بررسی ویژگی‌های انواع جاذب‌های اکسیژن در بسته‌بندی فعال موادغذایی

فاروق خلیفه‌زاده [1]، ایمان شهابی قهفرخی [2*]

تاریخ دریافت مقاله: دی ماه ۱۳۹۶

تاریخ پذیرش مقاله: خرداد ماه ۱۳۹۷

چکیده

اکسیژن یکی از عوامل اصلی فساد در صنعت مواد غذایی است. این گاز از طریق اکسید کردن موادغذایی حساس به اکسیژن اثر نامطلوبی بر روی خصوصیات تغذیه‌ای و ظاهری آن‌ها ایجاد می‌کند. از این رو افزایش ایمنی و ایجاد مقبولیت از دیدگاه مشتری نسبت به موادغذایی حساس به اکسیژن نیازمند یک مانع برای حفاظت از آن‌ها در برابر اکسیداسیون است. در سال‌های اخیر بسته‌بندی جاذب اکسیژن به عنوان یک بسته‌بندی فعال به منظور جلوگیری از واکنش اکسیژن با مواد غذایی ایفای نقش می‌کند. این جاذب‌ها بر اساس مکانیسم‌های مختلف با این گاز وارد واکنش شده و با بیرون راندن آن باعث حفظ تمام خصوصیات مواد غذایی از جمله: عطر، طعم، رنگ و ارزش تغذیه‌ای می‌شود؛ همچنین ایمنی و عمر ماندگاری موادغذایی را از زمان تولید تا مصرف افزایش داده و مانع کاهش کیفیت موادغذایی می‌شوند. جاذب‌های اکسیژن متناسب با نوع موادغذایی انتخاب شده و در داخل بسته‌بندی‌های موادغذایی مانند: نان، قهوه، چای، کیک، شیرینی، نوشیدنی‌ها، فرآورده‌های گوشتی، میوه‌ها و سبزیجات بکار گرفته می‌شوند.

واژه‌های کلیدی

بسته‌بندی فعال، جاذب اکسیژن، موادغذایی حساس به اکسیژن

۱- مقدمه

بسته‌بندی حاملی برای موادغذایی است که با ایزوله‌کردن ماده غذایی از محیط‌خارجی، موجب محافظت آن در برابر عوامل فیزیکی، بیولوژیکی، شیمیایی و افزایش عمر مفید مواد غذایی می‌شود[۱].

از گذشته تا به امروز، حفظ و نگهداری موادغذایی امری ضروری بوده است. در گذشته روش‌هایی مانند غوطه‌وری در نمک، خشک کردن و غیره مرسوم بوده و برخی از این روش‌ها امروزه نیز رایج هستند [۲]؛ اما با توجّه به افزایش تقاضاهای جدید مصرف‌کنندگان، تغییرات بازار جهانی و طولانی‌شدن مسیر توزیع کالاها، همچنین تغییر سبک زندگی مصرف‌کنندگان و افزایش نیاز به غذاهای آماده موجب به وجود آمدن چالش‌های جدیدی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی(Farugh.kh@znu.ac.ir).

۲- استادیار، زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی.

(× نویسنده مسئول: i.shahabi@znu.ac.ir)

به نام بسته‌بندی فعال[1] در عرصه صنایع بسته‌بندی مواد غذایی گردیده است [۳، ۴].

بسته‌بندی فعال عبارتست از: یک سامانه بسته‌بندی که حاوی ترکیباتی با ویژگی‌های خاص است که با گنجاندن این ترکیبات به شکل‌های مختلف در بسته‌بندی، از طریق انتشار خود در اطراف ماده غذایی و یا جذب مواد اطراف ماده غذایی باعث افزایش کیفیت و ماندگاری موادغذایی در بسته‌بندی می‌شوند. از همین رو، بسته‌بندی فعال موادغذایی به عنوان یک عامل در حفظ کیفیت موادغذایی و همچنین نفوذناپذیری در برابر عوامل خارجی ایجاد فساد، عملکرد فوق‌العاده‌ای ایفا می‌کند[۱]. از جمله سامانه‌های مهم بسته‌بندی فعال می‌توان به جاذب‌های اکسیژن اشاره کرد.

۲- جاذب‌های اکسیژن

طبق مطالعات سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد [2] سالانه بیش از ۱/۳ میلیارد تن ضایعات پنهانی ناشی از تولید در صنایع غذایی گزارش شده است [۲، ۵]. اکسیژن به عنوان یکی از عوامل اصلی فساد در موادغذایی، با ایجاد رنگ تیره در گوشت تازه، اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع در صنعت روغن، کنسرو ماهی و خشکبارهایی مانند گردو، از دست دادن عطر و رنگ چای، قهوه و اکسایش طعم روغنی آن‌ها، اکسیداسیون ویتامین‌های محلول در آب (اسید آسکوربیک)، تشدید تنفس در میوه‌ها و سبزی‌ها، تسریع بیاتی نان، همچنین رشد قارچ‌ها، باکتری‌های هوازی و تشدید رشد حشرات و لاروها در داخل انبارهای موادغذایی، موجب ضرر و زیان‌های فراوانی می‌شود [۲، ۶ و ۸].

