مروری بر بسته‌بندی هوشمند و فعال در صنایع غذایی

منصوره مظاهری[1،*]، معصومه محمودی میمند[1]

چکیده

ظهور بسیاری از فراورده‌های غذایی جدید در بازار، همراه با نیاز مصرف‌کننده برای پایش مداوم کیفیت آنها تا زمان مصرف، همچنین نیاز برای کاهش فساد مواد غذایی در مدت زمان نگهداری و افزایش ماندگاری، منجر به گسترش برخی فناوری‌های جدید در بسته‌بندی شده است. در طی قرن گذشته شاهد نوآوری‌هایی در این زمینه از قبیل بسته‌بندی هوشمند و بسته‌بندی فعال بوده است. مزایای بسته‌بندی هوشمند شامل ردیابی نقص‌ها، پایش کیفیت و ردیابی محصولات غذایی بسته‌بندی شده برای کنترل شرایط نگهداری از مرحله تولید تا مرحله مصرف با استفاده از سنسورها و شاخص‌های مختلف از قبیل شاخص‌های زمان-دما، شاخص‌های گازی، سنسورهای رطوبت، سنسورهای چشمی زیستی، رنگ‌سنجی و الکتروشیمیایی است. بسته‌بندی فعال، با استفاده از سیستم‌های جذب و انتقال مواد مختلف مانند دی‌اکسیدکربن، اکسیژن و اتانول، به افزایش زمان ماندگاری محصول کمک می‌کند. با وجود مزایای فراوان برای این نوع بسته‌بندی‌ها، موضوعات مهمی مانند هزینه، بازاریابی، مقبولیت مصرف‌کننده، ایمنی و کیفیت ارزیابی حسی ماده غذایی و ایمنی محیط زیستی در ارتباط با این فناوری‌ها وجود دارد که حل‌شدن این مسائل و افزایش مصرف این بسته‌بندی‌ها در صنایع غذایی، نیازمند انجام تحقیقات و بررسی‌های بیشتر است. هدف این مقاله، مرور این دو نوع بسته‌بندی و همچنین وضعیت و جایگاه کشور در استفاده از آنها می‌باشد.

واژگان کلیدی: بسته‌بندی هوشمند، بسته‌بندی فعال، مواد غذایی، کیفیت ماده غذایی

* عهده‌دار مکاتبات: استادیار، تلفن و نمابر: ۳۲۸۲۳۷۱۶-۰۲۶، نشانی الکترونیکی: m_mazaheri@standard.ac.ir

[1] پژوهشکده صنایع غذایی و فرآورده‌های کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران

مقدمه

امروزه تغییر سبک زندگی مصرف‌کنندگان باعث افزایش تقاضا برای فراورده‌های سالم، تمیز، تازه، با کیفیت بالا، با فراوری کم و آماده مصرف با زمان ماندگاری طولانی‌تری شده است [۱]. هر ماده غذایی، دارای سیستم زیستی فعال است، لذا اکسید می‌شود، رطوبت و رنگ آن تغییر می‌کند، گاز تولید می‌کند و ویژگی‌های آن مانند ظاهر، طعم، بو، تازگی و کیفیت تغییر می‌کند. بسته‌بندی فعال و هوشمند برای اولین بار در اواسط دهه ۱۹۷۰ در ابتدا در صنعت داروسازی و سپس در صنایع غذایی در ژاپن و در دهه ۱۹۹۰ در اروپا و آمریکا مورد توجه قرارگرفت [۲].

مفاهیم جدید بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند، با ارائه راه‌حل‌های خلاقانه و متنوع در خصوص افزایش ماندگاری یا حفظ، بهبود و ردیابی کیفیت و ایمنی غذا، نقش مهم و رو به افزایشی در صنعت بسته‌بندی و ایجاد فرصت‌های مناسب در بازارهای تجاری جدید ایفا می‌کنند [٤، ٣].

