



فرآیندهای نوین بسته‌بندی فعال و هوشمند برای افزایش ایمنی غذایی

فاطمه شهابی، زهرا فلاح زاده

چکیده:

حفاظت از مواد غذایی از زمان تولید تا به هنگام مصرف امری بسیار مهم تلقی می‌شود و ساده‌ترین روش برای حفاظت از مواد غذایی، بسته‌بندی آنهاست. فرآیند بسته‌بندی در مواد غذایی به منظور ایمنی مواد غذایی و حمل و نقل آسان با هدف جلوگیری از آلودگی شیمیایی و افزایش عمر مفید که سهولت را برای مشتریان فراهم می‌کند، صورت می‌گیرد. برای بسته‌بندی مواد غذایی از مواد مختلفی چون پلاستیک، شیشه، کاغذ و فلزات استفاده می‌شود. استفاده از فناوری‌های فعال و هوشمند در بسته‌بندی مواد غذایی رو به افزایش است. بدین منظور فناوری‌های فعال بسته‌بندی مواد غذایی، فرصت‌های جدیدی را برای نگهداری مواد غذایی فراهم کردند. فناوری‌های جدید بسته‌بندی مواد غذایی در پاسخ به تقاضای مصرف‌کنندگان یا روند تولیدات صنعتی به سمت تولید محصولات غذایی با نگهدارنده‌های کمتر و ماندگاری طولانی‌تر و کیفیت بهتر در حال توسعه هستند.

کلمات کلیدی: بسته‌بندی فعال، بسته‌بندی هوشمند، ایمنی غذایی، فناوری نانو پلاستیک.

مقدمه:

استفاده از روش‌های مختلف بسته‌بندی برای ارائه‌ی محصولات غذایی سلامت و ایمن همیشه در بسته‌بندی مواد غذایی حائز اهمیت بوده است. در بسته‌بندی‌های فعال عواملی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم با مواد غذایی در تماس هستند. برای اشاره کرد عواملی وجود [۱] مثال می‌توان به عواملی همچون ترکیبات فعال جاذب اکسیژن، کربن دی اکسید، رطوبت و اتیلن. دارند که ایمنی غذایی را دچار اختلال می‌کنند و باعث میشوند نظارت در تمامی مراحل زنجیره غذا به یک امر ضروری مبدل در این مقاله به بررسی مفهوم بسته‌بندی [۲]. شود. بسته‌بندی نقشی مهم در صنعت غذا دارد و باعث ارتقا کیفیت می‌شود فعال، انواع آن، مکانیزم عملکرد هر نوع، مواد مورد استفاده، و مزایا و محدودیت‌های این فناوری در صنایع غذایی می‌پردازد. همچنین نمونه‌هایی از کاربردهای عملی بسته‌بندی فعال در مواد غذایی مختلف (مانند گوشت، لبنیات، میوه و سبزیجات) مورد بحث قرار می‌گیرد. در ادامه نیز به چالش‌ها و چشم‌اندازهای آینده این فناوری در صنعت غذا اشاره خواهد شد.



ایمنی مواد غذایی:

ایمنی مواد غذایی یکی از حیاتی ترین و مهمترین مسائل در سراسر جهان شناخته میشود و وجود هر گونه‌ی خطرناک و افزودنی‌های پر خطر میتواند ایمنی و امنیت غذا و همچنین سلامت مصرف کنندگان را به خطر بیاندازد. ایمنی غذایی به عنوان یک اولویت بالا توسط WHO معرفی شده است. تضمین کردن ایمنی و امنیت غذایی به موضوعی مهم و ضروری برای کشورهای مختلف با شرایط اقتصادی متفاوت شناخته شده است و می‌بایست اقدامات لازم در جهت بهبود ایمنی غذا به عمل آورد [۳].