در سال‌های اخیر از روش‌هایی مانند: پرکردن تحت خلأ، تزریق گاز خنثی، پرکردن داغ، بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده[3] به منظور کاهش یا حذف مقدار اکسیژن در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده شده است [۱]. اما این روش‌ها نمی‌توانند به‌طور کامل مانع واکنش اکسیژن با ماده غذایی شوند. از این رو بسته‌بندی‌های جاذب اکسیژن به عنوان یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین انواع بسته‌بندی فعال، برای رفع این مشکل مورد توجّه محققان و دانشمندان قرار گرفته‌اند [۸، ۹].

جاذب اکسیژن به ماده فعال شیمیایی یا بیولوژیکی گفته می‌شود که با گنجاندن آن در داخل بسته‌بندی موادغذایی، مانع واکنش اکسیژن باقی‌مانده در ماده غذایی یا اکسیژن ناشی از نقص بسته‌بندی که به داخل بسته نفوذ کرده، یا ترکیبات حساس به اکسیژن در ماده غذایی شوند، و غلظت اکسیژن داخل بسته‌بندی را به طور غیرقابل برگشت به کمتر از ۰/۰۱ درصد کاهش می‌دهد [۹، ۱۰].

۲-۱- ویژگی‌های یک جاذب اکسیژن در بسته‌بندی موادغذایی

۱- جاذب‌های مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی برای سلامتی انسان نباید خطرآفرین باشد، زیرا ممکن است به‌طور تصادفی دُز بالایی از آن توسط مصرف‌کننده استفاده شود.

۲- سرعت جذب اکسیژن مناسبی داشته باشد. اگر سرعت جذب اکسیژن بالا باشد، در طول وارد کردن جاذب به بسته، ظرفیت جذب اکسیژن کاهش می‌یابد. اگر سرعت جذب اکسیژن کم باشد؛ جاذب نمی‌تواند به طور مناسبی از مواد غذایی در برابر اکسیژن محافظت کند.

۳- دارای ابعاد کوچک و کارایی با کیفیت ثابت باشد. به‌طوری که به آسانی بتوان از آن در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده کرد.

۴- توانایی جذب اکسیژن بالایی داشته باشد.

۵- ترکیبات سمّی، گاز و بوهای نامطبوع تولید نکند.

۶- از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه باشد [۸، ۱۱، ۱۲].

1- Active Packaging
2- Food and Agriculture Organization
3- Modified Atmosphere Packaging

۲-۲- طبقه‌بندی جاذب‌های اکسیژن

جاذب‌های اکسیژن براساس نوع مکانسیم خود به دو دسته کلی: جاذب‌های شیمیایی و بیولوژیکی تقسیم‌بندی شده‌اند.

۲-۲-۱- جاذب‌های شیمیایی اکسیژن

در داخل ساختار جاذب‌های شیمیایی اکسیژن، ترکیبات شیمیایی به منظور حذف یا کاهش اکسیژن موجود در قسمت فوقانی بسته‌بندی موادغذایی گنجانده شده‌اند. این نوع بسته‌بندی به دو دسته زیر طبقه‌بندی می‌شود:

۱- جاذب‌های فلزی شامل اکسیدهای آهن، نمک‌های فلزی، کاتالیست‌های فلزی (پلاتین) و اکسیدهای فلزات فوتوکاتالیست[1] مانند (TiO_2, ZnO, SiO_X) است.

۲- جاذب‌های غیرفلزی شامل اکسیدهای اسیدها (ویتامین محلول در آب مثل ویتامین ث یا اسید آسکوربیک[2]، اسیدهای چرب اشباع نشده)، رنگ‌های حساس به نور و نمک آسکوربات[3] است [۸، ۱۳].

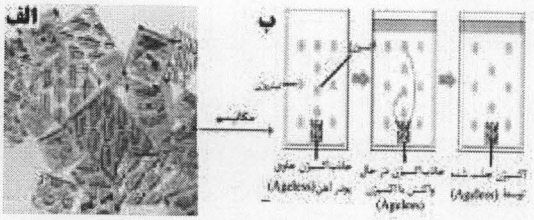
به علت محدودیت‌هایی مانند نیاز به آب برای فعال‌سازی، ایجاد رنگ نامناسب در بسته‌بندی مواد غذایی و ظرفیت محدود جاذب‌های فلزی موجب گردیده تا استفاده از این نوع جاذب‌ها محدودتر شود [۱۳].

۲-۲-۱-۱- جاذب‌های فلزی اکسیژن بر پایه اکسیدهای آهن

نوارهای پلاستیکی حاوی پودر آهن برای نخستین بار توسط شرکت ژاپنی به عنوان جاذب‌های اکسیژن مورد استفاده قرار گرفتند [۸، ۱۴]. در این روش ابتدا کیسه‌های حاوی پودر آهن با استفاده از دمای ذوب به‌صورت لایه‌های فیلم تهیه و برای حذف یا کاهش اکسیژن در داخل بسته‌بندی مواد غذایی بکار گرفته شدند. جاذب‌های بر پایه اکسیداسیون آهن در حضور رطوبت شروع به فعالیت می‌کنند. این نوع جاذب‌ها بر اساس نیاز به رطوبت به دو نوع جاذب خود به خود واکنش‌دهنده و وابسته به رطوبت تقسیم‌بندی می‌شوند.

