



۲۰th National Food Science & Industries Congress  
Sharif University of Technology, Tehran, Iran

## **کاربرد جاذب‌های اکسیژن در بسته‌بندی مواد غذایی**

یونس زاهدی، دانشجوی مقطع دکترای رشته علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

Email: Younes.zahedi@gmail.com

ناصر صداقت، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

Email: sedaghat1@yahoo.com

### **چکیده**

در اکثر موارد عامل فساد مواد غذایی وجود اکسیژن می‌باشد. زیرا اکسیداسیون ماده غذایی، رشد کپکها و باکتریهای هوایی در حضور اکسیژن صورت می‌گیرد. برای حذف اکسیژن از بسته‌بندی ماده غذایی عمدتاً از روش‌های اتمسفر اصلاح شده و بسته‌بندی تحت خلاً استفاده می‌شود. ولی این روشها نمی‌توانند اکسیژن را بطور کامل حذف نمایند و معمولاً ۰/۱-۲٪ اکسیژن داخل بسته‌بندی باقی می‌ماند. علاوه بر این در طول تکه‌داری نیز مقداری اکسیژن وارد بسته‌بندی می‌شود. جاذب‌های اکسیژن می‌توانند مقدار اکسیژن را به کمتر از ۰/۰۱ درصد کاهش داده و در این سطح حفظ نمایند. جاذب‌های اکسیژن به وسیله واکنشهای شیمیایی یا آنزیمی اکسیژن را حذف نموده و بنابراین فساد ماده غذایی و افت کیفیت آنرا به تعویق می‌اندازند. در مقاله حاضر سیر تحول تاریخی استفاده از جاذب‌های اکسیژن، انواع و مکانیسم عمل جاذب‌ها، کاربرد جاذب‌ها در بسته‌بندی، نحوه انتخاب جاذب‌ها و انواع تجاری مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

**کلمات کلیدی:** بسته‌بندی، اکسیژن، فساد ماده غذایی، جاذب اکسیژن.

## ۱. مقدمه

اکسیژن باقیمانده در بسته غذایی و همچنین اکسیژنی که بعداً وارد بسته می شود با ماده غذایی واکنش داده و تاثیرات نامطلوبی از خود به جا می گذارد و نهایتاً باعث افت کیفیت و عمر ابزاری ماده غذایی می گردد. البته وجود اکسیژن در بسته همیشه نامطلوب نیست. مثلاً بسته بندی های میوه جات و سبزیجات تازه باید تا حدودی نفوذپذیر به اکسیژن باشد تا میوه یا سبزی تنفس نماید. در غیر این صورت میوه یا سبزی به جای تنفس تخمیر انجام داده و ترکیبات الکلی، که طعم ترشیدگی به ماده غذایی می دهند، تولید می شود. همچنین اگر بسته بندی گوشتش نفوذپذیری کمی به اکسیژن داشته باشد فشار اکسیژن تا آن حد سقوط می کند که باعث اکسیداسیون میوگلوبین قرمز به مت میوگلوبین قهقهه ای می گردد. برای جلوگیری از چنین اکسیداسیونی، میزان نفوذ اکسیژن به داخل بسته باید حداقل  $5 \text{ l/m}^3 \cdot \text{d.atm}$  باشد. اثرات نامطلوب وجود اکسیژن در بسته بندی مواد غذایی به شرح ذیل می باشد (۱):

- ۱- تند شدگی اکسیداتیو چربیهای غیرآشیاع که منجر به بد طعمی و در شدیدترین حالت تولید ترکیبات سمی در ماده غذایی می گردد.
- ۲- افت ویتمین ث به خصوص در غذاهایی که از میوه و یا سبزی تهیه شده اند.
- ۳- رشد میکروارگانیسمهای هوایی عامل فساد
- ۴- ایجاد بوی کهنه‌گی در فراورده های نانوایی
- ۵- افزایش تخم حشرات و رشد آنها
- ۶- تشدید تنفس میوه جات و سبزیجات تازه
- ۷- قهقهه ای شدن آنزیمی و غیرآنزیمی میوه جات برش خورده
- ۸- اکسیداسیون مواد عطری و طعمی روغنی در نوشیدنی هایی مثل چای و قهقهه
- ۹- تغییر رنگ شدن رنگدانه های میوه جات و سبزیجات فراوری شده

## ۲. تعاریف

اصطلاح آنتی اکسیدان، حائل<sup>۱</sup> و جاذب<sup>۲</sup> برای موادی بکار می رود که برای حذف اکسیژن با جلوگیری از ورود اکسیژن از محیط اطراف به داخل بسته بندی مواد غذایی و انجام واکنشهای اکسیداسیون استفاده می شوند. معمولاً برخی از این اصطلاحات به جای همدیگر بکار می روند (۳).

