

مروری بر انواع حسگرها و کاربرد آن‌ها در طراحی بسته بندی‌های هوشمند جهت ارزیابی کیفیت مواد غذایی

صونا دودانگه^۱، هاجر شکرچی زاده^۲، صابر امیری^{۳*}

تاریخ دریافت مقاله: اردیبهشت ماه ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش مقاله: شهریور ماه ۱۳۹۹

چکیده

توسعه بسته بندی در پاسخ به کاهش نگرانی مصرف کنندگان در رابطه با ایمنی مواد غذایی است. نقش بسته بندی از بازاریابی و توزیع در گذشته به سنجش و برقراری ارتباط جهت تأمین نیازهای صنعت غذا و خریداران تغییر یافته است. بسته بندی هوشمند، یک دستگاه یا برچسب هوشمند است که به صورت پویا، کیفیت محصول بسته بندی شده را نشان می دهد، و به عنوان روش جایگزین با روش تاریخ انقضاء سنتی، مورد توجه قرار گرفته است. در بین انواع مختلف دستگاه های حسگر، نشان گرهای بصری هم برای تولیدکننده و هم مصرف کننده عملکرد نسبتاً ساده تری دارند. بنابراین، تقاضای بسته بندی هوشمند با نشان گر بصری به ویژه در صنعت غذا به طور چشمگیری افزایش یافته است. در این مقاله به بررسی سیستم های مختلف بسته بندی هوشمند در بسته بندی مواد غذایی پرداخته می شود. هدف در بسته بندی هوشمند، ارائه محصولات ایمن و با کیفیت تر می باشد. در سیستم های هوشمند، وضعیت مواد غذایی بسته بندی شده کنترل می گردند تا اطلاعاتی در مورد کیفیت مواد غذایی بسته بندی شده در طول حمل و نقل و ذخیره سازی ارائه دهند. این فناوری ها با افزایش تقاضا برای غذاهای ایمن تر با ماندگاری بهتر طراحی شده اند. انتظار می رود که بازار بسته بندی هوشمند در رابطه با مواد بسته بندی، آینده ای امیدوارکننده داشته باشد.

واژه های کلیدی

بسته بندی هوشمند، کیفیت، ایمنی و ماندگاری

۱- مقدمه

هدف اصلی از بسته بندی مواد غذایی، حفظ کیفیت و سلامت محصولات غذایی هنگام ذخیره سازی و توزیع است که با حفاظت از ماده غذایی در برابر عوامل و شرایط نامطلوب نظیر: میکروارگانیسم های فاسدکننده، آلاینده های شیمیایی، اکسیژن، رطوبت، نیروی خارجی و ... باعث افزایش ماندگاری محصولات غذایی می شود. بسته بندی مواد باید به گونه ای باشد که باعث حفظ ظاهر محصول شود و شرایط مناسب فیزیکی شیمیایی را برای ماندگاری مناسب، کیفیت و سلامت محصولات غذایی فراهم آورد. بسته بندی مواد غذایی باید: ۱- مانع از افزایش یا کاهش رطوبت شود.

۱- دانشجوی دکتری تخصصی فناوری مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران (sawnadodange@gmail.com).

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران (shekarchizadeh@cc.iut.ac.ir).

۳- دکتری تخصصی بیوتکنولوژی مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

(* نویسنده مسئول: s.amiri@tabrizu.ac.ir)

طرح‌های جدید، برای اهداف بازاریابی بوده است. با این حال، بسته‌بندی مواد غذایی دیگر تنها نقش در محافظت و بازاریابی یک محصول غذایی ندارد. مفهوم جدید بسته‌بندی نظیر بسته‌بندی هوشمند دارای راه‌حل‌های بی‌شمار و خلاقانه‌ای جهت افزایش ماندگاری یا حفظ، بهبود یا نظارت بر کیفیت و ایمنی مواد غذایی می‌باشد و از این نظر نقش مهمی را ایفا می‌کنند [۳]. معرفی بسته‌بندی‌های هوشمند می‌تواند نقش مهمی را در افزایش ماندگاری مواد غذایی و نیز بهبود خواص ارگانولپتیک آن ایفا نماید و از این طریق از اتلاف مواد غذایی جلوگیری کند [۴].

۳- حوزه‌های کاربرد

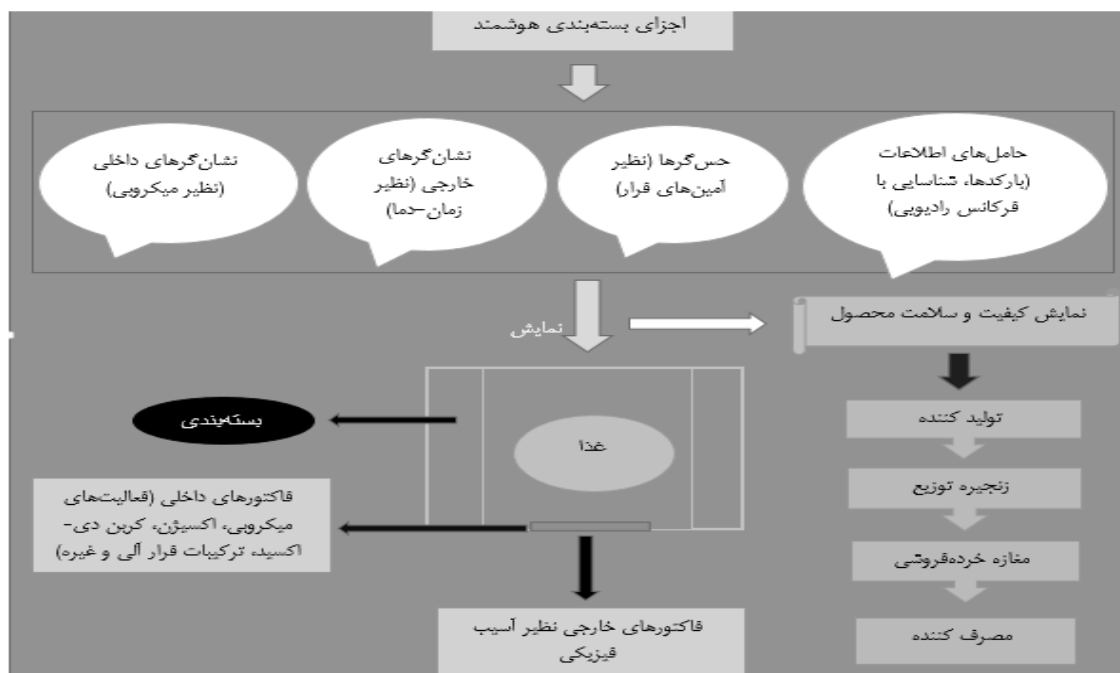
بر اساس یافته‌های پیرا و همکاران (۲۰۱۲)، سالانه بیش از ۶ میلیون مورد بیماری ناشی از غذا در ایالات متحده رخ می‌دهد، که به طور بالقوه منجر به مرگ بیش از ۹۰۰۰ نفر می‌گردد. تخمین زده می‌شود که در اسپانیا، سالانه ۶۰ مورد بیماری ناشی از غذا در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت وجود دارد. از این رو، جای تعجب نیست که یکی از حوزه‌های مهم کاربرد فناوری بسته‌بندی هوشمند، توسعه حسگرهای زیستی برای تشخیص پاتوژن‌ها در مواد غذایی باشد. حوزه‌های دیگر کاربرد شامل جاذب‌های رطوبت، محلول‌های بسته‌بندی ضد میکروبی، انتشاردهنده‌های دی اکسید کربن، روبنده‌های اکسیژن و آنتی اکسیدان‌های تعبیه شده در بسته‌بندی است [۵]. به طور کلی، فناوری بسته‌بندی هوشمند طیف گسترده‌ای از کاربردها از نمایش ایمنی مواد غذایی تا ردیابی تحویل پستی اقلام از طریق برچسب‌های (تراشه‌های) امنیتی تعبیه شده را دارا می‌باشد [۶]. از دید مشتری، چنین فرصت‌هایی به عنوان مزایای ارزش افزوده درک می‌شوند. شیوه‌های جدید ردیابی و نظارت بر کالاهای خریداری شده با برنامه‌های موجود، در این روزها که دسترسی به اینترنت امکان‌پذیر می‌باشد، به یک فرصت تجاری مهم برای شرکت‌ها جهت افزایش رضایت مشتری تبدیل شده است. پاکویت و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که بسته‌بندی هوشمند همچنین ممکن است برای شناسایی ناکارآمدی زنجیره تأمین، کاهش

