



افزایش عمر انباری محصولات خشک کشاورزی با استفاده از کیسه‌های نفوذناپذیر (هرمتیک)

فریبا بیات^{۱*}

^۱ مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

چکیده

مدیریت پس از برداشت محصولات کشاورزی به‌ویژه در مرحله نگهداری و انبارداری چالشی مهم در تأمین امنیت غذایی کشاورزان کوچک‌مقیاس در کشورهای در حال توسعه است. محصولات کشاورزی خشک مانند غلات (گندم و برنج)، حبوبات (انواع لوبیا، نخود، ماش و عدس)، انواع مغزها (گردو، پسته، بادام، ...)، بادام‌زمینی، ذرت، قهوه و محصولات مشابه طی نگهداری در انبار افزون بر کاهش وزن ناشی از تنفس، در معرض رشد کپک‌ها و هجوم آفات انباری قرار دارند. این عوامل نه تنها سبب کاهش کمی محصول می‌شوند، بلکه کیفیت آنها را نیز تحت تأثیر قرار داده و در نهایت به تلفات محصول می‌انجامند. کیسه‌های نفوذناپذیر با ایجاد محیطی کم‌اکسیژن از فساد محصول جلوگیری و کیفیت آن را طی دوره نگهداری حفظ می‌کنند. حذف استفاده از سموم شیمیایی و پیامدهای آن روی سلامت عمومی مردم از مزایای این بسته‌بندی‌ها است. این روش به دلیل سادگی، هزینه نسبتاً کم و سازگاری با محیط زیست از دیدگاه مصرف پایین انرژی و کاهش مصرف سموم شیمیایی، گزینه مناسبی برای کشاورزان کوچک‌مقیاس است که می‌تواند سبب افزایش درآمد آنها شود. ترویج این فناوری نیازمند حمایت نهادی و توسعه زیرساخت‌های مرتبط است.

واژگان کلیدی: آفات، انبار، بسته‌بندی، تلفات، مایکوتوکسین، نفوذناپذیر (هرمتیک)



بیان مسئله

مراحل جابه‌جایی و انبارداری در زنجیره عرضه سهم بسزایی در ایجاد تلفات پس از برداشت محصولات کشاورزی دارند (باریوتسا و ایگناسیو^۱، ۲۰۲۰). محصولات مهمی مانند ذرت، گندم، برنج و حبوبات در معرض آسیب‌های انباری ناشی از تهاجم آفات و حشرات هستند. کاهش تلفات این محصولات از طریق ذخیره‌سازی بهتر می‌تواند وضعیت امنیت غذایی به‌ویژه خانوارهای کشاورزان را بهبود بخشد. کشاورزان کوچک‌مقیاس غالباً مجبورند بلافاصله پس از برداشت همه محصول خود را بفروشند. زیرا امکانات ذخیره‌سازی سنتی نمی‌تواند محافظت در برابر آفات و عوامل بیماری‌زا را تضمین کند. با این کار ممکن است بعداً مجبور شوند دانه‌های مصرفی خود را با قیمت‌های بالاتر خریداری کنند (فائو، ۱۴۰۱). روش‌های مختلفی از جمله روش‌های سنتی/ محلی، استفاده از آفت‌کش‌ها و ذخیره‌سازی با کیسه‌های نفوذناپذیر^۲ برای نگهداری دانه‌ها و غلات وجود دارند (شکل ۱).

