [21] C. O. Gill and J. C. McGinnis, “The use of oxygen scavengers to prevent the transient discolouration of ground beef packaged under controlled, oxygen-depleted atmospheres,” *Meat Sci.*, vol. 41, no. 1, pp. 19–27, 1995, doi:10.1016/0309-1740(94)00064-E.
- [22] B. Demirhan and K. Candoğan, “Active packaging of chicken meats with modified atmosphere including oxygen scavengers,” *Poult. Sci.*, vol. 96, no. 5, pp. 1394–1401, May 2017, doi: 10.3382/ps/pew373.
- [23] A. Şahin, E. Çarkıoğlu, B. Demirhan, and K. Candoğan, “Chitosan edible coating and oxygen scavenger effects on modified atmosphere packaged sliced sucuk,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 41, no. 6, pp. 1–8, 2017, doi: 10.1111/jfpp.13213.
- [24] T. Tsironi et al., “Modeling the effect of active modified atmosphere packaging on the microbial stability and shelf life of gutted sea bass,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 23, p. 5019, 2019, doi: 10.3390/app9235019.
- [25] A. Å. Hansen, M. Høy, and M. K. Pettersen, “Prediction of optimal CO₂ emitter capacity developed for modified atmosphere packaging of fresh salmon fillets (*Salmo salar* L.),” *Packag. Technol. Sci.*, vol. 22, no. 4, pp. 199–208, Jun. 2009, doi: 10.1002/pts.843.
- [26] A. Å. Hansen, B. Moen, M. Rødbotten, I. Berget, and M. K. Pettersen, “Effect of vacuum or modified atmosphere packaging (MAP) in combination with a CO₂ emitter on quality parameters of cod loins (*Gadus morhua*),” *Food Packag. Shelf Life*, vol. 9, pp. 29–37, 2016, doi: 10.1016/j.fpsl.2016.05.005.
- [27] A. Å. Hansen, T. Mørkøre, K. Rudi, E. Olsen, and T. Eie, “Quality Changes during Refrigerated Storage of MAP-Packaged Pre-rigor Fillets of Farmed Atlantic Cod (*Gadus morhua* L.) Using Traditional MAP, CO₂ Emitter, and Vacuum,” *J. Food Sci.*, vol. 72, no. 9, pp. M423–M430, Nov. 2007, doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00561.x.
- [28] A. L. Holck, M. K. Pettersen, M. H. Moen, and O. Sørheim, “Prolonged shelf life and reduced drip loss of chicken filets by the use of carbon dioxide emitters and modified atmosphere packaging,” *J. Food Prot.*, vol. 77, no. 7, pp. 1133–1141, 2014, doi: 10.4315/0362-028X.JFP-13-428.
- [29] A. Å. Hansen, B. Moen, M. Rødbotten, I. Berget, and M. K. Pettersen, “Effect of vacuum or modified atmosphere packaging (MAP) in combination with a CO₂ emitter on quality parameters of cod loins (*Gadus morhua*),” *Food Packag. Shelf Life*, vol. 9, pp. 29–37, 2016, doi: 10.1016/j.fpsl.2016.05.005.
- [30] M. Valero, S. Leontidis, P. S. Fernández, A. Martínez, and M. C. Salmerón, “Growth of *Bacillus cereus* in natural and acidified carrot substrates over the temperature range 5–30 C,” *Food Microbiol.*, vol. 17, no. 6, pp. 605–612, 2000, doi: 10.1006/fmic.2000.0352.
- [31] M. Lindström, K. Kiviniemi, and H. Korkeala, “Hazard and control of group II (non-proteolytic) *Clostridium botulinum* in modern food processing,” *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 108, no. 1, pp. 92–104, Apr. 2006, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2005.11.003.
- [32] M. Oliveira, J. Usall, C. Solsona, I. Alegre, I. Viñas, and M. Abadías, “Effects of packaging type and storage temperature on the growth of foodborne pathogens on shredded ‘Romaine’ lettuce,” *Food Microbiol.*, vol. 27, no. 3, pp. 375–380, May 2010, doi: 10.1016/j.fm.2009.11.014.
- [33] J. S. Novak and J. T. C. Yuan, “The fate of *Clostridium perfringens* spores exposed to ozone and/or mild heat pretreatment on beef surfaces followed by modified

- Holman, "High-pressure processing and modified atmosphere packaging combinations for the improvement of dark, firm, and dry beef quality and," *Meat Sci.*, vol. 198, no. September 2022, p. 109113, 2023, doi: 10.1016/j.meatsci.2023.109113.
- [62] S. Fukuda, Y. Kawasaki, and S. Izawa, "Ferrous chloride and ferrous sulfate improve the fungicidal efficacy of cold atmospheric argon plasma on melanized *Aureobasidium pullulans*," *J. Biosci. Bioeng.*, vol. 128, no. 1, pp. 28–32, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.jbiosc.2018.12.008.
- [63] R. Moutiq, N. N. Misra, A. Mendonça, and K. Keener, "In-package decontamination of chicken breast using cold plasma technology: Microbial, quality and storage studies," *Meat Sci.*, vol. 159, p. 107942, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.meatsci.2019.107942.