۲- از آلودگی میکروبی جلوگیری کند. ۳- در برابر نفوذ بخار آب، اکسیژن، دی‌اکسید کربن و دیگر ترکیبات فرار، طعم و آلودگی به عنوان یک مانع یا سد عمل کند [۱]. هدف سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند بررسی کیفیت و شرایط مواد غذایی یا محیط پیرامون برای پیش‌بینی یا تعیین مدت زمان ماندگاری قبل از تاریخ انقضاء می‌باشد [۲].

۲- مفهوم بسته‌بندی هوشمند

بسته‌بندی هوشمند به عنوان یک خاصیت ذاتی در بسته‌بندی تعریف می‌شود که به تأیید استفاده از محصول می‌پردازد. تعریف دیگر بسته‌بندی هوشمند، عبارت است از عملکرد بسته‌بندی در پاسخ به تغییر شرایط بیرونی / داخلی محصول که به برقراری ارتباط با مشتری یا کاربران نهایی در مورد وضعیت محصول می‌پردازد. بنابراین، بسته‌بندی هوشمند می‌تواند به عنوان سیستمی تعریف شود که وضعیت مواد غذایی بسته‌بندی شده را رصد می‌نماید تا اطلاعاتی در مورد کیفیت محصول را در هنگام حمل و نقل و توزیع ارائه کند. در تعریف دقیق‌تر، بسته‌بندی هوشمند به عنوان یک سیستم بسته‌بندی تعریف می‌شود که قادر به انجام عملکردهای هوشمندانه (مانند تشخیص، سنجش، ثبت، ردیابی و برقراری ارتباط) جهت تسهیل تصمیم‌گیری برای تمدید عمر مفید، افزایش ایمنی، بهبود کیفیت، فراهم آوردن اطلاعات و هشدار در مورد مشکلات احتمالی می‌باشد [۱]. پیشرفت‌های جدید در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی در نتیجه پاسخ به خواسته‌های مصرف‌کنندگان یا روند تولیدات صنعتی بوده که به سمت تولید محصولات غذایی تازه، خوشمزه، با ماندگاری طولانی و کیفیت کنترل شده در حال توسعه هستند. علاوه بر این، تغییر در شیوه‌های خرده‌فروشی یا شیوه زندگی مصرف‌کنندگان، چالش‌های عمده‌ای را در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی ایجاد کرده‌اند و به عنوان نیروی محرکه برای توسعه مفاهیم بسته‌بندی جدید و بهبود یافته عمل می‌نمایند که ضمن حفظ و نظارت بر ایمنی و کیفیت مواد غذایی، ماندگاری را گسترش می‌دهند [۲]. نوآوری‌های بسته‌بندی تاکنون عمدتاً محدود به تعداد کمی بسته‌بندی با

هزینه‌ها و خطاها، بهبود عملکرد محصول و در نهایت افزایش سود مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۱) [۷].
پیش‌بینی یا تعیین ماندگاری بهتر آن قبل از تاریخ مصرف می‌باشد. سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند به صورت برجسته



شکل ۱- اجزای تشکیل دهنده بسته‌بندی هوشمند

۴- انواع بسته‌بندی هوشمند

بسته‌بندی‌های هوشمند به طور کلی به دو گروه زیر تقسیم می‌شود:

۱- بسته‌بندی هوشمند مبتنی بر سنجش شرایط خارجی
 بسته ۲- بسته‌بندی هوشمند مبتنی بر اندازه‌گیری مستقیم کیفیت مواد غذایی در داخل بسته، که این نوع از بسته‌بندی با ماده غذایی یا فضای بسته تماس مستقیم دارد که همیشه به یک نشان‌گر که نشان‌دهنده کیفیت و یا سالم بودن ماده غذایی بسته‌بندی شده است، نیازمند است [۸]. سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند روش‌های جدیدی هستند که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ و سلامتی و ایمنی محصول را برای مصرف‌کننده فراهم می‌کنند و شرایط مواد غذایی بسته‌بندی شده را نظارت می‌کنند تا اطلاعاتی را در مورد ماندگاری و کیفیت مواد غذایی هنگام حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی ارائه دهند. هدف سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند نظارت بر کیفیت محصول غذایی یا محیط اطراف آن برای

بر روی مواد بسته‌بندی گنجانیده می‌شوند و یا بر روی بسته چاپ می‌شوند تا امکان عرضه محصول با نظارت بر کیفیت محصول، ردیابی نقاط بحرانی و کسب اطلاعات بیشتر در طول زنجیره ذخیره‌سازی افزایش یابد. در این سیستم‌ها، فناوری حس‌گر، شناساگرها (شامل شناساگرهای سلامتی، تازگی و شناساگرهای دما-زمان) و سیستم شناسایی امواج رادیویی^۲ ارزیابی می‌شوند. بسیاری از مفاهیم بسته‌بندی هوشمند شامل استفاده از حس‌گرها و شناساگرها است. حس‌گرها را می‌توان به عنوان تعیین‌کننده متغیر اندازه‌گیری اولیه یا تعیین‌کننده متغیر فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی به کار برد. شناساگرها اطلاعاتی را در مورد کیفیت محصول به وسیله شرایط محیطی و گازهای فضای بسته ارائه می‌دهند، هم‌چنین شناساگرها می‌توانند به سطح بسته متصل شده یا با بسته ادغام شوند که این کار تشخیص متابولیت

1- Time/Temperature Indicators (TTIs)
 2- Radio Frequency Identification (RFID)

۳-۵- حس‌گرهای گازی

بسته‌بندی مواد غذایی پیچیده است، زیرا بسته‌بندی قادر است تنفس کند که در این صورت ممکن است تغییراتی در اتمسفر درون بسته صورت گیرد. ترکیبات گازی درون بسته می‌توانند در اثر برهم‌کنش مواد غذایی با محیط اطراف تغییر کنند. حس‌گرهای گازی ابزاری سودمند برای نظارت بر ترکیبات گازی درون بسته به وسیله ایجاد تغییر در رنگ از طریق یک واکنش شیمیایی یا آنزیمی هستند. حس‌گرها باید با محیط گازی که مستقیماً در ارتباط با مواد غذایی است، تماس مستقیم داشته باشند. حس‌گرها، نشت گاز درون بسته غذایی را نیز نشان می‌دهند یا ممکن است به منظور بررسی کارایی جاذب‌های اکسیژن استفاده شود. معمولاً حس‌گرهای گازی در صورت وجود یا عدم وجود اکسیژن و یا دی‌اکسیدکربن سیگنال نشان می‌دهند. اکسیژن موجود در هوا باعث ترشیدگی اکسایشی، تغییر رنگ نامطلوب در مواد غذایی و رشد میکروب‌های هوازی در مواد غذایی می‌شود. معمولاً حس‌گرهای اکسیژن در حضور اکسیژن تغییر رنگ می‌دهند، که وجود اکسیژن نشان‌دهنده نشت یا دستکاری بسته می‌باشد. حس‌گرهای اکسیژن درزبندی نادرست بسته را نیز نشان می‌دهند. حس‌گرهای گازی برای تشخیص بخارآب، اتانول و هیدروژن سولفید در حال توسعه می‌باشند [۱۴].

