بسته‌بندی مواد غذایی: مروری بر انواع مواد تشکیل دهنده، جنبه‌های بازیافت و مهاجرت شیمیایی مواد و اثر بر محیط زیست و سلامت انسان

سوگند مقدم [1]، سما شریفی [*،2]

1- sogand75moghaddam@gmail.com

2- sharif1391@gmail.com

چکیده

روند افزایشی رشد جمعیت، صنعتی شدن جوامع، بهره‌وری بیشتر از زمان و ترجیح آسایش، راحتی و تسهیل امور باعث رشد بی‌سابقه‌ی تقاضای مصرف‌کنندگان برای انواع غذای آماده، نیمه آماده و مواد اولیه غذایی شده است. این نیاز سبب پیشرفت‌های چشمگیر در صنایع مواد غذایی و به تبع آن بسته‌بندی مواد غذایی برای دردسترس قرار دادن غذای ایمن و سالم شده‌است. کاربرد بسته‌بندی مواد، فراتر از جابه‌جایی محصولات شده‌است. امروزه تمرکز اصلی بر حفظ کیفیت، ارزش تغذیه‌ای، ایمنی، افزایش زمان مصرف و ماندگاری و حداقل فساد محصولات، در کنار بازارپسندی و اقتصادی بودن آن مطرح است. این باعث شده که توجه کمتری بر بعد دیگر بسته‌بندی که شامل جنبه‌های مهاجرت شیمیایی و ورود مواد تشکیل‌دهنده بسته‌بندی به محصول، بازیافت این مواد، چالش‌های پیش‌رو و اثرات آن بر محیط زیست و متقابلا اثر آن بر سلامت انسان، مورد توجه کمتری قرار گیرد.

در این مقاله مروری بر رایج‌ترین انواع مواد بسته‌بندی محصولات غذایی از جمله پلاستیک، کاغذ و مقوا، فلزات، شیشه، بسته‌بندی‌های چندلایه و بسته‌بندی‌های نوین زیست تخریب‌پذیر شده است.

همچنین مروری بر بازیافت مواد بسته‌بندی وآلودگی شیمیایی و محیطی ناشی از آن ، روند مهاجرت شیمیایی در محصولات و اثر آن بر سلامت انسان مورد بررسی قرار گرفته‌است.

کلمات کلیدی: بسته‌بندی، مواد غذایی، بازیافت، مهاجرت شیمیایی، محیط زیست، سلامت انسان.

مقدمه

سبک زندگی پرمشغله و رشد جمعیت شهری به معنای افزایش تقاضا برای مواد غذایی تازه، سالم، راحت و سریع است. یکی از عوامل کلیدی رشد افزایش جمعیت جهان است که تا سال 2050، با افزایش 26 درصدی به 9.7 میلیارد نفر خواهد رسید [1]. اگرچه غذا نیاز اساسی ما است، اما تولید، پردازش، حمل و نقل و ذخیره سازی آن از جنبه‌های مختلف بسیار پیچیده است و نیاز به رعایت تعدادی از معیارها برای اطمینان از ایمنی بهداشتی و زیست محیطی و امکان سنجی اقتصادی دارد [2]. با توجه به تاثیر اقتصادی

صنایع غذایی در جامعه ما، آلودگی میکروبی مواد غذایی می‌تواند منجر به خسارات قابل توجهی برای صنایع غذایی به دلیل فساد مواد غذایی شود. علاوه بر این، مصرف غذاهای آلوده به میکروب می‌تواند منجر به تهدیدات جدی سلامت عمومی مانند بیماری‌های ناشی از غذا و شیوع آن شود. فساد میکروبی مواد غذایی عمدتاً توسط میکروارگانیسم‌های فاسد غیر بیماری‌زا ایجاد می‌شود که مسئول تغییرات در ویژگی‌های تغذیه‌ای و حسی محصولات مانند اکسیداسیون، ایجاد طعم‌های نامطلوب و بدبو و همچنین تغییرات نامطلوب در بافت و رنگ هستند. از سوی دیگر، بیماری‌های منتقله از غذا که توسط میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا ایجاد می‌شوند به دلیل اثر بر سلامت انسان نیز مورد اهمیت‌اند [3].

یک راه حل جزئی اما کارآمد برای مشکلات پیچیده ایمنی مواد غذایی و کاهش ضایعات غیر ضروری مواد غذایی، انتخاب و توسعه بسته‌بندی مناسب است [2]. بسته‌بندی بخش مهمی از صنایع غذایی مدرن است. که برای حفظ و تضمین ایمنی و یکپارچگی غذا مورد نیاز است [4]. بسته‌بندی یکی از رشته‌های مهم در زمینه فناوری مواد غذایی؛ به حفظ و حفاظت از انواع غذاها و مواد اولیه آن‌ها و همچنین حفاظت در برابر فساد اکسیداتیو و میکروبی مربوط می‌شود [5]. عملکرد بسته‌های مواد غذایی در طول تاریخ یکسان بوده‌است: حفظ بهداشت، محافظت از مواد غذایی در هنگام حمل و نقل و نگهداری و در نهایت افزایش ماندگاری محصولات [6]. بسته‌بندی یکی از فرآیندهای اصلی حفظ و کیفیت محصولات غذایی برای صادرات، نگهداری و مصرف نهایی است. تغییرات در سبک زندگی مشتریان، تقاضا برای محصولات تمیز، باکیفیت، تازه، کم فرآوری شده و آماده مصرف با ماندگاری طولانی را افزایش داده‌است که متعاقباً فوریت و نیاز به فناوری بسته‌بندی مدرن را ایجاد می‌کند. نظارت بر کیفیت مواد غذایی از دو جنبه ضروری است: هدف از آن محافظت از مصرف کنندگان در برابر بیماری‌های ناشی از فساد مواد غذایی است و برای افزایش بهره‌وری صنایع غذایی و کاهش زیان‌های ناشی از فساد مواد غذایی استفاده می‌شود [7]. برای اکثر محصولات غذایی، حفاظت ارائه شده توسط بسته، بخشی ضروری از فرآیند نگهداری است. الزامات یک سیستم بسته‌بندی در نظر گرفته شده برای محصولات فرآوری شده به این موارد بستگی دارد: ویژگی‌های ذاتی محصول غذایی مانند فعالیت آب و پتانسیل اکسیداسیون که فسادپذیری آنها را تعیین می‌کند. عوامل بیرونی یعنی دمای نگهداری، رطوبت نسبی و قرار گرفتن در معرض نور، و در نهایت ماندگاری مورد نیاز. خواص فیزیکی و مکانیکی مواد در طول پردازش، عملیات بسته‌بندی و جابجایی از طریق زنجیره تامین مهم هستند [8].

بسته‌بندی مواد غذایی را می‌توان به عنوان یک مانع غیرفعال در نظر گرفت که از مواد غذایی در برابر عوامل محیطی مانند اشعه ماوراء بنفش، اکسیژن، بخار آب، فشار و گرما محافظت می‌کند. همچنین با محافظت در برابر آلاینده‌های شیمیایی و میکروبیولوژیکی، ماندگاری مواد غذایی را طولانی‌تر کرده و حمل و نگهداری مواد غذایی را تسهیل می‌کند. بسته‌بندی مواد غذایی نقش اصلی خود را در محافظت از محصول غذایی در برابر تأثیر محیط خارجی ایفا می‌کند. هدف اصلی بسته‌بندی؛ نگهداری مواد غذایی به بهترین شکل اقتصادی، برآوردن نیازهای صنعتی و مصرف کننده، تضمین ایمنی مواد غذایی و به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی است [9].

هنگام انتخاب مواد بسته‌بندی باید عوامل زیادی از جمله هزینه، کیفیت محصولات و توانایی آن‌ها در حفظ تازگی محصول در نظر گرفته‌شود. چند ماده رایج مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی عبارتند از پلاستیک، کاغذ و مقوا، فلزات، شیشه [10].

به طور کلی، مواد شیمیایی مختلفی در طی مراحل مختلف زنجیره تامین در غذاها یافت می‌شود. این‌ها شامل ریز مغذی‌ها، طعم دهنده‌ها، ضد میکروبی‌ها، آنتی اکسیدان‌ها، آفت‌کش‌ها و مایکوتوکسین‌ها هستند. همچنین، افزودنی‌هایی مانند نرم‌کننده‌ها، مونومرها و الیگومرهای موجود در مواد بسته‌بندی می‌توانند پس

از تماس در طی فرآیند یا بسته‌بندی، به غذا منتقل شوند. این انتقال ترکیبات شیمیایی بین مواد غذایی و بسته‌بندی، مهاجرت شیمیایی نامیده می‌شود [11]. در طی این تماس است نفوذ گازها و مواد فرار، رطوبت، میکروارگانیسم‌ها و سایر ترکیبات با وزن مولکولی کم رخ می‌دهد. این پدیده‌ی تعاملی می‌تواند منجر به تغییر در کیفیت و همچنین ایمنی غذا شود [12]. از آنجایی که تعامل بین مواد بسته‌بندی و مواد غذایی تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار می‌گیرد، انتخاب دقیق مواد بسته‌بندی برای جلوگیری از اثرات منفی بر کیفیت، ایمنی و پایداری محصولات مورد نیاز است. ملاحظات محصول باید شامل حساسیت طعم، تغییرات رنگ و فعالیت میکروبی نیز باشد. برای طراحی یک سیستم بسته‌بندی مواد غذایی مناسب؛ نوع پلیمر، روش تهیه و نسبت محتوای پلیمر به غذا، برای کمک به تعریف سطح تعامل غذا و بسته ارزیابی می‌شود. همچنین روش‌های فرآوری و زمان و دمای نگهداری مواد غذایی باید در نظر گرفته‌شود [13].

از سمت دیگر، مزایای کلی زیست محیطی و توجه به زیست متقابل، باعث تغییر نگرش به بسته‌بندی‌های پایدارتر شده‌است. استراتژی‌های جدید بسته‌بندی بیشتر به زیست تخریب‌پذیر بودن، سازگاری با محیط زیست، روش‌های کارآمد بازیافت و در نتیجه آلودگی کمتر زیستی متمرکز است. از طرفی جایگزینی یا حذف مواد مضر در بسته‌بندی مواد غذایی باعث بهبود سلامت انسان و محیط زیست می‌شود. همچنین ایجاد راه‌حل‌های نوآورانه برای بسته‌بندی‌های قابل استفاده مجدد و جمع‌آوری مناسب زباله‌های بسته‌بندی، برای جلوگیری از ریختن زباله و دفع اشیا در محل‌های دفن زباله ارزشمند است. عمل بازیافت، مواد را از جریان زباله منحرف می‌کند. برخلاف استفاده مجدد که شامل استفاده از محصول برگشتی به شکل اصلی آن است، بازیافت شامل پردازش مجدد مواد به محصولات جدید است [14].

در ادامه به بررسی انواع مواد بسته‌بندی، مزایا و معایب آن، مهاجرت شیمیایی، بازیافت و اثرات این مواد بر محیط زیست و سلامت مصرف‌کنندگان پرداخته خواهدشد.

