مروری بر روش‌های بسته‌بندی هوشمند در محصولات گوشتی تازه و شناخت مزایا و معایب کاربردی هر یک از روش‌ها

حامد مهدویان مهر[1*]، ناصر صداقت[2]

تاریخ دریافت مقاله: شهریور ماه ۱۳۹٤

تاریخ پذیرش مقاله:دی ماه ۱۳۹٤

چکیده

نظارت بر کیفیت و فساد محصولات گوشتی تازه، با هدف کاهش ابتلا به بیماری‌های غذایی و کاهش تولید ضایعات گوشتی در طول زنجیره تامین آن، ضروری 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 راه‌حل‌های نوآورانه در صنعت تولید و عرضه فرآورده‌های گوشتی می‌باشند. به طوری که، انواع شناساگرهای تجاری دما- زمان، اکسیژن، یکپارچگی، شناساگرهای تازگی و رادیو فرکانس با مفاهیم هوشمند، در جهت بهبود شرایط نگهداری و کاهش ضایعات محصولات گوشتی تازه و ایمن‌تر، تا کنون به بازار مواد غذایی معرفی شده‌اند. با این حال، هر یک از این روش‌ها دارای معایب و مزایای بوده، که عملکرد و کارایی آن سامانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

واژه‌های کلیدی

محصولات گوشتی تازه، بسته‌بندی هوشمند، شناساگرهای دما- زمان و شناساگر تازگی، سامانه‌های رادیو فرکانس(RFID)، معایب و مزایا.

۱- مقدمه

بسته‌بندی سنتی گوشت تازه، به منظور جلوگیری از آلودگی، تأخیر در فساد محصول، اجازه به فعالیت برخی از آنزیم‌ها در جهت بهبود تردی بافت گوشت، کاهش افت وزنی، اطمینان از تشکیل رنگدانه اکسی میوگلوبین[3] یا رنگ قرمز روشن در نظر مصرف‌کننده هنگام خرید گوشت تازه انجام می‌شود[۱]. با این حال، امروزه با پیشرفت فنّاوری و افزایش درخواست مصرف‌کنندگان و صنعت، نسبت به ارائه محصولات گوشتی با عمر مفید طولانی‌تر، ایمن و سالم‌تر، راحتی در مصرف، همگام با محیط زیست و کاهش ضایعات مواد غذایی، دیگر روش‌های سنتی بسته‌بندی قادر به پاسخ‌گویی به این درخواست‌ها نمی‌باشند. در پاسخ به این چالش‌ها، نسل جدیدی از بسته‌بندی‌ها با عنوان بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند به بازار معرفی شده‌اند که در این میان، بسته‌بندی‌های هوشمند با هدف نظارت بر وضعیت ماده غذایی بسته بندی شده و یا محیط اطراف آن طراحی می‌گردند[۲]. یک سامانه بسته‌بندی هوشمند، قادر به تشخیص، سنجش، ضبط، ردیابی، و یا برقراری ارتباط برای بیان اطّلاعات در خصوص کیفیت و/ یا جایگاه محصول در طول کل زنجیره غذایی است[۳]. این دسته از بسته‌بندی‌ها، نه تنها اطّلاعاتی را در خصوص خود محصول ارائه می‌دهند

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد.
(* نویسنده مسئول: hamed.m.mehr@gmail.com)
۲- عضو هئیت علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی(sedaghat1@yahoo.com).

3- Oxymyoglobin

(نظیر مبدأ، تاریخ انقضا، ترکیب آن)، بلکه قادر به اطّلاع‌رسانی در مورد تاریخچه محصول (شرایط ذخیره‌سازی، ترکیب فضای فوقانی، رشد میکروبی و غیره) نیز می‌باشند. با اطّلاع از این امر که در میان محصولات غذایی فسادپذیر، فساد گوشت خام در طول زنجیره تأمین آن می‌تواند منجر به از دست رفتن بیش از ٤٠ درصد مقدار گوشت تولیدی به همراه به خطر انداختن سلامت و ایمنی مصرف‌کننده گردد[٤]. بنابراین، استفاده از بسته‌بندی‌های هوشمند، نشان‌دهنده یک پیشرفت بزرگ برای جلوگیری از تولید ضایعات گوشتی بیشتر و بهبود تدارکات و ردیابی کیفیت محصول در حین تولید می‌باشند. عملکرد هوشمند در بسته‌بندی را می‌توان با استفاده از نشانگرها یا شناساگرها[1]، حسگرها[2] و یا ابزاری با توانایی برقراری ارتباط در ارائه اطّلاعاتی در خصوص سامانه بسته‌بندی به دست آورد. این شناساگرها در خصوص تغییرات محصول یا محیط پیرامون آن (به عنوان مثال: تغییرات دما، pH) با استفاده از ایجاد تغییرات قابل رؤیت اطّلاع‌رسانی می‌کنند. در این مقاله، مروری کلی بر انواع شناساگرهای پر کاربرد در بحث بسته‌بندی هوشمند گوشت‌های تازه عضلانی (نظیر قطعات گوشت قرمز، ماهی و ماکیان) شامل شناساگرهای دما- زمان[3]، اکسیژن و یکپارچگی[4] و شناساگرهای تازگی[5] با مفاهیم هوشمند و برنامه‌های به روز رسانی شده در جهت بهبود شرایط نگهداری و کاهش ضایعات محصولات گوشتی تازه آشنا خواهیم شد. علاوه بر این، نگاهی بر مزایا و معایب کاربردی هر یک از این فنّاوری‌های هوشمند در بحث بسته‌بندی گوشت تازه خواهیم داشت.

۲- بسته‌بندی‌های هوشمند: مفاهیم و کاربرد آن‌ها در محصولات گوشتی تازه

۲-۱- شناساگرهای دما- زمان (TTI)

دما یکی از مهم‌ترین شاخص‌های محیطی، در جهت تعیین مدّت زمان نگهداری گوشت می‌باشد. به طوری که، از دست دادن کیفیت بهداشتی، تغذیه‌ای، حسی و یا فساد گوشت به طور قابل توجّهی به دما بستگی دارد، شناساگرهای دما- زمان، به عنوان ابزارهای مؤثر برای نظارت مستمر بر تاریخچه حرارتی و زمانی محصولات سرد و منجمد شده در سراسر زنجیره غذایی شناخته می‌شوند. این دسته از شناساگرها قادر به ارائه اطّلاعاتی به فرم تغییرات بصری در طی زمان سپری شده از بسته‌بندی می‌باشند، که شدّت این تغییرات بصری بر اساس فرآیندهایی بوده، که با افزایش دما شتاب می‌یابند(جدول ۱)[٥].

جدول ۱- انواع شناساگرهای دما – زمان، نحوه عملکرد و ویژگی منحصر به فرد هر یک از آن‌ها

نام شناساگرهای دما- زمان	نحوه عملکرد	ویژگی منحصر به فرد
3M Monitor Mark	تهیه استر اسید چرب با نقطه ذوب انتخابی و قابلیت اختلاط در رنگدانه	سادگی در تهیه و کاربرد – نیاز به مشروط کردن قبل از استفاده
Keep-it® Fresh	واکنش شیمیایی بین واکنش‌دهنده تثبیت شده و یک واکنش‌دهنده محرک	نمایش بصری بسیار مشخص و قابل درک
Fresh-Check	پلیمریزاسیون کریستال‌های استیلن غیراشباع	ارائه بصری زمان باقی‌مانده تا انقضاء کامل محصول
VITSAB®	واکنش‌های آنزیمی حساس به دما و زمان	نیاز به فعال‌سازی اولیه دارد.
OnVu™	واکنش‌های فتوکرومیک، جوهر حساس به حرارت	قابلیت همزمان چاپ و برچسب‌زنی
TopCryo™	عملکرد میکروبی – ردیابی متابولیک‌های تولید در حضور رنگدانه	ارائه تفسیر دقیق‌تری از شرایط میکروبی و فساد ماده غذایی

1- Indicators
2- Sensors
3- Time–Temperature Indictors
4- Oxygen and Integrity Indicators
5- Freshness Indicators

شناساگر دما- زمان به عنوان ابـزاری دقیـق بـرای پـایش تغییرات درجه حرارت در حین ذخیره‌سـازی یـک محـصول خاص شناخته شده، که ضبط زمان توسط شناسـاگر از زمـان قـرار گـرفتن محـصول در دمـای بـالاتر از دمـای آسـتانه ذخیره‌سازی آن، آغاز مـی‌گـردد[٦]. بنـابراین، بـرآورد رشـد میکروبـی در داخـل بـسته‌بنـدی، بـدون ارائـه اطّلاعـاتی در خـصوص کیفیـت محـصول بـسته‌بنـدی شـده توسـط شناساگرهای دما-زمان، امکان‌پـذیر مـی‌باشـد. در خـصوص ویژگی‌های مدنظر برای معرفـی یـک شناسـاگر دمـا - زمـان ایده‌آل می‌توان بیان داشت که، این نـوع شناسـاگرها بایـستی کوچـــک، ارزان قیمـــت، قابـــل اعتمـــاد و همگـــام بـــا یکپارچـه‌سـازی در سـامانه بـسته‌بنـدی باشـند. همچنـین، از دیدگاه ایمنی بسته‌بندی مواد غذایی یک شناساگر دما- زمـان ایده‌آل، نبایستی عمر مفید محصول را با قـرار دادن محـصول در معرض عوامل محیطی(نور، آلاینده‌های هوا و رطوبـت) و یا تنش‌های مکانیکی(فشار و اصطکاک) کـاهش داده و دارای اثرات مضر بر سلامت مصرف‌کننده و محیط زیـست باشـند. علاوه بر این، بایستی نشانه ساده، مستمر و قابل فهمـی بـرای تولید، عمده‌فروشان، خـرده‌فروشـان و مـصرف‌کننـدگان، بـا قابلیت اندازه‌گیری بصری و یـا الکترونیکـی ارائـه دهـد[٧]. امروزه، شناساگرهای دما- زمان موجود در بـازار، عمـدتاً بـر اساس فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی، آنزیمی و یا بیولـوژیکی عمل می‌کنند.