۶- شناساگرها

شناساگرها به عنوان موادی که وجود، عدم وجود، غلظت گونه‌های دیگر یا درجه واکنش بین دو یا چند گونه را با تغییر در یک ویژگی، به خصوص تغییر در رنگ نشان می‌دهند، تعریف می‌شوند [۱۵].

۶-۱- شناساگرهای زمان-دما

طراحی سیستم بسته‌بندی هوشمند برحسب شناساگرهای زمان-دما روشی برجسته در فناوری بسته‌بندی است. اهمیت این شناساگرها در این است که مصرف‌کننده می‌تواند دمای نامناسب مواد غذایی را تشخیص دهد. اگر یک ماده غذایی در معرض دمای بالا قرار گیرد،

پس‌مانده تشکیل شده در طول ذخیره‌سازی را بهبود می‌بخشد [۹]. سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند شامل: حسگرها، شناساگرها و سیستم‌های شناسایی امواج رادیویی می‌باشند.

۵- حسگرها

یک حسگر به عنوان یک دستگاه برای شناسایی، تشخیص یا تعیین کمی انرژی یا ماده تعریف می‌شود که برای تشخیص یا اندازه‌گیری یک خاصیت فیزیکی یا شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. حس‌گرها به صورت پیوسته علامت‌هایی را ارائه می‌دهند. بسیاری از حس‌گرها دارای دو بخش اصلی کاربردی (گیرنده و مبدل) هستند [۱۰].

۵-۱- حس‌گرهای زیستی

حس‌گرهای زیستی (بیوسنسورها) برای شناسایی، ثبت و انتقال اطلاعات مربوط به واکنش‌های زیستی استفاده می‌شوند. حس‌گرهای زیستی شامل گیرنده‌های زیستی و مبدل‌ها هستند. حس‌گرهای زیستی تجاری برای عوامل بیماری‌زای غذایی گسترش یافته‌اند. آنتی‌بادی‌های خاصی وجود دارند که به غشاء حس‌گرها یا بارکدها متصل می‌شوند. عوامل بیماری‌زا باعث ایجاد نوارهای تاریک در بارکدها می‌شوند و در نتیجه آن‌ها را غیرقابل خواندن می‌کنند [۱۱].

۵-۲- حس‌گرهای شیمیایی

حسگر شیمیایی یا گیرنده یک ماده شیمیایی توانایی تشخیص حضور، فعالیت، ترکیب، غلظت ذرات شیمیایی یا گاز را از طریق جذب سطحی دارد. هنگامی که حضور مواد شیمیایی تأیید می‌شود، به وسیله مبدل به سیگنال تبدیل می‌شود [۱۲]. نانومواد کربنی نظیر نانو ذرات، گرافن، نانولوله‌ها و نانوالیاف به دلیل خواص الکتریکی و مکانیکی عالی همراه با مساحت سطح ویژه بالا در حس‌گرهای شیمیایی به کار می‌روند. حس‌گرهای مبتنی بر نانومواد برای شناسایی عوامل بیماری‌زا، آلاینده‌های شیمیایی، فساد و دستکاری مواد به کار می‌روند [۱۳].

ماده غذایی می تواند به سرعت فاسد شود. این شناساگر را می توان در ظروف حمل ماده غذایی یا بسته بندی های جداگانه ای به صورت یک برچسب خودچسبیده کوچک قرار داد، هنگامی که این شناساگرها در شرایط نامطلوبی قرار داشته باشند، یک تغییر برگشتناپذیر مانند تغییر رنگ رخ خواهد داد. شناساگرهای زمان-دما^۱ (TTI) برای مواد غذایی سرد و منجمد شده ارزشمند هستند، زیرا ذخیره سازی، حمل و نقل و توزیع بر کیفیت و ایمنی این محصولات غذایی تأثیر به سزایی دارد. فناوری TTI به عنوان زمان ماند^۲ شناخته شده است که در حال حاضر در محصولات غذایی در انگلستان به کار می رود. به کارگیری زمان ماند با نفوذ مداوم یک مایع به درون غشاء برای اندازه گیری مدت زمان سپری شده در یک دمای ویژه می باشد. زمان ماند برای محصولاتی مانند سس که در یخچال نگهداری می شود و در یک دوره زمانی خاص استفاده می شود، بسیار مفید است [۸]. تغییرات دما در محصول غذایی می تواند تغییراتی در سلامتی و کیفیت محصول را موجب گردد. یک نشانگر زمان-دما (TTI) می تواند به عنوان یک وسیله ساده و ارزان تعریف گردد که می تواند به آسانی تغییرات وابسته زمان و دما را به صورت قابل اندازه گیری نشان دهد که تاریخچه دمایی جزئی یا کامل محصول غذایی را منعکس می کند [۱۶]. نشانگرهای زمان-دمایی که هم اکنون در بازار موجود هستند براساس مکانیسم ها بر پایه قواعد متفاوتی عمل می نمایند. اصول عملکرد نشانگرهای زمان-دما تغییر برگشتناپذیر مکانیکی، شیمیایی، آنزیمی یا میکروبیولوژیکی است که معمولاً به صورت یک پاسخ مرئی به شکل تغییر شکل مکانیکی، گسترش رنگ یا حرکت رنگ خود را نشان می دهد. پاسخ شیمیایی یا فیزیکی، براساس واکنش شیمیایی یا تغییر فیزیکی مربوط به زمان و دما، نظیر واکنش بر پایه اسید، ذوب شدن، پلیمریزاسیون می باشد. در حالی که در پاسخ بیولوژیکی، پاسخ براساس تغییر در فعالیت بیولوژیکی نظیر میکروارگانیسم ها، اسپورها یا آنزیم ها ناشی از زمان و

دما می باشد [۱۷ و ۱۸]. نشانگرهای زمان-دما (TTIs) باید به آسانی فعال شوند و سپس یک تغییر وابسته به زمان-دما را که به آسانی قابل اندازه گیری می باشد نشان دهد. این تغییر باید غیرقابل برگشت و در حالت ایده آل به آسانی به گسترش فساد و عمر باقی مانده غذا همبستگی داشته باشد [۱۷]. برچسب های چک پوینت^۳ یک برچسب خودچسبیده ساده است که به کارتن های غذایی به منظور کنترل دمای نامناسب استفاده شده به کار می رود. برچسب های فریش چک^۴ یک کارتن یا بسته بندی غذا را از محل فرآوری تا محل خرده فروشی نشان می دهد و تا نقطه فروش به صورت خرده همراه با بسته بندی باقی می ماند. این برچسب ها با گذشت زمان و دما به همان روشی که محصول غذایی واکنش می دهد، واکنش می دهند و بنابراین یک علامتی در رابطه با حالت تازگی و عمر ماندگاری باقی مانده نشان می دهد. این علامت به صورت یک نقطه رنگی است که به آسانی قابلیت خواندن دارد. این نشانگر براساس واکنش آنزیمی عمل می نماید. این ابزار شامل یک نقطه شبیه به حباب است که شامل دو قسمت می باشد: یک بخش برای محلول آنزیمی شامل آنزیم لپاز به همراه شناساگر رنگی حساس به تغییرات pH و قسمت دیگر لایه ای که در درجه اول شامل تری گلیسریدها می باشد. نقطه رنگی در ابتدا با به کار بردن یک فشار بر روی حباب پلاستیکی فعال می شود، که مهر و موم میان دو قسمت را می شکند. اجزاء با یکدیگر مخلوط شده و تا زمانی که واکنش پیش می رود تغییر pH موجب تغییر در رنگ می گردد. نقطه در ابتدا سبز رنگ است ولی به تدریج با رسیدن به انتهای عمر ماندگاری نقطه زرد رنگ می گردد. این واکنش برگشتناپذیر است و زمانی که دما افزایش می یابد سریع تر ادامه می یابد و چنانچه دما کاهش یابد آهسته تر خواهد بود (شکل ۲) [۱۷].