1. پلاستیک

پلاستیک، دسته‌ای از مواد مصنوعی یا نیمه‌مصنوعی که معمولاً از مواد پتروشیمی یا موادی مانند سلولز یا نشاسته، طی فرآیند بسپارش (پلیمریزاسیون) به‌دست می‌آید. پلاستیک از کلمه یونانی (plastikos) به معنی شکل‌پذیربودن نشأت گرفته‌است. زیرا پلیمرها را می‌توان با استفاده از تکنیک‌هایی مانند قالب‌گیری تزریقی، اکستروژن و یا قالب‌گیری بادی به اشکال مختلف قالب‌گیری کرد. برخی از پلاستیک‌ها به عنوان رزین نیز شناخته می‌شوند. بسیار متنوع و رایج‌ترین مواد مورد استفاده برای بسته‌بندی مواد غذایی هستند. نمونه‌هایی از بسته‌بندی مواد غذایی پلاستیکی شامل بطری‌ها، سلفون‌ها، سینی‌ها، کیسه‌ها، ظرف‌ها، لیوان‌ها، کاسه‌ها و بسیاری موارد دیگر است. پلاستیک‌ها از نظر ساختار مولکولی به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: ترموپلاستیک‌ها، ترموست‌ها و الاستومرها. ترموپلاستیک‌ها را می‌توان قالب‌گیری، ذوب و دوباره قالب‌گیری کرد، در حالیکه ترموست‌ها را نمی‌توان با حرارت دادن، مجدداً پردازش کرد. الاستومرها خاصیت کشسانی دارند و پس از برداشتن نیرویی که باعث تغییر شکل آن‌ها می‌شود، به حالت اولیه بازمی‌گردند. رایج‌ترین پلاستیک‌ها شامل: پلی اتیلن ترفتالات(PET) ، پلی پروپیلن(PP) ، پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE) و کم(LDPE) ، پلی استایرن (PS) و پلی وینیل کلراید (PVC) می‌باشد [15].

1-1. مزایا: ارزان قیمت. مناسب محصولات غذایی خشک و مرطوب. مقاوم در برابر عواملی مانند رطوبت. امکان برچسب‌گذاری و چاپ‌پذیری بالا. پلاستیک‌های سیال و قابل قالب‌گیری را می‌توان به ورق‌ها، شکل‌ها و ساختارهایی

تبدیل کرد که انعطاف‌پذیری قابل توجهی در طراحی ارائه می‌دهد. بسیاری از پلاستیک‌ها قابل آب‌بندی حرارتی هستند [16].

1-2. معایب: برای محیط زیست مضر است، بیشتر بسته‌بندی‌های پلاستیکی با مواد غذایی داغ واکنش مضر نشان می‌دهند، به راحتی قابل بازیافت نیستند. عیب عمده پلاستیک‌ها نفوذپذیری متغیر آن‌ها در برابر نور، گازها، بخارات و مولکول‌های با وزن مولکولی کم است [16].

1-3. ایمنی شیمیایی: نگرانی‌های بهداشتی همیشه در مورد مونومر و اجزای باقی‌مانده در پلاستیک‌ها، از جمله تثبیت‌کننده‌ها، نرم‌کننده‌ها، و اجزای تراکم‌دهنده مانند بیس‌فنول A وجود داشته‌است. برای اطمینان از ایمنی عمومی، سازمان بهداشت هر کشور، به دقت مواد مورد استفاده برای ساخت پلاستیک و سایر مواد بسته‌بندی را بررسی و تنظیم می‌کند. پلاستیک‌ها می‌توانند مواد شیمیایی تشکیل‌دهنده‌شان را به مواد غذایی یا نوشیدنی‌های بسته‌بندی شده منتقل کنند، این فرآیند مهاجرت شیمیایی نامیده می‌شود. مهاجرت مواد شیمیایی به عواملی مانند نوع غذا، دما و زمان نگهداری بستگی دارد. هرچه دما بالاتر، مدت مواجهه بیشتر و غذا حالت مایع یا خاصیت اسیدی داشته باشد، انتقال مواد شیمیایی به درون محصول بیشتر خواهد بود. علی‌رغم این نگرانی‌های ایمنی، استفاده از پلاستیک در بسته‌بندی مواد غذایی به دلیل هزینه کم مواد و مزایای عملکردی (مانند قابلیت حرارت‌پذیری، قابلیت مایکروویو، ویژگی‌های نوری و اندازه‌ها و شکل‌های نامحدود) نسبت به مواد سنتی مانند شیشه و فلزات رو به افزایش است [17]. بسته‌بندی پلاستیکی همچنین می‌تواند ذرات میکروپلاستیک را در طول تولید، استفاده و در پایان عمر(معدوم‌سازی) آزاد کند. بنابراین، منبعی برای قرار گرفتن انسان و محیط زیست با میکروپلاستیک‌ها است که می‌تواند عواقب جبران‌ناپذیر و خطرناکی را به همراه داشته‌باشد.

1-4. جمع‌آوری: گزینه‌های پایان عمر بسته‌بندی پلاستیکی شامل دفن زباله، سوزاندن و بازیافت است. با این حال، دفع نادرست بسته‌بندی پلاستیکی و رها شدن آن در محیط، منجر به آلودگی شدید زیستی می‌شود [18].

1-5. بازیافت: بازیافت پلاستیک پردازش زباله‌های پلاستیکی به محصولات دیگر است. بازیافت پلاستیک، با هدف تولید گرانول از مواد بازیافتی و ایجاد ارزش افزوده، با تولید محصولات پلاستیکی مختلف انجام می‌شود. معمولاً، اکثر پلاستیک‌ها قابلیت بازیافت دارند، به جز تعداد کمی از پلاستیک‌ها که با عنوان ترموست شناخته می‌شوند [19]. بازیافت معمولاً توسط فرآیندهای مکانیکی و تا حد بسیار کمتری توسط فرآیندهای شیمیایی انجام می‌شود. بازیافت مکانیکی پلاستیک شامل مراحل تمیز کردن، آسیاب کردن، ذوب مجدد و دانه‌بندی مجدد است. فرآیندهای بازیافت شیمیایی، پلاستیک‌ها را به مونومرهایی تبدیل می‌کند که متعاقباً برای پلیمریزاسیون مجدد مواد بکر استفاده می‌شوند [20].

1-6. اثر زیست محیطی: بیشتر پلاستیک‌هایی که امروزه استفاده می‌شوند، پلاستیک‌های بکر هستند که از منابع تجدیدناپذیر ساخته می‌شوند. این پلاستیک‌ها دارای ردپای کربن قابل‌توجهی هستند که 3.4 درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) جهانی را در طول چرخه حیات خود به‌ویژه به دلیل فرآیند تولید منابع فشرده تشکیل می‌دهند. پلاستیک‌های زیستی (بیوپلاستیک) بخش کوچکی از بازار پلاستیک را تشکیل می‌دهند. برای پلاستیک های زیستی، یکی از نگرانی‌های اصلی، رقابت کاربری زمین برای تولید مواد اولیه برای تولید پلاستیک‌های زیستی است. مواد اولیه زیستی را می‌توان از طیف گسترده‌ای از مواد تجدیدپذیر مانند گیاهان و غده‌های غنی از

کربوهیدرات، گیاهان غیر خوراکی و ضایعات آلی تهیه کرد. در برخی از مطالعات دیگر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را هنگام جایگزینی پلاستیک‌های مبتنی بر فسیل با پلاستیک‌های ساخته شده از مواد اولیه تجدیدپذیر نشان می‌دهد [21].

1-7. اثر بر سلامت: در مطالعات متعدد، فتالات‌ها که به عنوان نرم‌کننده در فیلم‌های بسته‌بندی پلیمری استفاده می‌شدند و دارای وزن مولکولی کم می‌باشند را به عنوان مهاجران بالقوه‌ای گزارش کرده‌اند که می‌توانند از بسته‌بندی به غذا منتقل شوند [22]. باقیمانده اتیلن اکساید که ناشی از مهاجرت شیمیایی مواد تثبیت کننده حرارتی مواد پلاستیکی به غذا است، بسیار سمی می‌باشد [23]. حلال‌های مختلفی که در تهیه محلول‌ها یا در جوهرهای چاپ در بسته‌بندی استفاده می شوند، عمدتاً ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم مانند اترها، استرها، الکل‌ها و کتون‌ها هستند. این حلال‌ها اغلب از بسته‌بندی‌های پلاستیکی چاپ شده تبخیر می‌شوند. اما ممکن است با تقطیر، نفوذ یا تماس مستقیم نیز پراکنده شوند [24]. با این حال، مقداری باقی‌مانده از حلال پایه ممکن است در مواد بسته‌بندی محبوس بماند و بعداً در تماس مستقیم به غذا منتقل شود. مقدار حلال انتقالی به غذا از مواد بسته‌بندی به شدت به غلظت و توزیع حلال بستگی دارد. بنابراین، مهاجرت بالقوه حلال باقیمانده ممکن است خطر تغییر خواص ارگانولپتیک مواد غذایی را ایجاد کند [25]. استایرن یکی از مونومرهایی است که به طور گسترده برای تولید پلیمرهای پلاستیک استفاده می‌شود. لیبمن [26] گزارش داد که تجزیه یک مونومر استایرن در اثر اکسیداسیون، به عنوان یک عامل جهش‌زای شدید شناخته می‌شود و اگر در بدن متابولیزه شود، می‌تواند اسید هیپوریک تولید کند که از بدن از طریق ادرار دفع و قابل شناسایی است. قرار گرفتن در معرض استایرن می‌تواند منجر به سمیت اندام‌ها و تحریک پوست، چشم‌ها، ریه و سرکوب همزمان فعالیت سیستم عصبی مرکزی شود [27]. ایزوسیانات‌ها معمولاً برای تولید پلی‌اورتان‌ها (نوعی پلاستیک) و در برخی از چسب‌های تهیه‌ی بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند. همچنین آمین‌های آروماتیک، به ویژه آمین‌های اولیه، زیرمجموعه‌ای از این دسته از ترکیبات هستند [28]. مهاجرت این مواد، به مواد غذایی گزارش شده‌است. اثرات سمی ایزوسیانات‌ها بر سلامت انسان به طور گسترده در مطالعات دیگر مورد بررسی قرار گرفته‌است [29]. وینیل کلرید در شرایط دما و فشار معمولی، یک گاز بی رنگ است. تحت فشار بالا به مایع تبدیل می‌شود و در تهیه مواد بسته‌بندی مبتنی بر پلی وینیل کلراید استفاده می‌شود [25]. وینیل کلرید می‌تواند از بطری‌ها و بسته‌بندی مواد غذایی خارج شود و ممکن است خواص ارگانولپتیک مواد غذایی را تغییر دهد. همچنین ممکن است به دلیل سمیت بسیار بالا منجر به مسمومیت شود [30].

2. کاغذ و مقوا

کاغذ و مقوا از الیاف سلولزی تشکیل شده‌اند که ساختار ماده را تشکیل می‌دهند. در طول تولید و برای سفارشی کردن خصوصیات فنی کاغذ و مقوا، از افزودنی‌های مختلفی مانند پرکننده‌ها، پوشش‌ها، بیوسیدها و بایندرهای مصنوعی استفاده می‌شود. کاغذ و مقوا معمولاً چاپ، رنگ، چسب یا برچسب می‌شوند.