یکی از روش‌های نوین نگهداری غلات استفاده از کیسه‌های نفوذناپذیر است. این کیسه‌ها به دلیل سادگی، باصرفه‌بودن و انعطاف‌پذیری قابل توجه، گزینه‌ای مناسب برای ذخیره‌سازی در مقیاس‌های مختلف هستند. این فناوری با آزمایش‌های میدانی و مطالعات متعددی در مقیاس بزرگ با کمک مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج در کشورهایی مانند کامبوج، فیلیپین، اندونزی، لائوس، میانمار و... راستی‌آزمایی شده است. مؤثر بودن کیسه‌های نفوذناپذیر در کاهش ضایعات و حفظ کیفیت محصولات کشاورزی به عنوان جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی و شیمیایی کنترل آفات، توجه زیادی را در میان کشاورزان، بخش خصوصی، دولت‌ها و سازمان‌های توسعه‌ای جلب کرده است. چندین سازمان برای گسترش پذیرش فناوری کیسه‌های نفوذناپذیر به‌ویژه در بین کشاورزان جنوب صحرای آفریقا تلاش کرده‌اند. از این موارد می‌توان به کمک‌های مالی بنیاد بیل-گیتس و دانشگاه پردو (ایندیانا، آمریکا) اشاره کرد (باریوتسا و ایگناسیو، ۲۰۲۰). توسعه کیسه‌های نفوذناپذیر به وسیله شرکت پیشرو گرین‌پرو^۳ در آمریکا و با استقرار کیسه‌های پلاستیکی نفوذناپذیر بزرگ‌مقیاس (کوگون^۴) برای ذخیره‌کردن غلات آغاز شد. این کیسه‌ها در اندازه‌های مختلف ۵ تا ۳۰۰ تن ابتدا در جنوب شرق آسیا عرضه شد و سپس بازار خود را به آفریقا گسترش داد. با گذشت زمان، شرکت گرین‌پرو کیسه‌های ذخیره‌کردن متوسط و کوچک‌مقیاس را بر اساس اصل نفوذناپذیری به هوا و رطوبت گسترش داد. کیسه‌های کوچک‌مقیاس این شرکت با نام تجاری کیسه‌های سوپر^۵ و با ظرفیت ۶۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم برای کشاورزان خرد گزینه مناسبی هستند. در حال حاضر شرکت‌های پلاستیک‌سازی بسیاری مانند وسترگارد فراندسن^۶ سوییس یا اکوتکت^۷ هند به نوآوری یا تقلید از کیسه‌های نفوذناپذیر موجود پرداخته‌اند و محصول خود را به بازار عرضه کرده‌اند (ادجو^۸ و همکاران، ۲۰۲۵). تنوع و گستردگی روش‌های ذخیره‌سازی نفوذناپذیر می‌تواند نیاز طیف وسیعی از

^۱ Baributsa & Ignacio

^۲ Hermetic Storage

^۳ GrainPro Inc.

^۴ Cocoon

^۵ SuperGrainbags™

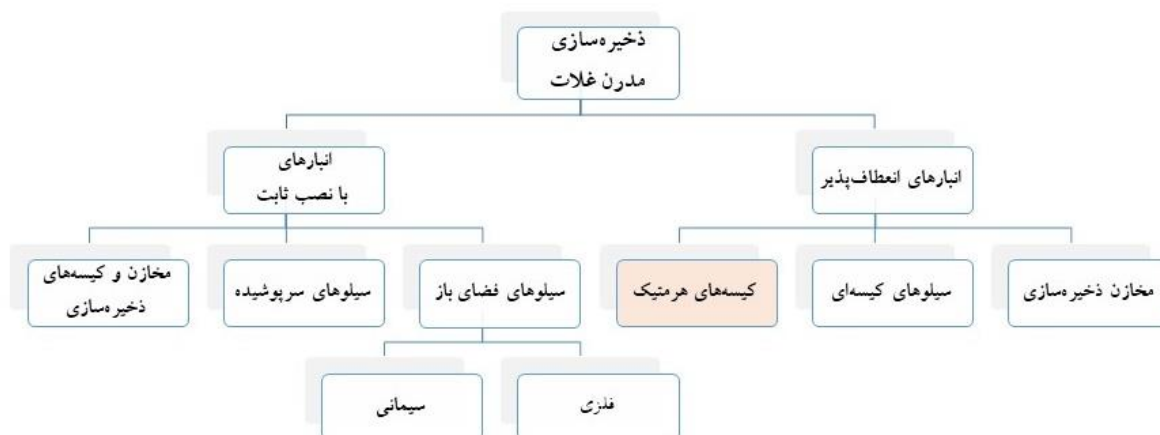
^۶ Vestergaard Frandsen

^۷ Ecotact

^۸ Odjo

افزایش عمر انباری محصولات خشک کشاورزی با استفاده از کیسه‌های نفوذناپذیر (هرمیتیک)/ فریابیات

کشاورزان را بدون توجه به تنوع آب‌وهوایی برطرف کند (اکولا^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). از کاربردهای جدید این فناوری، استفاده از کیسه‌های نفوذناپذیر در ذخیره‌سازی و حمل دانه‌های قهوه و کاکائو است. کیسه‌های نفوذناپذیر از حمله آفات، رشد کپک‌ها و از دست‌دادن عطر و طعم در این محصولات جلوگیری می‌کنند (فاستر^۲ و همکاران، ۲۰۲۴). در این مقاله به معرفی کیسه‌های نفوذناپذیر و ذخیره‌سازی غلات و بذر آنها در این کیسه‌ها پرداخته شده است.



