



Effect of Vacuum and Active Packaging on the Qualitative Characteristics and Microbial Load of Dry Saffron Stigma (*Crocus sativus* L.)

Zohreh Birjandi Toroghi¹, Farid Moradinezhad^{2*}, Raziieh Niazmand³ and Hassan Bayat⁴

Article type:

Research Article

Article history:

Submitted 25 May 2023

Revised: 13 November 2023

Accepted: 1 December 2023

Available Online: 9 December 2023

How to cite this article:

Abdoshah, Sh., Bakshi, D., and Farhangi, M. B. (2024). Effect of Vacuum and Active Packaging on the Qualitative Characteristics and Microbial Load of Dry Saffron Stigma (*Crocus sativus* L.). Saffron Agronomy & Technology, 11(4), 413-430.

DOI: 10.22048/jsat.2023.397103.1487

Abstract

Saffron is known as the most expensive spice in the world due to its many medicinal properties. This plant has many secondary metabolites, the most important of which are crocin, picrocrocin, and safranal. Different drying and storage conditions have caused a decrease in the quality and effective ingredients of saffron stigma, which has reduced its value and credibility for export. This research aimed to explore methods for preserving the quality and microbial characteristics of dry saffron stigma during storage. Saffron stigmas were packed using three-layer packages (polyethylene-polyester-polyethylene) under three atmospheres: air, vacuum, and N₂. The packages were then stored at room temperature for 80 days. Once every 20 days, the concentration of oxygen gases, carbon dioxide, physicochemical properties, total microbial load and sample scanning image were measured. The results showed that the best samples for maintaining the physicochemical characteristics of saffron stigma were packages containing nitrogen-rich atmosphere, so the amount of crocin and picrocrocin decreased by 0.1% and 0.3%, respectively, while the amount of safranal increased by 0.3%. Also, the total microbial load decreased by one logarithmic cycle compared to the first day of storage in packages containing a vacuum atmosphere. Electron microscope images also showed that the samples under nitrogen atmosphere, like the control sample, had cell swelling and bubble-shaped particles along with cell membrane rupture and cell collapse.

Keywords: Modified atmosphere packaging, Vacuum packaging, Crocin, Saffron flavor and aroma, Total microbial count.

1 - MSc Degree in Medicinal Plants, Horticultural Sciences, Birjand Faculty of Agriculture, Birjand, Iran

2 - Professor of Horticultural Sciences, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Birjand, Iran.

3 - Associate Professor, Department of Food Chemistry, Institute of Food Sciences and Industries, Mashhad, Iran.

4 - Associate Professor of Horticultural Sciences, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Birjand, Iran.



Corresponding author: fmoradinezhad@birjand.ac.ir

© 2022, University of Torbat Heydarieh. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License (CC BY NC 4.0) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).

مقاله پژوهشی

تأثیر بسته‌بندی فعال و خلاء بر ویژگی‌های کیفی و بار میکروبی کالاه خشک زعفران (*Crocus sativus* L.)

زهره بیرجندی طرقي^۱، فرید مرادی‌نژاد^{۲*}، راضیه نیازمند^۳ و حسن بیات^۴

تاریخ دریافت: ۴ خرداد ۱۴۰۲

تاریخ بازنگری: ۲۲ آبان ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۰ آذر ۱۴۰۲

بیرجندی طرقي، ز.، مرادی‌نژاد، ف.، نیازمند، ر.، و بیات، ح. ۱۴۰۲. تأثیر بسته‌بندی فعال و خلاء بر ویژگی‌های کیفی و بار میکروبی کالاه خشک زعفران (*Crocus sativus* L.). زراعت و فناوری زعفران، ۱۱(۴)، ۴۳۰-۴۱۳.

چکیده

زعفران به دلیل خواص فراوان به عنوان گرانترین گیاه دارویی و ادویه‌ای در جهان شناخته شده است. این گیاه دارای متابولیت‌های ثانویه فراوان بوده که مهم‌ترین آنها شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال می‌باشد. شرایط مختلف خشک کردن و نگهداری سبب کاهش کیفیت و مواد مؤثره کالاه زعفران شده که از ارزش و اعتبار آن جهت صادرات کاسته است. این پژوهش با هدف بررسی چگونگی حفظ خصوصیات کیفی، مواد مؤثره و کاهش بار میکروبی کالاه خشک زعفران در طی مدت انبارداری انجام شد. به این منظور کالاه‌های خشک شده زعفران با استفاده از بسته‌های سه لایه (پلی اتیلن-پلی استر-پلی اتیلن) و سه نوع اتمسفر شامل هوا، خلأ و N_2 بسته‌بندی شدند. سپس بسته‌ها در دمای اتاق و برای مدت ۸۰ روز نگهداری شدند. هر ۲۰ روز یکبار غلظت گازهای اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، خواص فیزیکوشیمیایی، بار میکروبی کل و تصویر روبشی نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد بهترین نمونه جهت حفظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی کالاه زعفران بسته‌های حاوی اتمسفر غنی از نیتروژن بود، بطوریکه میزان کروسین و پیکروکروسین به ترتیب ۰/۱ و ۰/۳ درصد کاهش یافت، در صورتیکه مقدار سافرانال ۰/۳ درصد افزایش نشان داد. همچنین بار میکروبی کل به میزان ۱ سیکل لگاریتمی نسبت به روز اول انبارداری در بسته‌های حاوی اتمسفر خلأ کاهش یافت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز نشان داد نمونه‌های تحت اتمسفر نیتروژن مانند نمونه شاهد دارای تورم سلولی و ذرات حبابی شکل همراه با پارگی غشای سلولی و فروپاشی سلول بود.

کلمات کلیدی: بار میکروبی کل، بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته، بسته‌بندی تحت خلأ، کروسین، طعم و عطر زعفران.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی بیرجند، بیرجند، ایران

۲- استاد علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی بیرجند، بیرجند، ایران

۳- دانشیار گروه شیمی مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

۴- دانشیار علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی بیرجند، بیرجند، ایران

(*)- نویسنده مسئول: fmoradinezhad@birjand.ac.ir

مقدمه

زعفران با نام علمی (*Crocus sativus* L.) گیاهی علفی، پاییزی و چندساله بوده که کلاله‌های خشک به صورت رشته یا پودر ادویه زعفران را تشکیل می‌دهد (Toulabi nejad & Sadeghi., 2019). همچنین دارای متابولیت‌های ثانویه فراوان (کروسین، پیکروکروسین و سافرانال) بوده که به دلیل داشتن عطر و رنگ کلاله‌های آن از گذشته به عنوان ادویه در تغذیه انسان، رنگرزی، مصارف دارویی، آرایشی و بهداشتی کاربرد داشته است (Fallahi et al., 2021). زعفران همچنین دارای خواص پزشکی فراوانی از جمله درمان تنگی نفس، سرماخوردگی، اشتها آور، کمک به هضم غذا، تقویت کننده معده، سقط جنین، فعال کننده میل جنسی، درمان بیماری‌های قلبی و کبدی، ادرار و زایمان دردناک، شادی آور و آرام‌بخش است (Mzabri et al., 2017). کلاله زعفران تحت شرایط مختلف خشک کردن و نگهداری سبب تجزیه استرهای گلیکوزیل کروسین شده و کاهش غلظت ترکیبات رنگی و طعمی زعفران را به همراه داشته که از ارزش و اعتبار محصول جهت صادرات کاسته می‌شود (Azar Pazhouh & Sharayei, 2017). از این رو یک راه حل مناسب جهت افزایش ماندگاری مواد غذایی و حفظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محصول در مقابل نفوذ عوامل خارجی، استفاده از بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته^۱ است (Motevali et al., 2019). بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته سبب ایجاد یک محفظه مناسب در اطراف محصول شده و به عنوان یک راه‌حل امیدوار کننده جهت کاهش رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، افزایش ماندگاری، کاهش سرعت تنفس و کاهش ضایعات مواد غذایی با ایجاد یک فضای محافظ مناسب در اطراف آن شده است (Hosseini et al., 2018). در

این روش محفظه از فیلم‌هایی مختلفی از جمله (پلی وینیل کلرید^۲ - پلی پروپیلن^۳ - پلی اتیلن^۴) و سه گاز اصلی CO_2 ، N_2 و O_2 به صورت تنها یا ترکیبی استفاده می‌شود (Kirtil et al., 2015). این نوع بسته‌بندی به دو نوع فعال و غیرفعال تقسیم می‌شود. در نوع فعال، با کاهش میزان O_2 موجود در بسته‌بندی سبب کاهش رشد میکروارگانیسم‌ها شده و از گازهای N_2 و CO_2 می‌توان به عنوان جایگزین استفاده کرد. مقدار مصرفی گازها بسته به نوع محصول و میزان نفوذپذیری فیلم‌های بسته‌بندی متفاوت است (Mozhdehi et al., 2017). شکل‌های اتمسفر تغییر یافته فعال شامل افزودن CO_2 ، حذف O_2 ، حذف رطوبت و سیستم‌های ضد میکروبی که از شناخته شده‌ترین روش‌های بسته‌بندی مواد غذایی بوده و با قرار دادن کیسه‌های جاذب O_2 و افزودن CO_2 به درون بسته باعث کاهش میزان تنفس، کاهش تولید C_2H_4 ، کاهش سرعت رشد میکروارگانیسم‌ها، جلوگیری از خرابی محصول و کاهش میزان فشار درون بسته‌بندی شده است (Salou et al., 2021). در نوع غیرفعال هوای داخل بسته از تأثیر متقابل سرعت تنفس محصول و میزان نفوذپذیری فیلم انتخابی تغییر کرده و همچنین با صرف O_2 و تولید CO_2 که نتیجه نهایی تنفس است باعث تولید اتمسفر دلخواه درون بسته می‌شود. محتوای گازهای استفاده شده در بسته‌بندی به نوع محصول، جنس فیلم بسته‌بندی و دمای نگهداری بستگی دارد (Brown et al., 2018). از جمله مزایای بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته شامل افزایش عمر و حفظ کیفیت مواد غذایی، حفظ شادابی و تازگی، کاهش هزینه‌های حمل و نقل، انبارداری و کاهش فسادپذیری ضایعات می‌باشد (Wang et al., 2021). محققان گزارش کردند

