Journal of Packaging Science and Technology

Vol. 14, No. 1, Spring, 2023

A Review of Developments on Food Packaging Industry and its Novel Methods

Aida Eskandary, Nagin Ramezani Matin, Sara Seif, Mohammadreza Pajohi Alamoti*

*Associate Professor, Department of Food Hygiene and Quality Control, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

(Received: 01/01/2023; Accepted: 23/05/2023)

Abstract

Maintaining the quality and safety of food and thus maintaining people's health has been one of the most important concern of mankind since long time. One of the useful solutions to solve this problem is to switch to food packaging. Recognizing the nature of different foods, the emergence of availability and safe sources, and awareness of consumer expectations caused packaging to change from a simple cover to today's modern packaging with advanced functions. Making suitable packaging for each product, in addition to maintaining the quality and health of the product, can reduce the amount of food waste caused by unfavorable storage. Today, plastics are used more widely than other materials in the packaging industry and since these materials are derived from petroleum and in addition to consuming fossil fuels which are non-renewable resources, these remain in the environment for years and environmental concerns are increasing day by day. More about them, in this article, we review the different materials used in the packaging industry, their advantages and disadvantages, and general knowledge of new techniques and methods in food packaging. Also, special attention has been given to the investigation of novel packaging, which have more desirable features compared to the current common packaging in the country. In spite of these features such as better preservation of product quality and high marketability, in our country industrialization has not yet been carried out widely. In order to collect this article, from the September 2022 to the end of December 2022, a number of 196 articles were received and studied from the search engines MDPI, ScienceDirect, Google Scholar, CiteSeerx, Springer, Civilica and Scientific Information Database (SID), among which 108 sources was used.

Keywords: Smart Packaging, Active Packaging, Novel Packaging

*Corresponding Author E-mail: Pajohi@gmail.com

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال چهاردهم، شماره ۵۳، بهار ۱۴۰۲؛ ص ۳۳-۱۷

علمی – ترویجی

مروری بر توسعه‌ی صنعت بسته‌بندی مواد غذایی و روش‌های نوین آن

آیدا اسکندری[۱]، نگین رمضانی متین[۲]، سارا سیف[۳]، محمدرضا پژوهی الموتی[۴*]

۱و۲و۳- دانشجوی کارشناسی ۴-دانشیار گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲)

چکیده

حفظ کیفیت و ایمنی مواد غذایی و به‌طبع آن حفظ سلامتی افراد از دیرباز تاکنون یکی از دغدغه‌های مهم بشر بوده است. یکی از راهکارهای کارآمد برای حل این مشکل، روی آوردن به بسته‌بندی مواد غذایی است. شناخت ماهیت مواد غذایی مختلف، پیدایش منابع در دسترس و ایمن و آگاهی از انتظارات مصرف‌کننده سبب شد تا بسته‌بندی‌ها از یک پوشش ساده به بسته‌بندی‌های مدرن امروزی با عملکردهای پیشرفته تبدیل شوند. ساخت بسته‌بندی مناسب هر محصول، علاوه بر حفظ کیفیت و سلامت محصول، می‌تواند از حجم ضایعات مواد غذایی که در اثر نگهداری نامطلوب به‌وجود می‌آید بکاهد. امروزه پلاستیک‌ها کاربرد گسترده‌تری نسبت به سایر مواد در صنعت بسته‌بندی دارند و از آن‌جایی‌که این مواد از مشتقات نفتی هستند و علاوه بر مصرف سوخت‌های فسیلی، سالیان سال در محیط باقی مانده و از منابع تجدید ناپذیر به‌شمار می‌آیند، روزبه‌روز نگرانی‌های زیست‌محیطی درباره‌ی آن‌ها بیشتر می‌شود. در این مقاله به مرور جنس‌های مختلفی که تاکنون در صنعت بسته‌بندی به‌کار رفته، مزایا و معایب آن‌ها و شناخت کلی تکنیک‌ها و روش‌های نوین دربسته بندی مواد غذایی می‌پردازیم. همچنین توجه ویژه‌ای به بررسی بسته بندی‌های نوین شده است که در مقایسه با بسته بندی‌های رایج کنونی در کشور، ویژگی‌های مطلوب گسترده‌تری دارند. علی رغم این ویژگی‌ها همچون حفظ بهتر کیفیت محصول و بازار پسندی بالا، در کشور ما هنوز به طور گسترده صنعتی سازی نشده است. برای جمع‌آوری این مطالب از اوایل شهریورماه ۱۴۰۱ تا اواخر آذرماه ۱۴۰۱ تعداد ۱۹۶ مقاله از موتورهای جستجوگر MDPI، ScienceDirect، Google Scholar، CiteSeer[x]، Springer، سیویلیکا و پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) دریافت و مطالعه شد که از بین آن‌ها ۱۰۸ منبع مورد استفاده قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: بسته‌بندی هوشمند، بسته‌بندی فعال، بسته‌بندی نوین

۱- مقدمه

نیاز بشر به حفظ سلامتی و کیفیت ماده‌ی غذایی مصرفی، سبب معرفی صنعتی با نام "بسته بندی مواد غذایی" به جهانیان شد و با افزایش روزافزون جمعیت، این صنعت توسعه یافت [۱-۳]. اعتقاد بر این است که بسته‌بندی مدرن مواد غذایی در قرن نوزدهم و با اختراع کنسرو توسط نیکلاس آپرت آغاز شد. پس از افتتاح علم میکروبیولوژی مواد غذایی توسط لوئی پاستور و همکارانش در قرن ۱۹، به‌دنبال تلاش هایی که ساموئل کیت پرسکات و ویلیام لیمن آندروود [۴] برای ایجاد اصول بنیادی باکتری شناس در فرآیندهای کنسرواسیون انجام دادند، چندین اختراع دیگر مرتبط با بسته‌بندی مانند قالب‌های برش برای کارتن های مقوایی و تولید مکانیکی بطری های شیشه‌ای توسط رابرت گیر و مایکل اون[۵] همراه بود. تاکنون تعاریف متعددی از بسته‌بندی ارائه‌شده است، اما به‌طورکلی می‌توان بسته‌بندی را محافظی برای حفظ سلامتی کالای مظروف و درنهایت تضمین سلامت مصرف کننده، از زمان برداشت تا مصرف کالا دانست [۱]. بسته‌بندی ضمن حفظ کالا از تأثیر نامطلوب عوامل بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی، باعث سهولت در حمل‌ونقل و کاهش هزینه‌های آن، افزایش بازار پسندی، افزایش بهره‌وری اقتصادی و کاهش پسماند می شود [۲]. بسته بندی محصول برای مصرف‌کننده تا اواخر دهه‌ی ۱۸۰۰ میلادی یک علم نبود و به هر چیزی که فروشنده محصول را در آن قرار می داد، از روزنامه تا کیسه‌های پارچه‌ای، اطلاق می‌شد. اما به‌مرورزمان دچار تحول گسترده‌ای شده است [۶]. به‌طور معمول، یک بسته‌ی غذایی به محافظت از مواد غذایی در برابر تأثیرات عوامل نامطلوب محیطی مانند رطوبت، نور، اکسیژن، میکروب ها، تنش های مکانیکی و گردوغبار کمک کرده و توزیع را آسان تر می کند. یک ماده بسته‌بندی ایده‌آل باید بی‌اثر باشد، اجازه انتقال مواد و گازها را ندهد و قابل بازیافت باشد [۷]. در انتخاب روش بسته بندی و ماده‌ی مورد استفاده باید توجه ویژه‌ای داشت؛ زیرا این انتخاب

*رایانامه نویسنده مسئول: Pajohi@gmail.com

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.
ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) © نویسندگان

تأثیر بسزایی بر عمر انبارمانی محصول خواهد داشت [۸]. یک ماده ی مناسب باید کمترین اثر نامطلوب را روی محیط زیست و ماده‌ی غذایی داشته باشد و در نهایت قیمت تمام‌شده آن مقرون‌به‌صرفه باشد [۱, ۹].

۲- روش تحقیق

ما در سایت ها و موتورهای جستجوی مختلف شامل؛ MDPI، Science Direct، Google Scholar، CiteSeerx، Springer، Elsevier، سیویلیکا، پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) تحقیق و جستجو انجام دادیم. از کلیدواژه های مرتبط با صنعت غذا و بسته‌بندی مثل Food packaging، MAP، Active packaging، Smart packaging، Wood packaging، CAP، Metal packaging، Plastic packaging، Speaker packages و... جهت یافتن منابع استفاده شد. به جهت تعدد منابع، مقالات از سال ۱۳۸۰ شمسی (معادل ۲۰۰۲ میلادی) مورد بررسی قرار گرفت و تعداد ۲۰۹ مقاله و نسخه الکترونیکی ۸ کتاب به دو زبان فارسی و عمدتاً انگلیسی دریافت و وارد مطالعه شدند و چکیده‌ای از هرکدام تهیه شد. سپس از بین آن ها ۱۰۸ منبع نهایی شد و مورد استفاده قرار گرفت. این فعالیت از اوایل شهریور سال ۱۴۰۱ شروع شد و تا اواخر آذر ۱۴۰۱ به‌طول انجامید. به‌جهت گستردگی موضوع، شناخت تاریخچه ی بسته‌بندی و آشنایی با تکنولوژی های این صنعت در نقاط مختلف دنیا، ناگزیر به استفاده از منابع متعدد در سال‌های مختلف بودیم.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- طبقه‌بندی مواد اولیه مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی از نظر جنس مصرفی

۳-۱-۱- شیشه و ظروف شیشه‌ای

شیشه‌ها ازجمله قدیمی‌ترین مواد مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی است و استفاده از آن‌ها به حدود ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ سال پیش برمی‌گردد اما با شیشه‌های رایج امروزی تفاوت‌های عمده‌ای داشته است [۱, ۱۰]. فرآیند تشکیل شیشه شامل حرارت دادن مخلوطی از سیلیس، کربنات سدیم، کربنات کلسیم و آلومینا (تثبیت‌کننده) در دمای بسیار بالا است تا زمانی که مخلوط به‌صورت توده مایع غلیظی در قالب ریخته شود [۱۱]. شیشه به دلیل ویژگی‌هایی مثل شفافیت و قابل‌رؤیت بودن محصول بسته‌بندی‌شده محبوبیت خاصی در بازار مصرف دارد. از سایر ویژگی های مطلوب این مواد می توان به نفوذناپذیری به هوا، رطوبت و گازها، عدم ایجاد واکنش با ماده غذایی، قابلیت استفاده‌ی مجدد و بازیافت پذیر بودن این بسته‌بندی اشاره کرد [۲]. باوجود مزایای گسترده ی این جنس بسته بندی، معایبی ازجمله ایجاد خطرات فیزیکی به علت خاصیت شکنندگی بالا، وزن بالای محصول نهایی و افزایش هزینه‌ی حمل‌ونقل نیز دارد [۱۰].

ظروف شیشه‌ای مورد استفاده در بسته بندی مواد غذایی عمدتاً دارای روکش سطحی هستند؛ این روکش‌ها باعث روان‌کاری در خط تولید، جلوگیری از خراش یا ساییدگی سطح، بهبود و افزایش استحکام و درنهایت کاهش شکستگی می‌شوند [۱۰, ۱۱].

ظروف شیشه ای شامل انواع رایج بطری، لیوان، جار و بطری دسته‌دار یا jug می‌باشد که مواد غذایی همچون قهوه فوری، ادویه‌جات، مربا و ترشی، محصولات لبنی، نوشیدنی‌ها و... بسته به خواص فیزیکی محصول در این ظروف بسته‌بندی می‌شود [۲].

۳-۱-۲- ظروف فلزی- حلبی

پیدایش این ظروف به چند سال قبل از میلاد مسیح برمی‌گردد اما این ظروف توسط افراد متعددی مورد تغییراتی قرار گرفت و به‌شکل ظروف کنونی درآمد. به‌عنوان مثال نیکولاس اپرت در اوایل قرن نوزدهم میلادی برای نگهداری بهتر مواد غذایی روش‌های خشک‌کردن، دودی کردن و بسته‌بندی در قوطی فلزی را مورد بررسی قرارداد و فرایند اپرتیزاسیون را به صنعت کنسروسازی معرفی کرد. در اوایل قرن نوزدهم میلادی پیتر[۱] قوطی‌های فولادی باروکش یک‌لایه‌ی قلع را توصیه کرد اما در ایران، ساخت قوطی‌های فلزی از دهه اول قرن چهاردهم شمسی برای نگهداری مواد غذایی مورد توجه فردی به نام درخشان قرار گرفت. مواد فلزی ۱۵ درصد از کل مواد مورد استفاده در صنعت بسته بندی مواد غذایی را در سراسر جهان به خود اختصاص داده اند [۱۲]. این ظروف استحکام کافی در برابر ضربه داشته، سطح مناسبی برای چاپ و لاک پذیری دارند و درجه حرارت‌های بالا را نیز به‌راحتی تحمل می‌کنند. عمده‌ترین مشکل این جنس پدیده خوردگی و مهاجرت در آن‌ها است [۲].