آنتری اکسیدانها: آنتی اکسیدانها ترکیباتی هستند که با رادیکالهای لیپید و پروکسید و یا اکسیژن یگانه واکنش داده و یا خودشان اکسید می شوند و ترکیبات غیرسمی و بی ضرری تولید می کنند. این ترکیبات داخل فرمولاسیون غذا استفاده می شوند.<sup>۳</sup> BHT،<sup>۴</sup> BHA<sup>۵</sup> و پروپیل گالات<sup>۶</sup> رایج ترین آنتی اکسیدانهای مورد استفاده هستند. برای به تاخیر انداختن اکسیداسیون فیلم های بسته بندی اولفینی اغلب از ترکیب BHT و BHA استفاده می شود. محدودیتی که آنتی اکسیدانها با آن روپرتو هستند این است که این ترکیبات سرعت عمل پائینی دارند و برای اینکه فعالیت آنتی اکسیدانی کافی از خودشان نشان دهند باید در مقادیر زیاد استفاده شوند.

حائل های اکسیژن: ترکیباتی هستند که سریعاً با اکسیژن ترکیب شده و اکسید می شوند قبل از اینکه اکسیژن با ماده غذایی واکنش داده و اثر نامطلوبی از خود به جا گذارد. این ترکیبات معمولاً و به اشتباه مترادف با آنتی اکسیدانها در نظر گرفته می شوند. در بیشتر محصولات اسید

<sup>۱</sup>- Interceptor

<sup>۲</sup>- Scavenger

<sup>۳</sup> - Butylated hydroxyanisole

<sup>۴</sup> - Butylated hydroxytoluene

<sup>۵</sup> - Propyl gallate

اسکوربیک یک حائل اکسیژن در نظر گرفته می‌شود. ولی در علم بسته بندی این اسید جزء جاذب‌های اکسیژن طبقه بندی می‌گردد. انترپیورها می‌توانند هم در ماده غذایی و هم در ماده بسته بندی به کار گرفته شوند.

**جادب‌های اکسیژن:** اصطلاح جاذب اکسیژن به موادی اطلاق می‌شود که در داخل بسته قرار داده می‌شود و به صورت شیمیایی یا آنزیمی با اکسیژن واکنش داده و غلظت اکسیژن داخل بسته را به کمتر از ۰/۱ درصد کاهش داده و در همین سطح حفظ می‌کند. همچین جاذب‌های اکسیژن می‌توانند از طریق ایجاد اختلاف فشار جزئی باعث شوند اکسیژن موجود در بافت ماده غذایی طبق پدیده انتشار وارد فضای داخل بسته بندی شده و آنرا حذف نمایند. جاذب‌ها سریع عمل نموده و قادر به حذف حجم زیادی از اکسیژن هستند.

برای حذف یا کاهش مقدار اکسیژن موجود در بسته غذایی به هنگام بسته بندی روش‌های زیادی اعمال می‌شود مثل پر کردن تحت خلا، تزریق گاز خنثی، داغ پر کردن، بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده وغیره. ولی این روشها نیز نتوانسته اند اکسیژن را بطور کامل از بسته حذف نمایند و معمولاً ۰/۱ تا ۲ درصد اکسیژن در بسته باقی می‌ماند (۸). همچنین تقریباً همه بسته هایی که بصورت غیر قابل نفوذ به اکسیژن بسته بندی شده اند نیز اندکی نفوذپذیر بوده و اکسیژن می‌تواند از مسیرهای زیر وارد بسته غذایی گردد (۵):

- ۱ - نفوذ از مواد پلاستیکی موجود در درب قوطی و واشر درب ظروف شیشه ای
- ۲ - حفرات و ترکهای موجود در فویلهای آلومینیومی و سایر مواد بسته بندی
- ۳ - خطاهای موجود در هنگام بسته بندی

نقش جاذب‌های اکسیژن را موادی نظری جلوگیری از اکسیداسیون، ممانعت از تند شدگی چربی‌ها و روغن‌ها، جلوگیری از تغییر رنگ رنگدانه‌های گیاهی و حیوانی و همچنین ممانعت از افت ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی از طریق کاهش مقدار ترکیبات ضروری مثل ویتامین‌ها می‌توان نام برد (۲). علاوه بر این جاذب‌های اکسیژن با حذف اکسیژن موجود در بسته باعث مرگ حشرات، کرمها و تخم آنها در غلاتی مانند برنج، گندم و سویا می‌شوند. استفاده از مواد گندздایی مانند برومیدها و متیل دی سولفید نیز باعث کشتن این آفاتها می‌شود. ولی مشکل این مواد این است که بعد از مدتی حشرات و کرمها به این مواد مقاوم می‌شوند. همچنین بقایای این سوم در ماده غذایی می‌مانند. جاذب‌های اکسیژن از رشد کپکها و باکتریهای هوایی و تولید سم توسط آنها جلوگیری می‌کنند. ثابت شده است که کپک‌ها می‌توانند در غلظتهاهای ۱ تا ۲ درصد اکسیژن نیز تکثیر شوند (۲۰). برای اینکه اغلب کپکهای مولد سم نتوانند مایکوتوكسین تولید نمایند غلظت اکسیژن باید ۰/۱ درصد و یا کمتر باشد در اینجا تاثیر جاذب‌های اکسیژن بسته به نفوذ پذیری ماده بسته بندی دارد (۲۴).

هدف از این تحقیق بیان سیر تحول تاریخی استفاده از جاذب‌های اکسیژن، انواع و مکانیسم عمل جاذب‌ها، کاربرد جاذب‌ها در بسته بندی، نحوه انتخاب جاذب‌ها و انواع تجاری آن می‌باشد.

