مروری بر بسته بندی هوشمند و کاربرد آن در صنایع غذایی

مروا حسینی*[۱]، پیمان رجایی[۲]

دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲۲ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۲

چکیده

امروزه بسته بندی مواد غذایی گذشته از حفظ فیزیکی مواد غذایی در برابر آلودگی‌ها و راحتی توزیع، می‌تواند در راستای رصد ماده غذایی از کارخانه تا زمانی که به دست مصرف کننده می‌رسد مورد استفاده قرار گیرد. بسته بندی هوشمند یک دستگاه یا برچسب هوشمند است که می‌تواند کیفیت محصول را در طول حمل و نقل و انبارداری رصد نماید و سلامت و یا فساد آن را به مصرف کننده اطلاع دهد. از انواع بسته بندی‌های هوشمند می‌توان به حسگر و شناساگرها اشاره نمود که با رصد مداوم ماده غذایی بسته بندی شده انتظار مصرف کنندگان برای مصرف ماده غذایی با کیفیت را بر طرف می‌نماید. بسته بندی هوشمند می‌تواند با عملکردهای هوشمندانه مانند سنجش، تشخیص، ردیابی، ثبت و برقراری ارتباط وضعیت ایمنی و کیفیت محصول را کنترل کند و در صورت فساد یا وجود آلودگی در محصول آن را به مصرف کننده اطلاع دهد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای تاریخ انقضا باشد.

کلمات کلیدی: نشانگر، حسگر،کیفیت مواد غذایی ،فساد میکروبی، RFID

مقدمه

تمایل مصرف کنندگان به استفاده از غذای سالم منجر به نوآوری در فناوری بسته بندی شده است که باعث ارائه محصولات ایمن و با کیفیت می‌شود. سیستم هوشمند وضعیت را کنترل و اطلاعاتی در مورد کیفیت مواد غذایی بسته بندی شده در حین حمل و نقل و نگهداری می‌دهد که باعث ماندگاری بهتر و افزایش تقاضا شده است. سیستم بسته بندی هوشمند و فعال بر تعامل مفید بین ماده غذیی و بسته بندی استوار است.(Biji et al.,2015; Realini,et al.,2014). بسته بندی هوشمند به بسته ای اطلاق می شود که می تواند تغییرات محیطی را حس کند و به نوبه خود تغییرات را به کاربران اطلاع دهد. بسته بندی که به شرایط محیطی واکنش می دهد و این عمل موجب می شود خریدار از سلامت یا فساد محصول آگاهی یابد، اما کاربرد این بسته ها تنها محدود به این موارد نیستند، بلکه در زمان ورود و خروج به انبار و دوران انبارداری می توانند کمک شایانی به تولید کننده و فروشنده کنند (Biji et al., 2015; Young et al.,2020). محققان تلاش بسیاری برای استفاده از تکنولوژی های نوین در بسته‌بندی انجام داده‌اند تا از این طریق بتوان محصول را کنترل و صدمات یا فساد محصول را به تعویق انداخت (Biji et al., 2015). از دلایل استقبال گسترده آنها می‌توان به تاخیر انداختن فساد ماده غذایی و علاقه مشتریان به استفاده ازمواد غذایی سالم و تازه در بسته بندی مناسب دانست. بسته بندی هوشمند را در یک تعریف ساده می توان بسته ای دانست که به شرایط محیطی واکنش می دهد و این عمل

[۱] دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین-پیشوا ،دانشگاه آزاد اسلامی ، ورامین ، ایران

[۲] استادیار گروه صنایع غذایی ، واحد واحد ورامین-پیشوا ، دانشگاه آزاد اسلامی ، ورامین ، ایران

*مسئول مکاتبه: morva1989@gmail.com

موجب می شود خریدار از سلامت یا فساد محصول بسته بندی آگاهی یابد اما کاربرد این بسته ها تنها محدود به این موارد نیستند، بلکه در زمان ورود و خروج به انبار و دوران انبارداری می‌توانند کمک شایانی به تولید کننده و فروشنده کنند (Biji et al., 2015; Young et al., 2020; Müller et al.,2019). بسته بندی فعال، شامل مکانیزم هایی برای بهبود پایداری مواد غذایی است. مانند حذف عوامل مضر یا رهاسازی اجزایی که پایداری غذا را افزایش می دهد. برخلاف آن ها، فناوری سیستم های بسته بندی هوشمند معمولاً به طور مستقیم ماندگاری مواد غذایی را افزایش نمی دهند، بلکه اطلاعات مربوط به کیفیت مواد غذایی را به ذینفعان زنجیره تامین مواد غذایی منتقل می کنند (Drago et al.,2020). بسته بندی هوشمند[1] را می توان به عنوان یک سیستم بسته بندی که حس می کند و ارتباط برقرار می کند، تعریف کرد؛ در حالی که بسته بندی فرا هوشمند[2] به عنوان سیستمی که دارای قابلیت های هر دو نوع بسته بندی هوشمند و فعال است، تعریف می شود. در تعریف دیگری بسته بندی هوشمند باعث نظارت بر شرایط غذاهای بسته بندی شده برای ارائه اطلاعات در مورد کیفیت مواد غذایی در حین نگهداری و حمل و نقل است. بسته بندی هوشمند را می توان به عنوان یک سیستم بسته بندی که قادر به انجام عملکردهای هوشمند مانند سنجش، تشخیص، ردیابی، ثبت و برقراری ارتباط برای دست یابی به تسهیل تصمیم گیری برای افزایش عمر مفید، بهبود کیفیت، افزایش ایمنی، ارائه اطلاعات و هشدار در مورد مشکلات احتمالی دانست (BArskA et al., 2017). یک بسته بندی در صورتی می تواند هوشمند باشد که توانایی ردیابی محصول، حس کردن محیط داخل یا خارج بسته بندی و برقراری ارتباط با انسان را داشته باشد. به عنوان مثال، می تواند وضعیت ایمنی و کیفیت یک محصول غذایی را کنترل کند و به مصرف کننده یا تولید کننده مواد غذایی هشدار اولیه بدهد. بسته بندی هوشمند را می توان به عنوان یک تکنیک بسته بندی حاوی یک نشانگر خارجی یا داخلی برای بیان کیفیت و تاریخچه محصول تعریف کرد(Drago et al., 2020; Biji et al., 2015).