قوطی‌های فلزی عمدتاً به دو شکل سه‌تکه (Three piece cans) و دوتکه (Two piece cans) ساخته می‌شوند؛ به این صورت که در قوطی های دوتکه بدنه و درپوش کف بدون درز به هم متصل‌اند و درب به آن‌ها دوخته می‌شود اما در قوطی‌های سه تکه دو درپوش کفی و بالایی و بدنه از هم جدا بوده و به هم دوخته می‌شوند. قوطی‌های دوتکه به دلیل عدم وجود درز در محل اتصال کف به بدنه نسبت به قوطی‌های سه‌تکه اقتصادی‌تر، بهداشتی‌تر و حدود ۳۵٪ سبک‌تر هستند [۱۳].

۳-۱-۲-۱- فولاد

از فولاد در ساخت ظروف فلزی برای بسته بندی و ساخت درب محصولات غذایی و نوشیدنی استفاده می‌شود. ورقه‌های فولادی بر اساس درصد کربن موجود به چهار نوع L، MR، MS و MC تقسیم می شوند [۱]. اختلاف در درصد کربن و سایر عناصر (جدول ۱) باعث بروز خواص متفاوتی در این چهار نوع شده است. بهترین نوع برای محصولات اسیدی (مانند توت فرنگی، آب سیب و...) که سبب خوردگی در فلزات می شوند، نوع L است. در نوع MR درصد مس بیشتر از نوع L است و در بسته بندی مواد غذایی با خوردگی کم (اسیدی و غیر اسیدی مثل نخود سبز، لوبیا سبز و توت) کاربرد دارد. فولاد MC به علت داشتن فسفر سخت‌تر از نوع L است و برای مواد غذایی که خوردگی ندارند استفاده می شود [۱, ۱۴].

جدول (۱): ترکیبات شیمیایی انواع ورق فولاد برحسب درصد [۱]

عناصر	L	MS	MR	MC
منگنز	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶
فسفر	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۲	۰/۱۱
گوگرد	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	<۰/۰۵
مس	۰/۰۶	۰/۲	۰/۲	۰/۰۱

فولاد، اول به‌عنوان یک صفحه سیاه تولید می‌شود اما عمدتاً به علت ایجاد واکنش با محصول نمی تواند مستقیماً در بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد و باید با مواد متفاوتی ترکیب یا پوشش داده شود [۲].

الف) فولاد قلع اندود

ورقه فولادی است که سطح خارجی و داخلی آن را باضخامت‌های متفاوتی از قلع پوشش داده می‌شود. وجود این پوشش در فولاد سبب ایجاد خاصیت ضد خوردگی و جلوگیری از ایجاد لکه سیاه، افزایش مقاومت حرارتی و افزایش عمر نگهداری در محصول می‌شود [۱, ۲]. این نوع قوطی‌ها مقاومت بالایی در فرآیند حرارتی دارند و نفوذناپذیری بالایی در برابر بخارآب و گازها، میکروارگانیسم‌ها و نور از خود نشان می‌دهند [۱۵]. از این ورق‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی فاقد آنتوسیانین استفاده می‌شود. مشکل عمده ی این نوع فولاد ایجاد خوردگی در پی ایجاد خراش در سطح قلع و مسمومیت‌زا بودن آن است [۱].

ب) فولاد بدون قلع پوشش داده‌شده بالاک

این نوع ورقه ها در اواخر قرن ۲۰ میلادی در آمریکا مورد استفاده قرار گرفت [۱]. فولاد بدون قلع برای ایجاد مقاومت کامل در برابر خوردگی اغلب به پوششی از مواد آلی نیاز دارد [۱۶].

این فولاد به شکل کم‌کربن استفاده می‌شود که ابتدا به‌صورت یک صفحه سیاه برای ساخت ظروف و درب استفاده می شود و شامل دولایه روی و اکسید روی اصلاح شده است. این ورقه ها قابلیت رنگ و لاک پذیری دارند و برای بسته‌بندی مواد غذایی حاوی رنگ دانه کاربرد دارند. این نوع فولاد گاهی سبب ایجاد تغییرات ارگانولپتیکی در ماده غذایی می شود [۱]. قیمت این نوع فولاد نسبت به ورقه‌ی قلع اندود بسیار کمتر است [۱۶].

پ) فولاد پوشش داده‌شده با پلیمر

این پوشش ها در ورقه های فولادی، نوع جدیدی از نوار کامپوزیت لایه ای فلزی و غیرفلزی است. این پوشش برای کاهش مصرف قلع، افزایش مقاومت در برابر خوردگی و افزایش زیبایی بسته بندی محصول، امروزه مورد استفاده قرار می گیرد. مشکل عمده در این نوع ورق ها محدودیت استفاده در مواد غذایی واجد فرایند حرارتی طی پروسه تولید است. امروزه از این نوع فولاد در ژاپن، اروپا و ایالات‌متحده به‌طور گسترده استفاده می‌شود [۱۷]. در یک بررسی مشخص شد فولاد پوشش داده شده با ورقه ی پلیمری، فرم پذیری خوبی در سمت پانچ طی عملیات اتوکشی از خود نشان می‌دهد [۱۸].

ت) فولاد پوشش داده‌شده با کروم یا اکسید کروم

صفحه سیاه فولاد کم‌کربن را با یک‌لایه نازک کروم یا اکسید کروم به صورت الکترولیتی پوشش می دهند [۱۹]. برای افزایش مقاومت در برابر خوردگی از یک ماده آلی برای پوشش دهی مجدد استفاده می‌شود. باوجود پوشش دهی با لاک شفاف کننده، به علت مات بودن صفحه نمی تواند سطح بازتابنده ای مثل ورق های حاوی قلع ایجاد کند. این ورق ها نسبت به ورق های قلع اندود ارزان‌تر هستند [۲].

ث) فولاد ضدزنگ

این نوع فولاد نوعی آلیاژ آهنی است که درصد بالای کروم (معمولاً ۱۱ درصد به بالا) موجود در آن باعث افزایش مقاومت در برابر خوردگی و خاصیت خنثایی شیمیایی شده است. به دلیل قیمت بالاتر این جنس نسبت به آلومینیوم و قلع، عمدتاً در تهیه ی ظروف قابل بازیافت کاربرد دارد. همچنین می توان در ساخت ظروف ذخیره‌سازی یا حمل‌ونقل بزرگ از فولاد ضدزنگ استفاده کرد [۱۲, ۲۰, ۲۱].

۳-۱-۲-۲- آلومینیوم

قوطی های آلومینیومی اولین بار در اواسط قرن بیستم میلادی تولید شد و به علت حمل ونقل آسان و مقاومت بالا در برابر تغییرات شیمیایی به‌سرعت گسترش یافت [۱]. آلومینیوم به دلیل خصوصیات عالی مانند شکل‌پذیری، پتانسیل تزئینی بالا و قابلیت بازیافت به‌عنوان پرمصرف‌ترین ماده‌ی فلزی شناخته می شود [۲۲] اما محدودیت منابع در دسترس این فلز، غیرقابل دوخت بودن با حرارت، وجود منافذ بسیار ریز طبیعی و پاره شدن در هنگام فرم دادن باعث ایجاد محدودیت در استفاده از این فلز در صنایع بسته‌بندی‌شده است [۱]. بااین‌حال می توان با افزودن منگنز و منیزیم استحکام آن را بهبود بخشید [۲]. زمانی که این فلز در معرض هوا قرار می گیرد، یک لایه اکسیدی روی سطح آن تشکیل شده و سبب می شود این فلز در مقایسه با سایر فلزات مقاومت بیشتری در برابر خوردگی داشته باشد. از سایر مزایای این جنس در بسته‌بندی مواد غذایی می توان به بی‌اثر بودن، وزن کم در مقایسه با سایر فلزات، مقاومت در برابر دماهای متفاوت، عدم تولید بقایای سمی، غیر جاذب بودن و مقاومت آن در برابر نفوذ گازها اشاره کرد. آلومینیوم به طور گسترده و به شکل فویل برای بسته‌بندی در ضخامت‌های کمی بیش از ۶ تا ۱۵۰ میکرون استفاده می‌شود [۲۳].

۳-۱-۳- بسته‌بندی چوبی، کاغذی و مقوایی

۳-۱-۳-۱- چوب جامد (SWPM)

چوب در زمان امپراتوری روم به‌عنوان یک ماده بسته‌بندی مطرح شد [۲۴]. این جنس از بسته‌بندی می‌تواند شامل انواع جعبه‌های چوبی، پالت‌ها، پوشال، سبدها و بشکه‌های چوبی باشد که در بسته‌بندی مواد غذایی مثل سرکه بالزامیک، روغن‌زیتون، چای سیاه خشک، جعبه‌های میوه و سبزی‌ها، غذاهای دریایی، ماهی و محصولات لبنی کاربرد دارند [۲۴, ۲۵]. مشکل عمده بسته‌بندی‌های چوبی آفت‌زدگی آن‌ها است. از آفات مهم چوب بندپایانی همچون سوسک‌های شاخ دراز و سوسک‌های آمبروزیا و زنبور چوب اروپایی هستند [۲۶, ۲۷]. مزایای این نوع بسته‌بندی شامل انرژی کم برای تولید نسبت به بسته‌بندی‌های پلاستیکی ضمن تولید کم گازهای گلخانه‌ای، کمپوست پذیر/ تخریب پذیر، قابل بازیافت و بهداشتی بودن آن می‌باشد [۲۸].

۳-۱-۳-۲- کاغذ

ساخت اولین کاغذ به اوایل قرن دوم میلادی در سی یانگ چین نسبت داده شده است اما چندین سال به طول انجامید تا کاغذ وارد صنعت بسته‌بندی شود [۱]. یکی از اولین اشاره‌ها به استفاده از کاغذ برای بسته‌بندی مواد غذایی توسط چارلز هیلدیرد[۲] در قرن هفدهم میلادی به ثبت رسیده است. به‌طورکلی کاغذ به دو گروه تقسیم می‌شود؛ کاغذهای ظریف مورد استفاده برای نوشت‌افزار و کتب و دیگری کاغذهای زبر مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی [۱]. در ادامه به‌اختصار به توضیح گروه دوم می‌پردازیم.

کاغذ به دلیل خاصیت انعطاف‌پذیری و قابلیت چاپ پذیری خوب، مقاومت در برابر پاره شدن و قابل بازیافت بودن مورد استفاده قرارگرفته است اما نفوذپذیری بالا نسبت به گازها و رطوبت و عدم دوخت مناسب، استفاده از آن ها را در برخی محصولات محدود کرده است. برای نگهداری مواد غذایی، کیفیت کاغذ به‌کاررفته در بسته‌بندی نقش مهمی در حفظ سلامت محصول دارد به همین دلیل می توان برای افزایش کیفیت، کاغذها را با فرآیندهایی پوشش‌دار کرد. با پوشش دهی کاغذها می توان خواصی مثل بهبود ظاهر و قابلیت چاپ پذیری، افزایش مقاومت و خواص ضد میکروبی را به آن‌ها افزود [۲۹].

۳-۱-۳-۲-۱- انواع کاغذ مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی

الف) کاغذ کرافت

کلمه‌ی آلمانی "Kraft" به معنی استحکام است و درجه‌ای از کاغذ است که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد [۳۰]. کاغذ کرافت به اشکال مختلفی موجود است که قهوه‌ای طبیعی، سفید نشده و سفید انواع رایج آن می باشند. کرافت قهوه‌ای طبیعی از انواع دیگر محکم‌تر است و معمولاً برای ساخت کیسه و بسته‌بندی استفاده می‌شود [۳۱]. این کاغذ به چهار دسته پاکت های بقالی، کرافت مخصوص جهت استفاده در بسته های حمل‌ونقل برای مسافت‌های طولانی، لاک اندود شده و برای استفاده مستقیم در بسته‌بندی مواد غذایی تقسیم می‌شود [۱]. کاغذ کرافت سفید به دلیل چاپ پذیری خوبی که دارد برای بسته‌بندی ثانویه و برچسب زدن و پوشش‌های خارجی استفاده می‌شود [۲].

ب) کاغذ لمینت شده

به‌طورکلی لمینه کردن از به هم چسبیدن دو یا چندلایه به دست می آید [۱]. این کاغذها روکش دار و بدون پوشش هستند که می توانند بر پایه سولفیت و خمیرهای کرافت (سولفات) باشند [۳۲]. برای تهیه روکش کاغذ لمینت می‌توان از ورقه‌های نازک آلومینیوم یا پلی‌اتیلن استفاده کرد. روکش پلی‌اتیلن سبب بهبود بخشیدن به قابلیت آب‌بندی حرارتی و افزایش سد کنندگی گاز و رطوبت می‌شود. کاغذ لمینت برای بسته‌بندی محصولاتی که به‌صورت خشک‌شده عرضه می‌شوند مانند سوپ، گیاهان و ادویه‌جات قابلیت استفاده دارد [۳۱].

