نحوه بسته‌بندی در نگهداری گیاهان دارویی

فاطمه آمیغی

دکتری علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تهران

Fateme_amighi@yahoo.com

چکیده

صرف‌نظر از هدف استفاده از گیاهان دارویی، تقاضا برای استفاده از روش‌های طبیعی برای تضمین کیفیت محصولات ارائه‌شده به مصرف‌کنندگان و صنعت داروسازی افزایش‌یافته است که چالش بزرگی برای تولیدکنندگان و محققین درزمینه استانداردسازی و کنترل کیفی مواد اولیه است. علیرغم افزایش مصرف و گسترش بازار گیاهان دارویی، مطالعات خاص کمی در مورداستفاده از تکنیک‌های بسته‌بندی و نگهداری آن‌ها وجود دارد. با توجه به موارد فوق، این مطالعه به بررسی مفاهیم مربوط به بسته‌بندی و همچنین ویژگی‌های برخی پلیمرهای رایج در نگهداری محصولات گیاهی، تکنیک‌ها و تجهیزات مورداستفاده در بسته‌بندی آن‌ها پرداخته است.

کلمات کلیدی: کیفیت، روغن اسانسی، پلی‌اتیلن، نانو کامپوزیت، اتمسفر اصلاح شده

۱. مقدمه

قدرت شفابخشی گیاهان به قدمت ظهور بشر بر روی زمین است. تمدن‌های اولیه دریافتند که برخی از گونه‌ها قدرت شفابخشی برای مبارزه با بیماری‌های مختلف دارند که نشان‌دهنده این است که می‌توان از گیاهان به‌عنوان منبع درمانی استفاده کرد. افزایش استفاده دارویی از گیاهان توسط مردم، اشتیاق محققان مناطق مختلف را برای کشف مواد جدید یا اثبات اثربخشی موادی که به‌طور سنتی مورداستفاده قرار می‌گیرد، برانگیخته است. دلیل توجه محققین به حوزه گیاهان دارویی این است که استفاده از بسیاری از گونه‌ها برای اهداف دارویی مبتنی بر دانش سنتی است و با مطالعه علمی دقیقی که خواص پیشگیرانه یا درمانی آن‌ها را ثابت کند تأیید نشده است [14,29].

حدود ۲۵ درصد از داروهای تجویزی در سراسر جهان از منشأ گیاهی دارند. استفاده گسترده از آن‌ها به این دلیل است که داروهای سنتی دسترسی به مراقبت‌های بهداشتی را برای کل جمعیت تضمین می‌کند و عوارض جانبی کمتری نسبت به داروهای مصنوعی دارند [3,14].

صرف‌نظر از دلایل استفاده از گیاهان دارویی، شکی نیست که تقاضا برای محصولات طبیعی افزایش‌یافته است. این واقعیت چالش بزرگی برای تولیدکنندگان و محققان با توجه به استانداردسازی و کنترل کیفیت مواد خام، برای اطمینان از کیفیت گونه‌های ارائه‌شده به مصرف‌کنندگان و صنعت داروسازی است، زیرا با این کار مصرف محصولشان در جهان رشد می‌کند.

برای اطمینان از کیفیت گونه‌های دارویی ارائه‌شده و حفظ خواص درمانی آن‌ها در طول انبارداری، خشک کردن مواد گیاهی و استفاده از بسته‌بندی مناسب از اهمیت اساسی برخوردار است. فرآیند خشک کردن رشد میکروارگانیسم‌ها و واکنش‌های آنزیمی را مهار می‌کند، درنتیجه تخریب مواد فعال موردنظر را در طول ذخیره‌سازی کاهش می‌دهد، علاوه بر این به افزایش غلظت ترکیبات فعال بر اساس وزن از طریق حذف آب کمک می‌کند [10].

با پیشرفت علم، تکنیک‌های مختلف بسته‌بندی توسعه و بهبودیافته است. این‌ها شامل بسته‌بندی تحت خلأ، اتمسفر اصلاح‌شده و اتمسفر کنترل‌شده است. انتخاب روش بسته‌بندی و نگهداری به عوامل مختلفی بستگی دارد، به‌ویژه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محصول، که باید برای انتخاب بسته‌بندی و تکنیک ذخیره‌سازی که به بهترین وجه برای هر شرایطی اعمال می‌شود، رعایت شود [9].

علیرغم افزایش مصرف و درنتیجه گسترش بازار گیاهان دارویی، مطالعات خاص کمی در مورداستفاده از تکنیک‌های بسته‌بندی و نگهداری برای این نوع محصولات وجود دارد. با توجه به موارد فوق، این مطالعه به بررسی مفاهیم مربوط به بسته‌بندی و همچنین ویژگی‌های برخی پلیمرهای رایج در نگهداری محصولات با منشأ گیاهی، تکنیک‌ها و تجهیزات مورداستفاده در بسته‌بندی محصولات غذایی و کارهای مربوط به استفاده از اتمسفر اصلاح‌شده در ذخیره‌سازی و انبار گیاهان دارویی پرداخته است.

۲. ذخیره‌سازی گیاهان دارویی

برای پاسخگویی به تقاضای گیاهان دارویی و محصولات گیاهی باکیفیت، مواد اولیه باید قبل از ارسال به مصرف‌کننده نهایی، مراحل پس از برداشت را طی کنند. این فرآیند ضروری است زیرا محتوای بالای آب گیاهان تازه منجر به تخریب سریع مواد گیاهی و درنتیجه کاهش کیفیت نهایی آن‌ها می‌شود. فرآیندهای پس از برداشت گیاهان دارویی به دلیل تأثیر مستقیم بر کیفیت و کمیت مواد مؤثره از اهمیت بالایی در زنجیره تولید برخوردار است.

در میان فرآیندهای پس از برداشت، خشک کردن و ذخیره‌سازی برای حفظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محصول گیاه از اهمیت بالایی برخوردارند. نگهداری و حفاظت از گیاهان دارویی با هدف جلوگیری از کاهش کیفیت آن‌ها، حفظ جنبه‌های کمی و کیفی پس از خشک شدن، جلوگیری از حمله میکروارگانیسم‌ها، قارچ‌ها و حشرات در طول دوره نگهداری با ایجاد شرایط ایده آل دما و رطوبت نسبی میسر می‌باشد. در طول نگهداری، فعالیت متابولیک باید کاهش یابد تا گیاهان دارویی کمتر تخریب شوند. این را می‌توان با کاهش محتوای آب محصول به سطوح کافی، خنک کردن یا استفاده از یک اتمسفر اصلاح‌شده در سیستمی که گیاهان دارویی در آن ذخیره می‌شود، به دست آورد [26,37].

دوره نگهداری مشخص شده برای گیاهان دارویی یک سال است، اما اگر سازنده نتایج آزمایش پایداری را ارائه دهد که حفظ ویژگی‌های محصول را در دوره پیشنهادی تضمین می‌کند، ممکن است عمر مفید بیشتری پذیرفته شود. گیاهان دارویی اغلب برای مدت طولانی قبل از استفاده به‌عنوان ماده اولیه برای ساخت محصولات مختلف نگهداری می‌شوند [40]. بااین‌حال، ذخیره‌سازی نامناسب ممکن است منجر به تغییرات فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی آن‌ها شود [27].