بسته‌بندی هوشمند

بسته‌بندی هوشمند ابزاری عالی برای کنترل کیفیت محصول، پیش‌بینی، احراز هویت، شناسایی تقلب، شفافیت برند، توانمندسازی مصرف‌کننده و بهبود تجربه خرید با استفاده از یک شناساگر خارجی یا داخلی است که پارامترهای خاص محیط داخلی و/یا محیط خارجی محصول را در طول چرخه عمر محصول کنترل کرده و تولیدکننده، فروشنده یا مصرف‌کننده را از کیفیت و وضعیت ایمنی آن و تغییرات، در حین نگهداری و توزیع، بدون نیاز به بازکردن آن در هر زمان مطلع می‌کند [٥، ٦] و می‌تواند دارای اطلاعاتی در مورد ترکیب جو، تغییرات و نوسانات دما، محتوای اکسیژن یا دی‌اکسیدکربن و سطح pH باشد [۷]. برچسب‌های هوشمند با قرارگیری در محیط بسته‌بندی به‌صورت خودکار فعال شده و جایگزین بسیار مناسبی بجای چاپ تاریخ تولید روی محصولات می‌باشد. مثل برچسب‌هایی که با قرارگیری در بسته حاوی گوشت قرمز با گذر زمان تغیر رنگ داده و در صورتی که تاریخ انقضا محصول برسد، رنگ سنسور به شدت تغییر می‌کند و مصرف‌کننده از خرید آن خودداری می‌نماید. از جمله مزایای این روش نسبت به چاپ تاریخ تولید می‌توان به امکان دنبال‌کردن و بررسی دما و شرایط نگهداری محصول حین انبارش و بسته‌بندی اشاره کرد. در این بسته‌بندی از حسگرهای شیمیایی یا زیستی برای نظارت بر کیفیت و ایمنی غذا از زمان تولید تا مصرف، استفاده می‌کنند [۸] که می‌تواند در مواد غذایی، دارویی و بسیاری از انواع دیگر محصولات استفاده شود. در حال حاضر، کارکردهای بسته‌بندی هوشمند عمدتاً با روش‌های زیر تحقق می‌یابد:

الف- نشانگرها

نشانگرهای مختلف شامل نشانگر زمان/دما، اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، رنگ، پاتوژن، تازگی، شکستگی و نشت از جمله مواردی هستند که در بسته‌بندی هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۰،۹]. محبوب‌ترین شاخص‌ها، زمان، دما، تازگی، نشت، رطوبت و اکسیژن هستند [۱۱]، اما با توجه به اینکه دما و گازها عوامل مهم مؤثر در سرعت وقوع تغییرات نامطلوب فیزیکی و شیمیایی و تغییرات ناشی از میکروارگانیسم‌ها در یک فرآورده غذایی هستند، بسته‌بندی هوشمند اغلب دارای نشانگرهای تاریخچه دما و زمان عملیاتی [١٦-١٢] یا نشانگرهای گاز [١٩-١٧] می‌باشند. عملکرد نشانگرهای تازگی و وجود گاز بر اساس نظارت بر شرایط داخل بسته‌بندی است. نشانگرهای دما/زمان در قسمت بیرونی بسته نصب شده‌اند که با استفاده از تغییرات رنگ نشانگر، شرایط نگهداری با معیار دما و زمان را محاسبه می‌کنند [۸،۲۰]. به‌طور مثال در صورتی‌که ماده غذایی به‌مدت ۵ دقیقه تحت اکسیژن قرار بگیرد با تغییر جزئی رنگ نشانگر، مصرف‌کننده را آگاه می‌کند و در صورت وجود اکسیژن بیشتر در بسته‌بندی، این تفاوت رنگی بیشتر ملموس خواهد بود.

ب- حسگرها

حسگرها در تشخیص، مکان‌یابی و اندازه‌گیری انرژی یا ماده استفاده شده و با دادن یک سیگنال خروجی پیوسته عمل می‌کنند. این سیگنال می‌تواند برای اندازه‌گیری محرک‌های فیزیکی یا شیمیایی که به آنها پاسخ می‌دهد، تفسیر شود. اکثر حسگرها دارای یک گیرنده و یک مبدل هستند. حسگرها بسته به محرک‌های پاسخشان، شامل حسگرهای شیمیایی، گازی و زیستی هستند. در حسگرهای شیمیایی از پوشش‌های انتخابی شیمیایی که می‌توانند یک ماده شیمیایی خاص را روی سطح خود جذب کنند و حضور، ترکیب، فعالیت یا غلظت آن را تشخیص دهند، استفاده می‌شود. نانومواد ساخته‌شده از کربن مانند گرافن، نانولوله‌های

