نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال دوازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰؛ ص ۴۲-۳۳

علمی – پژوهشی

مروری بر کاربرد نانو ذرات فلزی در شناساگرهای رنگ‌سنجی مورد استفاده در بسته‌بندی هوشمند محصولات گوشتی

زهرا تیموری[1*]، هاجر شکرچی‌زاده[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۴ ، پذیرش:۱۴۰۰/۰۷/۲۶)

چکیده

امروزه از به‌کارگیری سامانه‌های بسته‌بندی سنتی خودداری می‌شود زیرا این سامانه‌ها هیچ اطلاعاتی در مورد کیفیت محصولات گوشتی در هر مرحله از زنجیره تأمین به مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان ارائه نمی‌کنند. استفاده از فناوری‌های جدید به‌منظور نظارت بر کیفیت و فساد محصولات گوشتی تازه، با هدف کاهش ابتلا به بیماری‌های غذایی و کاهش تولید ضایعات گوشتی در طول زنجیره تأمین آن توصیه شده است. بسته‌بندی هوشمند امکانات ذخیره‌سازی و حمل و نقل محصولات گوشتی برای مسافت‌های طولانی را فراهم کرده است. اگرچه، سامانه‌های سنتی بسته‌بندی قادر به ارائه خدمات کمی در زمینه نظارت بر زنجیره تأمین می‌باشند، اما سامانه‌های جدید بسته‌بندی هوشمند با هدف نظارت بر کیفیت گوشت‌های بسته‌بندی شده و یا محیط پیرامون آن، در حال پیشرفت به سمت ارائه راه حل‌های نوآورانه در صنعت تولید و عرضه فرآورده‌های گوشتی می‌باشند. این اطلاعات از طریق شناساگرهای تغییر رنگ دهنده در گوشت بسته‌بندی شده پس از فساد به صورت آماده در دسترس مصرف‌کننده قرار خواهد گرفت. شناساگرهای رنگ‌سنجی بسته‌بندی محصولات گوشتی توجه قابل توجهی را به خود جلب کرده و کاربردهای بالقوه متنوعی را در بسته‌بندی هوشمند ایجاد کرده است. استفاده از نانو ذرات فلزات نجیب کارایی عالی و مطلوبی در عملکرد ارتباطی جدید نسبت به شناساگرهای رنگ‌سنج سنتی به‌دلیل ویژگی‌های نوری منحصر به فرد و واکنش‌پذیری سطح بالا برای نظارت بر وضعیت گوشت بسته‌بندی شده یا محیط پیرامون محصول را نشان می‌دهد. در این مقاله تحقیقات علمی و دستیابی به موفقیت‌های اخیر در ارتباط با شاخص‌های رنگ‌سنجی حاصل از فناوری نانو و چالش‌های کاربرد آنها مورد بحث قرار می‌گیرد تا اطلاعات کافی برای توسعه آینده فراهم شود.

واژه‌های کلیدی: نانو فناوری، بسته‌بندی هوشمند، خواص نوری، محصولات گوشتی

۱- مقدمه

در حال حاضر محصولات گوشتی یکی از فساد پذیرترین گروه‌های مواد غذایی را تشکیل می‌دهند و رعایت اصول صحیح بسته‌بندی علاوه بر افزایش ماندگاری این محصول نقش مهمی در کاهش ضایعات و افزایش سطح بهداشت جامعه از طریق کاهش آلودگی‌های ناشی از به‌کارگیری بسته‌بندی‌های غیر بهداشتی و نامناسب دارد. بسته‌بندی محصولات گوشتی یک صنعت جهانی است که بخش‌های مختلف آن به‌طور جداگانه بر وضعیت بازار تأثیر می‌گزارد [۱۰]. بسته‌بندی‌های نوین ایمنی و کیفیت و قابلیت نظارت بر محصولات غذایی را به خوبی تضمین می‌کنند. اخیراً تقاضا به منظور راهکارهایی جهت افزایش ماندگاری و نظارت بر کیفیت محصولات گوشتی تازه و فراوری شده توسط مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان افزایش یافته است. صنعت بسته‌بندی مواد غذایی برای برآورده ساختن انتظارات مصرف‌کنندگان (افزایش کیفیت مواد غذایی، استفاده آسان، حداقل آماده‌سازی محصولات، ارائه اطلاعات بیشتر در ارتباط با محصول و تأثیر بسته‌بندی بر محیط زیست) به‌سرعت توسعه یافته است. بسته‌بندی گوشت تازه برای جلوگیری از آلودگی، تأخیر در فساد و اجازه به برخی از فعالیت‌های آنزیمی به منظور بهبود بخشیدن میزان نرمی و کاهش وزن محصول و اطمینان از رنگ گوشت می باشد. علاوه بر این هنگام صحبت بسته‌بندی محصولات گوشتی، عواملی از جمله دهیدراتاسیون، اکسیداسیون چربی‌ها، تغییر رنگ و از بین رفتن عطر محصول بایستی در نظر

* رایانامه نویسنده مسئول: zahrateymouri82@gmail.com

گرفته شود. فناوری بسته‌بندی با توجه به تنوع ویژگی‌های محصول، تقاضا و کاربردهای اصلی بسته‌بندی محصولات گوشتی، برنامه‌هایی برای ارائه محصول بیشتر و کنترل کیفیت به روشی اقتصادی پیشنهاد داده است. دو بسته‌بندی از این قبیل رویکردها در حال حاضر وجود دارد و به دو بخش تقسیم می‌شود: فناوری بسته‌بندی فعال[1] و فناوری بسته‌بندی هوشمند، بسته‌بندی فعال برای تغییر شرایط مواد غذایی به منظور بهبود ایمنی و خواص حسی و افزایش عمر ماندگاری محصول استفاده شده است. در بسته‌بندی فعال از مواد فعال مانند جاذب رطوبت، پاک و سامانه‌های رها کننده آنتی اکسیدان که در محیط اطراف مواد غذایی به منظور افزایش عملکرد سامانه بسته‌بندی استفاده می‌شود. یکی از محبوب‌ترین بسته‌بندی‌های فعال فناوری بسته بندی تحت اتمسفر تغییر یافته (MAP) است که به‌عنوان سدی در مقابل آلاینده‌ها عمل می‌کند و نقش اساسی در افزایش ماندگاری محصول یا تأخیر فساد میکروارگانیسم‌ها دارد. متأسفانه بسته‌بندی فعال هیچ اطلاعاتی از طراوت و تازگی از طریق بازرسی بصری برای هشدار آلودگی در بسته‌های مواد غذایی در طی فرآیند بسته‌بندی یا تغییرات نهایی در زنجیره خنک‌کننده ارائه نمی‌دهند [۶]. با توجه به اهمیت ماهیت نظارت یا بررسی کیفیت مواد غذایی از مزرعه به سفره به منظورکاهش مسمومیت و افزایش ایمنی و بهداشت محصولات غذایی به‌دلیل افزایش رضایت مصرف‌کننده، استفاده از بسته‌بندی هوشمند پیشنهاد شده است. بسته‌بندی هوشمند قادر به ارزیابی، تشخیص، حس کردن محیط داخلی و خارجی بسته‌بندی به منظور افزایش ایمنی، بهبود کیفیت و هشدار در مورد مشکلات احتمالی در حین حمل و نقل و نگهداری مواد غذایی می‌باشد [۱۱]. در حقیقت، بسته‌بندی هوشمند جریان اطلاعات را در حین حمل و نقل، در قفسه یا خانه مصرف‌کننده تسهیل می‌کند. این اطلاعات را می‌توان از طریق بارکد یا شناساگرهایی به اطلاعات بصری تبدیل کرد. استفاده از شناساگرها یا اندیکاتورها در قالب یک بسته‌بندی هوشمند از موارد قابل تحقیق در صنعت گوشت می‌باشد. در حقیقت شناساگرهای بسته‌بندی هوشمند با تمرکز بر روش‌های رنگ سنجی ضمن اینکه می‌توانند انواع ترکیباتی که در حین فساد تولید می‌شوند را تشخیص دهند، تغییر ات رنگی را ایجاد می‌نمایند که این تغییرات رنگ با چشم انسان قابل مشاهده می‌باشند. علت تغییرات رنگ را به برهم‌کنش‌هایی که بین ترکیبات موجود در مواد غذایی و ترکیباتی که اساس شناساگرهای رنگ‌سنجی می‌باشند، ارتباط می‌دهند [۶]. فناوری نانو ابزاری میان رشته‌ای قدرتمند برای کشور می‌باشد، که با توسعه محصولات نوآورانه، یکی از اصلی‌ترین فناوری‌های آینده به حساب می‌آید تا به امروز، چندین ماده نانو به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و در بسته‌بندی مواد غذایی به‌کار گرفته شده است چون نانو ذرات دارای خواص متمایز کننده از سایر مواد می‌باشند. نانو ذرات طبقه‌بندی جدیدی از سامانه‌های شناساگرهای رنگ‌سنجی ارائه می‌دهند. به‌عنوان مثال، خواص سطح رزونانس پلاسمونی(SRP) فلزات نجیب مانند نانو ذره طلا و نانو ذره نقره رنگ‌های روشن ارائه می‌دهند که توسط محرک‌های خارجی تنظیم می‌شوند، این شناساگرها به منظور شناسایی گونه‌های بیولوژیکی و مواد شیمیایی استفاده می‌شوند [۴].