زمان نگهداری ممکن است بر غلظت اجزای شیمیایی ترکیبات فعال تأثیر بگذارد. روشان و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر شرایط مختلف نگهداری، یخچال (۴- درجه سلسیوس)، فریزر (۲۰- درجه سلسیوس) و دمای اتاق (۲۵ سلسیوس) را بر روی ترکیب اسانس روغنی Thymus daenensis ارزیابی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که ذخیره‌سازی در فریزر درصد ترکیبات اسانس را نزدیک به مقدار مشاهده‌شده در ابتدای نگهداری نگه می‌دارد، نگهداری در دمای اتاق علاوه بر اینکه کیفیت اسانس را مختل نمی‌کند درصد برخی از اجزای مهم مانند تیمول (از ۲۷/۴ تا ۳۴/۷ درصد) و کارواکرول (از ۲۸/۸ تا ۳۵/۷ درصد) را به میزان قابل‌توجهی افزایش داده است. این احتمالاً به دلیل تبخیر شدن مونوترپن‌های سبک‌تر و باقی ماندن ترپن‌های سنگین‌تر (مانند تیمول و کارواکرول) بود.

جسوس و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه اثر دو دمای تهویه (محیط: متوسط ۳۲ درجه سلسیوس و فریزر: ۲۰- درجه سلسیوس) در طول نگهداری بر کیفیت اسانس .Hyptis pectinata L. Poit را مطالعه کردند. آن‌ها بیان کردند تغییراتی در غلظت ترکیبات شیمیایی مشاهده شد. نگهداری این اسانس روغنی در دمای اتاق منجر به غلظت‌های بالاتر β-المن، α-کوپن، ژرماکرن-D، اکسید کاریوفیلن و (α- E, E)-فارنسن و غلظت‌های کمتر آلفا-هومولن و β-کاریوفیلن در مقایسه با نتایج به‌دست‌آمده از نگهداری اسانس در فریزر شد [18].

یکی دیگر از عوامل مهم در نگهداری گیاهان دارویی، نوع بسته‌بندی آن است. بسته‌هایی که امروزه برای نگهداری برگ‌های گیاه استفاده می‌شوند عبارت‌اند از: کیسه‌های کاغذی، کیسه‌های پلی‌اتیلن، جعبه‌های مقوایی و کیسه‌های دوبل کاغذی کرافت با لایه داخلی پلی‌اتیلن غیر سمی [11].

کوستا و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از کیسه‌های پلی‌پروپیلن برای بسته‌بندی نمونه‌های خشک‌شده از برگ‌های Ocimum selloi کامل و آسیاب شده استفاده کردند و ارزیابی تأثیر زمان نگهداری بر عملکرد و ترکیب شیمیایی اسانس این گیاه کاهش قابل‌توجهی در عملکرد اسانس برگ‌های کامل و آسیاب شده طی یک سال ذخیره‌سازی را نشان داد. بااین‌حال،

عملکرد به‌دست‌آمده از برگ‌های کامل به‌طور معنی‌داری بیشتر از عملکرد برگ‌های زمینی بود [12]. به‌طورکلی، در طول دوره مورد ارزیابی، متیل چاویکول، ترکیب اصلی، با غلظت نسبی بالاتری در کل برگ‌ها در زمان صفر نسبت به برگ‌های زمینی، به ترتیب ۹۳/۹۸ و ۹۷/۸۹ وجود داشت که در طول زمان نگهداری رفتار کاهشی نشان داد.

چالیها و همکاران (۲۰۱۳) اثر بسته‌بندی با لایه ممانعت کننده متغیر (LDPE[1]، PET[3]/CPP[2] پوشش داده‌شده با PVDC[4] و LDPE / فویل/ PET / PET) را در طول ذخیره‌سازی Syzygium anisatum ، Tasmannia lanceolata و Backhousia citriodora مقایسه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بسته‌بندی سنتی LDPE ترکیبات فرار بیشتری را در طول ذخیره‌سازی Backhousia citriodora (۸۷٪) از دست داد. به دنبال آن PET / CPP پوشش داده‌شده با PVDC ٪ ۵۸ افت و LDPE / فویل/ PET / PET ٪ ۲۳ افت در طی ذخیره‌سازی داشتند. افت مواد فرار Syzygium anisatumو Tasmannia lanceolata در طول نگهداری در PET/CPP پوشش داده‌شده با PVDC و PET/PET/Foil/LLDPE کمتر از ۳۰ درصد بود [7].

روشی که برای نگهداری گیاهان دارویی در سرتاسر انبار استفاده می‌شود می‌تواند ازنظر کمی و کیفی بر اسانس تأثیر بگذارد. عبادی و همکاران (۲۰۱۷)، تأثیر روش‌های بسته‌بندی (بسته‌بندی هوا، نیتروژن یا خلأ) در طول ذخیره‌سازی، در محتوا و ترکیب اسانس لیپیا سیتریودورا را بررسی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که برگ‌های ذخیره‌سازی شده با نیتروژن در پایان هشت ماه نگهداری، محتوای اسانس بالاتر و درصد لیمونن بیشتری دارند. بااین‌حال، برگ‌های ذخیره‌شده در خلأ درصد بیشتری از سیترال را در همان دوره حفظ کردند [16].

لی و همکاران (۲۰۱۵) بررسی اثر بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده-(LFO-160: 130 mL $O_2.kg^{-1}h^{-1}$; e ML 7525: 510 mL $O_2.kg^{-1}h^{-1}$) در طول ذخیره‌سازی *Hippophae rhamnoides* Linn نشان داد که نمونه‌های ذخیره‌شده در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری، به‌ویژه نمونه‌های موجود در بسته‌بندیLFO-160، داشتند.

۳.نفوذپذیری و سرعت نفوذپذیری بسته‌بندی

بسته‌بندی‌ها دارای فضاهای بین‌مولکولی هستند که از طریق آن‌ها فرآیند نفوذ گازها و بخارات اتفاق می‌افتد و این فرآیند در سه مرحله انجام می‌شود. مرحله ۱ شامل جذب و انحلال ماده نفوذکننده در سطح مواد است. مرحله ۲ شامل انتشار ماده نفوذکننده از طریق ماده به دلیل وجود یک گرادیان پتانسیل شیمیایی است. درنهایت، مرحله ۳ شامل دفع و تبخیر ماده نفوذکننده در طرف دیگر ماده است [34].

[1] پلی اتیلن با دانسیته پایین
[2] پلی پروپیلن ریخته گری
[3] پلی اتیلن ترفتالات
[4] پلی وینیلیدن کلرید

با توجه به میزان نفوذپذیری، ظرفیت مواد بسته‌بندی برای مقاومت در برابر عبور گازها و بخارات، چربی‌ها و انتقال نور به‌عنوان یک مانع تعریف می‌شود. ممانعت گازی بسته‌بندی با مقدار گاز عبوری از واحد سطح بسته‌بندی در واحد زمان، در دمای معین، رطوبت نسبی و تحت گرادیان فشار جزئی معین آزمایش گاز ارزیابی می‌شود [34].