کربنی و نانوالیاف کربنی، به‌عنوان حسگرهای شیمیایی برای شناسایی آلاینده‌های شیمیایی، عوامل بیماری‌زا و ایجادکننده فساد و همچنین برای ردیابی محصولات یا ترکیبات تشکیل‌دهنده از طریق زنجیره پردازش استفاده می‌شوند. در حسگرهای گازی که برای تشخیص مواد گازی مانند اکسیژن، بخار آب، دی‌اکسید کربن، اتیلن در داخل بسته‌بندی استفاده می‌شوند، به‌صورت کمی و برگشت‌پذیر با تغییر پارامترهای فیزیکی حسگر به حضور ماده مورد بررسی گازی پاسخ داده می‌شود. حسگرهای زیستی برای شناسایی و انتقال اطلاعات در مورد واکنش‌های زیستی محصول استفاده می‌شوند [۱۷، ۷] و وضعیت میکروبیولوژیکی غذا و فعالیت آنزیم را پایش کرده و قادر به تشخیص آنزیم‌ها، آنتی‌ژن‌ها، میکروارگانیسم‌ها، هورمون‌ها یا اسیدهای نوکلئیک هستند. آنها دارای یک مبدل الکتروشیمیایی بوده که سیگنال‌های زیستی را به الکتریکی تبدیل می‌کند. حسگرهای زیستی در داخل بسته قرار می‌گیرند یا به‌طور یکپارچه به خود بسته متصل می‌شوند [۲۴-۲۱].

پ- سیستم‌های شناسایی فرکانس رادیویی[1] (RFID)

برچسب RFID، سیستم شناسایی خودکار مبتنی بر بارکدها و برچسب‌های تشخیص فرکانس رادیویی است که برای شناسایی اقلام و جمع‌آوری داده‌ها بدون دخالت انسان استفاده می‌شود. بارکدهایRFID دارای تعدادی شماره شناسایی هستند که در پایگاه داده‌های خود ذخیره می‌شوند و با بازیابی اطلاعات مربوط به آن شماره از پایگاه داده، عمل می‌کنند و به دو دسته فعال و غیرفعال تقسیم می‌شوند. برچسب فعال با برق تأمین‌شده توسط یک باتری داخلی کار می‌کند و سیگنال را به دریافت‌کننده ارسال می‌کند. و حتی اطلاعات تغذیه، دما و دستورالعمل‌های پخت‌وپز را پوشش می‌دهد. برچسب غیرفعال از یک آنتن سیم‌پیچی تشکیل شده است که در تماس با امواج رادیویی ساطع شده از دریافت‌کننده، میدان مغناطیسی تولید می‌کند و از این‌رو قدرتی برای انتقال اطلاعات به گیرنده ایجاد می‌کند.

برچسب‌هایRFID امکان مدیریت انبار، ردیابی محصول در سرتاسر زنجیره تأمین از تولیدکننده تا مصرف‌کننده و ارتقاء کیفیت و ایمنی را فراهم می‌کنند [۲۵]. این برچسب، اطلاعات ضروری در مورد محصول بسته‌بندی شده را به مصرف‌کننده ارائه می‌دهد و محصول را در برابر سرقت ایمن کرده و همچنین برای نظارت بر دما، رطوبت، شرایط میکروبیولوژیکی مواد غذایی و ماندگاری به‌کار می‌رود [۲۶]. به‌دلیل استفاده از یک تراشه بسیار نازک ادغام‌شده با برچسب، حاوی یک حافظه، می‌توان این سیستم را روی هر حاملی (به‌عنوان مثال فویل یا کاغذ) قرار داد. این برچسب‌ها ادامه فناوری بارکدهایی هستند که معمولاً در خرده‌فروشی استفاده می‌شوند. اما برخلاف کدهای استاندارد، می‌توان آنها را در مکان‌هایی که برچسب بارکد را به‌دلیل شرایط محیطی نامطلوب (رطوبت نسبی بالا، دمای پایین، خاک)، نمی‌توان قرار داد، استفاده کرد [۲۰،۲۷]. نقطه‌ضعف آنها گرانی و نیاز به یک شبکه اطلاعات الکترونیکی قدرتمندتر است [۱۲].