3- Check Point
4- Fresh-Check

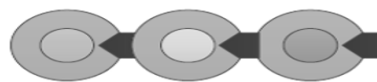
1- Time-Temperature Indicator
2- Timestrip

متداول ترین نوع نشان گرهای دما-زمان، جوهر نقطه ای ترموکرومی^۱ است که قرار گرفتن محصول در دمای مناسب بعد از خروج از یخچال یا میکروویو را نشان می دهد ظروف پلاستیکی ریختن شربت پنکیک^۲ که توسط جوهر نقطه ای ترموکرومی برچسب زده شده اند در بازارهای آمریکا و انگلیس موجود می باشند نشان می دهد که آیا شربت پس از حرارت دیدن در میکروویو در دمای مناسبی قرار داشته است (شکل ۴). نمونه های مشابه را می توان در بسته بندی آب پرتقال با برچسب های مبتنی بر طرح های ترموکروم در قفسه های سوپرمارکت مشاهده نمود که مصرف کننده را از این که آیا آب پرتقال موجود در یخچال به اندازه کافی جهت نوشیدن خنک می باشد مطلع می سازد (زمانی که پنگوئن موجود در برچسب قابل مشاهده باشد) بدان معناست که آب پرتقال دارای دمای مناسبی می باشد [۱۷].



شکل ۴- جوهر نقطه ای ترموکرومی، زمانی که پنگوئن در نشان گر دیده شود، نشان دهنده این است که دما در محدوده صحیحی قرار دارد.

نشان گر مونیتر مارک^۳ نوعی نشان گر زمان-دماست که دارای دو نسخه یا نوع می باشد، نوع اول که برای نمایش نحوه توزیع به کار می رود که در این صورت نشان گری در صنعت می باشد (مصارف صنعتی) و مورد دیگر برچسب هوشمند می باشد که برای اطلاع مصرف کننده در نظر گرفته شده است. در کاربرد نوع اول این شناساگر پاسخی از خود نشان نمی دهد مگر آن که دما از دمایی از پیش تعیین شده تجاوز نماید. این نشان گر براساس یک ماده مشخص که دارای نقطه ذوب انتخاب شده و رنگ آبی می باشد، فعالیت می نماید. یک فیلم نواری (باریکه) فیتیله را از مخزن (مخزن



شکل ۲- Check Point نوعی نشان گر زمان-دما، در صورتی که دایره مرکزی صورتی باشد، محصول نباید استفاده گردد.

فریش چک علاوه بر این که نوعی نشان گر زمان-دماست، نشان گر تازگی نیز می باشد که به عنوان برچسب های خودچسبنده عرضه می شوند که ممکن است در بسته های محصولات فسادپذیر جهت اطمینان بخشیدن به مصرف کننده در محل خرید یا خانه به کار روند تا به مصرف کننده اطلاع دهند که آیا محصول هنوز آن قدر تازه هست که بتوان آن را به کار برد یا نه. دایره مرکزی فعال، در دماهای بالا سریع تر و در دماهای پایین، آهسته تر تیره می شود، بنابراین به آسانی می توان مشاهده نمود که آیا محصول در تاریخ درج شده بر روی بسته برای مصرف مناسب است یا نه. مرکز فعال با گذشت زمان و قرار گرفتن در معرض دما به تدریج تغییر رنگ می دهد و تازگی محصول غذایی را نشان می دهد.

مکانیسم عمل این نشان گر براساس تغییر رنگ یک پلیمر تشکیل شده از مونومرهای دی استیلن می باشد. این نشان گر شامل یک دایره پلیمری احاطه شده توسط یک حلقه چاپی جهت مرجع رنگ است. با گذشت زمان و به آرامی پلیمر شروع به رنگی شدن می نماید و به تدریج تیره می شود. رنگ پلیمر متناسب با نرخ از دست رفتن کیفیت غذا تغییر می نماید؛ بنابراین هر چه دما بیش تر باشد، پلیمر سریع تر تغییر رنگ می دهد. در صورتی که رنگ مرکز تیره تر از حلقه مرجع باشد، ممکن است به مصرف کننده توصیه شود که محصول را مصرف ننماید (شکل ۳) [۱۷].



الف ب پ

شکل ۳- Fresh-Check نوعی نشان گر زمان-دما، الف: حالتی که محصول نباید استفاده گردد، ب: حالتی که محصول باید به زودی مصرف گردد، پ: حالتی که محصول تا مدت ها قابلیت مصرف دارد.

1- ThermoChromic
2- Pancake
3- Monitor Mark™

ماده رنگی) جدا می نماید که در مرحله فعال سازی این فیلم نواری حذف می شود. در این نقطه (مرحله)، فیتیله متخلخل در دریچه (روزنه) به رنگ سفید دیده می شود اما بعد از قرار گرفتن نشان گر در دمایی بالاتر از دمای بحرانی، ماده رنگی ذوب شده و شروع به انتشار در فیتیله متخلخل در دریچه (روزنه) می نماید که یک رنگ آبی ظاهر می گردد (مطابق شکل نشان داده شده). در کاربرد دوم که نشان گر به صورت برچسب هوشمند جهت اطلاع مصرف کننده بوده، رنگ برچسب زمانی که محصول در دمایی بالاتر از دمای توصیه شده جهت نگهداری قرار گیرد یا زمانی که محصول به انتهای عمر ماندگاری خود برسد، تغییر می نماید که اصول این مورد نیز براساس ذوب و انتشار رنگ آبی به روش توصیف شده برای مورد اول می باشد (شکل ۵) [۱۷].



شکل ۵- MonitorMark™ نوع دیگری از نشان گر زمان-دما

انواع شناساگرهای زمان-دما را می توان در یکی از گروه های زیر جا داد:

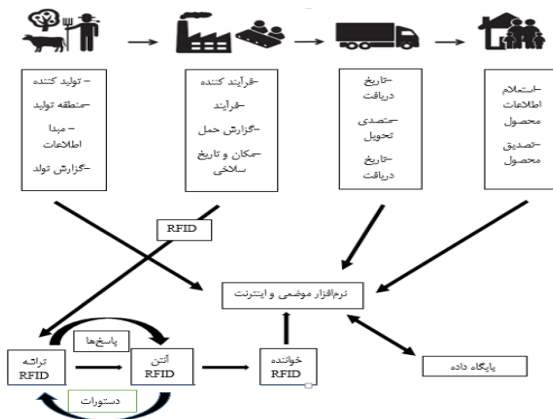
۱- شناساگرهای بصری: شناساگرهای بصری در پاسخ به قرار گرفتن در معرض حرارت تغییر رنگ می دهند و مکانیسم اصلی عملکرد آنها واکنش های آنزیمی، پلیمری

شدن و انتشار شیمیایی می باشد. این شناساگرها برای حفاظت محصول در برابر دمای نامناسب، هنگام حمل و ذخیره سازی به کار می رود و نشانه ای از کیفیت برای تولیدکننده می باشد، زیرا آنها را مطمئن می سازد که کالا در شرایط مطلوب به مصرف کننده ارائه شده است (شکل ۶) [۱۹].