تقسیم بندی بسته بندی هوشمند در مواد غذایی

بسته بندی هوشمند اصطلاحی است که برای نشان دادن بسته بندی با قابلیت های ویژه ای استفاده می شود که از جمله این قابلیت ها این است که می توانند بر وضعیت مواد غذایی بسته بندی شده یا محیط مواد غذایی داخل بسته بندی را که شامل دما، pH و غیره می شود نظارت کنند و اطلاعات مربوط به آن ها را در اختیار کاربر قرار دهند .سیستم های هوشمند را می توان به سه دسته طبقه بندی کرد. حسگرها، نشانگرها و سیستم های شناسایی فرکانس رادیویی(RFID) که مهمترین نشانگرها شامل نشانگر زمان- دما، اکسیژن، دی اکسیدکربن، تازگی و نشانگر نشت هستند و از انواع حسگر می‌توان به حسگر شیمیایی، حسگر زیستی و حسگرهای اکسیژن مبتنی بر فلورسانس اشاره کرد.از مهمترین کاربردهای فناوری بسته بندی هوشمند مواد غذایی می‌توان به نشانگر نشت برای تشخیص هرگونه شکستگی و نشتی در بسته بندی استفاده کرد و از نشانگرهای کیفیت و ایمنی محصولات از نشانگرهای زمان -دما(TTIs) ، رشد میکروبی، دستگاه های سنجش گاز، تشخیص پاتوژن، دستگاه های ردیابی) ، برچسب های شناسایی فرکانس رادیویی(RFID) برای اصالت محصول و جلوگیری از جعل و سرقت استفاده کرد.

نشانگرها در بسته بندی هوشمند

نشانگر را می‌توان به عنوان ماده‌ای تعریف کرد که وجود یا عدم وجود ترکیب دیگر یا سرعت واکنش بین دو یا تعداد بیشتری ترکیب را به واسطه تغییر یک ویژگی مانند رنگ نشان می‌دهد(Drago et al., 2020).نشانگرها برای ارائه اطلاعات و تغییرات در یک

[1] Intelligent packaging
[2] Smart Packaging

محصول غذایی یا تغییر شرایط آن مانند دما وpH با مشاهده تغییرات بصری است و بر خلاف حسگرها دارای اجزای گیرنده و مبدل نمی‌باشند (Sohail et al., 2018) .

نشانگر تازگی [1]

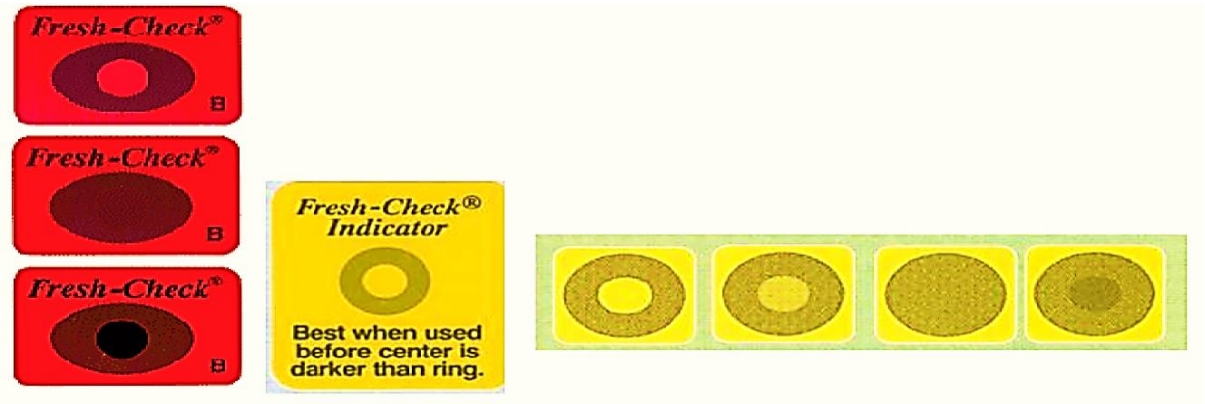
نشانگرهای تازگی امکان نظارت بر کیفیت غذا را فراهم می‌کنند. این نشانگرها با تعیین تغییرات شیمیایی ناشی از رشد میکروبی در محصول، اطلاعاتی در مورد کیفیت محصول ارائه می دهند. تغییر در غلظت متابولیت‌ها مانند گلوکز، اسیدهای آلی، دی‌اکسیدکربن، آمین‌های بیولوژیک، ترکیبات نیتروژن فرار و مشتقات گوگردی شاخص‌های رشد میکروبی هستند. تغییرات pH منجر به تغییرات قابل مشاهده در محصول می‌شود. متابولیت های رشد میکروبی با شناساگرهای ادغام شده در داخل بسته بندی مواد غذایی واکنش نشان می دهند تا اطلاعات بصری در مورد کیفیت محصول ارائه دهند(Drago et al., 2020). برچسب های نشانگر رنگ سنجی با نام تجاری ®FreshTag توسط شرکت COX Technologies ایالات متحده راه اندازی شده که نشان دهنده تولید آمین های فرار توسط ماهی و محصولات دریایی ذخیره شده، با استفاده از تغییر رنگ است. همچنین مطالعات یوشیدا و همکارانش منجر به تولید یک نشانگر pH مبتنی بر کیتوزان شد که برای تعیین حضور متابولیت های ناشی از رشد میکروبی مانند اسید لاکتیک و اسید استیک استفاده شد. نشانگر هایی برای تعیین دی اکسید کربن تولید شده در طی فساد محصولات گوشتی نیز توسعه داده شده و محلول های آبی کیتوزان یا ایزوله های پروتئین آب پنیر استفاده شده که در پاسخ به حضور دی اکسید کربن، شفافیت محصول را تغییر می‌دهد. این نشانگر ها دارای قابلیت هشدار مسمومیت ناشی از فعالیت گونه های سودوموناس هستند(Biji et al., 2015; Sohail et al., 2018; Drago)