رابطه (۱) نفوذ گازها و بخارات را در پلیمرهای با شرایط ثابت[5] در دمای ثابت توصیف می‌کند.

(1)
$$\frac{dq}{dt} = D.S.A\frac{(\rho_1 - \rho_2)}{e}$$

که در آن متغیرهای $\frac{dq}{dt}$ ، D، S، A، $(\rho_1 - \rho_2)$ و e به ترتیب سرعت جریان نفوذ، ضریب انتشار، ضریب حلالیت، سطح نفوذ، اختلاف فشار جزئی ماده نفوذکننده بین سطوح مواد پلیمری و ضخامت مواد پلیمری می‌باشد.

ضریب نفوذپذیری با استفاده از رابطه (۲) زیر به دست می‌آید.

$$P = D.S \quad (2)$$

که در آن P نفوذپذیری است.

درنهایت، برای تمام سیستم‌های نفوذپذیر پلیمری، ضریب نفوذپذیری وابستگی دما دارد، طبق مدل آرنیوس، که در رابطه (۳) بیان شده است:

$$P = P_0.e^{(-E_P/RT)} \quad (3)$$

که در آن P_0، E_p، R و T به ترتیب فاکتور پیش نمایی ثابت (مستقل از دما)، انرژی فعال‌سازی برای نفوذ، ثابت جهانی گازهای ایده آل و دمای مطلق می‌باشد.

۴.سرعت نفوذپذیری پلیمرها

مواد پلاستیکی در سال‌های اخیر به دلیل قیمت پایین‌تر و ارائه ویژگی‌هایی که به حفظ مواد غذایی کمک می‌کند، بیشترین استفاده را در تولید بسته‌بندی داشته است. بااین‌حال، مصرف‌کنندگان به‌طور فزاینده‌ای محصولاتی را اولویت‌بندی می‌کنند که با مواد پایدار بسته‌بندی‌شده و اثرات زیست‌محیطی کمتری دارند. پلاستیک‌ها را می‌توان به‌عنوان مواد ورقه‌ای انعطاف‌پذیر تعریف کرد که در ساختار مولکولی خود دارای مولکول‌های بلند و انعطاف‌پذیر هستند که در یک شبکه قوی و غیر شکننده به هم متصل شده‌اند. این‌ها ساختارهای پایداری هستند که پلیمر نامیده می‌شوند. پلیمرها از طریق واکنش پلیمریزاسیون مونومرها، یعنی یک مولکول با واحد تکرارشونده به دست می‌آیند [6].

تفاوت در ساختار شیمیایی واحدهای مونومر، در ساختار زنجیره‌های پلیمری و در روابط متقابل زنجیره‌ها، خواص مختلف مواد پلیمری مختلف را تعیین می‌کند.

[5] Stationary state

برخی از پلیمرهای مورداستفاده در ساخت بسته‌بندی مواد غذایی عبارت‌اند از پلی‌اتیلن با دانسیته پایین (LDPE)، پلی‌اتیلن با دانسیته بالا (HDPE)، پلیمرهای پلی آمید (PA) معروف به نایلون، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) و پلی وینیل کلراید (PVC).

جدول ۱ مقادیر ضریب نفوذپذیری O2 و CO2 را برای برخی پلیمرها نشان می‌دهد.

جدول ۱. ضریب نفوذپذیری (P) نسبت به O_2 و CO_2 پلیمرهای مختلف

پلیمر	$P\times10^{11}$ [mL(STP) mm cm^{-2} s^{-1} cm Hg^{-1}]	
	O_2	CO_2
	۳۰ °C	۳۰ °C
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین	۵۵/۰۰	۳۵۲/۰۰
پلی‌اتیلن با دانسیته بالا	۱۰/۶۰	۳۵/۰۰
پلی‌آمیدها (نایلون ۶)	۰/۳۸	۱/۶۰
PET	۰/۲۲	۱/۵۳
PVC	۰/۰۵۳	۰/۲۹

منبع: [41]

جدول ۱ نشان می‌دهد که پلی‌اتیلن با دانسیته پایین ضریب نفوذپذیری بالاتری برای O_2 و CO_2 دارد و به دنبال آن پلیمرهای پلی‌اتیلن با دانسیته بالا، پلی آمیدها، PET و PVC قرار دارند. بنابراین، برای استفاده از اتمسفر اصلاح‌شده در گیاهان دارویی، ازنظر نفوذکننده‌های O_2 وCO_2، پلی آمیدها، بسته‌بندی PET و PVC جایگزین‌های جالبی خواهند بود، اما پلی آمیدها در رابطه با PET و PVC دارای مزایایی هستند زیرا یک ماده باثبات ابعادی خوب، مقاومت در برابر ضربه خوب، مقاومت شیمیایی عالی و پردازش آسان هستند.

با توجه به‌سرعت انتقال بخارآب، در جدول ۲ می‌توان نرخ‌های انتقال بخارآب را برای برخی پلیمرها مشاهده کرد.

جدول ۳. نرخ انتقال بخارآب در دمای ۳۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد

پلیمر	نرخ باود[۶] $(g\ mm\ M^{-2}\ day^{-1})\times10^{-2}$
پلی‌آمیدها (نایلون ۶)	۶۳۴/۰–۸۶۳/۰
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین	۳۱/۵–۵۹/۰
PET	۳۱/۵–۵۹/۰

[6] Boud rate

PVC	۱۹/۷–۳۱/۵
پلی‌اتیلن با دانسیته بالا	۱۱/۹–۱۹/۷

منبع: [1]

پلی آمیدها بالاترین میزان انتقال بخارآب را دارند و پس‌ازآن پلی‌اتیلن با دانسیته پایین، PET، PVC و پلی‌اتیلن با دانسیته بالا قرار دارند. بنابراین نگهداری گیاهان دارویی در بسته‌بندی پلی آمیدها در شرایط رطوبت نسبی بالا (بالای ۷۰ درصد) به دلیل میزان انتقال بخارآب توصیه نمی‌شود. در شرایط رطوبت نسبی بالا، بسته‌بندی پلی‌اتیلن با دانسیته بالا برای داشتن ضریب نفوذپذیری بخارآب کمتر توصیه می‌شود.

۵. تعامل بین مواد گیاهی ذخیره‌شده، بسته‌بندی و محیط

درجه حفاظت موردنیاز یک ماده غذایی یک عامل کلیدی در انتخاب مواد بسته‌بندی و طراحی است. بنابراین، درجه حفاظت تأثیر مستقیمی بر تعاملات بین محیط، بسته‌بندی و محصول ذخیره‌شده دارد. در زیر تعاملات بین محیط، بسته‌بندی و محصول ذخیره‌شده برشمرده شده است [22].