بسته‌بندی فعال

در این بسته‌بندی از یک لایه فعال یا ساشه‌های حاوی ترکیبات فعال موجود در بسته‌بندی استفاده می‌شود. آنها با آزاد کردن ترکیبات مفید در بسته‌بندی مثل مواد نگهدارنده یا طعم‌دهنده، حذف یا جذب ترکیبات نامطلوب، کنترل دمای محصول با استفاده از اجزای خودگرم شونده و خود خنک شونده و یا جلوگیری از رشد میکروبی عمل می‌کنند. برای افزایش ماندگاری و حفظ بافت و رنگ محصول غذایی، ترکیب هوای اطراف آن را با گازهایی مانند نیتروژن، دی‌اکسیدکربن و اکسیژن اصلاح می‌کنند. مواد غذایی فاسد شدنی مانند میوه‌های تازه، سبزیجات، گوشت و ماهی با این روش عمل‌آوری می‌شوند. یکی از راه‌های حفظ رنگ گوشت قرمز در طول‌عمر مفید آن، بسته‌بندی در فضایی با ۸۰ درصد اکسیژن و ۲۰ درصد دی‌اکسیدکربن که اکسیژن موجب حفظ رنگ قرمز و دی اکسیدکربن مانع از رشد باکتری‌های فاسدکننده می‌شود [۲۸].

آب اضافی، اکسیداسیون و رشد میکروبی دلایل اصلی از دست‌دادن کیفیت و ایمنی مواد غذایی در طول تولید، فرآوری، حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی هستند، زیرا باعث کاهش کیفیت غذا و ماندگاری محصولات و افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های ناشی از غذا می‌شوند. بسته‌بندی فعال شرایط محیطی را در مواد غذایی بسته‌بندی شده تغییر داده، عمر مفید را افزایش می‌دهد و ایمنی میکروبیولوژیکی و خواص حسی غذا را حفظ می‌کند. در این بسته‌بندی برای بهبود عملکرد، مواد کمکی داخل یا روی ماده

[1] Radiofrequency Identification

بسته‌بندی و یا فضای بالایی آن وارد شده‌اند که می‌توانند با فرآورده تعامل کرده و موادی را از غذای بسته‌بندی‌شده یا محیط اطراف آزاد جذب کنند [۲۹، ۳۰] و از تغییرات نامطلوب در کیفیت غذا در طول توزیع و نگهداری آن جلوگیری کرده یا آنها را مهار کنند، لذا زمان ماندگاری محصول افزایش می‌یابد [۳۱،۳۲]. از مزایای این بسته‌بندی، کاهش فعالیت مهاجرت ذرات از فیلم به مواد غذایی است [۳۳].

بسته‌بندی فعال شامل بسته‌بندی مهارکننده فعال و بسته‌بندی آزادکننده فعال می‌باشد. نوع مهارکننده، بر پایه جذب و از بین بردن مواد نامطلوب از محیط داخل بسته است [۳٤] که بسته به نوع محصول، عمدتاً جاذب رطوبت [۱،۳۵]، جاذب اتیلن [۳٦،۳۷]، جاذب اکسیژن [۳۸] یا جاذب دی‌اکسیدکربن [۳۹،٤۰] و بوهای نامطلوب است [٤۱]. متداول‌ترین فناوری این بسته‌بندی، جاذب‌های اکسیژن و جاذب‌های رطوبت هستند. پلیمرهای پیش‌فرض مورد استفاده برای این منظور نمک‌های پلی‌اکریلات و کوپلیمرهای پیوندی نشاسته می‌باشند. جاذب‌های رطوبت روشی مؤثر برای کنترل تجمع آب اضافی در داخل بسته‌بندی‌های مواد غذایی با محتوای آب بالا مانند گوشت، ماهی، مرغ و محصولات تازه هستند که برای مهار رشد باکتری‌ها و اختلال در رشد کپک‌ها به‌کار می‌روند. نوع دوم بر اساس رهاسازی مواد مورد نظر مانند انتشاردهنده‌های عطر، افزودنی‌های غذا، تنظیم‌کننده رطوبت و اسیدیته و مواد زیستی فعال که با رشد میکروارگانیسم‌ها مقابله می‌کنند، در داخل بسته‌بندی عمل می‌کند. پرمصرف‌ترین موارد استفاده، انتشاردهنده دی‌اکسیدکربن [٤۲،٤۳] و انتشاردهنده دی‌اکسید گوگرد [۱] می‌باشند.

انواع دیگر بسته‌بندی‌های فعال، شامل بسته‌های با خاصیت ضدباکتریایی، و بسته‌بندی دارای محافظ رنگ محصول می‌باشند [٤٤].