1- Photocatalyst
2- Ascorbic Acid
3- Ascorbate Salt

جاذب‌های خود به خود واکنش‌دهنده که رطوبت در داخل بسته آن‌ها مهیّا شده با قرار گرفتن در معرض اکسیژن سریع وارد واکنش می‌شوند؛ اما جاذب‌های وابسته به رطوبت با قرار گرفتن در معرض هوای آزاد وارد واکنش نمی‌شوند، بنابراین این نوع جاذب، پس از قرار گرفتن در داخل بسته‌بندی با گرفتن رطوبت موادغذایی واکنش خود را شروع می‌کند[۸، ۱۵].



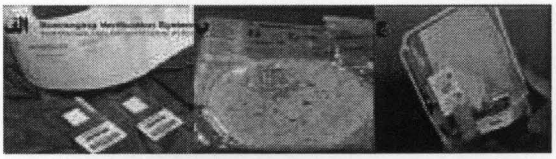
شکل ۱- الف) جاذب اکسیژن بر پایه آهن ب) مکانیسم جذب اکسیژن توسط جاذب‌های بر پایه آهن

امروزه جاذب‌های اکسیژن بر پایه اکسیداسیون آهن به شکل کیسه‌های کوچک پودری، فیلم و برچسب به‌صورت تجاری در بازار جهانی موجود می‌باشند؛ اما این نوع جاذب‌ها به دلیل نداشتن سطح متخلخل، واکنش کمتری با اکسیژن انجام می‌دهند و از سوی دیگر، به دلیل امکان نفوذ پودر آهن به داخل موادغذایی در زمان باز کردن درب آن، یا خورده شدن کیسه‌های حاوی پودر آهن توسط مصرف‌کننده، امکان ایجاد رنگ نامناسب در اثر واکنش با دیواره بسته‌بندی و واکنش کند این جاذب‌ها موجب نگرانی‌های فراوانی از دیدگاه مصرف‌کننده و تولیدکننده موادغذایی شده‌اند [۸]. از این رو، استفاده از جاذب‌های اکسیژن بر پایه اکسیداسیون آهن در بسته‌بندی مواد غذایی کمی با محدودیت مواجه شده است.

پاین[4] و همکاران (۱۹۹۸) اثر بسته‌بندی با اتمسفر کنترل‌شده با دی‌اکسید کربن، بسته‌بندی با اتمسفر کنترل‌شده حاوی جاذب اکسیژن اجلس و بسته‌بندی حاوی جاذب اکسیژن را به تنهایی بر میزان شیرابه خارج

4- Payne

شده و ویژگی‌های حسی و میکروبی گوشت به مدّت ۲۰ هفته در دمای ۱/۵ °C مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش، آن‌ها پی بردند که میزان شیرابه خارج شده از گوشت در نمونه‌های حاوی جاذب اکسیژن در مقایسه با گوشتی که تنها در خلأ بسته‌بندی شده کمتر بوده است [۱۶، ۱۷].



شکل۲- انواع جاذب‌های اکسیژن الف) فیلم‌های جاذب اکسیژن ب) کیسه‌های حاوی جاذب اکسیژن ج) برچسب‌جاذب اکسیژن

۲-۲-۱-۲- جاذب‌های اکسیژن بر پایه نمک‌های فلزی

در اوایل سال ۱۹۲۰ میلادی گزارشی در مورد حذف اکسیژن از مواد غذایی با استفاده از مخلوطی از ترکیبات حاوی سولفات‌آهن همراه با مواد جاذب مانند پودر مس و کلرید آمونیوم، روی و نمک‌های فلزات قلیایی منتشر شد. در سال ۱۹۴۰ میلادی پژوهش‌هایی در سطح آزمایشگاهی در ایالت متحده به طور جدّی در مورد حذف اکسیژن در بسته‌بندی‌های بر پایه اکسیداسیون سولفات آهن شروع شد ولی هیچ یک از این پژوهش‌ها به سرعت تجاری نشدند [۸].