- [64] O. O. Olatunde, S. Benjakul, and K. Vongkamjan, "Dielectric Barrier Discharge High Voltage Cold Atmospheric Plasma: An Innovative Nonthermal Technology for Extending the Shelf-Life of Asian Sea Bass Slices," *J. Food Sci.*, vol. 84, no. 7, pp. 1871–1880, Jul. 2019, doi: 10.1111/1750-3841.14669.
- [65] O. O. Olatunde, S. Benjakul, and K. Vongkamjan, "High voltage cold atmospheric plasma: Antibacterial properties and its effect on quality of Asian sea bass slices," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 52, pp. 305–312, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.011>.
- [66] J. Sarfraz et al., "Biodegradable Active Packaging as an Alternative to Conventional Packaging: A Case Study with Chicken Fillets," *Foods*, vol. 10, no. 5, p. 1126, May 2021, doi: 10.3390/foods10051126.
- [67] K. H. Lee et al., "Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice," *LWT*, vol. 73, pp. 442–447, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.lwt.2016.06.055.
- [68] O. O. Olatunde, S. Benjakul, and K. Vongkamjan, "Shelf-life of refrigerated Asian sea bass slices treated with cold plasma as affected by gas composition in packaging," *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 324, no. November 2019, p. 108612, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108612.
- [69] R. Li, H. Zhu, Y. Chen, G. Zhou, C. Li, and K. Ye, "Cold plasmas combined with Ar-based MAP for meatball products: Influence on microbiological shelflife and quality attributes," *Lwt*, vol. 159, p. 113137, 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2022.113137.
- [70] I. S. Arvanitoyannis, K. V. Kotsanopoulos, and A. G. Savva, "Use of ultrasounds in the food industry—Methods and effects on quality, safety, and organoleptic characteristics of foods: A review," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 57, no. 1, pp. 109–128, Jan. 2017, doi: 10.1080/10408398.2013.860514.
- [71] A. D. Alarcon-Rojo, L. M. Carrillo-Lopez, R. Reyes-Villagrana, M. Huerta-Jiménez, and I. A. Garcia-Galicia, "Ultrasound and meat quality: A review," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 55, pp. 369–382, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.ulsonch.2018.09.016.
- [72] S. E. Bilek and F. Turantaş, "Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry, a review," *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 166, no. 1, pp. 155–162, Aug. 2013, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.028.
- [73] D. Kang, Y. Zou, Y. Cheng, L. Xing, G. Zhou, and W. Zhang, "Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 33, pp. 47–53, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.ulsonch.2016.04.024.
- [74] T. Mao et al., "The joint effects of ultrasound and modified atmosphere packaging on the storage of sauced ducks," *Lwt*, vol. 177, no. February, p. 114561, 2023, doi: 10.1016/j.lwt.2023.114561.
- [75] M. H. Abdalhai, M. Bashari, C. Lagnika, Q. He, and X. Sun, "Effect of Ultrasound Treatment Prior to Vacuum and Modified Atmosphere Packaging on Microbial and Physical Characteristics of Fresh Beef," *J. Food Nutr. Res.*, vol. 2, no. atmosphere packaging," *LWT*, vol. 98, pp. 372–380, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.lwt.2018.08.063.
- [48] M. Sayadi, A. Mojaddar Langroodi, and D. Jafarpour, "Impact of zein coating impregnated with ginger extract and *Pimpinella anisum* essential oil on the shelf life of bovine meat packaged in modified atmosphere," *J. Food Meas. Charact.*, vol. 15, no. 6, pp. 5231–5244, 2021, doi: 10.1007/s11694-021-01096-1.
- [49] M. Hosseini, A. Jamshidi, M. Raeisi, and M. Azizzadeh, "Effect of sodium alginate coating containing clove (*Syzygium Aromaticum*) and lemon verbena (*Aloysia Citriodora*) essential oils and different packaging treatments on shelf life extension of refrigerated chicken breast," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 45, no. 3, pp. 0–1, 2021, doi: 10.1111/jfpp.14946.
- [50] M. Sayadi, A. M. Langroodi, and K. Pourmohammadi, "Combined effects of chitosan coating incorporated with *Berberis vulgaris* extract and *Mentha pulegium* essential oil and MAP in the shelf life of turkey meat," *J. Food Meas. Charact.*, vol. 15, no. 6, pp. 5159–5169, 2021, doi: 10.1007/s11694-021-01068-5.
- [51] M. Du, D. U. Ahn, K. C. Nam, and J. L. Sell, "Influence of dietary conjugated linoleic acid on volatile profiles, color and lipid oxidation of irradiated raw chicken meat," *Meat Sci.*, vol. 56, no. 4, pp. 387–395, 2000, doi: 10.1016/S0309-1740(00)00067-X.
- [52] A. Karadağ and G. Güneş, "The effects of gamma irradiation on the quality of ready-to-cook meatballs," *Turkish J. Vet. Anim. Sci.*, vol. 32, no. 4, pp. 269–274, 2008.