نشانگر زمان- دما [2]

نشانگر زمان دما می‌تواند تغییر وابسته به دما را به راحتی نشان دهد و ساده و ارزان است(Koutsoumanis et al.,2015). عدم کنترل دما در طول چرخه فرآوری، توزیع و انبارداری سلامت کالا را به خطر می اندازد و محصول قبل از اتمام تاریخ مصرف درج شده روی آن فاسد می شود. لذا نظارت و مدیریت دما در چرخه توزیع فرآورده از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این نشانگر برچسبی است که روی کالا نصب و تاریخچه دما- زمان را به صورت پاسخ دیداری و غیرقابل برگشت نشان می دهد (Park et al., 2015). پاسخ های قابل رویت نشانگرهای زمان – دما به مصرف کننده کمک می کند تا کیفیت و تاریخ مصرف واقعی محصول را ساده تر تشخیص دهد و احتمال فساد آن را پیش بینی کند. نشانگرهای زمان-دما انواع مختلفی دارند که اصول عملکردی آن ها بر مبنای واکنش آنزیمی، میکروبی، مکانیسم انتشار و پلیمریزاسیون حالت جامد است. انتخاب مناسب نشانگر زمان-دما یک ضرورت است(Biji et al., 2015; Mai et al., 2011). دما مهم‌ترین عامل محیطی است که فساد محصولات غذایی را تعیین می کند. دمایی که در آن محصول غذایی تمایل به فاسد شدن دارد به عنوان دمای آستانه شناخته می شود. این نشانگرها، برچسب هایی هستند که نشانه‌های بصری از سوء استفاده از دما در محصولات فسادپذیر وابسته به دما، مانند غذاهای منجمد، در طول توزیع و نگهداری از محل تولید تا زمان مصرف ارائه می‌دهند(Wang et al., 2015). سه نوع اصلی از TTI در بازار موجود است که شامل نشانگرهای دمای بحرانی، نشانگرهای تاریخچه جزئی و نشانگرهای تاریخچه کامل می‌شود. نشانگرهای TTI متصل به سطح بسته بندی برای یکپارچه سازی تاریخچه زمان-دمای تجمعی بسته بندی در کل زنجیره توزیع طراحی شده اند. بنابراین، اطلاعات غیرمستقیم در مورد کیفیت محصول را ارائه می دهند. نشانگرهای دما-زمانی که به صورت تجاری در دسترس هستند، بر اساس مکانیسم واکنش

[1] Freshness Indicators
[2] Time temperature indicator (TTI)