پ) کاغذ مقاوم به کشش یا کاغذهای چروک‌دار

این کاغذها در برابر کشش و پاره شدن مقاومت بیشتری دارند و به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند؛

- کاغذ میکروکرپینگ : این کاغذها طی فرایند Clupak واجد چروک‌های نامرئی می‌شوند و در تهیه کیسه و پاکت کاغذی مقاوم مورد استفاده قرار می گیرند [۱, ۲]. زمانی که از این کاغذ در ساخت کیسه‌های کاغذی استفاده می‌شود، قابلیت چین‌دار بودن توانایی کاغذ را برای مقاومت در برابر تنش های دینامیکی بهبود می‌بخشد [۳۲].

- کاغذ کرپ دار : این کاغذها دارای چروک‌های قابل‌رؤیت هستند و به دلیل سطوح ناصاف خود، قابلیت چاپ پذیری کمی دارند و از این رو برای تولید کاغذ مقاوم به کشش، عمدتاً کاغذ میکروکرپینگ مورد توجه است [۱, ۲].

ت) کاغذ مقاوم به رطوبت

مقاومت به رطوبت به این معنی است که پس از خیس شدن کامل یک ورقه‌ی کاغذ (یعنی پس از غوطه‌ور کردن نمونه حداقل به مدت نیم ساعت در آب) سطح استحکامی خود را حفظ کند [۳۰] برای ایجاد این خاصیت در کاغذ موادی همچون اوره فرمالدئید و ملامین فرمالدئید به خمیرکاغذ اضافه می‌شود [۲].

ث) کاغذ شیشه‌ای یا گلایسین

این کاغذ طی عملیات فشرده‌سازی الیاف سلولزی به‌صورت مکانیکی و عبور از حمام اسیدسولفوریک به دست می آید [۳۳]. کاغذی صاف و براق و غیر متخلخل است که می‌تواند با لایه‌ای سیلیکونی روکش داده شده باشد. این محصول در چندین رنگ موجود است. از این کاغذ در محصولاتی همچون آب نبات و شکلات استفاده می‌شود [۲].

ج) کاغذ ضد روغن

کاغذی نیمه شفاف است که الیاف آن به شدت هیدراته شده و حالت ژلاتینی و چسبناک دارد؛ درنتیجه تخلخل آن بسیار کم است و در برابر نفوذ روغن مقاومت بالایی دارد [۲, ۳۴] از این کاغذ می توان در آشپزخانه برای مصارف مختلف مانند بسته‌بندی و نگهداری مواد غذایی چرب و آستر کردن سینی و قالب‌های پخت کیک استفاده کرد [۳۵].

۳-۱-۳-۲- مقوا

زمان دقیق استفاده از مقوا به‌طور وسیع و صنعتی مشخص نیست اما در اواخر قرن ۱۸ میلادی مقوا با دست ساخته شد. مقوا در مسیری شبیه به کاغذ ساخته شده اما ضخامت آن از کاغذ بیشتر است و مقاومت بیشتری در برابر آسیب‌های فیزیکی دارد. ویژگی‌های کلی مقوا شامل ضخیم بودن، قابلیت چین‌دار شدن، سختی و عدم شکاف برداشتن می‌باشد [۲].

۳-۱-۳-۲-۱- انواع مقوای مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی

الف) مقواهای تاشو (FBB)

این نوع مقوا معمولاً از لایه های خمیر مکانیکی که بین لایه های خمیر شیمیایی قرارگرفته‌اند، ساخته می‌شود و حداکثر به‌صورت سه لایه پوشش روی سطح یا سطح چاپ قرارگرفته اند. مقوای تاشو در شیرینی پزی و بسته بندی مواد غذایی منجمد و سرد کاربرد دارد [۳۶].

ب) تخته‌ی سفید جامد (SBB)

این نوع مقوا منحصراً از خمیر شیمیایی سفید شده ساخته شده است که دارای چاپ پذیری خوب هستند و معمولاً برای بسته بندی محصولاتی که حفظ عطر و طعم آن ها اهمیت دارد استفاده می شود. مثلاً در بسته بندی شیرینی و شکلات، چای و قهوه، غذای منجمد و محصولاتی که نیاز به گرم کردن دارند کاربرد دارد [۳۲].

پ) تخته‌ی جامد سفید نشده (SUB)

این نوع مقوا منحصراً از خمیر شیمیایی سفید نشده ساخته شده است. این محصول به عنوان سولفات جامد سفید نشده نیز شناخته می‌شود. تخته‌ی پایه قهوه‌ای‌رنگ است اما می‌توان با ایجاد یک پوشش رنگ دانه‌دار معدنی سفید به سطح سفیدی در این مقوا دست یافت. از این مقوا در مواردی که به استحکام مقاومتی بالا در برابر سوراخ شدن یا پارگی نیاز باشد، استفاده می‌شود [۳۲].

ت) تخته‌ی نئوپان سفید (WLC)

این مقوا شامل لایه بالایی خمیر شیمیایی سفید شده، لایه های میانی خمیر بازیافتی خاکستری‌رنگ و لایه ی زیرین از جنس خمیر شیمیایی سفید شده یا خمیر مکانیکی است. این مقوا در بسته‌بندی غذاهای خشک و غذاهای منجمد و سرد کاربرد دارد [۳۰].

۳-۱-۳-۲-۲- قوطی‌های فیبری (فایبر درام)

از این قوطی‌ها عموماً در بسته‌بندی مواد خشک و پودری استفاده می‌شود. ویژگی‌های مطلوب این قوطی‌ها شامل وزن سبک، تجزیه پذیری ۱۰۰ درصدی، قابلیت چاپ، رنگ پذیری و قیمت ارزان می‌باشد [۳۷].

۳-۱-۴- ظروف پلاستیکی و پلیمری

از دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی، بعد از جنگ جهانی دوم مواد پلاستیکی در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی گسترش یافت و جایگزین بسیاری از ظروف فولادی، شیشه ای و کاغذی شد. با ورود پلاستیک‌ها به صنعت بسته‌بندی، انقلابی نوین در صنعت بسته‌بندی ایجاد شد [۱, ۶].

به‌طورکلی پلاستیک ترکیبات آلی درشت مولکول حاصل از پلیمریزاسیون، بسپارش تراکمی یا پلیمریزاسیون افزایشی است [۲]. ویژگی‌های مطلوب پلاستیک‌ها ازجمله نرمی، شفافیت، سبکی و قیمت ارزان آن باعث شده امروزه پلاستیک دومین ماده پرمصرف در بازار بسته‌بندی باشد [۶, ۳۸]. از سایر ویژگی‌های مطلوب این مواد می‌توان به وزن مخصوص کم، قابلیت شکل‌پذیری با دستگاه بسته‌بندی، مقاومت بالا در برابر خاصیت اسیدی و قلیایی و کم بودن انرژی موردنیاز برای ساخت اشاره کرد [۱]. باوجود مزایای بسیاری که دارند اما هنگامی که با مواد غذایی در تماس باشند به مواد غذایی منتقل می شوند (مهاجرت مواد بسته بندی به غذا). همچنین چون این مواد از سوخت‌های فسیلی ساخته می‌شوند، در استفاده‌ی گسترده از آن‌ها باید تأمل کرد [۱].

۳-۱-۴-۱- مهم‌ترین پلاستیک‌های مورد استفاده در صنایع بسته‌بندی

الف) پلی‌اتیلن (PE)

این پلیمر که در زمان جنگ جهانی دوم معرفی شد [۶]، در اواسط قرن بیستم میلادی ظروف غذا از این جنس وارد بازار شد [۳۱]. از نظر ساختاری ساده‌ترین پلاستیک‌ها هستند و با پلیمریزاسیون اضافی گاز اتیلن در یک راکتور با دما و فشار بالا ساخته می‌شوند [۲].

ب) پلی‌پروپیلن (PP)

در مقایسه با پلی اتیلن پلیمری شفاف است و استحکام بالایی دارد اما نفوذپذیری به بخارآب و اکسیژن شبیه پلی‌اتیلن است. این پلیمر غیرقابل نفوذ به روغن بوده و استقامت خوبی در مقابل کشش و ضربه‌پذیری دارد [۱]. از این جنس در دبه‌های ماست و داروها استفاده می‌شود [۳۹].

پ) اتیلن وینیل استات (EVA)

یک کوپلیمر اتیلن با وینیل استات است [۲]. اتیلن وینیل استات یک پلیمر فراوان است و ویژگی های مطلوبی مانند غیر سمی بودن و انعطاف پذیری دارد که می‌توان در بسته‌بندی‌های فعال از آن استفاده کرد [۴۰]. از بسیاری از جهات شبیه پلی‌اتیلن است و از آن به روش‌های مختلفی در ترکیب با پلی‌اتیلن استفاده می‌شود. خواص عمده‌ی این ترکیب به درصد وینیل استات بستگی دارد [۲].

ت) پلی آمید (PA)

این پلیمر از واکنش بسپارش تراکمی بین دی آمین و دی اسید یا ترکیبات حاوی گروه عاملی تشکیل می شود. معمولاً به عنوان نایلون شناخته می‌شوند اما نام عمومی آن‌ها نیست [۲]. به دلیل وجود پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آن، در این پلیمر ویژگی هایی مثل مقاومت در برابر دما و سختی بالا به وجود آمده است [۴۱]. ابتدا این مواد در منسوجات مورد استفاده قرار می گرفت اما امروزه کاربرد آن در صنایع مهم دیگری مثل بسته‌بندی و مهندسی توسعه‌یافته است. این نام تجاری برای طیف وسیعی از محصولات نایلونی ساخته‌شده اطلاق می‌شود [۲].

ث) پلی وینیل کلراید (PVC)

اتم هیدروژن موجود در اتیلن با اتم کلر جایگزین و منومر وینیل کلرید حاصل می‌شود. این منومرها طی پلیمریزاسیون افزایشی تولید PVC می کنند. پلی وینیل کلراید پلیمری سخت و شکننده است که برای افزایش انعطاف‌پذیری در آن از نرم‌کننده‌ها استفاده می‌کنند [۲]. این نوع بسته‌بندی در بطری‌های روغن پخت‌وپز و دربسته بندی اطراف گوشت به‌کار می‌رود [۳۱].

ج) پلی وینیلیدین کلرید (PVDC)

یک کوپلیمر از وینیل کلرید و وینیلیدین کلرید است که مانع خوبی در برابر روغن، بخارآب و گازهاست [۲, ۳۱]. این پلیمر بیشتر در بسته‌بندی مرغ، گوشت‌های پخته‌شده، غذاهای میان وعده، چای و قهوه استفاده می‌شود. مقدار کلر به‌کار رفته در این بسته‌بندی دو برابر PVC است [۱۰].

چ) پلی استایرن (PS)

یک ترکیب وینیل است که در آن یک اتم هیدروژن با یک حلقه بنزن جایگزین می‌شود. از این پلیمر به‌طور گسترده در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود [۲]. از این نوع بسته‌بندی می‌توان در جعبه‌های حمل غذا، کارتن تخم‌مرغ و فنجان‌های نوشیدنی داغ استفاده کرد [۳۱].

ح) پلی‌اتیلن ترفتالات (PETE یا PET)

پلی‌اتیلن ترفتالات سومین پلیمر پراکنده در جهان است و تقریباً ۱۶ درصد از مصرف پلاستیک در صنعت بسته بندی اروپا را به خود اختصاص داده است [۴۲]. ظروف از این جنس در اواخر قرن

بیستم میلادی در بسته‌بندی برخی از نوشیدنی‌ها مورد استفاده قرار گرفت و وارد بازار شد [۳۱].

امروزه از بین تمامی مواد گفته‌شده، عمدتاً از پلاستیک‌های مصنوعی حاصله از مشتقات نفتی برای بسته بندی مواد غذایی استفاده می‌شود اما به دلیل آسیب‌های زیست‌محیطی گسترده این مواد و با افزایش نگرانی‌ها، بررسی بر روی مواد تجدید پذیر به‌عنوان جایگزین بالقوه پلاستیک‌ها افزایش‌یافته است [۴۳, ۴۴].