### ۳. تاریخچه استفاده از جاذب‌های اکسیژن

شناسایی واکنشهای ثانویه اکسیژن حدود نیم قرن پیش شروع شد. تحقیقات اولیه روی این قضیه متمرکز شد که اکسیژن بازمانده در بسته یک ماده فعالی است که حذف آن باعث بهبود کیفیت ماده غذایی می‌گردد. در بین ترکیبات ماده غذایی اسید اسکوربیک و آنزیم‌های گلوکز اکسیداز و کاتالاز باعث کاهش اکسیژن بسته می‌شوند. این مواد به قدری در کاهش اکسیژن موثر بودند که داخل کیسه‌های کوچک انعطاف پذیر و نفوذپذیر به گاز قرار داده شده و داخل بسته غذایی گذاشته شدند و نه تنها اکسیژن بسته را حذف کردند بلکه اکسیژنی را که در طول نگهداری وارد بسته می‌شد را نیز حذف می‌کردند (۱۵). در طول سالهای ۱۹۷۰ میلادی بدليل استفاده گسترده از مواد پلاستیکی در بسته بندی، که به اکسیژن نفوذپذیر هستند، نگرانی درباره واکنشهای اکسیداسیون ناشی از اکسیژن موجود در بسته و اکسیژن ورودی افزایش یافت. این نگرانی باعث تولید بسته های کوچکی شد که داخل بسته بندی ماده غذایی تعییه می‌شدند و به صورت شیمیایی با اکسیژن وارد

واکنش شده و آنرا حذف می کردند. این مواد به عنوان زیرگروه بسته بندی فعال<sup>۱</sup> محسوب می شوند (۱۸). در سال ۱۹۲۰ میلادی گزارشهای منتشر شد که با استفاده از مخلوط حاوی سولفات آهن، مواد جاذب الرطوبه، پودر مس، کلرید آمونیوم یا روی و یا نمک فلزات قلایی خاکی اکسیژن را حذف نمایند. در اوایل سال ۱۹۴۰ میلادی در انگلیس تحقیقاتی برای یافتن روشهای حذف اکسیژن از بسته های غذایی بر مبنای اکسیداسیون سولفات آهن انجام گرفت ولی هیچ کدام از روشهای پیشنهادی تجاری نشدند. یک شرکت آمریکائی موفق به تولید جاذب های اکسیژن شد که از آنها در بسته های غذایی خشک متعلق به ارتش آمریکا استفاده کرد. این سیستم مشکل از یک قوطی کنسرو با ترکیب گازی ۸ درصد هیدروژن و ۹۲ درصد ازت بود که با اکسیژن در مجاورت کاتالیزور پالادیم، که روی درب قوطی کنسرو تعییش شده بود، واکنش می داد. تحقیقات بعدی نشان داد که می توان این سیستم را در پلاستیکهای چند لایه ای مانند کیسه های انعطاف پذیر نیز بکار گرفت و گاز هیدروژن به همراه پالادیم را بین لایه ها قرار داد. در یک مورد دیگر به جای گاز هیدروژن از هیدرید کلسیم استفاده کردند و گاز هیدروژن تولیدی با بخار آب حاصل از ماده غذایی واکنش می داد کاتالیزور و هیدرید کلسیم در یک کیسه نفوذپذیر به گاز قرار می گرفتند و در داخل بسته بندی به کار می رفتند (۱۰). در سال ۱۹۶۰ میلادی یک سری جاذب های اکسیژن به نام دی تیونیت<sup>۷</sup> (هیبوسولفیت سدیم و هیدروسولفیت) وارد بازارهای ژاپن شد. ولی چون این جاذبها در طول حمل و نقل و نگهداری پایداری لازم را نداشت و واکنشهای جانبی نامطلوب انجام می داد نتوانست در بازار جایی برای خود باز کند (۶). در سال ۱۹۷۰ میلادی اولین جاذب های اکسیژن تجاری توسط شرکت میتسوبیشی تولید و وارد بازار گردید. این شرکت نمک آهن احیا را داخل کیسه های نفوذپذیر به اکسیژن قرار داده و این کیسه ها در داخل بسته بندی ماده غذایی قرار می گرفتند. اکسیژن موجود در بسته بندی و یا اکسیژنی که وارد بسته می شد در حضور رطوبت جذب شده از ماده غذایی، آهن احیا را اکسید می کرد. این جاذب های اکسیژن غلظت اکسیژن داخل بسته را تا ۰/۰۱ درصد غلظت اولیه کاهش می دهند (۱۷). در سال ۱۹۸۰ میلادی محققین استرالیایی سیستمی بر مبنای واکنش با اکسیژن یگانه طراحی کردند. فیلم پلیمری که هم اکسیژن را در خود حل کرده و هم محیطی برای واکنش با اکسیژن بود. این فیلمهای پلیمری دارای رنگ حساس کننده به نور<sup>۸</sup> و پذیرنده اکسیژن یگانه بود. نقش رنگ حساس کننده با فوتوسنسیتايزر جذب انرژی نور و انتقال آن به اکسیژن و تبدیل آن به اکسیژن یگانه بود. وقتی نور مرئی به این بسته ها می تابید مولکولهای رنگی تحریک شده و اکسیژنی که از محیط اطراف بسته به داخل منتشر می شدند را به اکسیژن یگانه تبدیل می کردند و این اکسیژن یگانه با پذیرنده واکنش می داد. این واکنش تا زمانیکه نور روی بسته تابیده می شود و پذیرنده وجود دارد ادامه می یابد. یکی از مزایای چنین سیستمی این است که دیگر نیازی به قرار دادن کیسه های جاذب اکسیژن در داخل بسته نیست. عیب اصلی این سیستم نیز این است که واکنش در تاریکی انجام نمی شود (۴ و ۷). شرکت آکواناتیک<sup>۹</sup> ترکیباتی حاوی لیگاندهای ارگانومتالیک مشابه هم<sup>۱۰</sup> روی درب بطی نوشیدنی ها تعییه کرد تا اکسیژن را به دام بیندازند. بدین ترتیب اکسیژن موجود در سرفاضای بطربهای شیشه ای حذف گردید و ماندگاری محصول بیشتر شد (۹). شرکت انگلیسی متال باکس<sup>۱۱</sup> ترکیبات فعل نایلون MXD6<sup>۱۲</sup> و نمک کبالت را در دیواره بطربهای پلی استری نیمه سخت تعبیه کرد. نمک کبالت واکنش اکسیژن با نایلون آروماتیک را کاتالیز و پلاستیک ورود اکسیژن به داخل ظرف را به تعویق انداخته و جاذب ها، اکسیژن داخل را جذب می کنند. این تکنولوژی به دلایل اقتصادی و قانونی در سال ۱۹۹۲ کنار گذاشته شد (۲۲).