بسته‌بندی خودگرم شونده نوع دیگری از بسته‌بندی فعال است که مواد غذایی را بدون منبع حرارت خارجی گرم می‌کند. این فناوری به‌دلیل تقاضا برای آماده‌سازی راحت مواد غذایی و تغییر در سبک زندگی مصرف‌کنندگان، بازار قابل‌توجهی را به‌دست آورده است. انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۳۰، سهم بازار جهانی این نوع بسته‌بندی به حدود ۸۹.۱۰ میلیارد دلار برسد [٤۵]. مشکلات مهم مرتبط با این نوع بسته‌بندی شامل هزینه، گرمایش غیر یکنواخت محتویات و اشغال فضای بیشتر است [٤۵]. در این فناوری کف قوطی/کیسه فشار داده می‌شود و مقدار کمی آب آزاد شده و با نمکی مانند اکسید کلسیم یا منیزیم مخلوط می‌شود. نتیجه این یک واکنش گرمازا ایجاد حرارت در محصول است که انرژی را به محیط اطراف منتقل می‌کند [٤٦].

بسته‌بندی هوشمند و فعال در ایران

طراحی بسته‌بندی هوشمند و فعال در ایران با موانعی همراه است، زیرا فاصله نیاز جامعه در شرایط کنونی و شرایط روز دنیا بسیار زیاد است و در بهترین شرایط تقاضا، همچنان نقاط ضعف و قوت در بخش طراحی، تولید و کاربرد وجود دارد. کمبود مهارت کافی طراح، نبود و معضلات زیرساخت لازم، عدم شناسایی صحیح بازار هدف و اختلاف قیمت این بسته‌بندی‌ها با بسته‌بندی‌های موجود در بازار از دیگر دلایل است.

با توجه به جدید بودن موضوع بسته‌بندی هوشمند، واحد تولیدکننده صنعتی این محصولات در کشور وجود ندارد. مطالعه همه جانبه وضعیت بسته‌بندی‌های نوین در کشور و تحلیل نقاط قوت و ضعف آن و ترسیم نقشه راهی بلندمدت برای حمایت از صنعت بسته‌بندی در کشور با توجه به اینکه در آینده بسیاری از مصرف‌کنندگان به تبعات زیست‌محیطی صنعت بسته‌بندی حساسیت بیشتری از خود نشان خواهند داد، بسیار مهم است. از این‌رو تمرکز بر روی بسته‌بندی سازگار با محیط زیست و ایمن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [٤۷].

در کشور ما در نسل اول بسته‌بندی به‌صورت بسته‌بندی در خلا تجربه شد. در گام بعدی علاوه‌بر خروج گاز اکسیژن، گازهای بی‌اثر نظیر دی‌اکسیدکربن یا نیتروژن وارد بسته‌بندی شد. سپس ترکیباتی نظیر رطوبت‌گیر یا اکسیژن‌گیر اضافه شد. در حال حاضر جاذب‌ها و ترکیباتی به‌صورت افزودنی به بدنه بسته‌بندی‌ها اضافه می‌شوند که ماندگاری را افزایش می‌دهند. هر محصول غذایی به ترکیب ویژه‌ای از گازها نیاز دارد تا ماندگاری محصول درون بسته‌بندی به بیشینه مقدار خود برسد، مثلاً شرایط گازی داخل بسته‌بندی خیار متفاوت از شرایط گیلاس است. لذا بر حسب محصول، مطالعات و تحقیقات خاصی برای بسته‌بندی هوشمند لازم است. همچنین پژوهش‌هایی در ایران در این مورد انجام شده که تجاری نشده‌اند. از جمله «تولید بسته‌بندی هوشمند بر پایه صمغ درخت هلو و کورکومین به‌منظور تشخیص فساد ماهی» که هدف آن تعیین فرمولاسیون مطلوب و ساخت بسته‌بندی

زیست‌تخریب‌پذیر با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مناسب و همچنین تشخیص فساد ماهی بوده است [٤٨] یا توسط مؤسسه تحقیقات شیلات ایران از باقیمانده‌های میگو، ماهی و جلبک‌ها ، نانوالیاف با قابلیت کاربرد در بسته‌بندی هوشمند تهیه شده است. اما در کشور هنوز جای پژوهش در این زمینه بسیار است و باید در مورد تجاری‌سازی این صنعت و ترویج فرهنگ آن کوشش نمود.