۳-۲- فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی

پوشش و فیلم خوراکی لایه ی نازکی از مواد قابل خوردن است که از دیرباز از آن ها جهت افزایش ماندگاری مواد غذایی استفاده می‌شد؛ به‌عنوان‌مثال در قرن ۱۲ و ۱۳ میلادی در چین برای پوشاندن پرتقال و لیموی تازه از موم استفاده می شد [۴۵]. یکی از تفاوت‌های عمده‌ی پوشش و فیلم این است که پوشش‌ها مستقیماً به محصول متصل‌اند درحالی‌که فیلم‌ها ورقه‌های مستقل از محصول هستند [۴۶]. تفاوت دیگر این دو در روش به کارگیری آن‌ها است؛ پوشش‌ها به‌صورت محلول بوده و طی غوطه‌ورسازی محصول در محلول حاوی پوشش، واکس زدن یا پاشش محلول حاوی پوشش بر روی محصول ایجاد می شود [۴۷]، اما فیلم ها به شکل ورقه‌های جامد تهیه‌شده و سپس برای پوشش‌دهی در اطراف یا بین محصول استفاده می شوند [۴۶, ۴۸]. ترکیب کردن آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی با بسیاری از پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی باعث افزایش فعالیت آن‌ها می‌شود. با این حال می‌تواند باعث افزایش رشد میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی شود. همچنین ممکن است قرار دادن افزودنی‌ها در لایه‌ها یا پوشش‌ها باعث کاهش اکسیداسیون لیپیدهای مواد غذایی، کاهش نشت بخارآب و افزایش خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی شوند [۴۹, ۵۰].

در خصوص فیلم‌های خوراکی دو اصل وجود دارد:

۱) کلمه‌ی Edible نشان می‌دهد از نظر FDA باید مواد GRAS بوده و همچنین از نظر قابلیت خوردن ایمن و مطمئن باشند.

۲) مواد تشکیل‌دهنده‌ی این فیلم‌ها باید یک پلیمر باشد [۵۱].

۳-۲-۱- انواع پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی

۳-۲-۱-۱- بر پایه‌ی پلی ساکارید

برای ایجاد پوشش و فیلم‌های خوراکی از پلی ساکاریدهایی مثل پکتین، آلژینات، صمغ زانتان، نشاسته و کارآگینان به عنوان مواد بیوپلیمری استفاده می‌شود. این فیلم‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌های مطلوبی مانند دسترسی گسترده، عدم سمیت و نفوذپذیری انتخابی به کربن و اکسیژن عمر مفید میوه ها را افزایش می‌دهند [۵۲].

۳-۲-۱-۲- بر پایه‌ی لیپیدی

لیپیدها به‌عنوان مولکول‌های کوچک، آب‌گریز و طبیعی شناخته شده‌اند که از انواع آن می‌توان به موم‌ها، چربی‌ها، استرول‌ها، ویتامین‌های محلول در چربی و غیره اشاره کرد. در قرن‌های قبل، از موم‌ها برای جلوگیری از هدر رفت رطوبت، حفظ استحکام و کیفیت مرکبات تازه و سبزی‌ها در زمان نگهداری آن‌ها استفاده می‌کردند. لیپیدها به دلیل ویژگی آپولاری که دارند، در برابر بخارآب به‌عنوان مانعی به کار گرفته می‌شوند. از این نوع پوشش‌ها و فیلم‌های بر پایه لیپید عمدتاً روی مرغ، گوشت، غذاهای دریایی و بسیاری از غذاهای دیگر استفاده می‌شود. اگرچه پوشش‌ها و فیلم‌های بر پایه لیپید موانع خوبی در برابر رطوبت هستند اما استحکام زیادی ندارند [۵۳].

۳-۲-۱-۳- بر پایه‌ی پروتئین

این نوع فیلم‌ها معمولاً از محلول‌ها یا پراکندگی‌های پروتئین در هنگام تبخیر حلال/ حامل تشکیل می شوند که به طورکلی این حلال/ حامل به اتانول، آب یا مخلوط اتانول آب محدود می شوند. پلیمرهایی که حاوی گروه‌هایی هستند که می‌توانند از طریق پیوند هیدروژنی یا یونی به هم متصل شوند، لایه هایی را ایجاد می کنند که مانع های خوبی در برابر اکسیژن هستند اما نسبت به رطوبت حساس هستند. بنابراین، این فیلم‌ها و پوشش‌ها در رطوبت‌های نسبی کم می توانند موانع خوبی نسبت به اکسیژن باشند. انواعی از پروتئین های مختلف مورد استفاده در تهیه این فیلم‌ها و پوشش‌ها عبارت‌اند از پروتئین ماش، ژلاتین، پروتئین آب‌پنیر، کازئین، زئین ذرت، گلوتن گندم، پروتئین سویا و پروتئین بادام‌زمینی [۵۴].

۳-۲-۲- مزایای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی

این پوشش ها دارای مزایای گسترده‌ای همچون حفظ ایمنی غذا از طریق جلوگیری از فساد و آلودگی میکروبی، حفظ مواد غذایی در برابر افت رطوبت، جلوگیری از تراوش محتویات گوشت به خارج از آن [۵۵] و سازگاری با محیط زیست هستند که برای حفظ کیفیت و افزایش عمر مفید مواد تازه و کم فراوری شده استفاده می شوند. همچنین فیلم های خوراکی میزان تنفس محصول را تنظیم و از آن در برابر از دست دادن آب، نرم شدن بافت، قهوه‌ای شدن و آلودگی میکروبی محافظت می کنند [۵۶]. مضاف بر موارد فوق‌الذکر، در مقایسه با پلاستیک‌ها می توانند به‌عنوان حامل مواد فعال که دارای خواصی مانند ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی هستند، عمل کنند و همچنین می توانند به‌طور مناسبی در کل غذا توزیع شوند. درنتیجه استفاده از فیلم ها و پوشش‌های خوراکی باعث کاهش مصرف بسته‌بندی‌های پلاستیکی می‌شود [۴۴, ۵۲].

۳-۲-۳- معایب فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی

باوجود تمام مزایای ذکرشده این پوشش‌ها در مقایسه با لفاف‌های پلاستیکی سنتزی استحکام کمتر و خواص مکانیکی ضعیف تری دارند. همچنین این پوشش‌های طبیعی به‌ویژه در رطوبت کم شکنندگی بالایی از خود نشان می‌دهند [۵۷].

۳-۳- روش‌ها و تکنیک‌های نوین در بسته‌بندی

تغییر در ترجیحات مصرف کننده و تقاضا برای محصولات غذایی ایمن و باکیفیت بالا منجر به پیشرفت های نوآورانه و اصلاحات در انواع مختلف مواد بسته بندی شده است [۵۸] که در ادامه به بررسی تعداد مهمی از این نوآوری‌ها می‌پردازیم.

۳-۳-۱- بسته‌بندی فعال

بسته‌بندی فعال یک صنعت نوین در بسته‌بندی مواد غذایی است. در این نوع بسته بندی از مواد مانند جذب کننده‌های اکسیژن، رطوبت، دی کسید کربن، اتیلن و ترکیبات طعم دهنده و ترکیبات آزادکننده کربن دی‌اکسید ، ضد میکروب، آنتی‌اکسیدان و ترکیبات معطر استفاده می‌شود [۵۹]. بسته‌بندی‌های فعال علاوه برداشتن خواص بازدارندگی مثل نفوذناپذیری به رطوبت و گازها با تغییر شرایط بسته بندی می توانند باعث افزایش ایمنی، ماندگاری و ویژگی های حسی ماده غذایی بشوند [۶۰]. این بسته بندی ها باوجود مزایای گسترده دارای معایبی مثل امکان نشت محتوای داخل ساشه و ایجاد آلودگی در ماده غذایی یا بلعیده شدن آن‌ها توسط مصرف‌کننده هستند [۵۰].

می‌توان از ترکیبات گیاهی در بسته‌بندی‌های فعال استفاده کرد که در کنار افزایش ماندگاری مواد غذایی می‌تواند طعم مطلوبی را در غذا به وجود آورد؛ برای مثال عصاره‌ی زیره‌ی سبز خواص ضدمیکروبی خوبی را نشان می‌دهد [۶۱]. استفاده از بسته‌بندی‌های فعال نقش مطلوبی در افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی دارد [۵۹] که در ادامه انواع مهم این بسته‌بندی مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۳-۱-۱- حذف‌کننده‌های اکسیژن

اکسیژن می‌تواند اثرات نامطلوبی روی مواد غذایی داشته باشد. با کاهش واکنش‌های مربوط به اکسیژن در مواد غذایی می‌توان تا حدی از این اثرات نامطلوب جلوگیری کرد و کیفیت محصولات غذایی را در حد مطلوبی حفظ کرد. وجود اکسیژن می تواند باعث افزایش سرعت بیات شدن انواع نان شود و تأثیر منفی بر کیفیت برخی از ماهی ها بگذارد [۲, ۶۲]. استفاده از اتمسفر اصلاح شده، سبب حذف کامل اکسیژن نمی‌شود و ۰/۱ تا ۲ درصد اکسیژن در بسته بندی باقی می ماند. همچنین اکسیژن واردشده از هوا به بسته‌بندی هم قابل‌حذف نیست. استفاده از مواد جاذب اکسیژن به‌صورت ساشه‌هایی در بسته‌بندی ماده غذایی به شکل اتیکت یا در دیواره بسته‌بندی، می‌تواند درصد اکسیژن را به کمتر از ۰/۰۱ کاهش دهد. انواع جاذب های اکسیژن که در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می شوند شامل: اکسایش آهن، اکسایش اسید اسکوربیک، اکسایش رنگ حساس به نور، اکسایش آنزیمی مثل (گلوکز اکسیداز و الکل اکسیداز)، کاتکول پلی آمیدها، عصاره برنج یا مخمر تثبیت‌شده روی سوبسترای جامد، اکسایش اسیدهای چرب اشباع نشده مانند اولئیک یا لینولنیک می باشند [۶۳].

۳-۳-۱-۲- جاذب/ انتشاردهنده‌های کربن دی‌اکسید

کربن دی اکسید گازی است که خاصیت ضد میکروب دارد و در فضای بسته بندی می توان با استفاده از انتشاردهنده های کربن دی‌اکسید مانع از رشد طیف وسیعی از قارچها و باکتری‌های هوازی شد؛ زیرا کربن دی اکسید بر فاز تأخیری میکروارگانیسم ها اثر گذاشته و آن را افزایش می دهد [۶۴]. همچنین باعث کاهش تنفس سلولی میوه‌ها و سبزی‌ها می‌شود. مشکل این انتشاردهنده‌ها آن است که اگر بیش‌از حد موردنیاز منتشر شود باعث تغییر در طعم، بافت و رنگ محصول و فروپاشی بسته می‌شود [۶۵, ۶۶].

گاهی در بسته‌بندی فشار یا حجم کربن دی‌اکسید زیاد می‌شود که برای حل این مشکل از این جاذب‌ها استفاده می‌کنند [۶۷]. از جاذب‌های کربن دی‌اکسید عمدتاً در مواد غذایی مثل غذای گوشتی و میوه‌ها و سبزی‌های تازه استفاده می‌شود که شامل کلسیم هیدروکسید، پتاسیم هیدروکسید، کلسیم اکسید و سیلیکاژل است [۶۴].

۳-۳-۱-۳- جاذب اتیلن

اتیلن یک تنظیم کننده رشد در گیاهان است که باعث افزایش تنفس سلولی می شود [۲] اما این اتیلن پس از برداشت باعث نرم شدن و تجزیه‌ی کلروفیل‌ها و خراب شدن محصول می‌شود [۴۱]. تعداد زیادی از جاذب های اتیلن به‌صورت فیلم یا در صورت سمی بودن توسط بالشتک درون بسته قرار داده می‌شوند تا اتیلن را طی نگهداری از داخل بسته بندی حذف کرده و از تأثیرات نامطلوب آن جلوگیری کنند. از اکسید آلومینیوم، پرمنگنات پتاسیم، کربن فعال همراه با کاتالیست فلزی، که به شکل بالشتک در بسته بندی قرار می گیرند و زئونیت، سنگ اویا ژاپنی و خاک رس که به‌صورت فیلم در بسته‌بندی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶۳, ۶۸].

۳-۳-۱-۴- انتشاردهنده‌های اتانول

اتانول در این بسته‌بندی‌ها به‌عنوان یک ماده ضد میکروبی عمل می‌کند. اتانول روی رشد کپک‌ها تأثیر می‌گذارند و همچنین می‌تواند از رشد مخمرها و باکتری‌ها نیز جلوگیری کند [۲, ۶۹]. مشکل اصلی استفاده از این ماده به عنوان ضد میکروب، فراریّت آن، غیرقابل کنترل بودن نرخ آزادسازی اتانول و ایجاد بوی نامطلوب و الکلی در محصول بوده که برای مصرف‌کننده نامطلوب است [۵۰]. گاهی اوقات برای پوشاندن این بو از افزودن طعم‌دهنده‌ها به ساشه‌ها استفاده می‌شود [۳].