استفاده از آنزیم برای حذف اکسیژن در اوایل سال ۱۹۰۰ میلادی پیشنهاد و چندین سال نیز دنبال شد. در سال ۱۹۵۶ میلادی ثبت اختصار در خصوص کیسه های حاوی آنزیمهای گلوکز اکسیداز و کاتالاز و همچنین سلوفان های حاوی گلوکز اکسیداز انجام شد ولی اینها بصورت تجاری استفاده نشدند (۱۱، ۱۲ و ۱۳).

<sup>۱</sup> - Active packaging  
<sup>۲</sup> - Dithionite

<sup>۸</sup>- Photosensitizing dye

<sup>۹</sup> - Aquanautics

<sup>۱۰</sup> -Heme

<sup>۱۱</sup> - Metal Box

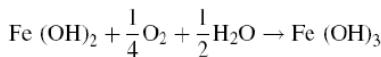
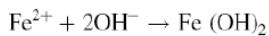
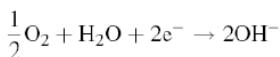
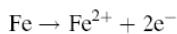
<sup>۱۲</sup> - Polymetaxylylene adipamide or polymetaxylylene diamine-hexanoic acid

در سال ۱۹۹۰ میلادی یک شرکت ژاپنی با استفاده از تکنیک کواکستروژن جاذب اکسیژن حاوی آهن احیا را در بین دو لایه مواد بسته بندی قرار داد که لایه بیرونی نفوذناپذیر به اکسیژن و لایه داخلی نفوذپذیر به اکسیژن بود. یک شرکت ژاپنی دیگر کیسه های حاوی جاذب های اکسیژن را بین دو لایه ماده بسته بندی قرار داد. هوای موجود در داخل بسته از شیارهای موجود بر روی لایه داخلی عبور کرده و با جاذب اکسیژن واکنش می داد (۱۴). نمونه دیگری از تکنولوژی جاذبهای اکسیژن استفاده از هیدروکربنهای غیراشتعاب در فیلم های پلاستیکی بود (۱۵). در سال ۱۹۹۱ میلادی شرکت مولتی سرب<sup>۱۳</sup> بسته هایی تولید کرد که کیسه های حاوی جاذبهای اکسیژن بصورت برچسب در دیواره داخلی آنها چسبانده شده بود (۱۶).

۴. مکانیسم عمل جاذب های اکسیژن: برای اینکه جاذب های اکسیژن حاوی آهن احیا بتوانند عمل خود را انجام دهند به رطوبت نیاز دارند (رطوبت فعال کننده واکنش است). بسته های پلی اولفینی، که در برابر نفوذ رطوبت قابلیت بازدارندگی دارند، انتقال رطوبت از ماده غذایی به جاذب اکسیژن را کند می کنند. جاذب های اکسیژن می توانند در داخل بسته بندی، در فیلم بسته بندی، درب و برچسب بسته بندی بکار گرفته شوند. در حالت کلی در جاذب های اکسیژن برای حذف اکسیژن از مکانیسم های زیر استفاده می شود (۱۷):

۱.۴. اکسیداسیون پودر آهن: در اکثر جاذب های اکسیژن از اکسیداسیون پودر آهن برای حذف اکسیژن استفاده می شود (۴، ۱۸ و ۱۹). در این جاذب های اکسیژن برای اینکه پودر آهن وارد ماده غذایی نشود آن را داخل کیسه قرار می دهند. کیسه در برابر رطوبت و اکسیژن شدیداً نفوذپذیر است. یک گرم آهن با ۳۰۰ میلی لیتر اکسیژن واکنش می دهد (۲۰ و ۲۱). LD<sub>۵۰</sub> آهن ۱۶ گرم بر کیلوگرم وزن بدن انسان است. بیشترین مقدار آهن موجود در کیسه ها ۷ گرم می باشد (۲۲). بنابراین از این بابت هیچ خطروی برای مصرف کننده وجود ندارد. مشکل این نوع جاذب های اکسیژن این است که در خطوط بسته بندی که از آشکارسازهای آهن استفاده می شود نمی توان از آنها استفاده کرد و به جای اینها باید از نوع دیگری از جاذب اکسیژنها استفاده نمود (۲۳).