شکل ۱- شناساگر دما- زمان با نام تری – ام- مانیتور مارک

یکی از شناخته شده‌ترین شناساگرهای دما و زمان با نـام تری – ام- مانیتور مارک[1] دارای عملکردی غیرقابل برگـشت در معـرض تغییـرات درجـه حـرارت محـصولات غـذایی می‌باشند(شکل ۱). این شناساگر، متشکل از یک استر اسید چرب با نقطه ذوب انتخابی، یـک رنگدانـه آبـی رنـگ بـا قابلیت مخلوط شـدن بـا اسـتر اسـید چـرب و یـک نـوار فعال‌سازی، به عنوان مانعی بین شناساگر و مخـزن، قبـل از فعال‌سازی می‌باشـد. همـانطور کـه در(شـکل ۱) مـشاهده می‌شود، این اجزاء توسط یک لایه مقوا شامل پنجره بـرای مشاهده و یک لایه فیلم روشن پوشـیده شـده‌انـد. قبـل از استفاده از نوار فعال‌سازی، ضروری است که این شناسـاگر به منظور جلـوگیری از عملکـرد زود هنگـام آن، مـشروط گردد که ایـن امـر بـه طـور معمـول، از طریـق نگهـداری برچسب تحت شرایط دمای مناسب(یخچال، فریزر یا اتاق تحت شرایط دمای مشخص)، به مـدّت زمـان کمتـر از دو ساعت صورت می‌پذیرد. عمـل مـشروط کـردن در دمـای پائین، اطمینان می‌بخشد که بخش شیمیایی پاسخ‌گـو(اسـتر اسید چرب) در حالـت جامـد قـرار گرفتـه و آمـاده بـرای استفاده می‌باشد. کاغذ مخزن حاوی ماده رنگی و شناسـاگر متخلخل بعد از حذف نوار فعال‌سـازی در تمـاس بـا هـم قرار گرفته و هنگامی که در معرض درجه حرارت بالاتر از درجه حرارت بحرانی قرار گیرند، استر اسید چرب موجود در مخـزن شـروع بـه ذوب شـدن(بـه عنـوان مـاده حامـل رنگدانه آبی رنگ) شده و انتشار وابسته به درجـه حـرارت آن از طریق شناساگر، باعث ظهور رنگ آبی در امتداد ابزار درجه‌بندی، خواهد شد. این شناساگرها در رنج گسترده‌ای از درجه حرارت (١٥- تا ٢٦ درجه سانتی‌گراد) تهیه شـده و پاسخ‌دهی شناساگر دما- زمان توسط نوع و غلظت اسـتر تعیین می‌شود[١٠، ٨، ٩].

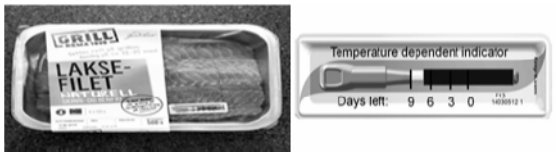
دیگر شناساگر تجاری کیپ ایت فـریش[2] ، بـه عنـوان یک شناساگر تاریخچه کامل دما– زمـان، بـر اسـاس یـک واکنش شیمیایی ارائه شده است(شکل ۲).

این سامانه، متشکل از یک واکنش‌دهنده تثبیـت شـده، نظیر Fe^{+3}، و یک واکنش‌دهنده محرک، نظیـر فروسـیانید[3] بوده، که در ابتدا در محفظه جداگانه، به وسیله یک دوخت

1- 3M Monitor Mark

2- Keep-it Fresh

3- Ferrocyanide



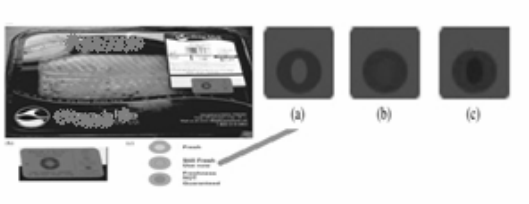
شکل ۲- شناساگر دما- زمان فریش- ایت-کیپ

کامل از واکنش‌دهنده تثبیت شده جدا می‌گردد. این سامانه با حذف دوخت بین محفظه‌ها فعال‌سازی شده، به طوری که واکنش‌دهنده محرک وابسته به زمان- درجه حرارت در تماس با واکنش‌دهنده تثبیت شده قرار می‌گیرد. در نتیجه، واکنش بین دو عامل محرک و تثبیت شده یک سیگنال بصری (ایجاد رنگ آبی) قابل تشخیص ایجاد می‌گردد[۱۱،۱۲].

شناساگرهای تاریخچه کامل دما– زمان با عنوان فریش چک[1] و فریشنیس مونیتور[2]، بر پایه یک واکنش پلیمریزاسیون[3] وابسته به درجه حرارت در فاز جامد عمل می‌کند. به طوری که، پلیمریزاسیون کریستال‌های دی استیلن[4] با دو پیوند دوگانه قابل جایگزنی(R-C=C-C=C-R) در موقعیت ۱ و٤، منجر به تولید یک پلیمر بسیار رنگی غیربرگشت پذیر با تغییر درجه حرارات می‌شود[۱۳،۸]. در طی پلیمریزاسیون[5]، مونومرها[6]، ساختار کریستالی خود را حفظ کرده و کریستال‌های پلیمری در زنجیرهای همسو باقی می‌مانند، که این امر بر روی خواص نوری تأثیر می‌گذارد[١٤]. بنابراین، تغییرات رنگ در این شناساگرها به عنوان یک اثر از کاهش بازتاب نور می‌باشد، که می‌تواند از طریق اسکنر[7] نوری تخمین زده شود. اطّلاعات به دست آمده در ابزار ارائه شده توسط شرکت تولیدکننده شناساگر دما- زمان، ذخیره‌سازی می‌گردد. این نوع شناساگرها خود فعال بوده و بنابراین باید در دمای بسیار پائین نگهداری شوند.

1- Fresh-Check
2- Freshness Monitor
3- Polymerization
4- Diacetylene
5- Polymerisation
6- Monomers
7- Scanners

شناساگر فریشنیس مونیتور، از یک تکه کاغذ چند لایه تشکیل شده است که از جلو به ترتیب، از یک نوار با پوشش نازکی از مونومر دی استیلن بی‌رنگ، دو بارکد شناسایی محصول و یک مدل شاخص تشکیل شده است.



شکل ۳- شناساگر تاریخچه کامل دما– زمان با نام فریش چک a – آماده برای مصرف، b- امکان استفاده سریع، c- تاریخ انقضاء محصول گذشته است.

در مقابل، شناساگر دما- زمان فریش چک، یک برچسب کوچک و ارزان قیمت برای محصولات فاسدشدنی نظیر گوشت بوده که در جهت نظارت زمان ماندگاری آن‌ها بکار می‌رود. این نسخه از شناساگر در یک پیکربندی بُلس آی[8] با فرمول بسیار خاصی از پلیمرهای حساس به دما- زمان در مرکز و احاطه شده به وسیله حلقه‌ای در اطراف طراحی شده است(شکل ۳). اگر محصول در معرض یک دمای آستانه قرار گیرد، تیرگی تدریجی و غیرقابل برگشتی از نقطه مرکزی آن آغاز می‌شود. شدّت این تغییرات رنگ وابسته به درجه حرارت می‌باشد، به طوری که، در درجه حرارت‌های بالاتر بسیار سریع و در دماهای پائین، فرآیند به آهستگی صورت می‌پذیرد. تغییرات رنگ از نقطه مرکز شناساگر می‌تواند به طور چشمی با مقایسه با یک حلقه مرجع ارزیابی شده یا به طور پیوسته به وسیله یک کالریمتر[9] قابل حمل یا غلظت‌سنج نوری اندازه‌گیری شود. در این برچسب‌ها، تا زمانی که نقطه مرکزی سیاه‌تر نسبت به حلقه خارجی شود، بیانگر تازگی محصول می‌باشد.