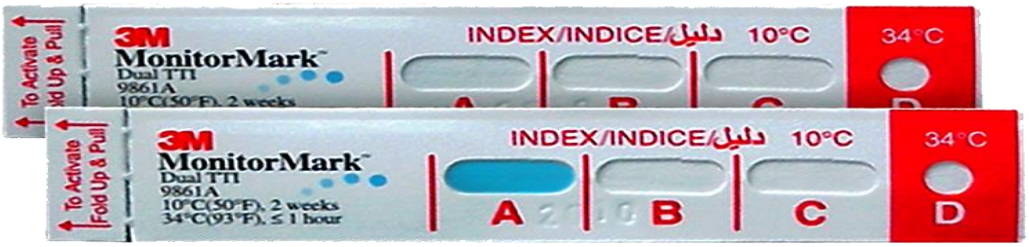
های مختلف (پلیمریزاسیون یا واکنش آنزیمی) عمل می‌کنند. نمونه ای از این نشانگرها ®VITSAB است که بر اساس تغییر رنگ ناشی از افت pH به دلیل هیدرولیز آنزیمی کنترل شده یک بستر لیپیدی عمل می‌کند و شامل دو بخش مجزاست. در یک قسمت محلول آبی آنزیم های لیپولتیک مانند لیپاز پانکراس جاسازی شده است و در قسمت دیگر سوسپانسیون آبی سوبسترای لیپیدی (مانند؛ تری کاپروئین و تری پلارگونین و تری بوتیرین) به همراه نشانگر pH وجود دارد. فعال سازی آن از طریق شکستن مکانیکی سدی که بین دو قسمت وجود دارد انجام می‌شود. در این نوع نشانگر زمان-دما هیدرولیز آنزیمی سوبسترا باعث کاهش pH می شود و به دنبال آن تغییر رنگ از سبز تیره به زرد روشن توسط نشانگر نمایان می شود (Biji et al., 2015; Kuswandi et al., 2011; Kim et al., 2012; Zabala, etal.,2015) . نشانگرهای Fresh-Check و Fresh Monitor ساخت شرکت لایف لاین آمریکا مطرح ترین نشانگر مبتنی بر پلیمر است. مکانیسم عمل این نشانگرها بر اساس تغییر رنگ پلیمر تشکیل شده از مونومرهای دی استیلن (R-C=C-C=C-R) است. در این نشانگر زمانی که محصول تازه است دایره وسط لیبل بی رنگ و بعد از آن تیره شده و در نهایت سیاه می شود. این نشانگرها ارزان هستند و به صورت خودبه خودی فعال می‌شوند و برای مواد غذایی آماده مصرف و سبزیجات و میوه جات تازه، سالاد و آب میوه و محصولات لبنی و گوشت تازه قابل استفاده هستند (Parreño-Marchante *et al*., 2014; Drago et al., 2020).



شکل ۱. نشانگر زمان-دمای Fresh-Check

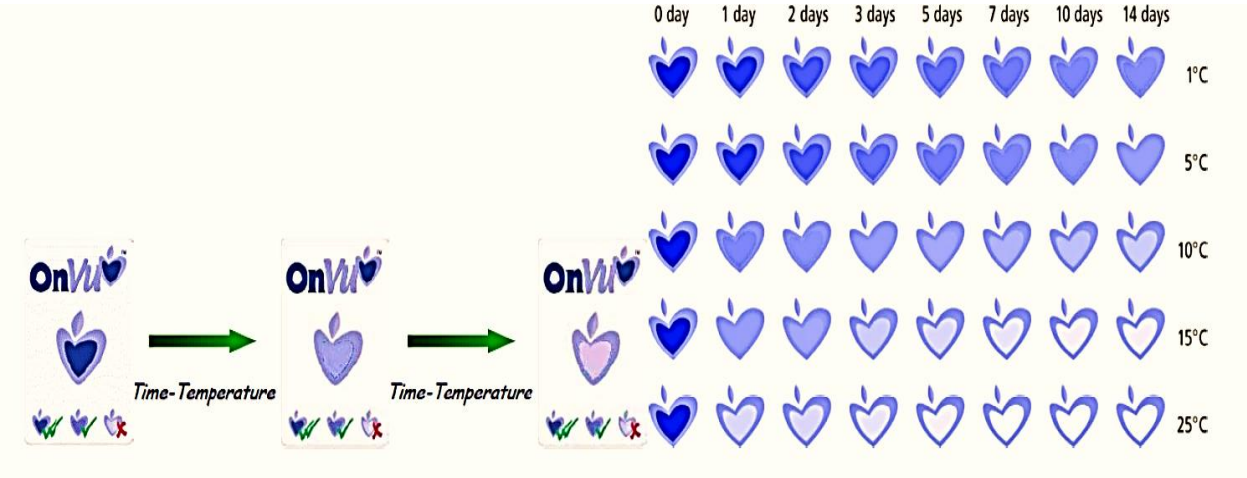
Figure 1. Fresh-Check time-temperature indicator

نشانگر زمان-دمای 3M Monitor Mark ساخت شرکت 3M Company آمریکا است. عملکرد این نشانگر به این نحو است که استر اسید چرب رنگی در طول فتیله متخلخل ساخته شده از کاغذخشک کن حرکت می کند و پاسخ قابل اندازه گیری فاصله ای است که استر اسید چرب در طول فتیله پیموده است . این که نشانگر زمان-دما در چه دمایی عمل کند و چه بازه ی زمانی را نشان دهد کاملاً وابسته به نوع و غظت استر است (Nuin et al., 2008; Drago et al.,2020).



شکل ۲. نشانگر زمان-دمای Monitor Mark

onVu نشانگر پلیمری ساخت شرکت سیبا سوئیس و یکی از پرکاربردترین نشانگرهاست. این نشانگر بر پایه تغییر رنگ پیگمان های آلی با گذر زمان و با سرعتی متناسب با دما ساخته شده است. این نشانگر با انرژی اکتیواسیون های مختلف و در نتیجه کاربردها و البته طراحی های مختلف به بازار عرضه شده است مرسوم ترین شکل آن به صورت دو سیب (قلب) درون هم است. تصویر رنگ ثابتی دارد تا زمانی که توسط لامپ LED و نور UV فعالسازی شود و سیب داخلی آبی تیره می شود. این برچسب در اثر گذشت زمان و بسته به دمایی که کالا در معرض آن است سفید می شود. این نشانگر می‌تواند مستقیماً روی بسته چاپ شود یا این که به صورت برچسب روی بسته الصاق شود تقریبا بر روی بسته بندی تمام مرغ های تازه ی عرضه شده در سوئیس از این برچسب استفاده می شود(Parreño-Marchante *et al*., 2014; Drago et al.,2020; Barska et al.,2017).



