

مراحل مهم در طراحی بسته‌بندی میوه‌ها و سبزیجات با اتمسفر اصلاح شده (MAP)

بهجت تاج‌الدین*

تاریخ دریافت مقاله: خرداد ماه ۱۳۹۵

تاریخ پذیرش مقاله: مهر ماه ۱۳۹۵

چکیده

امروزه بسته‌بندی با روش اتمسفر اصلاح شده همانند سایر کشورها، در ایران شناخته شده و کاربرد تجاری آن برای بسیاری از محصولات رو به افزایش می‌باشد. این روش، به معنای بسته‌بندی یک محصول فسادپذیر در اتمسفری که ترکیب آن با ترکیب اتمسفر معمولی متفاوت است. در هنگام بکارگیری این روش بسته‌بندی، توجه به نکاتی از جمله ضخامت و میزان نفوذپذیری فیلم و همچنین به میزان تنفس محصولات تازه الزامی است. در حالی که، عمل بسته‌بندی با روش فوق، بر این اساس است که آیا به صورت فعال انجام گیرد یا غیرفعال؟ در این مقاله به تشریح عوامل تأثیرگذار در این روش بسته‌بندی از جمله ضخامت لایه یا فیلم بسته براساس خصوصیات تنفسی محصول، جرم محصول، و سطح فیلم مورد استفاده برای بسته‌بندی محصولات تازه‌ای چون میوه‌ها و سبزی‌ها پرداخته شده است تا محصول نهایی، کیفیت بسیار بالایی داشته باشد. میزان نفوذپذیری فیلم بسته‌بندی به اکسیژن، بایستی به‌دقت با میزان تنفس محصولات تازه داخل بسته همسان باشد که با کاهش غلظت اکسیژن و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن داخل بسته به وجود می‌آید. هدف از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده، کاهش میزان تنفس محصول است؛ اما نه به طور کامل که منجر به ایجاد تنفس بی‌هوایی گردد، چرا که اگر میزان اکسیژن درون بسته‌ها بیش از حد کاهش یابد، ممکن است منجر به ایجاد تنفس بی‌هوایی گردد و اگر به میزان تنفس محصولات توجه نشود و مقدار اکسیژن بیش از حد بالا باشد، ماندگاری محصولات طولانی نخواهد بود.

۱- مقدمه

محصولات تازه به دلیل میزان بالای تنفس پس از برداشت، ماندگاری پایینی دارند. تنفس میوه‌ها و سبزی‌ها تازه را می‌توان به روش‌های مختلفی از جمله بسته‌بندی مناسب، کاهش داد. بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (MAP)، یک نوع فناوری است که می‌تواند برای میوه‌ها و سبزی‌های تازه، حداقل فرآیند شده و سبزی‌های "آماده برای استفاده" به کار رود. شکل (۱)، نمونه‌ای از بسته‌بندی خرما را رقم برحی در مرحله خارک با اتمسفر اصلاح شده را نشان می‌دهد [۱].

واژه‌های کلیدی

بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (MAP)، شدت تنفس،

میوه‌ها و سبزی‌ها

۱- عضو هیئت علمی، مهندسی بسته‌بندی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(* نویسنده مسئول: behjat.tajeddin@yahoo.com)

2- Modified Atmosphere Packaging



شکل ۱- بسته‌بندی خرماي رقم برحي در مرحله خارک با اتمسفر اصلاح شده [۱]

۲- **پرکردن تدریجی یا جایگزینی خلأ:** با تخلیه هوا در درون بسته‌بندی، خلأ ایجاد شده و سپس با مخلوط گازی مناسب که قبلاً آماده‌سازی شده، پر و سپس دربندی می‌گردد.

۳- **اصلاح‌کننده‌های اتمسفر^۵:** اصلاح‌کننده‌ها، اصطلاحی کلی برای ترکیباتی مانند جاذب‌های اکسیژن (O_2)، دی‌اکسیدکربن (CO_2) یا جاذب‌های اتیلنی، تنظیم‌کننده‌های رطوبت و ... است. از این روش تحت عنوان بسته‌بندی فعال^۶ نیز نام می‌برند. بسته‌بندی فعال در مورد انواع گوناگونی از مواد غذایی مانند نان، کیک، شیرینی، پیتزا، خمیر تازه، پنیر، گوشت و فرآورده‌های آن و میوه‌ها استفاده می‌شود.

از سال‌ها پیش، انواع جاذب‌ها به شکل بسته‌های کوچک یا ساشه^۷ کاربرد داشته‌اند. به عنوان مثال، ساشه‌های اکسیژن طوری طراحی می‌شوند که میزان اکسیژن را تا کمتر از ۱٪ در بسته کاهش می‌دهند. در حال حاضر، با پیشرفت نانوفناوری، ساشه‌های نانوجاذب نیز وارد بازار شده است. مثلاً، ساشه‌های جاذب اتیلن،

میوه‌ها و سبزی‌های تازه با قرارگیری در اتمسفر با ترکیبی مناسب از اکسیژن و دی‌اکسید کربن که منجر به کاهش سرعت تنفس آن‌ها می‌گردد، ماندگاری بیشتری خواهند داشت. به طور کلی، اتمسفر اصلاح شده داخل بسته‌های پلیمری به روش‌های فعال^۱ و غیرفعال^۲ یا ترکیبی از هر دو ایجاد می‌شود.

در روش غیرفعال، به دلیل تنفس محصول، نسبت ترکیبات گازی اتمسفر درون بسته تغییر می‌یابد. چنین اتمسفری به خصوصیات محصول، ضخامت و جنس فیلم بستگی دارد. در روش فعال، به جای اتمسفر معمولی درون بسته، غلظت مناسبی از گازها جایگزین می‌گردد. ایجاد اتمسفر اصلاح شده فعال به یکی از سه روش زیر انجام می‌گیرد [۲ و ۴]:

۱- **پرکردن یا گاززنی سریع^۳:** در این روش، قبل از دربندی، هوای داخل بسته با جریان مداومی از مخلوط گازی مناسب به بیرون فرستاده شده و گاز یا گازهای موردنظر جایگزین می‌شوند.