۳-۳-۱-۵- بسته‌بندی ضد میکروب

در ترکیبات بسته‌بندی‌های فعال علاوه بر ترکیبات اصلی مثل پروتئین‌ها، پلی ساکاریدها و لپیدها می‌توان از ترکیباتی جهت افزایش ماندگاری مواد غذایی استفاده کرد [۶۰]. واژه ی ضد میکروب برای هر نوع بسته‌بندی که در آن رشد میکروبی در محصولات غذایی کنترل شود، کاربرد دارد [۷۰]. امروزه استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های حاوی مواد ضد میکروبی با منشأ گیاهی یا حیوانی در صنعت بسته بندی به منظور کنترل میکروبی و افزایش زمان ماندگاری به عنوان نگهدارنده ها در حال گسترش است. فیلم‌های ضد میکروبی یکی از انواع بسته‌بندی فعال است که در آن‌ها جهت کنترل عوامل بیماری‌زا، فساد میکروبی و شیمیایی، از یک سری افزودنی‌های غذایی ازجمله ترکیبات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدان‌ها استفاده می‌شود [۷۱]. کاربرد تجاری این بسته بندی ها محدود است و استفاده از برخی از این مواد مانند روغن‌هایی ضروری می‌تواند در مصرف‌کننده احساس منفی ایجاد کند [۵۰].

۱-۵-۱-۳-۳- ترکیبات مورد استفاده در بسته‌بندی‌های ضد میکروب

۱) باکتریوسین هایی مثل ادویه ها و عصاره گیاهانی مثل دارچین، میخک، ترب کوهی، خردل، رزماری و آویشن

۲) استفاده از اسیدهای آلی مثل پروپیونات بنزوات و سوربات

۳) استفاده از آنزیم‌های مثل پراکسیداز، لیزوزیم و گلوکز اکسیداز

۴) عوامل شلاته کننده مثل EDTA

۵) اسیدهای معدنی مثل گوگرد دی‌اکسید و کلر دی‌اکسید

۶) عوامل ضد قارچی مثل ایمازالیل و بنومیل [۲]

۲-۵-۱-۳-۳- انواع بسته‌بندی‌های ضد میکروب

۱) بالشتک حاوی مواد ضد میکروب: این بالشتک درون بسته‌بندی قرار می‌گیرد

۲) قرارگیری مواد فرار و غیر فرار ضد میکروب درون پلیمر

۳) استفاده از موادی با خاصیت ضد میکروبی طبیعی در ساخت پلیمر [۷۲].

۳-۳-۱-۶- جاذب رطوبت

رطوبت موجود در مواد غذایی عامل اصلی فساد در آن ها است. رطوبت موجود در مواد غذایی عامل رشد میکروارگانیسم‌ها و انجام واکنش هایی است که باعث تخریب بافت مواد غذایی، کاهش کیفیت و فساد آن ها می‌شود. با حذف رطوبت در بسته‌بندی مواد غذایی علی‌رغم کاهش وزن محصول می‌توان سبب افزایش زمان ماندگاری و کیفت مواد غذایی شد؛ به عنوان مثال در قارچ باعث کاهش سرعت واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی می‌شود [۲, ۷۳]. ایراد این جاذب‌ها تغییر خواص حسی در برخی موارد توسط ساشه ها و گران بودن و ظرفیت جذب پایین آن‌ها در جاذب‌های ساخته‌شده از مواد آلی و طبیعی است [۵۰]. به‌طورکلی هدف استفاده از مواد جاذب رطوبت:

۱) کنترل رطوبت بیش‌از حد در بسته‌بندی

۲) کاهش فعالیت آبی محصول به‌منظور جلوگیری از فعالیت میکروارگانیسم‌ها

۳) حذف آب حاصل از ذوب شدن محصولات و مایه های میان بافتی آن‌ها

۴) پیشگیری از چگالش بخارآب هنگام تنفس محصولات تازه

۵) جلوگیری از تیره شدن لفاف های پلاستیکی مورد استفاده در بسته‌بندی‌ها

در این بسته‌بندی‌ها می‌توان از موادی مثل پروپیلن گلیکول (به شکل فیلم)، سیلیکاژل و خاک رس به شکل بالشتک استفاده کرد [۶۷].

۳-۳-۱-۷- جاذب‌های طعم و بو

مواد بسته‌بندی پلیمری ممکن است طعم و بوی مواد غذایی را به خود جذب کرده و منجر به از بین رفتن شدت طعم و مزه و تأثیرات در کیفیت ارگانولپتیکی غذاها شوند. با استفاده از این نوع جاذب‌ها، می‌توان مولکول‌های گازی ناخواسته مانند مولکول‌های فراری که ناشی از واکنش‌های شیمیایی و میکروبی نامطلوب هستند را جذب نمود. اگر سرعت جذب در این جاذب ها پایین باشد، به دلیل تخلخل و سطح زیادی که دارند، مجدداً می توانند میزان زیادی از مولکول‌های گازی نامطلوب را حذف کنند [۶۳, ۷۴]. درست است که جذب طعم و بوی مواد غذایی توسط بسته‌بندی می‌تواند تأثیرات نامطلوبی روی محصول داشته باشد

اما جذب انتخابی طعم و بوها می تواند باعث بهبود کیفت نهایی محصول شود. برای مثال برخی از پرتقال ها پس از پرس شدن و پاستوریزاسیون طعم‌های تلخی ناشی از لیمونین آزاد می‌کنند. نارینجین ترکیب تلخی است که در بسیاری از آبمیوه‌های مرکبات یافت می‌شود، می‌تواند در بسته‌بندی این محصولات از جاذب های لیمونین مثل تری استات سلولز یا کاغذ استالدئید در داخل بسته بندی آن ها استفاده کرد. همچنین در عضلات ماهی دو نوع بو ناشی از تجزیه پروتئین‌ها و آلدئیدها حاصل از اتواکسیداسیون چربی‌ها و روغن‌ها موجود می‌باشند که می‌توان با بسته‌بندی‌های فعال آن‌ها را حذف کرد. بوهای ناخوشایند آمین های فرار مثل تری متیل آمین همراه با تجزیه پروتئین ماهی، قلیایی هستند و می توان به‌وسیله ترکیبات اسیدی مختلف آن‌ها را خنثی کرد [۶۳]. عواملی مانند قطبیت جاذب و مولکول های گازی مولد طعم و بو، دما، رطوبت نسبی، اندازه و میزان تخلخل مواد جاذب، در سرعت و میزان جذب این جاذب ها تأثیرگذار هستند. جاذب‌های طعم و بو به شکل‌های مختلفی نظیر بالشتک، فیلم و برچسب قابل‌استفاده هستند [۷۴].

۳-۳-۱-۸- بسته‌بندی کنترل دما

این نوع بسته بندی شامل خود گرم شونده و خود سرد شونده است. در چند دهه‌ی اخیر بسته‌بندی‌های خود گرم شونده به‌صورت تجاری مورد استفاده قرارگرفته‌اند و محبوبیت خاصی در ژاپن دارند. از آلومینیوم و فولاد می‌توان در تهیه این بسته‌بندی استفاده کرد و در این زمینه محدودیتی ندارد. نحوه‌ی فعالیت این نوع بسته‌بندی‌ها به این صورت است که با فشردن دکمه تعبیه شده زیر قوطی، حامل جداکننده مواد شیمیایی در محفظه خارجی شکسته شده و بر اساس گرماده یا گرماگیر بودن واکنش ماده درون قوطی خنک یا گرم می‌شود [۷۵]. مثلاً در قوطی‌های خود گرم شونده محفظه‌ای وجود دارد که در آن هنگامی‌که آب و آهک با یکدیگر ترکیب شوند واکنش گرمازا رخ می دهد که درنهایت منجر به گرم شدن محصول داخل قوطی می شود. قوطی‌های خود سرد شونده نیز برای محصولات خام در ژاپن عرضه شدند که خنک شدن محصول در آن ها ناشی از واکنش گرماگیر بین نیترات آمونیوم و کلرید در آب تأمین می شود [۲]. مشکل عمده این سیستم‌ها اشغال قسمت عمده‌ی فضای بسته توسط دستگاه گرمایشی است. از طرفی در قوطی‌های خود گرم شونده مشکل یک‌بارمصرف بودن ظرف، محدود بودن به بسته‌بندی نوع خاصی نوشیدنی و گاهی به دلیل افزایش بیش‌از حد دمای محصول، پاشیدن مایع داغ و سوختگی حاصل از آن وجود دارد [۷۶].

۳-۳-۱-۹- جاذب نور (نورUV)

اشعه ی UV آثار نامطلوبی مانند تخریب رنگ، طعم و مواد مغذی نوشیدنی‌های بسته‌بندی‌شده و همچنین افزایش اکسیداسیون در بطری‌های شفاف می‌شود. از این جاذب‌ها در بسته‌بندی محصولاتی که به نور حساس هستند مثل آبمیوه‌ها، نوشیدنی‌های ورزشی و چای می‌توان استفاده کرد [۶۳].

۳-۳-۲- بسته‌بندی هوشمند

بنا بر تعریف کمیسیون اروپا بسته‌بندی هوشمند مواد و اقلامی هستند که بر وضعیت غذای بسته‌بندی‌شده یا محیط اطراف غذا نظارت می‌کنند [۳, ۷۷]. نکته‌ی حائز اهمیت در بسته‌بندی هوشمند، رعایت وجوه قانونی آن است. طبق ماده‌ی سوم EC/1935/2004، مواد مورد استفاده در بسته‌بندی با آن‌که می‌توانند تغییرات غیرقابل‌قبول در ماده غذایی ایجاد کرده یا خواص ارگانولپتیک را تغییر دهند اما نباید هیچ‌یک از اجزای خود را به‌راحتی حتی در مقادیر ناچیز وارد ماده‌ی غذایی بکنند [۷۸]. از مزایای این سیستم‌ها می‌توان به سهولت ادغام در بسته‌بندی، تفسیر راحت داده ها و نظارت مداوم بر شرایط خارجی اشاره کرد. عیب اصلی این بسته‌بندی‌ها عدم قابلیت بازیافت و گران‌قیمت بودن آن‌ها است [۷۹]. فناوری‌های اصلی برای سیستم بسته‌بندی هوشمند شاخص‌ها، حسگرها و حامل‌های داده هستند [۳].

۳-۳-۲-۱- شاخص‌ها

عملکرد اصلی شاخص‌ها انتقال اطلاعاتی معمولاً به‌صورت تغییرات بصری (مثلاً تغییر رنگ)، به مصرف‌کننده است. این داده‌ها شامل حضور یا عدم حضور یک ماده خاص در بسته‌بندی است [۳]. ارزان بودن، سهولت استفاده در بسته بندی و تفسیر راحت نتایج از ویژگی‌های مطلوب شاخص‌هاست. مشکل اصلی شاخص‌ها عدم ارائه‌ی داده‌های کمی است [۸۰]. شاخص‌ها به سه دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند.

الف) شاخص‌های زمان- دما (TTI)

از آنجایی‌که در مدت‌زمان نگهداری ماده غذایی، دما فاکتور بسیار مهمی برای حفظ کیفیت آن است، استفاده از این شاخص‌ها در مواد غذایی تحول گسترده یافته است [۸۱]. این شاخص‌ها عمدتاً برای غذاهای حساس به دما مانند محصولات سرد و منجمد کاربرد دارند همچنین در کنترل فرایندهای حرارتی پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون نیز کاربرد دارد [۳]. از خصوصیات یک شاخص ایده‌آل می‌توان به سهولت کاربرد و ارزان بودن، برگشت‌ناپذیر بودن پاسخ آن، انعطاف‌پذیری، قابلیت تهیه در اندازه‌های کوچک و مقاوم به تنش‌های مکانیکی اشاره کرد [۸۱].

انواع این نشانگرها شامل نشانگر زمان-دمای آنزیمی، نشانگر زمان-دمای میکروبی، نشانگر زمان-دمای پلیمری، نشانگر زمان-دمای فتوکرومیکی، نشانگر زمان-دمای نفوذ مولکولی و نشانگر زمان-دمای میلاردی می باشد که هرکدام بر اساس ماده خاص آزادشده از ماده غذایی در طی روند فساد داده‌هایی را به مصرف‌کننده منتقل می‌کنند [۸۱].

ب) شاخص‌های تازگی محصول

شاخص‌های تازگی دستگاه‌های هوشمندی هستند که امکان نظارت بر کیفیت محصولات غذایی را در حین نگهداری و حمل‌ونقل فراهم می‌کنند. شاخص‌های تازگی، برخلاف شاخص های دما، اطلاعات مستقیمی را در مورد کیفیت محصول ارائه می دهند و واکنش های شیمیایی بدتر شدن مواد غذایی به دلیل میکروارگانیسم‌های هدف را تجزیه و تحلیل می‌کنند [۳]. تغییرات در غلظت متابولیک‌هایی مانند گلوکز، اسیدهای آلی، اتانول، کربن دی‌اکسید، مشتقات گوگرد و... شاخص‌های رشد میکروبی هستند و بنابراین، می‌توان با شاخص‌های تازگی حضور آن‌ها را در بسته‌بندی شناسایی کرد و در مورد کیفیت محصول نظر داد [۳, ۸۲]. در بیشتر موارد، این شاخص‌ها مبتنی بر استفاده از رنگ‌های حساس به تغییرات pH ناشی از خراب شدن محصول است که منجر به تغییر قابل مشاهده در رنگ نشانگر می‌شود. این شاخص‌ها در محصولات مختلف ازجمله غذای تازه، میوه و غذاهای دریایی کاربرد دارند [۸۳].