نتیجه‌گیری

تغییر اولویت‌های مشتریان منجر به گسترش فناوری‌های جدید بسته‌بندی شده است که کیفیت فرآورده را بهبود بخشیده، ایمنی و امنیت مواد غذایی را افزایش می‌دهد. اما هزینه‌ها، کیفیت حسی و ظاهری، مسائل ایمنی زیست‌محیطی و مهم‌تر از همه پذیرش مصرف‌کننده قابل توجه است [١]. در حالی‌که این فناوری طیف وسیعی از مزایا مانند بهبود ایمنی محصول و کاهش ضایعات را ارائه می‌کند، چالش‌هایی مانند هزینه و پیچیدگی، حریم خصوصی و امنیت و انطباق با مقررات را نیز به همراه دارد. برای اطمینان از پذیرش و اجرای موفقیت‌آمیز بسته‌بندی هوشمند، رسیدگی به این چالش‌ها و همکاری در سراسر صنعت برای ارتقای نوآوری و پایداری مهم است. تخمین زده می‌شود که بازار جهانی بسته‌بندی هوشمند تا سال ٢٠٢٤ به ٢٦.٧ میلیارد دلار برسد [٤٩]. بنابراین لازم است تحقیقات کشور نیز در این زمینه جهت‌دهی شده و فرهنگ‌سازی لازم نیز در این زمینه انجام شود و به همراه آن نسبت به تدوین استانداردهای ملی بسته‌بندی‌های هوشمند و فعال اقدام شود.

منابع و مؤاخذ

[1]. Firouz, M.S., Mohi-Alden, K., Omid, M. (2021). A Critical Review on Intelligent and Active Packaging in the Food Industry: Research and Development. Food Res. Int, 141; 110113.

[2]. Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E., Tobback, P. (2008). Active and Intelligent Food Packaging: Legal Aspects and Safety Concerns. Trends Food Sci. Technol, 19; S103–S112.

[3]. Gontard N., Panorama des emballages alimentaire actif. (2000). in: Les Emballages Actifs (ed. N. Gontard). Paris, France: Tech & Doc Editions, Londres, ISBN-10: 2743003871.

[4]. Rooney M.L., (2005). Introduction to active food packaging technologiesin: Innovations in Food Packaging (ed. J. H. Han). Elsevier Ltd., London, UK, ISBN: 978–0-12–31632–1, pp. 63–69.

[5]. Schaefer, D., Cheung, W.M. (2018). Smart Packaging: Opportunities and Challenges. Procedia CIRP, 72; 1022–1027.

[6]. Realini, C.E., Marcos, B. (2014). Active and Intelligent Packaging Systems for a Modern Society. Meat Sci, 98; 404–419.

[7]. Yam, K.L., Takhistov, P.T., Miltz, J. (2005). Intelligent Packaging: Concepts and Applications. J. Food Sci, 70; R1–R10.

[8]. Kuswandi, B., Wicaksono, Y., Abdullah, A., Heng, L.Y., Ahmad, M. (2011). Smart Packaging: Sensors for Monitoring of Food Quality and Safety. Sens. Instrum. Food Qual. Saf, 5; 137–146.

[9]. Prasad, P., Kochhar, A. (2014). Active Packaging in Food Industry: A Review. J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol, 8; 1–7.

[10]. Kerry, J.P., O'grady, M.N., Hogan, S.A. (2006). Past, Current and Potential Utilisation of Active and Intelligent Packaging Systems for Meat and Muscle-Based Products: A Review. Meat Sci, 74; 113–130.

[11]. Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Li, Z., Brody, A.L., Qazi, I.M., Lv, L., Pavase, T.R., Khan, M.U., Khan, S. (2018). An Overview of Smart Packaging Technologies for Monitoring Safety and Quality of Meat and Meat Products. Packag. Technol. Sci, 31; 449–471.

[12]. Fang, Z., Zhao, Y., Warner, R.D., Johnson, S.K. (2017). Active and Intelligent Packaging in Meat Industry. Trends Food SciTechnol, 61; 60–71.

[13]. Endoza, T.M., Welt, B.A., Otwell, S., Teixeira, A.A., Kristonsson, H., Balaban, M.O. (2004). Kinetic Parameter Estimation of Time-Temperature Integrators Intended for Use with Packaged Fresh Seafood. J. Food Sci, 69; FMS90–FMS96.

[14]. Wang, S., Liu, X., Yang, M., Zhang, Y., Xiang, K., Tang, R. (2015). Review of Time Temperature Indicators as Quality Monitors in Food Packaging. Packag. Technol. Sci, 28; 839–867.

[15]. Mohebi, E., Marquez, L. (2015)). Intelligent Packaging in Meat Industry: An Overview of Existing Solutions. J. Food Sci. Technol, 52; 3947–3964.