4- Gas Compensated or Compensated Vacuum

5- Modifier Atmosphere

6- Active Packaging

7- Sachet

1- Active Modification

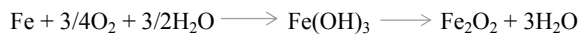
2- Passive Modification

3- Gas Flashing

گرانول‌های^۱ پرمگنات پتاسیم هستند که روی بستر نانویی (برای افزایش سطح) تثبیت شده‌اند.

آگل^۲: جاذب O₂ تجاری است که جزء اصلی آن، اکسید آهن فعال است که در یک کیسه کوچک نفوذپذیر بسته‌بندی می‌شود و همراه با محصول، قبل از دربندی، داخل بسته قرار می‌گیرد. اکسید آهن فعال با O₂ فضای خالی بسته واکنش داده و مقدار آن را تا حدود ۱۰۰ ppm یا کمتر، در مدت چند ساعت کاهش می‌دهد. رابطه ۱، واکنش مربوط به ماده جاذب آگل را نشان می‌دهد. آگل برای مهار آفات و آلودگی‌های غلات مانند گندم هم به کار می‌رود. همچنین، کپک‌ها را در موادی مانند نان و کیک بسته‌بندی به خوبی مهار می‌کند.

(رابطه ۱)



۲- چگونگی ایجاد تعادل گازی در داخل بسته

در بسته‌بندی کاملاً مسدود^۳، تغییرات اتقاق افتاده درون بسته به موازات تنفس خواهد بود و در نتیجه ترکیب ثابتی در اتمسفر به وجود خواهد آمد. به عبارت دیگر، هنگامی که تنفس صورت می‌پذیرد، همچنان که O₂ داخل بسته کاهش می‌یابد، ابتدا غلظت CO₂ در مقابل O₂ افزایش نشان می‌دهد. از آنجایی که پوشش‌های بکار رفته در بسته‌بندی همواره نسبت به CO₂ قابل نفوذتر از O₂ می‌باشد. در نتیجه CO₂ نسبت به O₂ داخل بسته، سریع‌تر خارج می‌شود. با مصرف O₂، CO₂ با همان مقدار تعادلی تولید شده و شیب گاز داخل بسته به وجود می‌آید. این شیب CO₂ را خارج کرده و باعث ورود O₂ می‌شود.

هنگامی که غلظت O₂ مصرف شده با غلظت O₂ وارد شده به داخل بسته و غلظت CO₂ تولیدی مساوی با غلظت خروجی CO₂ به خارج بسته باشد، موازنه و تعادلی در شرایط پایا^۴ ایجاد می‌گردد. ایجاد تعادل به دما، شدت تنفسی

محصول، وزن محصول، نفوذپذیری فیلم بسته‌بندی به O₂ و CO₂، حجم آزاد درون بسته و سطح فیلم بستگی دارد. جمعیت میکروبی محصول نیز ممکن است بر غلظت O₂ مصرف شده و CO₂ تولید شده مؤثر باشد [۵، ۶ و ۸].

۳- عوامل مؤثر بر (MAP)

عوامل بسیاری در طراحی روش (MAP) میوه‌ها و سبزی‌ها تأثیرگذار هستند که به طور کلی می‌توان آن‌ها را در چهار دسته ذیل خلاصه کرد:

۱- عوامل مربوط به محصول: مسائلی چون تنفس،

تولید اتیلن، حساسیت به اتیلن، رقم، درجه رسیدگی، غلظت متناسبی از O₂ و CO₂ و ... را شامل می‌شود. طی فرآیند تنفس، قندهای شش کربنه با مصرف اکسیژن، اکسید شده و به CO₂ و آب تبدیل می‌شوند (رابطه ۲).



از این رو، در طراحی (MAP)، عمدتاً گازهایی مانند اکسیژن، CO₂ و N₂ استفاده می‌شوند. اگرچه گازهای دیگری مانند اکسید نیتروس^۵ یا نیترو (N₂O)، اکسید نیتریک (NO)، دی‌اکسید گوگرد، اتیلن، کلر و همچنین ازن و اکسید پروپیلن نیز برای استفاده در روش (MAP)، بررسی شده است؛ اما به دلیل مسائلی چون ایمنی، مقررات و ملاحظات هزینه‌ای، به صورت تجاری کاربرد ندارند. درصد توصیه شده O₂ در این روش، برای حفظ ایمنی و کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها بین ۱ تا ۵٪ توصیه می‌شود. شایان ذکر است که در صنایع گوشت و فرآورده‌های آن برای حفظ رنگ روشن گوشت، هنگام استفاده از روش (MAP)، از مقادیر بالای اکسیژن استفاده می‌گردد. علاوه بر صنایع گوشت، در پژوهش‌های جدید، برای میوه‌ها و سبزی‌ها نیز کاربرد نسبت‌های بالای اکسیژن توصیه می‌شود [۹ و ۱۰]. تنظیم موفقیت‌آمیز تنفس محصول و میزان اتیلن توسط (MAP) می‌تواند به کیفیت

- 1- Granules
- 2- Ageles
- 3- Sealed
- 4- Steady State

5- Nitrous Oxide

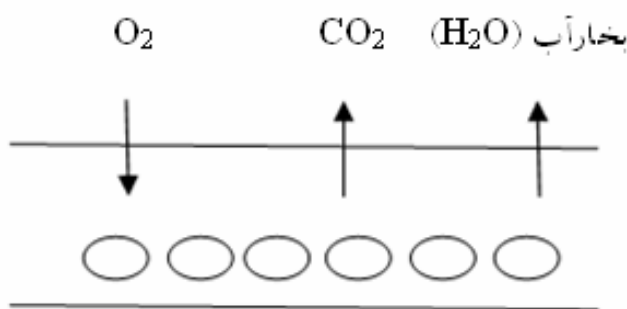
فساد را کاهش دهد؛ اما سبب آسیب فیزیولوژیک به محصولات حساس به CO₂ می‌شود. مثلاً، منجر به تغییر رنگ و همچنین پیدایش طعم اسیدی در برخی از مواد غذایی می‌گردد، زیرا با انحلال CO₂ در آب موجود در ماده غذایی، اسید کربنیک^۶ تشکیل می‌شود که تغییرات نامطلوبی در طعم به وجود می‌آورد.