۲- بسته‌بندی هوشمند با تمرکز بر روش‌های رنگ‌سنجی

بسته‌بندی هوشمند سیستمی است که قادر به انجام عملکردهای هوشمندانه (نظیر تشخیص، حس کردن، ثبت کردن، ردیابی، ارتباط و به کاربردن منطق علمی) به منظور تسهیل تصمیم گیری در جهت افزایش زمان ماندگاری، افزایش ایمنی، بهبود کیفیت، فراهم کردن اطلاعات و هشدار درباره مشکلات احتمالی است. در حال حاضر، سه فناوری عمده برای تحقق بسته‌بندی هوشمند وجود دارد: ۱) شناساگرهای رنگ‌سنجی: به منظور ارائه اطلاعات و آگاهی دادن به مصرف‌کننده درباره کیفیت مواد غذایی به سهولت و آسانی ۲) حسگرها: تشخیص و ثبت دقیق و سریع اطلاعات مربوط به واکنش‌ها و آنالیت را فراهم می‌کند ۳) ابزارهای حامل اطلاعات مثل امواج فرکانس رادیویی یا (RFID): برای شناسایی و ردیابی در صنایع غذایی استفاده می‌شوند که از آنتن‌های کم هزینه و یکپارچه به منظور تهیه پرتوهای الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی و تبدیل به جریان الکتریکی و به‌عنوان میکروچیپ یا ریز تراشه استفاده می‌شوند. با این حال، آنها برای ترجمه یا تبدیل سیگنال به داده‌های قابل خواندن، به تجهیزات خاص یا دستگاه‌های تحلیلی نیاز دارند که محدوده استفاده را محدود می‌کند. به‌طور کلی در بسته‌بندی‌های هوشمند با تمرکز بر روش‌های رنگ سنجی، شناساگر و حسگرهای هالوکرومیک که از ترکیب چند رنگ تشکیل شده‌اند، تعریف شده است. کلمه کرومیک به‌عنوان ماده‌ای که می‌تواند رنگ را به‌صورت برگشت‌پذیری تحت تاثیر عاملی تغییر دهد، تعریف می‌شود [۱۱]. این حسگرها و شناساگرها کاربرد وسیعی دارند. در گروهی از حسگرهای هالوکرومیک عامل تغییر رنگ، تغییر pH می‌باشد و مهم‌ترین کاربرد آنها جهت کنترل درجه

[1] Active packaging

تخمیر در محصولات تخمیری می‌باشد [۱۲]. از دیگر مواد کرومیک می‌توان به ترموکرومیک، فتوکرومیک و الکتروکرومیک اشاره کرد که به ترتیب در اثر تغیرات دما، تابش نور و کاربرد پتانسیل الکتریکی خواص نوری آنها تغییر می‌کند گروه دیگری از حسگرهای هالوکرومیک حسگرهایی جهت کنترل فساد- تازگی محصولات غذایی هستند. این حسگرها درون بسته‌بندی ماده غذایی تعبیه می‌شوند و نسبت به متابولیت‌های خاصی که طی فساد مواد غذایی تولید می‌شوند حساس هستند. مهم‌ترین مزیت این شناساگرهای رنگ‌سنجی این است که مصرف‌کنندگان می‌توانند تغییر در وضعیت و کیفیت محصولات بسته‌بندی شده را از طریق سیگنال‌های بصری با رنگ‌ها یا شدت‌های مختلف متفاوت درک کنند [۱۱].

۲-۱- شناساگرها[1]

یک شناساگر می‌تواند به‌عنوان ابزاری تعریف شود که حضور یا عدم حضور مواد یا میزان واکنش بین دو یا تعداد بیشتری ماده را از طریق یک تغییر ویژگی، به‌خصوص تغییر در رنگ، به نمایش درآورد. در حقیقت شناساگرها اطلاعات را از طریق تغییری قابل مشاهده به‌صورت مستقیم انتقال می‌دهند [۱۱]. چکیده‌ای از شناساگرهای رنگ‌سنجی در محصولات گوشتی در جدول (۱) اشاره شده است.

جدول (۱): چکیده‌ای از شناساگرهای رنگ‌سنجی وکاربرد آنها در بسته بندی هوشمند محصولات گوشتی

سیستم	شرکت سازنده	نام تجاری شناساگر	شناساگر
Timestrip	Timestrip Ltd.	Timestrip®	شناساگر بی عیب بودن بسته بندی [۱۷]
Insignia	Insignia Technologies Ltd	Novas®	
FreshPoint	FreshPoint Lab	Best-by®	
Gas Chemical	Mitsubishi Gas Chemical Inc	Ageless Eye®	
MPAK	MPAK	Tell-Tab I	
COX Technologies	COX Technologies	Fresh Tag®	شناساگرتازگی محصول
VTT and UPM	VTT and UPM	Raflatac	
Raflatac	Raflatac	Raflatac	
Toxin Alert	Toxin Guard®	Toxin Guard®	
SystemSIRA Technologies	SystemSIRA Technologies Inc.	Food Sentinel	
Fatty acid ester TTI	3M Company	3M Monitor Mark®	شناساگر زمان- دما (TTI)
Chemical TTI	Keep-it Technologies	Keep-it®	
Polymerization reaction TTI	Temptime Corp.	Fresh-Check®	
Photochemical reaction TTI	Freshpoint and Ciba	OnVu®	

الف) شناساگرهای تازگی محصول[2]