۲- آشکارساز فرکانس رادیویی: علامت RFID یک فرم پیشرفته حامل داده می باشد که برای شناسایی و ردیابی فرآورده به صورت خودکار به کار می رود. در یک سیستم RFID خواننده داده هایی را از سیگنال RFID که از طریق امواج رادیویی منتشر شده، دریافت می کند. سپس داده ها به یک رایانه جهت تجزیه و تحلیل ترکیب منتقل می شود. قطعه RFID شامل یک ریزتراشه کوچک متصل به یک آنتن کوچک می باشد [۲۰].

۲- شناساگرهای سم

به طور کلی مشکل کلیدی شناساگرهای سم، میکروارگانیزم های پاتوژنی می باشند که با غلظت بسیار کم بر روی محصول غذایی وجود دارند (اما با این میزان هم می توانند خطرناک باشند) و در تمام ماده غذایی به صورت همگن توزیع نشده اند. به همین دلیل عملکرد نشان گر سم به میزان بالایی وجود ندارد، بنابراین، یک آشکارساز یا شناساگر بسیار حساس که به طور کامل در تماس با ماده غذایی است، به کار می رود [۸]. فناوری های SIRA یک بارکد اقتصادی توسعه یافته است که سیستم نگرهبانی



شکل ۶- نمودار تصویری پیشنهاد شده برای RFID در زنجیره عرضه محصولات گوشتی

محیطی تغییر می‌یابد. O_2 و CO_2 موجود در بسته می‌توانند برای نظارت بر کیفیت ماده غذایی یا به منظور بررسی اثربخشی جاذب اکسیژن به کار روند. تغییر رنگ بسیاری از شناساگرهای O_2 و CO_2 نتیجه واکنش‌های شیمیایی و یا آنزیمی است. تغییر رنگ، نشان‌دهنده این است که غلظت اکسیژن بیش از حد مجاز در یک بسته‌بندی غذایی پلمپ شده وجود دارد. مشکل عمده این شناساگرها این است که ذخیره‌سازی باید تحت شرایط بی‌هوازی صورت گیرد، زیرا به سرعت در مجاورت هوا خراب می‌شوند (شکل ۸) [۲۲]. حسگرهای نوری اکسیژن به عنوان روش مؤثر و جدید غیرمخرب تشخیص و نمایش اکسیژن اثبات شده‌اند. استفاده از حسگر نوری برگشت‌پذیر با به‌کارگیری یک رنگ فسفرسانس که با استفاده از اکسیژن مولکولی که به خوبی در کاربردهای بسته‌بندی غذایی ثبت شده از بین می‌رود. کاربرد این حسگرها در بسته‌بندی مواد غذایی عبارتند از: پنیر با بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده، پنیرهای با بسته‌بندی خلأ، گوشت گاو با بسته‌بندی خلأ و با اتمسفر اصلاح شده [۲۳]، گوشت‌های پخته شده [۲۴]، جوجه‌های بسته‌بندی شده در شرایط خلأ و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده [۲۵] و آب‌جو بطری‌ای. می‌توان برای ارزیابی سریع و مؤثر سیستم‌های متداول بسته‌بندی غذایی که روش‌های محدود کردن اکسیژن را در خود جا داده‌اند (نظیر بسته‌بندی خلأ یا بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده) پس از بسته‌بندی و متعاقباً در طول نگهداری از حسگرهای نوری اکسیژن استفاده نمود. در حالی که استفاده از بسته‌بندی

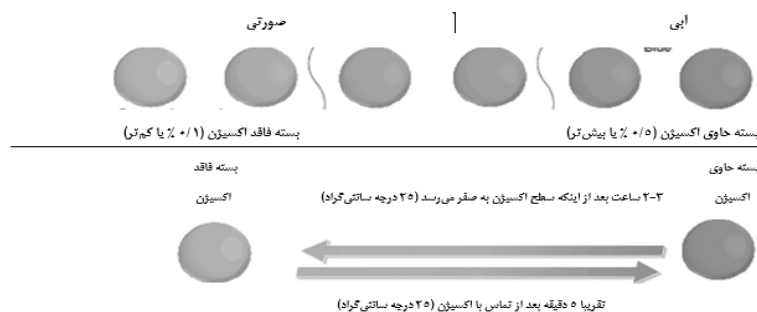
غذا نامیده می‌شود که قادر به تشخیص پاتوژن‌ها در بسته‌بندی گوشت می‌باشد. سیستم شامل دو بارکد است، یک نوع بارکد SIRA و بارکد دیگر یک کد معمولی محصول می‌باشد. آنتی بادی اختصاصی از پاتوژن بر روی غشایی که بخشی از سیستم بارکد را تشکیل می‌دهد قرار می‌گیرد، در صورتی که ماده غذایی در معرض آلودگی توسط گونه‌های سالمونلا، اشریشیاکلی یا لیستریا مونوسیژنوز قرار گیرد، یک نوار تیره موضعی روی غشاء بارکد تشکیل می‌گردد و آن را غیرقابل اسکن می‌سازد (شکل ۷) [۲۱].



شکل ۷- شکل الف، نشان‌دهنده محصولی که آماده مصرف می‌باشد و شکل ب، نشان‌دهنده محصول منقضی شده می‌باشد که این بارکد امکان اسکن شدن را ندارد.

۳- شناساگر پلمپ و نشت

ترکیب گازی موجود در فضای بسته غالباً در نتیجه فعالیت فرآورده غذایی یا نشت، ماهیت بسته یا شرایط



شکل ۸- نمایش مکانیسم عمل نوعی شناساگر پلمپ (نشت)، رنگ صورتی نشان‌گر، بیان‌کننده عدم حضور اکسیژن و رنگ آبی آن، بیان‌گر حضور اکسیژن می‌باشد.

1- Listeria Monocytogenes

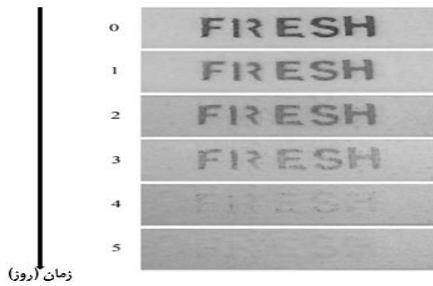
با اتمسفر اصلاح شده بدون شک می تواند عمر ماندگاری محصولات نانوایی را گسترش و افزایش دهد، عمر ماندگاری توسط سیستم های بسته بندی فعال و هوشمند می تواند بیش تر افزایش یابد، به عنوان مثال، استفاده از انتشار دهنده های اتانول جهت کاهش یا کنترل رشد موجودات قارچی.