کیسه های حاوی آهن احیا دو نوع در یک نوع رطوبت نیز در داخل بسته وجود داشته و هنگامیکه کیسه در معرض اکسیژن قرار می گیرد جذب اکسیژن و واکنش با آن شروع می شود. در نوع دوم کیسه فاقد رطوبت بوده و رطوبت مورد نیاز برای واکنش را از اتمسفر داخل بسته بندی جذب می کند که نگهداری این نوع راحت تر است. واکنش انجام گرفته برای حذف اکسیژن به صورت زیر است (۴، ۱۸ و ۱۹):



کمپانی توپان<sup>۱۵</sup> نوعی از کیسه های جاذب اکسیژن بنام فرشیلایزر<sup>۱۶</sup> طراحی کرده است که دو سری از آنها در بازار موجود است. سری F حاوی آهن احیا بوده و اکسیژن را بدون تولید هیچ گاز دیگری جذب می کند. ولی سری C فاقد ذرات آهن احیا بوده و اکسیژن را جذب نموده و معادل حجم جذب کرده دی اکسید کربن آزاد می کند تا بسته بندی جمع نشود. سالانه بیش از ۲ میلیارد بسته جاذب اکسیژن توسط شرکت میتسوبیشی در ژاپن تولید می شود که ۷۰ درصد محصولات را در بر می گیرد. حداقل ۱۱ شرکت ژاپنی در زمینه تولید جاذب های اکسیژن با هم رقابت می کنند و عمدها از آهن احیا در بسته بندی استفاده می شود.

<sup>۱۳</sup> - Multisorb

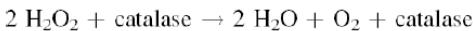
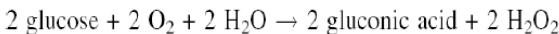
۱۴ - مقداری از آهن که باعث مرگ ۵۰ درصد مصرف کشته ها می شود

<sup>۱۵</sup> - Topan

<sup>۱۶</sup> - Freshilizer

۲.۴. اکسیداسیون کاتکول: کاتکول<sup>۱۷</sup> یک ترکیب آلی بوده و برای حذف اکسیژن نیاز به رطوبت ندارد تاموتسو تنها کمپانی تولید کننده این نوع جاذب اکسیژن است (۲۵).

۳.۴. اکسیداسیون آنزیمی مانند آنزیمهای گلوکزاکسیداز و الکل اکسیداز: در این روش آنزیم گلوکز اکسیداز گلوکز را به اسید گلوکونیک اکسید می کند و در ادامه آنزیم کاتالاز پروکسید هیدروژن تولید شده را به آب و اکسیژن می شکند (۲۱، ۲۲ و ۲۵).



سیستم آنزیمی به تغییرات pH، دما و دسترسی به حلال خیلی حساس است. بیشتر سیستم ها برای فعالیتشان به آب نیاز داشته و بنابراین در غذاهای با رطوبت پائین نمی توانند موثر باشند (۱۷). آنزیم می تواند به صورت چسبیده به ماده بسته بندی بوده و یا داخل کیسه هایی جداگانه قرار داده شود. پلی پروپیلن و پلی اتیلن سوپرستراهمای خوبی برای ثبت آنزیم هستند (۲۲). مزیت جاذبهای اکسیژن آنزیمی در مقایسه با آنهای عدم حساسیت به آشکارسازهای فلزی و مایکرووب است. علاوه بر گلوکز اکسیداز از الکل اکسیداز نیز استفاده می شود که اتانول را به استالدھید اکسید می کند. چون این آنزیم برای فعالیت خود نیاز به رطوبت ندارد می توان برای غذاهایی با دامنه وسیعی از  $a_w$  به کار برد. اگر مقدار زیادی اکسیژن از بسته جذب شود مقدار زیادی اتانول نیاز خواهد بود که می تواند باعث ایجاد بوی بد در بسته شود. علاوه بر این اگر استالدھید به مقدار فراوان تولید گردد غذا بوی ماست به خود می گیرد (۲۲).

۴.۴. اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشتعاع مثل اسید اولئیک و اسید لینولنیک: اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشتعاع تکنیک دیگری برای حذف اکسیژن می باشد. این سیستم برای غذاهای خشک عالی است چون برای حذف اکسیژن نیازی به رطوبت نیست. شرکت میتسوبیشی ثبت اختراع این تکنیک را در اختیار دارد. اسیدهای چرب چند غیر اشباعی و ترجیحاً اسیدهای چرب اولئیک، لینولنیک و لینولنیک به روغن های حاملی مثل سویا، کنجد و یا پنبه دانه اضافه می شوند و سپس با کاتالیزور فلزی و یک ماده حامل مثل کربنات کلسیم ترکیب شده تا یک ترکیب جامدی تولید شود و بعداً بصورت گرانولی یا پودری درآمده و داخل کیسه هایی بسته بندی می شود (۱۷).