شناساگرهای دیگری هستند که قادرند در مورد بروز تغییرات کیفی در محصول که حاصل از رشد میکروبی یا تغییرات شیمیایی است، اطلاعات مستقیمی را ارائه دهند. اطلاعات مربوط به کیفیت محصول از جنبه رشد میکروبی می‌توانند از طریق واکنش بین شناساگرهای تازگی قرار داده شده درون بسته با متابولیت‌های حاصل از رشد و فعالیت میکروبی دریافت شود. در ضمن نگهداری محصولات گوشتی مخصوصا ماهی، در غلظت برخی از اسیدهای آلی مانند ان بوتیرات، ال لاکتیک اسید، دی لاکتات و استیک اسید، می‌تواند تغییراتی پدید آید. مواد مذکور به‌عنوان متابولیت‌های میکروبی بوده و در اثر سوخت و ساز در میکروب‌ها و ضمن رشد و فعالیت آنها پدید می‌آیند. این مواد، تأثیرگذار بر شناساگرهای تازگی آن محصولات هستند. از طرف دیگر، شناساگرهای تغییرات pH که در اثر تغییر pH دچار تغییر رنگ می‌شوند، نیز می‌توانند به‌عنوان شناساگرهای متابولیت‌های میکروبی به‌کار برده شوند [۵]. در واقع متابولیت‌های میکروبی مذکور سبب تغییر pH محصولات گوشتی شده و این تغییر توسط شناساگرها، نشان داده می‌شود. آمین‌های حاصل از فعالیت برخی از میکروارگانیسم‌ها، برای مثال آمین‌های هیستامین پوترسین تیرآمین و کاداورین نیز از جمله متابولیت‌های میکروبی هستند که می توانند توسط شناساگرهای بروز فساد و تجزیه در فرآورده‌های گوشتی تشخیص داده شوند. در این تحقیق از کورکومین به منظور شناساگرهای متابولیت میکروبی گوشت ماهی استفاده شده است [۲۱]. به‌طور مثال،

[1] indicator

[2] Freshness indicator

لیستیارینی و همکاران با استفاده از روش برچسب‌های رنگ سنجی به کمک رنگ‌های طبیعی قادر به کنترل فساد و تازگی گوشت خرچنگ شدند. آنها به منظور طراحی برچسب‌های شناساگر رنگ‌سنجی از کاغذ سلولزی و رنگ‌های استخراج شده از گیاه Ruellia simplex استفاده کردند. بنابراین براساس برهم کنش‌هایی که بین گروه‌های آمونیوم موجود در نمونه‌های خرچنگ و گروه N,N-dimethylphenyl-1,4-diamine موجود در ترکیب رنگ‌های طبیعی استخراج شده از گیاه روسلیا سیمپلکس انجام شد، تشخیص ترکیبات آمونیوم موجود در نمونه و همچنین کنترل فساد و تازگی نمونه‌های گوشت خرچنگ انجام گرفت. آنها نتیجه گرفتند که برچسب‌های شناساگر رنگ‌سنجی آزمون مناسبی برای تعیین فساد و تازگی نمونه‌های گوشت خرچنگ می‌باشند [۲۱] .

کاندیپان و همکاران شناساگرهای کاغذی رنگ‌سنجی بر مبنای کاغذ صافی و رنگ آنتوسیانین به منظور تشخیص و شناسایی pH و در نهایت تعیین تازگی محصول موجود در بسته‌بندی ماده غذایی طراحی کردند. بنابراین شناساگرهای کاغذی، براساس واکنش‌های اکسیداسیون و احیا و همچنین شلاته کنندگی ترکیبات یونی مختلف قادر به تعیین pH و تعیین تازگی و فساد محصول می‌باشند. آنها نتیجه گرفتند که شناساگرهای کاغذی قادر به تشخیص سریع ترکیبات مختلف می‌باشند. علاوه‌بر آن استفاده از شناساگرهای کاغذی روشی کم هزینه و جذاب می‌باشد [۳۲] .

لاراساتی و همکاران شناساگرهای کاغذی را طراحی کردند که در این نوع شناساگرهای کاغذی از رنگ‌های طبیعی همچون کورکومین استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که شناساگرهای کاغذی حاوی کورکومین دارای حساسیت بالا برای شناسایی و ارزیابی همزمان ترکیبات فرار ازت‌دار نمونه‌های گوشت میگو می‌باشند. علاوه‌بر آن تأثیر این ترکیبات بر عملکرد حسگرهای مبتنی بر کاغذ با استفاده از سامانه‌های دیجیتالی مثل اسکنرها و گوشی‌های هوشمند مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۸].

هانگ و همکاران شناساگرهای رنگی ترکیبی (برموکرزول پریل و متیل رد) را در تولید حسگرهای رنگی با استفاده از پلیمرهای پلی پروپیلن و هیدروکسید کلسیم به عنوان جاذب کربن دی اکسید مورد ارزیابی قرار دادند و این حسگرها درون بسته‌بندی کیمچی قرار داده شدند. نتایج به‌دست آمده نشان داد درجه رسیدگی کیمچی را می‌توان بدون نیاز به بازکردن بسته‌بندی تخمین زد، زیرا طی رسیدن کیمچی اسیدهای آلی تولید می‌شوند و همین باعث می‌گردد pH کاهش پیدا کند و شناساگرهای رنگی به‌کار رفته به‌دلیل تغییرات pH تغییرات رنگ را نشان می‌دهند و این تغییرات رنگ به‌عنوان سیگنالی برای هشدار به مصرف‌کننده در مورد کیفیت کیمچی عمل می‌کنند [۱۳].

برنال و همکاران با استفاده از پلی اتیلن تترافتالات و شناساگر برموکرزول گرین حسگرهایی جهت کاربرد در بسته‌بندی هوشمند در نگهداری ماهی تولید نمودند. این حسگرها در اثر تولید گازهای تری متیل آمین، آمونیاک و دی متیل آمین ناشی از فساد ماهی، تغییر رنگ می‌دهند. همچنین در نمونه‌های ماهی همبستگی بین پاسخ حسگر با الگوی رشد میکروبی وجود دارد. بنابراین می‌توان فساد محصول را در زمان واقعی کنترل نمود [۱۸]. لیو و همکاران شناساگرهای کاغذی رنگ سنجی بر پایه برموکروزول‌گرین و ماتریکس سل- ژل جهت کاربرد در بسته‌بندی هوشمند گوشت محصولات دریایی طراحی کردند. این حسگرها در اثر تولید ترکیبات نیتروژن دار فرار ناشی از فساد محصولات دریایی تغییر رنگی را ایجاد می‌کنند که این تغییر رنگ ناشی از برهمکنش ترکیبات نیتروژن‌دار با بخش‌های هیدروکسیل رنگ برموکروزول‌گرین می‌باشد. همچنین دریافتند در نمونه‌های محصولات دریایی همبستگی زیادی بین پاسخ حسگر با افزایش ترکیبات نیتروژن دار فرار وجود دارد. آنها نتیجه گرفتند، شناساگرهای کاغذی روشی کم هزینه، جذاب، سریع و دوستدار محیط زیست می‌باشد [۲۲].

ب) شناساگر های دمای بحرانی[1]

سلامت و کیفیت بسیاری از غذاهای فسادپذیر حساس به حرارت مانند محصولات گوشتی با عدم کنترل دما در طول چرخه فرآوری، توزیع و انبارداری به خطر می‌افتد. برای کاهش خطرات ناشی از افزایش دما قوانینی وضع شده که مواد غذایی حساس در دمای مناسب ذخیره شوند. در قوانین آمریکا گوشت تازه و گوشت ماکیان باید زیر ۴/۴ درجه سلسیوس (یا ۴۰ درجه فارنهایت) نگهداری شوند. زیرا هنگامی که کالایی برای مدت زمان کافی در معرض دمای نامناسب قرار بگیرد، از نظر ایمنی یا کیفیت محصول می‌تواند تغییرات منفی و برگشت ناپذیری ایجاد کند. در پاسخ به افزایش قوانین و افزایش آگاهی مصرف‌کننده از تغییراتی که در اثر کنترل نامناسب دما ایجاد می‌شود برخی شرکت‌های تهیه غذا، حمل و نقل و چرخهٔ توزیع از سامانه HACCP برای کنترل و افزایش سلامت غذا استفاده کردند [۴].