2- Poly Vinyl Chloride

3- Poly Propylene

4- Polyethylene

1-Modified Atmosphere Packaging

بارمیکروبی کل در پسته خشک رقم اوحدی در بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته ($O_2 = 2\%$ ، $CO_2 = 10\%$ و $N_2 = 88\%$) به مدت ۹۰ روز انبارداری و دمای ۳۰ درجه سانتیگراد بیشترین میزان کاهش را داشته است (Sedaghat et al., 2015). در پژوهشی تأثیر بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته بر متابولیت‌های ثانویه زعفران در سه شرایط مختلف بسته‌بندی ۱۰۰ درصد N_2 ، ۶۰ درصد $N_2 + 40$ درصد CO_2 و ۴۰ درصد $N_2 + 60$ درصد CO_2 و در دماهای ۴، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ هفته بررسی شد. نتایج نشان داد که در حضور اتمسفر ۱۰۰ درصدی N_2 و افزایش دما و زمان انبارداری میزان کروسین و پیکروکروسین کاهش یافت در صورتیکه میران سافرانال افزایش داشت (Mozhdehi et al., 2018). در پژوهشی تأثیر بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته تحت شرایط (معمولی و خلاء) بر بار میکروبی کل در میوه شاه بلوط در دمای صفر درجه سانتیگراد به مدت ۶ ماه بررسی شد. نتایج نشان داد بarmیکروبی در طول انبارداری در نمونه شاهد افزایش یافت، در حالی که در بسته‌بندی خلاء بarmیکروبی روند کاهشی داشته است (Fernandes et al., 2020). در پژوهشی اثر بسته‌بندی اتمسفر تغییر یافته تحت گازهای CO_2 و N_2 بر روی بار میکروبی کل و میزان کپک و مخمر در میوه پاپایای خشک شده طی مدت ۶۰ روز نگهداری در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد بررسی شد. گزارش شده است میزان بار میکروبی کل در این مدت به طور معناداری در شرایط N_2 و CO_2 نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت. میزان کپک و مخمر نیز در مقایسه با نمونه شاهد تفاوت معناداری نشان داد (Rifath et al., 2021). در پژوهشی تأثیر پوشش خوراکی آلوه‌ورا (۵ و ۱۰ درصدی) و گاز O_2 با غلظت‌های (۰، ۶ و ۲۱ درصد) تحت بسته‌بندی اتمسفر تغییر یافته بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی زرشک خشک شده در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد به مدت ۹۰ روز ارزیابی شد. گزارش شده است بسته‌بندی تحت خلاء و پوشش ۱۰ درصدی آلوه‌ورا در طی زمان نگهداری سبب

کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شده است. همچنین بیشترین میزان کاهش بار میکروبی کل در روز ۳۰ ام انبارداری و بسته‌بندی تحت خلاء مشاهده شد (Roytvand et al., 2017). هدف از پژوهش حاضر افزایش زمان ماندگاری کلاله زعفران در بسته‌بندی مناسب و حفظ ترکیبات مؤثره آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

تهیه و بسته‌بندی کلاله زعفران

ابتدا کلاله تازه زعفران در دمای محیط (25 ± 2 درجه سانتی‌گراد) خشک شد. به منظور بسته‌بندی کلاله خشک زعفران بسته‌های سه لایه (به ترتیب از داخل به خارج: جنس پلی‌اتیلن-پلی‌استر-پلی‌اتیلن) با ابعاد 12×15 سانتی‌متر و ضخامت ۷۰ میکرون از شرکت آپادن پلاست تهیه گردید. هر بسته حاوی مقدار ۳ گرم کلاله خشک زعفران بود. سپس بسته‌بندی نمونه‌ها توسط دستگاه بسته‌بندی هنکلمن (مدل A200 Gerhardt) مجهز به سیستم تزریق گاز انجام شد. همچنین قبل از بسته‌بندی، اتمسفر داخل بسته با توجه به نوع تیمار (خلاء و نیتروژن) تغییر داده شد. سپس نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه و دور از نور نگهداری شده و تمام آزمایشات شیمیایی و میکروبی انجام شد. شایان ذکر است که مقدار خلاء و گاز N_2 در بسته با استفاده از پیش‌آزمون‌ها تعیین و ثابت در نظر گرفته شد. در این پژوهش ماندگاری کلاله در دمای محیط (25 ± 2 درجه سانتی‌گراد) بررسی شده و نمونه‌برداری هر ۲۰ روز یکبار طی ۸۰ روز انبارداری در ۳ تکرار صورت گرفت. همچنین از نمونه بسته‌بندی شده در اتمسفر معمولی به عنوان شاهد استفاده شد. در نهایت نمونه‌ای که کمترین بار میکروبی و بیشترین مقدار کروسین را داشت به عنوان نمونه بهینه انتخاب شد و آزمایشات تکمیلی روی آن انجام شد.

آزمون‌ها

اندازه‌گیری غلظت گازهای درون بسته

غلظت گازها در روز اول بسته‌بندی (روز صفر انبارداری) از بسته‌ها به شرح زیر می‌باشند. میزان O_2 ، CO_2 و N_2 به ترتیب در بسته‌های هوا ($20/9$ ، $3/0$ و $79/07$ درصد) در بسته‌های نیتروژن ($5/0$ ، $5/0$ و 99 درصد) اندازه‌گیری شد. غلظت گاز داخل بسته با استفاده از دستگاه آنالایزر پرتابل (ساخت کشور ایرلند مدل AGC) اندازه‌گیری شد. برای این کار سرنگ دستگاه را داخل بسته فرو کرده و حدود ۵ میلی‌لیتر گاز داخل بسته به داخل سیستم مکش کرده و به صورت اتوماتیک غلظت O_2 و CO_2 و N_2 را گزارش می‌کند (Ein afshar et al., 2014).

اندازه‌گیری رطوبت

روش انجام آزمون رطوبت طبق استاندارد ملی ایران شماره (۱۱۹۶) انجام شد. حدود ۲ گرم از نمونه را در داخل آون (ساخت شرکت memmert آلمان مدل UF55) و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه را به مدت ۳۰ دقیقه داخل دسیکاتور گذاشته تا سرد شده و وزن آن ثبت شد. مقدار رطوبت از اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از قرار دادن در آون بر حسب درصد بدست آمد.

تعیین مقدار کروسین، پیکروکروسین و سافرانال کلاله زعفران

اندازه‌گیری مطابق با استاندارد ملی ایران شماره (۲۵۹۹) انجام شد. ۰/۵ گرم از زعفران (ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شد. پس از ساییده شدن آن را در یک بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری انتقال داده و ۹۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و به مدت یک ساعت در تاریکی با سرعت ۱۰۰۰ دور

دقیقه هم زده شد. سپس تا خط نشان با آب مقطر به حجم رسانده و ۲۰ میلی‌لیتر از محلول را به یک بالن ۲۰۰ میلی‌لیتری منتقل کرده و مجدد به حجم رسانده شد. سپس محلول را در تاریکی صاف کرده و میزان جذب کروسین، سافرانال و پیکروکروسین به ترتیب در طول موج‌های ۴۴۰، ۳۳۰ و ۲۵۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (ساخت کشور آمریکا مدل Dr 500 hach) خوانده شد. میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال براساس ماده خشک نمونه از رابطه زیر بدست آمد.

$$A = (D \times 10000) / (M \times (100 - W_{MV})) \quad (1)$$

که D = جذب هریک از مواد مؤثره (کروسین، سافرانال و پیکروکروسین)، M = وزن نمونه، W_{MV} = رطوبت نمونه و A = حداکثر جذب بدست آمده می‌باشند.

تعیین درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH

ابتدا ۰/۳ گرم کلاله خشک زعفران توزین شده را در بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و مقداری متانول به بالن اضافه کرده و مگنت را داخل بالن انداخته و همزده شود. پس از گذشت یک ساعت مگنت را خارج کرده و با متانول به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر می‌رسانیم. سپس محلول را صاف کرده و از این محلول غلیظ، محلول‌های رقیق ساخته می‌شود. محلول متانولی ۰/۱۵ میلی-مولار DPPH^۱ (مرک آلمان) آماده شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره با ۴ میلی‌لیتر محلول DPPH مخلوط شد. یک نمونه بلانک به همین شکل تهیه با این تفاوت که ۰/۵ میلی‌لیتر متانول به جای عصاره با ۴ میلی‌لیتر محلول DPPH مخلوط شد. پس از ۳۰ دقیقه قرارگیری در تاریکی مقادیر جذب محلول‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر ثبت شد. برای محاسبه درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها از رابطه زیر استفاده شد (Akbarian et al., 2019).

$$(۲) \quad \text{dpph} = (\text{Ab}-\text{As}) / \text{Ab} \times 100 = \text{درصد مهار رادیکال}$$

که A_b = جذب بلانک و A_s = جذب نمونه می‌باشد.