۴- شناساگرهای تازگی

شناساگر طراوت و تازگی نشان دهنده فساد یا از دست دادن تازگی فرآورده های بسته بندی شده می باشد (جدول ۱). شناساگرهای تازگی به طور مستقیم اطلاعاتی را در مورد کیفیت ناشی از رشد میکروبی یا تغییرات شیمیایی در یک

جدول ۱- بررسی و مقایسه فناوری های مختلف کنترل کیفیت گوشت [۳۰]

معايب	مزایا	حسگر / شاخص
هیچ اطلاعاتی در رابطه با کیفیت غذا در اختیار قرار نمی دهد، قبل از استفاده باید مشروط گردد، عدم تماس با غذا.	به راحتی به صورت یکپارچه در بسته بندی در می آید، با چشم غیر مسلح قادر به تشخیص می باشد، ارزان و اقتصادی است، می تواند توسط دستگاه های الکترونیکی اندازه گیری شود.	شاخص زمان- دما
هیچ اطلاعاتی در رابطه با غلظت گاز در اختیار قرار نمی دهد، داخل بسته متصل می گردد و رنگ شیمیایی آن ممکن است بر کیفیت غذا اثر نامطلوب داشته باشد.	می تواند به صورت یکپارچه در فیلم بسته بندی در آید، با چشم غیر مسلح قادر به تشخیص می باشد، ارزان و اقتصادی است، می تواند توسط دستگاه های الکترونیکی اندازه گیری شود.	شاخص گازی
نتایج منفی، اتصال به داخل بسته که ممکن است بر کیفیت غذا دخالت داشته باشد.	حساس است، می تواند توسط چشم غیر مسلح مشخص گردد، ارزان و اقتصادی است، توسط دستگاه های الکترونیکی قابل اندازه گیری می باشد.	شاخص تازگی
قادر به تشخیص غلظت کم آلودگی نمی باشد، ممکن است دارای اثر شیمیایی بر غذا باشد.	می تواند به صورت یکپارچه در فیلم بسته بندی در آید، با چشم غیر مسلح قادر به تشخیص می باشد، ارزان و اقتصادی است، توسط دستگاه های الکترونیکی قابل اندازه گیری می باشد. قادر به تشخیص میکروب ها و پاتوژن هاست.	حس گرهای زیستی (بیوسنسورها)
ندارد.	حساس هستند، می توانند به صورت یکپارچه در فیلم بسته بندی در آیند، با چشم غیر مسلح و وسایل نوری قادر به تشخیص می باشند، توسط گرما، الکترومغناطیس و تحرک تحت تاثیر قرار نمی گیرد.	حس گرهای گازی
برای بسته بندی و اهداف تجاری گران است.	دقت بالا به دلیل استفاده از یک دسته حس گرها، قابلیت تشخیص انواع مختلفی از ترکیبات فرار حساس، غلظت اکسیژن می تواند توسط وسیله نوری چک شود، می تواند در فضای بالای قوطی (headspace) یا در مایع استفاده شود، سریع و مورد اطمینان می باشد.	بینی الکتریکی
توسط چشم غیر مسلح قابل تشخیص نمی باشد.	دقیق، می تواند با بارکدها یکپارچه گردد، تکنولوژی آن بی سیم می باشد، خواندن چندین محصول بدون تاخیر، سریع.	حس گرهای بر پایه فلورسانس (اکسیژن) برچسب های RFID



شکل ۹- محو شدن رنگ در شناساگر زمان-دما رنگ‌سنجی در یک زمان مشخص در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد که نشان‌دهنده تازگی محصول می‌باشد، به گونه‌ای که با کاهش تازگی نوشته محو می‌گردد.

۵- شناساگر رسیدگی

پس از برداشت میوه از باغات چالش بزرگ، عرضه میوه در شرایط عالی به بازار می‌باشد تا خواسته‌های مصرف‌کنندگان و نیاز به عرضه در تمام سال تحقق یابد. در گذشته میوه‌های شل و اغلب نرسیده در حالی که در ظروف جمع‌آوری قرار داشتند فروخته می‌شدند که به راحتی امکان ضرب دیدن و لهیدگی آن‌ها وجود داشت که این علایم میزان رسیدگی را تعیین می‌نمود. سپس میوه‌های آماده مصرف (خوردن) همراه با پیش بسته‌بندی وارد بازار شدند، اما در این روش نیز هنوز امکان تعیین رسیدگی میوه دشوار می‌باشد. از آنجایی که دانستن این موضوع که چه زمانی میوه به حالت مطلوب از رسیدگی رسیده است، دشوار است، این شرایط تبدیل به یک مانع جهت خرید مصرف‌کنندگان می‌باشد. نوعی از نشانگر تازگی^۴ [۱۷] این مشکل را با استفاده از یک برچسب حسگر که با آروماهای آزاد شده توسط میوه به هنگام رسیدن واکنش می‌دهد، برطرف می‌نماید. این حسگر در ابتدا قرمز است و به تدریج به نارنجی و در نهایت زرد تغییر می‌یابد. با مشاهده رنگ حسگر، مصرف‌کنندگان میوه‌هایی را که در حالت رسیدگی مطلوب قرار دارند، انتخاب می‌کنند. این حسگرها به طور قابل توجهی خسارت و زیان وارده به مصرف‌کنندگان را کاهش می‌دهند زیرا آن‌ها قبل از خرید

4- Senseripe

محصول غذایی ارائه می‌دهند. کیفیت میکروبیولوژیکی به وسیله واکنش‌هایی که بین شناساگرها درون بسته و متابولیسم‌های رشد میکروبی صورت می‌گیرد، تعیین می‌شود. تشخیص شیمیایی فساد مواد غذایی بر مبنای شناساگرهای تازگی فراهم می‌شود، که براساس متابولیت‌های هدف که به زوال میکروبیولوژیکی مرتبط هستند، توسعه می‌یابند. انواع مختلفی از شناساگرهای تازگی وجود دارد، که اکثر آن‌ها بر تغییر رنگ شناساگر در پاسخ به متابولیت‌های میکروبی تولید شده هنگام فساد مبتنی هستند. عملکرد Fresh-Check TTI براساس یک واکنش پلیمری شدن می‌باشد که نتیجه آن یک افزایش رنگ در پلیمر می‌باشد. پاسخ این شناساگر به صورت تغییر رنگ قابل اندازه‌گیری است. رنگ از مرکز "فعال" این شناساگر با رنگ مرجع مقایسه می‌شود [۲۶]. این شناساگرها نشان‌دهنده مکانیسم متفاوت متابولیت‌های فراری از قبیل دی‌استیل، آمین‌ها، دی‌اکسیدکربن، آمونیاک و هیدروژن سولفید هستند که در اثر ماندن تولید شده‌اند [۲۷]. تغییرات در غلظت هیدروژن سولفید یا اسیدهای آلی مانند N- بوتیرات، L- لاکتیک اسید، D- لاکتات و استیک اسید هنگام ذخیره‌سازی به عنوان شناساگرهای ویژه‌ای برای فرآورده‌های گوشتی، میوه‌ها و سبزیجات به کار می‌روند. براساس تغییر رنگ شناساگرها که به علت تغییر در pH می‌باشد از آن‌ها به عنوان شناساگرهای متابولیتی میکروبی و ... به صورت گسترده استفاده می‌شود [۲۸]. ترکیبات تشکیل شده طی رشد میکروبی (دی‌اکسیدکربن و هیدروژن سولفید) و آمین‌های بیوژنیک تازگی گوشت و ماهی را نشان می‌دهند. آمین‌های بیوژنیک (پوترسین، کاداورین^۲، هیستامین^۳ و ...) در اثر تخریب پروتئین مواد غذایی حاوی آمین تشکیل می‌شوند. بنابراین آمین‌های بیوژنیک شاخصی برای تخریب مواد غذایی و در واقع یک شناساگر غیرمستقیم برای طراوت گوشت و ماهی به شمار می‌روند (شکل ۹) [۲۸].

1- Putrescine
2- Cadaverine
3- Histamine

میوه را بررسی می کنند. رسیدگی اضافی می تواند موجب سطوح بالایی از آسیب دیدگی در فروشگاه شود. این حسگر قبلاً برای گلابی به کار رفته است، همچنین این توانایی را دارا می باشد که به عنوان نشانگر رسیدن برای کیوی، خربزه، انبه، آووکادو و میوه ها استفاده شود [۲۹].