همچنین، قابلیت حلالیت CO₂ در فاز آبی ممکن است موجب فروکش^۷ اتمسفر بسته حاوی مواد غذایی شود. گاز ختنی ازت عمدتاً برای جلوگیری از اکسیداسیون و فرو ریختن بسته به کار می‌رود. در میوه‌های فرازگرا یا کلایمکتریک^۸ [میوه‌هایی که در مرحله رسیدن فیزیولوژیک (بلوغ^۹) چیده می‌شوند و پس از آن فرآیند رسیدن ادامه می‌یابد (مانند موز، سیب، خرمالو، انبه و برخی مرکبات)، افزایش CO₂ و کاهش O₂ محیط، شدت سنتز اتیلن را کاهش می‌دهد. بنابراین، شرایط (MAP) ممکن است ماندگاری آن‌ها را افزایش دهد [۱۵]. سلیمانی (۱۳۹۰) گزارش کرد که عمر انباری زردآلو رقم قرمز شاهرود با بسته‌بندی در فیلم‌های پلی‌پروپیلن با ضخامت ۰/۲ و ۰/۴ میلی‌متر با اتمسفر حاوی ۳/۰٪ CO₂ و ۱۰٪ O₂ حداقل ۶-۷ روز افزایش می‌یابد [۶]. شکل ۳، چگونگی وضعیت رسیدن^{۱۰} میوه‌های فرازگرا را نشان می‌دهد. در

حسی بالا در یک میوه و یا سبزی منجر شود، با این حال، کنترل این فرآیند به کنترل دما وابسته است [۱۱ و ۱۲]. شکل (۲)، نمادی ساده از فرآیند تنفس را در یک محصول بسته‌بندی شده با فیلم نفوذپذیر نشان می‌دهد.

به‌طور کلی، در روش (MAP) فعال، کاهش غلظت O₂ تا سطوح ۵-۱٪، موجب کاهش شدت تنفس شده و ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌ها با به تأخیر افتادن اکسیداسیون^۱ ترکیبات مواد، طولانی می‌شود. همچنین در غلظت‌های O₂ کمتر از ۸٪، تولید اتیلن که یک ترکیب کلیدی برای رسیدن محصول است، کاهش می‌یابد. با این حال، کاهش غلظت O₂ به کمتر از ۱٪ تنفس بی‌هوازی را تشدید می‌کند که متعاقباً ممکن است به تولید اتانول^۲، استالدهید^۳ و اسیدهای آلی منجر شود و در نتیجه باعث تغییر رنگ، تخریب بافت و تولید مواد بدبو و بدطعم گردد [۱۳].

اگرما^۴ و همکاران (۱۹۹۳)، گزارش کردند که غلظت‌های O₂ کمتر از ۱٪ و CO₂ بیش از ۱۵٪، غلظت‌های بحرانی برای محصولات کشاورزی می‌باشند. البته محدوده تحمل‌پذیری نسبت به غلظت‌های O₂ پایین و CO₂ بالا به چندین متغیر مانند دما، شرایط فیزیولوژیک^۵، بلوغ و فرآیندهای آماده‌سازی بستگی دارد. غلظت‌های CO₂ بیش از ۱۰ تا ۱۵٪، اگرچه ممکن است رشد میکروب‌های ایجادکننده



شکل ۲- نمای ساده‌ای از فرآیند تنفس در یک محصول بسته‌بندی شده با فیلم نفوذپذیر [۷]

- 6- Acid Carbonic
- 7- Collapse
- 8- Climacteric Fruits
- 9- Maturation
- 10- Ripening

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون
بسته‌بندی

- 1- Oxidation
- 2- Etanol
- 3- Acetaldehyed
- 4- Exama et al.
- 5- Physiological

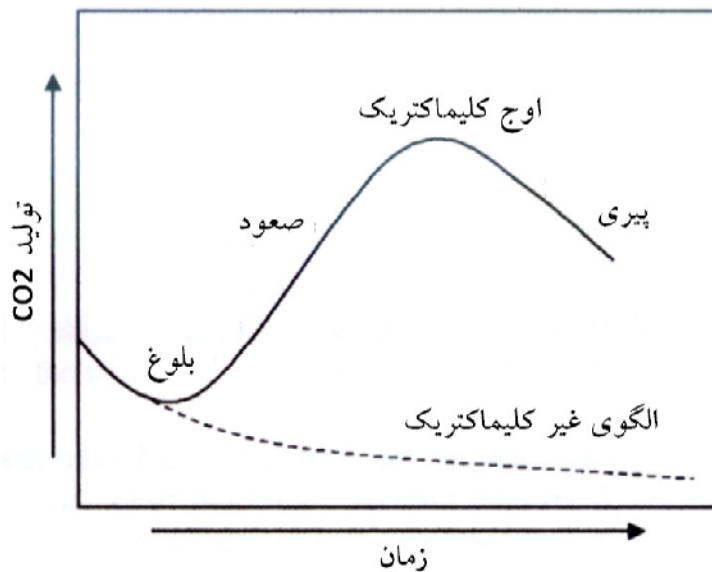
واقع، کلیماکتریک مرحله‌ای از زندگی میوه است که در این مرحله، شدت تنفس به‌طور ناگهانی افزایش پیدا می‌کند. این افزایش شدید تنفس همراه با افزایش اتیلن بوده و رسیدن در میوه شروع و تحریک می‌شود.

۲- شرایط محیطی: شامل عواملی مانند: دمای نگهداری، رطوبت نسبی، میزان نفوذپذیری بسته نسبت به نور محیط نور و عوامل بهداشتی را دربرمی‌گیرد. دمای پایین به کاهش شدت تنفسی، کنترل رشد میکروارگانیسم‌ها و به تعویق انداختن فعالیت متابولیکی^۱ بافت گیاهی کمک می‌کند. یک اثر مفید (MAP)، حفظ رطوبت نسبی متعادل در داخل بسته است. رطوبت نسبی بالا باعث تراکم^۲ رطوبت و ایجاد شرایط مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌ها^۳ می‌شود. تراکم رطوبت روی سطح فیلم بسته‌بندی، ممکن است بر ویژگی نفوذپذیری فیلم نسبت به گازهای مختلف اثر گذاشته و منجر به تغییر نامطلوب ترکیب اتمسفر شود. سبزی‌ها در صورت وجود نور به میزان کافی، مقداری از CO₂ را از طریق فتوسنتز^۴ به O₂ تبدیل می‌کنند. تأثیر (MAP) با افزایش

دما کاهش می‌یابد که به دلیل کاهش محلولیت گازها در مایع (محلول) است. با افزایش دما، حلالیت O₂ در مایع کاهش می‌یابد، همان‌طور که در تابستان ظرفیت اکسیژن آب‌ها نسبت به زمستان کمتر است.