شکل ۳. نشانگر زمان-دمای OnVu و نمایش بی رنگ شدن تدریجی آن

Figure 3. OnVu's time-temperature indicator and its gradual fading display

از نمونه‌های مطرح دیگر نشانگر زمان-دما می‌توان به eO و TRACEO اشاره کرد. نشانگر eO برچسبی به شکل یک بالشتک کوچک ژلی است که روی بسته ی ماده ی غذایی چسبانده می شود این نشانگرها به دلیل این که پاسخ شان مستقیماً با فساد غذا

در ارتباط است توانستد به خوبی در بازار جای خود را باز کنند.. طراحی این برچسب به شکل گلبرگ های گل است که در حالت فعال سبز و به تدریج با اتمام تاریخ مصرف بنفش یا قرمز می شود. از میکروارگانیسم هایی چون *کارنوباکتریوم پیسیکولا*، *لاکتوباسیلوس فوشونسش* و *لوکونوستوک مزنتروئیدس* در تهیه این نشانگر استفاده می شود.TRACEO نیز نشانگر میکروبی مطرحی است که توسط شرکت جنتلی فرانسه ساخته شده است. نشانگر شامل لایه ی شفافی است که پشت بارکد محصول جاسازی می شود و با رشد میکروارگانیسم تلقیح شده در برچسب که از نظر نیاز دمایی و پروفایل رشد مشابه میکروارگانیسم غالب در فساد غذایی است، تغییر رنگ نمایان می شود (از بی رنگ به قرمز تغییر رنگ می دهد) و بارکد را ناخوانا می سازد و در بخش فروش قابل عرضه نیست(Kerry & Butler, 2008; Drago et al.,2020).

نشانگر نشت[1]

این نشانگرها اطلاعاتی در مورد نشت بسته بندی می دهد. از موارد استفاده این نشانگر بسته بندی مواد غذایی با اتمسفر کنترل شده یا تغییر یافته است. یک نشانگر اکسیژن معمولی شامل یک رنگ ردوکس (مانند متیلن بلو)، یک ترکیب قلیایی (مانند هیدروکسید سدیم) و یک ترکیب کاهنده (مانند قندهای احیاکننده) است.این نشانگرها به بسته بندی متصل هستند، اطلاعاتی را در مورد یکپارچگی و همبستگی بسته بندی در کل مسیر زنجیره توزیع ارائه می دهند. حذف اکسیژن و غلظت بالای دی اکسید کربن، باعث بهبود پایداری محصول می شود و از رشد میکروارگانیسم های هوازی در بسیاری از محصولات فسادپذیر جلوگیری می شود. تغییر رنگ در این نشانگرها به علت واکنش‌های آنزیمی یا شیمیایی است و نشان دهنده وجود یا عدم وجود گاز در بسته بندی است که بیشتر در پنیر بسته بندی خلا، گوشت و آب جو کاربرد دارند. این نشانگر را می توان به عنوان برچسب یا یا یک قرص استفاده کرد. از معروف‌ترین نشانگرهای نشت می‌توان به Ageless Eye, O2Sense, Shelf Life Guard و Tell-Tab اشاره نمود(Sohaila et al., 2018; Kuswandi et al.,2011;Gaani et al.,2016; Alma et al., 2021).

حسگرهای بسته بندی هوشمند

حسگر وسیله ای است که می تواند در تشخیص، مکان یابی و اندازه گیری انرژی یا ماده استفاده شود. با دادن یک سیگنال خروجی پیوسته پاسخ می دهد. این سیگنال می تواند برای اندازه گیری محرک های فیزیکی یا شیمیایی که به آن ها پاسخ می دهد، تفسیر شود. اکثر حسگرها از دو جزء اصلی تشکیل شده اند: یک گیرنده و یک مبدل. حسگرها بسته به محرک های پاسخشان، ممکن است چندین نوع باشند (Yan et al.,2022; Biji et al., 2015).

حسگر زیستی[2]

حسگرهای زیستی می توانند اطلاعات مربوط به سیستم های بیولوژیکی را تشخیص دهند و آن ها را منتقل و ثبت کنند. گیرنده هایی که در این مورد به عنوان گیرنده های زیستی شناخته می شوند، آنالیت (ماده مورد تجزیه) هدف را تشخیص می‌دهند سپس مبدل ها این سیگنال های بیوشیمیایی را به سیگنال های الکتریکی قابل اندازه گیری تبدیل می‌کنند(Ozcan, 2020). گیرنده های زیستی مانند آنتی ژن‌ها، آنزیم‌ها و اسید نوکلئیک آلی یا بیولوژیکی هستند.مبدل‌های مورد استفاده می‌توانند ماهیت نوری، صوتی یا الکتروشیمیایی داشته باشند. اکثر بیوحسگرهای تجاری ترکیبی از گیرنده مبتنی بر آنتی بادی و مبدل نوری هستند. Sire Technologies Inc یک حسگر زیستی برپایه آنتی بادی با نام تجاری Food Sentinel System را تولید کرده است که در آن

[1] Leak indicator
[2] Biosensors

غشایی همراه با آنتی بادی‌های تثبیت شده به عنوان حسگر عمل می‌کند و به عنوان بخشی از بارکد قرار می گیرد. هنگامی که پاتوژن های مواد غذایی با آنتی بادی های حسگر تعامل می کنند، یک نوار تیره موضعی تشکیل می شود که بارکد را غیرقابل خواندن می‌کند.همچنین در یک سیستم دیگر، کانادا بیوسنسورهایی تولید کرده است که در آن آنتی بادی ها بر روی مواد بسته بندی پلاستیکی ساخته شده از پلی اتیلن چاپ می شوند و برهمکنش بین پاتوژن و آنتی بادی ها منجر به تولید یک سیگنال فلورسنت می‌شود که نشان دهنده حمله پاتوژن‌ها است(Biji et al., 2015; Drago et al., 2020;Fang et al., 2017).