شکل ۱- انواع روش‌های ذخیره‌سازی جدید غلات

معرفی دستورالعمل

فناوری ذخیره‌سازی نفوذناپذیر روشی غیرشیمیایی است که در آن اکسیژن محیط از ۲۱ درصد به کمتر از ۵ درصد کاهش می‌یابد و غلظت گازهای دی‌اکسید کربن یا نیتروژن افزایش می‌یابد. در ابتدای ذخیره‌سازی، هوای محبوس‌شده در بین توده محصول، مانند هوای طبیعی (۷۸ درصد نیتروژن، ۲۱ درصد اکسیژن و ۰/۰۴ درصد دی‌اکسید کربن) است. پس از ذخیره‌سازی با این روش، نسبت گازها شروع به تغییر می‌کند. با تنفس موجودات زنده (حشرات، کپک‌ها، میکروارگانیسم‌ها) در توده غلات، اکسیژن به تدریج کاهش و دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد (شکل ۲). این تغییر در ترکیب گازی محیط منجر به خفگی و مرگ عوامل فساد می‌شود. در این روش، محصول بدون نیاز به استفاده از مواد شیمیایی مانند قفسین، به‌طور ایمن و با حفظ کیفیت ذخیره می‌شود. در روش ذخیره‌سازی در کیسه‌های نفوذناپذیر نه تنها از رشد کپک‌ها و تولید مایکوتوکسین‌های خطرناکی مانند آفلاتوکسین جلوگیری می‌شود، بلکه توانایی حفظ رطوبت اولیه محصول را مستقل از نوسانات رطوبت محیط خارجی دارد (آلمایه‌هو^۳ و همکاران، ۲۰۲۰).

انواع روش‌های ذخیره‌سازی نفوذناپذیر

ذخیره‌سازی ارگانیک^۴: در این روش، کاهش اکسیژن و افزایش دی‌اکسید کربن به‌طور طبیعی از طریق تنفس حشرات، میکروارگانیسم‌ها و خود محصول در محیط ایجاد می‌شود (اکولا و همکاران، ۲۰۱۷).

^۱ Okolo

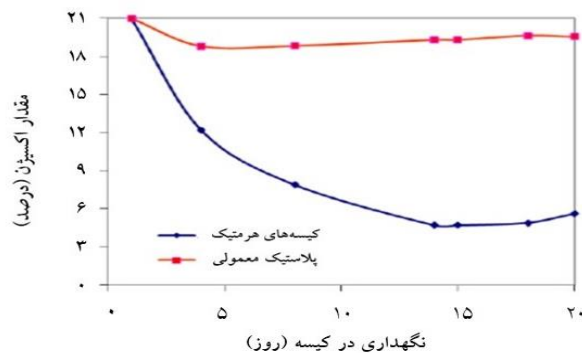
^۲ Foster

^۳ Alemayehu

^۴ Organic Storage



ذخیره‌سازی با خلأ^۱: در روش ذخیره‌سازی با خلأ، اکسیژن محیط به وسیله پمپ خلأ خارج می‌شود و با ایجاد فشار جزئی و کاهش غلظت اکسیژن، عوامل فساد را از بین می‌برد (اکولا و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۲- تغییرات گاز اکسیژن طی ذخیره‌سازی برنج در کیسه‌های نفوذناپذیر

ذخیره‌سازی با گاز^۲: در روش ذخیره‌سازی با گاز، از ژنراتورهای نیتروژن یا مخازن تحت فشار نیتروژن و دی‌اکسید کربن برای تزریق گاز به محیط ذخیره‌سازی استفاده می‌شود. با این کار، غلظت اکسیژن در محیط به ۱ تا ۴ درصد می‌رسد. در صورت استفاده از گاز دی‌اکسید کربن، هنگام بازکردن در انبار یا کیسه، هوای خارج شده از یک تصفیه‌کننده^۳ عبور داده می‌شود تا غلظت آن برای محیط کار ایمن‌سازی شود (اکولا و همکاران، ۲۰۱۷).

برای ایجاد محیطی غیرقابل نفوذ، ظروفی در اشکال و اندازه‌های مختلف به صورت تجاری تولید و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از فناوری‌های نفوذناپذیر رایج می‌توان به سیلوهای فلزی و پلاستیکی، مخازن دربسته (شکل ۳) و کیسه‌های پلاستیکی مخصوص اشاره کرد. یکی از رایج‌ترین و باصرفه‌ترین انواع آن، کیسه‌های نفوذناپذیر است. این کیسه‌ها نسخه‌ای تطبیق‌یافته از روش‌های سنتی مانند گودال‌های زیرزمینی، کوزه‌های سفالی و دیگر روش‌های ذخیره‌سازی نفوذناپذیر (ظروف پلاستیکی، سیلوها یا بشکه‌ها) هستند (باربوتسا و ایگناسیو، ۲۰۲۰).