۳- فرآیندهای آماده‌سازی: این پیش تیمارها شامل، عملیاتی هستند که سبب می‌شوند محصول برداشت شده خام (میوه و سبزی تازه) به محصولی سالم، بهداشتی، مغذی، جذاب، و با ماندگاری بالا تبدیل شود. این عملیات شامل شستشو، جداسازی بافت‌های ناسالم و یا غیرخوراکی (مانند پوست‌گیری و یا مغزگیری) و یا سرد کردن است.

۴- عوامل فنی مربوط به بسته‌بندی: هنگامی که محصول درون بسته‌های کوچک بسته‌بندی می‌شود، ادامه کنترل مکانیکی اتمسفر پیرامون محصول امکان‌پذیر نیست. میزان و موقعیت گازهای فضای خالی بسته‌بندی فقط با انتخاب صحیح مواد بسته‌بندی با نفوذپذیری مورد نظر امکان‌پذیر می‌باشد. مواد زیادی از جمله: پلاستیک، قوطی،



شکل ۳- وضعیت رسیدن میوه‌های فرازگرا و مقایسه آن با غیرفرازگرا [۱۶]

شیشه و کاغذ برای بسته‌بندی وجود دارند؛ اما تنها تعداد محدودی برای (MAP) مناسب هستند. مثلاً، قوطی‌های فلزی و بطری‌های شیشه‌ای به دلیل

- 1- Metabolites
- 2- Condensation
- 3- Microorganisms
- 4- Photosynthesis

عنوان سد یا عایق عمل می‌کند، یکی از اصلی‌ترین موضوعاتی است که بایستی به آن توجه کرد. عواملی مانند نفوذپذیری^۵ و انتخاب‌پذیری^۶ نیز از مسائل مهمی هستند که با جنس و ضخامت فیلم ارتباط تنگاتنگ دارند که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود. قابل ذکر است که گاهی بسته به هدف بسته‌بندی، می‌توان روش (MAP) را برای مقادیر بالای محصول نیز به کار برد. شکل (۴)، نمونه‌ای ساده از پالت‌های حاوی توت‌فرنگی پوشانده شده با فیلم دارای اتمسفر تغییر یافته (در مرکز^۷ IPC هلند) را نشان می‌دهد.

۴- محاسبه نفوذپذیری مورد نیاز فیلم برای گازها (PR_{gas})

یکی از گام‌های اصلی در طراحی بسته‌بندی (MAP)، پیش‌بینی نفوذپذیری لازم برای O_2 و CO_2 است. پوشش‌های با روزه‌های ریز، برای محصولات تازه با میزان تنفس بالا مانند میوه‌ها و سبزی‌های با حداقل فرآوری استفاده می‌شوند [۱۸].

نفوذناپذیری کامل و انعطاف‌پذیری کم برای (MAP) مناسب نیستند. به طور کلی، هنگام انتخاب فیلم‌های بسته‌بندی برای (MAP) میوه‌ها و سبزی‌ها، ویژگی‌های اصلی که بایستی به آن‌ها توجه کرد عبارت از: نفوذپذیری به گاز، میزان انتقال بخار آب، خواص مکانیکی، شفافیت، نوع بسته و قابلیت دوخت هستند. فیلم‌هایی که به طور سنتی برای بسته‌بندی استفاده می‌شوند مانند پلی‌اتیلن سبک^۱ (LDPE)، پلی‌وینیل کلراید^۲ (PVC)، اتیلن وینیل استات^۳ (EVA)، و پلی‌پروپیلن اصلاح شده^۴ (OPP) برای محصولات با شدت تنفس بالا مانند محصولات تازه برش خورده، قارچ‌ها و بروکلی به اندازه کافی نفوذپذیری ندارند. از آنجایی که میوه‌ها و سبزی‌ها تنفس می‌کنند، نیاز به انتقال گازها از فیلم وجود دارد. فیلم‌ها با این ویژگی، فیلم‌های نفوذپذیر نامیده می‌شوند. فیلم‌های دیگر که فیلم‌های کاملاً نفوذناپذیر نام دارند، برای جلوگیری از تبادل گازها طراحی می‌گردند و عمدتاً برای محصولات تازه‌ای مثل گوشت و ماهی استفاده می‌شوند.

بنابراین، هنگام اجرای (MAP)، نوع فیلم یا لایه‌ای که به



شکل ۴- نمونه‌ای ساده از روش (MAP) برای پالت‌های حاوی توت‌فرنگی (مرکز IPC هلند) [۱۷]

- 5- Permeability
- 6- Selectivity
- 7- Innovation Practical & Training Center

- 1- Low Density Polyethylene
- 2- Poly Vinyl Chloride
- 3- Ethylene Vinyl Acetate
- 4- Oriented Polypropylene (OPP)

نسبت مناسب گازهای تشکیل دهنده اتمسفر در بسته‌بندی (MAP)، نسبتی است که بدون آسیب به محصول، سرعت تنفس را به حداقل می‌رساند. مقاومت محصولات کشاورزی مختلف نسبت به اتمسفرهای گوناگون، متفاوت است. به طور کلی، در یک اتمسفر مناسب، شدت مصرفی اکسیژن در تنفس هوایی برابر شدت ورودی اکسیژن و شدت تولید دی‌اکسید کربن از تنفس هوایی برابر شدت خروجی دی‌اکسید کربن می‌باشد. شکل (۵)، تعادل در اتمسفر اصلاح شده را نشان می‌دهد. این شرایط هنگامی فراهم می‌شود که مقدار اکسیژن مصرفی طی تنفس محصول برابر با مقدار نفوذپذیری فیلم بسته‌بندی نسبت به اکسیژن باشد. همچنین، مقدار دی‌اکسید کربن تولیدی طی تنفس محصول برابر با مقدار نفوذپذیری فیلم بسته‌بندی نسبت به دی‌اکسید کربن می‌باشد.