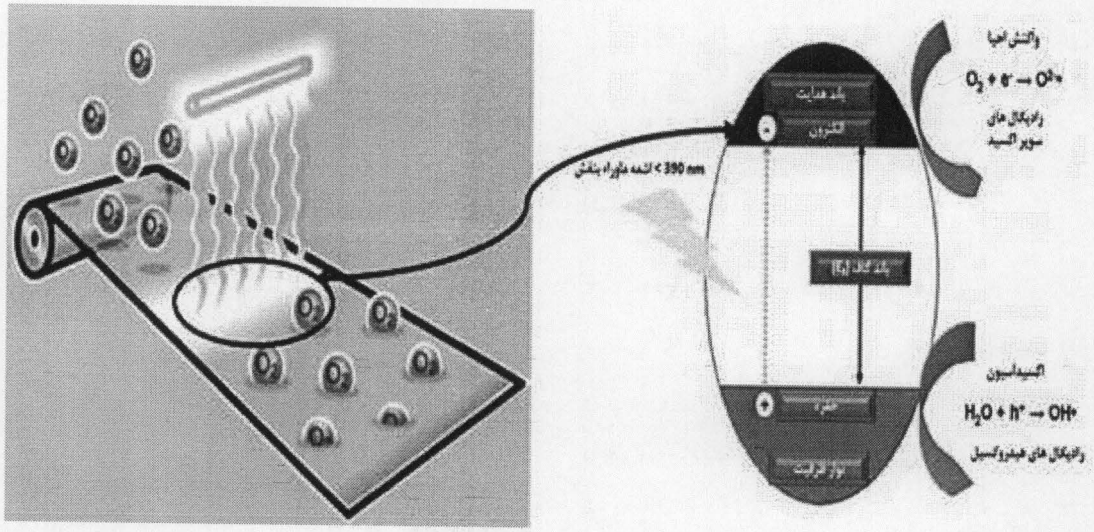
تحقیقات اولیه بر روی سامانه‌های جاذب اکسیژن نخستین بار توسط یک شرکت وابسته به ارتش ایالات متحده آمریکا در مورد مواد غذایی خشک انجام شده‌اند. در این سامانه باید محصول در قوطی‌های فلزی که حاوی کمتر از ۸ درصد گاز هیدروژن بود، بسته‌بندی شوند. به این ترتیب، هیدروژن و اکسیژن در کنار پالادیوم[1] با هم واکنش می‌دهند و اکسیژن از محیط حذف می‌شود. پژوهش‌های بعدی نشان دادند امکان جاسازی پالادیوم در یک فیلم بسته‌بندی نیز وجود دارد. از این رو، از چنین سامانه‌ای در بسته‌بندی‌های قابل انعطاف نیز می‌توان استفاده کرد. علاوه بر این، در این سامانه به جای استفاده از گاز هیدورژن می‌توان از کلسیم هیدرید[2] استفاده کرد. این ماده با جذب رطوبت محیط تولید هیدروژن می‌کند. به این ترتیب، هیدروژن مورد نیاز برای واکنش تأمین می‌شود. ولی با توجّه به مخاطرات استفاده از هیدروژن، استفاده از چنین سامانه‌های مورد استقبال قرار نگرفته است [۸، ۱۸].

۲-۲-۱-۳- جاذب‌های اکسیژن بر پایه فلزات فتوکاتالیستی

لی[3] و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی اثر نور فرابنفش را بر روی ساختار فوتوکاتالیست دی‌اکسید تیتانیوم به‌عنوان جاذب‌اکسیژن در فیلم‌های نانوکامپوزیتی را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش آن‌ها دریافتند که دی‌اکسید تیتانیوم در حضور اشعه فرابنفش موجب تشکیل جفت زوج الکترون-حفره می‌گردد. این جفت زوج الکترون- حفره بسیار واکنش‌پذیر می‌باشند و در حضور اکسیژن یا آلاینده‌ها مانع ترکیب مجدّد آن‌ها با هم و در نتیجه منجر به واکنش الکترون-حفره با آن‌ها می‌گردد. واکنش اکسیداسیون و احیا دی‌اکسید تیتانیوم منجر به کاهش میزان اکسیژن و آلاینده می‌گردد. این فیلم نانوکامپوزیتی حاوی دی‌اکسید تیتانیوم به‌صورت لایه‌های شیشه‌ای و پلاستیکی قابل مشاهده هستند. آنالیز طیف‌سنجی جذب گذرا[4] در مورد این فیلم نانوکامپوزیت نشان داده است که الکترون‌های دی‌اکسید تیتانیوم تحت شرایط هوازی با سرعت ثابت $70\ s^{-1}$ با اکسیژن وارد واکنش می‌شوند و باعث کاهش یا به عبارت دیگر حذف آن می‌گردند[۱۹].

1- Palladium

2- Calcium Hydride
3- Lee
4- Transient Absorption Spectroscopy



شکل۳- شمایی از مکانیسم جاذب‌های اکسیژن بر پایه خصوصیات فوتوکاتالیستی فلزات [۲۰, ۲۱]

محققان[1] و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی خاصیت فتوکاتالیست مهارکننده اکسیژن در فیلم‌های پلیمری انعطاف‌پذیر پرداخته‌اند. آن‌ها در این پژوهش از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در فیلم با بستر پلیمری اتیل‌سلولز همراه با تری‌اتانول‌آمین[2] به‌عنوان عامل کاهنده الکترون و همچنین بدون استفاده از آن، در داخل یک ظرف شیشه‌ای که توسط اوکتادسیل‌پورفیرین‌پلاتین[3] پوشش داده شده بود، استفاده کردند. و نتایج این پژوهش، نشان داد که فیلم حاوی فتوکاتالیست قادر است اکسیژن را با سرعت متوسط cm^3h^- $۰/۰۱۷^{1}cm^{-2}$ در یک دوره ۲۴ ساعته جذب و از دسترس خارج کند. آن‌ها دریافتند این روش در مقایسه با روش‌های سنتی مهار اکسیژن مطلوب‌تر است و پتانسیل خوبی برای استفاده در صنایع بسته‌بندی دارد [۲۵].