تعیین بار میکروبی

شمارش بار میکروبی کل طبق استاندارد ملی ایران به شماره

(۵۶۸۹) انجام شد.

ریز ساختار

عکس‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی در بخش مواد پژوهشکده بوعلی مشهد تهیه شد. معادل ۱ گرم از کلاله زعفران خشک تحت بسته‌بندی‌های مختلف را با دستگاه پوشش دهنده تحت خلاء و به کمک گاز آرگون با طلا پوشش داده شد. در مرحله بعد در دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (Carl Zeiss SMT Ltd., Cambridge, England) باریکه‌ای از الکترون به نمونه‌ها تابیده و عکس‌های تهیه شده از نمونه بدون بسته‌بندی (شاهد) و نمونه‌های تحت بسته‌بندی مختلف با بزرگ نمایی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر فاصله پروب دوربین تا نمونه بین هشت تا ۱۲ میلی‌متر ولتاژ شتابی ۲۰ کیلو ولت و با آشکارکننده الکترون ثانویه گرفته شدند (Taglienti et al., 2011).

تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش به صورت طرح کامل تصادفی در سه اتمسفر (هوا، خلاء و نیتروژن) انجام و نمونه برداری طی روزهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ام انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری و سیستم Minitab (نرم افزار نسخه ۱۶) برای بررسی اثرات نوع اتمسفر و زمان انبارداری انجام شد. همچنین برای ترسیم نمودارها از نرم افزار افزار Microsoft Excel نسخه ۱۶ استفاده شد. مقایسه میانگین بین ویژگی‌ها با استفاده از آزمون Tukey در سطح معنی داری $p < 0.05$ انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات وزن بسته‌های زعفران طی انبارداری

جدول ۱ تغییر وزن بسته‌های حاوی کلاله زعفران را نسبت به وزن روز اول انبارداری نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که نوع اتمسفر تأثیر چشمگیری در کاهش وزن بسته‌های مختلف زعفران طی مدت ۸۰ روز انبارداری نداشت ($p < 0.05$).

پس از ۸۰ روز انبارداری، بیشترین و کمترین میزان کاهش وزن به ترتیب در بسته‌های حاوی اتمسفر N_2 و هوا (۰/۰۷۱ و ۰/۰۶۱ درصد) مشاهده شد. با توجه به نتایج جدول ۱ بین روز ۲۰ انبارداری در اتمسفر هوا، خلاء و N_2 و همچنین بین روز ۶۰ انبارداری در اتمسفر خلاء و N_2 اختلاف معناداری وجود داشت. کاهش وزن می‌تواند به دلیل نفوذپذیری کم بسته‌ها به ورود اکسیژن و اشباع شدن فضای بسته‌ها از هوا باشد. نتایج محققان نشان داد وزن بسته‌های تحت خلاء به نمونه هوا نزدیک‌تر بوده و مانند هوا دارای رطوبت جزئی می‌باشد. آنها گزارش کردند که اتمسفر N_2 ۱۰۰ درصدی، بهترین اتمسفر جهت حفظ وزن و رطوبت زعفران بود. در پژوهشی اثر بسته‌بندی اتمسفر تغییر یافته تحت شرایط گازی مختلف (اتمسفر، خلاء و جاذب اکسیژن) در پسته خشک خام طی مدت ۱۲ هفته انبارداری بررسی شد. گزارش شده است با کاهش غلظت اکسیژن اطراف پسته خشک خام با استفاده از سیستم‌های بسته‌بندی، می‌توان فرآیند اکسیداتیو را به صورت کمی کنترل کرد. مغز پسته ذخیره شده در سیستم اکسیژن‌گیر دارای مقدار هگزانال کمتری نسبت به سیستم خلاء و اتمسفر بود. در تولید، تفاوت زیادی در اکسیداسیون بین اکسیژن‌گیر با سیستم‌های بسته‌بندی خلاء و اتمسفر برای پسته خشک خام وجود داشت. هر چه غلظت اکسیژن بیشتر باشد، تولید هگزانال بیشتر می‌شود. از نظر تئوری، در غلظت‌های پایین‌تر اکسیژن، اکسیداسیون لیپید باید به شدت تحت تأثیر تفاوت‌های غلظت اکسیژن قرارگیرد (Leufven et al., 2015). محققان گزارش کردند که کلاله‌های حاصل از گل-

نگهداری شدند می‌توان نتیجه گرفت دمای محیط و نفوذپذیری جنس بسته‌های (پلی‌اتیلن - پلی‌استر-پلی‌اتیلن) سبب کاهش وزن کلاله‌های خشک زعفران شده است.

های نگهداری شده در بسته‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین و دمای نگهداری پایین پس از خشک شدن رطوبت بالاتری داشتند. با توجه به نتایج شورميج و همکاران (Shourmij et al., 2004) و همچنین نتایج تحقیق حاضر که در دمای محیط

جدول ۱- میانگین تغییرات وزن بسته‌های حاوی کلاله زعفران تحت اتمسفرهای مختلف طی مدت ۸۰ روز انبارداری

Table 1- Average weight changes of packages containing saffron stigma under different atmospheres during 80 days of storage

زمان انبارداری Storage time (day)	نوع بسته بندی Package type	میانگین وزن نمونه اولیه Average weight of the prototype (g)	میانگین وزن نمونه بعد از ۲۰ روز Average sample weight after 20 days	تغییرات وزن بسته‌ها Package weight changes	میانگین ماده خشک Average dry matter (%)	میانگین رطوبت Average humidity (%)
20	Air هوا	7.12	7.05	0.069±0.001ab	99.03	0.97
20	Vacuum خلأ	6.89	6.83	0.052±0.001c	99.25	0.75
20	نیترژن Nitrogen	7.23	7.16	0.065±0.002ab	99.10	0.90
40	Air هوا	7.13	7.07	0.064±0.003ab	99.09	0.91
40	Vacuum خلأ	6.93	6.86	0.065±0.005ab	99.06	0.94
40	نیترژن Nitrogen	6.90	6.84	0.064±0.003ab	99.98	1.01
60	Air هوا	7.13	7.06	0.063±0.001ab	99.11	0.89
60	Vacuum خلأ	7.09	7.03	0.060±0.001bc	99.15	0.85
60	نیترژن Nitrogen	6.89	6.82	0.074±0.001a	98.93	1.07
80	Air هوا	7.03	6.96	0.061±0.002bc	99.13	0.87
80	Vacuum خلأ	7.01	6.94	0.068±0.010ab	99.03	0.97
80	نیترژن Nitrogen	7.05	6.97	0.071 ± 0.001bc	98.99	1.01

میانگین ± انحراف معیار (SD)، حروف غیرمشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها براساس آزمون توکی است ($P < 0.05$).

Mean ± standard deviation (SD). Dissimilar letters indicate significant differences between the data based on Tukey's test ($P < 0.05$).

غلظت گازهای موجود در فضای داخل بسته‌بندی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع اتمسفر بسته‌بندی و همچنین زمان انبارداری بر غلظت گازهای داخل بسته تأثیر معنادار ندارد ($p < 0.05$)، به طور کلی با افزایش مدت نگهداری، سطح O_2 داخل بسته‌ها کاهش و مقدار CO_2 ثابت

ماند. علت کاهش O_2 را می‌توان به تنفس محصول و نفوذپذیری جنس بسته‌بندی و همچنین شدت فعل و انفعالات شیمیایی و میکروبی و اکسایش در بسته‌ها نسبت داد. ورود و خروج گازهای تنفسی از بسته‌ها بر حسب نوع پلاستیک متفاوت است. نتایج سایر محققان با نتایج این پژوهش همخوانی دارد

به دلیل اکسایش رنگدانه‌های موجود در زعفران و تجزیه استرهای گلیکوزید کروسین شده و میزان آن را کاهش داده است. آنها گزارش کردند که در حضور N_2 کروسین زعفران نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر حفظ شده است. بنابراین مؤثرترین راه جهت حفظ مواد مؤثره و ماندگاری محصول کاهش O_2 و افزایش CO_2 و N_2 در بسته‌ها می‌باشد (Mozhdehi et al., 2018). مقدار کروسین در روز ۸۰ انبارداری در تیمار نیتروژن ($158/25$ میلی گرم بر میلی لیتر)، خلاء ($157/9$ میلی گرم بر میلی لیتر) و هوا ($150/58$ میلی گرم بر میلی لیتر) بوده که در محدوده استاندارد ملی ایران ($140-300$ واحد) می باشند و نسبت به کروسین شاهد ($177/80$ میلی گرم بر میلی لیتر) هر کدام از تیمارها به ترتیب $0/10$ ، $0/11$ و $0/15$ درصد کاهش یافته است.

