

افزایش ماندگاری بسته‌بندی‌های خوراکی با استفاده از بسته‌بندی‌های فعال حاوی جاذب اکسیژن

صالحه صنیعی نیامقدم^{۱*}، عبدالرسول ارومیه‌ای^۲، عزت الله جودکی^۳

تاریخ دریافت مقاله: بهمن ماه ۱۳۹۴

تاریخ پذیرش مقاله: فروردین ماه ۱۳۹۵

چکیده

جاذب‌های اکسیژن به عنوان یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین نوع بسته‌بندی‌های فعال در بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشند که در پاسخ به نیاز مصرف‌کنندگان با هدف عمر نگهداری بالا و کیفیت کنترل شده توسعه یافته‌اند. می‌توانند به طور مؤثری از حضور و اثرات سوء آن به مواد غذایی جلوگیری کنند. سطح بالای اکسیژن موجود در برخی از بسته‌بندی‌های مواد غذایی می‌تواند باعث رشد حشرات و میکروب‌های هوازی، تغییرات نامطلوب عطر، طعم، رنگ و از دست رفتن مواد مغذی گردد. بنابراین کاهش میزان اکسیژن در فضای فوقانی بسته‌بندی، امری ضروری است. یک راه استفاده از روش اتمسفر اصلاح شده، بسته‌بندی تحت خلأ می‌باشد، اما این روش‌ها نمی‌توانند باقی‌مانده اکسیژن را در بسته به‌طور مناسبی حذف نمایند و حدود ۰/۱ تا ۲ درصد اکسیژن باقی می‌ماند، لذا استفاده از جاذب‌های اکسیژن می‌توانند میزان اکسیژن را به کمتر از ۰/۰۱ درصد کاهش دهند و در این مقدار نگه دارند.

موجود در بسته و اکسیژن وارد شده به محیط بسته‌بندی افزایش یافت. این نگرانی باعث شد که از روش‌های گوناگون برای حذف اکسیژن استفاده کنند. ابتدایی‌ترین روش، تولید بسته‌های کوچکی بود که داخل بسته‌بندی ماده غذایی تعبیه می‌شدند و با اکسیژن وارد واکنش شیمیایی شده و آنرا از داخل بسته حذف می‌کردند. این مواد به عنوان زیرگروه بسته‌بندی فعال محسوب می‌شوند [۶]. تحقیقات بیشتر در این زمینه نشان داد که می‌توان این مواد جاذب را در پلاستیک‌های چند لایه‌ای مانند کیسه‌های انعطاف‌پذیر نیز بکار گرفت [۷، ۸].

به طور کلی، به منظور حذف میزان اکسیژن درون بسته، جاذب‌های اکسیژن کاربرد تجاری بسیار زیادی پیدا کرده است. جاذب‌های اکسیژن به طور تجاری برای اولین بار در ژاپن در سال ۱۹۷۶ با نام تجاری Ageless™ به بازار عرضه شده است [۹]. در سال ۱۹۹۰ میلادی شرکت دیگری با استفاده از روش کواکستروژن جاذب‌های اکسیژن حاوی آهن احیا را در بین دو لایه مواد بسته‌بندی

واژه‌های کلیدی

جاذب اکسیژن، بسته‌بندی، مواد غذایی

۱- مقدمه

تحقیقات اولیه بر روی بسته‌بندی‌های جاذب اکسیژن، نشان داده که اکسیژن باقی‌مانده در بسته، یک ماده فعالی است که حذف آن باعث بهبود کیفیت ماده غذایی می‌گردد [۵]. در طول سالیان متمادی به دلیل استفاده گسترده از مواد پلاستیکی در بسته‌بندی که نسبت به اکسیژن نفوذ پذیرند، نگرانی درباره واکنش‌های اکسایش^۴ ناشی از اکسیژن

۱- کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر - دانشگاه اراک

(*) نویسنده مسئول (salehe.saniee@gmail.com)

۲- هیات علمی پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و هیات علمی دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب (A.Oromiehie@ippi.ac.ir)

۳- عضو هیات علمی گروه مهندسی پلیمر - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اراک (e_joudaki@yahoo.com)

4- Oxidation

عنوان مثال نفوذ پذیری (LDPE) به گاز دی اکسید کربن بیش از ۱۰۰ برابر نفوذ پذیری پلی وینیل کلراید (PVC) است و در مورد گاز اکسیژن بیش از ۶۰ برابر (PVC) می‌باشد و همچنین نفوذ پذیری (LDPE) نسبت به اکثر گازها، دو تا سه برابر نفوذ پذیری پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE)^۴ است. در نتیجه منطقی است که تغییرات ماده بسته‌بندی شده در (LDPE) از نرخ بیشتری برخوردار باشد [۱۰]. نفوذپذیری بالا نسبت به گازها می‌تواند منشأ تغییرات نامطلوب بعدی در ماده غذایی بسته‌بندی شده باشد. به همین دلیل است که معمولاً پلی اتیلن به تنهایی برای بسته‌بندی اکثر مواد غذایی به کار نمی‌رود و در صنایع بسته‌بندی از ترکیب اتیل وینیل الکل (EVOH)^۵ که خواص بازدارندگی مناسبی نسبت به تبادل گاز دارد و پلی اتیلن با چگالی کم که خواص بازدارندگی خوبی نسبت به بخار آب داشته و همچنین از ویژگی درزبندی عالی برخوردار می‌باشد، استفاده می‌کنند [۱۱]. علاوه بر انتخاب نوع پلیمر نفوذ ناپذیر، به دلیل احتمال وجود مقداری از اکسیژن درون بسته‌بندی از ترکیبات جاذب اکسیژن در قالب بسته‌بندی فعال استفاده می‌شود [۲].