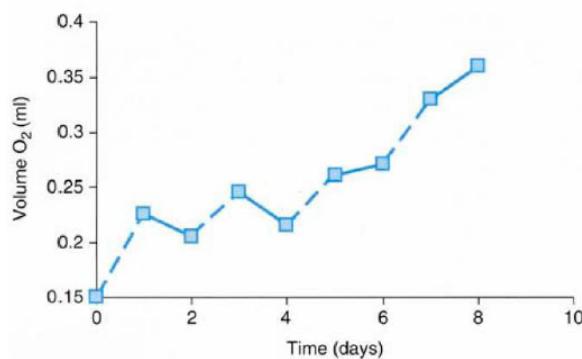
۵.۴. اکسیداسیون اسید اسکوربیک: اسید اسکوربیک همانند آهن به آسانی ولی با سرعت کمتر با اکسیژن واکنش می دهد و به دهیدرواسکوربیک اسید تبدیل می شود که ترکیب نسبتاً پربری است. این واکنش توسط عناصر فلزی نظیر آهن کاتالیز می شود. بر خلاف اسید اسکوربیک، آهن در حضور دی اکسیدکربن عمل جذب اکسیژن را به خوبی انجام نمی دهد به همین خاطر در بسته بندی هایی نظیر قهوه بوداده و نان از اسید اسکوربیک به عنوان جاذب اکسیژن استفاده می گردد (۲۶).

۶.۴. مخمرهای ثبیت شده روی یک سطح جامد: مخمرها میکروارگانیسمهای هوایی اختیاری هستند و چنانچه در سطح جامدی نظری سطح داخل بسته بندی ثبیت شوند می توانند اکسیژن موجود در بسته را مصرف نمایند. این روش حذف اکسیژن برای کیسه ها و بطی ها استفاده شده است. در هنگام پر کردن بسته از ماده غذایی مایع، در اثر مرتکب شدن مخمر فعل شده و شروع به تنفس نموده و الکل و دی اکسیدکربن تولید می کند که وارد ماده غذایی می شوند. در مورد نوشیدنی هایی نظیر آبجو این مواد مشکلی تولید نمی کنند.

## ۵. استفاده از جاذب های اکسیژن در بسته بندی مواد غذایی

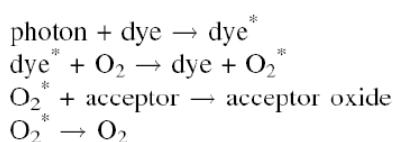
۱.۵. فیلم های حاوی جاذب اکسیژن: قرار دادن کیسه های جاذب اکسیژن در داخل بسته بندی این خطر را دارد که به اشتاه توسط مصرف کننده خورده شود. دومین مشکل این کیسه ها، نشت مواد داخل کیسه و آلووده کردن غذا است (۴). برای برطرف نمودن این مشکلات می توان

جاذب‌های اکسیژن را در مواد بسته بندی مثل فیلم‌های پلیمری، برچسب‌ها و آستر دریها جاسازی کرد. با این کار می‌توان جاذب اکسیژن را در محصولات دیگری مثل نوشیدنیها نیز استفاده نمود. سوپترای مصرف کننده اکسیژن می‌تواند خود ماده پلیمری یا ترکیبات دیگری باشد که در ماتریکس پلیمر پخش شده و یا حل شده است که این مواد به سهولت اکسید می‌شوند (۲۱ و ۲۲). 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 سیستم فعال سازی که توانایی مصرف اکسیژن را به فیلم می‌دهد در فیلم به کار گرفته شده است. فعال سازی از طریق روشن کردن یا کاتالیزور و یا واکنشگرهاست که در هنگام پر کردن تعابیه می‌شوند انجام می‌گیرد. شکل ۱ نمودار تغییرات غلظت اکسیژن در داخل بسته بندی را نشان می‌دهد. در دیواره ظرف جاذب اکسیژن یگانه و ماده حساس کننده به نور تعابیه شده است. با گذشت زمان جاذب اکسیژن یگانه اشباع شده و پس از مصرف کامل آن غلظت اکسیژن افزایش می‌یابد.



شکل ۱: اثر تابیدن نور (خطوط کامل) و تاریکی (خطوط بریده) روی میزان اکسیژن داخل بسته بندی

روشن سازی بسته بندی حاوی رنگ حساس کننده به نور <sup>۱۸</sup> و یک پذیرنده اکسیژن یگانه باعث جذب سریع اکسیژن از سر فضای بسته می‌شود. در این تکنیک یک کوبل کوچک از جنس فیلم اتیل سلوز، که در آن یک رنگ حساس کننده به نور و یک پذیرنده اکسیژن یگانه حل شده است، در سرفاصل چسبانده می‌شود. هنگامیکه نور با طول موج مناسب روی فیلم تابیده می‌شود مولکولهای تمییح شده رنگ، مولکولهای اکسیژنی را که داخل فیلم منتشر شده اند را حساس می‌کنند و به صورت اکسیژن یگانه در می‌آورند و اینها با پذیرنده اکسیژن یگانه واکنش داده و مصرف می‌شوند و اکنش بصورت ذیل انجام می‌پذیرد (۲۶ و ۲۷):



در این تکنیک برای فعال سازی نیازی به آب وجود ندارد. بنابراین می‌توان برای فراورده‌های غذایی خشک و مرطوب به کار برد.