درصد مهار رادیکال DPPH

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی زعفران طی انبارداری معنی دار بود ($p < 0/05$). با توجه به شکل ۲ نتایج بیانگر روند کاهش مقدار فعالیت آنتی اکسیدانی در زعفران‌های بسته‌بندی شده در اتمسفر N_2 ، هوا و خلاء طی انبارداری در دمای محیط بود در حالیکه شدت این کاهش در نمونه‌های بسته‌بندی شده تحت خلاء و هوا نسبت به N_2 کمتر بود. بیشترین و کمترین میزان کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی در بسته‌های تحت اتمسفر N_2 و هوا به ترتیب $0/6$ و $0/3$ درصد بود. در پژوهشی تأثیر بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته تحت شرایط (۱ درصد اکسیژن، ۹۹ درصد نیتروژن) در دمای ۴ درجه سانتیگراد طی مدت ۱۲ ماه انبارداری بر میزان خاصیت آنتی اکسیدانی مغز فندق رقم Tonda Romana بررسی شد. نتایج نشان داد دمای پایین و حضور نیتروژن می‌تواند بطور مؤثری از کاهش خاصیت آنتی اکسیدانی طی ۱۲ ماه انبارداری جلوگیری

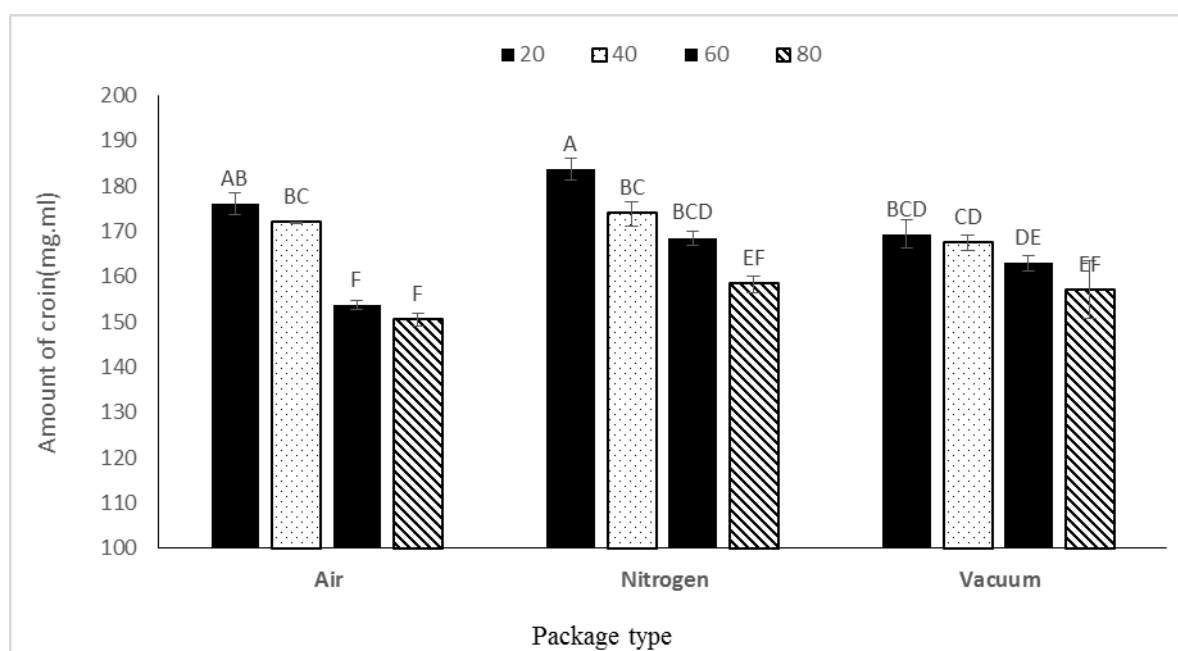
(Mogharabi et al., 2020). در تمام بسته‌ها میزان O_2 از یک روند کاهشی برخوردار بود. میزان CO_2 در بسته‌های تحت اتمسفر هوا در سطح ۱ درصد ثابت ماند. همچنین در بسته‌های تحت خلاء و N_2 در روز ۸۰ انبارداری کاهش جزئی داشت که به دلیل عدم تفاوت معناداری قابل چشم‌پوشی است. میزان N_2 در هر سه اتمسفر روند افزایشی داشت. تنها بین روز ۲۰ ام انبارداری در اتمسفر هوا و N_2 و همچنین روز ۴۰ ام انبارداری در اتمسفر خلاء و N_2 تفاوت معناداری مشاهده شد. پایداری سطوح CO_2 و O_2 تحت تأثیر نفوذپذیری جنس بسته، نوع محصول و میزان تنفس محصول متفاوت بوده که به دلیل این است که محصولات مختلف نرخ تنفس متفاوت دارند (Niazmand & Yeganehzad, 2020).

کروسین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته بر میزان کروسین زعفران طی انبارداری معنی دار بود ($p < 0/05$). با توجه به شکل ۱ نتایج بیانگر روند کاهشی مقدار کروسین در زعفران‌های بسته‌بندی شده تحت اتمسفر N_2 ، هوا و خلاء طی انبارداری در دمای محیط بود در حالیکه شدت این کاهش در نمونه‌های بسته‌بندی شده تحت خلاء و N_2 نسبت به هوا کمتر بود. بیشترین و کمترین میزان کاهش کروسین در بسته‌های تحت اتمسفر هوا و N_2 به ترتیب $0/14$ و $0/07$ درصد بود. گزارش شده است که طی انبارداری استرهای گلیکوزیل کروسین تجزیه شده که منجر به کاهش مقدار آن می‌شود (Mozhdehi et al., 2017). محققان تغییرات مواد مؤثره زعفران را طی ۱۵ روز انبارداری مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند بسته‌بندی‌های دارای جنس پلی اتیلن مواد مؤثره زعفران را در طی زمان نگهداری بهتر حفظ کرده است (Shourmij et al., 2014). همچنین ثابت کردند حضور O_2 در بسته‌بندی سبب کاهش مواد مؤثره زعفران شده که این کاهش

محصول، شرایط محیطی و جنس فیلم بسته‌بندی نسبت دادند (Zoran et al., 2017). محققان ثابت کردند که مؤثرترین راه برای افزایش ماندگاری مواد غذایی کاهش میزان O_2 و دمای پایین و افزایش CO_2 و N_2 در بسته‌بندی‌های مورد استفاده می‌باشد (Mogharabi et al., 2020).

کند (Ghirardello et al., 2015). در تحقیقی دیگر وجود ترکیبات فنلی که شبیه آنتی‌اکسیدان عمل کرده و در برابر استرس از سلول‌ها محافظت می‌کند. اگر میزان آسیب زیاد باشد بافت ممکن است نتواند تعادل خود را حفظ کرده و سبب آسیب به سلول شود و در نتیجه سبب کاهش آنتی‌اکسیدان در محصول می‌شود. محققان تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به ژنتیک



شکل ۱- اثر متقابل نوع بسته‌بندی (خلأ، نیتروژن و هوا) و زمان انبارداری بر مقدار کروستین زعفران

Figure 1- Interaction effect of packaging atmosphere type (vacuum, nitrogen and air) and storage time on saffron crocin content.

نوارهای خط انحراف معیار (SD) را نشان می‌دهد. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها براساس آزمون توکی است ($p < 0.05$). Error bars indicate standard deviation (SD). Non-similar letters indicate significant differences between data based on Tukey's test ($p < 0.05$).

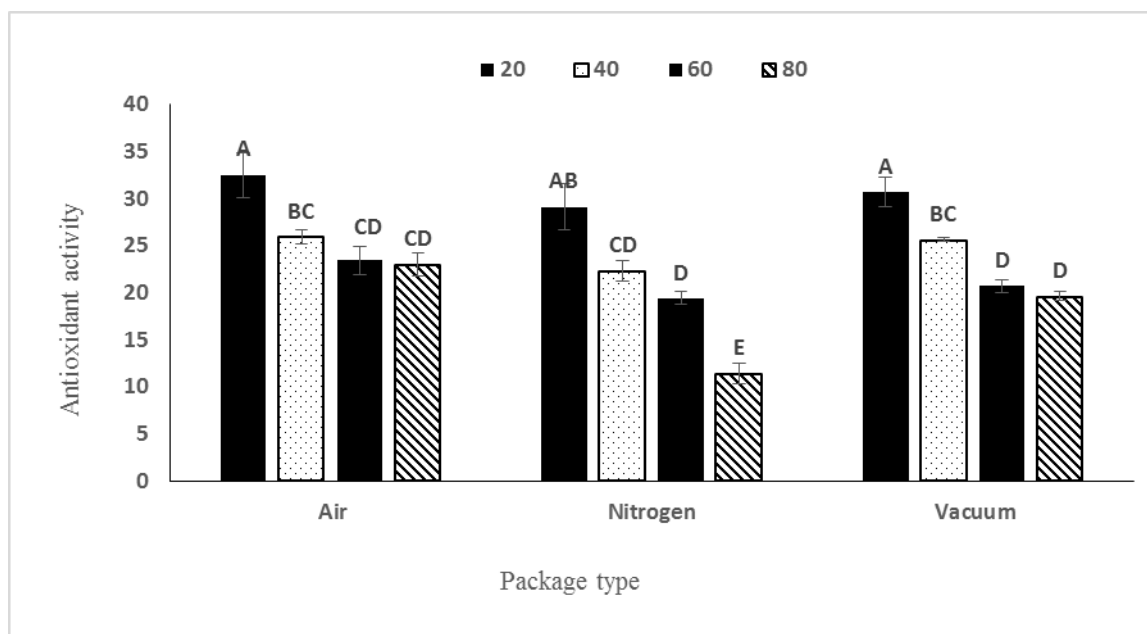
تحت اتمسفر هوا و N_2 به یک میزان کاهش یافت. بیشترین میزان کاهش بار میکروبی کل در بسته‌های تحت اتمسفر خلأ حدود ۰/۱۸ سیکل لگاریتمی کاهش یافت. در صورتیکه کمترین میزان کاهش بار میکروبی کل ۰/۲۰ سیکل لگاریتمی در بسته‌های تحت اتمسفر هوا و N_2 بود. در هر سه اتمسفر در روز ۸۰ام انبارداری بیشترین میزان کاهش مشاهده شد که نسبت به سایر روزها در هر بسته اختلاف معنادار داشت. همچنین در روز ۶۰ام انبارداری در بسته‌های تحت اتمسفر N_2 نسبت به سایر بسته‌ها