بنابراین، در سال‌های اخیر، توجه به بسته‌بندی فعال در صنعت غذا افزایش یافته است که این امر ناشی از این حقیقت است که این نوع بسته در مقایسه با نوع مرسوم، تنها مسئول در برگرفتن و محافظت ماده غذایی در برابر عوامل خارجی نیست بلکه مزایای دیگری نیز خواهد داشت مانند: کمک به افزایش ماندگاری ماده غذایی با استفاده از عوامل جاذب (رطوبت، اکسیژن و...)، عوامل آزادکننده ترکیبات مختلف (اتانول^۶، دی اکسید کربن و... [۱۲]. و گرم و سرد نمودن ماده غذایی و امکان تعیین ماندگاری مواد غذایی با استفاده از سنسورها و معرف‌های گوناگون مانند: معرف‌های تازگی و بی‌عیبی بسته را می‌توان نام برد [۱۳ و ۱۴].

قرار داد که لایه بیرونی نفوذ ناپذیر به اکسیژن و لایه داخلی نفوذپذیر به اکسیژن بود [۱۰]. شرکتی دیگر که در زمینه فناوری بسته‌بندی‌های فعال فعالیت دارد، نوعی از جاذب‌های اکسیژن را به بازار عرضه کرده که می‌تواند در مورد بسته‌های حاوی برش‌های گوشت پخته شده استفاده شود. این جاذب‌ها تا حدود ۲۰۰-۱۰۰ سانتی‌متر مکعب، ظرفیت جذب اکسیژن دارند. نوع دیگری از لفاف‌های جاذب اکسیژن طراحی شده است که با قرار گرفتن در معرض نور فرابنفش، فعال می‌شود که این سامانه‌ها و لفاف‌های جاذب اکسیژنی را طراحی کرده است که با قرار گرفتن در معرض نور فرابنفش، فعال می‌شود. این سامانه در مورد محصولات گوشتی خشک شده یا دود داده شده و فرآیند شده کاربرد دارد و می‌تواند مقدار اکسیژن درون بسته را در مدت ۴ تا ۱۰ روز از یک درصد به حد ppm برساند [۹].

۲- پلاستیک‌های بسته‌بندی مواد غذایی

هدف از انتخاب بسته‌بندی مناسب، افزایش ماندگاری محصول و اطمینان از سلامت غذا در برابر میکروارگانیسم‌ها و تغییرات زیستی و شیمیایی است، زیرا مهم‌ترین اهدافی که در بسته‌بندی محصولات غذایی مدنظر است افزایش ماندگاری محصول^۱، کنترل میزان نفوذپذیری نسبت به بخار آب و گازهای مختلف درون یا برون محصول بسته‌بندی، حفظ کیفیت محصول در طول دوره نگهداری و حمل و نقل تا زمان مصرف نهایی می‌باشد. افزون بر این، بسته‌بندی نباید اثر نامطلوبی - مانند مهاجرت مواد سمی به واسطه واکنش بین بسته‌بندی با ماده غذایی یا به وسیله میکروارگانیسم‌های مضر موجود در ماده غذایی - بر محصول داشته باشد [۱].

در میان پلیمرهای مورد استفاده برای بسته‌بندی مواد غذایی، پلی‌الفین‌ها و به ویژه پلی‌اتیلن با چگالی پایین (LDPE)^۲ نفوذ پذیری بالاتری نسبت به تبادل گازها داراست که به غیر قطبی بودن این پلیمرها نسبت داده می‌شود. به

- 3- Poly Vinyl Chloride
- 4- High Density Polyethylene
- 5- Ethylene Vinyl Alcohol
- 6- Etanol

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون
بسته‌بندی

- 1- Shelf life
- 2- Low Density Polyethylene

۳- سامانه‌های بسته‌بندی فعال در صنعت مواد

غذایی

از سامانه‌های مهم بسته‌بندی فعال که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان به سامانه‌هایی نظیر: جاذب‌های اکسیژن، جاذب‌ها و متشکرکننده‌های دی اکسید کربن، جاذب‌های رطوبت، جاذب‌های اتیلن و متشکرکننده‌های اتانول اشاره کرد. سامانه‌های متشکرکننده و جاذب طعم، نشانگرهای دما- زمان و فیلم‌های حاوی مواد ضد میکروبی نیز از انواع دیگر این سامانه‌ها می‌باشند [۶].

در (جدول ۱) انواع سامانه بسته‌بندی فعال، مکانیزم و کاربرد آن‌ها آورده شده است.

امروزه در کشورهای اروپایی، ایالات متحده آمریکا و ژاپن از بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند استفاده شایان می‌شود [۱۳ و ۱۵].