8- Bull’s-Eye
9- Calorimeter

از دیگر شناسگرهای دما – ز مـان تجـاری مـی‌تـوان بـه شناساگرهای[1] VITSAB، اشاره کرد. این شناساگرهای دما – زمان دارای عملکـردی بـسیار دقیـق براسـاس واکـنش‌هـای آنزیمی حساس به دما و زمـان مـی‌باشـند. ایـن شناسـاگرهـا متشکل از دو محفظه مجزا بوده، که محفظه اولی دربرگیرنـده یک محلول آبی از آنزیم لیپولیتیک [2] و محفظه دیگری حاوی سوبسترا[3] آنزیم بـوده کـه عمـدتاً متـشکل از ترکیبـات تـری گلیسریدی[4] و یک نشانگر تغییرات pH، می‌باشـد(شـکل ٤). هنگامی که دیوار بین دو محفظه شکـسته شـود، بـا مخلـوط شدن محتویات دو محفظه فعال می‌گـردد. تغییـرات رنـگ از سبز به زرد روشن با توجّه بـه عمـل هیـدرولیز[5] آنزیمـی در سوبسترا ایجاد می‌شود. بنابراین در این برچسب‌ها، رنگ سبز نشان‌دهنده تازگی محتوای بسته بوده، در حالی کـه گـسترش رنگ زرد، به معنـی پایـان رسـیدن زمـان اسـتفاده محـصول می‌باشد[۱۵،۵].

شکل ٤- شناساگر دما– زمان VITSAB

شناساگرهای دما- زمان بـا نـام آن- وی- یـو[6]، دارای عملکردی بر پایه فنّاوری جوهرهای حـساس بـه حـرارت بـوده، کـه در بیـان سـاده‌تـر، ایـن شناسـاگرها بـر پایـه واکنش‌های فتوکرومیـک[7] رنگدانـه‌هـای بنزوپیریـدن[8]، بـه عنوان رنگدانه‌های با قابلیت تغییر شدّت رنـگ وابـسته بـه درجه حرارت در طول زمان می‌باشند(شکل ۵). امـروزه از این شناساگرهای ساده و ارزان، به منظور نظارت بر اثـرات همزمان دما- زمان بر روی مواد غذایی سرد فاسـد شـدنی نظیـر گوشـت تـازه، گوشـت‌هـای فـرآوری شـده نظیـر سوسیس، ماهی، محصولات لبنی، وعده‌های غذایی آماده و دیگر مواد غذایی آماده مصرف، بـه هـر دو صـورت قابـل چاپ یا برچسب‌زنـی در درون یـا بـر سـطح بـسته‌بنـدی استفاده می‌شود. این برچسب‌هـا از یـک رنـگ مرجـع بـه عنـوان حلقـه‌ای در اطـراف نقطـه فتوکرومیـک بـر روی برچسب متشکل شده‌اند. فعال‌سازی این برچسب‌ها قبل از بکارگیری آن‌ها بر روی بسته به وسیله یک سامانه خودکار خاص در حین قرار گرفتن در معـرض تـابش نـور مـاورا بنفش انجام گرفته و سپس بـه منظـور محافظـت در برابـر اختلال در عملکرد فعال‌سـازی مجـدّد ابـزار از یـک لایـه بسیار نازک فیلتر[9] UV، بعد از فعال‌سازی استفاده می‌شـود. در هنگام فعال بودن، شناساگرهای دمـا–زمـان ابتـدا رنـگ آبی پر رنگ را ایجاد نموده که به تدریج با گذشت زمان و افزایش درجه حرارت، روشن‌تر می‌شوند.

شکل۵ – شناساگرهای دما- زمان با نام آن- وی- یو

1- Vitsab International AB
2- Lipolytic
3- Substrate
4- Tree Glycerin
5- Hydrolysis

6- OnVu
7- Photochromic
8- Benzopyridines
9- Ultraviolet(UV)

هنگامی که رنگ فعال بر روی برچسب به صورت سایه‌ای از رنگ مرجع(حلقه اطراف) در آمد، این نشان می‌دهد که محصول به پایان زمان ماندگاری خود رسیده است[۱۷،۱۶)]. حالت‌های نشانگر می‌تواند به وسیله چشم غیرمسلح و بدون نیاز به هر وسیله اختصاصی یا افزودنی چک شود. با این حال، سامانه‌های OnVu می‌تواند همچنین برای ارسال اطّلاعات دیجیتال استفاده شود. به منظور ایجاد عملکرد سازگار، نوع خاصی از کاغذ معمولاً برای این برچسب‌ها نیاز می‌باشد. رویکرد دیگر در بحث شناساگرهای دما-زمان تجاری، استفاده از شناساگرهای میکروبیولوژیکی[1] می‌باشد. سرعت تجزیه محصولات تازه گوشتی در نتیجه رشد میکروارگانیسم‌های[2] طبیعی آن، در درجه اول، تحت تأثیر درجه حرارت می‌باشد. به طوری که، حفظ درجه حرارت مناسب ذخیره‌سازی، رشد جمعیت میکروبی محصول را کاهش می‌دهد. اما قرار گرفتن محصول در معرض یک افزایش غیر طبیعی و طولانی مدّت درجه حرارت در حین ذخیره‌سازی، شتاب بیشتری در رشد جمعیت میکروبی ایجاد می‌نماید. از این رو، شناساگرهای میکروبی دما- زمان به عنوان پیشرفته‌ترین نوع شناساگرهای دما– زمان شناخته می‌شوند، به طوری که پاسخ آن‌ها به طور مستقیم با فساد میکروبی مواد غذایی مرتبط بوده، و این پاسخ ناشی از رشد و سوخت و ساز رخ داده در خود سامانه شناساگر دما- زمان می‌باشد [۱۸] . تا کنون، سامانه شناساگر دما- زمان با عنوان تاپ- کی- رو[3] متناسب جهت استفاده در صنایع غذایی ارائه شده‌اند[۲۱-۱۹].

شناساگر میکروبی دما – زمان با نام تاپ- کی- رو، به عنوان یک ردیاب بیولوژیکی بر پایه فعالیت باکتری کارنوباکتریوم مالتاروماتیکوم[4] و یک نشانگر تغییر رنگ، فوشین اسید[5] عمل می‌کند(شکل٦). میکروارگانیسم، نشانگر و ژل نیمه مغذّی در یک کیسه کوچک چند لایه پلاستیکی گنجانیده شده و به صورت برچسب بر روی لایه بیرونی بسته ماده غذایی قرار می‌گیرد[۱۷،۱۸]. از این رو، این شناساگر تفسیر دقیقی از تأثیر زمان/ دما بر حفظ مواد غذایی با تغییر قابل مشاهده، قابل خواندن و غیرقابل برگشت را ارائه می‌دهد. از جمله مزایای دیگر این برچسب هوشمند، می‌توان به اثبات اعتبار شرایط زنجیره سرد به صورت آنلاین[6] و ارائه سریع اطّلاعات توسط یک کد رنگی، تفسیر اثر دما- زمان بر نگهداری ماده غذایی، استفاده از ابزار آموزشی ساده قابل فهم، گزینه مقرون به صرفه در مقایسه با وسایل نظارتی معمول در نظارت زنجیره سرد و همچنین پیاده‌سازی آسان برچسب بر سامانه بسته‌بندی گوشت اشاره داشت. تا کنون، طیف گسترده‌ای از شناساگر میکروبی دما – زمان با عنوان تاپ- کی- رو ، برای پوشش‌دهی درجه حرارت‌های بین ۱۲-۲ درجه سانتی‌گراد طراحی شده‌اند که دارای قابلیت استفاده از چند ساعت تا ۱۲ روز می‌باشند. این شناساگرها، همچنین به منظور غلبه بر محدودیت‌های دمای زنجیره سرد اصلاح شده و قابلیت ارتباط مستقیم با برنامه‌های رایانه‌ای نظیر برنامه کولی بو[7] جهت ثبت و پردازش به آن‌ها داده شده است. از این رو، به این سامانه‌ها، اجازه ارتباط بین وقایع مختلف و تاریخچه حرارتی در طی مراحل مختلف، از محل تحویل مواد خام تا حمل‌ونقل محصولات نهایی، داده شده است. در نهایت شناساگرهایی نظیر فریش کود[8] و تمپیکس [9]، برچسب‌های بر پایه بارکدهای چاپ شده با جوهر محو شونده بوده که در اثر قرار گرفتن در دمای نامطلوب ناپدید می‌شوند[۲۰،۱۹].