پ



ب



الف

شکل ۳- ظروف نفوذناپذیر برای نگهداری غلات. سیلوهای فلزی (الف)؛ سیلوهای پلاستیکی (ب)؛

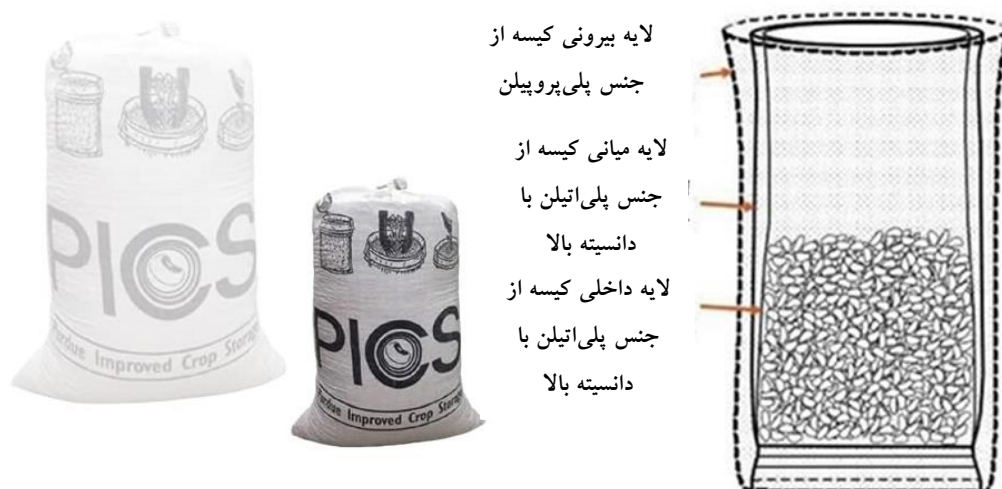
ظروف پلاستیکی (پ)

^۱ Vacuum Fumigation
^۲ Gas Hermetic Fumigation
^۳ Scrubber

افزایش عمر انباری محصولات خشک کشاورزی با استفاده از کیسه‌های نفوذناپذیر (هرمیتیک)/ فریبا بیات

ویژگی و جنس کیسه‌های نفوذناپذیر

انواع مختلفی از کیسه‌های بسته‌بندی نفوذناپذیر با کاربردهای تجاری وجود دارند که از نظر ساختار، تک‌لایه، دولایه یا سه‌لایه هستند. با افزایش تعداد لایه‌ها، ماندگاری طولانی‌تری برای محصول فراهم می‌شود. برای نگهداری محصولات حساس مانند قهوه، کیسه‌ها بیشتر از سه‌لایه هم دارند. کیسه‌های تک‌لایه مشابه کیسه‌های مخصوص ذخیره‌سازی انواع دانه‌ها است. شرکت گرین‌پرو آمریکا این کیسه‌ها را با نام‌های تجاری سوپرگرین و کوکون به بازار عرضه می‌کند. کیسه‌های دولایه و سه‌لایه مانند کیسه‌های پیکس^۱ نیز به‌وسیله چندین شرکت مجاز پلاستیک در جنوب صحرای آفریقا، آسیا و آمریکای لاتین تولید شده‌اند. کیسه‌های دولایه یا سه‌لایه از دو جزء اصلی شامل کیسه داخلی (تک‌لایه یا دولایه) و کیسه بیرونی تشکیل شده‌اند. لایه داخلی مهم‌ترین جزء کیسه‌های نفوذناپذیر است. لایه داخلی می‌تواند یک پوشش پلاستیکی تک‌لایه یا چندلایه باشد که به‌صورت مانعی در برابر نفوذ گاز طراحی شده است. به‌طور معمول لایه‌های داخلی از جنس پلی‌اتیلن با دانسیته بالا^۲ و با ضخامت ۸۰ تا ۱۲۰ میکرومتر هستند (نخاتا^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). لایه بیرونی از جنس پلی‌پروپیلن است و برای استحکام و محافظت هنگام جابه‌جایی طراحی شده است (شکل ۴).