۴- اثرات نامطلوب اکسیژن در بسته‌بندی مواد

غذایی

وجود اکسیژن در بسته همیشه مطلوب نیست، گاهی اثرات نامطلوبی در بسته‌بندی ایجاد می‌کند مانند: [۴، ۱۷ و

[۱۸]

جدول ۱- انواع سامانه بسته‌بندی فعال به همراه کاربرد آن‌ها [۱۶]

نوع سامانه بسته‌بندی فعال	مکانیزم‌ها و ابزارهای مواد مورد استفاده	کاربرد در مواد غذایی
جاذب‌های اکسیژن	۱. بر پایه آهن ۲. فلز/اسید ۳. کاتالیست فلزی (مانند پلاتین) ۴. آسکوربات/نمک‌های فلزی ۵. بر پایه آنزیم	نان، کیک، برنج پخته شده، بیسکویت، پیتزا، ماکارونی، پنیر، قهوه، تنقلات، گوشت عمل‌آوری شده، ماهی، غذاهای خشک و نوشابه‌ها
جاذب‌های دی اکسید کربن متصاعدکننده‌های دی اکسید کربن	۱- اکسید آهن/کلسیم هیدروکسید ۲- فروس کربنات/هالید فلزی ۳- اکسید کلسیم/کربن فعال ۴- آسکوربات/سدیم کربنات	قهوه، گوشت تازه، ماهی، تنقلات، دانه‌های خشک‌باری و کیک
جاذب‌های اتیلن	۱- پتاسیم پرمگنات ۲- کربن فعال ۳- خاک رس فعال/ زئولیت	میوه‌ها، سبزی‌ها، سایر محصولات باغی
رها کننده‌های مواد نگهدارنده	۱- اسیدهای آلی ۲- زئولیت نقره ۳- عصاره ادویه‌ها ۴- مواد ضد اکسیداسیون	محصولات غلاتی، گوشت، ماهی، نان، پنیر، تنقلات، میوه‌ها و سبزی‌ها
متصاعدکننده‌های اتانول	۱- افشاننده الکل ۲- الکل ریز پوشانی شده	پیتزا، کیک، نان، بیسکویت، ماهی
جاذب‌های رطوبت	۱- پوشک‌های (پدهای) جاذب رطوبت ۲- خاک رس فعال و مواد معدنی ۳- سیلیکات‌ها	ماهی، گوشت قرمز، گوشت مرغ، تنقلات، محصولات غلاتی، غذاهای خشک، ساندویچ، میوه‌ها، سبزی‌ها
جذب‌کننده‌های عطر و طعم	۱- سلولز تری استات ۲- کاغذ استیلیند ۳- سیتریک اسید ۴- نمک فروس/آسکوربات ۵- کربن فعال/ خاک رس / زئولیت‌ها	آب میوه‌ها، تنقلات سرخ‌کردنی، ماهی، محصولات غلاتی، مرغ و محصولات لبنی
بسته‌بندی‌های کنترل‌کننده دما	۱- برخی پلاستیک‌ها ۲- ظروف دارای دیواره دو جداره ۳- گازهای سرمازا (فرتون‌ها) ۴- آهک/ آب ۵- آمونیم نیترات/ آب	وعده‌های غذایی آماده مصرف، نوشابه‌ها و محصولات گوشتی

- ۵- اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع مثل اسید اولئیک^۴ و اسید لینولنیک^۵
- ۶- مخمرهای تثبیت شده روی یک سطح جامد

۵- جاذب‌های اکسیژن

کنترل سطح اکسیژن در بسته‌بندی مواد غذایی حائز اهمیت است، زیرا سطوح بالای اکسیژن موجود در بسته‌بندی‌های مواد غذایی و همچنین اکسیژنی که بعداً وارد بسته می‌شود می‌تواند رشد میکروبی، ایجاد طعم و بوی نامطلوب، تغییر رنگ و افت ارزش غذایی را در برداشته باشد که به نوبه خود باعث کاهش قابل توجه در ماندگاری مواد غذایی می‌گردد [۳]. کاهش سرعت رشد باکتری‌های هوازی برای افزایش ماندگاری فرآورده‌های شیر و محصولات فریزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین برای جلوگیری از آسیب‌های احتمالی به دامنه گسترده‌ای از مواد غذایی کاهش سرعت فساد یا تخریب اجزای تشکیل دهنده آن‌ها مانند: روغن‌ها، چربی‌ها رنگدانه‌ها و ویتامین‌ها ضروری است. آگ چه مواد غذایی حساس به اکسیژن می‌تواند به روش‌های اتمسفر اصلاح یافته یا خلأ بسته‌بندی گردند؛ اما چنین روش‌هایی همواره خروج کامل اکسیژن را فراهم نمی‌کنند، لذا بدین منظور، سیستم‌های جاذب می‌توانند به شکل مناسب به منظور خروج کامل اکسیژن پس از بسته‌بندی تحت خلأ یا بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده^۱ (MAP) مورد استفاده قرار گیرند [۳]. با استفاده از جاذب‌های اکسیژن درون بسته‌بندی از تغییرات کیفی در مواد غذایی حساس جلوگیری می‌شود [۱۴، ۲۱ و ۲۲].

اصطلاح جاذب اکسیژن به موادی اطلاق می‌شود که در داخل بسته قرار داده می‌شود و به صورت شیمیایی و یا آنزیمی با اکسیژن واکنش داده و غلظت اکسیژن داخل بسته را به کمتر از ۰/۰۱ درصد کاهش داده و در همین سطح حفظ می‌نمایند. همچنین جاذب‌های اکسیژن

۱- اکسایش چربی‌های غیراشباع که منجر به بد طعمی در ماده غذایی می‌گردد.

۲- کاهش ویتامین (ث) به خصوص در غذاهایی که از میوه و یا سبزی تهیه شده‌اند.