عمدتاً برای بسته‌بندی مواد غذایی خشک و به عنوان بسته‌بندی ثانویه استفاده می‌شوند. علاوه بر این، پوشش یا واکس کردن کاغذ و مقوا کاربرد خود را در بسته‌بندی و سرو انواع مواد غذایی مرطوب و چرب گسترش می‌دهد. کاغذ و مقوا معمولاً در جعبه‌ها، کارتن‌ها، کارتن‌های تاشو، کیسه‌ها و گونی‌ها و کاغذهای بسته‌بندی استفاده می‌شود. دستمال کاغذی، بشقاب و

لیوان کاغذی ، نمونه‌های دیگری از محصولات کاغذی و مقوا هستند. کاغذ ساده برای محافظت از غذاها برای مدت زمان طولانی استفاده نمی‌شود زیرا خاصیت بازدارندگی ضعیفی دارد و قابل آب‌بندی حرارتی نیست. هنگامی که کاغذ به عنوان بسته‌بندی اولیه (یعنی در تماس با غذا) استفاده می‌شود، تقریباً همیشه با موادی مانند موم، رزین یا لاک آغشته می‌شود تا خواص عملکردی و محافظتی را بهبود بخشد [16].

2-1. مزایا: ارزان قیمت. وزن سبک. استحکام بالای مقوا. چاپ آسان روی کاغذ و مقوا. قابلیت بازیافت.

2-2. معایب: اغلب محدود به بسته‌بندی مواد غذایی خشک، بسته‌بندی کاغذ ضعیف است و به راحتی پاره می‌شود [31].

2-3. ایمنی شیمیایی: کاغذ و مقوا خاصیت بازدارندگی بسیار کمی دارند، زیرا مواد بسیار متخلخل هستند. بنابراین مهاجرت مواد شیمیایی موجود در مواد فله، و همچنین جوهرهای چاپ و چسب، رایج است. کاغذ و تخته‌ای که به طور شیمیایی ضدآب و مقاوم در برابر چربی است، به طور فزاینده‌ای به عنوان جایگزینی برای بسته‌بندی‌های پلاستیکی استفاده می‌شود.به عنوان مثال، مواد پرفلوئوروآلکیل (PFAS) به طور مرتب در چنین بسته‌بندی‌هایی استفاده می‌شوند که بسیار پایدار است و از آن‌ها به عنوان "مواد شیمیایی برای همیشه" یاد می‌شود زیرا در محیط و بدن بسیار ماندگار هستند. قرار گرفتن در معرض آن می‌تواند منجر به اثرات نامطلوب بر سلامت انسان شود. از این رو، گسترش عملکرد و افزایش استحکام و مقاوم سازی بسته‌بندی کاغذ و مقوا می‌تواند به ضرر ایمنی تمام شود [31]. مواد شیمیایی با منشاهای مختلف به طور کلی در کاغذهای باطله وجود دارد و در نهایت می‌تواند به محصول بازیافتی منتقل شود. به عنوان مثال؛ پرکننده‌ها، مواد کمکی نگهدارنده، پوشش‌ها، بیوسیدها، و چسب‌های مصنوعی. علاوه بر این، کاغذ، معمولاً چاپ، رنگ، چسب یا برچسب گذاری می‌شود که منجر به وجود جوهرهای چاپ، چسب ها، آغازگرهای نوری، حلال‌ها، نرم کننده‌ها، سورفکتانت‌ها و رنگدانه‌ها در کاغذ باطله می‌شود. همچنین ممکن است در هنگام استفاده یا مدیریت ضایعات، آلاینده وارد آن شود، زیرا کاغذ و مقوا مستعد جذب مواد شیمیایی هستند. بنابراین، کاغذ و مقوای بازیافتی معمولاً در بسته‌بندی ثانویه مواد غذایی استفاده می‌شوند. چندین گروه از مواد شیمیایی با خواص خطرناک به طور مرتب در بسته‌بندی مواد غذایی ساخته شده از کاغذ و مقوای بازیافتی و در غذاهای بسته‌بندی شده یافت می‌شود که شامل: 1.هیدروکربن‌های روغن معدنی که از جوهرهای چاپ، چسب‌ها و موم‌ها در جریان بازیافت منشأ می‌گیرند. 2.بیس‌فنول‌هایی که در رسیدهای کاغذ حرارتی وارد جریان بازیافت می‌شوند. 3.فتالات‌ها که در دهه‌های اخیر به طور گسترده در بسیاری از مواد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مهاجرت مواد شیمیایی از بسته‌بندی‌های کاغذی و مقوای مواد غذایی را می‌توان به روش‌های مختلف کاهش داد از جمله: استفاده از الیاف بکر، استفاده از کیسه‌های داخلی و لایه‌های مانع روی سطح داخلی بسته‌بندی، افزودن کربن که می‌تواند مهاجرت شیمیایی را کاهش دهد. به نوبه خود، این اقدامات اثرات زیست محیطی را افزایش داده و قابلیت بازیافت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این معضل تنها با اجتناب از مواد شیمیایی خطرناک در تمام مراحل تولید قابل حل است [15].

2-4. جمع‌آوری: در بسیاری از کشورها، کاغذ و مقوا به طور جداگانه جمع‌آوری و بازیافت می‌شوند. گزینه‌های جایگزین پایان عمر شامل سوزاندن و دفن زباله است. در تئوری، بسته‌بندی کاغذ و مقوا قابل کمپوست است، اما مواد شیمیایی پایدار مانند (PFAS) ممکن است از طریق این عمل در محیط پراکنده شوند.

2-5. بازیافت: برای بازیافت موفقیت‌آمیز، سیستم‌های جمع‌آوری جداگانه برای کاغذ و مقوا ایجاد شده‌اند. پس از جداسازی کاغذ و مقوای بازیافت شده به درجات فنی تعریف شده، آن‌ها را با آب مخلوط می‌کنند تا خمیر حاصل شود. در مرحله بعد، قطعات غیر الیافی مانند منگنه، منسوجات و نوار حذف می‌شوند. پس از آن، خمیر آسیاب می شود، آب در فیلترهای درام یا استخراج کننده‌های پیچی حذف می‌شود و الیاف با عملیات شیمیایی، حرارتی و مکانیکی تمییز می‌شوند. در صورت تمایل، سفید کننده و جوهر زدایی ممکن است برای بهبود ظاهر محصول نهایی اعمال شود. سپس الیاف درهم‌تنیده با الیاف تازه مخلوط می‌شوند تا کیفیت را حفظ کنند و روی دستگاه کاغذ (تخته) پردازش می‌شوند که ماده نهایی را تولید می‌کند [32].

2-6. اثر زیست محیطی: اگرچه کاغذ به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می گیرد و برای جایگزینی پلاستیک پیشنهاد می‌شود، اما با در نظر گرفتن کل چرخه تولید، از مقادیر قابل توجهی آب استفاده می‌شود، از رشد درختان گرفته تا استفاده فشرده از منابع در سطح تولید، با در نظر گرفتن استفاده از مواد بکر، و انرژی بیشتر برای بازیافت نسبت به پلاستیک‌ها، در صورتی که فرض شود در نهایت بازیافت می‌شود و در محل دفن زباله پرتاب نمی‌شود، این نوع بسته‌بندی حدود 3 برابر بیشتر انرژی برای تولید می‌برد. با این حال، در مقایسه با پلاستیک‌های سنتی، مزایای بیشتری در زمینه استخراج مواد خام، زیست تخریب‌پذیری و هزینه دارد. همچنین استفاده از مواد مبتنی بر کاغذ بازیافتی در تولید، این فرآیند را نسبت به استفاده از مواد خام، کارآمدتر می‌کند [33].

2-7. اثر بر سلامت: دیوکسین‌ها که در بسته‌بندی‌های کاغذی برای کاربردهای غذایی استفاده می‌شوند، به عنوان ترکیبات آلی بسیار سمی و جهش‌زا گزارش شده‌اند. ایزومری به نام "تتراکلرو دی بنزو پارادیوکسین" سمی ترین نوع است [34]. بنزوفنون‌های مورد استفاده در جوهرها اگر در طول فرآیند تولید به طور کامل حذف نشوند، یا قبل از تشکیل کارتن‌ها یا جعبه‌های مقوایی، در حین انباشته شدن به قسمت‌های داخلی اجزای مقوا مهاجرت کند و همچنین، استفاده از الیاف بازیافت شده از مقوا ممکن است احتمال حضور و مهاجرت بنزوفنون‌ها را افزایش دهد که طبق گزارش‌ها این ماده سرطان‌زا و جهش‌زا است [35]. نیتروزامین‌ها که معمولاً در غذاها و نوشیدنی‌ها یافت می‌شوند [25]، می‌توانند از مقوا و کاغذ موم شده به محصولات وارد شوند. این آمین‌ها سرطان‌زا و ژنوتوکسیک بالقوه در نظر گرفته می‌شوند [36]. کلروفنل‌ها و کلروآنیزول‌ها، ارگانوکلرین‌هایی هستند که به صورت صنعتی برای تولید بیوسیدها، قارچ‌کش‌ها و واسطه‌های علف‌کش استفاده می‌شوند [37]. این ترکیبات معمولاً از مواد بسته‌بندی کاغذی به راحتی به مواد غذایی منتقل می‌شوند. آلودگی غذاها به این مواد شیمیایی آلی منجر به تولید طعم‌های بد و از دست رفتن طعم و کیفیت محصول می‌شود و همچنین در سطوح بالا با سرطان‌های دوران کودکی، اختلال بیش فعالی کمبود توجه (ADHD)و اوتیسم در ارتباط است [38].

3. فلزات

بسته‌بندی فلزی شامل دو نوع آلومینیومی و فولادی است. قوطی‌ها، لوله‌ها، سایر ظروف، درپوش‌ها و لایه‌های مانع جزو بسته‌بندی فلزی است. قوطی‌های ساخته‌شده از آلومینیوم و فولاد پرمصرف‌ترین انواع بسته‌بندی نوشیدنی و مواد غذایی بر پایه فلز هستند. فلز خاصیت بازدارندگی خوبی در برابر گازها، نور و بو دارد و در برابر دماهای بالا مقاومت می‌کند. ترکیب بسته‌بندی فلزی مواد غذایی و نوشیدنی ساخته شده از آلومینیوم از آلیاژهای بیش از 90 درصد آلومینیوم با سایر فلزات مانند مس، روی و منگنز تشکیل شده‌است. قوطی‌های فولادی از فولاد قلع‌دار تولید می‌شوند که به آن ورق قلع یا فولاد با روکش کروم الکترولیتی نیز می‌گویند. صرف نظر از منبع و نوع فلز، قوطی‌ها معمولاً با یک پوشش ارگانیک پوشیده می‌شوند تا از واکنش‌های بین فلز و غذا جلوگیری شود، زیرا این امر می‌تواند منجر به خوردگی و آسیب بعدی بسته‌بندی یا بد مزه شدن غذا شود. این پوشش‌ها مهاجرت یون‌های فلزی را کاهش می دهند، اگرچه خود پوشش‌ها منبع شناخته‌شده‌ای از مواد شیمیایی هستند که به مواد غذایی مهاجرت می‌کنند.