شکل٦- شناساگرهای دما- زمان با نام تاپ- کی- رو

1- Microbiological
2- Microorganisms
3- TopCryo
4- Carnobacterium Maltaromaticum
5- Fuchsin Acid

6- On Line
7- QualiBoo
8- Fresh Code
9- Tempix

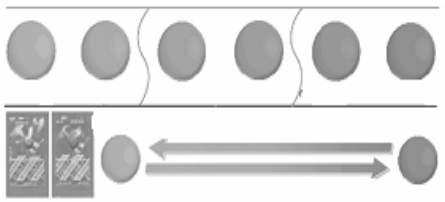
۲-۲- شناساگرهای گازی و یکپارچگی(عدم دستکاری یا صحت بسته‌بندی)

ساده‌ترین نوع شناساگر یکپارچگی، شناساگرهای ارائه‌دهنده اطّلاعات در خصوص مدّت زمان سپری شده از زمان باز کردن بسته می‌باشد. این شناساگرها به شکل برچسب بوده، و در لحظه مصرف، فعال می‌گردند. به طوری که شکسته شدن دوخت در هنگام باز نمودن بسته، موجب تحریک و آغاز یک تغییر رنگ وابسته به زمان، به عنوان یک زمان‌سنج خواهد شد. در این بین، شناخته شده‌ترین شناساگرهای یکپارچگی بسته‌بندی به شکل برچسب های ثابت با عنوان تایم استریپس[1]، و برچسب‌های قابل جداسازی با نام‌های نوویس[2] و بست - بی[3]، ارائه شده اند [۲۶-۲۱].

شناساگرهای گازی[4] اغلب به عنوان شناساگرهای یکپارچگی بسته‌بندی، برای برنامه‌های کاربردی در بسته‌بندی گوشت استفاده می‌شوند. آن‌ها به عنوان شناساگرهای نشت[5] عمل نموده، و اطّلاعاتی در خصوص تمامیت و صحت بسته‌بندی در سراسر زنجیره توزیع ارائه می‌دهند. در میان انواع مختلف از شناساگرهای گازی، شناساگرهای اکسیژن رایج‌ترین شناساگرهای مورد استفاده در برنامه‌های کاربردی، نظیر بسته‌بندی گوشت تحت شرایط اتمسفر اصلاح شده[6](MAP) می‌باشند. سامانه‌های اتمسفر اصلاح شده (MAP) برای محصولات گوشتی به غیر از گوشت تازه، معمولاً از سطح بالایی از دی اکسید کربن(۸۰-۲۰٪) و غلظت باقی‌مانده کمی اکسیژن(۱-۰/۱٪)، بسته به کارایی تجهیزات بسته‌بندی برخوردار می‌باشند. بنابراین، نشت در یک بسته‌بندی با سامانه اتمسفر اصلاح شده(MAP)، به راحتی با استفاده از شناساگرهای سطح اکسیژن، قابل شناسایی خواهد بود. در این بین، شایع‌ترین شناساگرها برای ارزیابی اکسیژن، شناساگرهای کلرومتریک[7] متشکل از یک رنگدانه اکسیداسین- احیاء[8] (رنگدانه‌های با قابلیت انتقال الکترون در واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء)، نظیر متیلن بلو[9]، و یک عامل کاهنده قوی، مانند گلوکز، در یک محیط قلیایی می‌باشد[۲۷]. هنگامی که رنگدانه رودکس[10] در شناساگر گازی، توسط اکسیژن به شکل اکسیده تبدیل گردد، یک تغییر رنگ به عنوان نتیجه‌ای از انجام واکنش اکسیداسیون یا انتقال الکترون مشاهده می‌شود. مشکل اصلی در خصوص این نوع از شناساگرهای اکسیژن، تغییر رنگ قابل برگشت در آن‌ها می‌باشد، به طوری که اگر غلظت اکسیژن کاهش یابد، رنگدانه به شکل اولیه خود برمی‌گردد. به طوری که، این برگشت‌پذیر بودن رنگ برای کنترل نشت در بسته‌بندی نامطلوب بوده، زیرا اکسیژن ورودی به بسته ممکن است با توجّه به رشد میکروبی مصرف گردد[۲۸]. بنابراین برنامه اصلی پیش رو، بر استفاده از شناساگرهای اکسیژن در ترکیب با سامانه‌های رباینده اکسیژن تأکید می‌کند[۱۰]. استفاده ترکیبی از این دو شناساگر، خواهد توانست بر مشکل فوق فائق آید، و از این رو، شناساگرهای نشت یا گاز فقط با اکسیژن باقی مانده در بسته واکنش نشان خواهند داد. به عنوان مثال، قرص‌های اِجلس آی[11]، شناساگر رنگی برگشت پذیر حساس به اکسیژن بوده که در ترکیب با جاذب‌های اکسیژن اِجلس O_2، مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طوری که رنگ قرص‌ها از صورتی در سطوح اکسیژن ۰/۱٪ ≤ به رنگ آبی، و در سطوح بالاتر از ≤۰/۵٪ به رنگ صورتی، وابسته به درجه حرارت تغییر می‌کند(شکل ۷).

1- Timestrip
2- Novas
3- Best-by
4- Gas Indicators
5- Leak Indicators
6- Modified Atmosphere

7- Colourimetric
8- Redox (Reduction-Oxidation)
9- Methylene Blue
10- Redox
11- Ageless Eye



شکل۷- تغییرات رنگ در قرص‌های اِجلس آی در حضور سطوح مختلف اکسیژن بسته‌بندی

کارکرد مشابهی نیز در قرص‌های شناساگر تل – تب O_2[1] مشاهده می‌شود [۲۹،۳۰]. این شناساگرها قبل از استفاده در جای تاریک سرد و عاری از اکسیژن نگهداری شده و معمولاً به وسیله بسته‌های جاذب اکسیژن[2](OAPs) فعال می‌شوند. هنگامی که محصول در درون بسته در معرض اکسیژن باشد، این قرص‌ها به نوبت رنگ صورتی اصلی خود را از دست داده و به آبی و یا بنفش تبدیل می‌شوند. البته لازم به ذکر است که این تغییر رنگ با کاهش سطح اکسیژن برگشت پذیر می‌باشد و همچنین، تغییر رنگ را می‌توان با چشم غیرمسلح مشاهده کرد؛ اما هیچ دستگاه خاص دیجیتالی برای اندازه‌گیری درجه تغییر رنگ، که در آن بتوان داده‌ها را جمع‌آوری و برای تحقیقات بیشتر ذخیره نمود، وجود ندارد.

۲-۳- شناساگرهای تازگی و سنسورها

ایده شناساگرهای تازگی، نظارت بر کیفیت ماده غذایی بسته‌بندی شده به وسیله انجام یک سری واکنش‌ها، و یا بررسی تغییرات صورت گرفته در محصول تازه غذایی، به عنوان نتیجه‌ای از رشد میکروارگانیسم و یا متابولیت‌های[3] تولیدی به وسیله آن می‌باشد. بنابراین، این دسته از شناساگرها اطّلاعات مستقیمی در خصوص کیفیت محصول در اختیار ما قرار می‌دهند [۳۱]. تغییرات شیمیایی صورت پذیرفته طی ذخیره‌سازی در گوشت تازه، نشانگرهای تازگی(عدم تازگی) این دسته از محصولات غذایی می‌باشند.

1- Tell-Tab
2- Absorbing Oxygen
3- Metabolites

به عنوان مثال، تغییرات ایجاد شده در غلظت متابولیت‌هایی نظیر گلوکز، اسیدهای آلی(به عنوان مثال L–اسید لاکتیک[4])، اتانول[5]، دی اکسید کربن، آمین بیوژنیک[6]، ترکیبات ازته فرّار و یا سولفوریک در طول ذخیره‌سازی، نشان‌دهنده رشد میکروبی بوده و در نتیجه امکان استفاده از آن‌ها به عنوان شناساگر تازگی برای محصولات گوشت می‌باشد[۳۲]. سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند برای کنترل‌کننده تازگی ماده غذایی یا به عنوان شناساگرهای تازگی با تشخیص غیرمستقیم متابولیت از طریق نشانگرهای رنگ (به عنوان مثال وابسته با تغییرات pH)، و یا بر اساس تشخیص مستقیم متابولیت‌های هدف با استفاده از حسگرهای زیستی[7] عمل می‌کنند. اگرچه، پیشرفت‌های متعدّدی توسط شرکت‌های بسته‌بندی اعلام شده است؛ اما با این حال، در بسیاری از موارد، نتایج موفقیت‌آمیزی برای استفاده از این نوع شناساگرها به دست نیامده است. به عنوان مثال، برچسب‌های با عنوان فریش تگ[8]، در سال ۱۹۹۹، به عنوان یک شناساگر رنگی برای ارزیابی تشکیل آمین‌های فرّار در ماهی بسته‌بندی شده معرفی شد، با این حال، در سال ۲۰۰٤، تولید این محصول به علت ناکارآمدی آن متوقّف گردید[۳۳]. هم چنین، در سال ۲۰۰۷، شناساگرهای تازگی با عنوان سنسور کیو تی ام[9]، بر پایه فنّاوری سنجش pH، با استفاده از آنتوسیانین‌های[10]، با قابلیت اطّلاع‌رسانی از تشکیل آمین‌ها بیوژنیک با مبدا میکروبیولوژیکی[11] در گوشت مرغ بسته‌بندی شده، معرفی شدند[۳٤،۳۵]. علاوه بر این، مرکز تحقیقات فنی وی-تی- تی[12] در کشور فنلاند با همکاری UPM[13]، شناساگرهای تازگی رفلتک[14]، را برای گوشت