$L =$ ضخامت فیلم (mil).

میل، واحدی است که برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم در آمریکا استفاده می‌شود و برابر با یک هزارم اینچ می‌باشد. مثلاً یک تار مو ضخامتی حدود یک میل دارد. از آنجایی که هر اینچ، برابر ۲/۵۴ cm است، بنابراین، هر میل برابر با ۰/۰۲۵۴ mm و ۲۵/۴ میکرون می‌باشد. متداول‌ترین اندازه ضخامت ورقه‌های پلاستیکی، ۶ میل (۱۵۲/۴ میکرون) است.

$A =$ سطح نفوذپذیر

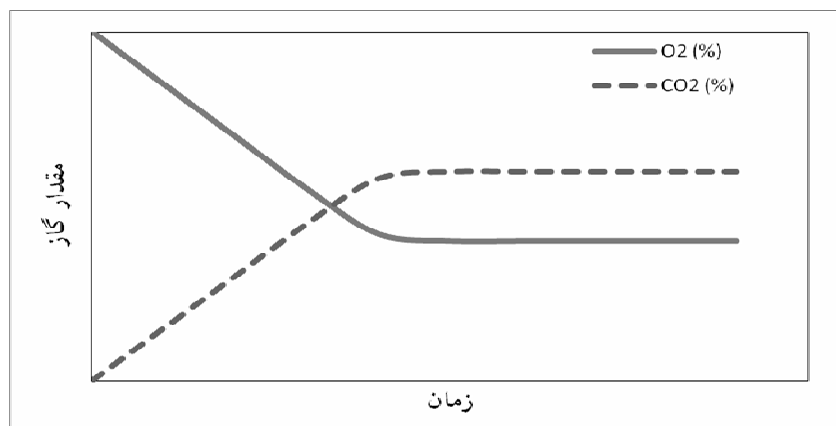
$P =$ فشار محیط (۱ اتمسفر)

$Y_{O_2}^e =$ جزء حجمی اکسیژن خارجی [میزان اکسیژن

خارج بسته یا محیط (۰/۲۱)]

$Y_{O_2}^o =$ غلظت بهینه اکسیژن (میزان اکسیژن مناسب

داخل بسته)



شکل ۵- تعادل در اتمسفر اصلاح شده [۷]

۵- محاسبه انتخاب‌پذیری

برای (MAP) میوه‌ها و سبزی‌ها، به مفهوم نسبت نفوذپذیری موردنیاز برای CO_2 و O_2 تعریف می‌شود و با استفاده از (رابطه ۴) محاسبه می‌گردد:

$$S^R = P_{CO_2}^R / P_{O_2}^R = RQ [(Y_{O_2}^e - Y_{O_2}^o) / (Y_{CO_2}^o - Y_{CO_2}^e)]$$

RQ : خارج قسمت تنفسی (R_{CO_2} / R_{O_2})

به طور کلی، شدت عبور اکسیژن برای هر فیلم پلیمری از (رابطه ۳) به دست می‌آید [۱۴]:

$$P_{O_2}^R = (W \cdot R_{O_2} \cdot L) / [AP (Y_{O_2}^e - Y_{O_2}^o)] \quad (\text{رابطه ۳})$$

$P_{O_2}^R =$ نفوذپذیری موردنیاز فیلم برای اکسیژن
($ml \cdot mil / cm^2 \cdot hr \cdot atm$)

$W =$ جرم محصول (Kg)

$R_{O_2} =$ میزان یا نرخ تنفس^۱ محصول

2- Respiratory Quotient

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون
بسته‌بندی

1- Respiration Rate

پلستنجاک و همکاران (۲۰۰۸)، تأثیر شرایط مختلف نگهداری بر ماندگاری کلم خرد شده بسته‌بندی کرده را بررسی کردند. کلم رقم فیلدراکت^۳ بریده شده و در جارهای شیشه‌ای، فیلم‌های پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن قرار گرفتند. نسبت گازهای تشکیل‌دهنده اتمسفر تحت بررسی عبارت بودند از: $1.0\% \text{O}_2 + 9.5\% \text{N}_2 + 5.0\% \text{CO}_2$ ، $1.0\% \text{N}_2 + 9.0\% \text{CO}_2$ ، اتمسفر معمولی (NA)، $1.0\% \text{O}_2 + 7.0\% \text{CO}_2 + 3.0\% \text{N}_2$ ، و $1.0\% \text{O}_2$. نمونه‌ها در دو دمای ۰ و ۱۰°C به مدت ۷ روز نگهداری شدند. تغییرات غلظت‌های CO_2 و O_2 در اتمسفر حاوی $1.0\% \text{O}_2 + 7.0\% \text{CO}_2 + 3.0\% \text{N}_2$ در ۱۰°C نسبت به ۰°C بالاتر بود. کاهش O_2 زیر ۵-۳٪ و افزایش CO_2 بالای ۵-۲٪ در داخل بسته‌ها، منجر به ایجاد تنفس بی‌هوازی می‌شود. یک اتمسفر اولیه حاوی $1.0\% \text{O}_2$ و دمای نگهداری ۰°C سبب تأخیر متابولیسم^۴ بی‌هوازی در مقایسه با دیگر شرایط اتمسفری و دمای ۱۰°C می‌گردد. تغییرات زیاد در غلظت CO_2 و O_2 ، و متعاقب آن تجمع متابولیت‌های بی‌هوازی تأثیر منفی روی خواص حسی کلم بریده شده دارد. نفوذپذیری بالای فیلم^۵ (PE) نسبت به PP ^۶ و شیشه تبادلات سریع‌تری از CO_2 و O_2 را ممکن می‌سازد که در نتیجه متابولیت‌های بی‌هوازی کمتری در آن تجمع می‌یابند. در هر حال، غلظت‌های بالاتر O_2 ، تأثیر منفی روی رنگ کلم بریده شده تازه دارد. بهترین نتیجه با بسته‌بندی کلم تازه بریده شده در فیلم (PE) با یک اتمسفر اولیه حاوی $1.0\% \text{O}_2$ و دمای ۰°C به دست آمد. ضرایب نفوذپذیری فیلم‌های (PE) و (PP) در (جدول ۲) خلاصه شده است.