3-1. مزایا: سفت و سخت. محافظت در هنگام حمل و نقل. مقاوم به آفات. مقاوم در برابر رطوبت. مناسب برای مواد غذایی مرطوب یا خشک. یکی از قابل بازیافت‌ترین مواد. برخلاف بسیاری از فلزات، آلومینیوم در برابر اکثر اشکال خوردگی بسیار مقاوم است. پوشش طبیعی اکسید آلومینیوم مانع بسیار موثری در برابر اثرات هوا، دما، رطوبت و حملات شیمیایی می‌باشد. آلومینیوم علاوه بر ایجاد مانع عالی در برابر رطوبت، هوا، بوها، نور و میکروارگانیسم ها، دارای انعطاف‌پذیری سطحی خوب، چکش‌خواری و شکل‌پذیری عالی است. همچنین یک ماده ایده‌آل برای بازیافت است زیرا بازیابی و پردازش آن به محصولات جدید آسان است [16].

3-2. معایب: روش بسته‌بندی گران قیمت. مستعد خوردگیری، زنگ‌زدگی و اکسیداسیون در صورت نبود لایه‌های محافظ. مواد بسته‌بندی غیر قابل انعطاف است. به برخی مواد غذایی (غذاهای اسیدی) واکنش نشان می‌دهد. معایب اصلی آلومینیوم، قیمت بالای آن در مقایسه با سایر فلزات (مثلاً فولاد) و عدم قابلیت جوشکاری است که آن را فقط برای ساخت ظروف بدون درز مفید می‌کند [16].

3-3. ایمنی شیمیایی: تماس مستقیم بین فلز و غذا می‌تواند یکپارچگی بسته‌بندی را از بین ببرد و خواص مواد غذایی را تغییر دهد. بنابراین، بسته‌بندی فلزی اغلب با یک پلیمر آلی پوشانده می‌شود که از این فعل و انفعالات ناخواسته جلوگیری می‌کند. هنگامی که فلز در تماس مستقیم با غذا قرار می‌گیرد، یون‌های فلزی می‌توانند از بسته‌بندی به غذا مهاجرت کنند. محتوای نمک بالا و اسیدیته غذا این انتقال را تسریع می‌کند. پوشش‌های ارگانیک، کنش متقابل بین فلز و غذا را کاهش می‌دهد. اما با این حال، بسیاری از مواد شیمیایی موجود در این پوشش‌ها به مواد غذایی مهاجرت می‌کنند. به‌عنوان مثال الیگومرها، روان‌کننده‌ها و کراس‌لینکرها. به خصوص بیس‌فنول A و مواد متعدد مرتبط با پوشش‌های اپوکسی، به طور مرتب در غذاهای کنسرو شده و نوشیدنی‌ها در دهه‌های گذشته شناسایی شده‌اند. مهاجرت آلومینیوم از قوطی‌ها به نوشیدنی‌ها، با وجود پوشش محافظ، گزارش شده‌است که با گذشت زمان و در قوطی‌های بازیافتی، این مهاجرت شیمیایی افزایش پیدا کرده‌بود [39]. در میوه‌ها و آبمیوه‌های رنگی و اسیدی، قوطی‌های قلع‌دار پوشش‌های ارگانیک را دارا نیستند، زیرا قلع راحت‌تر از غذا اکسید می‌شود، بنابراین عمر ماندگاری محصول کاهش پیدا می‌کند تا مهاجرت یون قلع را محدود کند [18].

3-4. جمع‌آوری: بسته به کاربرد، گزینه‌های پایان عمر برای بسته‌بندی‌های فلزی مواد غذایی متفاوت است. اگر بسته‌بندی عمدتاً از فلز تشکیل شده‌باشد، می‌توان آن را جدا کرد و به طور مکرر بازیافت کرد. برای اقلام

بسته‌بندی که حاوی لایه‌های فلزی نازک هستند (مانند کارتن‌های نوشیدنی)، بازیابی این لایه‌های فلزی از نظر اقتصادی امکان‌پذیر نیست و گاهی حتی از نظر فنی غیرممکن است. بسته‌بندی‌های فلزی، که به محل دفن زباله ختم می‌شود یا در محیط زیست تجزیه نمی شود مانند آلومینیوم که در برابر هوا و خوردگی نیز مقاوم است. تخریب ورق قلع به دلیل خوردگی کمی سریعتر است. درکل فلزات یک ماده خام باارزش هستند که برای هزاران سال ذوب شده و مورد استفاده مجدد قرار گرفته‌اند [16].

3-5. بازیافت: امروزه بازیافت بسته‌بندی مواد غذایی آلومینیومی و فولادی نقش عمده‌ای در حفظ این مواد دارد. قبل از بازیافت، قوطی آلومینیومی خرد می‌شود و لاک‌ها و پوشش‌ها با حرارت دادن پاک می‌شود. سپس این مواد در کوره‌ای در دمای 750 درجه سانتیگراد ذوب می‌شوند و به شکل شمش‌هایی در قالب ریخته می‌شوند که بعداً به صورت ورقه برای تولید قطعاتی که قوطی‌های آلومینیومی جدید را تشکیل می‌دهند، ریخته می‌شوند. در حالت ایده‌آل، ترکیب آلیاژ آلومینیوم در طول بازیافت کنترل و تنظیم می‌شود تا از تجمع فلزات ناخواسته جلوگیری شود. قوطی‌های فولادی به دلیل خاصیت مغناطیسی به راحتی از سایر زباله‌ها جدا می‌شوند. سپس آن‌ها را از چربی و مواد غیر فلزی (مثلاً برچسب‌های کاغذی) تمیز می‌کنند و تحت یک فرآیند جداسازی لایه داخلی قلع قرار می‌گیرند. آهن مذاب بکر در کوره تا دمای 2000 درجه سانتیگراد به فولاد جدا شده اضافه می‌شود. ناخالصی‌ها با دمیدن اکسیژن با خلوص بالا در فلز حذف می‌شوند. فولاد بازیافتی سپس در قالب‌های جامد ریخته می‌شود، به صورت کلاف درآورده می‌شود و آماده استفاده برای قوطی‌های فولادی جدید می‌شود. فلزات را می توان به طور نامحدود دوباره ذوب کرد و با عناصر دیگر مخلوط کرد تا آلیاژهای جدید برای کاربردهای مختلف به دست آید [18].

3-6. اثر زیست محیطی: بازیافت بسته‌بندی فلزی مواد غذایی به دلیل دمای ذوب بالا به انرژی زیادی نیاز دارد. که معمولا این انرژی از طریق سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود که خود ابعاد خطرناک گسترده‌تری برای محیط زیست پدید می‌آورد. اما در مقایسه با تولید مواد بکر، فرآیند بازیافت باعث صرفه‌جویی در انرژی و مواد خام می‌شود [40]. بسته‌بندی‌های فلزی مانند قوطی‌های فولادی نمی‌توانند کمپوست شوند، اما قابل بازیافت هستند و می‌توانند چندین بار بازیافت شوند. این ماده که برای جداسازی در پایان عمر محصول بسته‌بندی طراحی شده است، می‌تواند به کاهش استفاده از منابع و استخراج مواد خام کمک کند. با این حال، نرخ بازیافت فعلی بسته‌بندی آلومینیوم و فولاد کم است، که به این معنی است که استخراج مواد خام هنوز ضروری است. استخراج مواد خام برای تولید آلومینیوم عواقبی برای کاربری زمین (معدن‌ها) دارد و بر سلامت انسان و محیط زیست تأثیر منفی می گذارد. سمومی که در فرآیند تولید و بهره‌برداری از معادن ساطع می‌شوند و از طریق هوا، آب و خاک به محیط زیست وارد می‌شوند و با آلودگی در خاک‌های کشاورزی و شیلات و به تبع آن بر سلامت انسان مرتبط هستند [41].

3-7. اثر بر سلامت: فلزات کمیاب، یکی از منابع بالقوه‌ای که می‌تواند محصولات غذایی را آلوده کند، ممکن است از خاک، مواد شیمیایی کشاورزی، آب مورد استفاده در فرآوری مواد غذایی، تجهیزات، ظروف پردازش مواد غذایی و از بسته‌بندی وارد زنجیره‌های غذایی شود. خطرات مربوط به وجود فلزات کمیاب در مواد غذایی نگرانی‌های بهداشتی گسترده‌ای را ایجاد کرده‌است. علائم مزمن و حاد از جمله سرگیجه، حالت تهوع، اسهال،

استفراغ، از دست دادن اشتها، اختلالات خواب و کاهش میزان لقاح در دراز مدت ممکن است نشان‌دهنده مسمومیت با فلزات سنگین باشد. فلزات کمیاب همچنین با بیماری‌های قلبی عروقی، رشد سرکوب شده، اختلالات عصبی و سیستم ایمنی، اختلال در باروری، افزایش سقط جنین خود به خود و نرخ مرگ و میر بالاتر در میان نوزادان مرتبط است [42]. سمیت سرب می‌تواند به سیستم عصبی مرکزی آسیب برساند و تأثیرات منفی بر اندام‌های مختلف بدن انسان بگذارد. به دلیل احتباس بیشتر سرب در مغز و استخوان، به ویژه نوزادان، مستعد مسمومیت با سرب هستند. حتی مصرف تحت حاد سرب می‌تواند منجر به عقب ماندگی ذهنی، تشنج و آنسفالوپاتی در کودکان شود [25]. مصرف زیاد و افزایش سطوح آلومینیوم در بافت‌ها با بسیاری از اختلالات (مانند انسفالوپاتی، استئودیستروفی و کم خونی میکروسیتیک) مرتبط است. به غیر از حداکثر دوز توصیه شده دریافت آلومینیوم از غذا و نوشیدنی، آلومینیوم همچنین از ظروف پخت و پز و از انبارداری یا بسته‌بندی نیز دریافت می‌شود. از آنجایی که نمی‌توان از آلومینیوم خالص برای تولید مواد بسته‌بندی استفاده کرد، به جای آن از آلیاژهای آلومینیوم با آهن، نقره، مس، منگنز و روی استفاده می‌شود. بنابراین، عناصری غیر از آلومینیوم می‌توانند در مواد غذایی در اثر خوردگی قوطی‌های مورد استفاده وجود داشته‌باشند که تجمع هر کدام در دراز مدت مشکلات سلامتی و بیماری‌های مزمن را ایجاد خواهد کرد [43]. کروم با سمیت نسبتاً بالا و خواص حسی نامطلوب مشخص می‌شود. همچنین در شکل شش ظرفیتی خود به دلیل دارا بودن خواص سرطان‌زایی و جهش‌زایی می‌تواند تأثیر شدیدی بر موجودات زنده داشته‌باشد [44].