4- L- lactic acid
5- Ethanol
6- Biogenic Amines
7- Biosensors
8- Tag Fresh
9- SensorQ™
10- Anthocyanines
11- Microbiological
12- Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus(VTT)
13- Universiti Putra Malaysia
14- Raflatac

مرغ بسته‌بندی شده ارائه دادند. عملکرد این شناساگرهای تازگی بر پایه واکنش نانو لایه‌ای از نقره با سولفید هیدروژن، به عنوان محصول ثانویه حاصل از تجزیه سیستئین، بوده است. به طوری که، رنگ قهوه‌ای روشن مات لایه نقره شناساگر تازگی در لحظه بسته‌بندی، با تشکیل سولفید نقره به رنگی شفاف تبدیل می‌گردد[۳٤،۲۷]. با این حال، هم اکنون هیچ کدام از شناساگرها تحت عنوان سنسور کیو تی ام و رفلتک، در بازار مواد گوشتی در دسترس نمی‌باشند[۳۵].

بیوسنسورها یا حسگرهای زیستی، سامانه‌های هوشمند با توانایی تشخیص تحلیلی متابولیت‌های هدف و ثبت و انتقال اطّلاعات مربوط به واکنش‌های بیوشیمیایی بوده که می‌توانند در بسته‌بندی مواد غذایی گنجانیده شوند. این متابولیت‌های بیولوژیکی ممکن است شامل بافت، میکروارگانیسم، اندامک، گیرنده‌های سلولی، آنزیم‌ها، آنتی‌بادی‌ها، و اسیدهای نوکلئیک[1] باشند. به طور کلی، بیوسنسورها، خود از دو جزء اصلی، تشکیل شده‌اند. جزء زیست گیرنده که به عنوان یک تحلیل‌گر برای تحلیل هدف شناسایی شده عمل نموده و جزء دیگر، با عنوان مبدّل، که وظیفه تبدیل سیگنال‌های بیوشیمیایی[2] را به یک پاسخ الکتریکی قابل اندازه‌گیری برعهده دارد. آنچه که مسلم است، بیوسنسورها قادر به نظارت بر تازگی مواد غذایی از راه‌های بسیار خاص‌تری نسبت به شناساگرهای تازگی می‌باشند. به طوری که بیوسنسورها می‌تواند تشکیل محصولات حاصل تخریب را با دقّت بسیار بالا شناسایی نموده و به شیوه‌ای اختصاصی برای نوع خاصی از محصولات بسته‌بندی شده طراحی نمایند[٦]. از این رو، یک بیوسنسور ایده‌آل با مشخصاتی نظیر: دارا بودن حساسیت، دقّت و صحت بالا، مقرون به صرفه، کوچک و نیز درک و عملکرد آسان شناخته می‌شود. که در این بین، می توان به نمونه‌های اولیه حسگرهای زیستی نظیر: سیستم فود سنتینل[3] و توکسین گارد تی ام[4]، اشاره داشت.

شکل ۸- کاربرد بارکدهای سیستم فود سنتینل در محصولات گوشتی تازه

بیوسنسورهای با عنوان سیستم نگهبان غذا[5] با هدف تشخیص پاتوژن[6] مواد غذایی بر پایه یک سامانه پاتوژن- آنتی بادی خاص متصل به بخش میانی یک بارکد طراحی شده‌اند(شکل ۸). این سامانه متشکل از دو بارکد، SIRA[7] و یک کدگذاری معمول محصول است. آنتی بادی- پاتوژن خاص به بخش غشاء تشکیل دهنده سامانه بارکد متصل شده و در هنگام قرار گرفتن در معرض آلودگی‌های میکروبی نظیر سالمونلا[8]، اشریشیا کلی[9] 0157:H7 یا لیستریا مونوسیتوژنز[10]، به صورت یک نوار تیره صورتی موضعی در غشاء صورتی در(شکل۸) تبدیل شده و ارائه UPC[11] بارکد غیرقابل اسکن را می‌کند[۳٦].

1- Nucleic Acids
2- Biochemical Signals

3- Food Sentinel System،
4- Toxin Guard
5- System Food Sentinel
6- Pathogens
7- SIRA- a Company
8- Salmonella
9- Escherichia Coli
10- Listeria Monocytogenes
11- Universal Product Code

دیگر بیوسنسور با نام توکسین گارد تی ام، به عنوان یک حسگر بصری بر پایه واکنش آنتی بادی– آنتی‌ژن[1] با قابلیت یکپارچه‌سازی با پلیمر بسته‌بندی در جهت تشخیص وجود باکتری‌های بیماری زا شناخته می‌شود. در این سامانه هوشمند بیولوژیکی، پادتن به وسیله یک لایه نازک از فیلم انعطاف‌پذیر تثبیت شده و تغییر رنگ و شکل بیوسنسور در آن نشانگر واکنش با میکروارگانیسم بیماری زا هدف می‌باشد. به طور کلی، این نوع از بیوسنسورها نیاز به نگهداری تحت شرایط بوده و عملکرد آن به علت عوامل محیطی نظیر: تیمار حرارتی گرما، سرما یا مایکروویو[2]، از بین می‌رود. علاوه بر این سنسور تا مدّت نه ماه پایدار باقی می‌ماند. همچنین از مهم‌ترین نقاط ضعف این سامانه‌ها، حساسیت کم آن‌ها به سطوح بسیار پایین عوامل بیماری زا بوده که می‌تواند منجر به ایجاد بیماری شود.

۲-٤- سنسور اکسیژن بر پایه فلورسانس[3]

هنگامی که یک مولکول رنگی ویژه، طول موج نوری خاصی را در حداکثر فرکانس جذب خود دریافت کند، به حالت برانگیخته رفته و طول موج ویژه‌ای (فلورسانس یا فسفورسنس[4]) را در طی زمان از خود ساطع می‌کند، که رفع این بر انگیختگی، می‌تواند در طی برخورد با مولکول‌های اکسیژن رخ دهد(شکل۹)[۳۷].

به طوری که، با توجّه به زمان انتقال انرژی در این برخورد، شدت تابش نور در طی زمان کاهش یافته، که این سرعت کاهش متناسب با غلظت اکسیژن در محیط می‌باشد. بر این اساس، امروزه، سنسورهای ارزیابی اکسیژن مبتنی بر فلورسانس شامل یک رنگدانه فلورسنت[5] و یا فسفروسنت[6] تثبت شده در ماتریس پلیمری جامد(به عنوان عامل سنجش) تولید گردیده است[۳۸] که وجود مولکول اکسیژن در فضای فوقانی بسته، به وسیله انتشار ساده در پوشش جامد تولیدی رفع برانگیختگی لومینسانس[7] را تحت تأثیر قرار داده و غلظت آن بر اساس درجه تغییر شاخص‌های لومینسانس، با استفاده از کالیبراسیون[8] از پیش تعیین شده، برآورد می‌شود[۳۹]. این سامانه‌های هوشمند امروزه، توجّه ویژه‌ای را در میان بسیاری از سنسورهای شیمیایی نوری به دلیل مزایای ویژه خود از جمله حساسیت بالاتر، همه کاره بودن غیرتهاجمی بودن، و سمّیّت بسیار کم آن به دست آورده است. به طوری که، در این فرآیند برگشت‌پذیر و پاک، در واکنش‌های فتوشیمیایی درگیر، هیچ کدام از رنگدانه یا اکسیژن مصرف نشده، و در نتیجه هیچ محصولات جانبی ایجاد نمی‌شود. علاوه بر این، مواد سنجش با یک پوشش نازک دارای نفوذپذیری کم پوشش داده شده که مانع پاسخ بسیار سریع عامل به غلظت اکسیژن می‌شود[٤٠].