پ) شاخص‌های گاز

فعالیت مواد غذایی، ماهیت بسته‌بندی و شرایط محیطی که بسته در معرض آن قرار می گیرد، منجر به تغییر ترکیب گاز در فضای بسته می‌شود. از این شاخص برای نظارت بر تغییرات ترکیب گاز داخل بسته بندی، درنتیجه ارائه یک استراتژی برای نظارت بر کیفیت و ایمنی محصولات غذایی استفاده می‌کنند. این شاخص‌ها مواد فرار گازی مانند اکسیژن، کربن دی‌اکسید، دی استیل و آمین‌ها را که توسط محصول تولید شده‌اند تشخیص می‌دهد [۸۴, ۸۵].

۳-۳-۲-۲- حسگرها

حسگر وسیله‌ای است که با ارائه‌ی یک سیگنال قابل‌اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی، بیولوژیکی یا فیزیکی محصول را تشخیص داده یا اندازه‌گیری می‌کنند [۳, ۸۶]. عمده‌ی حسگرها از دو بخش گیرنده و مبدل تشکیل شده‌اند [۸۶]. حسگرهای مطلوب باید ویژگی‌هایی مثل زمان پاسخ سریع، اندازه کوچک (کوچک‌سازی)، هزینه ساخت کم، ساخته‌شده از مواد ارزان‌قیمت، پایدار یا زیست‌تخریب‌پذیری را داشته باشند. محبوب‌ترین حسگرهای سنتی برای اندازه‌گیری دما، رطوبت، pH و قرار گرفتن در معرض نور طراحی شده‌اند [۳]. در ادامه به بررسی انواعی از حسگرها می‌پردازیم.

الف) حسگرهای شیمیایی

دارای گیرنده ای که قادر به تشخیص حضور، فعالیت، ترکیب و غلظت یک مولکول شیمیایی خاص مثل ترکیبات آلی فرار و گاز مولکول ها و غیره هستند به‌ویژه برای محصولاتی مثل گوشت، ماهی، میوه و سبزی [۳, ۸۷].

ب) حسگرهای الکتروشیمیایی

در این حسگرها مواد شیمیایی فرار فوق الذکر با چند الکترود (الکترود کار، شمارنده، و الکترود مرجع) اندازه گیری و نمایش داده می‌شوند. مهم‌ترین تکنیک‌های الکتروشیمیایی مرسوم عبارت‌اند از پتانسیومتری، آمپرمتری، ولت‌متری و هدایت سنجی که به‌کارگیری آن‌ها بستگی به سیگنال ارائه‌شده توسط مبدل دارد [۳, ۸۷]. حسگرهای الکتروشیمیایی را برای آنالیت‌های جامد، مایع یا گاز می‌توان به کاربرد که دو مورد اخیر رایج‌تر هستند [۸۸].

پ) حسگرهای نوری

حسگرهای نوری یک سیگنال نوری (رنگ، فلورسانس یا نورتابی شیمیایی) تولید می کنند یا باعث تغییر در خواص نوری سیستم می‌شوند. سیگنال نوری تولیدشده را می‌توان با چشم غیرمسلح مشاهده کرد یا توسط یک آشکارساز نوری که سیگنال های نوری را به سیگنال‌های الکتریکی قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کند، اندازه گیری کرد [۳]. از این حسگرها برای نشان دادن حضور میکروارگانیسم‌های آلوده‌کننده‌ی مواد غذایی مانند انتروتوکسین A و B استافیلوکوکوس ، سالمونلا تیفی موریوم، تیپ B سالمونلا، تیپ D و E E. coli و E. coli O157:H7 استفاده‌شده است [۸۹].

ت) حسگرهای زیستی

بیماری‌های منتقلِ از غذا عامل اصلی بیماری و مرگ در ایالات‌متحده شناخته‌شده است [۹۰] و هرساله عامل حدود ۵۰۰۰ مرگ از آمار مرگ ومیر این کشور را به این بیماری ها نسبت می‌دهند [۹۱]. ساخت حسگرهای زیستی به‌عنوان ابزارهای تحلیلی مهم برای تشخیص سریع پاتوژن‌ها در صنعت بسته‌بندی نقش کلیدی در کنترل شیوع بیماری ایجاد کردند [۹۲]. حسگرهای زیستی عمدتاً در گیرنده با حسگرهای شیمیایی متفاوت هستند. درحالی که در حسگرهای شیمیایی گیرنده یک ترکیب شیمیایی است، در حسگرهای زیستی از مواد آلی یا بیولوژیکی مانند DNA، RNA ، آنزیم‌ها، آنتی‌بادی‌ها،

آنتی‌ژن‌ها، میکروب‌ها، هورمون‌ها و اسیدهای نوکلئیک ساخته شده است [۳]. در کل، بیوسنسورها آنالیز کننده های فشرده هستند که اطلاعات مربوط به واکنش های بیوشیمیایی را تشخیص داده، ثبت نموده و منتقل می‌کنند [۹۳].

ث) حسگرهای خوراکی

این حسگرها تنها با استفاده از مواد طبیعی و زیست‌تخریب‌پذیر ساخته می شوند، بدون اینکه اثرات منفی یا خطرناکی روی سلامتی انسان حتی در دراز مدت داشته باشند. به‌عنوان مثال، یک حسگر متشکل از یک ماتریس پکتین حاوی عصاره کلم قرمز است و به‌عنوان یک شاخص رنگ سنجی ساخته‌شده است. عصاره کلم قرمز حاوی مقدار قابل‌توجهی آنتوسیانین است که توانایی تغییر رنگ در مواجهه با تغییرات pH را دارند [۳, ۹۴].

ج) نانو حسگرها

این حسگرها دارای نانو ذرات هستند و با توجه به پاسخ های فیزیکی و شیمیایی با نظارت بر شرایط خارجی و داخلی بسته، مواد شیمیایی را شناسایی و اندازه‌گیری می‌کنند و مصرف‌کننده را از آلودگی‌ها و مواد سمی آگاه می‌کنند [۸۶]. این فناوری به مغازه‌داران امکان می‌دهد تا مواد غذایی را که تاریخ انقضا آن‌ها گذشته است شناسایی کنند و همچنین صدور سفارش خرید جدید را به آن‌ها یادآوری می‌کند [۹۵]. باوجود مزایای گسترده، هنوز سمیّت این نانو ذرات به طور کامل شناخته نشده است. با اینکه این نانو ذرات به‌صورت مستقیم با ماده‌ی غذایی در تماس نیستند اما در صورت صدمه به بسته امکان آلودگی با نانو ذرات وجود دارد [۹۶].

چ) ترکیبی از حسگرهای فوق

از دو یا چند حسگر فوق‌الذکر برای ساخت این حسگرها استفاده می‌کنند؛ مثلاً حسگرهای زیستی-نوری و حسگرهای زیستی-الکتروشیمیایی که برای محصولاتی که متابولیت های مرتبط با این حسگرها را تولید می‌کنند کاربرد دارند [۳].

۳-۳-۲-۳- حامل‌های داده

دستگاه‌های حامل داده نوعی بسته‌بندی هوشمند را با عملکردی متفاوت از دو کلاس توضیح داده‌شده در بخش‌های قبلی نشان می‌دهند. در واقع، آن‌ها هیچ اطلاعاتی در مورد وضعیت کیفی غذاهای بسته‌بندی‌شده ارائه نمی‌دهند، اما پشتیبانی مهم و کارآمدی برای قابلیت ردیابی خودکار، پیشگیری از سرقت یا محافظت در برابر جعل هستند. مهم‌ترین دستگاه های حامل داده در بخش بسته‌بندی مواد غذایی، برچسب‌های بارکد و سیستم های شناسایی فرکانس رادیویی (برچسب های RFID) هستند [۳]. با استفاده از این‌ها می‌توان به‌راحتی کل تاریخچه بسته را در دسترس قرار داد و به بهبود ایمنی مواد غذایی و دستیابی به بازار بهتری برای مصرف کننده کمک کرد [۹۷]. ایراد این برچسب‌ها گران‌قیمت بودن و نیاز به زیرساخت‌های خارجی جهت استفاده از آن‌ها است [۸۰]. این نوع دستگاه‌ها عمدتاً روی بسته‌بندی‌های درجه سوم (مانند ظروف، پالت‌ها و غیره) قرار می‌گیرند تا در کل زنجیره تأمین خوانا باشند [۳, ۹۸]. برچسب‌ها به دو نوع طبقه‌بندی می‌شوند:

۱) تگ‌های فعال که با باتری کار می‌کنند و سیگنال را به خواننده RFID ارسال می‌کنند و تا فاصله ۵۰ متری کار می‌کنند؛

۲) تگ های غیرفعال که دامنه خواندن کوتاه تری دارند (تا حدود ۵ متر) و با انرژی عرضه شده توسط خواننده تغذیه می شوند (که اساساً عمر نامحدودی به آن‌ها می‌دهد) [۹۹].

۳-۳-۲-۳-۱- بسته بندی‌های سخنگو

با به‌کارگیری سیستم‌های میکروالکترونیکی، می‌توان اطلاعاتی مانند تاریخ انقضای محصول یا هرگونه تغییرات نامطلوبی که رخ‌داده است (که از قبل برای سیستم تعریف‌شده است) به‌صورت سمعی به مصرف‌کننده اعلام نمود. در این سیستم‌ها از باتری‌های کوچک، انعطاف پذیر و باضخامت کم که اغلب از جنس اکسید منگنز و روی هستند، استفاده می‌شود که معمولاً در جوهر پرینت یا قطعات لامینه شده بر روی کاغذ قرار می گیرند. از کاربرد آن ها می‌توان در بسته‌بندی میوه‌های حساس مانند انگور نام برد [۱۰۰].

۳-۳-۳- بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده (MAP)

این روش به معنی بسته‌بندی محصول فاسدشدنی در هوای تغییریافته است که ترکیب آن با ترکیب هوای معمولی متفاوت است [۱۰۱]. MAP فرآیند دینامیکی فعال یا غیرفعال است که در طی آن ترکیب گازی داخل یک بسته را تغییر می دهند. این بسته‌بندی بر تعامل بین انتقال گازها و سرعت تنفس محصول از طریق مواد موجود در بسته‌بندی استوار است [۸۵] و موجب افزایش عمر انبارمانی مواد غذایی می‌شود [۷۲]. در دهه‌ی ۱۹۳۰ میلادی برای سبزی‌ها و میوه‌هایی که با کشتی حمل می‌شدند برای افزایش زمان ماندگاری آن ها از گاز غلیظ CO_2 استفاده می‌کردند و برای اولین بار انگلستان، برای محافظت از گوشت خوک و ماهی از این نوع بسته‌بندی استفاده کرد [۸].

این تکنیک با کاهش غلظت اکسیژن و افزایش غلظت کربن دی‌اکسید سرعت تنفس و سطح قهوه‌ای شدن را کاهش می‌دهد. به همین دلیل برای بسیاری از مواد غذایی تازه برش خورده توصیه می‌شود [۴۷]. از مزایای دیگر این بسته‌بندی می‌توان به

کند شدن روند نرم شدن میوه، تغییر ترکیبات داخل میوه و کاهش تولید و حساسیت به اتیلن می‌باشد [۸۵].

باوجود مزایای گسترده‌ی MAP مثل مهار کردن بیوسنتز ترکیبات فنولی با میزان بالای کربن دی‌اکسید اما کاهش بیش‌از حد اکسیژن باعث پوسیدگی درونی و ایجاد طعم بد در محصول می‌شود [۱۰۲]. برای حل این مشکل از بسته‌بندی‌های اتمسفر اصلاح‌شده با اکسیژن بالا (۷۰ تا ۱۰۰ درصد) استفاده می‌کنیم که در مهار قهوه‌ای شدن آنزیمی نیز نقش دارد [۴۷, ۱۰۲]. بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده‌ی اکسیژن بالا باعث افزایش ماندگاری محصول با جلوگیری از واکنش‌های تخمیر بی‌هوازی، مهار رشد میکروبی، مهار تغییرات رنگی حاصل از فعالیت‌های آنزیمی و... می‌شود [۴۷].

۳-۳-۳-۱- بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده تعادلی (EMAP)

این فناوری زیرمجموعه‌ای از MAP است که به‌طور خاص برای افزایش ماندگاری محصولات تازه مناسب است. هنگامی که مقدار نفوذ فیلم برای O2 و CO2 با میزان تنفس محصولات تازه بسته‌بندی‌شده مطابقت داشته باشد، جو تعادلی در داخل بسته ایجاد می‌شود. جهت ایجاد این تعادل از سوراخ‌های ماکرو و میکروسکوپی در سطح بسته استفاده می‌شود. وجود این سوراخ‌ها از ایجاد شرایط بی‌هوازی جلوگیری می‌کنند. با این حال، عمل ماکروسوراخ‌ها نگرانی درباره‌ی ایمنی مواد غذایی را افزایش می‌دهد. ناخالصی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ممکن است از طریق سوراخ ها منتقل شوند و باعث آلودگی ثانویه شوند [۱۰۳, ۱۰۴].