بسته بندی مواد غذایی:

بسته‌بندی از اصول اولیه عرضه کالا میباشد و در طی سالهای مختلف دستخوش تغییرات زیادی شده است. بسته‌بندی مواد غذایی به عنوان یک سیستم در جهت حمل و نقل، پخش ذخیره سازی و به مصرف رساندن مشتری محسوب میشود. در سطوح تجاری نمیتوان بدون بسته‌بندی مناسب، مواد غذایی را سالم و ایمن به مشتری ها عرضه نمود. سازمان بسته‌بندی جهانی (WPO) تخمین زده است که؛ بیش از ۲۵ درصد مواد غذایی به دلیل بسته‌بندی نامناسب به هدر میرود [۲].

بررسی سیستم های بسته‌بندی:

۱. جاذب های اکسیژن و مزایا و معایب:

سطح بالای اکسیژن در بسته‌بندی های معمولی باعث رشد انواع میکروب‌ها، ایجاد بو و طعم ناخوشایند، تغییر رنگ و در نتیجه پایین آمدن کیفیت مطلوب ماده غذایی میشود. بنابراین کنترل کردن سطح اکسیژن برای محدود کردن رشد واکنش های فسادزا در مواد غذایی، ضروریست. در سیستم های آنزیمی مهار کننده اکسیژن، یک آنزیم با یک بستر واکنش میدهد تا اکسیژن را از بین ببرد. در این سیستم ها به دلیل هزینه آنزیم‌های مهار کننده اکسیژن، گران تر از سیستم‌های مبتنی بر عنصر آهن است. از معایب حضور اکسیژن در بسته‌بندی مواد غذایی، میتوان به سرعت قابل توجهی که به آنها میبخشد و یا آغاز اکسیداسیون اشاره نمود [۱].

۲. جاذب های رطوبت:

برای سرکوب رشد میکروب در بسته‌بندی نیازمند کنترل رطوبت هستیم. تجمع آب اضافی در بسته‌بندی موجب رشد باکتری ها و کپک ها میشود و باعث از بین رفتن کیفیت و کاهش ماندگاری میشود. یک راهکار موثر در جهت کنترل تجمع آب اضافی، استفاده از یک جذب کننده رطوبت مانند سلیکاژل، اکسید کلسیم، خاک رس طبیعی و نشاسته می‌باشد [۱].



۳. جاذب های اتیلن :

اتیلن یک هورمون محرک رشد است که با تنظیم سرعت پیری ، رسیدن ، نهفتگی و گل دهی یک محصول در ارتباط است. کنترل آن نقش مهمی در افزایش ماندگاری محصول دارد و برای کنترل آن از بسته بندی های جاذب های اتیلن استفاده میشود. اتیلن سرعت تخریب کلروفیل را در سبزیجات تسریع میکند [۱].

بسته بندی های هوشمند:

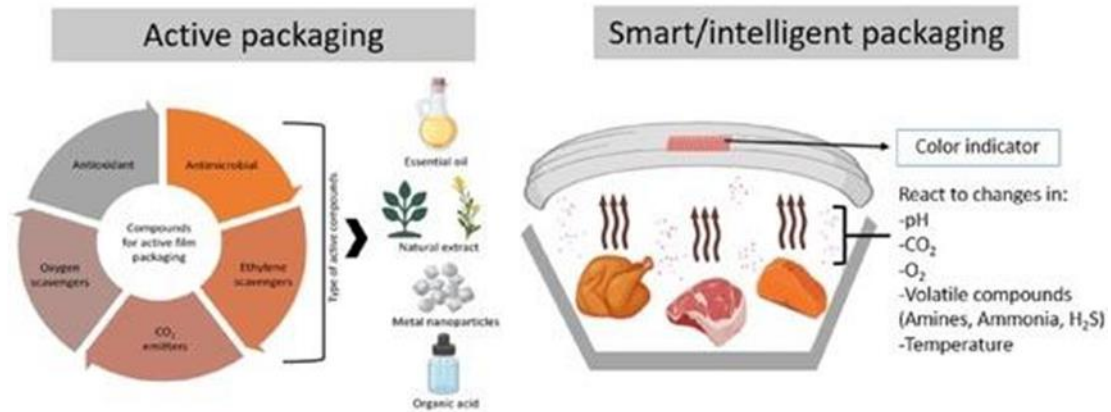
میزان اکسیژن باقی مانده ، میزان اکسیژن انتقال یافته ، دمای نگهداری و میزان نور از فاکتورهای مهم و اصلی هستند که ثبات رنگ و در نهایت رضایت مشتری را جلب میکند. تغییر رنگ در گوشت پخته شده قبل از بسته بندی ، مربوط به میزان کم اکسیژن باقی مانده در آن است. میزان بالای اکسیژن در بسته بندی رشد میکروب ها و قارچ ها را تسریع و تسهیل میکند و بی مزه شدن و تغییر رنگ در ماده غذایی میشود. [۵].