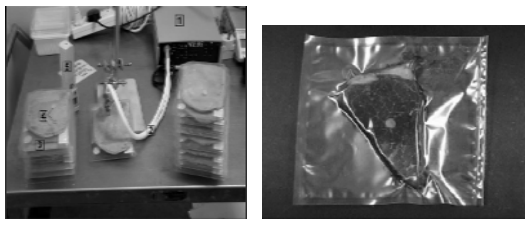
شکل ۹- نحوه برانگیختگی و خاموش شدن رنگدانه در حضور اکسیژن

1- Reaction antibody - Antigen
2- Microwave
3- Fluorescence-Base Oxygen Sensors
4- Phosphorescence

5- Fluorescent Pigments
6- Phosphorescence Pigments
7- Excited Luminescence
8- Calibration

زمان پاسخ‌دهی به آشکارساز در این سامانه‌های هوشمند نوری معمولاً کمتر از یک دهم میلی ثانیه است که این ویژگی برای بالا بردن توان کنترل کیفیت محصولات در زمان کوتاه با حجم زیادی از بسته‌بندی بسیار مهم است. به طوری که، این قدرت بالای غربالگری سامانه اجازه شناسایی فوری واحد مهر و موم شده معیوب و حذف آن‌ها را می‌دهد.

اُ دو اکس وای دات[1] ، به عنوان یک سنسور اکسیژن بر پایه فلورسانس تجاری به وسیله اُکسی سنس[2] توسعه یافته است. این سنسور در داخل سامانه بسته‌بندی قبل از پر کردن بسته متصل شده و می‌تواند از خارج بسته‌بندی بدون تخریب بسته خوانده شود(شکل ۱۰). این سنسور همچنین، می‌تواند در فضای فوقانی و یا در تماس با محصولاتی نظیر مایعات، نیز استفاده شود. در این سامانه هوشمند نوری، دات به عنوان یک نقطه روشن شده با پالس آبی رنگ لامپ‌های[3] LED می‌باشد، که نور آبی به وسیله دات جذب شده و نور قرمز ساطع شده از آن توسط آشکارساز نوری دریافت و بر اساس ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نظیر: طول عمر فلورسانس نور دریافتی، سطح اکسیژن موجود در بسته برآورد می‌شود. سنسور اکسیژن بر پایه فلورسانس از آنجایی که در طول فرآیند از طریق زنجیره عرضه تا نقطه مصرف باقی می‌مانند و قابل اعتماد بوده، مناسب برای یکپارچه‌سازی در بسته‌بندی گوشت می‌باشند. با این حال، قرار گرفتن در معرض نور، از جمله UV یا روشنایی صفحه نمایش خرده‌فروشی‌ها می‌تواند منجربه رنگ‌بری تدریجی و یا کدورت پلیمرهای بسته‌بندی گوشت شود.



شکل ۱۰– کاربرد سنسورهای اکسیژن بر پایه فلورسنس در بسته‌بندی گوشت تازه و شناساگر آن

1- O_2xyDot
2- OxySense
3- Light-Emitting Diode Bulbs

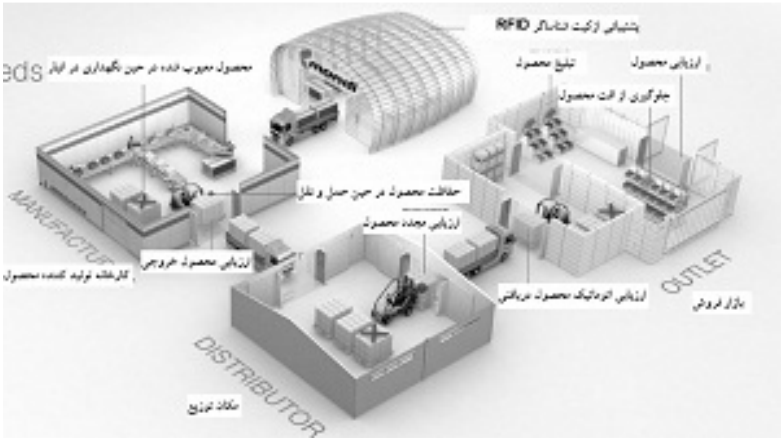
۲-۵- برچسب‌های شناسایی رادیو فرکانس[4](RFID)

برچسب‌های شناسایی رادیو فرکانس(RFID)، از میدان‌های الکترومغناطیسی رادیو فرکانس[5](RF) برای ذخیره‌سازی و انتقال اطّلاعات در زمان واقعی، در جهت شناسایی و نظارت خودکار بر محصول استفاده می‌شوند[٤]. این برچسب‌های هوشمند، از یک مدار یکپارچه متصل به یک آنتن برای انتقال اطّلاعات ذخیره شده در تراشه خود به خواننده تشکیل شده‌اند. آنچه که مشخص است، مزایای کلی استفاده از سامانه‌های (RFID)، بیش از سامانه‌های دستی پیشین یا بارکدها می‌باشد، به طوری که این سامانه‌ها، اجازه کنترل از راه دور محصول را معمولاً به دلیل عدم نیاز به خواندن خطوط تیره بارکدها می‌دهند، همچنین، می‌توانند در یک زمان مشخص چندین مورد را تحت نظارت قرار داده و دارای ظرفیت بالای برای ذخیره اطّلاعات متنوع (نظیر: مبدأ محصول، شاخص‌های فرآیند، اطّلاعات تجاری و غیره) می‌باشند، از این رو، اجازه شناسایی منحصر به فرد هر محصول را می‌دهند[۱۰]. در کنار مزایای فنّاوری RFID، نسبت به بارکدها، این سامانه‌های هوشمند در برنامه‌های کاربردی کمتر به کار گرفته می‌شوند، که از موانع اصلی برای جذب آهسته این فنّاوری، می‌توان به هزینه‌های بالای آن اشاره داشت، که استفاده از این ابزار را برای بسته‌های جداگانه مقرون به‌صرفه نمی‌کند[٤١]. علاوه بر این، استفاده از برچسب‌های (RFID) در برخی از محصولات، که در آن حاوی مقدار زیادی رطوبت می‌باشند نظیر محصولات گوشت محدود است. مولکول‌های آب می‌توانند سیگنال های مایکروویو را جذب نموده که در برخی از موارد، منجر به از دست دادن سیگنال می‌گردد، همچنین، فلزات می‌توانند باعث انعکاس سیگنال در این سامانه‌ها شوند(شکل ۱۱). با وجود این مشکلات، در سال‌های

4- Radio-Frequency Identification
5- Radio-Frequency Electromagnetic Fields

اخیر، پیشرفت‌های ایجاد شده در فنّاوری(RFID)، اجازه استفاده از این سامانه‌ها را در زنجیره تأمین مواد غذایی داده است[٤٢]. به طوری که استفاده از سامانه‌های (RFID) تکامل یافته، مزایای بالقوه‌ای برای تولید محصولات گوشتی، بهبود قابلیت ردیابی و نظارت در زنجیره خرده‌فروشی و توزیع آن و نیز مدیریت موجودی و تسهیل اتوماسیون[1] نشان داده است[٤٣].مهم‌ترین تامین کنندگان سامانه‌های RFID، برای استفاده در صنایع گوشت و ماهی، کشور کانادا و سوئد، می‌باشند[٤٦-٤٤].

پس انداز با توجّه به تولید ضایعات کمتر خواهد گردید. برخی از نمونه برچسب‌های سنسور (TT) طراحی شده با قابلیت استفاده مجدّد، برای ارائه تاریخچه حرارتی محصول در سراسر زنجیره سرد، سنسورها اسی تو لوگ[2]، تگ CS8304[3]، تمپ تی- آر- آی- پی[4] می‌باشند. در این میان، برخی از تولیدکنندگان بسته‌بندی سامانه‌های RFID، را در جعبه‌های مواد غذایی خود به کار



شکل ١١- جعبه‌های هوشمند مُدی پی- ال- سی، دارای برچسب‌های RFID مجهّز به شناساگرTT، در یک زنجیره توزیع گوشت

این سامانه‌های (RFID) تکامل یافته‌تر، اجازه ادغام عملکردهای دیگر در برچسب‌ها، نظیر شناساگرهای دما- زمان و یا حسگرهای زیستی، را در جهت نظارت و برقراری ارتباط با تاریخچه حرارتی محصول و همچنین اطّلاعات مربوط به کیفیت ماده بسته‌بندی شده می‌دهد. یکی از بزرگ‌ترین پیشرفت‌ها در زمینه استفاده از سامانه‌های (RFID)، ادغام سنسور (TT) (دما- زمان) به ابزار (RFID) بوده است. وصل شدن برچسب‌های سنسوری TT به جعبه‌ها یا پالت‌ها در طول حمل و نقل اجازه ردیابی دمای ماده غذایی را در تمام طول زنجیره غذایی می‌دهد. از این رو، استفاده ترکیبی از(RFID) و فنّاوری سنسورها در زنجیره سرد، منجر به بهبود بهره‌وری در مدیریت زنجیره و افزایش

بسته‌اند، که از آن جمله می‌توان به جعبه هوشمند با نام‌های مُدی پی-ال- سی، و کول بلو[5] اشاره داشت(شکل ١١ و ١٢) که به یک برچسب (RFID) در سطح خود مجهّز شده است. در چارچوب قوانین جدید اروپا، برچسب‌گذاری برای اطمینان کامل از قابلیت ردیابی ماهی الزامی شده است. از این رو، یک جعبه ماهی هوشمند، شامل یک انتقال‌دهنده یکپارچه RFID، برای شناسایی، ردیابی و نظارت بر اطّلاعات در خصوص نوع ماهی، زمان و نحوه ماهی‌گیری، کیفیت و اندازه ماهی را قادر می‌سازد(شکل ١٢).