تنفس میوه‌ها و سبزی‌ها یک فرآیند متابولیکی است که انرژی لازم برای فرآیندهای بیوشیمیایی در گیاهان را فراهم می‌کند. تنفس هوازی حاوی تجزیه اکسیداسیونی منابع آلی به ترکیبات ساده‌تر مثل CO_2 و H_2O و آزاد شدن انرژی می‌باشد.

نسبت CO_2 تولیدی به O_2 مصرفی، RQ یا خارج قسمت تنفسی ($R_{\text{CO}_2}/R_{\text{O}_2}$) نام دارد که برای کربوهیدرات‌ها مساوی ۱ است. RQ بالاتر از ۱، طی تنفس بی‌هوازی اتفاق می‌افتد. در تنفس بی‌هوازی، اتانل به عنوان محصول نهایی تولید می‌شود (پلستنجاک^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). کارلین^۲ و همکاران (۱۹۹۰)، RQ برابر ۶ را در مورد هویج رنده شده بسته‌بندی کرده در فیلم با نفوذپذیری کم، به دست آوردند. جدول (۱)، انتخاب‌پذیری برخی از فیلم‌های پلیمری را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نفوذپذیری به O_2 ، CO_2 و انتخاب‌پذیری برخی از فیلم‌های پلیمری برای ضخامت ۱ میل در ۴°C [۱۴]

فیلم	P_{CO_2}	P_{RO_2}	S
	(ml.mil/cm ² .hr.atm)		
PVC	1.40×10^{-1}	2.3×10^{-2}	۶/۱
LDPE	8.10×10^{-2}	1.2×10^{-2}	۶/۷
HDPE	7.40×10^{-4}	1.53×10^{-4}	۴/۸
PET	4.93×10^{-4}	1.44×10^{-4}	۳/۸
PA (نایلون)	3.84×10^{-4}	8.16×10^{-5}	۴/۷

جدول ۲- انتقال بخار آب، ضرایب نفوذپذیری O_2 ، N_2 و CO_2 فیلم‌های PE و PP با ضخامت ۲۵mm در دمای ۲۵°C [۲۱]

فیلم	انتقال بخار آب (g/(m ² .day) at 38°C and 90% RH)	ضریب نفوذپذیری (cm ³ /(m ² .day.Pa))
		CO_2 N_2 O_2
PE	۱۸	۰/۰۷۷ ۰/۰۲۸ ۰/۴۱۴
PP	۶-۷	۰/۰۲۰ ۰/۰۰۴ ۰/۰۷۹

- 3- Fieldrocket
- 4- Metabolical
- 5- Polyethelene
- 6- Polyethelene

- 1- Plestenjak et al.
- 2- Carlin et al.

۶- نقش دما در طراحی (MAP)

نفوذپذیری فیلم پلیمری با افزایش دما، افزایش می‌یابد که نفوذپذیری آن نسبت به CO₂ سریع‌تر از نفوذپذیری نسبت به O₂ افزایش می‌یابد. به طور کلی، سرعت واکنش‌های آنزیمی تنفس با بالا رفتن دمای میوه یا سبزی از حدود ۱- تا ۳۵ °C افزایش می‌یابد.

خارج قسمت دمایی یا ضریب دمایی (Q₁₀) یک میوه یا سبزی برای پیش‌بینی سرعت تنفس به کار می‌رود. این ضریب، میزان تغییر یک سیستم شیمیایی یا بیولوژیکی^۱ به ازای هر ۱۰°C افزایش دما را اندازه‌گیری می‌کند و مقدار تنفس (R₂) در دمای T₁ °C نسبت به مقدار تنفس (R₁) در دمای ۱۰°C کمتر از T₁ را نشان می‌دهد (رابطه ۵). برای فواصل دمایی غیر از ۱۰ °C، برای محاسبه Q₁₀ از رابطه (۶) استفاده می‌شود که در آن، T₁ و T₂ به ترتیب دماهای بیشتر و کمتر برحسب درجه سلسیوس و R₁ و R₂ نیز مقدار تنفس متناظر با این دو دما هستند. توصیه می‌شود که برای دستیابی به نتیجه معقول اختلاف بین T₁ و T₂ بیش از ۱۰°C نباشد [۵].

$$= \frac{R_2 (in T_2^{\circ}C)}{R_1 (in T_1 - 10^{\circ}C)} Q_{10} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$Q_{10} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{10/(T_2 - T_1)} \quad (\text{رابطه ۶})$$

۷- خلاصه مراحل طراحی (MAP)

همان‌طور که ذکر شد، متغیرهای متعددی در طراحی روش (MAP) بایستی مورد توجه قرار گیرند. مهم‌ترین این متغیرها، به شرح مراحل یا گام‌های زیر فهرست شده‌اند (اورای کول^۲، ۱۳۸۰؛ ژو^۳، ۱۹۹۹؛ کارلین^۴ و همکاران، ۱۹۹۰؛ گانگ و کوری^۵، ۱۹۹۲؛ گانگ و کوری، ۱۹۹۴):

- 1- Biological
- 2- Oria And Corey
- 3- Zhu
- 4- Carlin
- 5- Gong and Corey

۱- جلوگیری از تنفس بی‌هوایی و فساد: به منظور حفظ محصول برای مصرف انسانی؛ به حداقل رساندن فرآیند رسیدن محصول با جلوگیری از تنفس هوایی و جلوگیری از آلودگی محصول

۲- شناخت و درک محصول: شامل موضوعاتی همچون نوع محصول (مثلاً کاهو، هویج، مخلوط سالاد، و...); واکنش‌های ممکن در محصول (مثلاً، تبدیل گلوکز به آب و CO₂); نرخ تنفسی محصول؛ خارج قسمت تنفسی که از واکنش‌ها تعیین می‌شود یا برابر ۱ فرض می‌گردد؛ تغییرپذیری پیش‌بینی شده در تنفس محصول و محدودیت‌ها (به عنوان مثال، آیا CO₂ بالا باعث بروز مشکلاتی می‌شود؟)

۳- درک و شناخت بسته: شامل مواردی مانند: شرایط انبار یا نگهداری از جمله دما و زمان (همیشه باید بدترین شرایط در نظر گرفته شود)؛ وزن محصول در هر بسته؛ ابعاد بسته (مثلاً حجم و مساحت سطحی)؛ و نیازهای بسته (مثل توجه به میزان انتقال متغیرهای مهم)

۴- تعیین اتمسفر مطلوب در بسته: برای این کار، عواملی چون غلظت مناسب O₂ و CO₂ در شرایط پایا؛ و رطوبت نسبی مناسب است.