- [53] Y. Li et al., "Combining e-beam irradiation and modified atmosphere packaging as a preservation strategy to improve physicochemical and microbiological properties of sauced duck product," *Food Control*, vol. 136, no. 169, p. 108889, 2022, doi: 10.1016/j.foodcont.2022.108889.
- [54] B. L. Rodrigues et al., "Influence of vacuum and modified atmosphere packaging in combination with UV-C radiation on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets," *Food Control*, vol. 60, pp. 596–605, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.foodcont.2015.09.004.
- [55] O. O. Olatunde and S. Benjakul, "Nonthermal Processes for Shelf-Life Extension of Seafoods: A Revisit," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 17, no. 4, pp. 892–904, Jul. 2018, doi: 10.1111/1541-4337.12354.
- [56] J. Riener, F. Noci, D. A. Cronin, D. J. Morgan, and J. G. Lyng, "Effect of high intensity pulsed electric fields on enzymes and vitamins in bovine raw milk," *Int. J. Dairy Technol.*, vol. 62, no. 1, pp. 1–6, Feb. 2009, doi: 10.1111/j.1471-0307.2008.00435.x.
- [57] K. A. Shiekh, W. N. Hozzein, and S. Benjakul, "Effect of pulsed electric field and modified atmospheric packaging on melanosis and quality of refrigerated Pacific white shrimp treated with leaf extract of *Chamuang* (*Garcinia cowa* Roxb.)," *Food Packag. Shelf Life*, vol. 25, no. July, p. 100544, 2020, doi: 10.1016/j.fpsl.2020.100544.
- [58] H. Simonin, F. Duranton, and M. de Lamballerie, "New Insights into the High-Pressure Processing of Meat and Meat Products," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 11, no. 3, pp. 285–306, May 2012, doi: 10.1111/j.1541-4337.2012.00184.x.
- [59] M. Lerasle et al., "Combined use of modified atmosphere packaging and high pressure to extend the shelf-life of raw poultry sausage," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 23, pp. 54–60, 2014, doi: 10.1016/j.ifset.2014.02.009.
- [60] A. Al-Nehlawi, S. Guri, B. Guamis, and J. Saldo, "Synergistic effect of carbon dioxide atmospheres and high hydrostatic pressure to reduce spoilage bacteria on poultry sausages," *LWT-Food Sci. Technol.*, vol. 58, no. 2, pp. 404–411, 2014, doi: 10.1016/j.lwt.2014.03.041.
- [61] Y. Mao, S. Yang, Y. Zhang, X. Luo, L. Niu, and B. W. B.

- [80] L. Huang, J. Zhao, Q. Chen, and Y. Zhang, "Nondestructive measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in pork meat by integrating near infrared spectroscopy, computer vision and electronic nose techniques," *Food Chem.*, vol. 145, pp. 228–236, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.foodchem.2013.06.073.
- [81] Y. Sun et al., "Non-destructive and Rapid Method for Monitoring Fish Freshness of Grass Carp Based on Printable Colorimetric Paper Sensor in Modified Atmosphere Packaging," *Food Anal. Methods*, vol. 15, no. 3, pp. 792–802, 2022, doi: 10.1007/s12161-021-02158-2.
- [82] P. Castro, J. C. P. Padrón, M. J. C. Cansino, E. S. Velázquez, and R. M. De Larriva, "Total volatile base nitrogen and its use to assess freshness in European sea bass stored in ice," *Food Control*, vol. 17, no. 4, pp. 245–248, 2006. doi: 10.1016/j.foodcont.2004.10.015
- [83] R. Bermudez, N. Mateus, A. Guedes, J. Manuel, V. De Freitas, and L. Cruz, "Food Hydrocolloids FoodSmarTag : An innovative dynamic labeling system based on pyranoflavylum-based colorimetric films for real-time monitoring of food freshness V ^," vol. 143, no. February, 2023, doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108914.
- 6, pp. 312–320, Jun. 2014, doi: 10.12691/jfnr-2-6-8.
- [76] M. Ozdemir and J. D. Floros, "Active food packaging technologies," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 44, no. 3, pp. 185–193, 2004, doi: 10.1080/10408690490441578.
- [77] C. A. Kelly, M. Cruz-Romero, J. P. Kerry, and D. P. Papkovsky, "Assessment of performance of the industrial process of bulk vacuum packaging of raw meat with nondestructive optical oxygen sensing systems," *Sensors*, vol. 18, no. 5, p. 1395, 2018. doi:10.3390/s18051395
- [78] A. A. Tyuftin and J. P. Kerry, "The storage and preservation of meat: Storage and packaging," in *Lawrie's Meat Science*, Elsevier, 2023, pp. 315–362. doi: 10.1016/B978-0-323-85408-5.00017-0.
- [79] C. Franke and J. Beauchamp, "Real-Time Detection of Volatiles Released During Meat Spoilage: a Case Study of Modified Atmosphere-Packaged Chicken Breast Fillets Inoculated with *Br. thermosphacta*," *Food Anal. Methods*, vol. 10, no. 2, pp. 310–319, 2017, doi: 10.1007/s12161-016-0585-4.