حسگر گاز[1]

حسگرهای گازی برای تشخیص آنالیت های گازی مانند اکسیژن، بخار آب، دی اکسید کربن، اتیلن و غیره در داخل بسته بندی استفاده می شود. رایج ترین حسگرهای گازی مورد استفاده عبارتند از حسگرهای اکسیژن، حسگرهای دی اکسیدکربن و حسگر بخارآب. از دیگر حسگرهای متداول می‌توان به حسگرهای اتانول و پلیمرهای رسانای آلی اشاره کرد. در نتیجه فعالیت مواد غذایی، شرایط محیطی یا ماهیت بسته بندی؛ ترکیب گاز در فضای بالای بسته بندی تغییر می کند. حسگرهای گازی دستگاه هایی هستند که به صورت کمی و برگشت پذیر با تغییر پارامترهای فیزیکی حسگر به حضور یک آنالیت گازی پاسخ می دهند و توسط یک دستگاه خارجی نظارت می شوند. در یک مطالعه‌ای پاپکوفسکی و همکارانش حسگرهای اکسیژن نوری را ایجاد کردند که بر پایه اصل خاموش شدن یا درخشندگی (لومینسانس) در هنگام تماس با آنالیت گازی بودند. استفاده از رنگ‌های حساس به pH مانند متیل رد و کورکومین، برای تشخیص آمین فرار اساسی آزاد شده از گوشت و ماهی فاسد نیز گزارش شده است (Biji et al., 2015; Sohail et al., 2018; Drago et al.,2020)

حسگر شیمیایی[2]

پوشش های انتخابی شیمیایی که می توانند یک ماده شیمیایی خاص را روی سطح خود جذب کنند و حضور، ترکیب، فعالیت یا غلظت آن را تشخیص دهند، به عنوان حسگرهای شیمیایی استفاده می شوند. از آن جایی که نانومواد ساخته شده از کربن مانند گرافن، نانو لوله های کربنی و نانو الیاف کربنی دارای خواص الکتریکی و مکانیکی عالی و همچنین خواص سطحی استثنایی هستند، به طور گسترده به عنوان حسگرهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته اند. این حسگرهای ساخته شده از نانو برای شناسایی آلاینده های شیمیایی، عوامل بیماری زا و ایجاد کننده فساد و همچنین برای ردیابی محصولات یا ترکیبات تشکیل دهنده از طریق زنجیره پردازش، استفاده می شوند(Drago et al., 2020; Biji et al.,2015).

حسگر اکسیژن بر مبنای فلورسان[3]

این حسگرها از مطمئن‌ترین و پیشرفته‌ترین سیستم‌ها برای اندازه گیری گازهای فضای خالی بسته بندی است.مواد مورد استفاده در حسگر حساسیت زیاد و ویژگی فلورسانی متناسب با ساختار وسایل اندازه گیری معمولی دارد.این حسگرها یک بار مصرف و کم هزینه می‌باشند و بیشتر در فراورده‌های گوشتی مورد استفاده فرار می‌گیرند.حسگرهای فلورسان شامل رنگ‌های با فاز تاخیر طولانی با رنگ درخشان به صورت کپسوله در شبکه پلی‌مری جامد است.معمول‌ترین آن‌ها کمپلکس‌های رنگ‌های بیولومینسانس روتنیوم و پورفیرین‌های پلاتین و پالادیوم همراه با پلیمرهای پلی‌استیلن، پلی‌سولفون و سیلیکون می‌باشد.اکسیژن ملکولی موجود

[1] Gas sensors
[2] Chemical sensors
[3] Fluorescence based oxygen sensor

در فضاهای بسته بندی باعث غیر فعال شدن رنگ لومینسانس می‌شود که این فراورده برگشت پذیر بوده و فراورده جانبی تولید نمی‌کند(kerry et al., 2006).

بینی الکترونیکی[1]

بینی الکتریکی سیستمی برای تقلید از سیستم بویایی است و ابزارهایی که برای شناسایی و طبقه بندی ترکیب رایحه ها در یک بو به صورت تکرار پذیر طراحی شده اند و پاسخ منحصر به‌فرد به هر طعم و بو یا مزه است. این ابزار از مجموعه ای از حسگرها، اعم از حسگرهای شیمیایی یا حسگرهای زیستی تشکیل شده است که ویژگی اختصاصی را برای هر نوع بو نشان می دهند. در این سیستم از روش های آماری برای تشخیص بوهای ساده و پیچیده و ایجاد پاسخ منحصر به فرد نسبت به هر یک از رایحه ها، استفاده می شود. آزمایش موفقیت آمیز سیستم بینی الکترونیکی در پاسخ به بوی منتشر شده توسط ماهی تن زرد باله تازه، گوشت گاو بسته بندی شده در خلاء، میوه‌ها، سبزیجات و مرغ انجام شده است(Biji et al., 2015).