[16]. Pavelková, A. (2013). Time Temperature Indicators as Devices Intelligent Packaging. Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun. 664, 61; 245–251.

[17]. Ghaani, M., Cozzolino, C.A., Castelli, G., Farris, S. (2016). An Overview of the Intelligent Packaging Technologies in the Food Sector. Trends Food Sci. Technol. 2016, 51, 1–11.

[18]. Meng, X., Kim, S., Puligundla, P., Ko, S. (2014). Carbon Dioxide and Oxygen Gas Sensors-Possible Application for Monitoring Quality, Freshness, and Safety of Agricultural and Food Products with Emphasis on Importance of Analytical Signals and Their Transformation. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem, 57; 723–733.

[19]. Roberts, L., Lines, R., Reddy, S., Hay, J. (2011). Investigation of Polyviologens as Oxygen Indicators in Food Packaging. Sens. Actuators B Chem, 152; 63–67.

[20]. Müller, P., Schmid, M. (2019). Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview. Foods, 8; 16.

[21]. Chowdhury, E.U., Morey, A. (2019). Intelligent Packaging for Poultry Industry. J. Appl. Poult. Res, 28; 791–800.
[22]. Mirza Alizadeh, A., Masoomian, M., Shakooie, M., Zabihzadeh Khajavi, M., Farhoodi, M. (2021). Trends and Applicationsof Intelligent Packaging in Dairy Products: A Review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr, 62; 383–397.
[23]. Wang, Y.-C. (2010). Biosensors and Intelligent Packaging to Improve Food Safety. J. Anim. Sci, 98; 64.
[24]. Vasilescu, A., Polonschii, C., Titoiu, A.M., Mishra, R., Peteu, S., Marty, J.-L. (2020). Bioassays and Biosensors for Food Analysis: Focus on Allergens and Food Packaging. In Commercial Biosensors and Their Applications; Elsevier, pp. 676 217–258.
[25]. Kumar, P., Reinitz, H.W., Simunovic, J., Sandeep, K.P., Franzon, P.D. (2009). Overview of RFID Technology and Its 678 Applications in the Food Industry. J. Food Sci, 74; R101–R106.
[26]. McFarlane, D., Sheffi, Y. (2003). The Impact of Automatic Identification on Supply Chain Operations; University of Cambridge, 680 Department of Engineering.
[27]. Brockgreitens, J., Abbas, A. (2016). Responsive Food Packaging: Recent Progress and Technological Prospects. Compr. Rev. 682 Food Sci. Food Saf, 15; 3–15.
[28]. Li, X and et al., (2022). Active Packaging for the Extended Shelf-Life of Meat: Perspectives from Consumption Habits, Market Requirements and Packaging Practices in China and New Zealand, Foods, 11(18), 2903.
[29]. Sivertsvik, M. (2007). Lessons from Other Commodities: Fish and Meat. Intell. Act. Packag. Fruits Veg, 151–161.
[30]. Biji, K.B., Ravishankar, C.N., Mohan, C.O., Srinivasa Gopal, T.K. (2015). Smart Packaging Systems for Food Applications: A Review. J. Food Sci. Technol, 52; 6125–6135.
[31]. Arvanitoyannis, I.S., Stratakos, A.C. (2012). Application of Modified Atmosphere Packaging and Active/Smart Technologies to Red Meat and Poultry: A Review. Food Bioprocess Technol, 5; 1423–1446.
[32]. Restuccia, D., Spizzirri, U.G., Parisi, O.I., Cirillo, G., Curcio, M., Iemma, F., Puoci, F., Vinci, G., Picci, N. (2010). New EU Regulation Aspects and Global Market of Active and Intelligent Packaging for Food Industry Applications. Food Control, 21; 1425–1435.
[33]. Bolumar, T., Andersen, M.L., Orlien, V. (2011). Antioxidant Active Packaging for Chicken Meat Processed by High Pressure Treatment. Food Chem, 129; 1406–1412.
[34]. Alves, J., Gaspar, P.D., Lima, T.M., Silva, P.D. (2022). What Is the Role of Active Packaging in the Future of Food Sustainability? A Systematic Review. J. Sci. Food Agric.
[35]. Azevedo, S. Cunha, L.M. Mahajan, P.V. Fonseca, S.C. (2011). Application of Simplex Lattice Design for Development of Moisture Absorber for Oyster Mushrooms. Procedia Food Sci, 1; 184–189.
[36]. Llorens, A. Lloret, E. Picouet, P.A. Trbojevich, R. Fernandez, A. (2012). Metallic-Based Micro and Nanocomposites in Food Contact Materials and Active Food Packaging. Trends Food Sci. Technol, 24; 19–29.
[37]. Álvarez-Hernández, M.H. Martínez-Hernández, G.B. Avalos-Belmontes, F. Castillo-Campohermoso, M.A. Contreras-Esquivel, J.C. Artés-Hernández, F. (2019). Potassium Permanganate-Based Ethylene Scavengers for Fresh Horticultural Produce as an Active Packaging. Food Eng. Rev, 11; 159–183.
[38]. Dey, A. Neogi, S. (2019). Oxygen Scavengers for Food Packaging Applications: A Review. Trends Food Sci. Technol, 90; 26–34.
[39]. Lee, D.S. (2016). Carbon Dioxide Absorbers for Food Packaging Applications. Trends Food Sci. Technol, 57; 146–155.
[40]. Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., Perego, P. (2020). Innovations in Smart Packaging Concepts for Food: An Extensive Review. Foods, 9; 1628.
[41]. Pereira de Abreu, D.A., Cruz, J.M., Paseiro Losada, P. (2012). Active and Intelligent Packaging for the Food Industry. Food 708 Rev. Int, 28; 146–187.
[42]. Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K., Bigger, S.W. (2003). Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and Its Applications. J. Food Sci, 68; 408–420.
[43]. Haghighi-Manesh, S., Azizi, M.H. (2017). Active Packaging Systems with Emphasis on Its Applications in Dairy Products. J. Food Process Eng, 40; e12542.
[44]. Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M.K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., Coma, V. (2018). Active Packaging Applications for Food. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf, 17; 165–199.
[45]. Anusha V., Narayanan, R. (2023). SELF-HEATING PACKAGING - AN ACTIVE PACKAGING TECHNOLOGY: A REVIEW, Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR), 10(6).
[46]. Day B.P.F.; Potter, L. (2011). Active Packaging. Food and Beverage Packaging Technology, Second Edition, 251-262.
[٤٧]. حاجی غفارلو، م.، جوکی م. (١٣٩٩). بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی: معرفی، مطالعه امکان‌سنجی طراحی و تولید در کشور، فصلنامه علمی علوم و فنون بسته‌بندی، دوره ١١، شماره ٤٤، ٦٧-٥٤.
[٤٨]. جعفریان، م. ، سیدآبادی، ا.، سعیدی راد، م. ح.، برادران مطیع، ج.، حسینپور زرنق، م. (١٤٠٠). تولید بسته‌بندی هوشمند بر پایه صمغ درخت هلو و کورکومین به منظور تشخیص فساد ماهی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران ،دوره ١٨ شماره ١١٧، ١٨٢-١٧١.
[49]. Schaefer, D., Cheung, W. M. (2018). Smart Packaging: Opportunities and Challenges, Procedia CIRP 72, 1022-1027.