۲.۵. استفاده از جاذب اکسیژن به صورت برچسب: در این روش جاذب اکسیژن بصورت برچسب در دیواره داخلی ماده بسته بندی چسبانده می‌شود. بنابراین خطر خورده شدن توسط مصرف کننده برطرف می‌شود. این برچسب‌ها مقاوم به نفوذ چربی و رطوبت بوده و برای انواع غذاها قابل استفاده هستند (۴ و ۲۶).

۳.۵. استفاده از جاذب اکسیژن در درب بطری: برای حذف اکسیژن از فضای بطری باید در درب آن موادی به کار رود که با اکسیژن واکنش دهد. برای این منظور شرکت دارکس<sup>۱۹</sup> از اسید اسکوربیک و سولفات به عنوان جاذب اکسیژن در درب بطریها استفاده نمود که این مواد بعد از جذب اکسیژن به ترتیب به دهیدرواسکوربیک اسید و سولفات تبدیل می‌شوند (۴ و ۱۹).

۶. نحوه انتخاب جاذب اکسیژن: برای اینکه یک جاذب اکسیژن قابلیت استفاده در ماده غذایی داشته باشد باید شرایط ذیل را دارا باشد (۴، ۱۸، ۲۴):

- ۱ - برای سلامتی انسان ضرری نداشته باشد چون احتمال دارد به طور تصادفی توسط مصرف کننده استفاده شود.
- ۲ - اکسیژن را با سرعت مناسبی جذب کند. اگر سرعت واکنش با اکسیژن خلی زیاد باشد در طول وارد کردن به بسته ظرفیت جذب آن کاهش می‌باید و اگر خلی کم باشد غذا را در مقابل اکسیژن 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 - اقتصادی باشد.

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. ماده بسته بندی باید تراوایی کمی به اکسیژن داشته باشد در غیر اینصورت جاذب اکسیژن سریعاً اشیاع می‌گردد. توصیه می‌شود نفوذپذیری فیلم‌ها از  $20 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{d.atm}$  تجاوز نکند. این لن وینیل الکل و پلی وینیلیدین کلرید فیلم‌های مناسبی برای این منظور هستند (۴ و ۱۸). اگر نفوذپذیری فیلمها بیشتر از  $100 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{d.atm}$  باشد در عرض یک هفته غلظت اکسیژن تقریباً به صفر می‌رسد. ولی بعد از آن بدليل اشیاع شدن جاذب اکسیژن غلظت اکسیژن افزایش می‌باید. جاذب اکسیژن باید اندازه و نوع مناسبی داشته باشد. اندازه مناسب برای جاذب اکسیژن با کمک فرمولهای ذیل محاسبه می‌شود (۲۴):

$$A = (V - P) \times [O_2]/100$$

A: حجم اکسیژن موجود در زمان بسته بندی

V: حجم بسته نهایی که از طریق فرو بردن در آب محاسبه شده و بر حسب میلی لیتر بیان می‌شود.

[O<sub>2</sub>]: غلظت اولیه اکسیژن موجود در بسته

P: وزن نهایی بسته بر حسب گرم

محاسبه مقدار اکسیژنی که در طول نگهداری وارد بسته می‌شود (B) نیز ضروری بوده و توسط فرمول زیر بدست می‌آید:

$$B = S \times P \times D$$

S: مساحت بسته بر حسب متر مربع

P: نفوذپذیری ماده بسته بندی بر حسب  $\text{ml/m}^2 \cdot \text{d.atm}$

D: ماندگاری محصول بر حسب روز

با جمع کردن مقدار اکسیژن موجود در زمان بسته بندی و مقداری که در طول نگهداری وارد بسته بندی می‌شود مقدار اکسیژنی که باید توسط جاذب اکسیژن جذب شود بدست می‌آید و از روی اینها می‌توان اندازه و تعداد جاذب اکسیژن مورد نیاز را مشخص نمود.

۷. کاربردهای تجاری: در حال حاضر جاذبهای اکسیژن در آمریکا به صورت کیسه‌های کوچک حاوی آهن احیا در بسته بندی مواد غذایی از قبیل ماکارونی، اسنک خشک گوشت، چیپس پپرونی، گوشت قرمز، بادام زمینی، نان فاقد گلوتن، جبره‌های نظامی و بسته‌های غذایی ناسا

استفاده می شود. از دریها و بطریهای پلی استری حاوی جاذبهای اکسیژن برای بسته بندی عصاره ها و کچاب استفاده می گردد (۱). در ژاپن کاربردهای اصلی جاذبهای اکسیژن شامل فراورده های غلات مثل کیکهای نرم، نان، بیسکوئیت، پیتزا و کیک پنیری، اسنکهای خشک، مغزهای، مغزهای پوشش داده شده با شکلات، فراورده های دریابی فرایند شده، ادویه جات، پنیر، آنتی بیوتیکها و غیره می باشد. جدول ۱ انواع جاذبهای اکسیژن تجاری، که در ژاپن مصرف می شود، را نشان می دهد.