1- Automation

2- Easy2log
3- Tag
4- TempTRIP
5- Cool Blue

۳- مقایسه فنّاوری بسته‌بندی‌های هوشمند در بسته‌بندی گوشت تازه

شکل ۱۲- جعبه‌های هوشمند گول بلو مجهّز به سامانه‌های (RFID) برای نظارت و کنترل بر شرایط توزیع ماهی

مقایسه بین فنّاوری‌های هوشمند موجود در سامانه بسته‌بندی گوشت تازه به منظور بیان مزایا و معایب استفاده از هر یک از روش‌های بسته‌بندی هوشمند در(جدول ۲) نشان‌داده شده است.همانطور که در(جدول۲)،می‌توان دید، در میان شناساگرها، شناساگرهای‌دما-زمان و گاز، به سادگی می‌توانندبا چشم

جدول ۲- مقایسه فنّاوری‌های هوشمند در بسته‌بندی گوشت تازه

سنسور/ شناساگر	مزایا	معایب
شناساگرهای دما – زمان	یکپارچه‌سازی آسان با بسته‌بندی ماده غذایی قابلیت بررسی سامانه با چشم غیر مسلح ارزان و مقرون به صرفه اندازه‌گیری می‌تواند به وسیله ابزار الکترونیکی انجام پذیرد.	عدم ارائه اطّلاعات در خصوص کیفیت ماده غذایی نیاز به مشروط‌سازی قبل از استفاده شناساگر عدم تماس با ماده غذایی- عدم ایجاد آلودگی
شناساگر گازی	قابلیت یکپارچه‌سازی با فیلم بسته‌بندی قابلیت بررسی سامانه با چشم غیرمسلح ارزان و مقرون به صرفه اندازه‌گیری می‌تواند به وسیله ابزار الکترونیکی انجام پذیرد.	عدم ارائه اطّلاعات در خصوص غلظت گازها اتصال آن‌ها در درون بسته‌بندی و امکان تأثیر رنگ‌های شیمیایی بر کیفت ماده غذایی
شناساگرهای تازگی	حساس قابلیت بررسی سامانه با چشم غیرمسلح ارزان و مقرون به صرفه اندازه‌گیری می‌تواند به وسیله ابزار الکترونیکی انجام پذیرد	ارائه نتایج غیرواقعی اتصال آن‌ها در درون بسته‌بندی می‌تواند کیفت ماده غذایی را تحت تأثیر قرار دهد.
بیوسنسورها	قابلیت یکپارچه شدن با فیلم بسته‌بندی قابلیت بررسی سامانه صرفه اندازه‌گیری می‌تواند به وسیله ابزار الکترونیکی انجام پذیرد. دارای توانایی تشخیص پاتوژن ها و میکرو ارگانیسم‌ها	عدم توانایی در تشخیص آلودگی‌های کم باکتریایی می‌تواند دارای اثرات شیمیایی بر ماده غذایی باشد.
سنسور اکسیژن بر پایه فلورسنس	حساس غلظت اکسیژن به وسیله ابزار نوری قابل اندازه‌گیری می‌باشد. در فضای فوقانی بسته و مایعات قابل استفاده می‌باشند. سریع و قابل اعتماد می‌باشند	قابل بررسی با چشم غیرمسلح نمی‌باشند.
برچسب‌های شناسایی رادیو فرکانس	دقیق و سریع قابلیت یکچارچه‌سازی با بارکد استفاده از فنّاوری بی‌سیم قابلیت خوانده شدن چندین بارکد در هر بار	امکان از دست رفتن سیگنال وجود دارد. برای کاربرد تجاری گران می‌باشند.

غیرمسلح بررسی شده، مقرون به صرفه بوده و قابلیت عرضه به بازار می‌باشند. با این حال، آن‌ها اطّلاعات کاملی درخصوص کیفیت مواد غذایی ارائه نمی‌دهند. صحت اندازه‌گیری سنسورهای گازی بالاتر از حسگرهای زیستی است، علاوه بر این، سریع و قابل اعتماد، بدون اثر شیمیایی بر کیفیت مواد غذایی می‌باشد.

برچسب‌های RFID، برای استفاده در هر بسته گوشت، گران قیمت می‌باشند. با این حال، آن‌ها دارای دقّت بالایی بوده و می‌توانند با تشخیص الگو و داده کاوی برای تحقیقات بیشتر یکپارچه شده باشند. سنسورهای بر پایه فلورسانس (اکسیژن) سریع، قابل اعتماد بوده که می‌تواند در محیط‌های مختلف از جمله مایعات استفاده شوند. علاوه بر این، آن‌ها مورد نیاز یک دستگاه نوری برای اندازه‌گیری سطح غلظت گاز می‌باشند. سازگاری ابزار هوشمند موجود در بازار برای نظارت بر کیفیت گوشت در(جدول۳) مقایسه شده است.

در مقایسه شناساگرهای دما- زمان می‌توان دید که تری- ام- مانیتور مارک، ساده‌ترین ابزار موجود در بازار، بدون نیاز به دستگاه‌های الکترونیکی اضافی برای اندازه‌گیری می‌باشد.

تاپ- کی- رو و آن- وی- یو، پیشرفته‌ترین شناساگرهای دما- زمان بوده، که در آن داده‌های جمع‌آوری شده به وسیله دستگاه اندازه‌گیری را می‌توان ذخیره کرد و برای تصمیم‌گیری بیشتر مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. سطح آلودگی با استفاده از سنسور گازی و حسگرهای زیستی می‌توان با چشم غیر مسلح به صورت غیر دقیق و بودن صحت بررسی شود. در حالی که، تاپ- کی- رو و آن- وی- یو و اُ دو اکس وای دات به نظر می‌رسد که ابزاری دقیق و سریع با قابلیت ضبط نتایج الکترونیکی بوده، و مناسب برای استفاده در صنعت گوشت می‌باشد. همچنین، نتایج جمع‌آوری شده توسط این ابزارها می‌تواند بیشتر با استفاده از روش‌های تشخیص الگو مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

جدول ۳- مقایسه ابزار هوشمند موجود در صنعت بسته‌بندی گوشت

ابزار	نوع ابزار	قابلیت کاربرد در نظارت بر کیفیت گوشت	سازگار برای ارزیابی با دستگاه دیجیتال	ابزار دیجیتال سازگار برای اندازه‌گیری
Monitor Mark™	شناساگر دما – زمان	بله	خیر	خیر
Fresh-Check	شناساگر دما – زمان	بله	بله	خیر
TopCryo™	شناساگر دما – زمان	بله	بله	بله
OnVu™	شناساگر دما – زمان	بله	بله	بله
Food fresh™	شناساگر تازگی	خیر	خیر	خیر
Tell-Tab™	شناساگر گاز	بله	خیر	خیر
Ageless Eye™	شناساگر گاز	بله	خیر	خیر
Toxin Guard™	بیوسنسور	بله	خیر	خیر
Food Sentinel	بیوسنسور	بله	خیر	خیر
O2xyDot	سنسور بر پایه فلورسنس	بله	بله	بله

٤- نتیجه گیری

نیاز به کاهش ضایعات غذایی و بهینه‌سازی استفاده از مواد خام، می‌تواند اهداف بسیار مطلوبی در جهت پیاده‌سازی فنّاوری‌های هوشمند در بسته‌بندی گوشت تازه باشد. این فنّاوری‌ها، می‌توانند به منظور برطرف نمودن تقاضای روز افزون به ایمنی و زمان ماندگاری، همرا با مدیریت بهتر انبارداری محصولات گوشتی طراحی شوند. از این رو، در این مقاله، مرور کلی بر روش‌های بسته‌بندی هوشمند و نیز معایب و مزایای هر یک درجهت نظارت کاربردی بر کیفیت گوشت تازه مورد بحث بوده است. ابزاری، از جمله شناساگرهای دما- زمان، شیمیایی و گاز مقرون به صرفه، ساده و آسان برای یکپارچه‌سازی به سامانه بسته‌بندی می‌باشند. برخی از این شناساگرها مناسب برای داده کاوی و تصمیم‌گیری هدف بوده، که در آن‌ها سطح تغییرات رنگ در شناساگر با یک دستگاه نوری الکترونیکی اندازه‌گیری و برای تحقیقات بیشتر ذخیره‌سازی می‌شود.