۵- انتخاب صحیح فیلمی که همه نیازهای موردنظر را برآورده کند: در این مرحله لازم است که به میزان انتقال اکسیژن (میزان مصرف O₂ در شرایط پایای موردنظر)؛ میزان انتقال دی‌اکسیدکربن (میزان تولید CO₂ در شرایط پایای موردنظر)؛ دمای ناشی از گرمای دوخت؛ خواص نوری؛ قابلیت چاپ، قابلیت استفاده در ماشین؛ سختی^۶؛ و مقاومت به ایجاد سوراخ یا روزنه‌های خیلی ریز^۷ توجه کرد. همچنین، بایستی به مسائل خاص و ویژه زیر که به هنگام طراحی ساختار مناسب یک فیلم الزامی است، بایستی توجه شود. از جمله این مسائل، توجه به موارد ذیل ضروری است:

- 6- Toughness
- 7- Pinholes

مؤثر بر طراحی طوری تنظیم شود تا اگر بسته‌های قابل قبول و درستی به دست نیامد، بتوان علت را تشخیص داد. بنابراین، با فرض این که کلیه مراحل طراحی به خوبی انجام شده است، در صورت داشتن بسته‌های نامطلوب، بایستی به موارد ذیل توجه کرد:

- داده‌های مربوط به میزان تنفس محصول دقیق نبوده است.

- در صورتی که از چند محصول (مثلاً در بسته‌بندی مرکب چند برش از چند میوه) استفاده شده باشد، مخلوط مختلف محصولات از قوانین مربوط به مخلوط یک محصول تبعیت نکرده است.

- اگر بسته‌ها روی هم انبار شده‌اند، ممکن است از امکان استفاده از ۱۰۰٪ مساحت سطحی خود برای تبادل انتقال اکسیژن و دی‌اکسید کربن برخوردار نبوده باشند.

- ممکن است هنگامی که میزان تبادلات گازی فیلم برآورد می‌شد، تأثیر چاپ روی سطح بسته در نظر گرفته نشده باشد.

- داده‌های مربوط به انتقال فیلم غلط بوده‌اند یا از دما و واحدهای اشتباه استفاده شده است.

۸- نتیجه‌گیری

برای استفاده از فیلم‌های پلاستیکی به شکل استاندارد در حفظ اتمسفر اصلاح شده میوه‌ها و سبزی‌ها بایستی به متناسب بودن آن‌ها با شرایط بسته‌بندی توجه کرد. بیشتر فیلم‌ها، حتی در اتمسفر مطلوب O_2 و CO_2 ، ممکن است نتیجه رضایت‌بخشی نداشته باشند. به‌ویژه هنگامی که شدت تنفس محصول بالا است. در حالی که، توجه به نیاز نفوذپذیری فیلم‌ها به O_2 ، کافی است تا بتوان شرایط بسته را تنظیم کرد. میزان تنفس میوه‌ها و سبزی‌ها با افزایش دما نسبت به نفوذپذیری فیلم به گاز، با شدت بیشتری افزایش می‌یابد. افزایش دمای محیط به بیش از دماهای مطلوب ممکن است باعث کمبود اکسیژن شده و به‌طور جدی به محصول آسیب برساند. به‌طور کلی، فرآیند طراحی یک بسته تولیدی، به مراحل یا گام‌هایی مشتمل بر شناخت

- انتخاب نوع فیلم یا رزین. به عنوان مثال، پلاستومر پلی‌اولفین یا 1 (POP)، پلی‌اتیلن خیلی سبک یا 2 (ULDPE)، پلی‌اتیلن سبک خطی یا 3 (LLDPE)، پلی‌اتیلن سبک یا 4 (LDPE)، پلی‌پروپیلن یا (PP)، کوپلیمرهای بوتادین^۵- استایرن، استات اتیلن وینیل و یا 6 (EV)

- ساختمان فیلم. مثلاً به صورت تک لایه^۷، کوکاسترد^۸، ورقه‌ای یا لمینیت شده^۹ و ...؛

- ضخامت فیلم اعم از ضخامت کلی و ضخامت لایه‌ها؛ - افزودنی‌ها مانند مواد ضد کلوخه‌ای^{۱۰}، ضد مه^{۱۱}؛ - و شرایط فرآیند یا فرآوری (دمای اکستروژن، تیمارهای متعاقب آن)

۶- بررسی این که حداقل‌های موردنیاز برآورده شده است: به عنوان مثال، آیا فیلم با ضخامت تعیین شده، می‌تواند به راحتی و به سرعت به کیسه^{۱۲} تبدیل شود، پر گردد و یا دوخت کامل یابد؟ آیا فیلم انتخاب شده می‌تواند به راحتی ساخته شود؟ آیا غلظت CO_2 داخل بسته می‌تواند از حداکثر غلظت CO_2 قابل قبول تجاوز نماید؛ آیا این بسته، از شرایط یا استانداردهای لازم مربوط به مواد و اصول بسته‌بندی برخوردار است؟ آیا بسته نیازهای موردنظر شبکه فروش را برآورده می‌کند؟

۷- تأیید و اعتبارسنجی: این که آیا محصول بسته همان است که هدف بسته‌بندی بود؟ بررسی ماندگاری محصول؛ اندازه‌گیری غلظت‌های اکسیژن و دی‌اکسید کربن در زمان‌های مختلف.