بسته بندی فعال:

بسته بندی فعال نوع جدیدی از بسته بندی مواد غذایی میباشد. در این روش ، بسته بندی با غذا و محیط تماس برقرار میکند و نقشی پویا و فعال در حفظ مواد غذایی دارد. این بسته بندی ها نسبت به شرایط داخل بسته ، تغییرات فعال میدهند. این تغییرات باعث افزایش عمر محصول ، ایمنی بهلود خواص و ... میشود. برخلاف بسته بندی معمولی که صرفاً نقش محافظ فیزیکی دارد، بسته بندی فعال با ماده غذایی واکنش می دهد تا شرایط مطلوب تری ایجاد کند. بسته بندی فعال با افزودن اجزای فعال ، عملکردی فراتر از جداسازی ساده ماده غذایی از محیط بیرون دارد. این اجزا می توانند جذب کننده، آزادکننده یا تنظیم کننده ترکیبات شیمیایی باشند.

تفاوت بسته بندی هوشمند و بسته بندی فعال:

در بسته بندی هوشمند به جای دخالت در شرایط داخلی بسته، وضعیت ماده غذایی را پایش و اطلاع رسانی می شود. بسته بندی هوشمند معمولاً دارای حسگرها یا شاخص هایی است که نسبت به تغییرات دما، pH، گازهای حاصل از فساد یا زمان نگهداری حساس اند و می توانند با تغییر رنگ یا ارسال سیگنال، مصرف کننده یا تولید کننده را از وضعیت تازگی یا فساد محصول آگاه کنند. به عبارت دیگر، بسته بندی فعال نقش محافظتی دارد، در حالی که بسته بندی هوشمند نقش نظارتی و اطلاع رسانی ایفا می کند. بسته بندی فعال مستقیماً بر افزایش عمر ماندگاری اثر می گذارد، اما بسته بندی هوشمند تنها وضعیت فعلی محصول را نشان می دهد [۲].



شکل ۱. مقایسه‌ی بسته‌بندی فعال و هوشمند؛ بسته‌بندی فعال با افزودن ترکیبات زیست‌فعال ماندگاری را افزایش می‌دهد، در حالی که بسته‌بندی هوشمند با شاخص‌های رنگی تغییرات کیفیت مواد غذایی را نشان می‌دهد.

سیستم سویچ بیولوژیک:

این سیستم از سیستم‌های نوآوری شده در زمینه بسته‌بندی فعال است که هدف آن افزایش نگهداری مواد غذایی و حفظ برای شناسایی تغییرات در محیط و (biosensor) کیفیت مطلوب فرآورده غذایی است. از اجزای آن میتوان به بیوسنسور برای پاسخ‌دهی به سیگنال شناسایی شده و یا تغییر رنگ، اشاره نمود (bioresponder) بیورسپاندر

[۴]



شکل ۲. دسته‌بندی عوامل فعال مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی شامل عوامل آنتی‌میکروبیال، آنتی‌اکسیدان، جاذب اکسیژن، جاذب اتیلن و تولیدکننده دی‌اکسیدکربن. این ترکیبات با کاهش فساد، کنترل گازهای درون بسته و افزایش ماندگاری مواد غذایی نقش مؤثری دارند.