سیستم های شناسایی فرکانس رادیویی(RFID)

RFID مخفف عبارت Radiofrequency identification می باشد که یک سیستم شناسایی خودکار مبتنی بر بارکدها و برچسب های تشخیص فرکانس رادیویی است و برای شناسایی اقلام و جمع آوری داده ها بدون دخالت انسان استفاده می شود. بارکدهای RFIDدارای تعدادی شماره شناسایی هستند که در پایگاه داده های خود ذخیره می شوند و می‌توانند با بازیابی اطلاعات مربوط به آن شماره از پایگاه داده، بر اساس آن عمل کنند(Bibi et al., 2015; Sohail et al.,2018). برچسب های RFID عمدتاً شامل سه نوع برچسب های RFID فعال که دارای باطری است و می‌تواند به طور خودکار سیگنال های مورد نظر را ارسال کند، برچسب های RFID غیر فعال که باطری ندارند و نیازمند منبع خارجی برای شروع به کار و ارسال سیگنال هستند و نوع سوم برچسب های RFID برچسب های نیمه فعال دارای باطری کمکی هستند (BAP tags) که نیازمند منبع خارجی برای روشن شدن هستند اما قابلیت ارتباطی بسیار بالاتری دارند که موجب می‌شود محدوده عملکرد آنها بزرگتر باشد (Bibi et al., 2015). بارکدهای فعال با برق تامین شده توسط یک باتری داخلی کار می کنند و سیگنال را به خواننده ارسال می کند. این دسته برد طولانی تری دارد و اطلاعات بیشتری (اطلاعات تغذیه، دما، دستورالعمل های پخت و پز و غیره) را پوشش می دهد. از سوی دیگر، برچسب‌های غیرفعال RFID بسته به توانی که توسط خواننده عرضه می شود، عمل می کنند. این برچسب ها از یک آنتن سیم پیچی تشکیل شده است که در تماس با امواج رادیویی ساطع شده از خواننده، میدان مغناطیسی تولید می کند و از این رو قدرتی برای انتقال اطلاعات به خواننده ایجاد می کند. تکنولوژی این دسته ساده تر، بردشان کوتاه تر و قیمتشان ارزان تر می باشد. برچسب های RFIDتوانایی شناسایی، کنترل و مدیریت کالاها را از طریق زنجیره تامین فراهم می کند و برای این منظور با موفقیت به کار گرفته شده است. این ها نسبت به برچسب های بارکد معمولی برای ردیابی مواد غذایی پیشرفته تر، قابل اعتمادتر و کارآمدتر هستند. برچسب های RFID برای نظارت بر فاکتورهای موثر بر کیفیت و سلامت محصولات در حال حاضر در بازار موجود می باشند که به افزایش کیفیت و ایمنی مواد غذایی کمک می کند. از جمله این فاکتورها می‌توان به دما، رطوبت نسبی، فشار، قرار گرفتن در معرض نور و pH را اشاره نمود. برچسب غیر فعال تشکیل شده از یک تراشه کم مصرف است که به یک آنتن متصل شده است و خود این مجموعه در یک کاور پلاستیکی شبیه به کارت اعتباری تعبیه شده است. حافظه تعبیه شده داخل تراشه می‌تواند اطلاعات را در خود ذخیره نماید. تراشه می‌تواند به وسیله آنتن برچسب اطلاعات ذخیره را به دستگاه خواننده ارسال یا اطلاعات جدیدی را از دستگاه خواننده دریافت نماید. آنتن برچسب های فرکانس بالا (HF) از سیم پیچ های کوچک فلزی تشکیل است اما

[1] Electronic Nose

برچسب های UHF آنتن دوقطبی با یک هماهنگ کننده حلقه ای سیمی دارند. این برچسب ها را ترنسپوندر (transponder) یا برچسب های درون لایه ای (inlay) می نامند (Bibi et al., 2015; Sohail et al., 2018). در برچسب های فعال ونیمه فعال انرژی مورد نیاز از طریق یک باطری داخلی تأمین می شود. تفاوت برچسب فعال با برچسب نیمه فعال در این است که برچسب فعال برای ارسال امواج رادیویی به دستگاه ردیاب هم از باطری درونی خود بهره میگیرد در حالی که برچسب نیمه فعال برای ارسال سیگنال متکی به انرژی دریافتی از دستگاه ردیاب است. برچسب های فعال و نیمه فعال به دلیل داشتن اجزای بیشتر گرانتر از برچسب های غیر فعال هستند. این برچسب ها غالبا بر روی اجناس گران‌قیمت تعبیه می‌شوند و نسبت به برچسب های غیر فعال امکان ردیابی از فواصل دورتری را دارند. این برچسب ها امواج فرکانس بالای ۸۵۰-۹۰۰ مگاهرتز ارسال می کنند که از فاصله ۳۰ متری یا حتی بیشتر قابل ردیابی و خواندن است (Bibi et al., 2015).