بار میکروبی کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته بر میزان بار میکروبی کل زعفران طی انبارداری معنی‌دار بود ($p < 0.05$). با توجه به شکل ۳ نتایج بیانگر روند کاهشی مقدار بار میکروبی کل در زعفران‌های بسته‌بندی شده در اتمسفر N_2 ، هوا و خلأ طی انبارداری در دمای محیط بود در حالیکه شدت این کاهش در نمونه‌های بسته‌بندی شده تحت اتمسفر هوا و N_2 نسبت خلأ کمتر بود. بسته‌های

میکروبی کل در پاپایای خشک شده نسبت به نمونه شاهد داشت. پژوهشگران اعلام کردند وجود CO_2 بالا و اتمسفر نیتروژن در بسته‌بندی باعث تأخیر افتادن واکنش‌های اکسیداتیو و محدود کردن رشد میکروارگانیسم‌ها شده است.

اختلاف معنادار مشاهده شد. محققان طی آزمایشی تأثیر بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده را پس از ۶۰ روز انبارداری بر روی میوه پاپایای خشک شده بررسی کردند. نتایج نشان داد در بسته‌های تحت اتمسفر N_2 و CO_2 کاهش چشمگیری در میزان بار



شکل ۲- اثر متقابل نوع بسته‌بندی (خلاء، نیتروژن و هوا) و زمان انبارداری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی زعفران

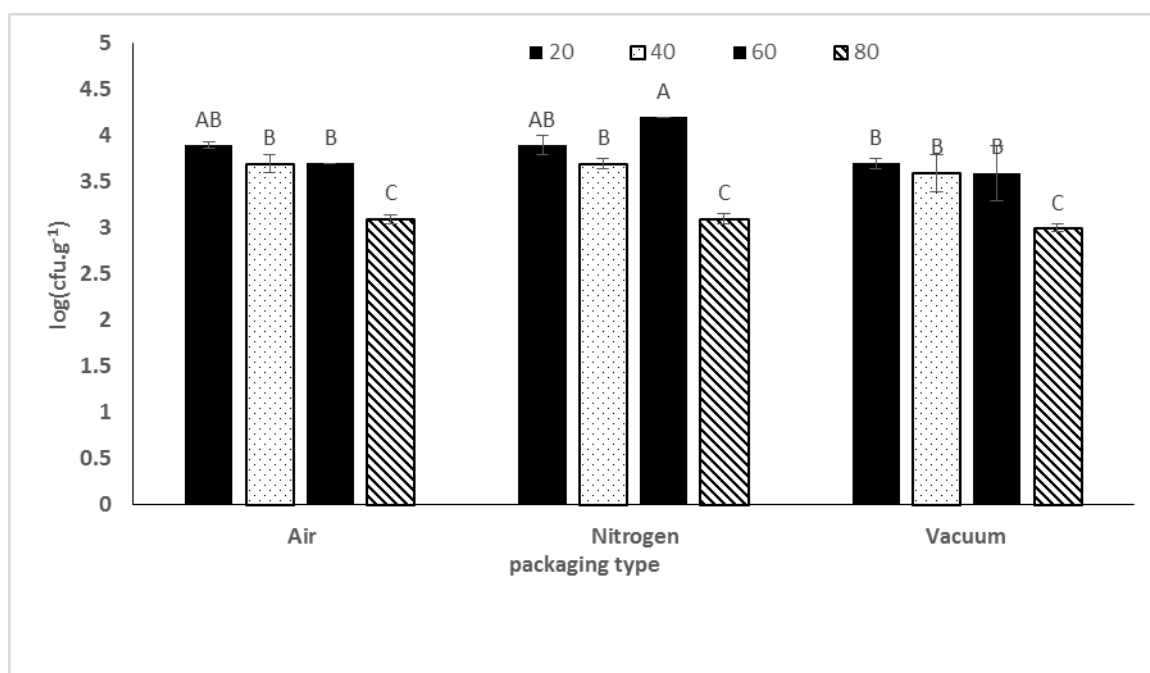
Figure 2- The interaction effect of packaging atmosphere type (vacuum, nitrogen and air) and storage time on the antioxidant activity of saffron.

نوارهای خطا انحراف معیار (SD) را نشان می‌دهد. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها براساس آزمون توکی است ($p < 0.05$). Error bars indicate standard deviation (SD). Non-similar letters indicate significant differences between data based on Tukey's test ($p < 0.05$).

کرده و سبب تغییرات فیزیکی و شیمیایی درون سلول شد. بطور مشابه N_2 به عنوان یک گاز بی‌اثر بوده و به دلیل خلالت کم در آب به خودی خود فعالیت ضد میکروبی کم یا بدون فعالیت دارد. اما اثرات ضد میکروبی N_2 از طریق حذف O_2 از بسته و جلوگیری از فروپاشی بسته حاصل شد (Rifath et al., 2021). مقدار بار میکروبی کل در روز ۸۰ انبارداری در تیمار نیتروژن ($3/05$)، خلاء ($3/04$ سیکل لگاریتمی) و هوا ($3/09$ سیکل لگاریتمی) بوده که در محدوده استاندارد ملی ایران (3 سیکل لگاریتمی) می‌باشند و نسبت به بار میکروبی کل در نمونه شاهد (4 سیکل لگاریتمی) هر کدام از تیمارها به ترتیب $0/23$ ، $0/24$ و

همچنین نیتروژن به عنوان یک پرکننده به بسته‌بندی شکل خاصی داده و مانع از فروپاشی اندام‌های گیاهی می‌شود (Ein Afshar et al., 2014). محققان اعلام کردند وجود خلأ یا جایگزینی هوا با مخلوطی از گازها می‌تواند تغییرات نامطلوب مواد غذایی بسته‌بندی شده را کنترل کند. حفظ کیفیت مواد غذایی در طی مدت نگهداری به دلیل ممانعت از رشد میکروارگانیسم‌های فاسد کننده است. به طور کلی اثر بازدارندگی میکروارگانیسم‌ها به دلیل کاهش میزان O_2 و وجود CO_2 به عنوان یک قارچ‌کش سبب مهار آنزیم‌ها یا کاهش سرعت واکنش‌های آنزیمی شد. زیرا گاز از طریق غشاء سلولی نفوذ

۰/۲۲ سیکل لگاریتمی کاهش یافته است.



شکل ۳- اثر متقابل نوع بسته بندی (خلأ، نیتروژن و هوا) و زمان انبارداری بر مقدار بار میکروبی کل زعفران
Figure 3- Interaction effect of packaging atmosphere type (vacuum, nitrogen and air) and storage time on total microbial load of saffron.

نوارهای خطا انحراف معیار (SD) را نشان می دهد. حروف غیرمشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار بین داده ها براساس آزمون توکی است ($p < 0.05$). Error bars indicate standard deviation (SD). Non-similar letters indicate significant differences between data based on Tukey's test ($p < 0.05$).

مقدار سافرانال

مقدار بهینه و شاهد سافرانال در جدول ۲ آورده شده است. در اتمسفر بهینه میزان سافرانال (۴۰/۶ میلی گرم بر میلی لیتر) ۰/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد (۳۱/۱۲ میلی گرم بر میلی لیتر) نشان داد. این میزان افزایش ۰/۳ درصدی در مقدار سافرانال در محدوده استاندارد ملی ایران (۶۰-۲۰ میلی گرم بر میلی لیتر) نبوده و نشان دهنده این است که بسته بندی تحت اتمسفر تغییر یافته بر میزان سافرانال تأثیر قابل مشاهده ای نداشت. محققان اثر اتمسفر تغییر یافته بر خواص زعفران طی زمان نگهداری بررسی کرده و نتایج نشان داد بر خلاف کاهش کروسین و پیکروکروسین میزان سافرانال طی زمان نگهداری افزایش یافت (Mozhdehi et al., 2017). محققان اعلام کردند با افزایش

انتخاب اتمسفر بهینه برای انبارداری زعفران

با توجه به اهمیت کاهش آلودگی میکروبی و جلوگیری از کاهش قدرت رنگی زعفران، بهینه یابی براساس حداقل بار میکروبی و حداکثر میزان کروسین در بسته های زعفران تحت اتمسفرهای هوا، خلأ و N_2 انجام شد. اتمسفر N_2 براساس بالا بودن میزان کروسین در روز ۸۰ام انبارداری (۱۵۸/۳ میلی گرم بر میلی لیتر) و کاهش بار میکروبی کل (۳/۱ سیکل لگاریتمی) به عنوان نمونه بهینه انتخاب شد. نمونه بسته بندی شده تحت اتمسفر تغییر یافته در شرایط بهینه بدست آمده مورد آزمون های بیشتر قرار گرفت که نتایج در ادامه آورده شده است.