۱- اکسیژن: نفوذ اکسیژن محیط به داخل بسته‌بندی باعث اکسیداسیون، تغییر رنگ، طعم و تنفس گونه‌های دارویی می‌شود.
۲- دی‌اکسید کربن: نفوذ بخارآب از داخل بسته‌بندی به محیط باعث تغییراتی در تنفس و از دست دادن کربنات می‌شود.
۳- بخارآب: نفوذ بخارآب از داخل محفظه به محیط باعث کم‌آبی و کم‌آبی باعث تغییر بافت می‌شود.
۴- عطر: نفوذ عطر محیط به داخل بسته‌بندی باعث تغییر در عطر و/یا طعم می‌شود.
۵- نور: نفوذ نور محیط به داخل بسته‌بندی باعث تخریب رنگ، طعم و مواد مغذی می‌شود.
۶- مهاجرت اجزای بسته‌بندی: باعث تغییر در عطر و/یا طعم و سمیت می‌شود.
۷- جذب توسط بسته‌بندی: باعث از بین رفتن عطر و/یا طعم می‌شود.

به‌طورکلی، حفاظت ارائه‌شده توسط بسته‌بندی بر اساس عوامل مختلفی تعریف می‌شود که می‌تواند بر ویژگی‌های کیفی گونه‌های دارویی از لحظه قرار دادن محصول در بسته‌بندی تا زمان مصرف تأثیر بگذارد. پارامترهای محیطی مانند اکسیژن، نیتروژن، دی‌اکسید کربن، بخارآب یا آروماها، در تماس مستقیم یا غیرمستقیم با محصول تحت تأثیر خواص بسته‌بندی قرار می‌گیرند [38].

بسیاری از محصولات ذخیره‌شده به دلیل افت ناشی از اکسیداسیون به غلظت اکسیژن در محیط تهویه حساس هستند [33].

۶. عوامل اصلی موردتوجه در بسته‌بندی گیاهان دارویی

به گفته سیلوا و همکاران (۱۹۹۹)، از دست دادن ترکیبات شیمیایی گیاهان دارویی که پس از برداشت اتفاق می‌افتد به دلایل مختلفی ازجمله تخریب توسط فرآیندهای متابولیکی، هیدرولیز، تخریب در اثر فعالیت آنزیمی، اکسیداسیون، تخمیر، گرما، آلودگی میکروبیولوژیکی یا وجود نور می‌باشد [36].

هنگامی‌که گیاهان دارویی در بسته‌بندی نامناسب نگهداری می‌شوند، ممکن است تحت تأثیر گازهای نفوذی قرار گیرند که می‌توانند باعث از بین رفتن ماده فعال توسط فرآیندهای شرح داده‌شده در بالا شوند. عوامل نفوذکننده اصلی که می‌توانند بر کیفیت فیزیکی و شیمیایی گیاهان دارویی تأثیر بگذارند، اکسیژن، گاز دی‌اکسید کربن و بخارآب هستند.

اکسیژن در تماس با غذا اجازه رشد میکروارگانیسم‌های هوازی تخریب‌کننده را می‌دهد بنابراین، در غلظت‌های نزدیک به غلظت‌های موجود در اتمسفر، می‌تواند رشد میکروارگانیسم‌ها و درنتیجه تخریب را فراهم کند [23].

با توجه به اینکه گاز دی‌اکسید کربن، به دلیل عملکرد باکتریواستاتیک و قارچ‌کش آن، به‌عنوان یک عامل ضد میکروبی در بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده برای محصولات فاسدشدنی استفاده می‌شود. در محصولاتی که فعالیت آبی بالایی دارند، مانند میوه‌ها، سبزیجات تازه و گیاهان دارویی تازه، در غلظت‌های معین می‌تواند تنفس و درنتیجه پیری سبزیجات را به حداقل برساند. این بدان معناست که برای این دسته از گازها، از دست دادن آن‌ها از طریق بسته‌بندی، حفظ محصول را به خطر می‌اندازد، بنابراین وجود آن در بسته‌بندی باید با مانع گاز خوب همراه باشد، به‌طوری‌که بتواند در محصول و/یا اطراف آن در داخل بسته محصول حل شود [34]. بنابراین، گاز کربنیک می‌تواند مزایایی را در حفاظت از گونه‌های دارویی گیاهی، کاهش فرآیند تنفس محصول و درنتیجه فرآیندهای متابولیک، مشابه آنچه در هنگام خشک کردن اتفاق می‌افتد، به همراه داشته باشد.

بسیاری از محصولات به بسته‌بندی با نفوذ کند نسبت به بخارآب نیاز دارند تا از افزایش یا از دست دادن رطوبت جلوگیری شود. در غذاهای با فعالیت آبی کم، مانند گیاهان دارویی خشک، افزایش رطوبت باعث افزایش رشد میکروبی، عملکرد آنزیمی و قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی است که به نفع تخریب عوامل فعال موردعلاقه دارویی است [34].

۷. انواع بسته‌بندی

هنگامی‌که در مورد بسته‌بندی محصولات غذایی و گیاهان دارویی صحبت می‌شود، رایج‌ترین تکنیک‌هایی که می‌توان یافت عبارت‌اند از: بسته‌بندی تحت خلأ، بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده و بسته‌بندی با اتمسفر کنترل‌شده. این روش‌های بسته‌بندی کارآمد در حفظ کیفیت این محصولات با توجه به نیازهای حفاظتی و ارزش افزوده محصول مورد نگهداری اعمال می‌شوند.

بسته‌بندی تحت خلأ به‌عنوان بسته‌بندی محصول در بسته‌بندی با مانع گازی تعریف می‌شود که در آن هوا برای جلوگیری از اکسیداسیون ناشی از فعالیت پلی فنول اکسیداز، تغییر رنگ محصول و رشد میکروارگانیسم‌هایی که عامل اصلی فساد هستند، حذف می‌شود. محصولات در طول ذخیره‌سازی به گفته اکثر محققان، این نوع بسته‌بندی نوعی بسته‌بندی در اتمسفر

اصلاح‌شده در نظر گرفته می‌شود، زیرا هنگام حذف هوا، اتمسفر داخل بسته اصلاح می‌شود [25]. چرچ (۱۹۹۴) بیان داشت، بسته‌بندی تحت خلأ تکنیکی ساده است اما فشرده‌سازی که باعث ایجاد مواد می‌شود می‌تواند شکل اصلی آن را تغییر دهد [8].

در مورد اتمسفر اصلاح‌شده، این بسته‌بندی بر اساس بسته‌بندی محصول در بسته‌بندی با مانع گازی است که در آن ترکیب گازی داخل بسته در زمان دوخت، اصلاح‌شده و ترکیب گاز بسته به تنفس محصول و نفوذپذیری بسته‌بندی به‌صورت دینامیکی تغییر می‌کند. نرخ نفوذپذیری فیلمی مطلوب است که فعل‌وانفعال طبیعی که بین تنفس محصول و بسته‌بندی رخ می‌دهد، فضایی با غلظت اکسیژن کم و/یا غلظت بالای دی‌اکسید کربن ایجاد کند. بنابراین باعث کاهش رشد میکروارگانیسم‌ها، کاهش تنفس و تولید اتیلن، کاهش تغییرات فیزیولوژیکی و مهار مکانیسم‌های شیمیایی، آنزیمی و میکروبیولوژیکی مرتبط با نابودی محصول می‌شود. بنابراین، می‌توان از سایر فرآیندهای شیمیایی یا حرارتی مانند انجماد، آبگیری و استریل کردن اجتناب کرد [17].