غلظت‌های تعادلی برای کیفیت محصول بسیار مهم است زیرا قرار گرفتن محصولات تازه در معرض سطوح بالای CO2 ممکن است باعث آسیب فیزیولوژیکی شود و قرار گرفتن در معرض سطوح O2 بسیار پایین ممکن است باعث تنفس بی‌هوازی و ایجاد طعم‌های بد شود [۱۰۴].

۳-۳-۳-۲- بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده/رطوبت اصلاح‌شده (MA/MH)

یکی دیگر از فناوری‌های زیرمجموعه‌ی MAP است که برای محصولات تازه طراحی‌شده و با اصلاح جو و رطوبت داخل بسته، سبب افزایش کیفیت محصول می شود [۱۰۵]. این فنّاوری با افزایش عمر ماندگاری محصول، امکان فروش آن را به بازارهای دور فراهم می‌کند، دوره بازاریابی را طولانی کرد و به مصرف کنندگان کمک کرد تا ضایعات مواد غذایی را کاهش دهند [۱۰۶].

۳-۳-۴- بسته‌بندی هوای کنترل‌شده (CAP)

بسته‌بندی اتمسفر کنترل‌شده شرایطی در اتمسفر گازی بسته بندی بدون توجه به نوسانات محیطی یا دمایی به وجود می‌آورد؛ به این صورت که یک غلظت از پیش تعیین‌شده ثابت از گازها با افزودن یا حذف مداوم گازها در طول ذخیره‌سازی غذاهای بسته‌بندی‌شده حفظ می‌شود. از این بسته‌بندی عمدتاً برای ذخیره‌سازی فله‌ای از میوه‌ها و سبزی‌های خاص استفاده می‌شود و نیاز به نظارت و کنترل مداوم ترکیب گاز دارد. جیره غذایی و تغییرات نامطلوب در کیفیت حسی و بافتی میوه‌ها و سبزی‌های ذخیره‌شده را به حداقل می‌رساند، درحالی‌که مانع از رشد برخی ارگانیسم‌های فاسد می‌شود [۱۰۷, ۱۰۸].

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

امروزه مواد مورد استفاده در صنعت بسته بندی عمدتاً از منابع زیست تخریب ناپذیر (خصوصاً پلاستیک‌ها) بوده و با توجه به آثار نامطلوب زیست محیطی، وجود پدیده مهاجرت در این منابع و مخاطره‌آمیز بودن آن‌ها برای سلامت مصرف‌کننده، دنیای مدرن در تلاش برای یافتن جایگزین مناسب برای آن ها است. نوآوری در صنعت بسته‌بندی یکی از راه‌های جلب رضایت مشتری، ضمن افزایش ایمنی و کیفیت محصول است که تعدادی کشورهای توسعه‌یافته با انجام مطالعات و تحقیقات گسترده در این زمینه پیشرفت چشمگیری داشته‌اند و تا حدودی توانسته‌اند بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند را صنعتی سازی کنند. در ایران با توجه به گران بودن این فنّاوری ها هنوز در صنعت غذا به طور گسترده و فراگیر استفاده نمی‌شود.

پیشنهاد می‌شود با توجه به ویژگی‌های مطلوب متعدد در بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند به جهت افزایش صادرات و جلب توجه مشتریان ضمن افزایش کیفیت نهایی محصول، تلاش برای کاهش قیمت تمام‌شده و استفاده‌ی گسترده در صنعت اهتمام ویژه‌ای شود.

۵- مراجع

[1] H. M. Ziabari, principles of food packaging, 8 ed. Tehran,Iran: Aeeizh, 2016. (In Persian)

[2] R. Coles, D. McDowell, and M. J. Kirwan, Food packaging technology. CRC press, 2003.

[3] E. Drago, R. Campardelli, M. Pettinato, and P. Perego, "Innovations in smart packaging concepts for food: an extensive review," Foods, vol. 9, no. 11, pp. 16-28, 2020.

[4] C. L. Wilson, Intelligent and active packaging for fruits and vegetables. CRC press, 2007.

packaging," Trends in Food Science & Technology, vol. 24, no. 1, pp. 19-29, 2012.

[21] S. Cvetkovski, "Stainless steel in contact with food and bevarage," Metallurgical and Materials Engineering, vol. 18, no. 4, pp. 283-294, 2012.

[22] I. D. Ibrahim et al., "Need for Sustainable Packaging: An Overview," Polymers, vol. 14, no. 20, p. 4430, 2022.

[23] J. Kerry, "Aluminium foil packaging," Packaging technology, pp. 163-177, 2012.

[24] F. Aviat et al., "Microbial safety of wood in contact with food: a review," Comprehensive reviews in food science and food safety, vol. 15, no. 3, pp. 491-505, 2016.

[25] M. Zahid, C. Grgurinovic, and D. Walsh, "Quarantine risks associated with solid wood packaging materials receiving ISPM 15 treatments," Australian Forestry, vol. 71, no. 4, pp. 287-293, 2008.

[26] L. Humble, "Pest risk analysis and invasion pathways-insects and wood packing revisited: What have we learned," New Zealand Journal of Forestry Science, vol. 40, no. Suppl, pp. S57-S72, 2010.

[27] E. R. Hoebeke and R. J. Rabaglia, "Xyleborus seriatus Blandford (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), an Asian ambrosia beetle new to North America," Proceedings of the Entomological Society of Washington, vol. 110, no. 2, pp. 470-476, 2008.

[28] M. Shirmohammadi, "Investigating Antimicrobial Characteristics/Advantages of Australian Wood Species for Use in Food Packaging—A Feasibility Study," Forests, vol. 13, no. 2, p. 334, 2022.

[29] R. Dastbani, H. Resalati, and E. Afra, "Investigating the improvement of antimicrobial and resistance properties of packaging paper using chitosan," vol. 4, no. 13, pp. 68-77, 2013. (In Persian)

[30] M. J. Kirwan, Paper and paperboard packaging technology. John Wiley & Sons, 2008.

[31] D. Raheem, "Application of plastics and paper as food packaging materials-An overview," Emirates Journal of Food and Agriculture, vol. 3, no. 25, pp. 177-188, 2013.

[32] M. J. Kirwan, "Paper and paperboard packaging," Food packaging technology, vol. 241, pp. 213-250, 2003.

[33] P. Nechita and M. Roman, "Review on polysaccharides used in coatings for food packaging papers," Coatings, vol. 10, no. 6, p. 566, 2020.

[34] R. V. I. Gadhave and C. R. Gadhave, "Adhesives for the Paper Packaging Industry: An Overview," Open Journal of Polymer Chemistry, vol. 12, no. 2, pp. 55-79, 2022.

[35] J. B. R. Marella, S. Madireddy, and A. N. Maripi, "Production of pulp from banana pseudo stem for grease proof paper," Table of Content Topics Page no, vol. 2, no. 1, pp. 61-77, 2014.

[36] A. L. Mourad, H. L. G. da Silva, and J. C. B. Nogueira, "Life cycle assessment of cellulose packaging

[5] A. L. Brody, B. Bugusu, J. H. Han, C. K. Sand, and T. H. McHugh, "Innovative food packaging solutions," Journal of food science, vol. 73, no. 8, pp. 107-116, 2008.

[6] H. Kour et al., "Advances in food packaging-a review," Stewart Postharvest Review, vol. 9, no. 4, pp. 1-7, 2013.

[7] P. Puligundla, J. Jung, and S. Ko, "Carbon dioxide sensors for intelligent food packaging applications," Food Control, vol. 25, no. 1, pp. 328-333, 2012.

[8] F. Mehdizadeh, "A Review of the Applications of the Modified Atmosphere Packaging in Various Food Industries," Packaging science and art, vol. 13, no. 49, pp. 35-46, 2022. (In Persian)

[9] S. Pourhamzeh, "Novel Trends in the Packaging of Meat and Meat Products," Packaging science and art, vol. 12, no. 46, pp. 1-8, 2021. (In Persian)

[10] K. Marsh and B. Bugusu, "Food packaging—roles, materials, and environmental issues," Journal of food science, vol. 72, no. 3, pp. R39-R55, 2007.

[11] A. Ojha, A. Sharma, M. Sihag, and S. Ojha, "Food packaging–materials and sustainability-A review," Agricultural Reviews, vol. 36, no. 3, pp. 241-245, 2015.

[12] G. K. Deshwal and N. R. Panjagari, "Review on metal packaging: materials, forms, food applications, safety and recyclability," Journal of food science and technology, vol. 57, no. 7, pp. 2377-2392, 2020.

[13] W. F. Hosford and J. L. Duncan, "The aluminum beverage can," Scientific American, vol. 271, no. 3, pp. 48-53, 1994.

[14] M. Abdi, "Resistance of steel sheet protective coatings against corrosion caused by food," Packaging science and art, vol. 1, no. 1, pp. 40-43, 2010. (In Persian)

[15] M. Lamberti and F. Escher, "Aluminium foil as a food packaging material in comparison with other materials," Food Reviews International, vol. 23, no. 4, pp. 407-433, 2007.

[16] A. Kutnar and S. S. Muthu, Environmental impacts of traditional and innovative forest-based bioproducts. Springer, 2016.

[17] J. Liu, Q. Zhang, B. Zhang, and M. Yu, "The influence of the roll-laminating process on the bonding quality of polymer-coated steel interface," Coatings, vol. 11, no. 4, p. 472, 2021.

[18] M. Sellés, S. Schmid, and V. Seguí, "Ironability of a three-layered polymer coated steel: Part 1: Experimental investigation," Journal of Materials Processing Technology, vol. 202, no. 1-3, pp. 7-14, 2008.

[19] N. Wint, A. de Vooys, and H. McMurray, "The corrosion of chromium based coatings for packaging steel," Electrochimica acta, vol. 203, pp. 326-336, 2016.

[20] A. Llorens, E. Lloret, P. A. Picouet, R. Trbojevich, and A. Fernandez, "Metallic-based micro and nanocomposites in food contact materials and active food

materials production: folding box board and kraftliner paper," The International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 19, no. 4, pp. 968-976, 2014.

[37] S. Heydari and A. Ghasemian, "Using of Paper Made from Old Corrugated Container (OCC) for Packaging " presented at the The second national conference of new technologies in wood and paper industries, 2014. (In Persian)

[38] J. Menezes and K. A. Athmaselvi, "Chapter 5-Report on Edible Films and Coatings," in Food Packaging and Preservation, A. M. Grumezescu and A. M. Holban Eds.: Academic Press, 2018, pp. 177-212.

[39] Y. Sarkingobir et al., "The dangers of plastics to public health: A review," NIPES Journal of Science and Technology Resaerch, vol. 2, no. 2, pp. 195-200, 2020.

[40] A. Musetti, K. Paderni, P. Fabbri, A. Pulvirenti, M. Al-Moghazy, and P. Fava, "Poly (vinyl alcohol)-based film potentially suitable for antimicrobial packaging applications," Journal of food science, vol. 79, no. 4, pp. E577-E582, 2014.

[41] M. T. Awulachew, "A Review of Food Packaging Materials and Active Packaging System," Int J Health Policy Plann 1 (1), 28, vol. 35, no. 1, pp. 28-35, 2022.

[42] R. Nisticò, "Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry," Polymer Testing, vol. 90, p. 106707, 2020.

[43] K. L. Spence, R. A. Venditti, O. J. Rojas, Y. Habibi, and J. J. Pawlak, "The effect of chemical composition on microfibrillar cellulose films from wood pulps: water interactions and physical properties for packaging applications," Cellulose, vol. 17, no. 4, pp. 835-848, 2010.

[44] Z. Esparvarini, B. Bazargani-Gilani, M. Pajohi-Alamoti, and A. Nourian, "Gelatin-starch composite coating containing cucumber peel extract and cumin essential oil: Shelf life improvement of a cheese model," Food Science & Nutrition, vol. 10, no. 3, pp. 964-978, 2022.