۳- رشد میکروارگانیسم‌های هوازی عامل فساد

۴- ایجاد بوی کهنگی در فرآورده‌های نانوائی

۵- ازدیاد تخم حشرات و رشد آن‌ها

۶- تشدید تنفس میوه‌جات و سبزیجات تازه

۷- قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی میوه‌جات برش خورده

۸- اکسیداسیون مواد عطری و طعمی روغنی در نوشیدنی‌هایی مثل چای و قهوه

۹- تغییر رنگ رنگدانه‌های میوه‌جات و سبزیجات فراوری شده

همچنین تقریباً همه بسته‌هایی که به صورت غیرقابل نفوذ به اکسیژن بسته‌بندی شده‌اند نیز اندکی نفوذ پذیر بوده و اکسیژن می‌تواند از مسیرهای زیر وارد بسته غذایی گردد:

[۱۸]

۱- نفوذ از مواد پلاستیکی موجود در درب قوطی و واشر درب ظروف شیشه‌ای

۲- حفرات و ترک‌های موجود در فویل‌های آلومینیومی و سایر مواد بسته‌بندی

۳- خطاهای موجود در هنگام بسته‌بندی

برای حذف اکسیژن توسط جاذب‌های اکسیژن از مکانیسم‌های ذیل استفاده می‌شود: [۱۹ و ۲۱]

۱- اکسیداسیون^۱ پودر آهن

۲- اکسیداسیون اسید اسکوربیک^۲

۳- اکسیداسیون کاتکول^۳

۴- اکسیداسیون آنزیمی مانند آنزیم‌های گلوکز اکسیداز و الکل اکسیداز

4- Oleic Acid
5- Linoleic Acid
6- Modified Atmosphere Packaging

1- Oxidation
2- Ascorbic Acid
3- Katekul

۵-۱- اکسیداسیون پودر آهن

عمومی‌ترین سامانه‌های مورد استفاده برای جذب اکسیژن، استفاده از فناوری اکسیداسیون آهن می‌باشد [۱۸]. تخمین زده می‌شود که اگر آهن می‌تواند با ۳۰۰ سی سی از اکسیژن واکنش دهد. اگر میزان اکسیژن اولیه و مقدار اکسیژن ورودی مشخص شود، می‌توان با انتخاب یک جاذب مناسب از عدم حضور اکسیژن در طول نگهداری اطمینان حاصل نمود [۲۷ و ۲۸].

در اکثر جاذب‌های اکسیژن از اکسایش پودر آهن برای حذف اکسیژن استفاده می‌شود [۲۹]. این بسته‌های کوچک طوری طراحی می‌شوند که میزان اکسیژن را تا کمتر از ۱ درصد در بسته کاهش می‌دهند. جاذب‌های اکسیژن حاوی آهن احیا برای فعالیت خود، نیاز به رطوبت دارند. جاذب اکسیژن می‌تواند درون یک کیسه (ساشه) باشد که این کیسه باید از لفاف نازک نفوذپذیر به عبور اکسیژن تشکیل شده باشد و همچنین این کیسه‌های پلی‌الفینی باید بازدارندگی در برابر رطوبت نداشته باشند، زیرا انتقال رطوبت از ماده غذایی به ماده جاذب را کند می‌کنند. این کیسه حاوی یک ماده جاذب اکسیژن (مثل پودر آهن) می‌باشد و به دلیل اینکه از ورود پودر آهن به درون ماده غذایی جلوگیری شود، آنرا در داخل کیسه قرار می‌دهند. این کیسه‌های حاوی مواد جاذب اکسیژن، درون بسته اصلی مجاور محصول قرار داده می‌شوند.

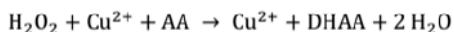
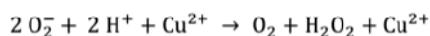
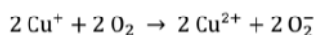
از آنجایی که بیشترین میزان آهن موجود در کیسه‌ها ۷ گرم می‌باشد، بناب این از این جهت هیچ خطری برای سلامت مصرف‌کننده وجود ندارد. مشکل این نوع جاذب‌های اکسیژن، این است که در خطوط بسته‌بندی که از آشکار سازهای آهن استفاده می‌شود، نمی‌توان از این جاذب‌ها استفاده کرد و باید از نوع دیگری از جاذب اکسیژن‌ها استفاده شود. واکنش جاذب پودر آهن برای حذف اکسیژن به صورت ذیل است: [۲۹]

می‌توانند از طریق ایجاد اختلاف فشار جزیبی باعث شوند اکسیژن موجود در بافت ماده غذایی طبق پدیده انتشار وارد فضای داخل بسته‌بندی شده و آنرا حذف نمایند. جاذب‌ها سریع عمل نموده و قادر به حذف حجم زیادی از اکسیژن می‌باشند [۲۳].

مشکل استفاده از فیلم‌های جاذب اکسیژن، این است که فیلم‌ها تا قبل از استفاده نباید با اکسیژن اتمسفری واکنش دهد. برای حل این مشکل یک سامانه فعال‌سازی که توانایی مصرف اکسیژن را به فیلم دهد در فیلم به کار گرفته شده است. فعال‌سازی از طریق روشن کردن کاتالیزور^۱ و یا واکنش‌گرهایی که در هنگام پرکردن تعبیه می‌شوند، انجام می‌گیرد [۲۴].