اتمسفر اصلاح‌شده را می‌توان به غیرفعال و فعال تقسیم کرد. غیرفعال نتیجه اتمسفر ایجادشده به‌صورت غیرفعال در بسته‌بندی توسط تنفس محصول است که با استفاده از اکسیژن و آزاد شدن دی‌اکسید کربن ایجاد می‌شود [4]، درحالی‌که اتمسفر فعال همان چیزی است که با تزریق ترکیب شناخته‌شده در زمان بسته‌بندی محصول ایجاد می‌شود [21].

باربوسا و همکاران (۲۰۱۶)، با ارزیابی هیدروکولینگ و ذخیره‌سازی در اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال Mentha piperita L.، مشاهده کردند که بسته‌بندی پلی‌اتیلن ترفتالات سوراخ شده و بدون سوراخ برای افزایش ماندگاری Mentha piperita L.مؤثر است و هیدروکولینگ همراه با استفاده از بسته‌بندی بدون سوراخ کارآمدترین روش برای حفظ کیفیت پس از برداشت این گونه بود [2].

ماتوس و همکاران (۲۰۱۳) اثر بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح‌شده فعال را در ویژگی‌های کیفی و پاسخ فیزیولوژیکی Lactuca sativa L بررسی کردند. آن‌ها محصول را در کیسه‌های پلی‌پروپیلن (PP) با استفاده از دو اتمسفر اصلاح‌شده فعال (اکسیژن ٪ ۵ + دی‌اکسید کربن ٪ ۵ + نیتروژن ٪ ۹۰ و اکسیژن ٪ ۲ + دی‌اکسید کربن ٪ ۱۰ + نیتروژن ٪ ۸۸) ذخیره کردند و اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال (هوای کنترل محیط) ذخیره کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اتمسفرهای اصلاح‌شده فعال با توجه به شرایطی که آزمایش در آن انجام شده است، تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های کیفی و رفتار فیزیولوژیکی L. Lactuca sativa نشان نمی‌دهد.

تهویه در اتمسفر کنترل‌شده مبتنی بر کاهش سطح O_2 و افزایش سطح CO_2 محیطی است که محصول در آن بسته‌بندی می‌شود و که درنتیجه باعث کاهش سرعت تنفس و درنتیجه روند پیری و کاهش کیفیت آن می‌شود. علاوه بر این، این یک سیستم پویا است که در آن ترکیب جوی که محصول را احاطه کرده است تحت شرایط خاص دما، رطوبت نسبی، فشارهای جزئی O_2 و CO_2 کنترل و ثابت نگه‌داشته می‌شود. دما، رطوبت نسبی و ترکیب گاز در طول دوره ذخیره‌سازی ثابت، کنترل و نظارت می‌شود. این پارامترها باید برای نوع و مرحله بلوغ محصول ذخیره‌شده کافی باشد [42].

۸. روش‌ها و تجهیزات مورداستفاده برای ایجاد محیط‌های با اتمسفر اصلاح‌شده

ازلحاظ تاریخی، بسته‌بندی محصولات غذایی در پاسخ به انواع انتظارات صنعت و مصرف‌کننده تکامل‌یافته است. چهار عملکرد اساسی بسته‌بندی مواد غذایی عبارت‌اند از: نگهداری، حفاظت، ارتباط و راحتی.

عملکرد نگهداری به معنای واقعی کلمه به محتوی محصول اشاره دارد که باعث می‌شود بسته‌بندی به‌عنوان ظرف عمل کند. عملکرد حفاظتی باید از حفظ محصول در برابر ضربه‌ها، ارتعاشات و فشردگی‌هایی که در حین حمل‌ونقل، توزیع و جابجایی رخ می‌دهد، اطمینان حاصل کند و از دستکاری یا از دست دادن یکپارچگی، تصادفی یا عمدی از طریق باز کردن سیستم‌های شواهد (مهر، درب‌های دارای حلقه پارگی، درب‌ها جلوگیری کند. با دستگیره نشانگر خلأ و غیره). ازنظر عملکرد ارتباطی، وظیفه آن انتقال اطلاعاتی مانند نام، نوع محصول، مقدار، تاریخ ساخت و اعتبار، اطلاعات تغذیه‌ای، دستورالعمل‌های ذخیره‌سازی، آماده‌سازی و استفاده و امکان ردیابی محصول است. درنهایت، عملکرد راحتی به باز شدن آسان مانند درپوش‌های اندازه‌گیری، امکان بسته شدن مجدد، امکان گرم کردن یا پخت و سرو در خود بسته‌بندی و ... اشاره دارد [19,38].

روش‌های مورداستفاده برای ایجاد اتمسفر اصلاح‌شده عبارت‌اند از: کاهش غلظت اکسیژن (O_2) یا افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (CO_2)، نیتروژن (N_2)، ازن (O_3)، و همچنین ترکیبی از روش‌های ذکرشده در بالا.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، O_2 مسئول بسیاری از واکنش‌های نامطلوب در محصولات با منشأ گیاهی است. به دلیل اثرات منفی، O_2به‌طورکلی در بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح‌شده فعال کاهش می‌یابد یا اجتناب می‌شود. بااین‌حال، وجود آن در مقادیر کم برای برخی از محصولات ضروری است [23].

علیرغم اثرات منفی برای چندین محصول، استفاده از O2 در غلظت‌های بالا در بسته‌بندی‌ها در اتمسفر اصلاح‌شده فعال به‌عنوان یک مهارکننده رشد باکتری‌های بی‌هوازی عمل می‌کند و به حفظ ویژگی‌های برخی از محصولات گیاهی کمک می‌کند [28].

روش دیگری که در محیط اتمسفر اصلاح‌شده فعال استفاده می‌شود افزایش غلظت CO_2 است. CO_2 مسئول اصلی اثر باکتریواستاتیک بر روی میکروارگانیسم‌هایی است که باعث خراب شدن مواد غذایی در بسته‌های موجود در اتمسفر اصلاح‌شده فعال می‌شوند [39].

حلالیت این گاز به‌طور غیرمستقیم با دمای ذخیره‌سازی متناسب است، بنابراین دماهای پایین اثر هم‌افزایی برای عملکرد باکتریواستاتیک CO2 دارند [8].

دی‌اکسید کربن از طریق تغییر در عملکرد غشای سلولی، دخالت در انتقال یون‌ها. اختلال در جذب مواد مغذی؛ مهار و/یا کاهش واکنش‌های آنزیمی؛ تغییرات در pH داخل سلولی و تغییرات مستقیم در خواص فیزیکوشیمیایی پروتئین‌ها در میکروارگانیسم‌ها اثر باکتریواستاتیکی خود را می‌گذارد. دهد [5].