زمان انبارداری ماده غیر فرار موجود در کلاله زعفران تجزیه شده و سافرانال را که نوعی آلدئید فرار بوده را تولید کرده و با طولانی شدن زمان نگهداری سافرانال افزایش می‌یابد (Ein, Afshar et al., 2014).

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی نمونه بهینه بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده

ویژگی	نمونه بهینه	نمونه شاهد (قبل بسته‌بندی)
Feature	Optimal sample (average of 80 storage days)	Control sample (before packaging)
سافرانال Safranal (mg.ml ⁻¹)	40.6	118.31
پیکروکروسین Picrocrocin (mg.ml ⁻¹)	75.3	108.698

مقدار پیکروکروسین

مقدار بهینه و شاهد پیکروکروسین در جدول ۲ آورده شده است. در اتمسفر بهینه میزان پیکروکروسین (۷۵/۳ میلی گرم بر میلی لیتر) ۰/۳ درصد کاهش نسبت به شاهد (۱۰۸/۷۰ میلی گرم بر میلی لیتر) نشان داد. این میزان کاهش در مقدار پیکروکروسین در محدوده استاندارد ملی ایران (۷۰-۱۰۰ میلی گرم بر میلی لیتر) نبوده و نشان دهنده عدم معناداری اثر بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته بر میزان پیکروکروسین می‌باشد. محققان گزارش کردند حضور O₂ در بسته‌بندی سبب اکسایش رنگدانه‌های زعفران و تجزیه استرهای گلیکوزید شده و میزان پیکروکروسین را کاهش داد (Mozhdehi et al., 2017).

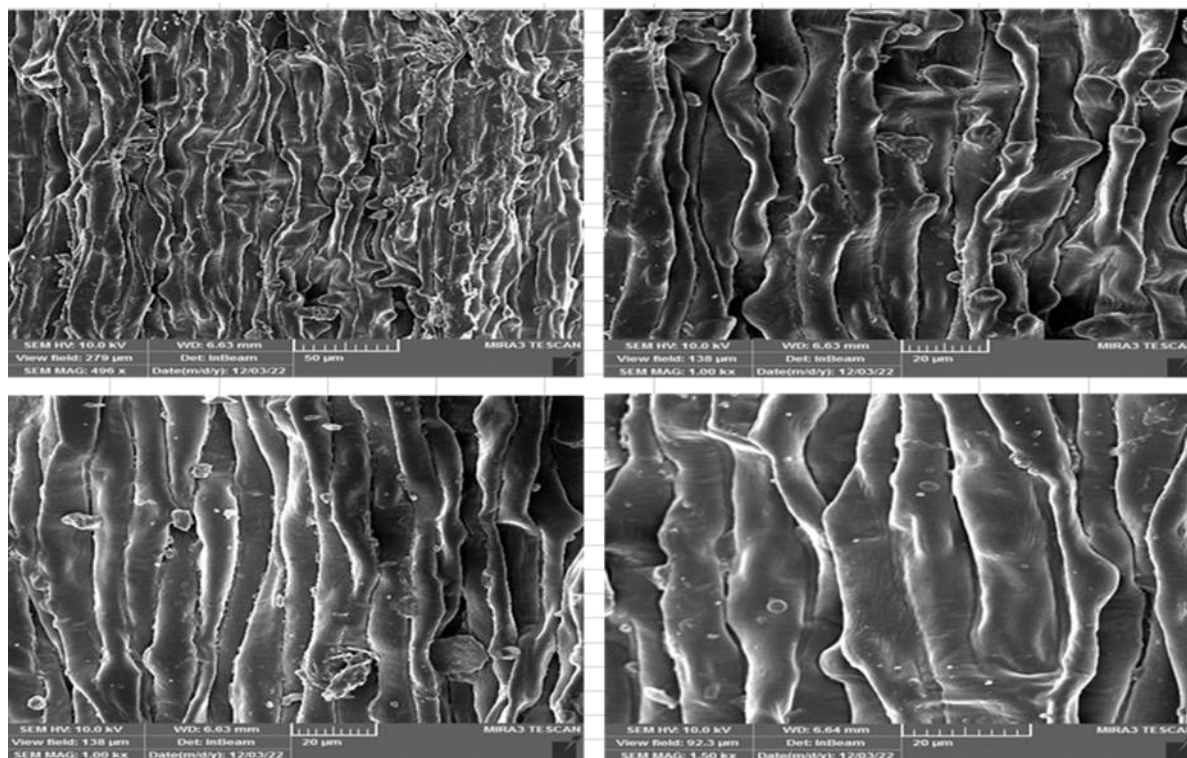
تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

تصاویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی از کلاله‌های زعفران (۵۰۰-۱۰۰۰ میکرومتر) قبل و بعد از بسته‌بندی تحت اتمسفرهای خلاء، هوا و N₂ به ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۷ نشان داده شده است. در تمام نمونه‌ها ساختار نامنظم سلول قابل مشاهده است. در نمونه شاهد تورم سلولی و ذرات برآمده و اجسام کروی روی سطح کلاله وجود دارد. این تورم سلولی نتیجه افزایش اندازه فضا‌های بین سلولی که توسط واکوئل مرکزی اشغال شده و به وسیله پلاسما و تونوپلاست

محدود شده است. پس از ۸۰ روز انبارداری همچنین در بسته‌بندی‌های تحت اتمسفر نیتروژن مانند نمونه شاهد تورم سلولی و ذرات ریز و درشت شبیه حباب همراه با پارگی غشای سلولی و فروپاشی سلول دیده می‌شود. در حالیکه در بسته‌بندی‌های تحت اتمسفر خلاء و هوا ساختار چروکیده، تورفتگی، کاهش وزن، افزایش حفره و ترک در سطح کلاله مشاهده شد. ساختار سلولی تحت تأثیر پلاسمولیز قرار گرفته و سبب کاهش تورم سلولی و چین خوردگی دیواره‌های سلولی شد. نتایج نشان می‌دهد که شرایط بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته ممکن است به دلیل فعل و انفعالات ماکرومولکول‌ها، واکنش‌های اکسیداسیون و فعالیت آنزیمی می‌باشد. اما در نمونه شاهد و اتمسفر نیتروژن کنش‌های متقابل ماکرومولکولی، اکسیداسیون و فعالیت آنزیمی را کاهش داد. همچنین باعث کاهش درصد لیپید و افزایش درصد پروتئین‌های سطحی در نمونه شاهد و حضور نیتروژن و دی‌اکسیدکربن سبب کاهش تغییر خواص درشت مولکول‌ها شد (Nawaz et al., 2018). محققان تغییرات ساختاری سطح پوست سیب با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی پس از ۶ ماه نگهداری در بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته تحلیل کردند. تصاویر بدست آمده نشان داد که افزایش زمان انبارداری سبب کاهش وزن میوه، افزایش عمق ریز ترک‌ها، ضخیم شدن لایه موم آمورف و تولید پلاکتی موم کریستالی شد که ریز