Science and Education

An Overview of Smart and Active Packaging in The Food Industry

Mansooreh Mazaheri[*,1], Masoumeh Mahmoudi -Meymand[1]

The emergence of many new food products in the market, along with the consumer's need to continuously check on the products' quality until consumption, and the necessity to enhance shelf life and decrease food spoiling during storage, resulted in the expansion of some new technologies in packaging. During the last century, some innovations in this field such as smart packaging and active packaging have been developed. The advantages of smart packaging include defect tracking, quality monitoring and tracking of packaged food products to control the storage conditions from the production to the consumption using various sensors and indicators such as time-temperature indicators, gas indicators, humidity sensors, optical biosensors, colorimetric, and electrochemical sensors. Active packaging, by using absorption and transfer systems of various materials such as carbon dioxide, oxygen, and ethanol, helps to increase the shelf life of the product. Despite the advantages of these packages, there are important issues such as cost, marketing, consumer acceptability, organoleptic quality, and safety of food and environment in connection with these technologies, solving these issues and increasing the use of these packages in the food industry requires research and more reviews. The purpose of this article is to review these two types of packaging as well as the status and position of the country in their use.

Keywords: Smart Packaging, Active Packaging, Food, Food Quality

[*] Corresponding Author, Assistant Professor, Tel/Fax: 026- 32823176, E-mail: m_mazaheri@standard.ac.ir

[1] Research Department of Food Technology and Agricultural Products, Standard Research Institute, Karaj, Iran.