[1] critical temperature indicator

این برنامه‌ها شامل آنالیز خطر، تعریف نقاط کنترل خطر، تعریف حدود خطر در آن نقاط، شیوه‌های نظارت بر این حدود در طول فعالیت‌های تجاری، ارائه راه کار اصلاح فعالیت، نگهداری سوابق و روند بررسی است. یکی از نقاط بحرانی کنترل و نظارت بر دما در طول چرخه تولید است. برخی برنامه‌های نظارت شامل اندازه‌گیری دما در محل فرآیند و ذخیره، در کامیون‌های حمل و نقل، روی باراندازهای بارگیری و تخلیه و در قفسه‌های خرده فروشی است. اما برخی شیوه‌های نظارت بر دما دردسر ساز است، زیرا تنها دمای نقطه‌ای که پروب در آن قرار دارد را اندازه‌گیری می‌کند. حتی اگر از چندین پروب استفاده شود، تنها دمای لحظه‌ای محصول قابل نمایش است. با توجه به اینکه دما در انبارها، کامیون‌ها و یخچال‌های خرده فروشی به ویژه زمانی که کالاها چسبیده به هم قرار دارند بسیار متغیر است [۸]، این تفاوت می‌تواند به‌علت سیرکولاسیون ضعیف هوا، پشته‌سازی نامناسب محصولات در فریزر، یا عملکرد نامناسب یخچال باشد. تکیه بر دمایی که توسط پروب ثبت شده ناکافی است زیرا ابزار نظارت بر دما یک محصول را تا رسیدن به دست مشتری تعقیب نمی‌کنند، در حالی که ممکن است عملکرد ناصحیح در تمام این مراحل اتفاق افتد. لذا برای نظارت بر شرایط دمایی هر فرآورده و نشان دادن سلامت و کیفیت واقعی آنها در سرتاسر زنجیرهٔ سرد، یک روش کارآمد مقرون به صرفه مورد نیاز است. برای نیل به این هدف برچسب‌های هوشمند بسته‌بندی یعنی شناساگرهای دمای بحرانی گزینه مناسبی هستند. از این نوع شناساگرها می‌توان برای محافظت از محصولاتی استفاده کرد که حتی قرار گرفتن در معرض یک دمای بحرانی باعث تغییرات غیرقابل برگشت در خصوصیات آنها می‌شود. به‌طور مثال، شناساگرهای دمای بحرانی برای محصولات منجمد گوشتی استفاده شده است به منظور کنترل دمای محیط اطراف بسته‌بندی محصول، علاوه بر این، استفاده از شناساگرهای دمای بحرانی به منظور پاسخ به این سوال که آیا دمای محیط ببیشتر از دمای بحرانی محصول (آستانه[1]) که در آن واکنش‌های شیمیایی باعث تغییر در رنگ شناساگر می‌گردد، توصیه می‌گردد. از این شناساگرها می‌توان برای نظارت بر شرایط نگهداری محصولات گوشتی استفاده کرد که در دمایی بیش از دمای مشخص تغییرات قابل توجهی در خواص محصول ایجاد می‌شود. این تغییرات اغلب به‌دلیل افزایش میزان واکنش های شیمیایی، آنزیمی و میکروبی است [۷].

ج) شناساگرهای زمان دما یا شناساگرها مشخص کننده دمای محصول در طول زمان

شناساگرهای زمان دما یا شناساگرهای تکمیل‌کننده ابزاری هستند که تغییرات دمایی غذای بسته‌بندی شده را در طول زمان نگهداری نشان می‌دهند و به‌عبارت دیگر قادرند که تمام یا بخشی از سابقه دمایی مرتبط با یک محصول را بازتاب دهند [۶].

عملکرد شناساگرهای زمان دما بر پایه تغییرات مکانیکی، شیمیایی، الکترو شیمیایی، آنزیمی و میکروبیولوژیکی استوار است که معمولا به‌صورت پاسخی قابل مشاهده در قالب یک تغییر مکانیکی یا ظهور یک رنگ یا حرکت رنگ بیان می‌شود. پاسخ مذکور نشان دهنده مجموعه تغییرات دمایی محصولات بسته‌بندی شده در طول زمان انبارداری با آن مواجه شده، می‌باشد. شناساگرهای زمان دما غالباً به‌صورت برچسب‌های کوچک بر روی بسته‌بندی قرار می‌گیرد. کاربرد این نوع شناساگرها، به ویژه در مورد فرآورده‌های گوشتی، مرغ و ماهی که از زمان تولید تا زمان مصرف باید به منظور ایمنی کیفی و میکروبی در دمای سرد (غیر منجمد) نگهداری شوند، اهمیت زیادتری دارد. برخی از شناساگرهای زمان دما که در ابعاد تجاری عرضه شده‌اند، بر پایه سامانه‌های انتشار یا آنزیمی یا پلی مری هستند. این شناساگرها دارای قابلیت استفاده در بسته‌های محتوی فرآورده های گوشتی و مرغ می‌باشند. در نوعی از این شناساگرها، که بر پایه سامانه انتشار طراحی شده، یک ماده رنگی از جنس استر اسید چرب در یک رشته متخلخل فتیله مانند از جنس کاغذ خشک کن انتشار می‌یابد، عمل انتشار ماده مذکور و میزان انتشار به دما وابسته است. در واقع پاسخ قابل اندازه‌گیری، مقدار مسافتی است که ماده استری مذکور در اثر قرار گرفتن در معرض دماهای مختلف در حین نگهداری، از نقطه اولیه تا نقطه نهایی طی می‌کنند [۷]. یکی از مرسوم‌ترین شناساگرهای زمان دما انتشاری ®3M Monitor Mark ساخت شرکت 3M Company در شکل (۱) نمایش داده شده است.

شکل (۱): شناساگرهای زمان دما انتشاری ®3 M Monitor Mark

۳- برچسب های تشخیص با فرکانس رادیویی[2]:

در واقع تکنولوژی تشخیص با فرکانس رادیویی را نمی‌توان جزء

[1] critical

[2] Radio-frequency identification

حسگرها و یا شناساگرها طبقه‌بندی نمود، بلکه باید آن را به عنوان شاخه‌ای مجزا در بسته‌بندی‌های هوشمند بیان کرد که بر پایه اطلاعات الکترونیک استوار می‌باشد سامانه‌های تشخیص با فرکانس رادیویی یکی از تکنولوژی‌های بسیار متنوع تشخیص دادن یا تعیین هویت به‌صورت خودکار هستند که سامانه‌های بارکد نیز جزء این تکنولوژی‌ها است. سامانه‌های تشخیص با فرکانس رادیویی، در زنجیره تولید، انبارداری، توزیع و خرده فروشی محصولات گوشتی مزایای فراوانی دارند [۱۷]. این مزایا به‌عنوان نمونه شامل مکان ردیابی محصول، مشخص ساختن موجودی انبار، کاهش هزینه‌های نگهداری، امنیت و ارتقای کیفیت و سلامتی محصول و ممانعت از پس آوردن محصول می‌باشند. برچسب تشخیص با فرکانس رادیویی که در بسته‌بندی به‌کار می‌رود شامل یک گیرنده، فرستنده کوچک و یک آنتن می‌باشد. برچسب مذکور به علامت‌های دریافت شده از طریق آنتن خواننده اطلاعات، پاسخ داده و عدد مربوط به آن اطلاعات را به آنتن برگشت می‌دهد. بر چسب‌های تشخیص با فرکانس رادیویی می‌توانند اطلاعات بسیار ساده مورد استفاده برای ردیابی محصول (مثلاً اعداد مربوط به تشخیص یا تعیین هویت محصول) را نگه دارند و در عین حال توانایی دارند که اطلاعات بسیار پیچیده‌تر، مثلاً با ظرفیت ذخیره‌سازی بیش از یک مگابایت را در مورد خصوصیاتی مانند دما، رطوبت نسبی، اطلاعات تغذیه‌ای، دستورالعمل پخت یا آماده‌سازی غذا و سایر اطلاعات را منتقل کنند. لذا در مقایسه با بارکدهای معمولی، دارای کارایی و توانایی‌هایی بسیار بالاتری هستند [۱۱]. برچسب‌های مذکور دو نوع هستند، برچسب فعال که قدرت خود را از باطری می‌گیرد و محدوده عملکرد آن تا ۵۱ متر می‌رسد و برچسب منفعل که محدوده عملکرد آن کمتر بوده (حدود ۵ متر) و قدرت خود را از دستگاه برچسب خوان می‌گیرد. برچسب‌های تشخیص با فرکانس رادیویی برای استفاده در بسته‌های محتوی محصولات گوشتی بسیار مناسب هستند، البته هنوز کاربرد آنها در بسته‌بندی گوشت و محصولات گوشتی محدود است، اما با توجه به قابلیت‌های این تکنولوژی استفاده بیشتر از آنها در آینده قابل پیش‌بینی است [۸].