با این حال، سادگی این شناساگرها، آن‌ها را در معرض خطا در اندازه‌گیری قرار داده و علاوه بر این، آن‌ها را از ارائه هر گونه اطّلاعات بیشتر در خصوص کیفیت گوشت مبرّا می‌کند. سنسورهای، نظیر حسگرهای زیستی، سنسورهای گاز و سنسورهای مبتنی بر فلورسانس، پیشرفته‌ترین فنّاوری‌های هوشمند در بسته‌بندی می‌باشند. در مقایسه با شناساگرها، سنسورهای سریع، دقیق و قابل اعتماد هستند؛ اما کاربرد آن‌ها در سامانه‌های بسته‌بندی پیچیده‌تر می‌باشد. بیوسنسورهای موجود از ناتوانی در تشخیص آلودگی کم در بسته‌ها رنج برده و نیز با بیان اثر شیمیایی خود در کیفیت گوشت ایجاد مشکل می‌نمایند. از این رو، نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه است. ادغام برچسب‌های (RFID) و سنسورها، فنّاوری‌های امید بخش در نظارت بر کیفیت گوشت است، به طوری که تاریخچه کیفی محصولات را می‌توان ذخیره‌سازی و برای تحقیقات بیشتر مانند داده کاوی و تصمیم‌گیری بازیابی به کار بست.

٥- منابع

1. Brody, A. L., (1997). **"Packaging of food". In A. L. Brody & K. S. Marsh (Eds.), The Wiley encyclopedia of packaging (2nd ed)".** New York:Wiley (pp. 699–704).
2. European Commission, (2009). **"Commission Regulation (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food".** Official Journal of the European Union, L 135, 1–11.
3. Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz, J., (2005). **"Intelligent packaging: Concepts and applications".** Journal of food science, 70(1), R1–R10
4. Sperber, W. H., (2010). **"Introduction to the microbial spoilage of foods and beverages".** In W. H. Sperber, & M. P. Doyle (Eds.), Compendium of the microbial spoilage of foods and beverages (pp. 1–40). N.Y.: Springer.
5. Galagan, Y., & Su, W. F., (2008). **"Fadable ink for time–temperature control of food freshness: Novel new time–temperature indicator".** Food Research International, 41(6), 653–657.
6. Kerry, J. P. (2014). **"New packaging technologies, materials and formats for fast-moving consumer products".** In J. H. Han (Ed.), Innovations in food packaging (pp. 549–584) (2nd ed.). San Diego, USA: Academic Press.
7. DSM (2007). "**DSM invests in food freshness device company.**" https://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2007/2008/2051-2007-DSM-invests-infood-freshness-device company.html
8. Kerry, J. P., O'Grady, M. N., & Hogan, S. A., (2006). **"Past, current and potential utilisation of**

microbiological quality of chilled foods". Appl. Environ. Microbiol. 74 (10), 3242_3250.

19. CRYOLOG, (2006). **"Available from"** , http://cryolog.com/
20. EFSA, (2013). **"Scientific opinion on the safety evaluation of a time–temperature indicator system, based on Carnobacterium maltaromaticum and acid fuchsin for use in food contact materials".** EFSA Journal, 11(7), 3307.
21. Traceo, (2015). **"Applications".** http://www.trace-o.com/ .
22. Tempix, (2015). **"The Tempix temperature indicator".** http://tempix.com/the-indicator/
23. Varcode, (2015). **"FreshCode™label".** http://www.varcode.com/?CategoryID=158&ArticleID=%20178
24. Freshpoint, (2011a). **"BestBy".** http://www.freshpoint-tti.com/product/BestBy.aspx
25. Insignia Technologies. (2015). **"Novas: Embedded label".** http://insignia.mtcserver11.com/%20portfolio-view/novas-embedded-label/
26. Timestrip, (2012). **"Timestrip® cold chain products for food".** http://timestrip.com/products/food-range/
27. Mills, A., (2005). **"Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food".** Chemical Society Reviews, 34, 1003–1011
28. Hurme, E., (2003). **"Detecting leaks in modified atmosphere packgaging".** In R. Ahvenainen (Ed.), Novel food packaging techniques (pp. 276–286). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd.Infante, M., Pinazo, A., & Seguer
29. Mitsubishi Gas Chemical, (2015). **"AGELESS EYE oxygen indicator"** http://www.mgc.co.jp/eng/products/abc/ageless/eye.html
30. Sorbent Systems, (2015). **"Oxygen indicators tablets (Tell-Tab)".**

active and intelligient packaging systems for meat and muscle-based products: A review". Meat Science, 74, 113–130.

9. 3M, (2015). **"3 M™ MonitorMark™ time temperature indicators."** http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Microbiology/FoodSafety/industries/two/
10. Kuswandi, B., Wicaksono, Y., Abdullah, A., Jayus, 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.
11. Keep-it Technologies, (2015). **"Why Keep-it?"** http://keep-it.no/en/why-keep-it/
12. Skjervold, P. O., Salbu, B., Heyerdahl, P. H., & Lien, H., (2007). **"Full history time-temperature indicator system".** In: Google Patents.
13. Temptime Corp., (2015). **"Reading Fresh-Check® time temperature indicators".** http://www.fresh-check.com/reading.asp
14. Patel, N.G., Yang, N.L., (1983). **"Polydiacetylenes: an ideal color system for teaching polymer science".** J. Chem. Educ. 60 (3), 181.
15. VITSAB, (2013). "Seafood TTI labels". http://vitsab.com/index.php/seafood-tti-labels/
16. Freshpoint, (2011c). **"Time temperature indicator consumer brand".** http://www.freshpoint-tti.com/links/default.aspx
17. O'Grady, M. N., & Kerry, J. P., (2008). **"Smart packaging technologies and their application in conventional meat packaging systems".** In F. Toldrá (Ed.), Meat Biotechnology (pp. 425–451). New York, USA: Springer Science and Business Media.
18. Vaikousi, H., Biliaderis, C.G., Koutsoumanis, K., (2008). **"Development of a microbial time/temperature indicator prototype for monitoring the**

http://www.sorbentsystems.com/tell-tab.html
31. Emco Packaging, (2013). **"Oxygen indicator labels".** http://www.emcopackaging.com/index.php/products/oxygen-indicator-labels
32. Freshpoint, (2011b). **"Oxygen sensors technology."** http://www.freshpoint-tti.com/technology/default.aspx
33. Smolander, M. (2008). **"Freshness indicators for food packaging".** In J. F. Kerry, & F. Butler (Eds.), Smart packaging technologies for fast moving consumer goods (pp. 111–128). West Sussex, England: John Wiley and Sons Ltd
34. 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.
35. Eggins B (2002). **"Chemical Sensors and Biosensors."** Analytical Techniques in the Sciences (AnTs)*, Wiley
36. Wang XD, Wolfbeis OS (2013) **"Fiber-optic chemical sensors and biosensors (20082012)."** Anal Chem 85(2):487–508.
37. Papkovsky D, Smiddy M, Papkovskaia N, Kerry J (2002) **"Nondestructive measurement of oxygen in modified atmosphere packaged hams using a phase-fluorimetric sensor system."** J Food Sci 67(8):3164–3169
38. Kolle C, Gruber W, Trettnak W, Biebernik K, Dolezal C, Reininger F, O'Leary P (1997). **"Fast optochemical sensor for continuous monitoring of oxygen in breath-gas analysis. Sensors Actuators B Chem 38(13):141–149."** 3rd European Conference on Optical Chemical Sensors and Biosensors
39. Abad E, Palacio F, NuinM, De Z´arate AG, Juarros A, G´omez J,Marco S (2009). **"Rfid smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain."** J Food Eng 93(4):394–399
40. Liu L, Hu J, Zhang J, Fu Z, Zhang J (2010). **"Development of timetemperature data collection program for frozen fish in the cold chain."** Sensor Lett 8(1):47–51
41. Wang L, Kwok S, Ip W (2010). **"A radio frequency identification and sensor-based system for the transportation of food."** J Food Eng 101(1):120–129
42. Roberts C (2006). **"Radio frequency identification (RFID)."** Comput Secur 25(1):18–26
43. 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.
44. Williams, J., Myers, K., Owens, M., & Bonne, M. (2006). **"Food quality indicator."** In: Google Patents.
45. UPM (2007). **"UPM Shelf Life Guard keeping an eye on packaged foods."** https://www.dsm.com/corporate/markets-products/innovation-markets.html.
46. Carolina E. Realini, (2014), **"Begonya Marcos, Active and intelligent packaging systems for a modern society ."** Meat Science 98 (2014) 404–419.

آدرس نویسنده

خراسان- دانشگاه فردوسی مشهد- دانشکده کشاورزی- گروه علوم و صنایع غذایی.