4. بسته‌بندی چند موادی لایه‌ای (تتراپک)

در بیشتر موارد، این بسته‌بندی از مقوا، پلیمرهای پلاستیکی و یا آلومینیوم ساخته شده‌است. بارزترین نمونه آن، کارتن نوشیدنی‌ها است. ترکیب بسته‌بندی مواد غذایی چند ماده‌ای معمولاً از حدود 75٪ مقوا، 20٪ پلاستیک و حداکثر 5٪ از فویل آلومینیوم تشکیل شده‌است. مقوا پایداری و مقاومت را فراهم می‌کند، لایه‌های پلاستیکی (اغلب پلی اتیلن) برای جلوگیری از نشت و محافظت در برابر رطوبت خارجی اعمال می‌شود و آلومینیوم مانعی در برابر نور، اکسیژن و مهاجرت مواد شیمیایی است. مقوا با روکش فلزی و فیلم‌های چند لایه ساخته شده از آلومینیوم و پلاستیک نمونه‌های دیگری از بسته‌بندی مواد غذایی چند ماده‌ای هستند. چسب‌ها در تولید بسته‌بندی‌های چند ماده‌ای مواد غذایی همیشه مورد نیاز هستند و معمولاً از جوهرهای چاپی در قسمت بیرونی بسته‌بندی استفاده می‌شود.

4-1. مزایا: سبک وزن. پایدار. مقاوم در برابر عوامل محیطی. قابل انعطاف و شکل‌پذیر.

4-2. معایب: هزینه تولید و فروش بالا. نیاز به دستگاه و تکنولوژی پیشرفته

4-3. ایمنی شیمیایی: هنگام مهاجرت شیمیایی از بسته‌بندی‌های چند ماده‌ای مواد غذایی و نوشیدنی، تمرکز اصلی باید بر روی موادی باشد که در تماس مستقیم با غذا هستند. اگر لایه مانعی وجود نداشته باشد، مواد شیمیایی از لایه‌های بیرونی بسته‌بندی، چسب‌ها و جوهرهای چاپ می‌توانند مهاجرت کنند. علاوه بر این، مواد شیمیایی چاپ شده از بیرون به لایه داخلی چاپ نشده، در طول تولید منتقل می‌شود. در مورد مواد بازیافتی حاصل از بسته‌بندی مواد غذایی چند ماده‌ای، هیچگاه در لایه تماس مستقیم با غذا استفاده نشده‌اند. بنابراین، سطوح بالقوه بالا از مواد شیمیایی موجود در مواد بازیافتی نیازی به بررسی خاص در زمینه ایمنی بسته‌بندی مواد غذایی ندارد.

4-4. جمع‌آوری: بسته‌بندی مواد غذایی چند ماده‌ای معمولا در بسیاری از کشورها سوزانده یا به محل‌های دفن زباله فرستاده می‌شود. بسته‌بندی چند ماده‌ای می‌تواند وارد فرآیندهای بازیافت شود که در آن الیاف بازیافت می‌شوند.

4-5. بازیافت: فرآیندهای صنعتی برای بازیافت بسته‌بندی‌های چند لایه هنوز به طور گسترده دردسترس نیست. بسته‌بندی مواد غذایی چند ماده‌ای اغلب از لایه‌های نازکی از مواد تشکیل شده‌است که جداسازی آنها دشوار است. با این حال، جداسازی به جریان‌های تک ماده پیش‌نیاز بازیافت با کیفیت بالا است. از این رو، بازیافت بسته‌بندی مواد غذایی چند ماده‌ای چالش برانگیز است [45]. هر سه جزء یک کارتن نوشیدنی معمولی به تنهایی قابل بازیافت هستند، اما خطر آلودگی متقابل وجود دارد. بنابراین، مقوا باید از محتوای پلیمری و آلومینیومی جدا شود. در تأسیسات اختصاصی، کارتن‌های نوشیدنی جمع‌آوری و دسته‌بندی شده تحت هیدروپالپینگ قرار می‌گیرند، فرآیندی که شامل مخلوط کردن با آب و عملیات مکانیکی است. کارتن به یک سوپ الیافی تبدیل می‌شود که می‌تواند از لایه‌های پلاستیکی و آلومینیومی و همچنین آلاینده‌ها جدا شود. الیاف به دست آمده از این طریق را می‌توان با مواد بکر مخلوط کرد و برای ساخت محصولات کاغذی جدید از جمله بسته‌بندی مواد غذایی برای محصولات خشک که در تماس مستقیم با مواد غذایی نیستند و سایر محصولات کاغذی مانند جعبه‌ها، کارتن‌ها، حوله، دستمال کاغذی، لوازم التحریر و کیسه‌های کاغذی استفاده کرد. پس از جداسازی بیشتر، پلاستیک و آلومینیوم ممکن است به ترتیب برای بازیافت مورد استفاده قرار گیرند [46]. در روش دیگر، می‌توان به عنوان یک کامپوزیت برای تولید کاشی‌های سقف، پانل‌های ساختمانی یا مبلمان باغ از آن استفاده کرد [19].

5. شیشه

شیشه یکی از قدیمی‌ترین مواد بسته‌بندی است.باستان‌شناسان بطری‌های شیشه‌ای را در نزدیکی مقبره‌های تمدن مصر باستان پیدا کرده‌اند. شیشه همچنین یکی از بی اثرترین مواد در تماس با مواد غذایی است و می‌توان از آن برای بسته‌بندی هر چیزی اعم از خشک، مرطوب یا حتی اسیدی استفاده کرد. شیشه به‌طور گسترده برای ساخت ظروف و بطری‌های شیشه‌ای در بسته‌بندی های اولیه برای آب میوه‌ها، روغن‌ها، شربت‌ها و سایر مایعات استفاده می‌شود. شیشه از شبکه تصادفی دی‌اکسید سیلیکون و اکسیدهای فلزی تشکیل شده‌است. یک ماده معدنی دائمی است که معمولاً از دی اکسید سیلیکون به عنوان جزء اصلی ساختاری و همچنین از اکسیدهای فلزی قلیایی و قلیایی خاکی تشکیل می‌شود. در بسته‌بندی مدرن مواد غذایی از شیشه سودا-آهک استفاده می‌شود. این نوع شیشه از ماسه، خاکستر سودا، سنگ آهک و اکسیدهای فلزی تشکیل شده‌است. بطری‌ها و ظروف شیشه‌ای معمولاً نیاز به درب یا درب‌های ساخته‌شده از مواد دیگر مانند فلزات، پلاستیک‌ها و چوب پنبه دارند.

5-1. مزایا: از آنجایی که شیشه تقریباً با تمام محصولات غذایی بی‌بو و از نظر شیمیایی بی‌اثر است، چندین مزیت برای کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی دارد: در برابر گازها و بخارات نفوذناپذیر است، بنابراین طراوت محصول را برای مدت طولانی بدون آسیب به طعم و مزه حفظ می‌کند. توانایی مقاومت در برابر دمای فرآوری بالا، شیشه را برای استریل کردن حرارتی غذاهای کم اسید و پر اسید مفید می‌کند. شیشه سفت و سخت است. عایق خوبی دارد و می‌تواند در اشکال مختلف تولید شود. شفافیت شیشه به مصرف‌کنندگان اجازه می‌دهد تا محصول را ببینند، با این حال تغییرات در رنگ شیشه می‌تواند از محتویات حساس به نور محافظت کند. مواد

بسیار مقاوم در برابر خوردگی و ایمن برای مواد غذایی. از نظر زیبایی‌شناسی دلپذیر هستند. در نهایت، بسته‌بندی شیشه ای برای محیط زیست مفید است زیرا قابل استفاده مجدد و بازیافت است، و بهداشتی و ایمن‌ترین مواد بسته‌بندی برای سلامت انسان می‌باشد [16].

5-2. معایب: شیشه مانند هر ماده دیگری دارای معایبی است. علیرغم تلاش برای استفاده از شیشه نازک تر، وزن سنگین آن بر هزینه های حمل و نقل می افزاید. نگرانی دیگر، شکنندگی و حساسیت آن به شکستگی ناشی از فشار داخلی، ضربه یا شوک حرارتی است [16].

5-3. ایمنی شیمیایی: مواد تشکیل‌دهنده شیشه به شدت در مواد حفظ می‌شوند.شیشه به دلیل ساختار مولکولی خود دارای خاصیت بازدارندگی بسیار بالایی است. از این‌رو، حتی مواد شیمیایی کوچک (مانند اکسیژن) نمی‌توانند از شیشه عبور کنند و شیشه نیز نمی‌تواند مواد شیمیایی را از مواد غذایی موجود در آن جذب کند. شیشه به دلیل ساختار مولکولی خود، ماده‌ای بی‌اثر با خواص بازدارندگی بالا است. حتی مولکول‌های کوچک نیز نمی‌توانند از شیشه عبور کنند. مهاجرت از شیشه توسط فرآیندهای کنترل‌شده با انتشار از مواد توده شیشه‌ای مانع می‌شود. با این حال، مواد غذایی اسیدی می‌تواند منجر به تبادل یونی بین کاتیون‌های سطح داخلی شیشه و مواد غذایی شود و در نتیجه مهاجرت شیمیایی ایجاد شود [47]. شن‌های مورد استفاده برای تولید شیشه حاوی سرب است. اگر مقدارهای استاندارد آن در تولید رعایت نشود، ممکن است از طریق تبادل کاتیونی سطحی با مکانیسم انتشار به غذاها مهاجرت کند [48]. عناصر کمیاب اضافی و خطرناک دیگری که در شیشه وجود دارند کروم و کادمیوم هستند. هر دو عنصر به طور طبیعی در پوسته زمین وجود دارند و بنابراین حضور آنها در شیشه ظرف در سطوح کمی قابل انتظار است، با این حال، آنها همچنین می توانند عمداً به عنوان رنگ‌دهنده اضافه شوند [49]. اما به‌طور کلی انتقال مواد تشکیل‌دهنده شیشه به مواد غذایی به دلیل خواص ساختاری آن از اهمیت کمی برخوردار است. و اکثراً درب‌ها منبع مهاجرت شیمیایی هستند که به عوامل مختلفی مانند مواد و ترکیب مواد غذایی و همچنین شرایط پردازش و نگهداری بستگی دارد. اگرچه مساحت سطح درب این بسته‌ها نسبتاً کوچک است، اما برخی از مواد مهاجرت بالایی از خود نشان داده اند، به عنوان مثال نرم‌کننده‌ها.

5-4. جمع‌آوری: هنگامی که شیشه با دقت نگهداری و جمع‌آوری شود، بسیار بادوام و پایدار است. این ویژگی‌ها شیشه را برای استفاده مجدد بسیار مناسب می‌کند. شیشه به دلیل خواصی که دارد در محل‌های دفن زباله تجزیه نمی‌شود و حتی در هنگام سوزاندن نیز باقی می‌ماند. همچنین می‌تواند به طور مکرر بدون افت کیفیت بازیافت شود. در بسیاری از کشورهای جهان، بازیافت شیشه ظروف و بطری‌های نوشیدنی یک عمل رایج است.