شکل (۱) نوعی از فیلم بسته‌بندی فعال نوری جاذب اکسیژن را نشان می‌دهد. جایگزین بالشتک‌ها استفاده از جاذب اکسیژن در ساختار بسته‌بندی است. به این صورت که ترکیب با وزن مولکولی کم ممکن است در پلاستیک حل یا پخش شوند یا پلاستیک ممکن است از جاذب‌های پلیمریک^۲ ساخته شده باشد [۴]. این مواد جاذب اکسیژن، در دیواره‌های بسته‌بندی‌هایی مانند ساشه‌ها استفاده می‌شدند و امروزه می‌توان از آن‌ها در ساختار برجسب‌ها و یا به صورت وارد کردن مستقیم آن‌ها در ساختار بسته‌بندی‌های مختلف استفاده نمود [۲۶]. برای مثال، از این مواد جاذب اکسیژن، در صنعت بسته‌بندی انواع نوشابه‌ها و مواد خوراکی در بسته‌بندی‌های پلی‌اتیلن ترفتالات^۳ که روز به روز رونق بیشتری پیدا می‌کنند و در فیلم‌های مورد استفاده در بسته‌بندی انواع فرآورده‌های گوشتی و بسته‌بندی‌های زیپ‌دار جهت بسته‌بندی محصولات که بسته‌بندی آن‌ها قابلیت بسته شدن دوباره را دارند، استفاده می‌شود [۱۳].

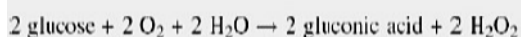
- 1- Catalyst
- 2- Polymeric
- 3- Polyethylene Terephthalate



کاهش کامل یک مول از اکسیژن نیاز به دو مول اسکوربیک اسید دارد. این سامانه جهت فعال‌سازی نیاز به رطوبت دارد، بنابراین برای غذاهای آبکی مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است چون مقاومت حرارتی سدیم اسکوربات از اسکوربیک اسید بیشتر است، لذا بهتر است در سامانه‌های آمیزه‌ای از ترکیبات نمک اسکوربات استفاده شود [۲۹ و ۳۰].

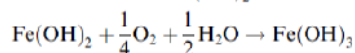
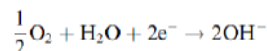
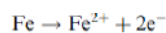
۵-۴- اکسیداسیون آنزیمی مانند آنزیم‌های گلوکز اکسیداز و الکل اکسیداز

در این روش آنزیم گلوکز اکسیداز گلوکز را به اسید گلوکونیک اکسید می‌کند و در نهایت آنزیم کاتالاز^۵ منجر به تبدیل پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن می‌شود [۳۱]:



سامانه آنزیمی به تغییرات pH دما و دسترسی به حلال حساس می‌باشد. باید توجه داشت که چون رطوبت عامل فعال‌کننده این واکنش و سامانه می‌باشد، لذا در محصولات غذایی که رطوبت پایین دارند، نمی‌توانند بکار روند. مزیت جاذب‌های اکسیژن آنزیمی در مقایسه با جاذب‌های اکسیژن آهنی، عدم حساسیت به آشکارسازهای فلزی می‌باشد. آنزیم می‌تواند به صورت چسبیده به ماده بسته‌بندی بوده و یا داخل کیسه‌های جداگانه قرار داده شود که در همین راستا، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن بسترهای خوبی برای تثبیت آنزیم هستند [۲۹].

جاذب دیگر اکسیژن، استفاده از آنزیم می‌باشد که می‌تواند با برخی از سوبستراها^۶، اکسیژن ورودی را جذب نماید [۱۸]. ترکیبی از دو آنزیم، گلوکز اکسیداز و کاتالاز



کیسه‌های حاوی جاذب اکسیژن^۱ تولید شده توسط شرکت ژاپنی ژاپن از جاذب‌های اکسیژن پر کاربرد و معروف است که می‌تواند اکسیژن درون بسته را به کمتر از ۱٪ برساند [۳۰].

۵-۲- اکسیداسیون کاتیکول

کاتیکول، یک ترکیب آلی می‌باشد که این سامانه جاذب اکسیژن در واکنش با اکسیژن و یا حذف آن نیاز به رطوبت ندارد [۳۰].

۵-۳- اکسیداسیون اسید اسکوربیک

اسید اسکوربیک، جاذب اکسیژن دیگری می‌باشد که به عنوان عامل کاهنده عمل می‌کند. یک فلز واسط ترجیحاً مس جهت کاتالیز واکنش اکسیداسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۷].

اسید اسکوربیک همانند آهن به آسانی ولی با سرعت کمتر با اکسیژن واکنش می‌دهد و به دهیدرواسکوربیک اسید^۲ تبدیل می‌شود که ترکیب بی ضرری است. این واکنش توسط عناصر فلزی نظیر آهن و مس کاتالیز می‌شود. اسکوربیک اسید یون مس دو ظرفیتی را به یون مس یک ظرفیتی تبدیل نموده و تشکیل دهیدرواسکوربیک اسید می‌دهد. یون مس یک ظرفیتی با اکسیژن وارد واکنش شده و تشکیل یک کمپلکس^۳ می‌دهد که منجر به تشکیل یون مس دو ظرفیتی و رادیکال آنیونی می‌شود. در حضور مس این رادیکال تبدیل به اکسیژن و H₂O₂ می‌شود. اسکوربات^۴ مس سریعاً H₂O₂ را تبدیل به آب می‌کند و واکنش‌های آن به صورت ذیل می‌باشد: [۲۹]

- 1- Agless
- 2- Dehydroascorbic Acid
- 3- Complex
- 4- Ascorbate

- 5- Catalase
- 6- Substrate

جهت حذف اکسیژن استفاده می‌شود. آنزیم گلوکز اکسیداز با تبدیل گلوکز به گلوکونولتا لاکتون (GDL)، تولید پراکسید هیدروژن می‌نماید. چون H_2O_2 یک محصول جانبی قابل توجه می‌باشد، کاتالاز باعث شکستن آن می‌شود [۲۷ و ۳۲].