۲-۲-۱-٤- جاذب‌های غیرفلزی بر پایه آسکوربات و اسید آسکوربیک

در سال ۱۹۹۰ میلادی شرکت توپان[4] در کشور ژاپن جاذب‌هایی بر پایه اسید آسکوربیک تهیه و به بازار عرضه کرد. این نوع جاذب‌ها به منظور فعال شدن نیاز به حضور رطوبت دارند [۸]. لی و همکاران (۲۰۱۱) در یک پژوهش خواص کاهش میزان اکسیژن با استفاده از مواد جاذب آسکوربات سدیم و آهن اصلاح‌شده را در شبکه پلی‌اتیلن بررسی کردند. علاوه بر آن‌ها در پژوهش دیگری که توسط یانگ‌جی شین و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد، دو نوع فیلم پلی‌اتیلن حاوی جاذب‌های اکسیژن آسکوربیک اسید و آسکوربات سدیم به همراه آهن اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعات برای تهیه فیلم‌های جاذب اکسیژن معمولاً از چند نوع ترکیب استفاده می‌شود و اصولاً استفاده از سامانه‌های آمیزه‌ای به این دلیل است که هر جزء به تنهایی حاوی تمامی خواص مورد انتظار نیست، در نتیجه مخلوطی از دو یا چند پلیمر که هر یک حاوی خواص مخصوصی می‌باشند، تهیه می‌شود تا تمامی خواص مورد انتظار در قالب پلیمر مخلوط یا آمیزه به‌دست آید. در مورد عایق‌ها نیز این روش متداول است[۲۳، ۲۴].

۲-۲-۱-۵- جاذب‌های غیرفلزی اسیدهای چرب غیراشباع

در سال(۱۹۹۱) میلادی یک شرکت آمریکایی با استفاده از هیدروکربن‌های غیراشباع توانست سامانه‌ها و لفاف‌هایی را به صورت جاذب اکسیژن طراحی کند. این سامانه‌های جاذب اکسیژن با قرار گرفتن در معرض نور فرابنفش فعال

1- Milz
2- Triethanolamine
3- Platinum Octaethyl Porphyrin
4- Toppan

می‌شوند و با به کارگرفتن این نوع جاذب اکسیژن در محصولات گوشتی خشک شده یا دود داده می‌توان میزان اکسیژن درون بسته را در مدّت ۴ تا ۱۰ روز از یک درصد به چند قسمت در میلیون(ppm)[1] رساند. این سامانه در سال (۱۹۹۸) میلادی به صورت تجاری وارد بازار شد [۱۷].

۲-۲-۱-۶- جاذب‌های غیرفلزی بر پایه رنگ‌های حساس به اکسیژن

در سال ۱۹۸۰ میلادی محققین استرالیایی سامانه‌ای بر مبنای واکنش با اکسیژن یگانه طراحی کردند (اکسیژنی که در معرض نور برانگیخته می‌شود و به صورت یک رادیکال آزاد عمل می‌کند). فیلم‌های پلیمری مورد استفاده در این سامانه دارای رنگدانه‌های حساس به نور[2] و پذیرنده اکسیژن یگانه بودند. نقش رنگدانه‌های حساس به نور، جذب انرژی نور و انتقال آن به اکسیژن و تبدیل آن به اکسیژن یگانه بود. وقتی نور مرئی به این بسته‌ها می‌تابید مولکول‌های رنگی تحریک می‌شدند و اکسیژنی را که از محیط اطراف بسته به داخل منتشر می‌شد به اکسیژن یگانه تبدیل می‌کردند. اکسیژن یگانه تولید شده با پذیرنده اکسیژن واکنش می‌دهد. این واکنش تا زمانی که نور روی بسته تابیده شود و پذیرنده وجود داشته باشد ادامه می‌یابد. یکی از مزایای چنین سامانه‌ای عدم نیاز به قرار دادن بسته‌های جاذب اکسیژن در داخل بسته‌بندی ماده غذایی است. عیب اصلی این سامانه نیز این است که واکنش در تاریکی انجام نمی‌شود [۲۵].

یک شرکت انگلیسی در زمینه فنّاوری بسته‌بندی فعال نوعی جاذب‌های اکسیژن بر پایه رزین و رنگ‌های حساس به اکسیژن را به بازار عرضه کرده است که می‌تواند در بسته‌بندی محصولات مانند قطعات گوشت پخته شده مورد استفاده قرار گیرد. این جاذب‌ها حدود ۲۰۰-۱۰۰ سانتی‌متر مکعب ظرفیت جذب اکسیژن دارند [۲۶].

محققان[3] ثبت اختراعی مربوط به تولید رزین‌های جاذب اکسیژن و جاذب رنگ را در سال (۲۰۰۵) ثبت کردند. این رزین‌ها حاوی ترکیباتی مانند پلی‌بوتیلن نفتالات یا پلی‌بوتیلن ترفتالات[4] و یا ترکیبی از پلی‌اتیلن ترفتالات با پلی‌تری‌متیلن‌نفتالات، مخلوطی از ذرّات آهن (مخلوط ذرّات آهن در محدوده ۱ تا ۵۰ میکرون با نانوذرّات آهن در ابعاد ۵ تا ۵۰ نانومتر)، هالید فلزی(کلرید پتاسیم یا کلرید سدیم)، آسکوربات و فلزات خانواده بی‌سولفات قلیایی است.