5-5. بازیافت: بازیافت بسته‌بندی شیشه‌ای باعث صرفه‌جویی در مواد خام، به حداقل رساندن انرژی مورد نیاز برای تولید بسته‌بندی شیشه‌ای و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می شود. نرخ بازیافت تحت تأثیر سیستم‌های مدیریت پسماند موجود، و پذیرش و حمایت آن‌ها از سوی جمعیت است. معمولاً طرح‌های سپرده‌گذاری برای بطری‌های نوشیدنی شیشه‌ای در سراسر جهان وجود دارد. برای کارآمدترین بازیافت، شیشه ظرف باید به طور جداگانه بر اساس رنگ جمع آوری شود. سپس شیشه به قطعات شیشه‌ای خرد می‌شود که اصطلاحاً کولت

نامیده می‌شود و با جدا کردن فلزات، پلاستیک‌ها، کاغذ، سرامیک، سنگ‌ها و چینی‌ها مرتب می‌شود [50]. در مرحله بعد، تا 90 درصد از مواد خام بکر، متشکل از دی‌اکسید سیلیکون، خاکستر سودا (Na2CO3) و سنگ آهک(CaCO3) و همچنین مواد اضافی در مقادیر کمتر (به عنوان مثال، عوامل رنگ‌آمیز) مخلوط می‌شود. سپس این مخلوط در دمای 1350 تا 1400 درجه سانتیگراد ذوب می‌شود و به محصولات شیشه‌ای جدید تبدیل می‌شود. نکته مهم این است که انواع دیگر شیشه (به عنوان مثال شیشه کریستال، ظروف غذاخوری، آینه) می‌توانند روند بازیافت را مختل کنند و کیفیت شیشه بازیافتی را کاهش دهند. از این رو، این محصولات نباید وارد فرآیند بازیافت شوند، زیرا دارای ترکیب شیمیایی متفاوتی هستند که می‌تواند مانع از ذوب کارآمد شود یا با وارد کردن عناصر خطرناک بر کیفیت تأثیر بگذارد. به عنوان مثال می‌توان به لامپ‌های فلورسنت حاوی جیوه یا صفحه نمایش تلویزیون شیشه‌ای و شیشه کریستال اشاره کرد که می‌توانند منجر به افزایش محتوای سرب شوند [48-49]. علاوه بر این، شیشه‌های مقاوم در برابر حرارت مورد استفاده در ظروف شیشه‌ای آشپزخانه و آزمایشگاه معمولاً از شیشه بوروسیلیکات ساخته می‌شوند که بازیافت شیشه سودا-آهک را مختل می‌کند. مرتب سازی کولت یک روش معمول برای حذف سرب از بازیافت شیشه است. بدینوسیله، فلورسانس اشعه ایکس یا آنالیز فلورسانس UV برای شناسایی گلوله‌هایی با محتوای سرب افزایش یافته، استفاده می‌شود که امکان دسته‌بندی خودکار چنین قطعاتی را فراهم می‌کند [51]. یکی دیگر از روش‌های اصلاحی ممکن برای حذف سرب و سایر یون‌های فلزات سنگین از سطوح شیشه، استفاده از اسید سیتریک یا اسید استیک می‌باشد [52]. بازیافت شیشه یک فرآیند انرژی‌بر است، زیرا شیشه در دمای بالاتر از 1500 درجه سانتیگراد ذوب می شود. با این حال، در مقایسه با تولید شیشه بکر، این فرآیند تا 25 درصد در انرژی صرفه جویی می‌کند.

5-6. اثر زیست محیطی: شیشه کاملا قابل بازیافت است و می‌توان چندین بار از آن استفاده کرد. با این حال، شیشه‌های آلوده با مواد غذایی فرآیند بازیافت را پیچیده می‌کند. تخمین زده می‌شود که ظروف شیشه‌ای در طول چرخه زندگی خود تأثیر بیشتری نسبت به ظروف پلاستیکی بر محیط زیست دارند. زیرا تولید و ساخت شیشه، فلزات سنگین بیشتری را ساطع می‌کند و به تجهیزات پر انرژی نیاز دارد. و استفاده از شیشه به احتمال زیاد مصرف سوخت را در حین حمل و نقل نسبت به استفاده از مواد سبک وزن افزایش می‌دهد و از این رو ردپای کربن آن را افزایش می‌دهد. در تولید شیشه، مواد اولیه با سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند گاز طبیعی، روغن‌های سوخت سبک و سنگین، گاز و نفت مایع ذوب می‌شوند. گازهای گلخانه‌ای، اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای نیتروژن، انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از احتراق سوخت هستند. انتشارات ناشی از تبخیر و تبلور مجدد مواد اولیه شامل ذرات ریز است که می‌تواند حاوی فلزات سنگین مانند آرسنیک و سرب باشد [53-54].

5-7. اثر بر سلامت: شیشه در برابر آب یا محلول‌های مبتنی بر آب و مواد آلی مقاوم است. حلال‌های اسیدی تأثیر بسیار محدودی بر اجزای سیلیس دارند، اگرچه سایر اجزای شیشه می‌توانند توسط این حلال‌ها مورد حمله قرار گیرند، با این حال، تقریباً هیچ تاثیری بر خواص ارگانولپتیک غذاها گزارش نشده‌است. اگرچه میزان

بازیافت شیشه بسیار افزایش یافته است، اما میزان مهاجرت مواد شیمیایی در محفظه شیشه هنوز بسیار کم است. گزارش و آزمایشی اثر سوء و ضرر بر علیه سلامت انسان را نشان نمی‌دهد [55].

6. بسته‌بندی‌های نوین

آگاهی روزافزون از مشکلات زیست محیطی و افزایش استفاده از مواد بسته‌بندی مصنوعی همراه با تخریب آهسته در محل‌های دفن زباله، باعث توسعه و پیشرفت فناوری‌های تولید و بازیافت بسته‌بندی مواد غذایی شده‌است.

6-1. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر: اصطلاح زیست تخریب‌پذیر، توانایی یک ماده برای تجزیه و بازگشت به حالت طبیعی خود است. مواد مورد استفاده در بسته‌بندی باید در مدت کوتاهی پس از دفع، معمولاً یک سال یا کمتر، به طور کامل تخریب شده و به عناصر طبیعی تبدیل شوند. علاوه بر مواد اولیه تجدیدپذیر، مواد زیست تخریب‌پذیر تجزیه می‌شوند و محصولات سازگار با محیط زیست مانند دی‌اکسید کربن، آب و کمپوست با کیفیت تولید می‌کنند. زیست تخریب‌پذیری نه‌تنها یک نیاز کاربردی بلکه یک ویژگی مهم زیست محیطی است. مواد خام این نوع بسته‌بندی اساساً از مواد اولیه کشاورزی قابل تجدید یا ضایعات صنایع فرآوری مواد غذایی دریایی مشتق می‌شوند و بنابراین از حفظ منابع طبیعی با پشتوانه‌ای بر سازگاری با محیط زیست بهره می‌برند. این مواد در هنگام تجزیه زیستی و کمپوست کردن به‌عنوان کود و تهویه خاک عمل می‌کنند. بسته‌بندی زیستی اگرچه کمی گران است، اما نیاز آینده به سازگار و دوست‌دار سلامت و محیط زیست بودن را دارا می‌باشد [40-15]. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر هم به صورت طبیعی از مواد اولیه کشاورزی قابل تجدید مانند منابع حیوانی، ضایعات صنایع فرآوری مواد غذایی دریایی و منابع میکروبی به دست می‌آیند، هم به صورت مصنوعی از مواد اولیه پتروشیمی تولید می‌شوند که دارای گروه‌های پلیمری کاملاً محلول در آب هستند مانند پلی وینیل الکل (PVOH) [56]. بسته‌بندی سازگار با محیط زیست تحت فرآیندهای تولیدی ساخته می‌شود که به کاهش مصرف انرژی و کاهش اثرات منفی زیست محیطی کمک می‌کند. با استفاده از منابع کمتر، می‌توان بسته‌بندی را کم‌حجم و سخت‌تر کرد. همچنین می‌توان بسته‌بندی را بازیافت کرد تا هزینه خرید مواد کاملاً جدید، مصرف آب، زباله‌های جامد و الکتریسیته را در فرآیند بسته‌بندی کاهش داد و در عین حال زباله‌ها را از محل‌های دفن زباله منحرف کرد. مهمترین مزیت استفاده از بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر این است که برای محیط زیست مفید است. بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر بدون مواد سمی و مواد شیمیایی مانند فتالات‌ها یا نفت است و جایگزین مناسبی برای پلاستیک ها می‌باشند [57]. علیرغم مزایای خاص، استفاده از مواد زیست تخریب‌پذیر راه‌حلی برای تمام مشکلات مدیریت پسماند جامد نیست. تغییر از پلیمرهای مصنوعی به پلیمرهای زیستی تأثیر کمی بر کاهش منبع و سوزاندن خواهد داشت. پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر سود کمی در محل دفن زباله دارند، زیرا محل‌های دفن زباله عموماً اکسیژن و رطوبت مورد نیاز برای تجزیه زیستی را حذف می‌کنند. اگر پلیمرهای زیستی به طور گسترده مورد استفاده قرار گیرند، جای سوال است که آیا مواد گیاهی کافی برای تولید مقادیر کافی پلیمرهای بسته‌بندی وجود خواهد داشت و آیا بهینه سازی محصولات برای چنین پلیمرهایی با تولید مواد غذایی تداخل خواهد داشت یا خیر. در حال حاضر، پلاستیک‌های زیستی گران‌تر از بسیاری از پلیمرهای مبتنی بر نفت هستند، بنابراین جایگزینی، احتمالاً منجر به افزایش هزینه بسته‌بندی می‌شود [58]. از طرف دیگر، وجود ظروف زیست

تخریب‌پذیر ممکن است باعث شود که مردم نسبت به دورریزهای خود دقت کمتری داشته‌باشند، که این مسئله می‌تواند تلاش‌های بازیافت را مختل کند [16]. انواع پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر محصولات کشاورزی از سلولز، نشاسته، جلبک دریایی و سایر منابع گیاهی ساخته می‌شود [59]. سلفون رایج‌ترین بیوپلیمر مبتنی بر سلولز است. پلیمرهای مبتنی بر نشاسته که هنگام قرار گرفتن در معرض رطوبت متورم شده و تغییر شکل می‌دهند، شامل آمیلوز، نشاسته هیدروکسیل پروپیله شده و دکسترین هستند [60]. پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی به عنوان لایه‌های نازکی از مواد تعریف می‌شوند که می‌توانند توسط مصرف‌کننده به عنوان بخشی از کل محصول غذایی مصرف شوند. هنگامی که بسته‌بندی مانند یک فیلم، یک ورقه، یک لایه نازک یا یک پوشش جزء جدایی ناپذیر یک غذا باشد و با آن خورده شود، به عنوان فیلم‌های خوراکی یا همان بسته‌بندی خوراکی شناخته می‌شود. فیلم‌های خوراکی یک پلیمر زیستی هستند که برای نگهداری و محافظت از مواد غذایی در برابر فساد طراحی شده‌است و این پوشش‌ها مانند مواد غذایی موجود در آن توانایی تجزیه زیستی را دارند. به عنوان نمونه، از کیتوزانی که از کیتین، اسکلت بیرونی سخت پوستان و حشرات به دست می‌آید، می‌توان فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر تولید کرد. کیتین یک بیوپلیمر با ساختار شیمیایی مشابه سلولز است. فیلم‌های خوراکی دیگری نیز از منابع گیاهی و حیوانی مانند زین (پروتئین ذرت)، آب پنیر (پروتئین شیر)، کلاژن (مواد تشکیل دهنده پوست، تاندون و بافت همبند) و ژلاتین (محصول هیدرولیز جزئی کلاژن) به دست می‌آیند[58]. بسته‌بندی‌های کمپوست شونده مشابه بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر هستند، زیرا مواد مورد استفاده با خیال راحت به زمین بازمی‌گردند .تفاوت فاحش بین این دو این است که مواد قابل کمپوست، خاک یا آب را با مواد مغذی پر می کنند. آن‌ها همچنین به شرایط کمپوست خاصی نیاز دارند، در حالی که مواد زیست تخریب‌پذیر برای تجزیه در محل‌های دفن زباله ساخته می‌شوند [40].