#### ۸. نتیجه‌گیری

روشهای رایج برای خارج ساختن اکسیژن در هنگام بسته بندی مواد غذایی نمی توانند همه اکسیژن را حذف کنند لذا باید از جاذبهای اکسیژن در درب، برچسب، دیواره ظرف و یا به صورت یک کیسه مجزا در بسته بندی 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. مکانیسم حذف اکسیژن توسط جاذبه در بیشتر موارد اکسیداسیون بودر آهن می باشد که این بودر در داخل کیسه هایی قرار داده می شود. بسته بندی های حاوی جاذبهای اکسیژن اگرچه قیمت تمام شده بیشتری در مقایسه با انواع فاقد جاذب دارند ولی به علت بالا نگه داشتن کیفیت برای تولید کننده صرفه اقتصادی بیشتری داشته همچنین بازار پسندی مطلوب تری دارند.

#### ۹. منابع و مراجع

- [۱] Abe, Y., *Active Packaging-A Japanese Perspective.* " Proceedings of the International Conference on Modified Atmosphere Packaging, Stratford-upon-Avon, United Kingdom. Sponsored by Campden Food and Drink Research Association, Chipping Campden, United Kingdom, 1990.
- [۲] Abe, Y. *Active packaging with oxygen absorbers.* in Ahvenainen R, Nattila-Sandholm T, Ohlsson T, *Minimal processing of foods, VTT symposium 142, Espoo,* ۲۰۹-۳۳, 1996.
- [۳] Anon. G., *Oxygen absorption reaches new plateau and provides superior product protection.* *Food engineering,* 1991, 63: ۵۰-۵۷.
- [۴] Bloch, F., *Preservative of oxygen-labile substances, e.g., foods.* U.S. Patent, ۳, 169, 061, 1965.
- [۵] Brody, A. L., *Active packaging for food applications,* CRC press New York, ۲۰۰۲.
- [۶] Cochran, A. et al., *Improvements in and relating to packaging.* European Patent Application 88306175.6, 1989.
- [۷] Don, S., *Enzymatic Oxygen Removal from Packaged Foods.* *Food Technology,* 1958, 12(7): 7.
- [۸] Don, S., and Hammer, F., *Oxygen Scavenging Packet for In-Packet Deoxygenation.* *Food Technology,* 1961, 15: 12.
- [۹] Floros, J. D., et al., *Active packaging technologies and applications.* *Food Cosmetics and Drug Packaging,* 1997, 20(1): 10-17.
- [۱۰] Greenfield, P. F. and Laurence, R. L., *Characterization of glucose oxidase and catalase on inorganic supports.* *Journal of food science,* 1975, 40: 906-10.

- [11] Hurme, E. and Ahvenainen, R. *Active and smart packaging of food*. Technical report VTT, Finland, 1991.
- [12] Idol, R. C., *Oxygen Absorbing Labels*. Packaging Week, 1993, 9:18.
- [13] Labuza T. P., *Oxygen scavenger sachets*. Food research, 1987, 32: 278-281.
- [14] Labuza, T. P. and Breene W. M., *Applications of active packaging for improvement of shelflife and nutritional quality of fresh and extended shelflife foods*. Journal of food processing and preservation, 1989, 13: 1-29.
- [15] Novel food packaging techniques, Edited by Raija Ahvenainen, CRC press New York, Cambridge England, 2002.
- [16] Nakamura, H., and Hoshino, J., *Techniques for the preservation of food by employment of an oxygen absorber*. Mitsubishi Gas Chemical Co., Tokyo, Ageless Division, 1983, 1-44.
- [17] Nielsen, T. *Active packaging-a literature review*. SIK-rapport n 831, Sweden. 1991.
- [18] Rooney, M. L., *Active packaging in polymer films*', in Rooney M L, *Active food packaging*, London, Blackie Academic and Professional, 1994, 78-110.
- [19] Rooney, M. L., *Oxygen Scavenging from Air in Package Headspaces by Singlet Oxygen Reactions in Polymer Media*. Journal of Food Science, 1982, 47(1): 291-298.
- [20] Rooney, M. L., *Photosensitive Oxygen Scavenger Films: An Alternative to Vacuum Packaging*. CSIRO Food Research, 1988, 18: 9-11.
- [21] Rooney, M. L., *Oxygen scavenging from air in package headspaces by singlet oxygen reactions in polymer media*', Journal of Food Science, 1981, 46:45-52.
- [22] Smith, J. P., *Improving shelf life of packaged baked goods by oxygen absorbents*. AIB research department technical bulletin, 1998, 18: 1-7.
- [23] Scott, D., *Oxidoreductase. Enzymes in Food Processing*. New York: Academic Press, 1980.
- [24] Vermeiren, L., et al., *Developments in the active packaging of foods*. Trends in Food science and technology, 1999, 10: 88-98.
- [25] Warmbier, H. and Wolf, M., *Miraflex Y Scavenger Web*. Modern Packaging, 1986, 49: 28, 41-42.
- [26] Zenner, B. D., *Smart Cap and Beyond: The Application of Active Oxygen Absorbing Packaging Materials to Foods and Beverages*. Europack '92. 1992.