در این رزین پلی‌استری، ذرّات آهن حدود ۲۵ درصد مواد تشکیل‌دهنده آن را تشکیل می‌دهند، بنابراین به‌منظور کاهش اکسیداسیون آهن قبل از استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی آن را در شرایط بی‌هوازی نگهداری می‌کنند. آن‌ها مخلوطی از ذرّات آهن همراه با رزین را در دمای ۲۶۰ تا ۲۸۵ درجه سیلسیوس کلسینه نموده و مخلوط یکنواختی از رزین- آهن تهیه کرده‌اند. به‌طوری که در نهایت مقدار ذرّات آهن در رزین به(۳۵۰۰- ۲۵۰۰) ppm می‌رسد. هدف از افزودن ترکیباتی مانند هالید فلزی، آسکوربات و فلزات خانواده بی‌سولفات قلیایی در ساختار رزین، افزایش سرعت واکنش اکسیداسیون، جذب سریع اکسیژن، ترکیبات رنگی و خارج کردن این عوامل از دسترس مواد غذایی حساس به اکسیژن مانند انواع لبنی، نوشیدنی‌های میوه‌ای و غیره است [۲۷].

۲-۲-۲- جاذب‌های بیولوژیکی اکسیژن

یکی از روش‌های حذف یا کاهش اکسیژن، استفاده از جاذب‌های بیولوژیکی است. در این روش با گنجاندن یک موجود زنده هوازی به صورت یک کیسه در داخل یا دیواره بسته‌بندی از واکنش اکسیژن با موادغذایی جلوگیری می‌شود. جاذب‌های بیولوژیکی اکسیژن به دو دسته جاذب‌های بر پایه اکسیداسیون آنزیمی (گلوکزاکسیداز[5]/آنزیم کاتالاز[6]) و مخمرهای تثبیت شده روی یک سطح جامد تقسیم‌بندی می‌شوند.

1- Part Per Million
2- Photosensitizer
3- Tammaji, K., & Harish, B.

4- Poly Butylene Terephthalate
5- Glucose Oxidase Enzymes
6- Catalase Enzymes

۲-۲-۲-۱- جاذب بیولوژیکی اکسیژن بر پایه اکسیداسیون آنزیمی

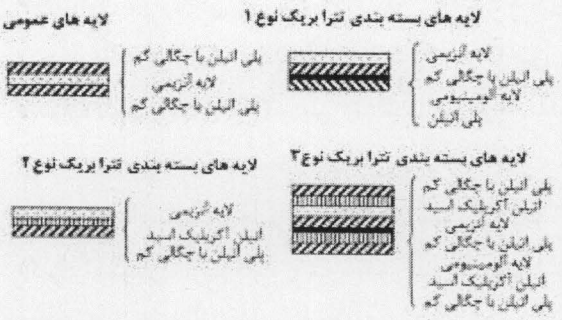
استفاده از آنزیم‌ها به‌عنوان جاذب‌اکسیژن به اوایل سال ۱۹۰۰ میلادی باز می‌گردد. در سال ۱۹۵۶ میلادی اختراعی در مورد بسته‌بندی‌های پلی‌اتیلن حاوی گلوکزاکسیداز/ آنزیم کاتالاز و همچنین آنزیم گلوکز اکسیداز به تنهایی در فیلم‌های سلوفان[1] ثبت شده است. در سال ۱۹۸۹ میلادی یک شرکت کار آفرینی از ترکیب دو آنزیم گلوکز اکسیداز/ آنزیم کاتالاز[2] در بسته‌بندی موادغذایی به منظور حذف اکسیژن استفاده کرد ولی این سامانه تجاری‌سازی نشد. همان طور که در (رابطه ۱) نشان داده شده است. ابتدا آنزیم گلوکزاکسیداز با مصرف دو مول قند گلوکز و دو مول اکسیژن موجود، تولید هیدروژن‌پراکسید می‌نماید. آنگاه در مرحله دوم (رابطه ۲)، آنزیم کاتالاز با مصرف هیدروژن‌پراکسید یک مول اکسیژن و دو مول آب تبدیل می‌کند. به این ترتیب در هر مرحله این واکنش دو مول اکسیژن مصرف و یک مول تولید می‌شود. به این ترتیب به مرور در نتیجه فعالیت این دو آنزیم، اکسیژن از دسترس خارج می‌شود. [۲۸۸].

(رابطه ۱)

$$2glucose + 2O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Gluconic\ \ acid + 2H_2O_2$$

(رابطه ۲)

$$H_2O_2 + Catalase \rightarrow 2H_2O + O_2 + Catalase$$



شکل ٤- شمایی از فیلم‌های آنزیمی جاذب اکسیژن [۲۹].

۲-۲-۲-۲- جاذب بیولوژیکی اکسیژن بر پایه مخمرهای تثبیت شده روی یک سطح جامد

آلتری[3] و همکاران (۲۰۰۴) اثر میکروارگانیسم‌های کوکاریا واریانس[4] و پیچیا ساب‌پلیکاپسا[5] محبوس در بستر هیدروکسی اتیل‌سلولز و پلی‌وینیل‌الکل را به عنوان جاذب بیولوژیکی اکسیژن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کوکاریا واریانس برای استفاده به عنوان عامل فعال مناسب‌تر بوده و پلی‌وینیل‌الکل برای محبوس کردن میکروارگانیسم نسبت به اتیل سلولز مناسب‌تر است زیرا میکروارگانیسم‌ها در چنین بستری می‌توانند با سرعت بیشتری فعالیت نمایند [۳۰].