6-2. بسته‌بندی فعال: تحولات در علم و مهندسی مواد منجر به یک تکنیک بسته‌بندی جدید شده‌است که معمولاً به عنوان بسته‌بندی فعال شناخته می‌شود و عمدتاً به نوع فناوری بسته‌بندی اشاره دارد که در آن عوامل فعال عمداً درون یا روی مواد بسته‌بندی اضافه می‌شوند تا از آلودگی میکروبی و شیمیایی و اکسیداسیون مواد غذایی جلوگیری کند و عملکرد سیستم بسته‌بندی را افزایش دهد. همچنین کیفیت و ایمنی مواد غذایی را تضمین کند، و یا ویژگی‌های حسی، خواص بصری و ارگانولپتیک محصول را بهبود بخشد، و با حفظ یکپارچگی و محافظت از مواد غذایی در برابر عوامل محیطی داخلی و خارجی، ماندگاری محصولات را افزایش دهد [61-62]. بسته به نوع افزودنی‌های موجود در مواد بسته‌بندی مواد غذایی، بسته‌بندی فعال را می‌توان به مواد شیمیایی فعال و مواد زیستی فعال طبقه بندی کرد که شامل مواد آنتی میکروبیال، اسانس‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها می‌باشد [63].

6-3. بسته‌بندی هوشمند: به عنوان علم و فناوری توصیف می‌شود که ابزارهای ارتباطی یک سیستم بسته‌بندی مواد غذایی را برای نظارت بر تغییرات شرایط محیطی داخلی و خارجی سیستم و همچنین مواد غذایی بسته‌بندی شده معرفی می‌کند تا وضعیت سیستم را به ذینفعان منتقل کند [62]. بسته‌بندی هوشمند و فعال دو مفهوم بسیار متفاوت هستند که با این واقعیت که راه جدیدی برای درک بسته‌بندی مواد غذایی آغاز شده است، متحد شده‌اند. تفاوت اصلی این است که بسته‌بندی هوشمند با هیچ اقدامی غیر از نظارت بر

وضعیت محصول بسته‌بندی شده مستقیماً روی مواد غذایی تأثیر نمی‌گذارد، در حالیکه بسته‌بندی فعال بر روی محیط اطراف غذا تأثیر می‌گذارد تا ماندگاری را افزایش دهد. بنابراین بسته‌بندی فعال جزئی است که اقدامی انجام می‌دهد، در حالیکه بسته‌بندی هوشمند جزئی است که اطلاعات را حس کرده و به اشتراک می‌گذارد. بسته‌بندی هوشمند و فعال تقریباً به‌طور اجتناب‌ناپذیر می‌توانند با هم‌افزایی برای ایجاد بسته‌بندی هوشمند به‌کار روند [64].

نتیجه‌گیری

هر نوع بسته‌بندی از منابع زیادی مانند انرژی، آب، مواد شیمیایی، نفت، مواد معدنی، چوب و الیاف برای تولید استفاده می‌کند. در روند تولید، اغلب انتشار گازهای گلخانه‌ای، فلزات و ذرات سنگین و همچنین فاضلاب یا لجن حاوی آلاینده‌های سمی اتفاق می‌افتد. پس در نظر گرفتن عملکرد بسته‌بندی و اینکه چگونه انواع مختلف مواد به دلیل خواص ذاتی آن‌ها برای محافظت از مواد غذایی و جلوگیری از هدر رفتن مواد غذایی انتخاب‌های بهتری هستند، که یک نگرانی اصلی زیست محیطی و سلامت است، حیاتی می‌باشد.

پلاستیک؛ به دلیل خواص چکش‌خواری، هزینه اقتصادی پایین، وزن کم، کیفیت مطلوب و مزایایی که برای ایمنی مواد غذایی و ماندگاری آن به دلیل خواص مانع بالایی که تازگی را حفظ می‌کند، به طور گسترده‌ای استفاده می شود. شیشه؛ محافظت محصول را فراهم می‌کند. غیر قابل نفوذ و غیر قابل شستشو است. با محصولات موجود در داخل واکنش نشان نمی‌دهد و طعم یا بافت آن‌ها را تغییر نمی‌دهد. فلزات؛ در برابر هوا و آب نفوذناپذیر هستند و عمر مفید طولانی‌تری دارند. محافظت طولانی‌تری در برابر آسیب‌های خارجی و حداقل تلفات در سراسر زنجیره تامین دارند. مقوا و خمیر کاغذ؛ مواد سبک وزنی هستند که بسیار زیست تخریب‌پذیر، انعطاف‌پذیر و مقرون به‌صرفه هستند و می‌توانند به عنوان بسته‌بندی اولیه یا ثانویه استفاده شوند.

از منظر ویژگی محصول، بی‌اثر بودن و خواص مانع مطلق شیشه، آن را به بهترین ماده انتخابی برای اکثر کاربردهای بسته‌بندی تبدیل می‌کند. با این حال، ضرر اقتصادی شکستگی و هزینه بالا حمل‌ونقل شیشه، استفاده از جایگزین‌هایی مانند پلاستیک را افزایش می‌دهد. در حالیکه پلاستیک‌ها طیف وسیعی از خواص را ارائه می‌دهند و در کاربردهای مختلف غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، نفوذپذیری آن‌ها بر خلاف فلز که در برابر نور، رطوبت و هوا کاملاً غیرقابل نفوذ است، کمتر بهینه است. گاهی اوقات می‌توان با اختلاط مواد بسته‌بندی، مانند ترکیب پلاستیک‌های مختلف و پلیمریزاسیون یا ترکیب متقاطع مواد گروه‌های مختلف بسته‌بندی‌های کارآمدتری تولید کرد. جایگزین‌های بسته‌بندی‌های امروزه، بسته‌بندی‌های پایدار سبز و زیست تخریب‌پذیر هستند که فناوری تولید و بازیافت و بهینه کردن و اقتصادی نمودن این روند، درحال بررسی و توسعه است. جایگزین‌های ایده‌آل باید الزامات صنعت را برآورده کنند، حداقل معایب را دارا باشند و با مقررات زیست محیطی مطابقت داشته‌باشند که محصولات را برای مصرف انسان ایمن می‌کند. به‌طورکلی هدف اولیه از بسته‌بندی مواد غذایی باید حفظ ایمنی، سالم بودن و کیفیت مواد غذایی باشد. تاثیر زباله‌های حاصله‌ی بسته‌بندی بر محیط زیست را می‌توان با انتخاب محتاطانه مواد برای هر محصول غذایی خاص، انتخاب دقیق مواد بسته‌بندی با در نظر گرفتن اجزای محصول نهایی و تمام فعل و انفعالات احتمالی آن‌ها و همچنین تأثیر ناشی از آن بر کیفیت و ایمنی مواد غذایی با پیروی از دستورالعمل های موجود و بررسی انتظارات بسته‌بندی از نظر اثرات زیست محیطی و اثر بر سلامت به حداقل رساند [15-16].

مراجع

1. Guillard V., Gaucel S., Fornaciari C., Angellier-Coussy H., Buche P., Gontard N. The next generation of sustainable food packaging to preserve our environment in a circular economy context. Front. Nutr. 2018;5:121. doi: 10.3389/fnut.2018.00121.

2. Halonen, N., Pálvölgyi, P. S., Bassani, A., Fiorentini, C., Nair, R., Spigno, G., & Kordas, K. (2020). Bio-based smart materials for food packaging and sensors–a review. Frontiers in materials, 7, 82.
3. Becerril, R., Nerín, C., & Silva, F. (2020). Encapsulation systems for antimicrobial food packaging components: An update. Molecules, 25(5), 1134.
4. Nešić, A., Cabrera-Barjas, G., Dimitrijević-Branković, S., Davidović, S., Radovanović, N., & Delattre, C. (2019). Prospect of Polysaccharide-Based Materials as Advanced Food Packaging. Molecules (Basel, Switzerland), 25(1), 135. https://doi.org/10.3390/molecules25010135.
5. Tharanathan, R.N.. (2003). Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. Trends in Food Science & Technology. 14. 71-78. 10.1016/S0924-2244(02)00280-7.
6. Sangroniz A., Zhu J.B., Tang X., Etxeberria A., Chen E.Y.X., Sardon H. Packaging materials with desired mechanical and barrier properties and full chemical recyclability. Nat. Commun. 2019;10:1–7. doi: 10.1038/s41467-019-11525-x.
7. Firouz, M. S., Mohi-Alden, K., & Omid, M. (2021). A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. Food Research International, 141, 110113.
8. Wang J., Gardner D.J., Stark N.M., Bousfield D.W., Tajvidi M., Cai Z. Moisture and oxygen barrier properties of cellulose nanomaterial-based films. acs sustain. Chem. Eng. 2018;6:49–70. doi: 10.1016/j.cej.2017.09.070.
9. Vilela, Carla & Kurek, Mia & Hayouka, Zvi & Röcker, Bettina & Yildirim, Selcuk & Antunes, Maria & Nilsen-Nygaard, Julie & Pettersen, Marit & Freire, Carmen. (2018). A concise guide to active agents for active food packaging. Trends in Food Science & Technology. 80. 10.1016/j.tifs.2018.08.006.
10. Lee D., Yam K., Piergiovanni L. CRC Press; Boca Raton: 2008. Food Packaging Science and Technology.
11. Arvanitoyannis I.S., Bosnea L. Migration of substances from food packaging materials to foods. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2004;44(2):63–76.
12. Mousavi S.M., Desobry S., Hardy J. Mathematical modeling of migration of volatile compounds into packaged food via package free space, Part II: Spherical shaped food. J. Food Eng. 1998;36:473–484.
13. Hotchkiss, J.H.,1997. Food□packaging interactions influencing quality and safety. Food. Addit. Contam. 14(6–7), 601–607.
14. Marsh, Kenneth and Bugusu, Betty. “Food Packaging and Its Environmental Impact.” IFT, April 1, 2007. Retrieved March 7, 2019.
15. Alamri, M. S., Qasem, A. A. A., Mohamed, A. A., Hussain, S., Ibraheem, M. A., Shamlan, G., Alqah, H. A., & Qasha, A. S. (2021). Food packaging's materials: A food safety perspective. Saudi journal of biological sciences, 28(8), 4490–4499. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.047.
16. Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging--roles, materials, and environmental issues. Journal of Food Science, 72(3), R39–R55. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x.