۴-کاربرد فناوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی

فناوری نانو به روش طراحی، توصیف، تولید و کاربرد ساختار و سامانه‌ها در مقیاس نانو اطلاق می‌شود. این فناوری با کنترل ابعاد و ساختار ماده در دامنه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، ویژگی‌های جدیدی را به ماده می‌دهد. استفاده از دانش نانو می‌تواند سبب بهبود کیفیت و کارایی مواد بسته‌بندی و در نتیجه اطمینان از امنیت غذایی گردد. یکی از خصوصیات مهم نانومواد نسبت سطح به حجم بالای آنها می‌باشد و خیلی از خواص نانو مواد به علت همین ویژگی است [۲۵]. نسبت سطح به حجم بالا در مواد در مقیاس نانو باعث می‌شود که آنها بتوانند با میکروارگانیسم‌ها و مولکول‌های بیولوژیک بیشتری تماس داشته باشند و نقش خود را مؤثرتر نشان دهند. بیشترین کاربرد فناوری نانو در زمینه بسته‌بندی و تشخیص عوامل بیماریزای غذایی می‌باشد. در همین راستا سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند به کمک نانوحسگرها طراحی شده‌اند که به رها شدن مواد شیمیایی ناشی از فساد مواد غذایی حساس هستند و با تغییر رنگ، فساد ماده غذایی را هشدار می‌دهند. امنیت غذایی در استفاده از فناوری نانو می‌باشد. مواد تولید شده براساس فناوری نانو، علاوه بر ایمنی بهداشتی بالاتر دارای قیمت کمتر و کیفیت بالاتر می‌باشند. بسته‌بندی یکی از مسائل اساسی در زمینه ایمنی غذا است [۲۸] .

استفاده از دانش نانو می‌تواند سبب بهبود کیفیت و کارایی مواد بسته‌بندی و در نتیجه اطمینان از امنیت غذایی گردد. بسته‌بندی‌های دارای نانو ذرات می‌توانند هوشمندانه به شرایط محیطی پاسخ دهند و یا مصرف‌کننده را در زمینه آلودگی هوا و یا حضور مواد سمی آگاه سازند. پلاستیک‌ها به طور وسیع در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند. با این وجود استفاده از آنها در جلوگیری از عبور اکسیژن، آب، دی اکسید کربن محدودیت‌هایی دارند. استفاده از نانو ذرات در پلاستیک‌ها می‌تواند سبب بهبود خاصیت نفوذپذیری بسته‌های غذایی گردد. برای مثال، بسته‌های حاوی نانو ذرات دارای مزایایی از قبیل ویژگی‌های مکانیکی، حرارتی و ممانعت کنندگی بهتر و سبب جلوگیری از عبور اکسیژن، دی اکسید کربن و رطوبت گردیده، همچنین موجب افزایش زمان ماندگاری، حفظ رنگ و عطر و طعم مواد غذایی و جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شوند [۴].

۴-۱- نانو ذرات فلزی

مطالعات نشان می‌دهد نانو ذرات متشکل از ذرات بسیار کوچک به سایز ۱ آنگستروم می‌باشند. در این ابعاد بسیار کوچک تعداد اتم‌ها و مولکول‌های تشکیل دهنده نانو ذرات بسیار محدود نانو ذرات ویژگی‌های نوری خاص و جدیدی را به آنها می‌دهند. در فلزات نجیب شامل نقره، پلاتین، طلا و مس زمانی که اندازهٔ ذرات به چند ده نانو متر می‌رسد، یک جذب خیلی قوی مشاهده می‌شود که منشأ آن، نوسان الکترون‌ها در نوار هدایت از سطح

یک ذره به ذره دیگر است به این نوسانات که یک جذب قوی در ناحیه مرئی دارد، جذب پلاسمون سطحی گفته می‌شود، که از سال‌ها پیش مورد استفاده قرار گرفته است [۴]. فرکانس و عرض جذب پلاسمون وابسته به شکل و اندازه نانو ذرات بوده و به همان نسبت به ثابت دی الکتریک محیط و فلز وابسته می‌باشد. پلاسمون‌ها نقش مهمی در خواص نوری فلزات دارند. پدیدهٔ تشدید پلاسمون سطحی، برانگیختگی مد ارتعاش جمعی الکترون‌های آزاد فصل مشترک فلز و دی الکتریک می‌باشد. این برانگیختگی ناشی از برهمکنش امواج الکترومغناطیس در ناحیه مرئی با الکترون‌های آزاد نانو ذرات می‌باشد. به‌طور کلی، یکی از خواص متمایز کننده نانو ذرات فلزی در مقایسه با مواد در مقیاس بزرگ، خواص نوری آنها است [۱۴]. در نانو ذرات، پلاسمون سطحی در فضای محدودی قرار می‌گیرد، به گونه‌ای که الکترون‌ها در این فضای کوچک و در مسیر یکسان به سمت عقب و جلو نوسان می‌کنند. این اثر، رزونانس پلاسمون سطحی موضعی (LSPR) نامیده می‌شود. اگر این الکترون‌ها درون حجم یک فلز قرار داشته باشد به آنها پلاسمون‌های حجمی گفته می‌شود. زمانی که فرکانس این نوسانات با فرکانس نور به‌وجود آورنده پلاسمون یکسان باشد، گفته می‌شود که پلاسمون در رزونانس با نور برخوردی است. امروزه کاربرد این پدیده در شناسایی و آشکارسازی مواد، گازهای شیمیایی و مولکول‌های بیولوژیکی و در نهایت در شناساگرهای رنگ‌سنجی بسته‌بندی هوشمند محصولات غذایی توسعه پیدا کرده‌اند [۲۸]. خلاصه‌ای از کاربرد نانو ذرات در بسته‌بندی محصولات گوشتی در جدول (۲) ارائه شده است.