نتیجه گیری

از آنجایی که در بسته بندی هوشمند، محصولات غذایی توسط حسگر و نشانگرها در پروسه انبارداری و حمل و نقل رصد می‌گردد، بنابراین می‌توان محصول با کیفیت و ماندگاری بالا به سمت مصرف کننده رساند. بسته بندی هوشمند با توجه به قابلیت‌های ارزنده‌اش، قابلیت استفاده وسیع‌تر در صنایع غذایی را دارد. با استفاده از بسته بندی هوشمند محصولی با ایمنی و کیفیت و قابلیت تائید سلامت خواهیم داشت که در راستای توجه بیشتر به ایمنی غذایی گام بسیار ارزنده‌ای است.

منابع

1. Alam, A. U., Rathi, P., Beshai, H., Sarabha, G. K., & Deen, M. J. (2021). Fruit quality monitoring with smart packaging. *Sensors*, *21*(4), 1509
2. BArskA, A., & WyrWA, J. (2017). Innovations in the food packaging market–intelligent packaging–a review.*Czech Journal of Food Sciences*, *35*(1), 1-6
3. Bibi, F., Guillaume, C., Gontard, N., & Sorli, B. (2017). A review: RFID technology having sensing aptitudes for food industry and their contribution to tracking and monitoring of food products. *Trends in Food Science & Technology*, *62*, 91-103.
4. 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.
5. Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., & Perego, P. (2020). Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review. *Foods*, *9*(11), 1628.
6. Fang, Z., Zhao, Y., Warner, R. D., & Johnson, S. K. (2017). Active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*, *61*, 60-71.
7. Ghaani, M., Cozzolino, C. A., Castelli, G., & Farris, S. (2016). An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science & Technology*, *51*, 1-11.
8. 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 science*, *74*(1), 113-130.
9. Kerry, J., & Butler, P. (Eds.). (2008). *Smart packaging technologies for fast moving consumer goods*. John Wiley & Sons.
10. Kim, W., Park, E., & Hong, K. (2012). Development of a time-temperature integrator system using Burkholderia cepacia lipase. *Food Science and Biotechnology*, *21*, 497-502.
11. Koutsoumanis, K. P., & Gougouli, M. (2015). Use of time temperature integrators in food safety management. *Trends in Food Science & Technology*, *43*(2), 236-244.
12. Kuswandi, B., Wicaksono, Y., Jayus, 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, 137-146.

13. Mai, N., Audorff, H., Reichstein, W., Haarer, D., Olafsdottir, G., Bogason, S. G., & Arason, S. (2011). Performance of a photochromic time–temperature indicator under simulated fresh fish supply chain conditions. *International journal of food science & technology*, *46*(2), 297-304.
14. Müller, P., & Schmid, M. (2019). Intelligent packaging in the food sector: A brief overview. *Foods*, *8*(1), 16.
15. Nuin, M., Alfaro, B., Cruz, Z., Argarate, N., George, S., Le Marc, Y., ... & Pin, C. (2008). Modelling spoilage of fresh turbot and evaluation of a time–temperature integrator (TTI) label under fluctuating temperature. *International Journal of Food Microbiology*, *127*(3), 193-199.
16. Realini, C. E., & Marcos, B. (2014). Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat science*, *98*(3), 404-419.
17. Ozcan, A. (2020). New approaches in smart packaging technologies. In *Proceedings of the 10th International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID* (pp. 21-37).
18. Park, Y. W., Kim, S. M., Lee, J. Y., & Jang, W. (2015). Application of biosensors in smart packaging. *Molecular & Cellular Toxicology*, *11*(3), 277-285.
19. Parreño-Marchante, A., Alvarez-Melcon, A., Trebar, M., & Filippin, P. (2014). Advanced traceability system in aquaculture supply chain. *Journal of food engineering*, *122*, 99-109.
20. Sohail, M., Sun, D. W., & Zhu, Z. (2018). Recent developments in intelligent packaging for enhancing food quality and safety. *Critical reviews in food science and nutrition*, *58*(15), 2650-2662.
21. Wang, S., Liu, X., Yang, M., Zhang, Y., Xiang, K., & Tang, R. (2015). Review of time temperature indicators as quality monitors in food packaging. *Packaging Technology and Science*, *28*(10), 839-867.
22. Yan, M. R., Hsieh, S., & Ricacho, N. (2022). Innovative food packaging, food quality and safety, and consumer perspectives. *Processes*, *10*(4), 747.
23. Young, E., Mirosa, M., & Bremer, P. (2020). A systematic review of consumer perceptions of smart packaging technologies for food. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, 63.
24. Zabala, S., Castán, J., & Martínez, C. (2015). Development of a time–temperature indicator (TTI) label by rotary printing technologies. *Food Control*, *50*, 57-64.

An overview of Intelligent packaging and its application in the food industry

Morva hosseiny[1*], Peyman Rajaei[2]

Abstract

Today food packaging, apart from the physical protection of food against contamination and ease of distribution, can be used to monitor food from the factory until it reaches the consumer. Intelligent packaging is a smart device or label that can monitor the quality of the product during transportation and storage and inform the consumer of its health or corruption. Among the types of smart packaging, we can mention sensors and identifiers, which meet the expectations of consumers for consuming quality food by continuously monitoring the packaged food. Intelligent packaging can control the safety and quality of the product with smart functions such as measuring, detecting, tracking, recording and communicating, and inform the consumer in case of corruption or contamination in the product, and it can be a suitable substitute for the date expire.

Keywords: indicator, sensor, food quality, microbial spoilage, RFID

[1] PhD student, Department of Food Science and Industry, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

[2] Assistant Professor, Department of Food Industry, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

***Corresponding Author**: morva1989@gmail.com