۶- مزایا و چالش های توسعه بسته بندی هوشمند با استفاده از نانومواد

مواد بسته بندی که در تماس با مواد غذایی قرار دارند، نباید ترکیبات را در مقادیری که برای سلامتی انسان خطر آفرین هستند و تغییرات غیر قابل قبولی را در ترکیب و ویژگی های ارگانولپتیک ایجاد می نمایند به غذا انتقال دهند. هر نانوماده خصوصیت منحصر به فردی برای تشخیص محرک های مختلف بیرونی دارد؛ به عنوان مثال نانو ذرات طلا به طور عمده در ارزیابی زیستی بصری به کار می رود که ناشی از زیست سازگاری عالی و بی نظیر آنهاست، در حالی که نانو ذرات نقره معمولاً به دلیل سنجش انتخابی مواد شیمیایی نظیر: ترکیبات گوگرد استفاده می شوند. اگرچه نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید فقط یک رنگ سفید مات به نمایش می گذارند، سطح ویژه بالای آنها باعث می شود که بتوانند در توسعه نشانگرهای pH و O₂ مورد استفاده قرار گیرند (شکل ۱۰).



فیل از خرید سنسور را بخوانید



شکل ۱۰- نمایش تصویری نشانگر Senseripe (اولین برچسب شناساگر رسیدگی هوشمند در جهان)، در صورتی که حسگر به رنگ قرمز باشد میوه ترد، در صورتی که نارنجی باشد میوه داخل بسته سفت و در صورتی که رنگ حسگر زرد باشد میوه آبدار می باشد.

این خصوصیات باعث گردیده که اعتقاد بر اینکه نانومواد، مواد بسیار امیدبخش برای نشان دادن کیفیت محصولات بسته بندی شده هستند، وجود داشته باشد. علاوه بر این، استفاده از نانومواد هوشمند در بسته بندی مواد غذایی ممکن است منجر به ایجاد مواد چند منظوره شود، که می تواند برای مصرف کنندگان مزایایی نظیر: حفظ و نگهداری، بازاریابی و نشان دادن کیفیت محصول را به همراه داشته باشد. به عنوان مثال، نانو ذرات نقره به دلیل خاصیت ضد میکروبی علیه پاتوژن های غذایی، قابلیت خوبی در استفاده به صورت یک پد نشانگر دارند. با وجود مزایای بالقوه و خواص نوری منحصر به فرد، موانع و چالش های بی شماری برای استفاده از نانومواد به عنوان نشانگر وجود دارد. برخی از انواع نشانگرها نیاز به استفاده در داخل بسته بندی دارند یا مستقیماً در تماس با مواد غذایی می باشند. بنابراین، استفاده از نشانگرها باید با قوانین مربوط به ایمنی مواد غذایی مطابقت داشته باشد. برخی مطالعات نه تنها مهاجرت ناچیز رنگ از برچسب نشانگر به مواد غذایی را نشان می دهند، بلکه مقادیر ناچیز از مهاجرت نانو ذرات در تماس با مواد غذایی به داخل غذا را نیز گزارش می کنند. مطالعات چندانی در رابطه با همبستگی میان مهاجرت و سمیت نشانگرهای بر پایه نانومواد و غذاها انجام نگرفته است تا بتوان به تنظیم مقررات سلامتی پرداخت؛ پس باید به حضور نشانگر در بسته بندی ماده غذایی که روانه بازار می گردد، اشاره نمود.

یک نیاز اصلی برای آماده سازی موفقیت آمیز شناساگرهای بر پایه نانومواد، یافتن شرایط و روش های ساخت مناسب برای ایجاد پدهای شناساگر است؛ در حالی که خصوصیات بصری مطلوب حفظ گردد. نانو ذرات مس نسبت به سایر فلزات ارزان تر است. با این حال، تهیه و استفاده از نانو ذرات مس به دلیل طبیعت اکسید شونده گی آسان چندان مورد توجه قرار نگرفته است.

۷- خلاصه و چشم‌انداز آینده

توسعه بسته‌بندی در پاسخ به آسودگی خاطر و کاهش نگرانی مصرف‌کنندگان در رابطه با ایمنی مواد غذایی همچنان ادامه دارد. عملکرد اصلی بسته‌بندی از بازاریابی و توزیع در گذشته به سنجش و برقراری ارتباط جهت تأمین نیازهای صنعت غذا و خریداران تغییر یافته است. استفاده از بسته‌بندی هوشمند با استفاده از یک دستگاه یا برجسب هوشمند که به صورت پویا کیفیت محصول بسته‌بندی شده یا محیط را منعکس می‌کند، مورد علاقه و توجه قرار گرفته است که این روش جایگزین روش تاریخ انقضای سستی می‌باشد. در بین انواع مختلف دستگاه حس‌گر، نشان‌گرهای بصری هم برای تولیدکننده و هم مصرف‌کننده عملکرد نسبتاً ساده‌تری دارند. بنابراین، تقاضای بسته‌بندی هوشمند با نشان‌گر بصری به ویژه در صنعت غذا به طور چشمگیری افزایش یافته است. اخیراً، مطالعات متعددی گزارش نموده‌اند که استفاده از نانومواد به عنوان یک نشان‌گر بصری امیدوارکننده، پتانسیل قابل توجهی را از خود نشان می‌دهند. به عنوان مثال، نانوذرات فلزی رنگ قوی را به نمایش می‌گذارند که قابل تغییر است و نشان‌دهنده وجود یا عدم وجود مواد شیمیایی در داخل بسته‌بندی می‌باشد. نانوذرات با مساحت سطح نسبتاً زیاد، اثر و حساسیت بیشتری را برای سیستم‌های رنگ‌سنجی انجام می‌دهند. آن‌ها می‌توانند مواد شیمیایی خاص را در غلظت‌های خیلی کم در مدت زمان کوتاهی تشخیص دهند. خصوصیات بصری برخی نانوذرات فلزی به دلیل حساسیت به اکسیژن و اکسیداسیون راحت آن‌ها می‌تواند کاهش یابد. باید تلاش‌هایی در مسیر توسعه روش‌های پیشرفته جهت تولید نانوذرات کلونیدی در برجسب نشان‌گر انجام گیرد. برای گسترش کاربردهای نانوذرات در دنیای واقعی باید این چالش‌ها برطرف گردند. مسئله مهم دیگر این است که اکثر سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند نیازمند تماس مستقیم مواد غذایی با حس‌گر هستند و مواد حس‌گر ممکن است به مواد غذایی مهاجرت کنند. در این مهاجرت‌ها باید نوع ماده، مقدار ماده و تأثیرات احتمالی

ماده بر سلامتی مشخص شود. علاوه بر این، هزینه بسته‌بندی هوشمند استفاده تجاری آن را محدود می‌کند. اکثر سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند، هزینه‌ای را به بسته‌بندی اضافه می‌نمایند، بنابراین نوآوری‌های بسته‌بندی باید یک نتیجه نهایی مفید داشته باشند که این هزینه مازاد جبران گردد.