17. López-Rubio, Amparo & Almenar, Eva & Hernandez-Muñoz, Pilar & Lagaron, Jose Maria & Catala, Ramon & Gavara, Rafael. (2004). Overview of Active Polymer-Based Packaging Technologies for Food Applications. Food Reviews International. 20. 357-387. 10.1081/FRI-200033462.
18. Geueke, Birgit & Groh, Ksenia & Muncke, Jane. (2018). Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. Journal of Cleaner Production. 193. 10.1016/j.jclepro.2018.05.005.
19. Ignatyev, I. A., Thielemans, W., & Vander Beke, B. (2014). Recycling of polymers: a review. ChemSusChem, 7(6), 1579–1593. https://doi.org/10.1002/cssc.201300898.
20. Geyer, Björn & Lorenz, Guenter & Kandelbauer, Andreas. (2016). Recycling of poly (ethylene terephthalate)-A review focusing on chemical methods. eXPRESS Polymer Letters. 10. 559-586.
21. US Environmental Protection Agency. "Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures." EPA, November 2017. Retrieved March 7, 2019.
22. Pedersen G.A., Jensen L.K., Fankhauser A., Biedermann S., Petersen J.H., Fabech B. Migration of epoxidized soybean oil (ESBO) and phthalates from twist closures into food and enforcement of the overall migration limit. Food Addit. Contam. 2008;25(4):503–510.
23. Food Standards, 2012. Survey of chemical migration from food-contact packaging materials in Australian food. Online, date retrieved. Food Standards Australia New Zealand.
24. Boon A. 4th International Symposium on Food Packaging. Prague, Czech Republic. 2008. Migration from food packaging inks. Issues & some solutions.
25. Robertson G.L. vol. 3. CRC Press; US: 2006. Safety and legislative aspects of packaging; pp. 473–502. (Food packaging principles and practice).
26. Leibman K.C. Metabolism and toxicity of styrene. Environ. Health Perspect. 1975;11:115–119.
27. Tang W., Hemm I., Eisenbrand G. Estimation of Human exposure to styrene and ethylbenzene. Toxicology. 2000;144:39–50.
28. Miltz J., Ram A., Nir M.M. Prospects for application of post-consumer used plastics in food packaging. Food Addit. Contam. 1997;14(6–7):649–659.
29. Lau O., Wong S. Contamination in food from packaging material. J. Chromatogr. A. 2000;882:255–270.
30. Castle L., Price D., Dawkins J.V. Oligomers in plastics packaging. Part 1: Migration tests for vinyl chloride tetramer. Food Addit. Contam. 1996;13(3):307–314.
31. Glüge, J., , Scheringer, M., , Cousins, I. T., , DeWitt, J. C., , Goldenman, G., , Herzke, D., , Lohmann, R., , Ng, C. A., , Trier, X., , & Wang, Z., (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Environmental science. Processes & impacts, 22(12), 2345–2373. https://doi.org/10.1039/d0em00291g.

32. Bandara, R., & Indunil, G. M. (2022). Food packaging from recycled papers: chemical, physical, optical properties and heavy metal migration. Heliyon, 8(10), e10959. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10959.
33. US Environmental Protection Agency. "Pulp and Paper Production (MACT I & II): National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP) for Source Categories." EPA, January 2017. Retrieved March 7, 2019.
34. Ackermann P.W., Herrmann T., Stehr C., Ball M. Status of the PCDD and PCDF contamination of commercial milk caused by milk cartons. Chemosphere. 2006;63:670–675.
35. Muncke J. Exposure to endocrine disrupting compounds via the food chain: Is packaging a relevant source. Sci. Total Environ. 2009;407:4549–4559.
36. Tricker A.R., Preussmann R. Carcinogenic Nnitrosamines in the diet: occurrence, formation, mechanisms and carcinogenic potential. Mutat. Res. 1991;259:277–289.
37. Kirwan M., Brown H., Williams J. Packaged Product Quality and Shelf Life. In: Coles R., Kirwan M., editors. Food and Beverage Packaging Technology. second ed. Wiley-Blackwell; London, UK: 2011. pp. 59–83.
38. Jelén H.H. Solid-phase microextraction in the analysis of food taints and off-flavors. J. Chromatogr. Sci. 2006;44:399–415.
39. Veríssimo, M. I., & Gomes, M. T. (2008). Aluminum migration into beverages: are dented cans safe?. The Science of the total environment, 405(1-3), 385–388. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.05.045.
40. Ncube, L. K., Ude, A. U., Ogunmuyiwa, E. N., Zulkifli, R., & Beas, I. N. (2020). Environmental Impact of Food Packaging Materials: A Review of Contemporary Development from Conventional Plastics to Polylactic Acid Based Materials. Materials (Basel, Switzerland), 13(21), 4994. https://doi.org/10.3390/ma13214994.
41. Hydro. "Aluminum, Environment and Society." Hydro, December 2012. Retrieved March 7, 2019.
42. Yüzbaşi N., Sezgin E., Yıldırım M., Yıldırım Z. Survey of lead, cadmium, iron, copper and zinc in Kaşar cheese. Food Addit. Contam. 2003;20:464–469.
43. Rodushkin I., Magnusson A. Aluminum migration to orange juice in laminated paperboard packages. J. Food Compost. Anal. 2005;18:365–374.
44. Kim K.-C., Park Y.-B., Lee M.-J., Kim J.-B., Huh J.-W., Kim D.-H., Lee J.-B., Kim J.-C. Levels of heavy metals in candy packages and candies likely to be consumed by small children. Food Res. Int. 2008;41:411–418.
45. Riedewald, Frank & Wilson, Edward & Patel, Yunus & Vogt, Daniel & Povey, Ian & Barton, Killian & Lewis, Liam & Caris, Tom & Santos, Silvia & O'Mahoney, Maria & Sousa-Gallagher, Maria Jose. (2022). Recycling of aluminium laminated pouches and Tetra Pak cartons by molten metal pyrolysis – Pilot-scale experiments and economic analysis. Waste Management. 138. 172-179. 10.1016/j.wasman.2021.11.049.
46. Charlier, P., Sjöberg, G. Recycling Aluminum Foil from Post-Consumer Beverage Cartons. JOM 47, 12–13 (1995). https://doi.org/10.1007/BF03221273.
47. Reimann, Clemens & Birke, M. & Filzmoser, Peter. (2010). Reply to the comment "Bottled drinking water: Water contamination from bottle materials (glass, hard

PET, soft PET), the influence of colour and acidification" by Hayo Müller-Simon. Applied Geochemistry - APPL GEOCHEM. 25. 1464-1465. 10.1016/j.apgeochem.2010.07.006.

48. Angeli, F., Jollivet, P., Charpentier, T., Fournier, M., & Gin, S. (2016). Structure and Chemical Durability of Lead Crystal Glass. Environmental science & technology, 50(21), 11549–11558. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02971.
49. Ross, C.. (2011). Heavy Metal Issues – In and Out of Glass. 10.1002/9781118095348.ch5.
50. Beerkens, Ruud & Kers, Goos & Santen, Engelbert. (2011). Recycling of Post□ Consumer Glass: Energy Savings, CO2 Emission Reduction, Effects on Glass Quality and Glass Melting. 10.1002/9781118095348.ch16.
51. Ceola, Stefano & Favaro, Nicola & Daneo, Antonio. (2016). Glass Cullet: Impact of Color Sorting on Glass Redox State. 10.1002/9781119282471.ch5.
52. Simoneau, Catherine. (2015). Scoping investigations on the release of metals from crystalware. 10.2788/885263.
53. World Bank Group. "Pollution Prevention and Abatement Handbook 1998: Glass Manufacturing." World Bank Group, July 1998. Retrieved March 7, 2019.
54. US Environmental Protection Agency. "Final Air Toxics Standards for Clay Ceramics Manufacturing, Glass Manufacturing, And Secondary Nonferrous Metals Processing Area Sources: Fact Sheet." EPA, December 2007. Retreived March 7, 2019.
55. Shaw R. Assemblies Unlimited; 2013. Food packaging: 9 types and differences explained.
56. Shin, Joongmin & Selke, Susan. (2014). Food Packaging. Food Processing: Principles and Applications: Second Edition. 249-273. 10.1002/9781118846315.ch11.
57. Miles, D. C., and Briston, J. H. Polymer Technology / by D.C. Miles and J.H. Briston. 2nd Ed.]. ed. New York, N.Y.: Chemical Pub., 1979. Print.
58. Swati Pathak, CLR Sneha, Blessy Baby Mathew. Bioplastics: Its Timeline Based Scenario & Challenges. Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry. 2014; 2(4):84-90. doi: 10.12691/jpbpc-2-4-5.
59. Liu, Y., Ahmed, S., Sameen, D. E., Wang, Y., Lu, R., Dai, J., ... & Qin, W. (2021). A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application. Trends in Food Science & Technology, 112, 532-546.
60. Wilkinson F. (2004). Auras and other hallucinations: windows on the visual brain. Progress in brain research, 144, 305–320. https://doi.org/10.1016/S0079-6123(03)14421-4.
61. Chisenga, S. M., Tolesa, G. N., & Workneh, T. S. (2020). Biodegradable Food Packaging Materials and Prospects of the Fourth Industrial Revolution for Tomato Fruit and Product Handling. International journal of food science, 2020, 8879101. https://doi.org/10.1155/2020/8879101.
62. Soltani Firouz, M., Mohi-Alden, K., & Omid, M. (2021). A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development.

Food research international (Ottawa, Ont.), 141, 110113. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110113.
63. Domínguez, R., Barba, F. J., Gómez, B., Putnik, P., Kovačević, D. B., Pateiro, M., ... & Lorenzo, J. M. (2018). Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. Food research international, 113, 93-101.
64. Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., & Perego, P. (2020). Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review. Foods, 9(11), 1628.

Food packaging: an overview of the types of materials, aspects of recycling and chemical migration of materials and the effect on the environment and human health

Sogand Moghaddam[1] - Sama Sharifi[2,*]
[1] sogand75moghaddam@gmail.com
[2] sharif1391@gmail.com

ABSTRACT

The increasing trend of population growth, industrialization of societies, greater productivity of time, and preference for comfort, convenience, and ease of affairs has caused an unprecedented growth in consumer demand for ready, and semi-ready food and food ingredients. This need has caused significant improvements in the food industry and consequently food packaging to make safe and healthy food available. The application of packaging materials has gone beyond moving products. Today, the main focus is on maintaining quality, nutritional value, safety, increasing consumption time and shelf life, and minimal spoilage of products, along with its marketability and economy. This has caused the other dimension of packaging, which includes the aspects of chemical migration and the entry of packaging materials into the product, the recycling of these materials, the upcoming challenges, and its effects on the environment and human health, to be given less attention.

This article is an overview of the most common types of packaging materials for food products, including plastic, paper and cardboard, metals, glass, multilayer packaging, and new biodegradable packaging. Also, an overview of the recycling of packaging materials and the resulting chemical and environmental pollution, the process of chemical migration in products and its effect on human health have been examined.

Keywords: **packaging, food, recycling, chemical migration, environment, human health.**