اکسید گلوکز یکی دیگر از رباینده‌های اکسیژن است. اساس عمل این ترکیب برای جذب اکسیژن به این صورت است که دو اتم هیدروژن را از گروه $CHOH$ گلوکز به اکسیژن انتقال می‌دهد و گلوکونو دلتا لاکتون (GDL) و هیدروژن پراکسید تولید می‌کند. گلوکونولتا لاکتون (GDL) خود به خود با آب واکنش می‌دهد و اسید گلوکونیک تولید می‌کند. واکنش به شرح ذیل است:

$$2G + 2O_2 + 2H_2O \rightarrow 2GO + 2H_2O_2$$

چون H_2O_2 یک محصول جانبی مضر است، کاتالاز جهت تجزیه آن به کار می‌رود.

۵-۵- اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع مثل اسید اولئیک و اسید لینولئیک

اکسایش اسیدهای چرب غیراشباع روش دیگری برای حذف اکسیژن می‌باشد. در مورد این جاذب‌های اکسیژن با توجه به اینکه برای فعال شدن سامانه جذب اکسیژن نیازی به رطوبت نمی‌باشد، لذا این ترکیبات برای غذاهای خشک مناسب می‌باشند. اسیدهای چرب غیر اشباع مانند اولئیک، لینولئیک و لینولئیک به روغن‌های حاملی مثل سویا، کنجد و یا پنبه دانه اضافه می‌شوند و سپس توسط کاتالیزور فلزی و یک ماده حامل مانند کربنات کلسیم ترکیب می‌شود و یک ماده جامد به دست می‌آید و سپس به صورت محصول نهایی گرانول^۲ یا پودر بسته‌بندی می‌شود [۱۰].

۵-۶- مخمرهای تثبیت شده روی یک سطح جامد

مخمرها ریز جاندارهای هوازی اختیاری هستند و چنانچه در سطح جامدی نظیر: سطح داخل بسته‌بندی تثبیت

شوند، می‌توانند اکسیژن موجود در بسته را مصرف نمایند. این روش حذف اکسیژن برای کیسه‌ها و بطری‌ها بکار می‌رود. این جاذب‌های اکسیژن نیاز به رطوبت برای جذب اکسیژن دارند که الکل و دی اکسید کربن تولید می‌کنند و وارد ماده غذایی می‌شوند. در مورد نوشیدنی‌هایی مانند آبجو، این مواد مشکلی تولید نمی‌کنند.

۶- انتخاب جاذب اکسیژن

برای اینکه یک جاذب اکسیژن قابلیت استفاده مطلوبی برای ماده غذایی داشته باشد باید از شرایط ذیل برخوردار باشد: [۳۳ و ۳۴]

۱. برای سلامتی انسان ضرر نداشته باشد چون احتمال دارد به طور تصادفی توسط مصرف‌کننده استفاده شود.
- ۲- اکسیژن را با سرعت مناسبی جذب کند. اگر سرعت واکنش با اکسیژن خیلی زیاد باشد در طول وارد کردن به بسته، ظرفیت جذب آن کاهش می‌یابد و اگر خیلی کم باشد، غذا را در مقابل اکسیژن خیلی خوب حفظ نمی‌کند.
- ۳- ترکیبات سمی، گازها و بوهای نامطبوع تولید نکند.
- ۴- کوچک بوده و کارایی و کیفیت ثابتی داشته باشد.
- ۵- مقدار زیادی اکسیژن جذب کند.
- ۶- از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

۷- استفاده از جاذب‌های اکسیژن در ماتریس پلیمری

انتخاب جاذب اکسیژن به مقدار اکسیژن موجود در بسته، مقدار اکسیژن به دام افتاده در ماده غذایی و مقدار اکسیژنی که بعداً به بسته وارد می‌شود، بستگی دارد [۳۵]. ماده بسته‌بندی باید تراوایی کمی به گاز اکسیژن داشته باشد در غیر این صورت، جاذب اکسیژن سریعاً اشباع می‌گردد. اتیل وینیل الکل، فیلم مناسبی برای این منظور می‌باشد [۲ و ۳۴].

به طور کلی، ۲۰ درصد ترکیبات جاذب اکسیژن در بالشتک‌ها (کیسه‌ها) تعبیه می‌شوند، اما قرار دادن کیسه‌های

1- Glucono Delta-Lactone
2- Granules

می‌کنند [۱۶ و ۳۶]. نوع دیگری از جاذب‌ها حاوی اسید اسکوربیک و سولفیت به عنوان جاذب اکسیژن در درب بطری‌ها برای حذف اکسیژن از فضای بطری استفاده می‌شوند که این مواد بعد از جذب اکسیژن به ترتیب به دهیدراسکوربیک و سولفات تبدیل می‌شوند [۳۴ و ۳۵].

۸- کاربردهای جاذب‌های اکسیژن

در حال حاضر، جاذب‌های اکسیژن در آمریکا به صورت کیسه‌های کوچک حاوی آهن احیا در بسته‌بندی مواد غذایی از قبیل ماکارونی، اسنک خشک گوشت، چیپس پپرونی، گوشت قرمز، بادام زمینی، نان فاقد گلوتن، جیره‌های نظامی و بسته‌های غذایی ناسا استفاده می‌شود. از درب‌ها و بطری‌های پلی‌استری حاوی جاذب‌های اکسیژن، برای بسته‌بندی عصاره‌ها و کچاپ^۲ استفاده می‌گردد [۱۶]. در ژاپن کاربردهای اصلی جاذب‌های اکسیژن شامل فرآورده‌های غلات مثل کیک‌های نرم، نان، بیسکویت، پیتزا، کیک پنیری، اسنک‌های خشک، مغزها، مغزهای پوشش داده شده با شکلات، فرآورده‌های دریایی فرآیند شده، ادویه‌جات، پنیر و... می‌باشد.