۳- مهاجرت ترکیبات جاذب‌های اکسیژن به مواد غذایی

مبحث مهاجرت در بسته‌بندی مواد غذایی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌هایی است که رابطه مستقیمی با سلامت مصرف‌کننده دارد. در سال‌های اخیر با گسترش انواع بسته‌بندی‌های جاذب اکسیژن در صنایع بسته‌بندی موادغذایی حساس به اکسیژن، چالش‌هایی در مورد امکان مهاجرت ترکیبات جاذب اکسیژن از بسته‌بندی به موادغذایی مورد توجّه محققان قرار گرفته است.

تحقیقات این محققان نشان داده است که بیشتر ترکیبات مهاجر به شکل‌های مختلف از جمله گاز، مایع و جامد ناشی از حضور جاذب اکسیژن در بسته‌بندی مواد غذایی، سمّی هستند. از این رو، دستورالعمل‌هایی در مورد میزان مجاز جاذب اکسیژن و نحوه استفاده از آن در بسته‌بندی موادغذایی توسط سازمان غذا و داروی آمریکا[6] به منظور حفظ ایمنی و سلامت مصرف‌کنندگان تهیه گردیده است. همچنین محققان به منظور رفع این مشکل به دنبال ترکیبات جاذب اکسیژن طبیعی غیرسمّی جهت

1- Cellophane Films
2- Catalase

3- Altieri
4- Kocuria Varians
5- Pichia Subpelliculosa
6- Food and Drug Administration (FDA)

استفاده از آن‌ها به عنوان جاذب اکسیژن طبیعی در بسته‌بندی موادغذایی هستند [۳۱، ۳۲].

٤- اشباع شدن جایگاه‌های فعال در جاذب‌های اکسیژن

یکی از مهم‌ترین معایب جاذب‌های اکسیژن، ظرفیت اشباع شدن پایین آن‌ها است. در سال‌های اخیر، یکی از موضوعات ویژه مورد توجّه محققان، بکارگیری راه‌حل‌های مناسب و مقرون به صرفه، جهت رفع مشکلات ناشی از اشباع شدن ظرفیت جاذب‌های اکسیژن و همچنین افزایش کارایی و سرعت عمل جاذب‌های اکسیژن مورد استفاده در بسته‌بندی‌های فعال مواد غذایی بوده است. ظرفیت اشباع شدن یک جاذب اکسیژن به عوامل مختلفی از جمله: میزان اکسیژن موجود در بسته‌بندی مواد غذایی، میزان نفوذپذیری دیواره‌های بسته‌بندی، مقدار جاذب اکسیژن به‌کار گرفته شده و نحوه به‌کار بردن جاذب‌اکسیژن در بسته‌بندی بستگی دارد. بیشتر جاذب‌های اکسیژن به جزء جاذب بیولوژیکی اکسیژن توانایی تجدیدپذیری ندارند به‌طوری که بعد از مدّتی در حضور اکسیژن اشباع می‌شوند و توانایی جذب اکسیژن خود را از دست می‌دهند؛ اما عامل محدودکننده در جاذب‌های بیولوژیک از جمله مقدار مواد مغذّی جهت زندمانی میکروارگانیسم جاذب اکسیژن وجود دارد. از این رو، امروزه محققان از مخلوطی از شکل‌های مختلف جاذب‌های اکسیژن همراه با به‌کارگیری روش‌های مختلف بسته‌بندی (مانند: داغ پر کردن، تحت خلأ، اتمسفر کنترل شده و غیره) جهت حذف یا کاهش اکسیژن و طولانی شدن زمان اشباعیت جاذب‌های اکسیژن استفاده می‌کنند[۳۱، ۳۲].

٥- نتیجه گیری

مواد غذایی در حضور اکسیژن باعث ضرر و زیان‌های غیرقابل برگشتی در صنایع مختلف از جمله صنعت غذا می‌شوند. روش‌های رایج در بسته‌بندی نمی‌توانند به طور کامل اکسیژن موجود در داخل بسته‌های مواد غذایی را خارج کنند. روند رو به رشد جمعیت جهان و افزایش نیازهای تغذیه‌ای باعث شد تا محققان جهت حذف اکسیژن و رفع مشکلات اکسیداسیون از جاذب‌های شیمیایی و بیولوژیکی مختلف متناسب با نوع ماده‌غذایی حساس به اکسیژن برای حذف اکسیژن استفاده کنند. جاذب‌های اکسیژن در آینده‌ای نزدیک به عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌های فعال جهت افزایش عمر ماندگاری موادغذایی به‌طور گسترده جایگزین روش‌های سنتی بسته‌بندی موادغذایی می‌شوند.

٦- منابع

1. Ramos, M., Valdés, A., Mellinas, A. C., & Garrigós, M. C. (2015). **"New trends in beverage packaging systems: a review.** "Beverages, 1(4), 248-272.
2. Cichello, S. A. (2015). **"Oxygen absorbers in food preservation: a review. "** Journal of food science and technology, 52(4), 1889-1895.
3. Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E., & Tobback, P. (2008). **"Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns."** Trends in Food Science & Technology, 19, S103-S112.
4. Demicheva, M. (2015). **"Novel oxygen scavenger systems for functional coatings."**
5. Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011)**."Global food losses and food waste (pp. 1-38)."** Rome: FAO.
6. Limbo, S., Uboldi, E., Adobati, A., Iametti, S., Bonomi, F., Mascheroni, E., & Piergiovanni, L. (2013). **"Shelf life of case-ready beef steaks (Semitendinosus muscle) stored in oxygen-depleted master bag system with oxygen scavengers and CO 2/N 2**

modified atmosphere packaging." Meat science, 93(3), 477-484.