استفاده از N_2 در بسته‌بندی‌های اتمسفر اصلاح‌شده نیز رایج است، زیرا یک گاز بی‌اثر و بی‌مزه است. این گاز حلالیت کمی در آب و لیپیدها دارد و توسط غذا جذب نمی‌شود، که آن را به گاز پرکننده یاد می‌کنند و از تخریب بسته‌بندی با جذب و انحلال CO_2 در ماتریکس غذا جلوگیری می‌کند. نیتروژن همچنین به‌عنوان جایگزینی برای اکسیژن در بسته‌بندی، برای مهار رشد میکروبی محصولات حساس به اکسیداسیون، در بسته‌بندی خلأ استفاده می‌شود [35].

در سال‌های اخیر، O_3در مطالعات پس از برداشت موردتوجه قرارگرفته است، زیرا یک ضدعفونی‌کننده با پتانسیل اکسیداسیون بالا است که می‌تواند با مواد غذایی در تماس باشد. ازن دومین عامل اکسیدانی قوی است که فقط به فلوراید (F^{+2}) از دست می‌دهد. بنابراین، قدرت اکسیداسیون بالای ازن، ظرفیت بالایی در گندزدایی و استریل سازی را نشان می‌دهد و به عمل ضدعفونی‌کننده اجازه می‌دهد در زمان تماس و غلظت کوتاه‌تر رخ دهد [32].

با پیشرفت فن‌آوری‌های جدید، استفاده از ازن به‌طور قابل‌توجهی در سطح ملی یا بین‌المللی در زمینه‌های مختلف کاربرد، مانند تصفیه پساب‌های خانگی و صنعتی، فرآیندهای سفید کردن خمیر کاغذ و تصفیه آب آشامیدنی و غیره گسترش یافته است. بااین‌حال، بخش‌های جدیدی از کاربردهای ازن عمدتاً در زمینه‌های فرآوری مواد غذایی و کشاورزی توسعه‌یافته‌اند [1].

از سوی دیگر، بسته به غلظت O3 اعمال‌شده در کنار عمل ضدعفونی‌کننده، می‌تواند باعث کاهش مواد مغذی شود یا کیفیت حسی غذا را تغییر دهد، زیرا اگر غلظت آن بالا باشد، ممکن است باعث آسیب اکسیداتیو و درنتیجه تولید مواد ناخوشایند در بو و تغییر در رنگ غذا شود [1].

با توجه به تجهیزاتی که برای ایجاد اتمسفر اصلاح‌شده استفاده می‌شود، شرکت‌های تخصصی در بازار وجود دارند که ژنراتورهای O_2، CO_2، N_2و O_3 را تولید می‌کنند. اصل کار ژنراتورهای O_2 و N_2 بر اساس جذب تعادل فشار است که امکان جداسازی برخی از گونه‌های گاز از مخلوط گازی تحت‌فشار را فراهم می‌کند. تولید CO_2 بر اساس احتراق سوخت است، پروپان پرمصرف‌ترین سوخت برای تجهیزات موجود در بازار است. با توجه به ژنراتورO_3 ، کاپیتاسیون هوای محیط رخ می‌دهد و با تخلیه تاج که بیشترین استفاده صنعتی را دارد، مولکول‌های O_2 تجزیه شده و به O_3 تبدیل می‌شوند.

هنگامی‌که صحبت از بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح‌شده به میان می‌آید، رایج‌ترین مورد در بازار، خرید سیلندرهای گاز شرکت‌های تخصصی است که مخلوط‌های گازی را با متنوع‌ترین ترکیب‌ها تجاری می‌کنند. اما در مورد N_2 و O_3 امکان تولید این گازها در خود صنعت وجود دارد، زیرا در بازار تجهیزات صنعتی کارآمدی وجود دارد که نیاز صنعت را توسط این گازها تأمین می‌کند و باعث کاهش هزینه‌ها و وابستگی صنعت با تأمین‌کننده می‌شود [22].

۹. مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گیاهان دارویی

در این بخش به مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گیاهان دارویی که باید در طول انبارداری حفظ شوند پرداخته شده است. محتوای آب گیاهان دارویی به‌طور مستقیم با شروع فرآیندهای تخریب مانند واکنش‌های آنزیمی و تخریب میکروبی مرتبط است، بنابراین نگهداری این محصول با محتوای کم آب از تخریب خواص شیمیایی آن جلوگیری می‌کند و درنتیجه عمر مواد گیاهی را طولانی می‌کند. برای اینکه ذخیره‌سازی کارآمد باشد و کیفیت محصول مشابه ابتدای بسته‌بندی حفظ شود، مطلوب است که این ویژگی در تمام مدت نگهداری پایدار باشد.

با توجه به اینکه رنگ ویژگی حسی مهم است و مصرف‌کننده نیز بر اساس ظاهر محصول تصمیم به خرید می‌گیرد، به‌عنوان شاخص بلوغ همه میوه‌ها و بسیاری از سبزیجات استفاده می‌شود و همچنین وقوع آسیب یا آسیب مکانیکی را نشان می‌دهد در مورد گیاهان دارویی، مصرف‌کننده ترجیح می‌دهد رنگ مشابه محصول طبیعی را با تداعی آن با محصول تازه و باکیفیت‌تر انتخاب کند. با توجه به اهمیت رنگ محصول در تصمیم خرید مصرف‌کننده، مطلوب است که رنگ سبز برگ‌های گیاهان دارویی در طول انبارداری ثابت بماند [22].

اسانس‌ها و ترکیبات فعال زیستی موجود در گیاهان دارویی نیز از ویژگی‌های مهمی هستند که باید در طول ذخیره‌سازی، هم ازنظر کمی و هم ازنظر کیفی، حفظ شوند. اسانس‌ها متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که توسط گیاهان تولید می‌شوند و در برابر شرایط نامطلوب مانند تغییرات آب و هوایی و حمله حشرات و میکروارگانیسم‌ها مقاومت ایجاد می‌کنند [9].

این مواد عمدتاً توسط صنایع آرایشی و بهداشتی و داروهای گیاهی مورداستفاده قرار می‌گیرند و نیاز به شرایط نگهداری مناسب قبل و بعد از فرآوری دارند تا ازنظر کمی و کیفی تلفات وارد نشود.

۱۰. آسیب افزایش‌دهنده کیفیت گیاهان دارویی بسته‌بندی‌شده در اتمسفر اصلاح‌شده

به‌طورکلی گازهایی که در این مطالعه توصیف‌شده دارای ویژگی‌های خاص خود هستند، تنها O_2 و O_3 می‌توانند به گیاهان دارویی ذخیره‌شده در بسته‌بندی‌های با اتمسفر اصلاح‌شده آسیب وارد کنند. اکسیژن در غلظت‌های نزدیک به غلظت‌های موجود در اتمسفر می‌تواند باعث رشد میکروارگانیسم‌ها و درنتیجه تخریب گیاهان دارویی شود [23]. درحالی‌که O_3 با داشتن اثر اکسیدانی بالا و عمل سفیدکنندگی می‌تواند هم باعث تخریب ترکیبات موردنظر موجود در اسانس شود و هم رنگ گیاهان دارویی را تغییر دهد که رنگ یک ویژگی حسی مهم است زیرا مصرف‌کننده نیز تصمیمات خرید را بر اساس ظاهر محصول می‌گیرد.