شکل ۴- کیسه‌های نفوذناپذیر سه‌لایه (با نام تجاری پیکس) برای نگهداری غلات با ظرفیت‌های ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم

لایه‌های پلاستیکی داخلی کیسه نفوذناپذیر به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که حرکت گازها را از خارج به داخل ظرف محدود یا به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهند. با تنفس حشرات و نیز محصول، محیطی کم‌اکسیژن درون کیسه ایجاد می‌شود که مانع رشد تمام مراحل زندگی حشرات می‌گردد. هنگامی که اکسیژن درون کیسه به ۵ درصد یا کمتر کاهش یابد، حشرات تغذیه، تولیدمثل و نیز خسارت به محصول را متوقف می‌کنند (باریوتسا و ایگناسیو، ۲۰۲۰). کیسه‌های نفوذناپذیر در صورت

^۱ PICSTM

^۲ High Density Polyethylene (HDPE)

^۳ Nkhata



سوراخ‌شدن لایه داخلی، کارایی خود را از دست داده و باید عوض شوند. در کیسه‌های نفوذناپذیر سه‌لایه، لایه میانی سد ایمنی اضافی فراهم می‌کند. در صورتی که یکی از دو لایه داخلی آسیب جزئی ببیند، لایه دیگر به عنوان مانعی مؤثر باقی می‌ماند و محافظت لازم از محصول را طی دوره انبارداری به‌طور پیوسته تأمین می‌کند. آسیب‌های جزئی (سوراخ‌های ریز) ایجادشده بر اثر فعالیت حشرات را می‌توان با نوارچسب ترمیم کرد. کیسه در صورت عدم ترمیم باید برای مصارف دیگر مانند تهیه کمپوست یا نگهداری بذر یا محصولات دیگر کشاورزی که تبادل هوا و رطوبت برای آنها مضر نباشد، مورد استفاده قرار گیرد یا بازیافت شود. اگرچه تفاوت‌هایی در ساختار این کیسه‌ها (تک‌لایه، دولایه یا سه‌لایه) و طراحی لایه‌های داخلی (تک‌لایه یا چندلایه) وجود دارد، ولی تحقیقات نشان داده‌اند که تفاوت محسوسی در کارایی آنها مشاهده نشده است. مطالعات نشان داده‌اند که کیسه‌های نفوذناپذیر در کاهش ضایعات انبارداری ناشی از حشرات، دست‌کم به اندازه سموم دفع آفات مؤثر هستند (شکل ۵) و در برخی موارد حتی عملکرد بهتری نیز دارند (باریبوتسا و ایگناسیو، ۲۰۲۰).



شکل ۵- کارایی کیسه‌های نفوذناپذیر در حفظ کیفیت دانه‌های ذرت (راست)

در مقایسه با کیسه‌های معمولی (چپ) طی دوره نگهداری

مزایای ذخیره‌سازی در کیسه‌های نفوذناپذیر

- قوه نامیه بذرهای برنج از ۶ ماه به ۱۲ ماه افزایش می‌یابد.
- کیسه‌های نفوذناپذیر (تولیدشده در شرکت‌های معتبر)، هنگامی که به‌درستی آب‌بندی شوند، ۱۰ روز پس از بسته‌بندی، سطح اکسیژن بسته را از ۲۱ به ۵ درصد کاهش می‌دهند (شکل ۲). این کاهش اکسیژن، جمعیت حشرات را به کمتر از ۱ حشره به ازاء هر کیلوگرم غله (بدون استفاده از حشره‌کش‌ها) می‌رساند. این کیسه‌ها همچنین رشد کپک‌ها و تولید آفلاتوکسین در غلاتی مانند برنج را متوقف می‌کنند.
- کیسه‌های نفوذناپذیر نیاز به مصرف انرژی ناچیز یا صفر دارند و شرایط نگهداری ارگانیک و بدون استفاده از مواد شیمیایی را ایجاد می‌کنند. این روش نگهداری سبب ذخیره‌سازی ایمن، پایدار و باصرفه‌تر از نظر اقتصادی می‌شود.

افزایش عمر انباری محصولات خشک کشاورزی با استفاده از کیسه‌های نفوذناپذیر (هرمیتیک)/ فریابیات

- کیسه‌های نفوذناپذیر در مقیاس بزرگ (کوکون‌ها) از پلی‌وینیل کلراید^۱ انعطاف‌پذیر و مقاوم در برابر اشعه فرابنفش ساخته شده‌اند. این کیسه‌ها غلات را در برابر حمله جوندگان محافظت می‌کنند و از تبادل هوا و رطوبت جلوگیری می‌نمایند. این کیسه‌ها قادر به محافظت از محصول در برابر آسیب‌های ناشی از سیلاب در قسمت زیرین خط زیپ خود هستند (شکل ۶).