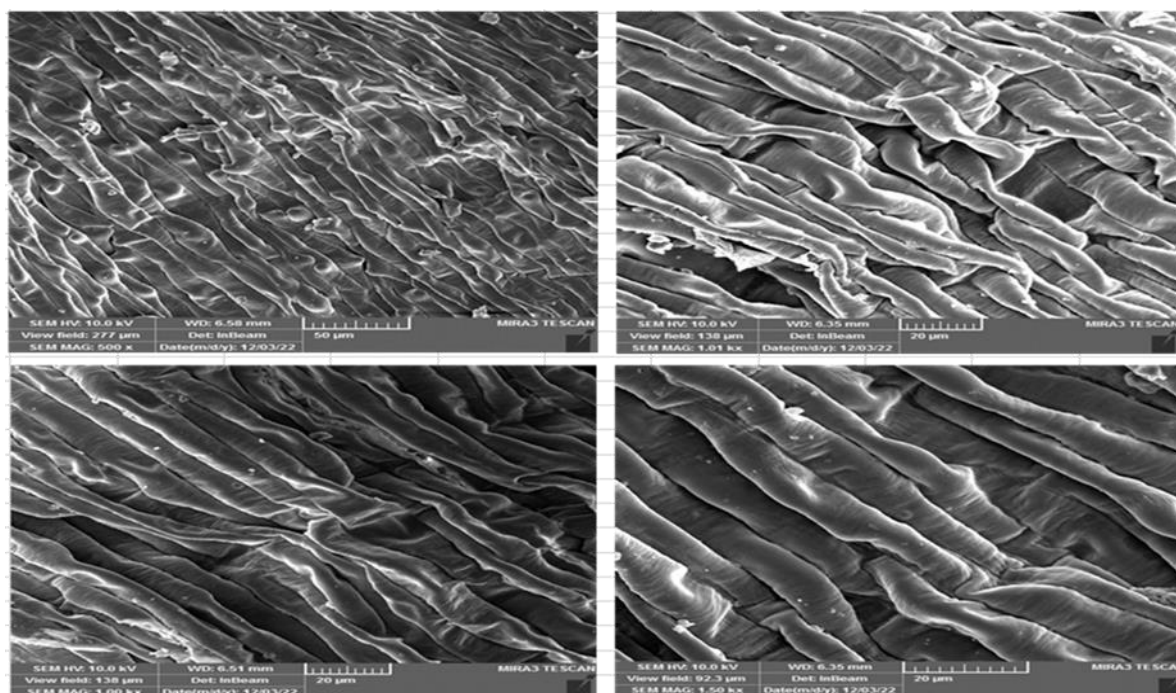
و تیمار شده (۹۰ درصد نیتروژن + ۰/۵ درصد دی-اکسیدکربن + ۰/۵ درصد اکسیژن) دارای بافت سفت بوده در حالیکه پس از ۴ روز انبارداری تغییرات ساختاری در نمونه شاهد مشاهده شد و از دست دادن یکپارچگی سلولی قابل مشاهده بود. اما نمونه تیمار شده تورم سلولی را حفظ کرده و ساختار تغییر نکرده و پس از ۸ روز انبارداری انقباض سلولی در نمونه شاهد مشاهده شد که منجر به از دست دادن تورم سلولی شد. انقباض سلولی در نمونه شاهد پس از ۱۴ روز انبارداری دیده شد و در روز آخر انبارداری فرو ریخته شد. در نمونه تیمار نشان داد که ساختارهای تماس سلول به سلول و تورم در مدت انبارداری حفظ می‌کند. پس از ۱۴ روز به دلیل از دست دادن آب شکل ساختار تغییر کرد و تا روز آخر ادامه داشت (Punumong et al., 2016).

ترک‌ها را پر می‌کرد. همچنین سیب دارای کوتیکول شبکه‌ای-ورقه‌ای بوده که در زمان برداشت، سلول‌های اپیدرمی و زیرپوستی حاوی آمیلوپلاست‌های متعدد پر از دانه‌های نشاسته بودند که پس از دوره ذخیره‌سازی مشاهده نشد. پروتوپلاست‌های سلولی در پوست سیب ساختاری نامرتب داشته و واکوئل‌های آن‌ها حاوی قطعاتی از غشای سلولی و رسوبات داخل واکوئولی و اجسام کروی بود. اپیدرم میوه از سلول‌های چهارضلعی تا هفت ضلعی که محکم به هم چسبیده اند تشکیل شده است. پلاکت‌ها به صورت آویز در سطح میوه چیده شدند و در نتیجه ردیف‌های موازی را تشکیل دادند یا یک لایه افقی بدون آرایش خاص روی سطح میوه تشکیل دادند (Konarska, 2014). تغییر ساختار در بسته‌بندی‌های مختلف در میوه لیچی بررسی شد. نتایج نشان داد در روز اول انبارداری در نمونه شاهد

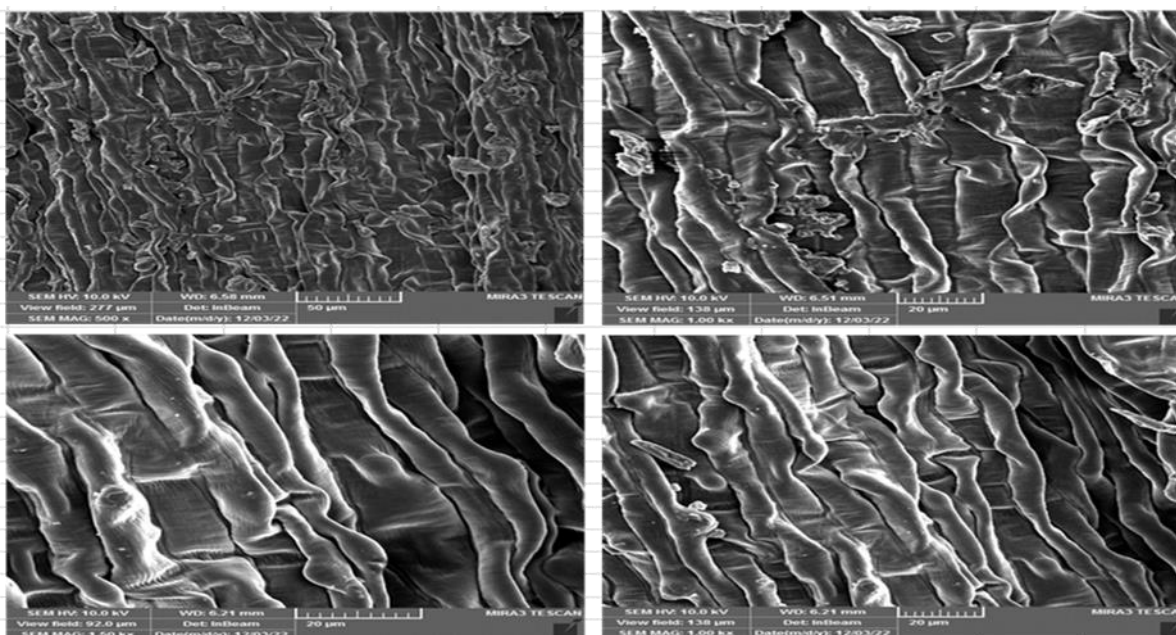


شکل ۴- تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از رشته‌های کلاله زعفران قبل از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (نمونه شاهد) در بزرگنمایی‌های مختلف

Figure 4- Pictures taken with scanning electron microscope of saffron stigma threads before packing with modified atmosphere (control sample) in different magnifications.

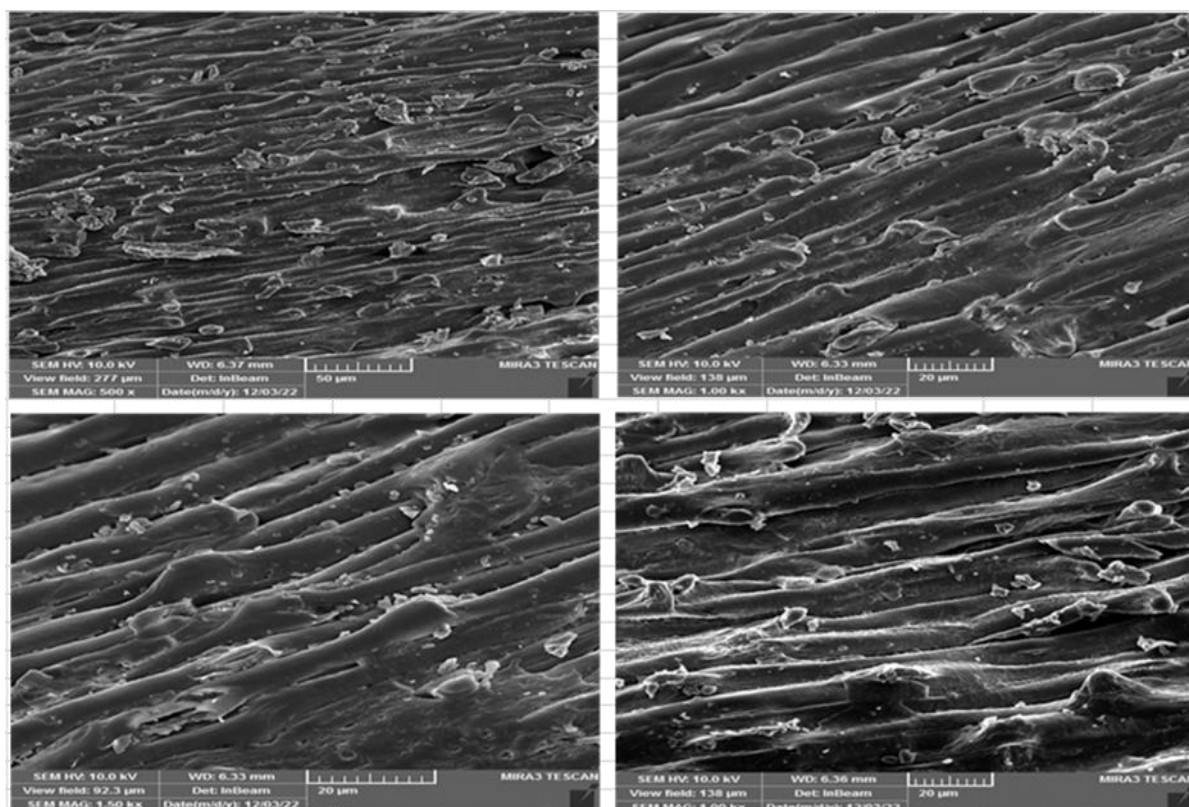


شکل ۵- تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از رشته‌های کلاله زعفران در بسته‌بندی تحت اتمسفر خلأ در بزرگنمایی‌های مختلف
Figure 5- Pictures taken with a scanning electron microscope of saffron stigma strands in packaging under a vacuum atmosphere at different magnifications.