۴-۱-۱- نانو ذرات طلا [1]

در میان نانو ذرات فلزات نجیب نانو ذرات طلا مواد مؤثری برای شناساگرهای رنگ‌سنجی می‌باشند. علاوه‌بر این، به‌دلیل اندازه بی‌نهایت کوچک و پتانسیل مفیدشان در گستره وسیعی از صنعت و تکنولوژی مواد غذایی توجه زیادی را به‌سمت خود جلب کرده اند. ویژگی های نوری نانو ذرات طلا به شدت وابسته به اندازه و شکل آن ها می باشد[۹]. همچنین نانو ذرات به علت کوچک بودن اندازه‌شان در مقابل عوامل ناپایدارکننده مانند عوامل فیزیکی (ضربه و برخوردهای فیزیکی) و عوامل محیطی مثل نور و دما پایدار می‌باشند. با توجه به خواص نوری آنها، برای شناسایی پاتوژن در هر دو فرم آزاد یا متصل به دیگر ترکیبات موجود در محصول مانند لیگاندها، از نانو ذرات طلا استفاده می‌شود [۴]. سانگ و همکاران شناساگررنگ سنجی بر اساس آپتامر [2] مجهز شده به نانو ذرات طلا را به منظور تشخیص سریع و آسان سالمونلا تیفی موریوم در گوشت ماکیان و پرندگان طراحی کردند. در حقیقت این شناساگر ها براثر برهمکنش بین سالمونلا تیفی موریوم با آپتامر در سطح نانوذرات طلا در حضور غلظت بالای نمک سدیم کلرید (NaCl) قادر به شناسایی مقادیر کمی از سالمونلا تیفی موریوم از طریق تغییرات رنگ می‌باشند. تغییرات رنگ شناساگر رنگ سنجی از قرمز به آبی مایل به بنفش می باشد. با توجه به این که سالمونلا تیفی موریوم جزء یکی از بیماری زا ترین میکروارگانیسم‌ها می‌باشد، بنابراین شناسایی و تشخیص به هنگام و سریع آن به منظور نظارت بر کیفیت محصول و بهبود ایمنی بسیار حائز اهمیت است [۳۳] .

جدول(۲): چکیده‌ای از کاربرد نانو ذرات برای بسته‌بندی محصولات گوشتی

عملکرد	محصولات غذایی	نانوذره
شناسایی آمین های بیوژنیک	گوشت قرمز [۲۸]	نانو ذرات اکسید روی
حفظ ساختار بافت محصول بهبود ظرفیت نگهداری آب. کاهش تخریب کیفیت محصول	گوشت مرغ [۳۶]	
فعالیت ضد میکروبی	سوسیس مرغ گوشت قرمز چرخ کرده [۲۳]	نانوذرات نقره
شناسایی ترکیبات سولفیدی	گوشت چرخ کرده خوک [۳۰]	
گوشت قرمز/ماهی	گوشت قرمز/ماهی [۳۴]	نانو ذرات طلا
فعالیت ضد میکروبی (علیه باکتری‌های بیماری‌زا و عامل فساد)	گوشت گوسفند [۱۹]	نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید
شناسایی ترکیبات ازته فرار	گوشت یخزده [۲]	

۴-۱-۲- نانو ذرات نقره [3]

در حالی که نانو ذره طلا یک شناساگر رنگ‌سنجی عالی برای شناسایی ترکیبات زیستی می‌باشند، اما اخیرا استفاده از نانو ذره نقره به‌طور گسترده‌ای در شناساگرهای رنگ‌سنجی به منظور تشخیص و شناسایی ترکیبات شیمیایی توسعه پیدا کرده است. در طی چند دهه گذشته استفاده از نانو ذرات نقره در ظروف بسته‌بندی فعال مواد غذایی مختلف به‌عنوان مواد افزودنی، به

[1] AuNPs

[2] Aptamer
[3] AgNPs

علت غیر قابل نفوذ بودن نسبت به اکسیژن و رطوبت، توانسته از رشد باکتری‌ها و کپک‌ها در بسته‌بندی جلوگیری کند و در نتیجه، سبب افزایش ماندگاری محصول و پایداری ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی آن شود. به‌همین دلیل استفاده از نانو ذره نقره در بسته‌بندی‌های فعال ضد میکروبی، به‌عنوان پرکننده فعال در نانوکامپوزیت‌های پلیمری گسترش پیدا کرده است [۲۰].

آباراگوس و همکاران شناساگر رنگ‌سنجی جدیدی را بر اساس نانو ذرات نقره تثبیت شده در کامپوزیت PVA[1] به منظور نظارت بر تازگی سینه مرغ طی نگهداری طراحی کردند. زیرا طی فساد گوشت مرغ به‌طور معمول ترکیبات مختلف فراری از جمله آمونیاک و سایر آمین‌های بیوژنیک تولید می‌شود، که استفاده از این شناساگرهای رنگ‌سنجی برای تشخیص و شناسایی این ترکیبات شیمیایی توصیه شده است [۱].

۴-۲- نانو ذرات اکسید فلزات

نانو ذرات اکسید فلزات برخلاف نانو ذرات فلزات نجیب، از مواد پلاسمونیک نیستند. این مواد برنامه‌های اصولی و کاربردی برای الگوهای تغییر رنگ به‌دلیل سطح بالای آنها فراهم می‌کنند و به دلیل اندازه کوچک و نسبت سطح به حجم بالا خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی از خود نشان می‌دهند. با توجه به این خواص منحصر به فرد، نانو ذرات اکسید فلزی در طیف وسیعی از برنامه‌های کاربردی مثل حسگرهای زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند. متداول‌ترین اکسیدهای فلزی برای این کاربرد تیتانیوم دی اکسید[2] و اکسید روی[3] گزارش شده است.

۴-۲-۱- نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید

نانوذرات دی اکسید تیتانیوم یکی از پرکاربردترین نانو ذرات نیمه‌رسانا با ویژگی‌های خاص آبدوستی و فوتوکاتالیستی برای رنگ‌های سفیدکننده، جاذب نور ماورا بنفش و آنتی باکتریال هستند و علیه پاتوژن‌های منتقله از طریق مواد غذایی شامل سالمونلا، ویبریو پاراهمولیتیکوس و لیستریا مونوسیتوژنز تحت نورUV مؤثر می‌باشند. به طور گسترده‌ای در ساخت نانوکامپوزیت‌های پلیمری با هدف بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد دارند. این نانو ذرات در جذب نورهای با طول موج کوتاه بسیار کارآمد هستند و از این رویکرد برای حفاظت، از اشعه ماورا بنفش در بسته‌بندی محصولات غذایی استفاده می‌شود [۴]. ژیایویی و همکاران فیلم‌های شناساگر رنگ‌سنجی براساس نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید به منظور تشخیص و شناسایی سریع، آسان و دقیق ازتری متیل آمین (TMA) و ترکیبات فرار به منظور نظارت و کنترل بر کیفیت محصولات گوشتی طراحی کردند. در حقیقت این شناساگرهای خاص رنگ‌سنجی بر روی یک فیلم نانو متخلخل تیتانیوم دی اکسید و یک صفحه سلیکاژل طراحی شدند که در طی شناسایی TMA توسط بستر و واکنش با نانوذرات تیتانیوم دی اکسید منجر به تغیر رنگ فیلم شناساگر رنگ‌سنجی گردیده است. همچنین در طی این تحقیق توزیع رنگ یکنواخت‌تری روی فیلم شناساگر رنگ‌سنجی به دلیل خواص سطحی مطلوب و ساختارهای ریز متخلخل نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید به‌دست آمده است [۳۴].

۴-۲-۲- نانو ذرات اکسید روی

نانوذرات اکسید روی دارای ویژگی‌هایی مانند نیمه‌رسانایی، پیزو الکتریک و پیرو الکتریک هستند. این خواص بی‌نظیر باعث می‌شوند که ذرات اکسید روی از غنی‌ترین مواد نانو ساختاری باشند. علاوه بر این، نانو ذرات اکسید روی ایمن هستند و می‌توانند در کاربردهای صنایع غذایی به راحتی و بدون روکش استفاده شوند. اکسید روی نیز به‌عنوان یک عامل ضد میکروبی عمل می‌کند و به خصوص بر روی اسپورهای مقاوم به حرارت تأثیر می‌گذارد. در حقیقت اثر کشندگی نانو ذرات روی را به‌دلیل خواص تولید هیدروژن پراکسید نسبت می‌دهند [۴].