۹- نتیجه گیری

در نتیجه با روش‌های رایج برای خارج ساختن اکسیژن در هنگام بسته‌بندی مواد غذایی نمی‌توانند همه اکسیژن را حذف کنند، لذا باید از جاذب‌های اکسیژن در درب، برچسب، دیواره ظرف و یا به صورت یک کیسه مجزا در بسته‌بندی ماده غذایی استفاده نمود تا با جذب اکسیژن باقی‌مانده و ورودی واکنش‌های تخریبی نشأت گرفته از اکسیژن متوقف شود و بدین ترتیب ماندگاری ماده غذایی افزایش یابد. جاذب‌های اکسیژن در بازار جهانی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله کشورهایی که در این زمینه تجارت جهانی و رقابتی با هم داشته‌اند آمریکا، ژاپن و اروپای غربی را می‌توان نام برد. شرکت‌های ژاپنی بسیاری در زمینه تولید جاذب‌های اکسیژن با هم رقابت می‌کنند که عمدتاً از آهن احیا در

جاذب اکسیژن در داخل بسته‌بندی به دلیل احتمال پاره شدن تصادفی بالشنتک‌های جاذب اکسیژن، ترکیب شدن مواد جاذب با غذا یا مصرف تصادفی آن‌ها به همراه غذا توسط مصرف‌کننده و به علاوه عدم کاربرد آن‌ها در غذاهای مایع به دلیل برخورد مستقیم مایع بالشنتک‌ها و ریختن محتویات آن به داخل غذا مناسب نمی‌باشند [۳]. برای برطرف نمودن این مشکل، می‌توان جاذب‌های اکسیژن را در مواد بسته‌بندی مثل فیلم‌های پلیمری، برچسب‌ها و آستر درب‌ها جاسازی کرد. با این کار، می‌توان جاذب اکسیژن را در محصولات دیگری مانند بطری‌های نوشیدنی و غذاهای آبکی و بسته‌بندی‌های مواد غذایی نیز استفاده نمود. ماده جاذب مصرف‌کننده اکسیژن می‌تواند خود ماده پلیمری یا ترکیبات دیگری باشد که در ماتریکس پلیمر پخش و یا حل شده است که این مواد به سهولت اکسید می‌شوند [۳۳].

مشکل استفاده از فیلم‌های جاذب اکسیژن، این است که فیلم‌ها تا قبل از استفاده نباید با اکسیژن اتمسفری واکنش دهند. برای حل این مشکل، یک سامانه فعال‌سازی که توانایی مصرف اکسیژن را به فیلم می‌دهد در فیلم بکار گرفته شود. فعال‌سازی از طریق کاتالیزور و یا واکنش‌گرایی که در هنگام پر کردن تعبیه می‌شوند، انجام می‌گیرد.

اکسید آهن اولین ماده جاذب اکسیژن در ساشه‌ها بود. ماده جاذب اکسیژن دیگر، اسید اسکوربیک بوده که اغلب در اشرفای موجود در درب بطری‌های حاوی ماء الشعیر و بطری‌های حاوی آب میوه جهت جذب اکسیژن که از درب پلاستیکی این محصولات عبور می‌کند، استفاده می‌شود. بیشتر بطری‌های پلی‌استری که برای ماء الشعیر و یا آب میوه‌ها استفاده می‌شوند، حاوی نایلون ام دی ایکس شش PA-MDX6^۱ کاتالیز شده با کبالت می‌باشند که کار جذب اکسیژن را برعهده دارند. بسته‌بندی‌های چند لایه پلی‌اولفینی حاوی مواد جاذب اکسیژنی نیز به بازار عرضه شده است. این مواد جاذب اکسیژن، نسبت به رطوبت حساس بوده و در اثر رطوبت بالای موجود در مواد غذایی، نوشیدنی‌ها و یا محصولات بهداشتی فردی فعال شده و عمل

2- Ketchup

1- Nylon MDX

محصولاتشان استفاده می‌نمایند [۹]. با توجه به مطالعات انجام شده در ایران، در حال حاضر این مواد به صورت محصول نهایی آماده مانند درب دلستر و ماء الشعیر که بیشترین کاربرد را دارند، وارد می‌شود و یا گرانول و یا ماده اولیه توسط برخی شرکت‌های تولید درب ماء الشعیر و... وارد شده و با توجه به کاربرد مورد نظر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی، می‌توان به این نتیجه رسید که امروزه برای حذف اکسیژن از درون بسته‌بندی می‌توان از فیلم‌های حاوی جاذب اکسیژن استفاده کرد. علاوه بر این، فیلم‌های پلیمری جاذب اکسیژن، باید مقاومت بالایی در برابر عبور اکسیژن هم داشته باشند تا از ورود اکسیژن به سامانه جلوگیری نمایند یا مقدار کمتری اکسیژن وارد سامانه شود و ماده جاذب بتواند فعالیت خود را به خوبی انجام دهد.