تأثیر بسته‌بندی‌های نوین بر ایمنی غذایی:

پیشگیری از آلودگی ثانویه. کاهش رشد میکروبی و فساد زودرس. کاهش نیاز به افزودنی‌های شیمیایی. افزایش اطمینان مصرف‌کننده از سلامت غذا. کاهش ضایعات غذایی و هزینه‌های اقتصادی. [۱۰]

چالش‌ها و محدودیت‌ها:

هزینه بالای تولید و فناوری‌های حسگر و نگرانی‌های زیست‌محیطی درباره نانوذرات فلزی و نیاز به استانداردها و مجوزهای ایمنی بین‌المللی. [۱۱]

آینده و روندهای نوظهور:

ترکیب فناوری نانو با حسگرهای زیستی برای تشخیص سریع پاتوژن‌ها و بسته‌بندی‌های هوشمند متصل به اینترنت (IoT Packaging) برای کنترل زنجیره سرد. استفاده از مواد طبیعی و تجزیه‌پذیر برای سازگاری با محیط زیست. به‌کارگیری هوش مصنوعی در تحلیل داده‌های بسته‌بندی هوشمند.

تعامل بسته‌بندی فعال با مواد غذایی:

بسته‌بندی‌های معمولی مواد غذایی، سدهای غیرفعال هستند که تنها برای به تأخیر انداختن اثرات نامطلوب محیط بر ماده غذایی طراحی شده‌اند. اما بسته‌بندی فعال به بسته اجازه می‌دهد با غذا و محیط اطراف آن تعامل داشته باشد و نقش فعالی در حفظ و ماندگاری غذا ایفا کند. صرف نظر از اینکه انتقال جرم در کدام جهت انجام شود. (مثلاً جذب یا آزاد شدن طعم، بو یا رطوبت از غذا به بسته یا از بسته به غذا)، عوامل مختلفی مانند نوع غذا، نوع بسته‌بندی، شرایط نگهداری و مدت زمان تماس بر پس نوع ماده غذایی نیز بسیار مهم است چون چربی‌ها می‌توانند، میزان انتقال ترکیبات بین غذا و بسته تأثیر می‌گذارند. بسیاری از طعم‌ها و رنگ‌ها را در خود حل کنند، بنابراین غذاهای چرب، فرارترین مواد را راحت‌تر از بسته بندی جذب می‌کنند.

[۱۲]

مهاجرت:

فرایند انتقال جرم از مواد در تماس با غذا به غذا را «مهاجرت» می‌نامند. این پدیده تحت تأثیر عوامل مختلفی است، از جمله: دمای تماس (دمای بالاتر نرخ مهاجرت را افزایش می‌دهد)، ترکیب غذا و خصوصیات فیزیکی آن (مثلاً محتوای چربی یک خوراکی می‌تواند به طرز قابل توجهی نرخ مهاجرت را تحت تأثیر قرار دهد)، نوع بسته‌بندی و فرمولاسیون آن و نوع تماس و سطح تماس بین بسته‌بندی و ماده غذایی. به‌طور ایده‌آل ارزیابی مهاجرت باید شامل همه مواد عمده اضافه‌شده شناخته‌شده مثلاً افزودنی‌ها و همچنین مواد غیرعمدی اضافه‌شده که محصولات واکنش و تجزیه هستند، باشد.

[۱۳]



مواد حامل عوامل ضد میکروبی:

اساساً در بسته‌بندی فعال مواد غذایی دو جز قابل تشخیص هستند: عامل ضد میکروبی و ماده حامل آن. مواد حامل، نرخ آزادسازی ترکیب فعال را تحریک و کنترل می‌کنند و از نظر منشأ می‌توانند پلیمرهای مصنوعی یا طبیعی باشند. از جمله عوامل مورد توجه هنگام وارد کردن یک مؤلفه ضد میکروبی فعال در یک ماده، باید به هم‌جوشی فیزیکی و شیمیایی بین آن‌ها و نیز فرایند تولید، توزیع و هزینه‌های سیستم آزادسازی توجه کرد. مواد حامل، آزادسازی اجزای ضد میکروبی را به فضای درونی ظرف تسهیل و کنترل می‌کنند. بسته‌هایی که سیستم ضد میکروبی را در بر دارند باید برای ترکیب فعال قابل نفوذ باشند تا ترکیب فضای درونی بسته‌بندی را تغییر دهند.