[45] S. K. Q. Sard, "Application of edible coatings in food," presented at the The 12th National Congress of Biosystem Mechanical Engineering and Mechanization of Iran, 2019. (In Persian)

[46] M. Abbaspour, F. mohtarami, and M. Ismaili, "An overview of the importance of edible films and coatings in food preservation," presented at the 5th International Conference on Recent Innovations in Chemistry and Chemical Engineering, 2017. (In Persian)

[47] Z. doosti and N. Sadaqat, "New packaging for preserving fresh cut fruits and vegetables," presented at the The first national conference of new technologies in science and food industries and tourism in Iran, 2017. (In Persian)

[48] R. Izadprast and L. R. Nasirai, "Edible coatings based on gelatin," presented at the The first national conference of new technologies in science and food industries and tourism in Iran, 2017. (In Persian)

[49] B. Bazargani-Gilani and M. Pajohi-Alamoti, "The effects of incorporated resveratrol in edible coating based on sodium alginate on the refrigerated trout (Oncorhynchus mykiss) fillets' sensorial and physicochemical features," Food Science and Biotechnology, vol. 29, no. 2, p. 207, 2020.

[50] M. Qian et al., "A review of active packaging in bakery products: Applications and future trends," Trends in Food Science & Technology, vol. 114, pp. 459-471, 2021.

[51] S. Saidi and M. t. Koshtegar , "The role and characteristics of food coatings and films in increasing the shelf life of food," presented at the The 23rd National Congress of Food Sciences and Industries of Iran, 2015. (In Persian)

[52] S. A. Mohamed, M. El-Sakhawy, and M. A.-M. El-Sakhawy, "Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review," Carbohydrate Polymers, vol. 238, pp. 116-178, 2020.

[53] B. Yousuf, Y. Sun, and S. Wu, "Lipid and lipid-containing composite edible coatings and films," Food Reviews International, vol. 38, pp. 574-597, 2022.

[54] T. Bourtoom, "Edible films and coatings: characteristics and properties," International food research journal, vol. 15, no. 3, pp. 237-248, 2008.

[55] N. Karimi, "Introduction and application of edible coatings in packaging," Packaging science and art, vol. 2, no. 5, pp. 32-39, 2011. (In Persian(

[56] E. Tavassoli-Kafrani, M. V. Gamage, L. F. Dumée, L. Kong, and S. Zhao, "Edible films and coatings for shelf life extension of mango: A review," Critical Reviews in Food Science and Nutrition, vol. 62, no. 9, pp. 2432-2459, 2022.

[57] F. S. Taherin, "Edible films and coatings," presented at the The fourth national food security conference, 2015. (In Persian)

[58] L. Feliciano, "Color changing plastics for food packaging," Ohio State University, Columbus, Ohio. pp, pp. 1-13, 2009.

[59] E. Amani, A. G. Yazdi, and L. S. Borojni, "A review of the use of plant essential oils in food packaging films," Journal of Medicinal Plants, vol. 7, no. 3, pp. 141-162, 2016. (In Persian)

[60] S. Ranjbarian, B. Purfathi, H. Almasi, and S. Amiri, "Active edible films and coatings containing cinnamon essential oil: a review of properties and application in food packaging," Packaging science and art, vol. 7, no. 28, pp. 28-41, 2017. (In Persian)

[61] Y. Khaledian, M. Pajohi-Alamoti, and B. Bazargani-Gilani, "Development of cellulose nanofibers coating incorporated with ginger essential oil and citric acid to extend the shelf life of ready-to-cook barbecue chicken," Journal of Food Processing and Preservation, vol. 43, no. 10, p. e14114, 2019.

[62] B. Day and L. Potter, "Active packaging," Food beverage packaging technology, vol. 251, p. 262, 2011.

[63] M. Mojtahedi, A. Motamedzadegan, and S. Sabbaghpour, "The use of absorbents in food packaging," presented at the The first national snack conference, 2014. (In Persian)

[64] A. B. Nik, H. R. M. A. Reza, and M. V. doost, "Carbon dioxide emitters and generators in food packaging," presented at the The second international

Production in the Country," vol. 11, no. 44, pp. 54-67, 2021. (In Persian)

[79] M. R. Yan, S. Hsieh, and N. Ricacho, "Innovative food packaging, food quality and safety, and consumer perspectives," Processes, vol. 10, no. 4, p. 747, 2022.

[80] A. U. Alam, P. Rathi, H. Beshai, G. K. Sarabha, and M. J. Deen, "Fruit quality monitoring with smart packaging," Sensors, vol. 21, no. 4, p. 1509, 2021.

[81] H. Almasi, N. Ghadiri Alamdari, and N. Sohrabi, "Time-Temperature Indicators as Intelligent Packaging Features in the Food Industry: Types, Operation Mechanisms and Applications," Packaging science and art, vol. 12, no. 46, pp. 9-18, 2021. (In Persian)

[82] P. Müller and M. Schmid, "Intelligent packaging in the food sector: A brief overview," Foods, vol. 8, no. 1, p. 16, 2019.

[83] A. P. D. R. Brizio, "Use of indicators in intelligent food packaging," 2016.

[84] A. Lamba and V. Garg, "Nanotechnology approach in food science: A review," Nanotechnology, vol. 4, no. 2, pp. 123-129, 2018.

[85] M. Ghorbani, A. S. Sardo, N. Sadaqat, E. Milani, and A. i. small, "Packaging techniques for increasing the shelf life of fresh fruits and vegetables," in The first national electronic conference of new achievements in food science, 2014. (In Persian)

[86] Z. Abbasi, H. Bhamdi, and Y. Hazaveh, "A review of new packaging in the dairy industry," presented at the The 3rd International Congress of Food Science and Industry, Agriculture and Food Security, 2021. (In Persian)

[87] J. D. D. Habimana, J. Ji, and X. Sun, "Minireview: trends in optical-based biosensors for point-of-care bacterial pathogen detection for food safety and clinical diagnostics," Analytical Letters, vol. 51, no. 18, pp. 2933-2966, 2018.

[88] J. R. Stetter, W. R. Penrose, and S. Yao, "Sensors, chemical sensors, electrochemical sensors, and ECS," Journal of The Electrochemical Society, vol. 150, no. 2, pp. S11-S16, 2003.

[89] B. Kuswandi, Y. Wicaksono, A. Abdullah, L. Y. Heng, and M. Ahmad, "Smart packaging: sensors for monitoring of food quality and safety," Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, vol. 5, no. 3, pp. 137-146, 2011.

[90] E. Scallan, P. M. Griffin, F. J. Angulo, R. V. Tauxe, and R. M. Hoekstra, "Foodborne illness acquired in the United States—unspecified agents," Emerging infectious diseases, vol. 17, no. 1, pp. 16-22, 2011.

[91] P. S. Mead et al., "Food-related illness and death in the United States," Emerging infectious diseases, vol. 5, no. 5, p. 607, 1999.

[92] Y. Liu, S. Chakrabartty, and E. C. Alocilja, "Fundamental building blocks for molecular biowire based forward error-correcting biosensors," Nanotechnology, vol. 18, no. 42, p. 424017, 2007.

[93] M. K. poosh, M. A. Najafi, and N. S. Tehrani, "Active and intelligent packaging in the meat industry," congress and the 25th national congress of food sciences and industries of Iran, 2018. (In Persian)

[65] A. K. Singh, D. Ramakanth, A. Kumar, Y. S. Lee, and K. K. Gaikwad, "Active packaging technologies for clean label food products: a review," Journal of Food Measurement and Characterization, vol. 15, no. 5, pp. 4314-4324, 2021.

[66] J. Alves, P. D. Gaspar, T. M. Lima, and P. D. Silva, "What is the role of active packaging in the future of food sustainability? A systematic review," Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 103, no. 3, pp. 1004-1020, 2023.

[67] M. payan and M. Hamedi, "A review of the application of active packaging in the food industry," Iranian Journal of Food Science and Industry, vol. 10, no. 38, pp. 49-68, 2010. (In Persian)

[68] U. Chauhan, E. S. Chauhan, and P. Chauhan, "Role of Active Packaging in the Food Industry: A Review," Journal of Pharmaceutical Research International, vol. 34, no. 50B, pp. 20-32, 2022.

[69] K. Mane, "A review on active packaging: an innovation in food packaging," International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, vol. 1, no. 3, p. 238566, 2016.

[70] M. Ganja, S. M. Jafari, and M. A. Jani, "Use of antimicrobial coatings in food packaging," Packaging science and art, vol. 4, no. 16, pp. 16-23, 2014. (In Persian)

[71] M. Moradi, H. Tajik, S. M. R. Rouhani, A. R. Orumieh, H. Melkinejad, and S. S. S. Dehkordi, "Evaluation of antioxidant properties, color and antibacterial effects of chitosan edible film containing Shirazi thyme essential oil against Listeria monocytogenes," Armaghane Danesh, vol. 15, no. 4, pp. 303-315, 2010. (In Persian)

[72] A. Amiri and A. Ramezanian, "The effect of active antimicrobial packaging on the quality characteristics of fruits and vegetables," Packaging science and art, vol. 12, no. 45, pp. 42-51, 2021. (In Persian)

[73] M. H. Shahraki, Y. Maghsoudlou, and M. Mashkour, "Optimisation of humidity absorbers in active packaging of button mushroom by response surface methodology and genetic algorithms," Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, vol. 5, no. 3, pp. 227-235, 2013.

[74] S. A. Sorki and Y. Maqsoodlou, "The application of smart and active packaging in the packaging of bread and other baking products," Packaging science and art, vol. 4, no. 16, pp. 36-45, 2014. (In Persian)

[75] F. Mohammadian, "Investigating the process of heat generation in self-heating packages," Packaging science and art, vol. 4, no. 13, pp. 44-51, 2013. (In Persian)

[76] H. Amery, M. H. Azizi, and A. Salimi, "Investigation on Warming Capacity of Zeolite 3A and Water Reaction in Self-heating Cylinder to Warm up Beverages," Journal of food science and technology (Iran), vol. 19, no. 129, pp. 13-22, 2022.

[77] D. Schaefer and W. M. Cheung, "Smart packaging: opportunities and challenges," Procedia Cirp, vol. 72, pp. 1022-1027, 2018.

[78] M. Haji Ghafarloo and M. Jouki, "Food Intelligent Packaging: Introduction, Feasibility Study of Design and

[101] A. Hassanzadeh and A. A. K. Ardakani, "The role of new packaging technologies for agricultural and food products in sustainable development," presented at the The 5th National Innovation Conference in Agriculture, Animal Sciences and Veterinary Medicine, 2021. (In Persian)

[102] H. M. Mehr and N. Sadaqat, "New methods of packing cut fruits and vegetables," Packaging science and art, vol. 4, no. 13, pp. 30-43, 2013. (In Persian(

[103] K. S. Tumwesigye, A. Sousa, J. Oliveira, and M. Sousa-Gallagher, "Evaluation of novel bitter cassava film for equilibrium modified atmosphere packaging of cherry tomatoes," Food Packaging and Shelf Life, vol. 13, pp. 1-14, 2017.

[104] V. Del-Valle, P. Hernández-Muñoz, R. Catalá, and R. Gavara, "Optimization of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for minimally processed mandarin segments," Journal of Food Engineering, vol. 91, no. 3, pp. 474-481, 2009.

[105] M.-H. Park et al., "Modified atmosphere and humidity film reduces browning susceptibility of oriental melon suture tissue during cold storage," Foods, vol. 9, no. 9, p. 13-29, 2020.

[106] R. Porat et al., "Modified atmosphere/modified humidity packaging for preserving pomegranate fruit during prolonged storage and transport," vol. 818, pp. 299-304, 2009.

[107] C. N. Cutter, "Microbial control by packaging: a review," Critical reviews in food science and nutrition, vol. 42, no. 2, pp. 151-161, 2002.

[108] E. Kirtil and M. H. Oztop, "Controlled and modified atmosphere packaging," Reference Module in Food Science. Amsterdam: Elsevier, pp. 1-2, 2016.

presented at the The second international congress and the 25th national congress of food sciences and industries of Iran, 2018. (In Persian)

[94] I. Dudnyk, E.-R. Janeček, J. Vaucher-Joset, and F. Stellacci, "Edible sensors for meat and seafood freshness," Sensors and Actuators B: Chemical, vol. 259, pp. 1108-1112, 2018.

[95] T. J. A. M. Morrison, "Nanotechnology in Agriculture and Food," Institute of Nanotechnology, 2006.

[96] T. Shahi and M. Ghorbani, "Application of nanosensors in food packaging and storage," Packaging science and art, vol. 2, no. 8, pp. 82-89, 2011. (In Persian(

[97] S. Kalpana, S. Priyadarshini, M. M. Leena, J. Moses, and C. Anandharamakrishnan, "Intelligent packaging: Trends and applications in food systems," Trends in Food Science & Technology, vol. 93, pp. 145-157, 2019.

[98] J. Kumar, K. Akhila, and K. K. Gaikwad, "Recent developments in intelligent packaging systems for food processing industry: a review," J Food ProcTechnol, vol. 12, p. 895, 2021.

[99] J. Kerry and P. Butler, Smart packaging technologies for fast moving consumer goods. John Wiley & Sons, 2008.

[100] H. Toloi and J. Mohtadinia, "The use of smart components in the packaging of agricultural products (fruits and vegetables)," Agricultural and Natural Resources Engineering Organization vol. 10, no. 39, p. 24, 2013. (In Persian)