- رطوبت غلات درون کیسه‌های نفوذناپذیر ثابت مانده و از جذب رطوبت یا خشک‌شدن محصول جلوگیری می‌کند. این پایداری، میزان ترک‌خوردگی دانه‌ها را کاهش داده و راندمان محصولی مانند برنج پس از فرآیند آسیاب‌کردن را افزایش می‌دهد.

- این روش ذخیره‌سازی برای کشاورزان کوچک‌مقیاس به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه با صرفه و قابل‌اجراء است.

- کیسه‌های نفوذناپذیر به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که می‌توانند از حدود ۲/۵ کیلوگرم تا چندین تن غلات یا بذر را ذخیره کنند (شکل ۶). این کیسه‌ها قابلیت استفاده در انبارهای سرپوشیده (شکل ۶ الف و ب) و نگهداری در فضای باز (شکل ۶ پ و ت) را دارند.



پ



ب



الف



ت

شکل ۶- ظرفیت‌های مختلف بسته‌بندی‌های نفوذناپذیر در مقیاس کم (الف)؛ برای نگهداری در فضاهای سرپوشیده (ب)؛ نگهداری در فضای باز (پ) و سیلوهای نفوذناپذیر (ت)

معایب کیسه‌های نفوذناپذیر

جنس کیسه‌های نفوذناپذیر از پلی‌اتیلن با دانسیته بالا است. بنابراین، در برابر اجسام تیز آسیب‌پذیر هستند و پس از آسیب‌دیدگی امکان استفاده مجدد ندارند. پس از پایان یافتن عمر مفید کیسه‌ها، حجم زیادی از زباله‌های پلاستیکی تولید

^۱ Polyvinyl Chloride



می‌شود که بازیافت آنها همیشه در دسترس نیست. این کیسه‌ها محدودیت استفاده دارند و تنها برای محصولات خشک قابل استفاده هستند و برای میوه‌ها و سبزی‌های تازه کاربرد ندارند.

بهبود کارایی کیسه‌های نفوذناپذیر

کیسه‌های نفوذناپذیر موجود در بازار، برای کاهش اکسیژن به تنفس طبیعی حشرات و دانه‌ها (اتم‌سفر تغییر یافته غیرفعال) متکی هستند. بنابراین، کاهش اکسیژن در این کیسه‌ها ممکن است چند روز طول بکشد و آفات در این فاصله فرصت دارند به محصول آسیب برسانند. استفاده از جاذب‌های اکسیژن راهکاری مکمل برای سرعت‌بخشیدن به ایجاد شرایط کم‌اکسیژن در ظروف نفوذناپذیر است (لی^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). این جاذب‌ها بر پایه واکنش‌های شیمیایی غیرآلی و غیرزیستی، اکسیژن را به‌طور فعال و سریع حذف می‌کنند. برای این منظور می‌توان از نوعی گرم‌کننده‌های دستی^۲ که دارای پودر آهن، زغال، ورمی‌کولیت^۳ و نمک هستند، استفاده کرد. این گرم‌کننده‌ها وقتی در انبار یا مخزن قرار گیرند، آهن با اکسیژن واکنش می‌دهد و با تشکیل اکسید آهن سبب کاهش سریع اکسیژن می‌شود. افزودن جاذب‌های اکسیژن به غلات ذخیره‌شده در کیسه‌های غیرقابل نفوذ به کاهش تخریب پیش‌ویتامین آ و کارتنوئیدها در دو ژنوتیپ ذرت نارنجی کمک می‌کند (نخاتا و همکاران، ۲۰۱۹). کاهش شدید سطح اکسیژن نه تنها در از بین بردن حشرات بلکه برای حفظ کیفیت مواد غذایی مانند ویتامین‌ها نیز مؤثر است (باریبوتسا و ایگناسیو، ۲۰۲۰). در مورد کیسه‌های بزرگ‌مقیاس، می‌توان آنها را به درگاه‌های ورودی گاز دی‌اکسید کربن و خروجی هوا مجهز کرد که برای قبل و پس از حمل‌ونقل مناسب هستند. این کار به سرعت‌دادن به کاهش سطح اکسیژن کمک می‌کند. این راهکار ذخیره‌سازی، امکان نظارت آسان بر سطح اکسیژن داخلی و رطوبت نسبی را در حین کار فراهم می‌کند (شکل ۷).