7. Saranraj, P. (2012). **"Microbial spoilage of bakery products and its control by preservatives."** International Journal of Pharmaceutical & Biological Archive, 3(1).
8. Brody, A. L., Strupinsky, E. P., & Kline, L. R. (2001). **"Active packaging for food applications."** CRC press.
9. Solovyov, S. E. (2014). **"Oxygen scavengers."** Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology.
10. Mahajan, K. (2010). Synthesis and characterization of new active barrier polymers (Doctoral dissertation, University of Toledo).
11. Rooney, M. L. (1995). Overview of active food packaging. In Active food packaging (pp. 1-37). Springer US.
12. Brody, A. L., Strupinsky, G. R., & Pruskin, L. R. (1995). **"The use of oxygen scavengers and active packaging to reduce oxygen within internal package environments."** RUBBRIGHT-BRODY INC EAGAN MN.
13. Coles, R., McDowell, D., & Kirwan, M. J. (Eds.). (2003). **"Food packaging technology (Vol. 5)."** CRC Press.
14. Lee, S. K., Sheridan, M., & Mills, A. (2005). **"Novel UV-activated colorimetric oxygen indicator of materials,"** 17(10), 2744-2751.
15. Labuza, T. P., & Breene, W. (1989). **"Application of 'active packaging 'technologies for the improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods."** In Nutritional Impact of Food Processing (Vol. 43, pp. 252-259). Karger Publishers.
16. Payne, S. R., Durham, C. J., Scott, S. M., & Devine, C. E. (1998). **"The effects of non-vacuum packaging systems on drip loss from chilled beef."** Meat science, 49(3), 277-287.
17. Kerry, J. P., O'grady, M. N., & Hogan, S. A. (2006). **"Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review."** Meat science, 74(1), 113-130.
18. Warmbier, H. and M. Wolf, (1976). **"Miraflex 7 Scavenger Web."** Modern Packaging, 49(38): p. 40-41.
19. Xiao-e, L., Green, A. N., Haque, S. A., Mills, A., & Durrant, J. R. (2004). **"Light-driven oxygen scavenging by titania/polymer nanocomposite films."** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 162(2), 253-259.
20. Altay, P. (2014)." **Visible light-active non-metal doped titanium dioxide materials for photocatalytic oxidation (Doctoral dissertation,"** Bilkent University).
21. Cruz, R. S., Camilloto, G. P., & dos Santos Pires, A. C. (2012). **"Oxygen scavengers: an approach on food preservation. In Structure and Function of Food Engineering."** InTech.
22. Mills, A., Doyle, G., Peiro, A. M., & Durrant, J. (2006). **"Demonstration of a novel, flexible, photocatalytic oxygen-scavenging polymer film."** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 177(2), 328-331.
23. Cui, L., Xu, L. P., Tsai, F. C., Zhu, P., Jiang, T., & Yeh, J. T. (2011). **"Oxygen depletion properties of glucose-grafted polyethylene resins filled with sodium ascorbate/modified iron compounds."** Journal of

Polymer Research, 18(6), 1301-1313.
24. Shin, Y., Shin, J., & Lee, Y. S. (2011). **"Preparation and characterization of multilayer film incorporating oxygen scavenger."** Macromolecular research, 19(9), 869-875.
25. Cooksey, K. (2010). **"Oxygen scavenging packaging systems."** Encyclopedia Of Polymer Science and Technology.
26. Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K., & Bigger, S. W. (2003). **"Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications."** Journal of food science, 68(2), 408-420.
27. Tammaji, K., & Harish, B. (2005). **"U.S. Patent Application No."** 11/235,061.
28. Scott, D., & Hammer, F. (1961). **"Oxygen-scavenging packet for in-package deoxygenation. "** Food Technology, 15(2), 99.
29. Andersson, M., Andersson, T., Adlercreutz, P., Nielsen, T., & Hörnsten, E. G. (2002). **"Toward an enzyme-based oxygen scavenging laminate. Influence of industrial lamination conditions on the performance of glucose oxidase."** Biotechnology and bioengineering, 79(1), 37-42.
30. Altieri, C., Sinigaglia, M., Corbo, M. R., Buonocore, G. G., Falcone, P., & Del Nobile, M. A. (2004). **"Use of entrapped microorganisms as biological oxygen scavengers in food packaging applications."** LWT-Food Science and Technology, 37(1), 9-15.
31. Cruz, R. S., Camilloto, G. P., & dos Santos Pires, A. C. (2012). **"Oxygen scavengers: an approach on food preservation."** In Structure and Function of Food Engineering. InTech.
32. Gaikwad, K. K., Singh, S., & Lee, Y. S. (2018). **"Oxygen scavenging films in food packaging."** Environmental Chemistry Letters, 1-16.

آدرس نویسنده

زنجان - دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی - گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی - کدپستی ۴۵۳۷۱-۳۸۷۹۱.