شکل ۶- تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از رشته‌های کلاله زعفران در بسته‌بندی تحت اتمسفر هوا در بزرگنمایی‌های مختلف

Figure 6- Pictures taken with a scanning electron microscope of saffron stigma strands in packaging under air atmosphere at different magnifications.



شکل ۷- تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از رشته‌های کلاله زعفران در بسته‌بندی تحت اتمسفر N_2 در بزرگنمایی‌های مختلف
Figure 7- Pictures taken with a scanning electron microscope of saffron stigma strands in packaging under N_2 atmosphere at different magnifications.

نتیجه‌گیری

لگاریتمی نسبت به روز اول انبارداری کاهش یافت. این در حالی بود که ماندگاری در نمونه‌های شاهد همراه با افت کیفیت قابل ملاحظه بود. همچنین بررسی ریزساختارها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد در بسته‌بندی تحت اتمسفر نیتروژن مانند نمونه شاهد تورم سلولی و ذرات ریز و درشت شبیه حباب همراه پارگی غشای سلولی دیده می‌شود.

بسته‌بندی کلاله خشک زعفران تحت اتمسفر نیتروژن کیفیت و مواد مؤثره زعفران را حفظ و روند کاهشی خصوصیات کیفی آن را کند نمود. بطوریکه کروسین و پیکروکروسین کمترین میزان کاهش را نسبت به سایر تیمارهای بسته‌بندی داشتند. همچنین بار میکروبی کل به میزان ۰/۲۰ سیکل

منابع

- Azar Pazhouh, E., & Sharaie, P. (2017). Conditions for keeping saffron flowers in cold storage. *Saffron Promotional Magazine*, 1(1), 34-40. [In Persian].
- Akbarian, M., Shahidi, F., Varidi, M.J., Koochaki, A., & Roshank, S. (2019). Investigation of the effect of cold plasma on the microbial and chemical properties of saffron. *Journal of Saffron Agriculture and Technology*, 7(4), 425-439. (In Persian with English Summary). <http://doi.org/10.22048/jsat.2019.112244.1276>.
- Ein Afshar, S., Sharayei, P., Shoremage, E., & Niazmand, R. (2014). Effect of modified atmosphere packaging on the physicochemical

- properties of saffron flower during storage. *Journal of Iranian Food Science and Industry Research*, 10(3), 224-231. (In Persian with English Summary).
- Roytvand, S., Sedaghat, N., Varydi, M., & Mohebbi, M. (2017). Investigation of aloe vera cover coating and packaging on quality characteristics and shelf life of dried seedless barberry. *Science and Technology Research Journal*, 15(85), 141-150. (In Persian with English Summary).
- Sedaghat, N., Moradi, Gh., Khoshnodinia, S., & Koochaki, A. (2015). The effect of atmospheric packaging conditions on the physicochemical, microbial and sensory characteristics of dry pistachios of Ohadi variety. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 11(5), 546-559. (In Persian with English Summary).
- Shourmij, E., Ain Afshar, S., Niazmand, R., & Sharaiei, P. (2014). Investigation of the effect of storage temperature and depending on the species on the quantitative and qualitative characteristics of saffron flower packed under modified atmosphere. *Journal of Research and Innovation in Food Sciences and Industries*, 1(4), 283-294. (In Persian with English Summary).
- Motevali, A., Shahbazi, E., Hashemi, S.J., & Tabatabai Kalor, R. (2019). Changes of some quality characteristics of apricot fruit packed with modified atmosphere. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 21(74), 680-688. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22092/erams.2019.124936.1297>.
- Brown, R.B., Emily, C., Forauer, A., & Dennis, D.G. (2018). Effect of modified atmosphere packaging on the growth of spoilage microorganisms and listeria monocytogenes on fresh cheese. *Journal of Dairy Science*, 101(9), 5-7. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14217>.
- Fallahi, H.R., Abbasi, S., Bohlooli, A., Hosseini, S.R., Hosseini, A.H., & Pahlavan, Z. (2021). Saffron vegetative growth as affected by transplanting and direct corm planting under field conditions. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 4(1), 1-10.
- Fernandes, L., Ermelinda, L., Hidalgo, M., Gomes, A., & Ramalhosa, E. (2020). Effect of modified atmosphere, vacuum and polyethylene packaging on physicochemical and microbial quality of chestnuts (*Castanea sativa*) during storage. *International Journal of Fruit Science*, 20(52), 5785-5801. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1768619>.
- Ghirardello, D., Contessa, C., Valentina, N., Zeppa, G., Rolle, L., Gerbi, V., & Gotta, R. (2015). Effect of storage conditions on chemical and physical characteristics of hazelnut (*Corylus Avellana* L.). *Postharvest Biology and Technology Journal*, 81(3), 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.014>.
- Hosseini, S.I., Farrokhi, N., Shokri, Kh., Khani, M.R., & Shokrie, B. (2018). Cold low pressure O₂ plasma treatment of *Crocus sativus*: An efficient way to eliminate toxicogenic fungi with minor effect on molecular and cellular properties of saffron. *Journal of Food Chemistry*, 15(257), 310-315. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.031>.
- Kirtil, F., Kilercioglu, M., Halil, M., & Oztop, M.H. (2015). Modified atmosphere packaging of foods. *Reference Module in Food Science, First Edition*, 1-6. <https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03218-2>.
- Konarska, A. (2014). The structure of the fruit peel in two varieties of malus domestica borkh. (Rosaceae) before and after Storage. *Protoplasma*, 250(3), 701-714. <https://doi.org/10.1007/s00709-012-0454-y>.
- Leufven, A., Sedaghat, N., & Habibi, M.H. (2015).

- Influence of different packaging systems on stability of raw dried pistachio nuts at various conditions. *Iranian Food Science and Industry Research Journal*, 8(5), 576–581. (In English with Persian Summary).
- Mogharabi, A., Zamindar, N., Khosravi, E., & Ghorbani, Z. (2020). The effects of oliveria decumbens essential oil and chitosan on physicochemical, microbial and sensory characteristics of grated carrots in polypropylene packaging under modified atmosphere during storage. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 9(2), 203–220. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2020.209697.1127>.
- Mozhdehi, F., Ardakani, S.A., Sedaghat, N., & Sedaghat, N. (2017). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on the moisture and sensory property of saffron. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 7(5), 00115. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2017.05.00115>.
- Mozhdehi, F., Ardakani, S.A., Sedaghat, N., & Sedaghat, N. (2018). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and storage temperature on colour, flavour, and aroma of saffron. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 7(5), 40–43. <https://doi.org/10.5958/2277-581.2018.00010.4>.
- Mzabri, I., Legsayer, M., Kouddane, N., Boukroute, A., & Berrichi, A. (2017). Effect of drought stress on the growth and development of saffron (*Crocus sativus* L.) in Eastern Morocco. *Atlas Journal of Biology*, 8(5), 4894–4901.
- Nawaz, Sh., Malik, A., Fukai, S., Prakash, A., & Bhandari, B. (2018). Effects of three types of modified atmospheric packaging on the physicochemical properties of selected glutinous rice. *Journal of Stored Products Research*, 76(2), 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.01.005>.
- Niazmand, R., & Yeganehzad, S. (2020). Capability of oxygen - scavenger sachets and modified atmosphere packaging to extend fresh barberry shelf life. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7(28), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00195-3>.
- Punumong, P., Sangsuwan, Y., Kim, S., & Rattanapanone, N. (2016). Combined effect of calcium chloride and modified atmosphere packaging on texture and quality of minimally-Processed Litchi Fruit. *Chiang Mai Journal of Science*, 43(3), 556–569. [http://epg.science.cmu.ac.th/ejournal/Contributed Paper](http://epg.science.cmu.ac.th/ejournal/Contributed%20Paper).
- Rifath, A., Rosita, B.D., Prasantha, D., & Yatiwala, S. (2021). Effect of modified atmosphere storage on quality characteristics of dehydrated jack fruits. *Sri Lanka Journal of Technology*, 2(1), 1–7.
- Salou, Th., Gontard, N., Guillard, V., Guilbert, S., Caroline, S., Nathalie, G., & Gaucel, S. D. (2021). Benefit of modified atmosphere packaging on the overall environmental impact of packed strawberries. *Postharvest Biology and Technology Journal*, 177(2021), 111521. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111521>.
- Taglienti, A., Sequoia, P., Cafiero, C., Ricotta, M., & Ceredi, B. (2011). Hayward kiwifruits and plant growth regulators: detection and effects in post-harvest studied by magnetic resonance imaging and scanning electron microscopy. *Food Chemistry Journal*, 126, 731–736. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.050>.
- Toulabi Nejad, M., & Sadeghi, Kh. (2019). Research aper farmers' strategies in the face of droughts and examination of the factors affecting those strategies: A case study of roshtkhar county. *Journal of Rural Research*, 9(4), 608–627. <http://dx.doi.org/>.
- Wang, M., Gurriec, J., Fuchao, L., Maynard, S., & Ming, A. (2021). Convergence and

divergence of sugar and cytokinin signaling int development. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182(2), 680-688. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.024>. Zoran, A., Ljubomir, S., & Fallik, E. (2017).

Quality evaluation and antioxidant activity of mini sweet pepper cultivars during storage in modified atmosphere packaging (MAP). *Romanian Biotechnological Letters*, 22(1), 12214.