البته خاصیت ضد میکروبی نانو ذرات اکسید روی بستگی به افزایش و یا کاهش اندازه ذرات آن دارد. به همین دلیل امروزه با توجه به خاصیت ضد میکروبی فیلم‌های مبتنی بر نانو ذرات اکسید روی، استفاده از نانو ذرات اکسید روی در بسته‌بندی فعال و هوشمند محصولات غذایی به ویژه محصولات گوشتی گسترش پیدا کرده است. هیرا و همکاران فیلم‌های شناساگر رنگ‌سنجی pH مبتنی بر کامپوزیت‌های پلی ونیل الکل و نانو ذرات اکسید روی را به منظور نظارت بر کیفیت و تازگی محصولات گوشتی طراحی کردند. زیرا طی نگهداری و فساد محصولات گوشتی ترکیباتی به عنوان متابولیت‌های میکروبی در اثر سوخت و ساز میکرو ارگانیسم‌ها و ضمن رشد و فعالیت آنها پدید می‌آید. این ترکیبات بر روی شناساگرهای‌های رنگ‌سنجی pH مبتنی بر کامپوزیت‌های پلی ونیل الکل و نانو ذرات اکسید روی تأثیرگذار می‌باشند. در حقیقت ترکیبات مذکور باعث تغییر pH محصولات گوشتی می‌گردند. این تغیرات توسط شناساگرها مورد شناسایی

[1] Poly vinyl alcohol
[2] Titanium dioxideNPs
[3] Zinc oxideNPs

قرار می‌گیرند. بنابراین رنگ فیلم‌های شناساگر که ابتدا به رنگ صورتی روشن بوده با افزایش pH به دنبال تولید ترکیبات قلیایی طی فساد محصولات گوشتی به رنگ نارنجی تیره تبدیل می‌شود. البته کاربرد شناساگرهای رنگی pH ممکن است در دیگر سامانه‌های بسته‌بندی محصولات غذایی نوید بخش باشد [۱۶].

۵- نتیجه‌گیری

زنجیره غذایی انسان با تأمین غذای سایر حیوانات اهلی و غیر اهلی نیز گره خورده است. به گونه‌ای که امروزه بشر بایستی منابع غذایی دام‌های خود را نیز تأمین کند تا بتواند نیاز رو به رشد غذایی و تنوع غذایی جامعه را تأمین نماید. نانو تکنولوژی به عنوان یک فناوری نو ظهور که در تمام جنبه‌های زندگی بشر وارد شده است، می‌تواند در این امر هم تأثیرگذار باشد. واضح است که امروزه نانو تکنولوژی از تولید مواد غذایی تا حمل و نقل و بسته‌بندی و رسیدن به‌دست مصرف‌کننده وارد شده است و در تأمین سلامت این مواد و رفع آلودگی‌های مختلف میکروبی هم ایفای نقش می‌کند. با توجه به استقبال روز افزون مردم از محصولات بر پایه نانو می‌توان این فناوری را نماد کامل " همکاری در سلامت مواد غذایی از مزرعه تا سفره" در نظر گرفت. دانش نانو به عنوان یک فناوری نوین امکانات بالقوه ای را برای بهبود کیفیت و امنیت غذا فراهم آورده است. بیشترین کاربرد فناوری نانو در زمینه بسته‌بندی و تشخیص عوامل بیماری‌زای غذایی می‌باشد. به طوری که موجب تمایل بسیاری از شرکت‌ها جهت استفاده از این فناوری شده است و بسیاری از شرکت‌های مطرح در صنایع غذایی جهان به تحقیق و توسعه در این زمینه پرداخته‌اند و برخی از محصولات حاصل از این فناوری را روانه بازار نموده و برخی دیگر از محصولات آن‌ها در انتظار ورود به بازار هستند. گردش مالی قابل توجهی که در محصولات این فناوری وجود دارد، مبین این اهمیت می‌باشد؛ لذا ضروری است شرکت‌های صنایع غذایی ایرانی نیز ورودی جدی به این عرصه داشته باشند تا ضمن افزایش کیفیت محصولات خود، از ارزش افزوده قابل توجهی که در این فناوری ایجاد شده است، بهره‌مند گردند. برای استفاده گسترده از فناوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی باید موضوعات مهمی را در نظر گرفت. مهم‌ترین آنها مسأله ایمنی است، زیرا ممکن است نانو ذرات از ظروف بسته‌بندی مواد غذایی وارد غذا شوند. با این وجود تحقیقات جامع‌تری به منظور بررسی تاثیر تماس نانو ذرات مختلف با مواد غذایی بر روی سلامتی انسان در طولانی مدت با توجه به توانایی آنها در عبور از غشا سلولی مورد نیاز است و به همین دلیل پیش از مجوز گرفتن برای تولید در مقیاس بزرگ‌تر باید در برخی از جنبه‌ها احتیاط لازم به‌کار گرفته شود. گرچه از نظر دوراندیشی مصرف‌کننده، نظریه شاخص و نشانه‌های کیفیت مواد غذایی دیدگاه بسیار خوبی است. اما در نگاه خرده فروشان چندان جالب توجه نیست. فروشندگان کوچک از این می‌ترسند که با دادن ریز اطلاعات در زمینه تازگی فرآورده، مصرف‌کنندگان تازه‌ترین فرآورده‌ها را از طبقه‌های مغازه گزینش و برداشت کرده و فروشگاه با فرآورده‌های زیاد غیر قابل فروش مواجه شود. به طور کلی به نظر می‌رسد که برای دسترسی به مزایا و قابلیت‌های شناساگرهای رنگ‌سنجی بر پایهٔ نانو ذرات در بسته‌بندی‌های هوشمند برای گوشت ماهی و محصولات گوشتی به تحقیقات گسترده‌ای نیاز باشد. زمینه‌های این تحقیقات می‌تواند در مواردی مانند مدل‌سازی‌های مناسب‌تر از بر هم کنش‌های بین غذاها و میکرو ارگانیسم‌ها و متابولیت‌های آنها در شرایط مختلف نگهداری، درک بهتر از روابط موجود بین تشخیص فساد و کیفیت حسی غذا، یافتن حسگرها و شناساگرهای مناسب برای بسته‌بندی‌های انبوه، افزایش اطلاعات در مورد رفتارها و خصوصیات ابزارهای مورد استفاده برای بسته‌بندی‌های هوشمند در نقاط مختلف از مسیر زنجیره تولید، انبارداری و توزیع، همچنین فهم کامل‌تر از حساسیت‌ها و حد اطمینان مربوط به بسته‌بندی‌های هوشمند و ابزارهای آنها مؤثر باشد.

۶- مراجع

[1] R. Abargues, P. J. Rodríguez-Cantó, S. Albert, I. Suárez, and J. P. Martínez -Pastor “Plasmonic optical sensors printed from Ag-PVA nanoinks as intelligent labels for food control,”.

[2] M. Alizadeh-Sani, E. Mohammadian, and D. J. Mc Clements, “Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO2 and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat,” Food chemistry, vol. 322, pp. 126-782, 2020.

[3] S. Amjadi, S. Emaminia, M. Nazari, S. H. Davudian, L. Roufegarinejad, and H. Hamishehkar, “Application of reinforced ZnO nanoparticle-incorporated gelatin bionanocomposite film with chitosan nanofiber for packaging of chicken fillet and cheese as food models,” Food and Bioprocess Technology, vol. 12, pp. 1205-1219, 2019.

[4] N. Bumbudsanpharoke and S. Ko, “Nanomaterial-based optical indicators: Promise, opportunities, and challenges in the development of colorimetric systems for intelligent packaging,” Nano Research, vol. 12, pp. 489-500, 2019.

[5] H. Z Chen, M. Zhang, B. Bhandari, and C. H. Yang, “Novel pH-sensitive films containing curcumin and anthocyanins to monitor fish freshness,” Food Hydrocolloids, vol. 100, pp. 105-438, 2020.