[۱۳]

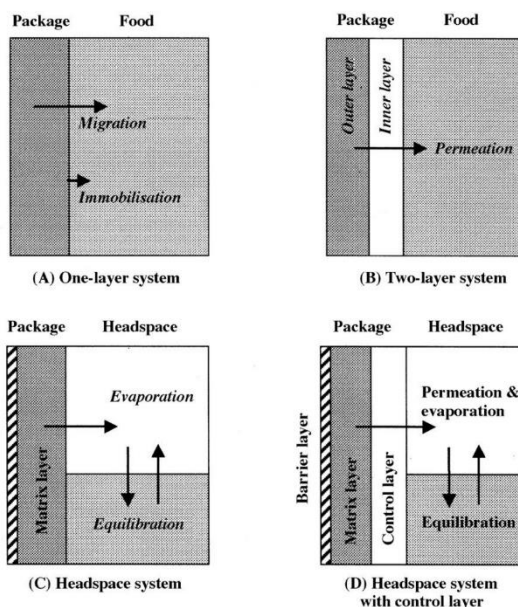
روش‌های تحلیل آنتی‌اکسیدان‌های به‌کار رفته در بسته‌بندی فعال:

روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثربخشی یک آنتی‌اکسیدان در بسته‌بندی فعال جهت محافظت از غذا در برابر واکنش‌های اکسیداتیو وجود دارد. این روش‌ها نتایج را به‌صورت فعالیت آنتی‌اکسیدانی یا ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ماده گزارش می‌کنند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی سرعت واکنش آنتی‌اکسیدان را اندازه می‌گیرد، در حالی که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بازده/توانایی تبدیل گونه‌های واکنشی توسط آنتی‌اکسیدان‌ها را می‌سنجد. مقایسه فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی چالش‌برانگیز است، زیرا روش‌ها دارای مکانیزم‌های متفاوتی‌اند و پروتکل‌ها برای یک روش یا آزمون یکسان ممکن است متغیر باشند. علاوه بر این، نتایج به شکل‌های مختلف بیان شده و از استانداردهای مرجع متفاوتی استفاده می‌شود. یک روش استاندارد شده لازم است تا راهی برای مقایسه محصولات فراهم کند و پروتکل مناسب محصول را دنبال نماید [۱۴].

کاربرد فعلی فناوری‌های نوین بسته‌بندی:

در ایالات متحده، ژاپن و استرالیا، سیستم‌های بسته‌بندی فعال و هوشمند از پیش با موفقیت برای افزایش عمر مفید یا بهبود کیفیت و ایمنی مواد غذایی به‌کار رفته‌اند. با این حال، صرف‌نظر از تحقیقات و پیشرفت‌های توسعه‌ای، تعداد معدودی از این فناوری‌های فعال و هوشمند به‌صورت تجاری در بازار عرضه شده‌اند و اغلب به‌عنوان بسته‌های کوچک یا برچسب‌هایی که در فضای بسته یا به بسته چسبانده می‌شوند وجود دارند و بیشترین اهمیت تجاری را در بسته‌بندی مواد غذایی امروزی دارند. همچنین، جاذب‌های اکسیژن و جاذب‌های اتیلن که قبلاً استفاده شده‌اند، تا حدی اهمیت تجاری بالایی دارند؛ از نظر بسته‌بندی هوشمند، نشانگرهای زمان-دما و نشانگرهای اکسیژن در آن کشورها کمتر استفاده می‌شوند. در اروپا، تنها تعداد اندکی از این سیستم‌ها توسعه یافته و به‌کار رفته‌اند.