۱۰- منابع

۱. ارومیه‌ای، ع.ر. (تابستان ۱۳۸۹). "پلاستیک‌های بسته‌بندی مواد غذایی و دارویی، اصول و روش‌های آزمون"، بخش شرکت خاتم پلیمر
۲. محمدی، م. اعلمی، م. (اسفندماه ۱۳۹۰). «تأثیر بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده بر زمان ماندگاری نان‌های نیم پخته». فصلنامه علوم و فنون بسته‌بندی، سال ۳، شماره ۹، ص ۷۶.
۳. آقا جان زاده سورکی، س. مقصدلو، ی. (دیماه ۱۳۹۲). «کاربرد بسته‌بندی هوشمند و فعال در بسته‌بندی نان و سایر محصولات پخت». فصلنامه علوم و فنون بسته‌بندی، سال ۴، شماره ۱۶، ص ۳۷.
۴. امینی هرندی، س. کاشانی نژاد، م. گوهریان، م. علیزاده، ص. (خردادماه ۱۳۹۱). «اصلاح بسته‌بندی گز به روش بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده». فصلنامه علوم و فنون بسته‌بندی، سال ۳، شماره ۱۰، ص ۶۸-۶۹.
5. Ahvenainen, R., (2003). "Novel Food Packanging Techniques." CRC Press. p. 1174-1180
6. Rooney, M., (1995). "Active packaging in polymer films, in Active food packaging.", Springer. p. 74-110
7. Cochran, A., et al., (1989). "Improvements in and relating to packaging," EP Patent 0,301,719.
8. Payne, S.R., et al., (1998). "The effects of non-vacuum packaging systems on drip loss from chilled beef." Meat Science, 49(3): p. 277-287.
9. Kerry, J., M. O'grady, and S. Hogan, Past, (2006). "Current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review." Meat science, 74(1): p. 113-130
10. Nielsen, T., (1997). "Active packaging: a literature review." The Swedish Institute for Food and Biotechnology, 631
11. Doris Gibisa, b*, Klaus Rieblingera, (2011). "Oxygen scavenging films for food application".
12. Kerry, J. and P. Butler, (2008). "Smart packaging technologies for fast moving consumer goods." Wiley Online Library.
13. Ozdemir, M. and J.D. FLOROS, (2004). "Active food packaging technologies." Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44(3): p. 185-193.
14. Otlés, Semih., Yalcin, Buket., (2008). "Smart food packaging", Journal of LogForum." Vol. 4, issue. 3, NO. 4,.
15. Day, B.P., (2008). "Active packaging of food. Smart packaging technologies for fast moving consumer goods, p." 1-18.
16. Coles, R., D. McDowell, and M.J. Kirwan, (2003). "Food packaging technology." : Blackwell Oxford.
17. Abe, Y. (1990). "Active packaging: a Japanese perspective. in Conference Proceedings: International Conference on Modified

30. J. Kerry, M. O'grady, and S. Hogan, (2006). "**Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review,**" Meat science, vol. 74, pp. 113-130.
31. Winestrand, S., Johansson, K., Järnström, L., Jönsson, L.J. (2013). "**Coimmobilization of oxalate oxidase and catalase in films for scavenging of oxygen or oxalic acid.**" *Biochem. Eng. J.* 72, p. 96-101.
32. Aaron L. Brody, Eugene R. Strupinsky, Lauri R. Kline. (2001), Active packaging for food application 36. T. Nielsen, "**Active packaging: a literature review,**" The Swedish Institute for Food and Biotechnology, vol. 631. 1997.
33. Vermeiren, L., et al., "**Developments in the active packaging of foods.**" Trends in Food Science & Technology, 1999. 10(3): p. 77-86.
34. KLEIN, T. and D. (1990). "**KNORR, Oxygen absorption properties of powdered iron.**" Journal of Food Science, 55(3): p. 869-870.
35. Rooney, M.L., (1982). "**Oxygen scavenging from air in package headspaces by singlet oxygen reactions in polymer media.**" Journal of Food Science. 47(1): p. 291-294.
36. Matthews, A.E. and C. (2001). "**Depree, Oxygen scavengers with reduced oxidation products for use in plastic films,**" Google Patents.
- آدرس نویسنده**
- تهران- بلوار کریم خان- خیابان حافظ-
ابتدای پل حافظ- بعد از کوچه هورتاب-
پلاک ۳۹۸- طبقه اول شرقی- شرکت خاتم
پلیمر.
18. Brody, A.L., E. Strupinsky, and L.R. Kline, Active packaging for food applications. Vol. 6. 2010: CRC press
19. Coma, V., (2008.). "**Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products.**" Meat Science, 78(1): p. 90-103
20. Kerry, J., M. O'grady, and S. Hogan, Past, (2006.). "**Current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review.**" Meat science, 74(1): p. 113-130.
21. Scott, D. and F. Hammer, Oxygen scavenging packet for in-packet deoxygenation. Food Technology, 1961. 15: p. 12-99.
22. Galic, K., Curic, D. and Gabric, D., (2009). "**Shelf life of packaged bakery goods**". Food science and nutrition, Vol. 49, issue. 5, Pp. 405-426.
23. Zenner, B.D. and C.S. (2003). "**Benedict, Oxygen scavenging compositions from concentrates,**" Google Patents.
24. Cruz, R.S., G.P. Camilloto, and A.C. dos Santos Pires, (2012). "**Oxygen Scavengers: An Approach on Food Preservation.**"
25. Renato Souza Cruz, Geany Peruch Camilloto and Ana Clarissa dos Santos Pires "**Oxygen Scavengers: An Approach on Food Preservation**" Chapter 2.
26. Carolina E. Realini, Begonya Marcos, (2014) "**Active and intelligent packaging systems for a modern society.**"
27. L. Vermeiren F. Devlieghere M. van Beest N. de Kruijf J. Debevere. (1999), "**Developments in the active packaging of foods.**"
28. M. Rooney, (1983). "**Photosensitive oxygen scavenger films: an alternative to vacuum packaging,**" CSIRO food research quarterly,.
29. R. S. Cruz, G. P. Camilloto, and A. C. dos Santos Pires, (2012). "**Oxygen Scavengers: An Approach on Food Preservation,**"