شکل ۷- تجهیز کردن کیسه‌های نفوذناپذیر به ورودی گاز دی‌اکسید کربن و خروجی هوا برای کاهش سریع اکسیژن

^۱ Li

^۲ Hand Warmer

^۳ Vermiculite



افزایش عمر انباری محصولات خشک کشاورزی با استفاده از کیسه‌های نفوذناپذیر (هرمیتیک)/ فریبا بیات

اثربخشی فناوری و هزینه استفاده از کیسه‌های نفوذناپذیر

پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های بسته‌بندی در کیسه‌های نفوذناپذیر نقش قابل‌توجهی در کاهش تلفات و دورریز غلات، کاهش مصرف مواد شیمیایی مضر، صرفه‌جویی اقتصادی و در نهایت بهبود معیشت میلیون‌ها کشاورز در کشورهای متعدد داشته است. شرکت گرین‌پرو اثربخشی و عملکرد فناوری ذخیره‌سازی در کیسه‌های نفوذناپذیر را در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ گزارش داده است. طبق این گزارش، کیسه‌های نفوذناپذیر در اختیار حدود ۲/۸ میلیون کشاورز در سطح دنیا قرار گرفته است. از این تعداد بیش از ۱/۰۳ میلیون کشاورز در آفریقا، ۱/۶ میلیون کشاورز در آسیا و ۲۱۱ هزار کشاورز در آمریکای لاتین بوده‌اند. در طول دوره فعالیت، بیش از ۴۳۲ هزار تُن محصول ذخیره شده که از مصرف ۲۳/۵ تُن گاز سمی فُسفین برای مبارزه با آفات انباری جلوگیری شده است. صرفه‌جویی مالی ناشی از کاهش هزینه‌های مصرف فُسفین نیز حدود ۳۰۵ هزار دلار برآورد شده است. کل ارزش مالی محصول ذخیره شده حدود ۱۳۰ میلیون دلار برآورد شده و شمار کل افرادی که از این فناوری سود برده‌اند (ذینفعان) بالغ بر ۱۷/۱ میلیون نفر بوده است.

هزینه بسته‌بندی با این روش در مقیاس تجاری، برای هر تُن محصول، ۵۰ تا ۱۰۰ دلار است. اگر عمر مفید این کیسه‌ها ۱۰ سال باشد، این مبلغ معادل ۵ تا ۱۰ دلار به ازاء هر تُن محصول ذخیره‌شده در هر سال است. هزینه عملیاتی این بسته‌بندی (بسته به هزینه کارگری) حدود ۷/۵ دلار برای هر تُن محصول تخمین زده می‌شود.

ذخیره‌سازی غلات و بذرها در کیسه‌های نفوذناپذیر

برای ذخیره‌سازی غلات و بذرها در کیسه‌های نفوذناپذیر باید مراحل زیر در نظر گرفته شود:

- ۱- محصول برای ذخیره‌سازی در کیسه‌های نفوذناپذیر باید به‌خوبی خشک شده باشد (رطوبت غلات کمتر از ۱۴ درصد و رطوبت بذرها کمتر از ۱۲ درصد).
- ۲- هوای اضافی کیسه‌ها پس از پُرشدن با محصول خارج شود (شکل ۸). برای خروج هوای اضافی، بین ۹۰ تا ۹۵ درصد حجم کیسه پُر می‌شود. سپس، با کمک دست و فشاردادن کیسه از پایین به بالا هوای اضافی خارج می‌گردد. از پمپ‌های دستی نیز می‌توان برای ایجاد خلأ جزئی و خروج هوا از کیسه استفاده کرد.
- ۳- دهانه کیسه با پیچاندن قسمت پلاستیکی آزاد و دو تا کردن آن کاملاً بسته شود (شکل ۸ ب).
- ۴- قسمت پیچ‌خورده با نواری پلاستیکی یا چسب نواری محکم می‌شود تا هوا درون آن نفوذ نکند (شکل ۸ پ).
- ۵- برای جابه‌جا کردن کیسه از قسمت بیرونی آن بلند شود تا به لایه‌های داخلی آسیب نرسد.
- ۶- کیسه باید به‌صورت منظم بازرسی شود. وجود حشرات در محصول نشانه‌ای از نشتی هوا و بسته‌شدن نادرست در کیسه است. بنابراین، در کیسه باید مجدداً محکم بسته شود.