برای جلوگیری از تماس گازهای نافذ ناخواسته با گیاهان دارویی یا مخلوط گازی مطلوب برای حفظ تماس طولانی‌مدت با محصول، باید فیلمی باکیفیت خوب انتخاب کرد. علاوه بر این، شرایط دما و رطوبت نسبی محلی که محصول در آن نگهداری می‌شود باید در زمان انتخاب فیلم رعایت شود، زیرا عواملی هستند که مستقیماً با میزان نفوذپذیری بسته‌بندی تداخل دارند و ممکن است باعث کاهش کیفیت محصول ذخیره‌شده شوند [33].

با توجه به موارد فوق موفقیت اتمسفر اصلاح‌شده مربوط به کیفیت فیلم‌های به‌کاررفته در پر کردن محصول است که باید قابلیت حفظ اتمسفر ایجادشده را در طولانی‌ترین مدت ممکن داشته باشد. علاوه بر مقاومت در برابر سایش، پارگی و سوراخ شدن؛ ضخامت کافی برای جلوگیری از نفوذپذیری منافذ ریز در برابر گازها و بخارآب و توانایی حفظ یکپارچگی مهروموم بسته‌بندی، برای افزایش طول عمر محصول ضروری است. بیشتر فیلم‌های اعمال‌شده از چندین لایه و ترکیبی از پلیمرهای ذکرشده در بالا به‌منظور بهبود کارایی بسته‌بندی ساخته‌شده‌اند [24].

قابل‌ذکر است که بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح‌شده کیفیت اولیه محصول را بهبود نمی‌بخشد و در شرایط ایده آل کیفیت موجود در زمان دوخت بسته‌بندی را حفظ می‌کند. این امر باعث می‌شود که شرایط برداشت، جابجایی و فرآوری برای کیفیت محصول نهایی تعیین‌کننده باشد [5].

۱۱. نتیجه‌گیری

در شرایط فعلی که تقاضای رو به افزایشی برای داروهای گیاهی وجود دارد، به دلیل عوارض جانبی کمتر و مزایای سالم‌تر، ذخیره‌سازی گام مهمی است. اگر به روش مناسب انجام شود، می‌تواند بر فصلی بودن تولید غلبه کند، محصولی ایمن به مصرف‌کننده ارائه دهد و کیفیت مواد فعال را برای مدت طولانی حفظ کند. با توجه به موارد فوق، فرآیند نفوذپذیری بخار از طریق

پلیمرها به عوامل متعددی بستگی دارد و تماس این تراواها با محصول می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر کیفیت آن تأثیر بگذارد. بنابراین، ضریب نفوذپذیری پلیمرها باید یکی از عواملی باشد که باید در هنگام انتخاب مناسب‌ترین بسته‌بندی برای نگهداری محصول غذایی در حال کار موردتوجه قرار گیرد.

با توجه به آنچه مشاهده شد، اکسیژن، دی‌اکسید کربن و بخارآب نفوذ می‌کند که می‌تواند تغییرات مهمی را در کیفیت گیاهان دارویی در طول ذخیره‌سازی ایجاد کند. بنابراین، این موارد باید در هنگام انتخاب مواد بسته‌بندی مورداستفاده در نظر گرفته شوند زیرا این امر باید به کارآمدترین شکل ممکن از عبور این گازها جلوگیری کند و از حفظ کیفیت محصول در طول دوره نگهداری اطمینان حاصل کند.

با توجه به مطالعات، تمامی روش‌های بسته‌بندی، مزایایی را در حفظ کیفیت پس از برداشت محصولات با منشأ گیاهی به همراه دارد و استفاده از این روش‌ها می‌تواند باعث حفظ کیفیت پس از برداشت گیاهان دارویی در زمان نگهداری شود.

روش‌های متعددی برای ایجاد محیط در اتمسفر اصلاح‌شده وجود دارد و به دلیل احتمال برهم‌کنش منفی بین محصول و محیط در اتمسفر اصلاح‌شده، باید قبل از انتخاب روش، ویژگی‌های محصول را رعایت کرد.

محتوای آب، رنگ‌آمیزی، ترکیبات زیست فعال متغیرهایی هستند که در نظارت بر کیفیت گیاهان دارویی در طول انبارداری اهمیت بالایی دارند.

با در نظر گرفتن تمام جوانب مشاهده‌شده، استفاده از اتمسفر اصلاح‌شده عمر مفید محصولات با منشأ گیاهی را افزایش می‌دهد و می‌تواند باعث شود که گیاهان دارویی کیفیت فیزیکی و شیمیایی خود را برای مدت طولانی‌تری حفظ کنند. علاوه بر این، فناوری تولید بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده در سال‌های اخیر پیشرفت زیادی کرده است و امکان استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده را در مقیاس صنعتی برای گیاهان دارویی فراهم کرده است.

۱۲. مراجع

۱. Ashley, R. J., Permeability and plastics packaging, in: Comyn, J. (Ed.), Polymer Permeability, Elsevier Applied Science Publishers, Essex. 1985.
۲. Barbosa, C. K. R., Fonseca, M. C. M., Silva, T. P., Finger, F. L., Casali, V. W. D., & Cecon, P. R., Effect of hydrocooling, packaging, and cold storage on the post-harvest quality of peppermint (Mentha piperita L.). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*. 18, 2016, 248–255.
۳. Benzie, I. F. F. , & Wachtel-Galor, S., Chapter 1 Herbal Medicine. NCBI Bookshelf, 2015, 1–11.
۴. Brackmann, A., & Chitarra, A. B., Atmosfera controlada e atmosfera modificada, in: Boren, F.M. (Ed.), *Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas*. UFLA/SBEA, Lavras, 1998, 133–170.
۵. Brandenburg, J. S., & Zagory, D., Modified and Controlled Atmosphere Packaging Technology and Applications, in: Yahia, E.M. (Ed.), *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities*. CRC Press, Boca Raton, 2009, 74–94.
۶. Canevarolo Junior, S. V., *Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos engenheiros*. Artliber, São Paulo, 2006.
۷. Chaliha, M., Cusack, A., Currie, M., Sultanbawa, Y., & Smyth, H., Effect of Packaging Materials and Storage on Major Volatile Compounds in Three Australian Native Herbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61, 2013, 5738–5745.