۸- نتیجه‌گیری

پیشرفت فعلی بسته‌بندی هوشمند به توسعه فناوری و مواد حس‌گر متکی است که به نوعی شرایط محصول را از نظر کیفیت، ایمنی، ماندگاری و قابلیت استفاده از آن رصد می‌نماید. بنابراین بسته‌بندی هوشمند جهت تقویت فناوری بسته‌بندی، آینده‌ای روشن در پیش دارد و ارزش و مزایای فراوانی را در زنجیره تأمین بسته‌بندی مواد غذایی فراهم می‌نماید. در بسته‌بندی هوشمند از یک سنسور با قابلیت تولید انبوه، کم هزینه نسبت به ارزش محصول غذایی، سهولت در استفاده، دقیق، قابل اعتماد و ساده استفاده می‌شود. به کارگیری سنسور در بسته‌بندی مواد غذایی باعث پیشرفت‌های زیادی در زمینه بسته‌بندی هوشمند شده است. این پیشرفت‌ها منجر به بهبود کیفیت، ایمنی، ماندگاری و قابلیت استفاده از مواد غذایی شده است. در حالی که پیش‌تر نوآوری‌ها در بسته‌بندی نتیجه گرایش‌های جهانی و ترجیحات مصرف‌کنندگان بوده است، اما برخی از نوآوری‌ها نیز ناشی از پیشرفت‌های غیرمنتظره مانند ظهور فناوری‌های نانو حس‌گر و فناوری سنجش مواد با ابعاد نانومتر است. بدون شک، توسعه بسته‌بندی هوشمند پیش‌تر بر ایمنی مواد غذایی (تشخیص رشد میکروبی، اکسیداسیون)، کیفیت مواد غذایی (تشخیص طعم و عطرها، فرار و معطر)، ماندگاری، ردیابی، تأیید سلامتی محصول و پایداری محصولات غذایی متمرکز خواهد بود.

- technology. Instrumentation and sensors for the food industry, 673-691.
11. Biji, K. B., Ravishankar, C. N., Mohan, C. O., & Gopal, T. S. (2015). **Smart packaging systems for food applications: a review**. Journal of food science and technology, 52(10), 6125-6135.
 12. Pospiskova, K., Safarik, I., Sebela, M., & Kuncova, G. (2013). **Magnetic particles-based biosensor for biogenic amines using an optical oxygen sensor as a transducer**. Microchimica Acta, 180(3-4), 311-318.
 13. Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., & De Meulenaer, B. (2014). **Intelligent food packaging: The next generation**. Trends in food science & technology, 39(1), 47-62.
 14. Nachay, K. (2007). **Analyzing nanotechnology**. Food technology (Chicago), 61(1), 34-36.
 15. Kuswandi, B., Oktaviana, R., Abdullah, A., & Heng, L. Y. (2014). **A novel on-package sticker sensor based on methyl red for real-time monitoring of broiler chicken cut freshness**. Packaging technology and science, 27(1), 69-81.
 16. Taoukis, P. S. (2008). **Application of time-temperature integrators for monitoring and management of perishable product quality in the cold chain**. Smart packaging technologies for fast moving consumer goods, 61-74.
 17. Kuswandi, B., Wicaksono, Y., Abdullah, A., Heng, L. Y., & Ahmad, M. (2011). **Smart packaging: sensors for monitoring of food quality and safety**. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 5(3-4), 137-146.
 18. Otles, S., & Yalcin, B. (2008). **Intelligent food packaging**. LogForum 4, 4, 3.
 19. Hogan, S. A., & Kerry, J. P. (2008). **Smart packaging of meat and poultry products**. Smart packaging technologies for fast moving consumer goods, 33-54.
 20. Prasad, P., & Kochhar, A. (2014). **Active packaging in food industry: a review**. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 8(5), 1-7.
 21. Mohebi, E., & Marquez, L. (2015). **Intelligent packaging in meat industry: An overview of existing**
 1. Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz, J. (2005). **Intelligent packaging: concepts and applications**. Journal of food science, 70(1), R1-R10.
 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 in Food Science & Technology, 19, S103-S112.
 3. Gontard, N. (2000). **Panorama des emballages alimentaires actifs**. Les emballages actifs, coordonnatrice Gontard N., Editions TEC & DOC, Londres.
 4. Restuccia, D., Spizzirri, U. G., Parisi, O. I., Cirillo, G., Curcio, M., Iemma, F., ... & Picci, N. (2010). **New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications**. Food control, 21(11), 1425-1435.
 5. Pereira de Abreu, D. A., Cruz, J. M., & Paseiro Losada, P. (2012). **Active and intelligent packaging for the food industry**. Food Reviews International, 28(2), 146-187.
 6. Arvanitoyannis, I. S., & Stratakos, A. C. (2012). **Application of modified atmosphere packaging and active/smart technologies to red meat and poultry: a review**. Food and Bioprocess Technology, 5(5), 1423-1446.
 7. Pacquit, A., Frisby, J., Diamond, D., Lau, K. T., Farrell, A., Quilty, B., & Diamond, D. (2007). **Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage**. Food chemistry, 102(2), 466-470.
 8. Lindberg Madsen, H., & Bertelsen, G. (1995). **Spices as antioxidants**. Trends in Food Science & Technology, 6(8), 271-74.
 9. European project FAIR R & D program (CT98-4170) ACTIPAK. (2002). **Evaluating safety, effectiveness, economic-environmental impact and consumer acceptance of active and intelligent packaging**. TNO Nutrition. Food Research.
 10. Kress-Rogers, E. (1998). **Terms in instrumentation and sensors**

A. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7(4), 809-812.

آدرس نویسنده

تبریز- بلوار ۲۹ بهمن- خیابان امام خمینی-
دانشگاه تبریز- دانشکده کشاورزی- گروه
آموزشی صنایع غذایی- کد پستی ۵۱۶۶۶-۱۶۴۷۱

مروری بر انواع حسگرها و کاربرد آنها در طراحی بسته بندی های هوشمند جهت ارزیابی کیفیت مواد غذایی

- solutions.** Journal of food science and technology, 52(7), 3947-3964.
22. Welt, B. A., Sage, D. S., & Berger, K. L. (2003). **Performance specification of time-temperature integrators designed to protect against botulism in refrigerated fresh foods.** Journal of food science, 68(1), 2-9.
23. Smiddy, M., Fitzgerald, M., Kerry, J. P., Papkovsky, D. B., O'sullivan, C. K., & Guilbault, G. G. (2002). **Use of oxygen sensors to non-destructively measure the oxygen content in modified atmosphere and vacuum packed beef: impact of oxygen content on lipid oxidation.** Meat science, 61(3), 285-290.
24. Smiddy, M., Papkovsky, D., & Kerry, J. (2002). **Evaluation of oxygen content in commercial modified atmosphere packs (MAP) of processed cooked meats.** Food Research International, 35(6), 571-575.
25. Smiddy, M., Papkovskaia, N., Papkovsky, D. B., & Kerry, J. P. (2002). **Use of oxygen sensors for the non-destructive measurement of the oxygen content in modified atmosphere and vacuum packs of cooked chicken patties; impact of oxygen content on lipid oxidation.** Food Research International, 35(6), 577-584.
26. Huang, C. S., Yeh, C. Y., Yuan, C. H., Huang, B. R., & Hsiao, C. H. (2009). **The study of a carbon nanotube O2 sensor by field emission treatment.** Diamond and related materials, 18(2-3), 461-464.
27. Taoukis, P. S., & Labuza, T. P. (1989). **Applicability of time-temperature indicators as shelf life monitors of food products.** Journal of Food Science, 54(4), 783-788.
28. Smolander, M., Hurme, E., Latva-Kala, K., Luoma, T., Alakomi, H. L., & Ahvenainen, R. (2002). **Myoglobin-based indicators for the evaluation of freshness of unmarinated broiler cuts.** Innovative Food Science & Emerging Technologies, 3(3), 279-288.
29. Wallach, D. F. H., & Novikov, A., (1998). **Methods and devices for detecting spoilage in food products.** PCT International patent application WO 98y20337. Biodetect Corporation.
30. Singh, B. P., Shukla, V., Lalawmpuii, H., & Kumar, S., (2018). **Indicator sensors for monitoring meat quality:**