[۱۴]



شکل ۳. نمایش شماتیک انواع سیستم‌های انتقال ترکیبات بین بسته‌بندی و ماده غذایی. (A) سیستم تک‌لایه که شامل مهاجرت یا تثبیت ترکیب در غذا است؛ (B) سیستم دولایه با نفوذ ترکیب از لایه بیرونی به درونی؛ (C) سیستم فضای خالی (Headspace) با تبخیر و تعادل بخار؛ و (D) سیستم فضای خالی با لایه کنترل‌کننده که ترکیبی از نفوذ، تبخیر و تعادل را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری:

نوآوری‌های بسته‌بندی فعال و هوشمند، دیگر یک گزینه لوکس یا اختیاری در صنعت غذا نیستند؛ بلکه یک ضرورت راهبردی برای تضمین ایمنی غذایی و کاهش ضایعات در سطح جهانی به شمار می‌روند. این سیستم‌ها نه تنها با کنترل رشد میکروبی و کاهش اکسیداسیون، طول عمر و کیفیت محصولات را به شکل چشمگیری افزایش می‌دهند، بلکه با ارائه اطلاعات لحظه‌ای درباره وضعیت محصول، اعتماد مصرف‌کننده و شفافیت زنجیره تأمین را تقویت می‌کنند.

با ترکیب مواد طبیعی، فناوری‌های نانو و حسگرهای هوشمند، آینده بسته‌بندی غذایی به سمت سامانه‌هایی پیش می‌رود که هم خودکنترلی و محافظتی هستند و هم ارتباط زنده با محیط و مصرف‌کننده برقرار می‌کنند. در واقع، بسته‌بندی‌های نوین، مرز بین ایمنی غذایی، فناوری پیشرفته و پایداری محیط زیست را بازتعریف کرده‌اند و می‌توانند یکی از اصلی‌ترین عوامل تحول در صنعت جهانی غذا باشند.



منابع:

- [۱] مروری بر فناوری فعال در بسته‌بندی مواد غذایی (محمد امین حیدرزادی، محمود کهنه پوشی، اسما موسوی) ۱۴۰۱
- [۲] فناوری نانو عرصه‌ای نوین در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی (مهسا اسمعیل رمجی، صبا صباغ پور لنگرودی) ۱۳۹۹
- [۳] مروری بر نقش بسته‌بندی در امنیت غذایی (صابر امیری، مریم علی محمدی، حسام شیرازه محبت) ۱۴۰۲
- [۴] تولید بسته‌بندی فعال ضد میکروبی بر پایه سیستم سوئیچ بیولوژیک (فرشته حسینی) ۱۳۹۳ [۴]
- [۵] مقایسه تأثیرات روش های بسته‌بندی های هوشمند و فعال در فراورده‌های گوشتی و آبزیان (محمد ولایت زاده) ۱۳۹۳
- [۶] (Han, J. H., ۲۰۱۴). Innovations in food packaging (Academic Press, Elsevier).
- [۷] (کتاب مرجع اصلی در زمینه فناوری‌های نوین بسته‌بندی فعال و هوشمند)
- Smart packaging systems for food ۲۰۱۵ Iji, K. B., Ravishankar, C. N., Mohan, C. O., & Gopal, T. K. S. [۸]
- (Applications: a review. Journal of Food Science and Technology,
- [۹] : Innovative Food Packaging Solutions
- Aaron L. Brody, Betty Bugusu, Jung H. Han, Claire Koelsch Sand, and Tara H. McHugh
- [۱۰] : The Evolution of Food Packaging, the Active Food Packaging Concept and Its Current and Future Trends.
- Ana Sanches Silva and Seid Mahdi Jafari
- [۱۱] : Emitters of Antimicrobials
- Jaime López-Cervantes, Dalia Isabel Sánchez-Machado, Ana Aglahle Escárcega-Galaz, Benjamín Ramírez-Wong, Gabriela Servín de la Mora-López, and María del Rosario Martínez-Macias
- [۱۲] : Emitters of Antioxidants (With Special Focus on Natural Antioxidants)
- M. D. Celiz, R. Paseiro-Cerrato, L. DeJager, and T. H. Begley
- [۱۳] : Active and intelligent packaging
- An introduction
- R. Ahvenainen, VTT Biotechnology, Finland
- [۱۴] : Antimicrobial food packaging
- J. H. Han, The University of Manitoba, Canada