۸- یادداشت‌برداری و تنظیم ترتیب طراحی بسته: یادداشت کامل ترتیب مراحل طراحی بسته‌بندی و عوامل

- 1- Point of Purchase (POP)
- 2- UnderWriters Laboratories Density Polyethylene
- 3- Linear Low Density Polyethylene
- 4- Linear Density Polyethylene
- 5- Butadien
- 6- Ethylene Vinyl
- 7- Monolayer
- 8- Co-Extruded
- 9- Laminated
- 10- Antiblock
- 11- Antifog
- 12- Bag

نیازهای اساسی، شناخت محصول، شناخت بسته‌بندی، تعیین اتمسفری مطلوب در بسته، انتخاب ساختار فیلمی که تمام الزامات را برآورده سازد، بررسی این که تمام حداقل نیازها برآورده شده است، اعتبارسنجی، یادداشت‌برداری و تنظیم روش طراحی بسته‌بندی، تقسیم می‌شود. استفاده از مواد با کارایی بالا مانند فیلم‌های پلی‌فینیل اجازة می‌دهد تا میزان تنفس بسته با دیگر خواص ضروری مانند دمای ناشی از حرارت دوخت، مقاومت به گرمای چسب داغ، مقاومت در برابر سوراخ شدن، خواص نوری عالی و عدم خروج طعم و بو به خارج از بسته هماهنگ باشد. رزین پلی‌اتیلن خیلی سبک نیز هنگامی که خواص نوری خیلی مهم نباشند، ترکیب مفیدی از خواص را فراهم می‌سازد.

۹- منابع

۱. محمدپور، ا. (۱۳۹۳). «تأثیر بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده (MAP) بر ماندگاری و کیفیت خرمای برحی در مرحله خارک». مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ثبت ۶۷۰۶ مورخ ۹۳/۱۲/۹، ۴۰ صفحه.
۲. استیلز، م. ا. (۱۳۸۰). «مبانی علمی بسته‌بندی با کنترل یا تغییر اتمسفر بسته»، در کتاب بسته‌بندی مواد غذایی با اتمسفر تغییر یافته (ترجمه بهجت تاج‌الدین)، ۳۶-۲۵.
۳. اورای کول، ب. (۱۳۸۰). «توصیه‌های فنی در بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته»، در کتاب بسته‌بندی مواد غذایی با اتمسفر تغییر یافته (ترجمه بهجت تاج‌الدین). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۷۱-۳۷.
۴. پایان، م. و حامدی، م. (۱۳۹۲). «مروری بر کاربرد بسته‌بندی فعال در صنایع غذایی». فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره ۳۸، دوره ۱۰، ۶۸-۴۹.
۵. پوری، و. د. و اسکورا، ب. ج. (۱۳۸۰). «بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌ها با اتمسفر تغییر یافته»، در کتاب بسته‌بندی مواد غذایی با اتمسفر تغییر یافته (ترجمه بهجت تاج-الدین). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۳۴۷-۲۴۵.
۶. سلیمانی، ج. (۱۳۹۰). «افزایش انبارمانی زردآلو با استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته فعال (MAP)». مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ۹۰/۴۱۸ مورخ ۹۰/۴/۱۸، ۶۶ صفحه.
۷. تاج‌الدین، ب. (۱۳۷۷). «بسته‌بندی سیب با استفاده از اتمسفر اصلاح شده (MAP)». مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ۷۷/۵۳ مورخ ۷۷/۲/۱۹، ۴۳ صفحه.
8. Zhu, M.D. (1999). "Design of Modified atmosphere packaging (MAP) systems: modeling oxygen and carbon dioxide exchange within packages containing cut rutabagas." Master of Science Thesis, Guelph University.
9. Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R. & Martin-Belloso, O. (2008). "Antioxidant content of fresh-cut pears stored in high-O₂ active packages compared with conventional low-o₂ active and passive modified atmosphere packaging." J. Agric. Food chem., 56, 932-40.
10. Li, X., Jiang, Y., Li, W., Tang, Y. & Yun, J. (2014). "Effects of ascorbic acid and high oxygen modified atmosphere packaging during storage of fresh-cut eggplants." Food Sci. Technol. Int., 20, 99-108.
11. Kendra, K.V. (2010). "Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs." Food science and technology, 43(3): 381-392.

21. Greengrass, J. (1993). "Films for MAP of foods." In Parry, R.T. (ed). Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods pp.63-100.
22. Gong, S. and Corey, K.A. (1992). "Rapid testing of films for modified atmosphere packaging using an active modification technique." Hort technology, 2(3): 358- 361.
23. Gong, S. and Corey, K.A. (1994). "Predicting steady-state oxygen concentrations in modified-atmosphere packages of tomatoes." Journal of the American Society for horticultural science, 119(3): 546-550.
24. Gopala Rao, C. (2015). "Chapter 36 - MAP technology. engineering for storage of fruits and vegetables." Academic press.
25. Farber, J.N., Harris, L.J., Parish, M.E., Beuchat, L.R., Suslow, T.V., Gornry, J.R., Garrett, E.H. and Busta, F.F. (2003). "Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce." Comprehensive reviews in food science and food safety, 2:142-160.
26. Exama, A., Arul, J., Lencki, R.W., Lee, L.Z. and Toupin, C. (1993). "Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables." Journal of food science, 58(6): 1365-1370.
27. Ozdemir, M. and Floros, J.D. (2004). "Active food packaging technologies." Critical reviews in Food science and nutrient, 44(3): 185-193.
28. <http://athletewithstent.com/climacteric-fruit-ripening>.
29. Tajeddin, B. (2000). "Horticultural training program for AREEO scientists Iran. Innovation and practical training center for crop production and food processing (IPC Plant)." Sep. 3- Oct. 8, 2000, Ede, The netherlands.
30. Gonzalez, J., Ferrer, A., Oria, R. and Salvador, L.M. (2008). "Determination of O₂ and CO₂ transmission rates through microperforated films for modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables." Journal of food engineering, 86:194-201.
31. Plestenjak, A., Pozrl, T., Hribar, J., Unuk, T. and Vidrihl, R. (2008). "Modified atmosphere packaging of shredded cabbage." Food technology and biotechnology, 46(4): 427-433.
32. Carlin, F., Nguyen-The, C., Hilbert, G. and Chambroy, Y. (1990). "Modified atmosphere packaging of fresh "ready-to-use" grated carrots in polymeric films." Journal of food science, 55:1033-1038.

آدرس نویسنده

استان البرز- کرج- بلوار شهید فهمیده- مؤسسه
تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی- صندوق
پستی ۳۱۵۸۵-۸۴۵.