پ

ب

الف

شکل ۸- مراحل بسته‌بندی برنج در کیسه نفوذناپذیر. کیسه برای پُر کردن محصول (الف)؛ پُر کردن کیسه با محصول و خالی کردن هوای اضافی آن (ب)؛ پیچاندن و تا کردن در کیسه و بستن محکم آن با طناب یا چسب (پ)

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

فناوری کیسه‌های هرمیتیک با ایجاد محیطی غیرقابل نفوذ در برابر هوا و رطوبت، راهکاری مؤثر و بدون استفاده از مواد شیمیایی برای مدیریت پس از برداشت محصولات خشک کشاورزی است. این نوع بسته‌بندی‌ها در سطح تجاری در ایران استفاده نمی‌شوند، ولی با توجه به شرایط اقلیمی متنوع در کشور می‌تواند راهبردی مؤثر برای نگهداری باشد. برای عملیاتی کردن این فناوری و توسعه آن در کشور موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

تهیه و توسعه ماده بسته‌بندی: برای کاهش وابستگی به واردات و اطمینان از دسترسی پایدار، تولید داخلی کیسه‌های نفوذناپذیر در مقیاس‌های بزرگ و کوچک باید در اولویت قرار گیرد. بومی‌سازی دانش فنی تولید کیسه‌ها دسترسی به محصولی با کیفیت مطلوب و قیمت مناسب را فراهم می‌کند.

اثربخشی و قابلیت انعطاف بسته‌بندی: با اجرای پژوهش‌های کاربردی و پایلوت می‌توان اثربخشی عملکرد کیسه‌های تولیدشده با ظرفیت‌های مختلف را برای اقلیم‌های متفاوت در کشور بررسی کرد.

آموزش و ترویج: با تهیه و تنظیم دستورالعمل‌های کاربردی می‌توان این نوع کیسه‌ها را به عنوان الگو معرفی کرد. همکاری نهادهای دولتی و اتحادیه‌ها در برگزاری دوره‌های آموزشی و عملی برای کشاورزان خُرد، مدیران انبارهای تجاری و حتی خانوارهای روستایی در پذیرش این فناوری مؤثر است.

توزیع و فروش: برای ایجاد اطمینان در بازار و جلوگیری از عرضه محصولات تقلبی، لازم است با چارچوب نظارتی و گواهی‌دهی مشخص، مجوز توزیع و فروش برای افراد متقاضی یا شبکه‌های معتبر مانند تعاونی‌های روستایی یا شرکت‌های خدمات کشاورزی صادر شود.

- ۱- فائو، سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد. ۱۴۰۱. وضعیت غذا و کشاورزی ۲۰۱۹: حرکت به سمت کاهش تلفات و دورریز مواد غذایی. ترجمه فریبا بیات، فرزاد گودرزی، لاله مشرف و مسعود یقبا، کرج: انتشارات مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
2. Alemayehu, S., F. Abay, K.M. Ayimut, D. Assefa, A. Chala, R. Mahroof and B. Subramanyam. 2020. Evaluating different hermetic storage technologies to arrest mold growth, prevent mycotoxin accumulation and preserve germination quality of stored chickpea in Ethiopia. *Journal of Stored Products Research*, 85 (101526): 1-8.
3. Baributsa, D. and M.C. Ignacio. 2020. *Developments in the use of hermetic bags for grain storage*. In: Maier, D.E. (Ed.), *Advances in Postharvest Management of Cereals and Grains*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.
4. Foster, K.A., L.M. Suarez-Guzman, D.C. Meza-Sepulveda, D. Baributsa and C.A. Zurita. 2024. Effects of alternative hermetic bag storage on fermented and dried cocoa bean (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Stored Products Research*, 107 (102351): 1-7.
5. Li, W., J.S. Yaninek and D. Baributsa. 2024. Hand warmer-induced hypoxia accelerates pest control in hermetic storage. *Insects*, 15 (10): 821-832.
6. Nkhata, S.G., D. Ortiz, D. Baributsa, B. Hamaker, T. Rocheford and M.G. Ferruzzi. 2019. Assessment of oxygen sequestration on effectiveness of Purdue Improved Crop Storage (PICS) bags in reducing carotenoid degradation during post-harvest storage of two biofortified orange maize genotypes. *Journal of Cereal Science*, 87: 68-77.
7. Odjo, S., J.G. Regalado, A.S. Tejeda, M. Guera and N. Verhulst. 2025. Hermetic bags remain effective in minimizing storage loss after four successive cycles of reuse in Mexican highlands. *Journal of Stored Products Research*, 110 (102480):1-7.
8. Okolo, C.A., O. Chukwu, B.A. Adejumo and S.A. Haruna. 2017. Hermetic storage technology: The way forward in solving numerous cereal grains storage challenges in developing countries. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6 (7): 682-692.