Chemical Communications, p.p. 2959-2961, 2007.

[21] A. Listyarini and W. Sholihah, "A paper-based colorimetric indicator label using natural dye for monitoring shrimp spoilage," in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, pp. 12-45, 2018.

[22] X. Liu, K. Chen, J. Wang, Y. Wang, and Y. Tang, "An on-package colorimetric sensing label based on a sol-gel matrix for fish freshness monitoring," Food chemistry, vol. 307, pp. 125-580, 2020.

[23] S. Mathew, S. Snigdha, and J. Mathew, "Biodegradable and active nanocomposite pouches reinforced with silver nanoparticles for improved packaging of chicken sausages," Food Packaging and Shelf Life, vol. 19, pp. 155-166, 2019.

[24] C. Medina-Jaramillo, O. Ochoa-Yepes, C. Bernal, L. Famá, "Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts,, Carbohydrate Polymers, vol. 176, pp. 187-194, 2017.

[25] S. R. Mousavi and M. Rezaei, "Nanotechnology in agriculture and food production," J. Appl. Environ. Biol. Sci., vol. 1, pp. 414-419, 2011.

[26] S. Pirsa and T. Shamusi, "Intelligent and active packaging of chicken thigh meat by conducting nano structure cellulose- polypyrrole-ZnO film," Materials Science and Engineering: C, vol. 102, pp. 798-809, 2019.

[27] D. A. Pereira de Abreu, J. M. Cruz, and P. Paseiro Losada, "Active and intelligent packaging for the food industry," Food Reviews International, vol. 28, pp. 146-187, 2012.

[28] P. M. Rahman, V. A. Mujeeb, and K. Muraleedharan, "Flexible chitosan-nano ZnO antimicrobial pouches as a new material for extending the shelf life of raw meat," International journal of biological macromolecules, vol. 97, pp. 382-391, 2017.

[29] P. M. Rahman, V. A. Mujeeb, and K. Muraleedharan, "New insights into the role of nanotechnology in microbial food safety," 3 Biotech, vol. 10, pp. 1-15, 2020.

[30] P. Sukhavattanakul and H. Manuspiya, "Influence of hydrogen sulfide gas concentrations on LOD and LOQ of thermal spray coated hybrid-bacterial cellulose film for intelligent meat label," Carbohydrate Polymers, vol. 254, pp. 117-442, 2021.

[31] V. Shukla, G. Kandeepan, M. R. Vishnura, J. A. Soni, "Anthocyanins based indicator sensor for intelligent packaging application," Agricultural research, vol. 5, pp. 205-209, 2016.

[32] M. S. Verma, J. L. Rogowski, L. Jones, and F. X. Gu, "Colorimetric biosensing of pathogens using gold nanoparticles," Biotechnology advances, vol. 33, pp. 666-680, 2015.

[33] H. M. Walsh, and J. P. Kerry, "Meat processing: improving quality: Elsevier," 2002.

[34] Y. C. Wang, C. O. Mohan, J. Guan, C. N. Ravishankar, and S. Gunasekaran, "Chitosan and gold nanoparticles-based thermal history indicators and frozen indicators for perishable and temperature-sensitive products," Food control, vol. 85, pp. 186-193, 2018.

[6] D. Dainelli, N. Gontard, D. Spyropoulos, and P. Tobback, "Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns," Trends in Food Science and Technology, vol. 19, pp. 103-S112, 2008.

[7] R. Dobrucka and R. Cierpiszewski, "Active and intelligent packaging food-Research and development-A Review," Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, vol. 64, 2014.

[8] Z. Fang, Y. Zhao, R. D. Warner, and S. K. Johnson, "Active and intelligent packaging in meat industry," Trends in Food Science and Technology, vol. 61, pp. 60-71, 2017.

[9] A. R Ferhan, L. Guo, X. Zhou, P. Chen, S. Hong, and D. H. Kim, "Solid-phase colorimetric sensor based on gold nanoparticle-loaded polymer brushes: lead detection as a case study," Analytical chemistry, vol. 85, pp. 4094-4099, 2013.

[10] A. E. Ghaly, D. Dave, S. Budge, and M. Brooks, "Fish spoilage mechanisms and preservation techniques," American journal of applied sciences, vol. 7, pp. 859, 2010.

[11] G. Ghoshal, "Recent trends in active, and intelligent packaging for food products," in Food packaging and preservation, ed: Elsevier, pp. 343-374, 2018.

[12] L. Gram, and H. H. Huss, "Microbiological spoilage of fish and fish products," International journal of food microbiology, vol. 33, pp. 121-137, 1996.

[13] S. I. Hong, "Gravure printed color indicators for monitoring Kimchi fermentation as a novel intelligent packaging," Packaging Technology and Science: An International Journal, vol. 15, pp. 155-160, 2002.

[14] M. Hoseinnejad, S. M. Jafari, and I. Katouzian, "Inorganic and metal nanoparticles and their antimicrobial activity in food packaging applications," Critical reviews in microbiology, vol. 44, pp. 161-181, 2018.

[15] T. Hutton, "Food packaging: An introduction: Campden and Chorleywood Food Research Association Group, 2003.

[16] A. Jayakumar, K. V. Heera, T. S. Sumi, M. Joseph, S. Mathew, G. Praveen, and E. K Radhakrishnan, "Starch-PVA composite films with zinc-oxide nanoparticles and phytochemicals as intelligent pH sensing wraps for food packaging application," International journal of biological macromolecules, vol. 136, pp. 395-403, 2019.

[17] J. P. Kerry, and S. A. Hogan "Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review," Meat science, vol. 74, pp. 113-130, 2006.

[18] B. Kuswandi, T. S. Larasati, and A. Abdullah, "Real-time monitoring of shrimp spoilage using on-package sticker sensor based on natural dye of curcumin," Food Analytical Methods, vol. 5, pp. 881-889, 2012.

[19] W. Lan, S. Wang, Z. Zhang, X. Liang, X. Liu, and J. Zhang, "Development of red apple pomace extract/chitosan-based films reinforced by TiO2 nanoparticles as a multifunctional packaging material," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 168, pp. 105-115, 2021.

[20] H. Y. Lee, H. K. Park, Y. M. Lee, K. Kim, and S. B. Park, "A practical procedure for producing silver nanocoated fabric and its antibacterial evaluation for biomedical applications,"

A Review on the Application of Metal Nanoparticles in Colorimetric Indicators Applied in Smart Packaging of Meat Products

Z. Teymouri[*] , H. Shekarchizadeh

* Master Student in Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, Isfahan University

(Received: 18/10/2021; Accepted: 04/05/2021)

Abstract

Today, researchers refuse to use the traditional packaging systems because these systems do not offer any information about the quality of meat products at any stage of the supply chain to the consumers and producers and the use of new technologies is recommended to monitor the quality and spoilage of fresh meat products, with the aim of reducing the incidence of food intoxication and the production of meat waste along the chain. While the traditional packaging systems are able to provide few services in the field of supply chain monitoring, the new intelligent packaging systems with the aim of monitoring the quality of packaged meat or its environment are advancing towards providing innovative solutions in the industry of production and supply of meat products. This information will be readily available to the consumer through color detection indicators in packaged meat after spoilage. The use of metal nanoparticles demonstrates excellent communication performance compared to the traditional colorimetric indicators due to its unique optical properties and high level of reactivity for monitoring the condition of packaged meat or the environment around the product. This paper focuses on scientific research and recent technological breakthroughs related to nanotechnology-derived colorimetric indicators, and the challenges of their application are highlighted and discussed to provide the required information for future development.

Keywords: Nanotechnology, Intelligent Packaging, Optical Property, Meat Products

[*] Corresponding author E-mail: zahrateymouri82@gmail.com