۸. Church, I. J., & Parsons, A. L., Modified atmosphere packaging technology: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 67, 1995, 143–152.
۹. Cole, E. R., Santos, R. B. dos., Lacerda Jínior, V., Martins, J. D. L., & Greco, S. J., Chemical composition of essential oil from ripe fruit of Schinus terebinthifolius Raddi and evaluation of its activity against wild strains of hospital origin. *Brazilian Journal of Microbiology*. 45, 2014, 821–824.
۱۰. Cooksey, K., *Food packaging, principles and practices*. 2nd ed, Packaging Technology and Science. CRC, Taylor and Francis, Boca Raton, 2006.
۱۱. Corrêa Junior, C., Scheffer, M. C., & Ming, L. C., Cultivo Agroecológico de Plantas Medicinais, Aromáticas e Condimentares. Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2006, 58–65.
۱۲. Costa, L. C. B., Pinto, J. E. B. P., Bertolucci, S. K. V., Alves, P. B., & Evangelino, T. S., Variação no rendimento e composição química do óleo essencial de folhas de atroveran (Ocimum selloi Benth.) inteiras e moídas sob condições de armazenamento. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*. 11, 2009, 43– 48.
۱۳. da Silva, S., Luvielmo, M., Geyer, M., & Pra, I., Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. *Semina: Ciências Agrárias*. 32, 2011, 659–682.
۱۴. Dutra, R. C. ., Campos, M. M. ., Santos, A. R. S. ., & Calixto, J. B., Medicinal plants in Brazil: Pharmacological studies, drug discovery, challenges and perspectives. *Pharmacological Research*. 112, 2016 4–29.
۱۵. E313-10, A., Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates,. ASTM International, West Conshohocken, 2010.
۱۶. Ebadi, M. T., Sefidkon, F., Azizi, M., & Ahmadi, N., Packaging methods and storage duration affect essential oil content and composition of lemon verbena (Lippia citriodora Kunth.). *Food Science & Nutrition*. 5, 2017, 588–595.
۱۷. Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. ., & Brecht, J. K., Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*. 52, 2002, 99–119.
۱۸. Jesus, A. S., Blank, A. F., Alves, M. F., Arrigoni-Blank, M. F., Lima, R. N., & Alves, P. B., Influence of storage time and temperature on the chemical composition of the essential oil of Hyptis pectinata L . Poit. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*. 18, 2016, 336–340.
۱۹ Jorge, N., *Embalagens para alimentos*, primeira. ed. Cultura academica-Universidade Estadual Paulista, São Paulo 2013.
۲۰. Krochta, J.M. (2007). *Food Packaging*, in: Heldman, D.R., Lund, D.B. (Eds.), Handbook of Food Engineering. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL. 2007.
۲۱. Lana, M. M., & Finger, F. L., *Atmosfera modificada e controlada*: aplicação na conservação de produtos hortícolas. EMBRAPA. 2000.
۲۲. Lisboa, C. F., Melo , E. de C. ., Sperotto , N. C. Z. ., Ávila, M. B. R. ., Silva, L. C. da ., Aleman, C. C. ., Carneiro , J. C. de S. ., Coelho, A. P. de F. ., & Silva , C. S. Da, Packaging and storage of medicinal plants. *Research, Society and Development*, *11*(7), 2022, e50911724813.
۲۳. Mahajan, P. V, Caleb, O.J., Singh, Z., Watkins, C.B., & Geyer, M., Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 2014, A372: 20130309.
۲۴. Mangaraj, S., Goswami, T. K., & Mahajan, P. V., Applications of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: A Review. *Food Engineering Reviews*. 1, 2009, 133–158.
۲۵. Mantilla, S. P. S., Santos, É. B., Vital, H. de C., Mano, S. B., & Franco, R. M., Atmosfera modificada e irradiação: métodos combinados de conservação e inocuidade alimentar. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*. 8, 2010, 23.
۲۶. Masand, S., Madan, S., & Balian, S.K, Modern concept of storage and packaging of raw herbs used in ayurveda. *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy*, 2014.
۲۷. Mayuoni-Kirshinbaum, L., Daus, A., & Porat, R., Changes in sensory quality and aroma volatile composition during prolonged storage of 'Wonderful' pomegranate fruit. *International Journal of Food Science & Technology*. 48, 2013, 1569–1578.
۲۸. Pantazi, D., Papavergou, A., Pournis, N., Kontominas, M. G., & Savvaidis, I. N., Shelf-life of chilled fresh Mediterranean swordfish (Xiphias gladius) stored under various packaging conditions: *Food Microbiology*. 25, 2008, 136–143.

۲۹. Patocka, J., & Almeida, J.D., *Brazilian pepper tree*: review of pharmacology. Mil. Med. Sci. Lett. 86, 2017, 32–41.
۳۰. Paul, D. R., & Clarke, R., Modeling of modified atmosphere packaging based on designs with a membrane and perforations. *Journal of Membrane Science*. 208, 2002, 269–283.
۳۱. Robertson, G. L., Food Packaging—Principles and Practice. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2006.
۳۲. Rozado, A. F., Faroni, L. R. A., Urruchi, W. M. I., Guedes, R. N. C., & Paes, J. L., Aplicação de ozônio contra Sitophilus zeamais e Tribolium castaneum em milho armazenado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 12, 2008, 282–285.
۳۳. Sarantópoulos, C., & Cofcewicz, L.S., *Embalagens ativas para produtos perecíveis.* Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens. 28, 2016, 1–12.
۳۴. Sarantópoulos, C. I. G. L., Alves, R. M. V., Coltro, L., Padula, M., Teixeira, F. G., & Moreira, C. Q., *Propriedades de Barreira*, in: Sarantopoulos, C.I.G.L., Teixeira, F.G. (Eds.), Embalagens Plásticas Flexíveis: Principais Polímeros e Avaliação de Propriedades. ITAL/CETEA, Campinas, 2018.
۳۵. Schirmer, B. C., & Langsrud, S., A dissolving CO2 headspace combined with organic acids prolongs the shelf-life of fresh pork. *Meat Science*. 85, 2010, 280–284.
۳۶. Silva, F., Casali, V. W. D., Lima, R. R., & Andrade, N. J. Qualidade pos-colheita de Achillea millefolium L., Origanum vulgare L. e Petroselinum crispum (Miller) A.W.Hill em três embalagens. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*. 2, 1999, 37–41.
۳۷. Silva, F., Park, K. J., Magalhães, P. M., Martins, G. N., & Gama, E. V. S., Avaliação do teor de óleo essencial de Baccharis trimera (Less.) DC. Em diferentes embalagens durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Plantas Med*icinais. 15, 2013, 54–58.
۳۸. Singh, R.P., & Heldman, D.R., *Introduction to food engineering*, 4th ed. Academic Press. 2001.
۳۹. Sivertsvik, M., Jeksrud, W.K., & Rosnes, J. T., A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products - significance of microbial growth, activities and safety. *International Journal of Food Science & Technology*. 37, 2002, 107–127.
۴۰. Sourestani, M. M., Malekzadeh, M., & Tava, A., Influence of drying, storage and distillation times on essential oil yield and composition of anise hyssop [Agastache foeniculum (Pursh.) Kuntze]. *Journal of Essential Oil Research*. 26, 2014, 177–184.
۴۱. Stannett, V., Szwarc, M., Bhargava, R. L., Meyers, J. A., Myers, A. W., & Rogers, C. E., Permeability of Plastic Films and coated Papers to Gas and Vapors. TAPPI Monograph Series, 1962.
۴۲. Wright, A. H., Delong, J. M., Arul, J., & Prange, R. K. (2015). The trend toward lower oxygen levels during apple (Malus × domestica Borkh) storage. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 90, 2015, 1–13.